MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
EL KİTABI

ÜRETİM ve TASARIM
Cilt 2

Baskıya Hazırlayan
A. Münir CERİT
Makina Yük. Mühendisi

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

YAYIN NO.: 170

2. BASIM

tmmob
makina mühendisleri odası

Sümer Sokak 36/1-A 06440 Demirtepe / ANKARA
Tel : (0-312) 231 31 59 - 231 80 23 Fax : (0-312) 231 31 65

Yayın no : 170

ISBN : 975-395-124-8 (Tk. No)
ISBN : 975-395-125-6 (1. Cilt)

Bu Yapıtın yayın hakkı Makina Mühendisleri Odası'na aittir. Kitabın hiçbir bölümü değiştirilemez. MMO'nın izni olmadan kitabın hiçbir bölümü elektronik, mekanik vb. yollarla kopya edilip kullanılamaz. Kaynak gösterilmek kaydı ile alıntı yapılabilir.

Temmuz 1996 - Ankara

***Dizgi**: Ali Rıza Falcıoğlu (Makina Mühendisleri Odası)*
***Baskı**: Ocaklar Matbaacılık Tel: 0 • 312 • 310 43 53*

İÇİNDEKİLER

Ayrıntılı içindekiler listesi her bölümün başında verilmiştir. Alfabetik sözcük dizini ise kitabıy sonundadır.

BÖLÜM - 14

YAPıM YÖNTEMLERI

Döküm Tekniği....14-02
Plastik Şekil Verme....14-32
Sac Presçiliği....14-67
Kaynak Teknolojisi....14-153
Talaş Kaldırarak işleme....14-233

BÖLÜM - 15

GELENEKSEL OLMAYAN YAPıM YÖNTEMLERI

Mekanik Enerjili İşleme Yöntemleri....15-06
Kimyasal Enerji Kullanan Yöntemler....15-23
Elektro-Kimyasal İşlemler....15-25
Isı Enerjisi Kullanan Yöntemler....15-36

BÖLÜM - 16

YÜZEY İŞLEMLERI

Metalik Yüzeylerin Durumları....16-02
Temizlik Yöntemleri....16-03
Kimyasal Dönüşüm İşlemleri....16-07
Elektrolitik Dönüşüm İşlemleri....16-10
Boyalar ve Boyama Teknolojisi....16-12
Kaplama....16-22

BÖLÜM - 17

ÜRETIM PLANLAMA SISTEMI TASARıMı

Ana Üretim Planlaması....17-02
Esnek İmalat Sistemleri (ElS)....17-21
Malzeme İhtiyaç Planlaması (MİP)....17-28
Çizelgeleme....17-31

BÖLÜM - 18

KALITE GELIŞTIRME KONTROLÜ (KALITE KONTROL)

Sistematik Tasarım ve Geliştirme....18-08
Taguchi Deney Tasarım Yöntemi....18-14
Çevrim içi Kalite Kontrol....18-27
Kabul Örneklemesi Yöntemi....18-32
Süreç Kontrolü....18-41
Kayıp Fonksiyonu ve İşaret/Gürültü Oranları....18-50

BÖLÜM - 19

İŞÇİ SAĞLıĞı VE İŞ GÜVENLIĞI

Yasal Yayınlar....19-02
İlgili Kuruluşlar....19-05
işçi Sağlığı ve iş Güvenliğiyle İlgili Olaylar....19-05
İlgili Önlemler....19-09

SUNUŞ

Makina Mühendisliği El Kitabı'nın ikinci cildini meslektaşlarımızın ve genç mühendis adaylarının kullanımına sunmaktan kıvanç duyuyoruz.

Bilim ve teknolojideki hızlı gelişmeler, yıllar önce yayınlamış olduğumuz 4 ciltlik El Kitabı'nın kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmesini gerekli kıldı. Bu sorumluluğun bilinciyle ikinci baskı konu kapsamı ve her konu içeriği itibariyle adeta bütünüyle yeniden yazıldı. Ölçü itibariyle de daha büyük tutulan El Kitabı dört cilt halinde düzenlendi.

Böylesine geniş kapsamlı bir bilimsel eserin ortaya konmasının ne kadar yoğun bir çaba ve süreyi gerektireceğini takdir edeceğinize güveniyoruz. Yine böylesi bir eser, maliyeti itibariyle ancak kazanç dürtüsünden uzak, bilimsel katkı endişesinin ağır bastığı bir girişimi gerektirmekteydi ve bu onur, öğretim-araştırma-sanayi kuruluşlarından seçilmiş, herbiri kendi arasında yoğun kurumsal ve uygulamalı uzmanlıkları ile bilinen, büyük bir özveri ve maddi karşılığı ölçülemeyecek emek katkısı ile bölümlerini hazırlayan yazarlara aittir.

Böyle bir çalışmanın gösterebileceği gecikme ve olabilecek eksikliklerin anlayışla karşılanacağına inanıyoruz.

El Kitabının hazırlanmasında emeği geçen, başta bölüm yazarları olmak üzere Makina Mühendisleri Odası Kitap Komisyonunun sayın üyelerine, kitabı baskıya hazırlayan Sayın A. Münir CERİT'e, ve El Kitabı'nın dizgi, düzenleme ve baskısında üstün çaba gösteren Oda'mız yayın personeline teşekkür eder, kitabın meslektaşlarımıza, mühendislik eğitimi gören gençlerimize ve tüm ilgililere yararlı olmasını dileriz.

Makina Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu

İKİNCİ CİLT ÜSTÜNE BİRKAÇ SÖZ

El Kitabının İkinci Cildini de okuyucularımızın kullanımına sunmaktan mutlu ve kıvançlıyım.

Bu ciltte, klasik makina mühendisliğinin birçok dalı uzman meslektaşlarımızca yetkin biçimde ele alındı. Özellikle **Talaş Kaldırarak İşleme** konusu -bir el kitabının sınırlarını çok aşarak- bir başvuru kitabı niteliğinde incelendi. Ayrıca, **Geleneksel Olmayan Yapım Yöntemleri** bölümü, sanıyorum ki Türk teknik yaşamında ilk kez, kapsamlı bir biçimde tanıtıldı.

Bu bakımdan, bölümlerin yazarları sevgili dostum Ahmet YİĞİN ve değerli Profesör Dr. Abdülkadir ERDEN, okuyucularımızın çifte teşekkürlerini hakkettiler.

İkinci ciltte, makina mühendislerine çağdaş mühendislik felsefesine giriş olarak, **Tesis Planlaması ve Kalite Kontrol** konularında yeni ufuklar açmak istedik. Bu konuları yetkin biçimde inceleyen değerli Prof. Dr. Ömer SAATÇİOĞLU ve genç çalışma arkadaşlarına da çifte teşekkür borçlu olduğumuza inanıyorum.

Bir yandan **Yüzey İşlemleri,** diğer yandan **İş Güvenliği** konularını, uzman kişi kimliği ile derli-toplu bir biçimde sunan değerli dostum Kimya Yk. Mühendisi Hikmet YAŞAR'ın emeğini de saygı ile belirtmek istiyorum.

Bölüm yazarı meslektaşlarıma ve kitabı bu hale getirilmesinde payı olan bütün MMO çalışanlarına teşekkür ederken Kitap Komisyonu üyesi sevgili dostlarım;

Prof. Dr. Alp ESİN
Doç. Dr. Kahraman ALBAYRAK
Mak. Müh. Bilal BAYRAM
Mak. Yk. Müh. Neşet KOCABIYIKOĞLU

başta olmak üzere geçmiş komisyon üyelerinin emeklerini de saygı ve sevgi ile anıyorum.

Genç arkadaşlarımın daha yararlı, daha güzel kitaplar yayınlamaları dileğiyle.

Ankara-Temmuz 1996

A. Münir CERİT

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ EL KİTABI

ÜRETİM ve TASARIM
Cilt 2

Baskıya Hazırlayan
A. Münir CERİT
Makina Yük. Mühendisi

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

YAYIN NO.: 170

2. BASIM

SUAT SEZAİ GÜRÜ'nün anısına

Koordinasyon

MMO Kitap Komisyonu
Ali Münir CERİT
Prof. Dr. Alp ESİN
Doç. Dr. Kahraman **ALBAYRAK**
Bilal BAYRAM

BÖLÜM 14

YAPIM YÖNTEMLERİ

Hazırlayanlar
Prof. Dr. Ahmet ARAN, İTÜ Makina Fakültesi
Prof. Dr. Levon ÇAPAN, İÜ Mühendislik Fakültesi
Selçuk KARCI, Mak. Müh., MKEK - Kırıkkale
Prof. Dr. Selahattin ANIK, İTÜ Makina Fakültesi
Ahmet YİĞİN, Mak. Yük. Mühendisi, ROKETSAN - Elmadağ

DÖKÜM TEKNİĞİ

Prof. Dr. Ahmet ARAN

Sayfa

1. Temel Tanımlar 02
2. Modeller 03
3. Kalıplama ve Döküm Yöntemleri 04
4. Ergitme, Döküm ve Katılaşma 15
5. Bitirme İşlemleri ve Kalite Kontrolü 22
6. Dökme Parça Tasarımı 24
7. Metal Döküm Alaşımları 27

KAYNAKÇA 31
İLGİLİ TSE STANDARTLARI 31

PLASTİK ŞEKİL VERME

Prof. Dr. Levon ÇAPAN

1. Plastik Şekil Vermenin İlkeleri 32
2. Dövme 37
3. Haddeleme 46
4. Ekstrüzyon 56
5. Çekme 61

KAYNAKÇA 66
İLGİLİ TSE STANDARTLARI 66

SAC PRESÇİLİĞİ

Selçuk KARCI, Mak. Müh.

1. Kesme 67
2. Sac Presçiliğinde Kullanılan Gereç Normları 108
3. Bükme ve Şekillendirme 111
4. Bükme ve Şekillendirme Kalıp Örnekleri 117
5. Çekme 123
6. Kalıp Tasarımı ve Yapımı 149

KAYNAKÇA 152
İLGİLİ TSE STANDARTLARI 152

KAYNAK TEKNOLOJİSİ

Prof. Dr. Selahattin ANIK

Sayfa

1. Giriş ve Tarihçe 153
2. Genel Tanımlamalar ve Sınıflandırma 154
3. Kaynak Yeteneği 156
4. Gaz Ergitme Kaynağı 160
5. Elektrik Ark Kaynağı 165
6. Tozaltı Kaynağı 174
7. Gazaltı Ark Kaynağı 178
8. Isıl Kesme Yöntemleri 182
9. Kaynak Hataları 183
10. Kaynaklı Parçalarda Oluşan Çarpılmalar ve Gerilmeler 187
11. Doldurma Kaynağı 192
12. Elektrik Direnç Kaynağı 195
13. Sürtünme Kaynağı 199
14. Elektron Işını ile Kaynak 201
15. Laser Işını ile Kaynak ve Kesme İşlemi 203
16. Sert Lehimleme 205
17. Metal Püskürtme 208
18. Metal Yapıştırma Tekniği 211
19. Diğer Kaynak Yöntemleri 214
20. Plastik Malzemelerin Birleştirilmesinde Kullanılan Kaynak Yöntemleri 217
21. Kaynaklı Üretimin (Dizaynın) Esasları 219
22. Kaynak Tekniğinde İş Güvenliği 220

KAYNAKÇA 222
İLGİLİ TSE STANDARTLARI 222

TALAŞ KALDIRARAK İŞLEME

Ahmet YİĞİN, Mak. Yük. Müh.

1. Talaş Kaldırma İşlemlerine Giriş 223
2. Talaş Kaldırma İşlemlerinin Temelleri 224
3. İşlemede Kuvvetler, Güç ve Gerilmeler 231
4. Takım Aşınması ve Takım Ömrü 238
5. İşlemede Ekonomi 242
6. Kesici Takım Gereçleri 249
7. Metal Kesme ve Taşlama Sıvıları 274
8. Kesme ve Taşlama Sıvılarının Kontrol ve Test Yöntemleri 280
9. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Uygunluğu 282
10. Tornalama 292
11. Delik İşleme 353
12. Matkapla Delme 367
13. Raybalama 396
14. Havsa Açma, Alın Düzeltme ve Pah Kırma 401
15. Frezeleme 406
16. Planyalama 427
17. Broşlama (Broçlama) 438
18. Testere ile Kesme 448
19. Taşlama 463
20. Honlama 499

KAYNAKÇA 508
İLGİLİ TSE STANDARTLARI 508

TALAŞ KALDIRARAK İŞLEME

Ahmet YİĞİN - Mak. Yük. Müh.

1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMLERİNE GİRİŞ

Talaş kaldırma, bir iş parçasından, istenmeyen malzemeyi genellikle talaş şeklinde kaldırmak için yapılan üretim işlemlerini tanımlar. Bu işlem; döküm, dövme ve önşekillendirilmiş metal bloklarını, tasarım isteklerinin ölçü ve yüzey kalite isteklerini karşılayacak yönde istenilen biçime getirmek için kullanılır.

Talaş kaldırma işleminin endüstriyel uygulamalarının pek çoğu metal malzemeler içindir.

Talaş kaldırma işlemleri çok çeşitli takım tezgahlarında yapılır. Bunlar başlıca; torna, freze, matkap, taşlama, planya, broş ve testere tezgahlarıdır. Bu temel tezgahlar da kendi içlerinde çeşitli tiplere ayrılırlar. Örneğin, tornaların üniversal torna, revolver torna, kopya torna, otomat torna, çok milli otomat torna, vb. gibi tipleri vardır.

Temel talaş kaldırma işlemleri -değişik uyarlamaları parantez içinde olmak üzere- aşağıda sıralanmıştır. Herbir işlem bir ya da daha çok takım tezgahlarında gerçekleştirilebilir. Örneğin, delme; matkap tezgahı, freze tezgahı, torna ve bazı delik işleme tezgahında (Borverk) yapılabilir.

- Tornalama (delik işleme, alın tornalama, kesme, konik tornalama, form tornalama, pah kırma ve vida açma),
- Yüzey işleme (planyalama, vargelle işleme),
- Frezeleme (azdırma dişli frezeleme, trepanlama-dayiresel kanal açma),
- Delme (raybalama, kılavuz çekme, puntalama),
- Testere ile kesme,
- Aşındırma ile işleme (taşlama, honlama, lepleme),
- Broşlama (iç ve yüzey),

Metal kesme işlemlerinde; bağımsız (girdi-input) değişkenler, bağımlı değişkenler ve bağımsız-bağımlı değişkenlerin etkileşim ya da ilişkileri incelenir. Mühendis veya tezgah operatörü, işleme işlemini ayarlarken, girdi değişkenlerini doğrudan kontrol edebilir, belirleyebilir ya da seçebilir.

Bağımsız girdi değişkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- iş parçası gereci.
- iş parçasının başlama biçimi (döküm, dövme vb.).
- Özel işleme işlemleri (talaşlı işlem, aşındırma, geleneksel olmayan işlemler).
- Takım gereçleri (HSS, karbür, CBN - kübik bor nitrür; seramik, elmas vb.).
- Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, paso derinliği).
- Takım geometrisi (açılar ve radyüsler).
- tş parçası tutucuları (torna aynası, bağlama aparatları, mengene, pens, vb.).
- Kesme sıvıları.

Bağımlı değişkenler ise şu şekilde sıralanabilir:

- Kesme kuvveti ve gücü.
- Bitmiş ürünün ölçü ve özellikleri.
- Yüzey kalitesi.
- Takım aşınması ve takımın kırılması.

Girdi değişkenleri ile işlem davranışları arasındaki bağlantıları anlamak üretim mühendisleri için çok önemlidir. Ne yazık İri bu bilgileri elde etmek zordur. Temel olarak bu karmaşık durumla uğraşmak için üç yol vardır. Bunlar; deneyimler, deneyler ve teoriler. El kitabımızın bu bölümünde talaş kaldırma işlemleri konusunda var olan deneyimler, deneme sonuçları ve teoriler okuyucuya mümkün olduğunca aktarmaya çalışılacaktır.

2. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNİN TEMELLERİ

Talaş Oluşumunun Mekaniği

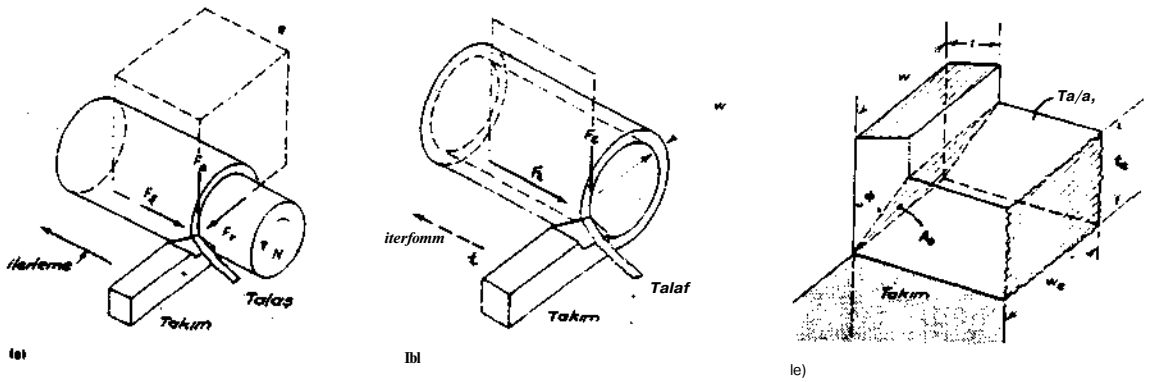
Metal kesme işlemindeki temel mekanizma, takımın kesici kenarının, hemen önündeki malzemede kesme şekil değiştirmesi (deformasyon) oluşturmasıdır. Kesme sırasındaki takım ve iş parçası arasındaki bağıl hareket, takım önündeki malzemeyi sıkıştırır ve bu da talaşı şekillendiren kesme şekil değiştirmesini oluşturur. Talaş takım üzerindeki kayması ve kesmeden dolayı üstkesme yüzeyinden geçerken ek bir şekil değiştirmesine uğrar.

Bu iki plastik şekil değiştirme işlemi karşılıklı olarak birbirine bağımlıdır. Çıkan talaş, kesme işlemi sırasında kesme yüzeyine sürtünerek ısınır ve plastik şekil değiştirmeye uğrar, bundan dolayı da ikinci şekil değiştirme bu kesme düzlemindeki olaydan etkilenir. Aynı anda, kesme yönü de, doğrudan doğruya kesme yüzeyindeki şekil değiştirme ve sürtünmeden etkilenir. Kesme yönü, kesme işlemindeki talaşın ısınmasını ve gerilmesini etkiler. Metal kesme teorisi olarak, şu demektir ki kesme gerilimi ve kesme yönü aynı anda çözümlenmelidir.

İşleme geometrisi, üç boyutlu geometriden, iki boyutlu (ortagonal) geometriye basitleştirilebilir. Şekil. 1 üç boyutlu ve iki boyutlu işleme geometrilerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Ortagonal (iki boyutlu) işleme;

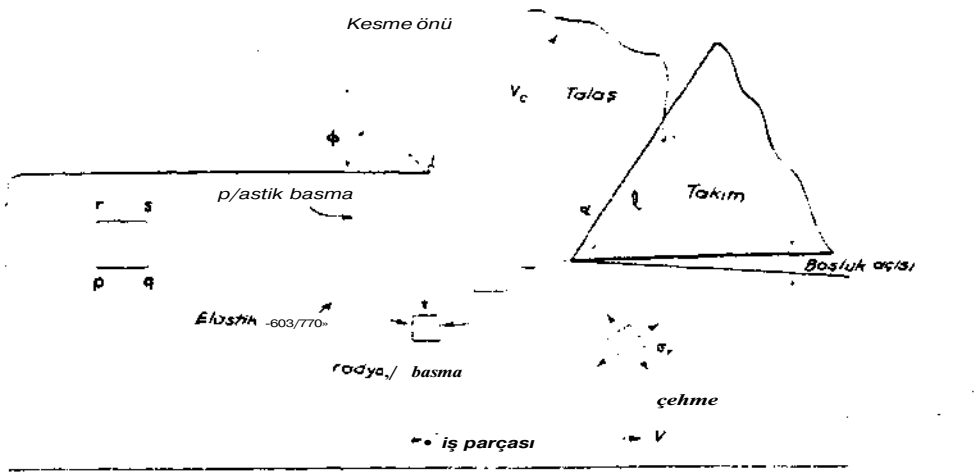
- Boruların alın tornalamasında (Şekil, lb),
- Levha işlemesinde (Şekil. 2) görülebilir.

Üç boyutlu kesme geometrisi, kesme kenarı ve kesme hareketi doğrultusu birbirine dik olmadıkları zaman oluşur. Ortogonal durum, çok kolaylıkla modellenebildiğinden şekil değiştirme işlemini açıklamak için kullanılır.



Şekil. 1- İki ve üç boyutlu işleme geometrilerinin karşılaştırılması.

(a) Üç boyutlu işlemede üç kuvvet: F_c kesme kuvveti, F_f ilerleme kuvveti, F_r radyal kuvvet.
(b) Ortogonal işlemede iki kuvvet: F_c kesme kuvveti, F_t ilerleme (teğetsel) kuvvet. Burada takımın kesme kenarının hareket yönüne dik olduğu görülür.
(c) Ortogonal kesmede kesme yüzeyi A_s; 0 kesme açısı, w kesme genişliği ve t ilerleme ile tanımlanan bölgede meydana gelir.



Şekil. 2- Kesme - önü lamelli (levhalı) yapının gösterilmesi:
Bu ortogonal geometride gösterildiği gibi, kesme deformasyonu radyal basınç bölgesinden doğar.

Kesme alam: Temel olarak talaş, çok dar bir bölgede yer alan kesme işlemi ile oluşur. Genellikle kesme alanı ya da kesme düzlemi olarak adlandırılır.

Kesme önü (lamelli -levhalı- yapı): Kesme işleminin kendisi, homojen olmayan, ardarda oluşan kesme önlerinin oluşturduğu lamelli yapıdaki talaşın oluşumudur. Bu yapı Şekil. 2 de görülmektedir. Burada kesme önleri bir kesme şeridinde birleşirler. Bu kesme şeritlerinin kalınlıkları (20 - 200 nm) lamellere (2-4 μm) göre çok azdır.

Ortogonal işleme kurgusu, üç boyutlu işleme işlemi modellemesinde kullanılır. Tornalama, delme, frezeleme ve planyalama gibi işlemler üç kuvvetli (ortogonal) kesme yöntemleridir. Şekil. 3, üçüncü boyutun etkisinin olmadığı üç boyutlu işlemin davranışlarını gösteren, ortogonal modelin çok iyi bir gösterimidir.

Modelleme amacıyla aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kesme işlemi bir düzlemde olmaktadır.
- Kesme kenarı mükemmel derecede keskindir.
- Takım yan yüzeyi ile iş parçası yüzeyi arasında sürtünme teması yoktur.

Bu kabullere göre aşağıdaki denklemler elde edilir.

Talaş oranı r, kesilmemiş talaş kalınlığı t nin talaş kalınlığı t_c ye oranıdır. Şöyle ki:

$$r = \frac{t}{t_c} = \frac{\sin \phi}{\cos (\phi - a)} \qquad \text{(i)}$$

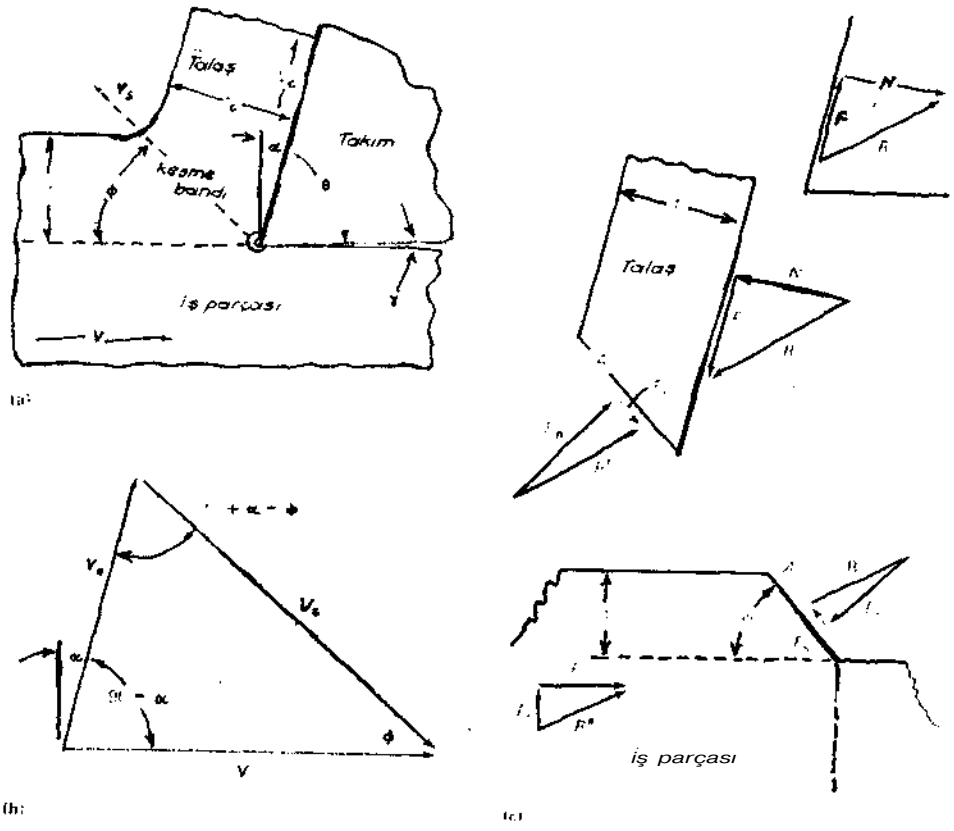
buradan ϕ için denklemi çözersek :

$$\tan \phi = \frac{r \cos a}{1 - r \sin a} \quad \text{olur.} \qquad (2)$$

Pratikte, ortalama talaş kalınlığı t_c; talaşın L boyu ve W ağırlığının dikkatli ölçülmesiyle aşağıdaki formülle kolayca bulunabilir:

$$r = \frac{W}{pLt} \qquad (3)$$

Burada p malzemenin yoğunluğu, t paso derinliğidir.



Şekil. 3- Ortogonal metal kesme mekaniğinin şematik gösterimi

(a) Ortogonal model, t, kesilmemiş talaş kalınlığı (paso ya da kesme derinliği); t_c, talaş kalınlığı; Φ kesme açısı; a, üst eğim açısı; *y,* boşluk açısı; 6, kama açısı [9 = 90 - (a + y)]. (b) Hız üçgeni. V_s, kesme hızı; V_c, talaş hızı; V, bileşke hız. (c) Talaş serbest cisim diyagramı. F, sürtünme kuvveti; N, sürtünme kuvvetine dik kuvvet; F_s, kesme kuvveti; F_n kesme kuvvetine dik kuvvet; F_c, kesme kuvveti; F(, teğetsel kuvvet; R, bileşke kuvvet.

Kesme açısını ölçmek ya da hesaplamak için pek çok yol vardır. Bunlar genellikle statik ve dinamik yöntemlerdir. Statik yöntemde, ani durdurma aletleri ile kesme durdurulur ve ardından kesit optik ya da tarama mikroskopları ile incelenerek açı ölçülür. Dinamik yöntemde ise, kesme, yüksek hızlı kameralarla (30 000 resim/s) ve büyütmeyle incelenerek V_c kesme hızı ve V hızı ölçülür. Aşağıdaki formüle göre de açı hesaplanır.

$$\frac{V_c}{V} = \frac{t}{t_t} = r = \frac{\sin\phi}{\cos(\phi - \alpha)} \qquad (4)$$

Hızlar aynı zamanda talaş oluşumu ile ilgili güç hesaplamalarında, ısı hesaplamalarında ve titreşim analizlerinde önemlidir.

Kesme gerilimi : Bir metal alanı (örneğin Şekil. 2 deki p-q-r-s alanı) kesme işleminden geçtiği zaman, Şekil. 4 de gösterildiği gibi plastik olarak yeni bir biçim alır. Plastik şekil değişim miktarı kesme açısı ϕ ve üst eğim açısı cc ile bağıntılıdır. Böylece, kesme gerilimi;

$$y = \frac{\cos\alpha}{\sin\phi.\cos(\phi - \alpha)} \text{ olur.} \qquad (5)$$

Şekil. 4 arka eğim açısının üç değeri için ortogonal kesmedeki kesme gerilimi ve üst eğim açısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

İşlenen parçanın gereç özellikleri talaş oluşumunu etkiler. Bu özellikler mekanik olup akma gerilmesi, basınç altındaki kesme gerilmesi, gerilme sertleşmesi karakteristikleri, sürtünme özellikleri, sertlik ve sünekliktir. Çok sünek malzemeler, sadece büyük plastik şekil değiştirmelere olanak sağlamakla kalmaz fakat iş, ısı çıkışı ve sıcaklığın artmasına neden olurlar. Ancak, uzun ve sürekli talaşın kesme yüzeyi ile uzun süre temasta kalması çok fazla sürtünme ısısına neden olur. Bu tip talaşlar kıvrık olur.

Diğer taraftan, gri dökme demir gibi malzemeler, plastik talaş oluşumu için gerekli süneklikten yoksundur. Sonuç olarak, takımın önünde sıkışmış malzeme gevreklikten dolayı kırılır. Bu tip bir talaş Şekil. 5 de görülmektedir.

Kesme parametreleri de talaş oluşumunu etkiler. Kesici takım malzemesi, takım açıları, kenar geometrisi (ki aşınma, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinden dolayı değişir), kesme şartlan (takımın esnemesi, kesme sıvıları vb.) gibi parametreleri kapsar. Daha ötedeki karmaşıklıklar, kesme kanarındaki sıvanma sonucu oluşur.

Sıvanma, kesme kenarının hemen yanındaki üst kesme yüzeyi üzerinde kesilen malzemenin birikmesidir (Şekil. 5c). Sıvanma; yüksek sıcaklık ve hacim/talaş arasındaki yüksek basınçtan doğar. Sıvanmayı, genellikle; kesme derinliğini azaltarak, kesme hızını arttırarak, pozitif üst eğim açısı kullanarak ya da soğutucu kullanarak kaldırmak ya da azaltmak mümkündür.

Ortogonal işleme iki bileşenli bir kuvvet sistemi olarak tanımlanır. Şekil. 3c de kesme düzleminden alınmış bir talaşın serbest cisim diyagramı görülmektedir. Bileşke kuvvet R; sürtünme kuvveti F ve normal kuvvet N in bileşkesi olup takım/talaş temas ara yüzeyine (1 boyx w genişlik) etki eder. R bileşke kuvveti ise F_s kesme kuvveti ve normal kuvvet F_n in bileşkesi olup kesme düzleṃi alanına (A_s) etki eder.

R ve R' kuvvetlerinin eşit; zıt ve aynı doğrultuda oldukları kabul edilir. Bu kuvvetlerin bulunabilmesi için ölçülebilir üçüncü bir takım kuvvet sistemine gereksinme vardır. İş parçasını bağlama düzenine ya da kesici takım tutucusuna takılacak bir dinamometre ile F_c ile F_t kuvvetleri ölçijlebilir. Bu iki kuvvetin bileşkesi R" olup diyagramdaki diğer iki bileşke kuvvete eşit ve aynı doğrultudadır. İstenen kuvvetleri (F_s, F_n, F, N), dinamometre kuvvetlerini (F_c, F,) ve uygun açıları göstermek için bu altı kuvveti toplayan bir dayiresel kuvvet diyagramı geliştirilmiştir. Bu, Şekil. 6 da görülmektedir.

Şekil. 6 da (3 ; Normal kuvvet N ile bileşke kuvvet R arasındaki açıdır. Takım/talaş temas alanındaki sürtünme katsayısını tanımlamada kullanılır ve F/N olarak ifade edilir. Böylece:

$$P = \tan^{-1} n = \tan^{-1} \frac{F}{N} \qquad \text{elde edilir.} \qquad (6)$$

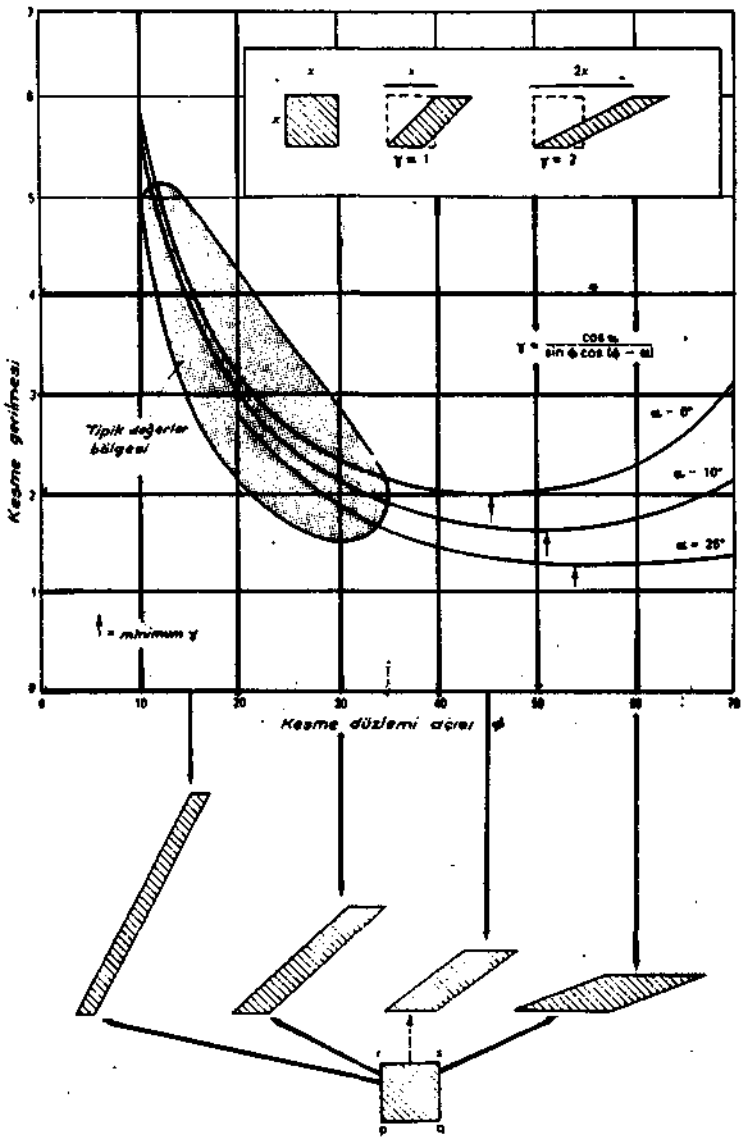
Sürtünme kuvveti F ve onun normali N kuvveti aşağıdaki gibi gösterilir.

$$F = F_c \sin \mathbf{a} + \mathbf{F}, \cos \mathbf{a} \quad (7)$$

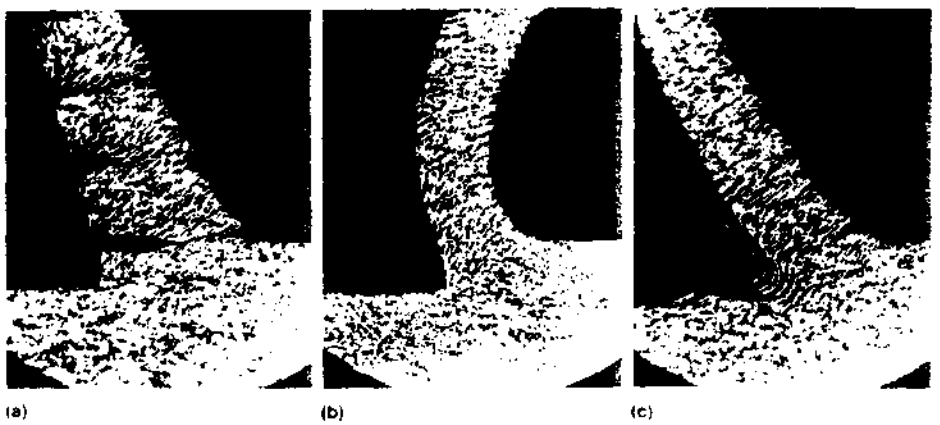
$$N = F_c \cos \mathbf{a} - F, \sin \mathbf{a} \quad (8)$$

$$\mathbf{R} = \left(F_c^2 + F_t^2\right)^{1/2} \quad (9)$$

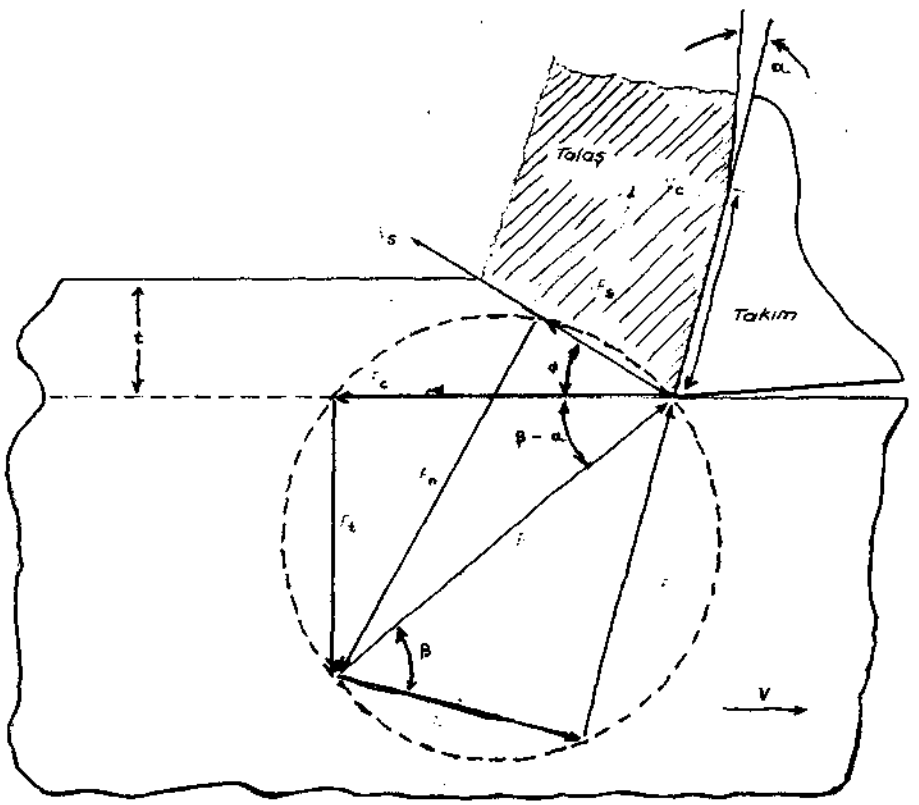
Üst eğim açısı **a** = 0 olduğu zaman F = F, ve N = F_c olur.



Şekil. 4- Üst eğim açısı *a* nin üç değeri için kesme düzlemi üzerindeki gerilim y ile kesme açısı ϕ arasındaki ilişki.



Şekil. 5- Üç karakteristik talaş tipi (a) süreksiz, **(b) sürekli,** (c) sıvanma **ile sürekli.**



Şekil. 6-Ortogonaltalaş oluşumu için dayiresel kuvvet diyagramı

Kesme düzlemine paralel ve dik olan kuvvetler ise aşağıdaki gibi gösterilir (dayiresel kuvvet diyagramından):

$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi \qquad (10)$$

$$F_n = F_c \sin \phi - F, \cos \phi \qquad (11)$$

Kesme kuvveti F_s in özel bir önemi vardır. Çünkü kesme düzlemi üzerindeki kesme gerilimini hesaplamada kullanılır. Kesme gerilimi t_s:

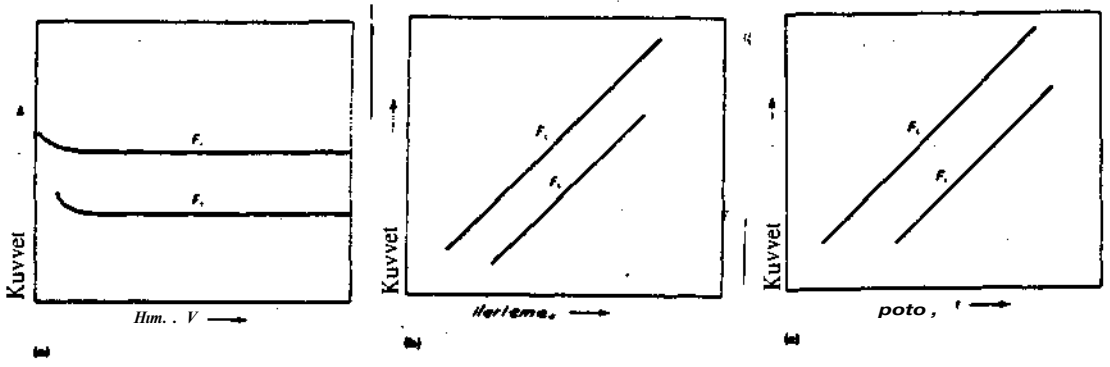
$$\tau_s = \frac{F_s}{A,} \qquad (12)$$ olarak tanımlanır.

Burada A_s = tw/sin ϕ olup t kesme derinliği ve w paso genişliğidir. Bu değer ve (10) denklemindeki değerler yerine konursa:

$$\tau_s = \frac{F\sin\phi\cos\phi - F\cos^2\phi}{t.w} \qquad (13)$$

Verilen bir metal için bu kesme gerilimi malzeme sabiti olup, kesme parametrelerinin, takım gerecinin ya da kesme koşullarının değişimine bağlı değildir.

Kesme kuvveti F_c bu sistemde etkin kuvvet olup kesme parametrelerinin değişimi ile nasıl değiştiğini anlamak önemlidir. Şekil. 7 de görüldüğü gibi ilerleme ya da kesme derinliği iki kat olduğu zaman kesme kuvveti de iki kat olmaktadır. Ancak hız arttığı zaman sabit kalmaktadır. Buna ek olarak üst eğim açısı **a** azaltıldığı zaman kuvvetler artmaktadır (ve doğrultuları değişmektedir). Daha ayrıntılı bilgi **İşlemede Kuvvetler, Güç ve Gerilmeler** bölümünde verilmektedir.



Şekil. 7- Ortogonal kesme kuvvetleri ile kesme parametreleri.
Hız (a), ilerleme (b) ve kesme derinliği (c) arasındaki genel ilişki.

3. İŞLEMEDE KUVVETLER, GÜÇ VE GERİLİMLER

Pek çok prosesin karmaşık (üç kuvvet bileşeni vardır) olmasına karşılık, ortogonal işleme modeli, işlemenin temel mekaniğini anlamakta yararlı olup üretim proseslerinin modellemesi için genişletilebilir.

Kuvvetler

Klasik dar bölge mekaniği aşağıdaki kabullerle birlikte düzlemsel kesme işleminde sürekli talaş veren malzemeler için geliştirilmiştir.

• Takım ucu keskindir ve takım ile iş parçası arasında bir sürtünme olmamaktadır. • Düzlemsel gerilme şartları sürmektedir (yana yayılma olmamaktadır). • Kesme düzlemindeki gerilmeler düzgün (üniform) olarak dağılmıştır. • Talaştaki bileşke kuvvet R; takım/talaş ara yüzeyindeki R' kuvvetine eşit, zıt ve aynı doğrultadır (Şekil. 8).

Kuvvetlerin hesaplanmasına geçmeden önce bu hesaplarda kullanılacak olan açılan görelim. Bunlardan ϕ kesme açısı; kesme derinliği t ve talaş kalınlığı t_c nin oranı kullanılarak hesaplanabilir.

$$\phi = \tan^{-1}\left[\frac{(t/t_c)\cos a}{1 - (t/t_c)\sin a}\right] \quad \text{olup} \qquad (14)$$

Burada ot; takım üst eğim açısıdır. Bu ϕ açısında, iş parçasını kesmek için gerekli kesme gerilimi *y* ise:

$$Y = \tan(\phi - a) - \cos\phi \quad \text{dır.} \qquad (15)$$

Şekil. 1 in analizinden kesme düzlemindeki kesme ve normal kuvvetler, ölçülebilir (dinamometre ile) yatay ve dikey kuvvetlerin fonksiyonları olarak yazılabilir.

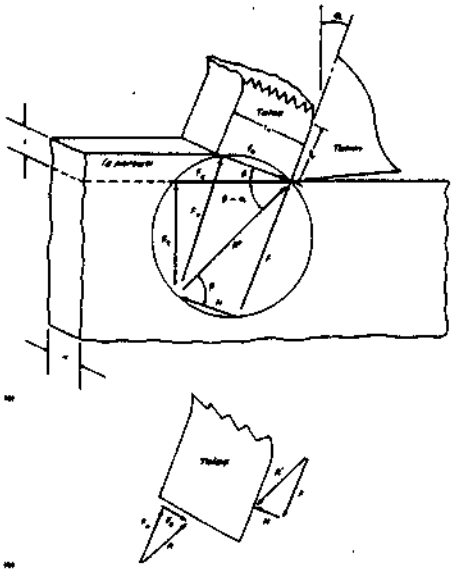
$$F_s = F_c \cos\phi - F, \sin\phi \qquad (16) \qquad\qquad F_N = F_c \sin\phi + F, \cos\phi \qquad (17)$$

Benzer şekilde takım kesme yüzeyindeki kuvvetler de aynı kuvvetlerin ve arka eğim açısı a nm fonksiyonları olarak yazılabilir:

$$F = F_c \sin a + F_t \cos a \qquad (18) \qquad\qquad N = F_c \cos a - F, \sin a \qquad (19)$$

Şekil, lb de görüldüğü gibi talaşa etki eden bileşke kuvvet aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$R = (F_c^2 + F_t^2)^{1/2} \qquad (20) \qquad R = (F_s^2 + F_n^2)^{1/2} \qquad (21) \qquad R = (F^2 + N^2)^{1/2} \qquad (22)$$



Şekil. 8- Ortogonal kesmede geometri (a) ve kuvvetler (b)

Talaş Oluşumunda Harcanan Enerji

Kesme sırasında birim zamanda harcanan toplam enerji (yani güç), kesme hızı V ile kesme kuvveti F_c nin çarpımı olarak kolaylıkla hesaplanabilir. Kesme sırasında bir çok parametre değişebildiğinden harcanan güç birim zamanda kesilen talaş miktarına bölünerek özgül (spesifik) hale getirilir. Buna U dersek:

$$U = \frac{F_c V}{t w V} = \frac{F_c}{t w} \qquad (23) \quad \text{olup}$$

buna özgül enerji adı verilir. Özgül enerji aşağıda sıralanan dört bölüme ayrılabilir. Bunlar

- Birim hacim için kesme enerjisi, U_s
- Birim hacim için sürtünme enerjisi, U_r
- Birim hacim için kinetik (momentum) enerjisi, U_m
- Birim hacim için yüzey enerjisi U_a olup sırayla aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$U_s = \frac{F_s \cdot V_s}{t w V} \qquad (24)$$

$$U_f = \frac{F_f \cdot V}{t w V} \qquad (25)$$

$$U_m = \frac{F V}{t w V} \qquad (26)$$

$$U_a = \frac{T \cdot 2Vw}{t w V} = \frac{2T}{t} \qquad (27)$$

Bu formüllerde Vs kesme hızı $V_s = V \cos \alpha / \cos(\phi - \alpha)$ den, Ve talaş hızı $V_c = V \sin \phi / \cos(\phi - \alpha)$ den, F_m momentum kuvveti $F_m = \rho V^2 t w \sin 4\phi$ den (burada p kesilen malzemenin yoğunluğu, y kesme gerilmesidir) hesaplanır. T kesilen malzemenin yüzey enerjisidir.

Birim hacim kesme enerjisi U_s toplam özgül enerjinin yaklaşık % 75 i kadardır. Sürtünme enerjisi ihmal edilemeyecek oranda, diğerleri (U_m ve U_a) ihmal edilecek oranlarda olduğu için:

$$U \approx U_s + U_f \quad \text{kabul edilir.} \qquad (28)$$

Metal Kesmede Gerilim Dağılımı

Yüksek kesme ve normal gerilimler hem ön kesme düzleminde hem de kesici takımın üst kesme yüzeyinde meydana gelir.

İş Parçasında Gerilmeler

Deneysel sonuçlar göstermiştir ki takım ucundan yeterli uzaklıklarda, kesme sırasında iş parçası gereci elastik deformasyona uğrar. Gereç, takım ucuna doğru yaklaştıkça, Şekil. 9 da görüldüğü gibi basma gerilmeleri, malzemeyi plastik olarak deforme etmeye başlar. Takım ucunun gerisinde ise gerilmeler çekme şeklindedir.

Elastik-plastik sınırların takım ucundan uzaklığı takımlama parametrelerine, kesme parametrelerine ve iş parçası malzemesinin özelliklerine bağlıdır.

Kesme Düzlemindeki Gerilmeler

Bu bölümdeki **Kuvvetler** ayırımında belirtilen kabullere göre kesme düzleminde kesme ve normal kuvvetler üniform olarak dağılmaktadır. Gerçek kesme alanı (A_s), kesme alanına ($A_c = tw$) göre kesme açısı ϕ kadar eğiktir. Bundan dolayı;

$$A_s = \frac{A_c}{\sin 0} = \frac{t w}{\sin \phi} \quad \text{olur.} \qquad (29)$$

Buna göre kesme düzlemindeki gerilmeler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s}$$

$$\tau_s = \frac{F_c \cos\phi - F_t \sin\phi}{tw/\sin(|)}$$

$$T, = \frac{F_c \cos\langle\text{»} \sin \Phi - Fi \sin^2 \phi}{tw} \qquad (30)$$

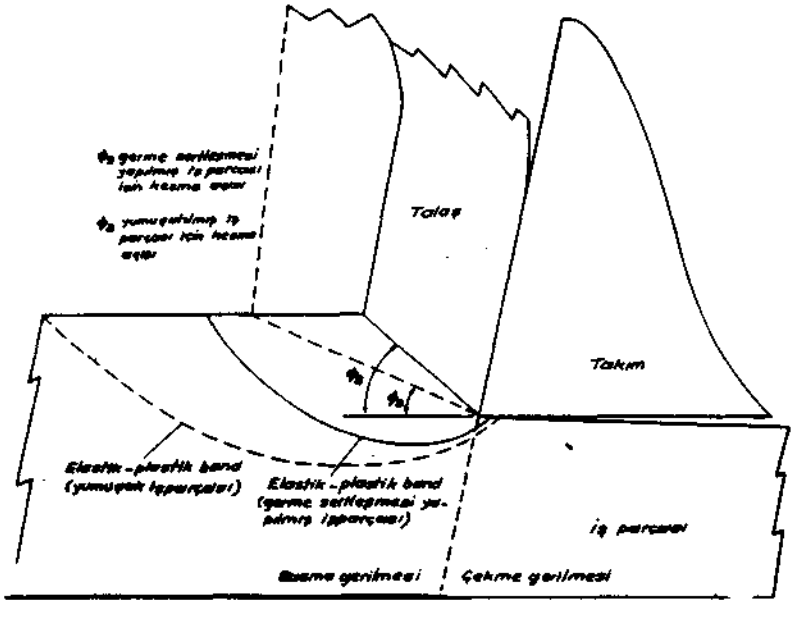
Normal gerilmeler de benzer şekilde hesaplanır:

$$o = \frac{F_.}{A_s}$$

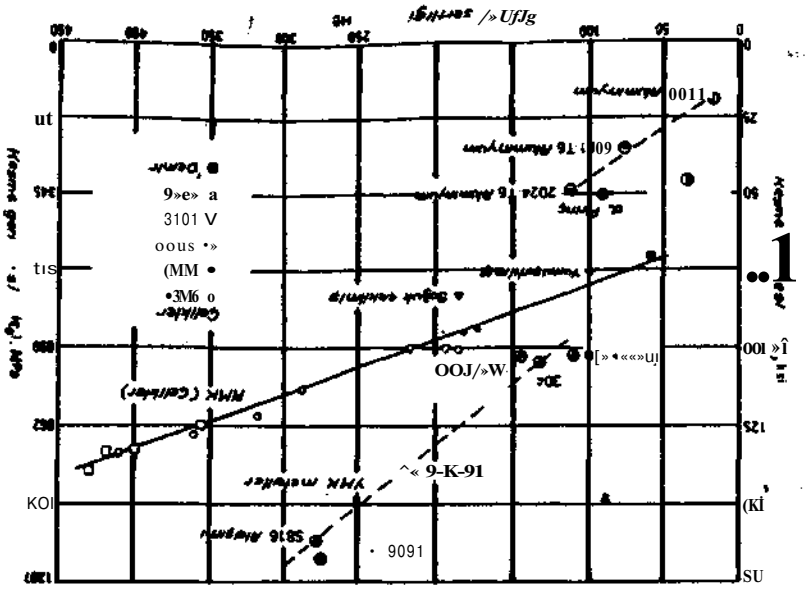
$$0 = \frac{F_c \sin\phi + F_t \cos\phi}{tw/\sin\langle j)}$$

$$\sigma = \frac{F_c \sin^2 \langle\rangle + Fi \sin \$ \cos \phi}{tw} \qquad (31)$$

Şekil. 10 ve Çizelge. 1 de çeşitli gereçlere ilişkin tipik değerler verilmektedir.



Şekil. 9- İş parçasında gerilmeler



Şekil. 10- Demir ve demir dışı metaller için sertliğe göre kesme gerilmesinin değişimi.

Çizelge. 1- Seçilmiş Mühendislik Gereçlerinde Kesme (Kayma) Gerilmeleri ve Özgül Güçler

Gereç	Kesme gerilmesi psi	özgül güç hp/in^3. /min.	Sertlik HB
Magnezyum	28 000	0.17	...
1100 alüminyum alaşımı	16 700	...	...
6061-T6 alüminyum alaşımı	35 722	0.35	...
2024-T4 alüminyum alaşımı	50 000	0.46	...
Bakır	44 850	0.78	...
60-40 pirinç	47 000		
65-35 pirinç	50000		
70-30 pirinç	56 940	0.59	
AISI1020 çelik	61500	0.58 0.67	150-175 176-200
AISI 1112çelik	63 500	0.5	150-175
Type 304 paslanmaz çelik	105 000	1.1-1.9	...
Titanium	173 500	1.9	

Kesici Takım Kesme Yüzeyinde Gerilim

Takım/talaş ara yüzeyinin özelliği, kesme ve normal gerilmelerin dağılımı; kesme işlemi ve kesici takım başarısını anlayabilme açısından kritiktir. Talaşın takım yüzeyini geçişi sırasında meydana gelen yüksek sıcaklıkla birlikteki yüksek gerilmeler, modellemesi güç ikinci bir kesme işlemi yapar.

Kesici takım kesme yüzeyindeki kuvvetlerin ve gerilmelerin klasik analizinde kayma sürtünmesinin bulunduğu ve gerilmelerin üniform olarak dağıldığı kabul edilir. Buna göre bu yüzeydeki sürtünme katsayısı fi, sürtünme kuvveti F nin normal kuvvet N ye oranı ile bulunur.

$$\mu = \frac{F}{N}$$

$$\mu = \frac{F_c \sin a + F, \cos a}{F_c \cos a - F, \sin a} \qquad (32)$$

Talaşın takım kesme yüzeyindeki temas alanı Şekil. 8 de görüldüğü gibi kesme genişliği w ve temas boyu 1 ise

$$A_f = w\,l \qquad \text{olur.} \qquad (33)$$

Talaş/takım ara yüzeyindeki kesme gerilmesi aşağıdaki gibi olur.

$$\tau_f = \frac{F}{A_f}$$

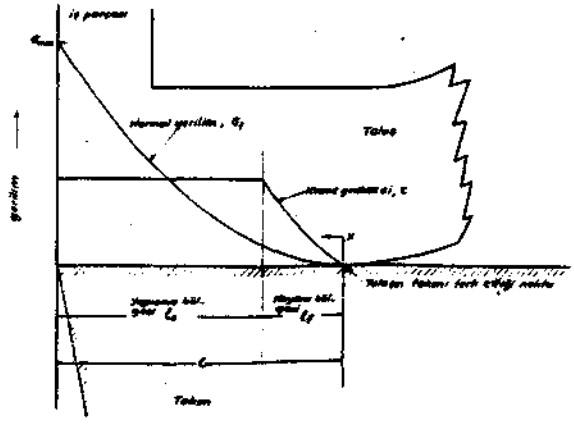
$$\tau_f = \frac{F_c \sin a + F, \cos < x}{\text{UN}} \qquad (34)$$

Benzer şekilde normal gerilmeler de:

$$= \frac{F}{A_f}$$

$$\sigma_f = \frac{F_c \cos a - F_n \cos a}{w\,l} \quad \text{dir.} \qquad (35)$$

Bu modelleme, talaşın takım üzerindeki kayma davranışını gösterme açısından yararlıdır. Ancak, pek çok deney sonucu, gerilme dağılımının üniform olmadığını göstermektedir.



Şekil. 11- Kesme sırasında takım Üzerinde gerilim dağılımının modeli

Deneyler, talaş akışında kesme yüzeyinde iki bölgenin oluştuğunu göstermektedir. Birincisi talaşın takıma yapıştığı yapışma bölgesi, ikincisi de talaşın kaydığı kayma bölgesi. Yapışma bölgesinde, yüksek sıcaklık ve basınç etkisi ile gereç takıma yapışır ve bu bölgede yapışan talaş hareketsizdir.

Normal gerilmenin en büyük değeri o_{malB} takım ucunda meydana gelir. Şekil. 11 de görüldüğü gibi normal gerilme, bu maksimumdan başlayarak talaşın takımı terk ettiği noktada sıfır oluncaya kadar azalan ve uzaklığın üslü bir fonksiyonu olarak dağılır. Kesme gerilmesi ise yine Şekil. 11 de görüldüğü gibi yapışma bölgesinde sabit ve daha sonra üslü bir fonksiyona göre azalacak şekilde dağılır.

Kesme yüzeyindeki normal gerilme aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$°f = °maks\ W?^{l} \qquad (^{36}>$$

Burada o_{makJ} takım ucundaki (x = 1) maksimum normal gerilme, x talaşın takımı terkettiği noktadan uzaklık ve n de üstür. Normal kuvvet, normal gerilmenin takım üzerindeki temas yüzeyi boyunca entegrasyonu ile bulunur.

$$N = \int_0^l \sigma_f \cdot w dx = \frac{\sigma_{max} \cdot w}{l^n} \int_0^l x^n dx = \frac{\sigma_{max} \cdot w \cdot l^{n+1}}{(n+1)\ l^n}$$

$$N = \frac{\sigma_{max} w l}{n+1} \qquad (37)$$

Talaşın kesme yüzeyindeki geçişinde davranışının değişmesi nedeniyle kesme gerilmesinin hesabı çok karmaşıktır. Yapışma bölgesindeki modelleme, kayma bölgesindeki modellemeden farklı olmalıdır. Yapışma bölgesinde ($l_f \lesssim x \lesssim 1$), kesme gerilmesinin değeri t olup sabittir. Kayma bölgesinde, kesme ve normal gerilmeler arasında aşağıdaki ilişki vardır:

$$\tau = \mu\, \sigma_f$$

$$\tau = \mu\, \sigma_{maks}\, (x/l)^n \qquad (38)$$

Özel olarak tüm bölgede kesme gerilmesi aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$\tau_f = \begin{cases} a\,(x/l)^n & 0 < x \lesssim lr \\ \tau & l_f \leq x \leq 1 \end{cases} \qquad (39)$$

Kesme yüzeyindeki sürtünme kuvvetini hesaplamak için (39) denklemini temas yüzeyi boyunca entegre etmek gereklidir.

$$F = \int_{Jo}^{rlf} U.\ Omaks\ (X/1)^n\ W\, dx + \int_{Jlf}^{fi} \tau w dx$$

$$F = \tau\, w\, [l_s + l_f / (l+n)] \qquad (40)$$

Burada l_s yapışma boyudur (yani **1** - l_f dir).

Talaşlı Üretimde Güç Gereksinimi

Her ne kadar, birim hacim talaşın oluşumu için gerekli enerji tanımlamak istense de takım tezgahlan güçleri ile tanımlanır. Birim güç değeri, işleme harcanan gücün (F_c.V), kaldmlan talaşın hacimsal kaldırma hızına bölümü ile bulunur. Bu çıkan değer de 33 000 **e** bölünerek beygir gücüne çevrilir (değerler inç sisteminde olduğu zaman). Bulunan bu güce özgül güç adı verilir. Çizelge. 1 de çeşitli gereçlere ilişkin özgül güç değerleri verilmektedir.

Özgül güç; birim zamanda, birim hacimde malzeme kaldırmak için gerekli güçtür. Bundan dolayı özgül ve toplam güç aşağıdaki gibi ilgilendirilir.

$$P = P_s \cdot MKH \qquad (41)$$

Burada, MKH malzeme kaldırma hızı ya da birim zamanda kaldırılan malzeme miktarı, P_s özgül güç ve P toplam güçtür.

Takım tezgahları; parçalan arasındaki aşınma, sürtünme ve diğer nedenlerden dolayı, kendisine verilen gücü takıma kadar aynen taşıyamaz. Gücün bir bölümü kaybolur. Tezgahın, takıma kadar iletebildiği gücü T| verimi ile taşıdığı kabul edilirse, gerekli gerçek güç

$$P_{\hat{i}} = \frac{P}{\pi} \quad \text{olur.} \qquad (42)$$

Tornalamada Güç Gereksinimi

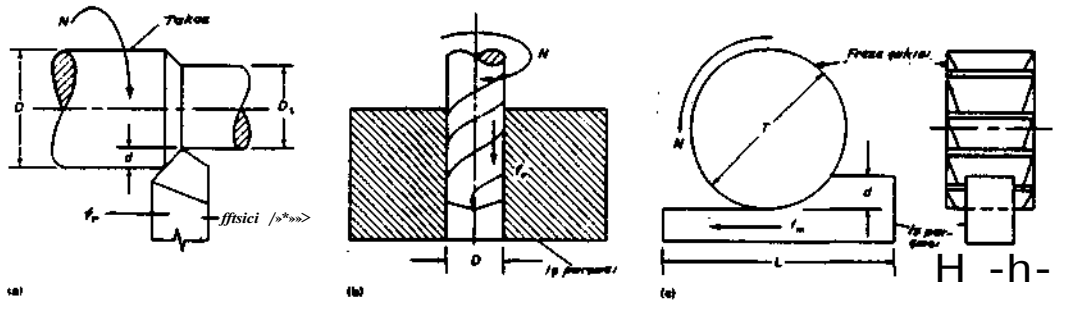
Tornalama güç hesabının yapılabilmesi için MKH yi hesaplayıp denklem (41) de yerine koymak yeterlidir. Şekil. 12a ya dikkat edilirse D çaplı takoz, d paso derinliği (kesme derinliği) ile D çapına torna edilmektedir, takoz N dönme hızı (devir/dakika) ile dönerken takım da f_r ilerleme hızı (mm ya da inch/devir) ile ilerlemektedir.

Bilinen bu değerlere göre MKH;

$$MKH = \frac{7t(E>2 _ D?)}{4} \cdot f_r \cdot N \quad \text{olur.} \qquad (43)$$

Tezgahın verimi de hesaba katılarak tornalamada gerekli güç

$$P_g = P_s \frac{\pi (D^2 - D_i^2)}{4r|} \cdot f_r \cdot N \quad \text{olur.} \qquad (44)$$



Şekil. 12- Tornalama (a), delme (b) ve frezeleme (c) işlemleri.

Delmede Güç Gereksinimi

Şekil. 12b de görüldüğü gibi, D çaplı matkap N devir/dakika dönme hızı ve f_t bir devirdeki birim ilerleme ile delmektedir.

Buna göre;

$$P = P_s(7tD^2/4).f_r.N \qquad \text{olur} \qquad (45)$$

Frezelemede Güç Gereksinimi

Şekil. 12c deki frezeleme işleminde kesici çapı D, diş sayısı T, kesicinin dönme hızı N devir/dakikadır. Kesme derinliği d, genişliği w ve ilerleme f_m mm ya da inch/dakikadır. Tezgahın verimi T| hesaba katılarak yukarıdaki parametrelere göre gerekli güç;

$$P_g = \frac{P_s.\ d.w.f_m}{\eta} \qquad \textbf{olur.} \qquad (46)$$

Ancak, el kitaplarında f_m yerine beher diş için ilerleme f_t verildiğinden bu formül, $f_m = f_t.\ T.\ N$ eşitliğinden:

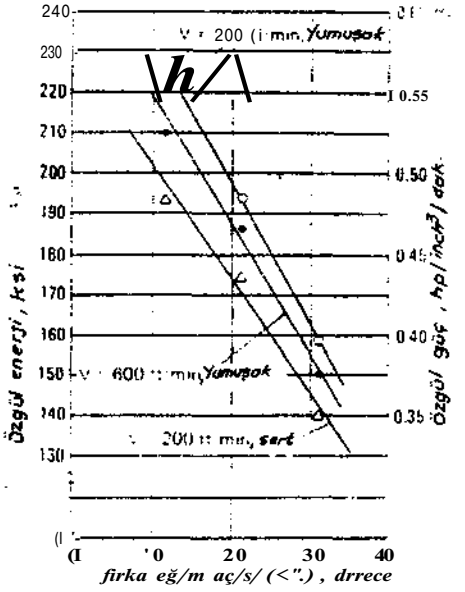
$$P_g = \frac{P_s.dwf_t\ T.N}{T)} \qquad \text{şekline girer.} \qquad (47)$$

özgül Gücü Etkileyen Faktörler

Özgül güç, gereç ile ilgili bir özellik olup, kesme parametreleri, iş parçası gerecinin germe sertleşmesi görmüş olması ve kesici takım gereci ve geometrisi ile oldukça değişebilir.

Kesme hızının, kesme yüzeyindeki sürtünme katsayısının hıza bağlı olarak değişmesinden dolayı, özgül güce etkisi büyüktür. Hızın artması sürtünmeyi azaltır (bir noktaya kadar) böylece özgül güç de azalır.

Kesici takım gereci de aynı şekilde özgül gücü etkiler. Örneğin, benzer şartlar altında takma uçlu kesicilerde (karbür) özgül güç, HSS (yüksek hız çeliklerine göre daha düşüktür.



Şekil. 13- Pirinç gerecin özgül gücünün; hız, takım geometrisi ve sertlikle değişimi.

Takım geometrisinin etkisi olarak daha çok kesme yüzeyi açısını görürüz. Şekil. 13 de de görüldüğü gibi, bu açı arttıkça özgül güç azalmaktadır. Öte yandan, uç radyusu büyüdükçe özgül gücün arttığı görülmüştür.

Araştırmalar göstermiştir ki alüminyum, pirinç ya da bakır gibi yumuşak malzemeler, işlemden önce gördürdükleri germe sertleşmesine bağlı olarak farklı işleme sırasında farklı davranış gösterirler. Bu gereçler; yumuşak halde takıma büyük bir yapışma eğilimi gösterirler. Bu nedenle yumuşak gereçte kesme kuvveti ve özgül güç, sertleştirilmiş aynı malzemeye göre daha büyüktür.

4. TAKIM AŞINMASI VE TAKIM ÖMRÜ

Takım aşınması; aşınan yüzeylerdeki normal kuvvetlerin yüksek olması ve kesme talaşı ve iş parçasının, bu kuvvetleri aşınan yüzeyler üzerinde kayarak uygulanması sonucu oluşur.

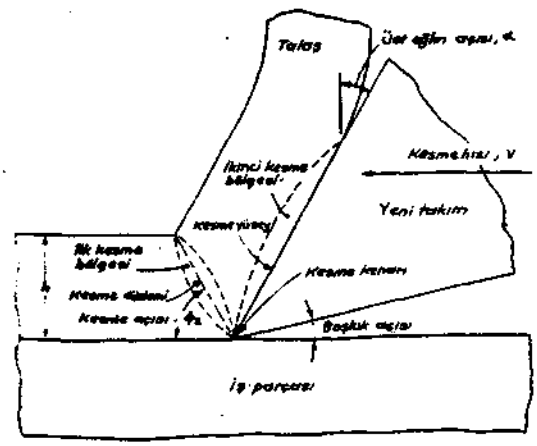
Talaşlı üretim işlemlerini başarılı bir şekilde yürütebilmeleri için üretim mühendis ve yöneticileri aşağıdaki sistemi kurmalıdırlar:

- Doğru takım tezgahı ve kesici takımın seçilmesi,
- Takım dağıtım sistemi, istenen geometride kaliteli takıma sahip olunmasını sağlar,
- Kesme hızı ve ilerleme hızının doğru olarak belirlenmesi,
- Kesici takımın durumunu ve işlediği yüzeyin kalitesini kontrol etmek için anında ya da sonradan incelemek için bir kayıt sistemi kurulmalıdır,
- Takım tezgahının devamlı çalışmasını sağlamak için bakım-onanm kuralları (prosedürü) konulmalıdır.
- tşleme sisteminin ekonomikliğini objektif olarak görebilmek için işlemeler ve takım kullanımı muhasebeleştirilmelidir.

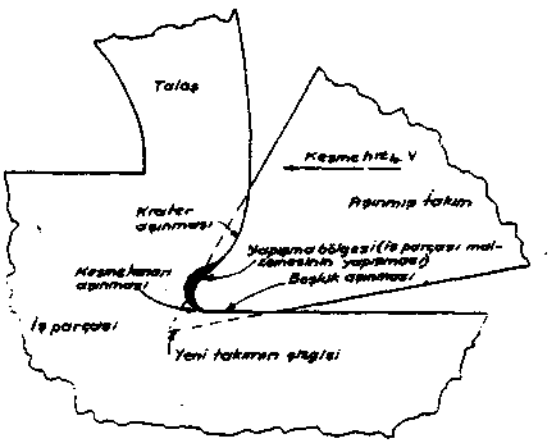
Böyle bir sistem, takımın ne zaman değiştirilmesi gerektiği hakkında gerekli bilgiyi sağlar.

Aşınma Koşulları

Kesici takımın aşınması, kesme kenarı boyunca ve bitişik yüzeyde olur. Şekil. 14 de bir kesme işleminde, kesme yüzeyi ve boşluk yüzeylerinin kesimlerinin kesme kenarını oluşturduğu kesit görülmektedir. Şekil. 15 de ise Şekil. 14 de görülen keskin ucun nasıl aşındığı görülmektedir. Şekil. 15 de talaşın sürtünmesi ile oluşan krater aşınma, kesme kenarındaki aşınma ve onun, hemen yanındaki boşluk yüzeyinde oluşturduğu aşınma görülmektedir. Şekil. 16 tornalama kesici ucunda, parmak frezede, form takımda ve matkaptaki karakteristik aşınmalar görülmektedir.



Şekil. 14- Talaş, iş parçası ve takım ilişkisi



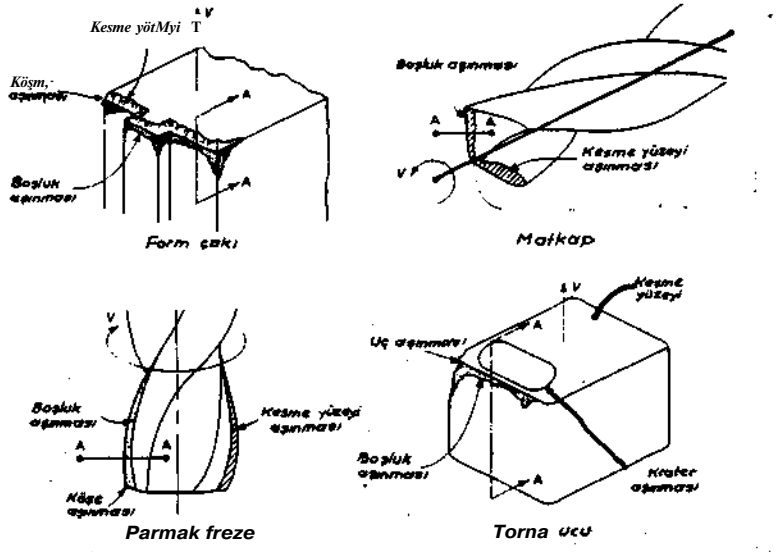
Şekil. 15- Tipik aşınma yüzeyleri

Bu şekiller, buradaki farklı tip takımlarda geometrinin aşınma ile nasıl değiştiğini göstermektedirler. Boşluk yüzeyi ucundaki aşınma, parmak frezenin çapını azalttığı gibi torna takımında da kesme derinliğini azaltır. Bunlar da parçada tolerans dışı ölçülere neden olur. Aynca, kesme yüzeyi ile boşluk yüzeyinin meydana getirdiği açının aşınmadan dolayı azalması, ucun aniden kırılmasına neden olur.

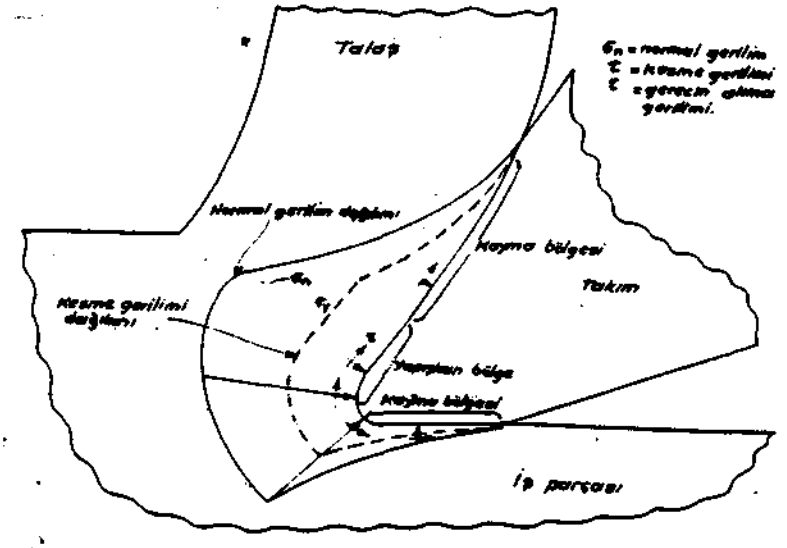
Aşınan bu yüzeylerin yeri ve boyutu, kesici takımın faydalı ömrünün belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Şekil. 17, aşınma yüzeylerindeki normal ve kesme gerilimlerinin yaklaşık dağılımını göstermektedir.

İşleme verimliliğini arttırmanın bir yolu, hacimsel talaş kaldırma hızını arttırmaktır. Hacimsel talaş kaldırma hızı; takımın iş parçası ile temas ettiği yüzey ile kesme hızının çarpımına eşittir. Bundan dolayı bir tercih hızı arttırmaktır. Bu verim kazancı, yüksek kesme hızının neden olduğu takım aşınması ile dengelenmelidir.

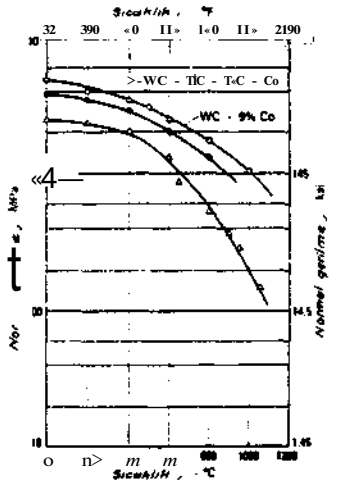


Şekil. 16- Takım hareketi V den dolayı genel **takımlardaki aşınma** yüzeyleri

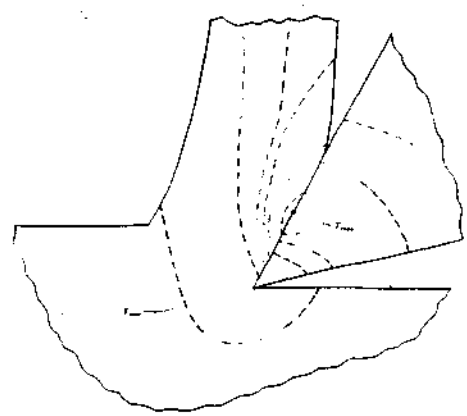


Şekil. 17- Aşınma yüzeyi gerilimleri

Aşınma bölgelerinde ortaya çıkan ısı ile uzaklaştırılan ısı hızlan arasındaki fark, bu bölgelerdeki gereç sıcaklığını belirler. Meydana gelen sıcaklık, takımın en önemli özelliklerini oluşturan sertlik, tokluk ve kimyasal stabiliteyi etkiler. Şekil. 18 de üç genel takım malzemesinin akma dayanımının sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Şekil. 19 ise kesici takım ve iş parçası üzerindeki sıcaklık dağılımın göstermektedir.



Şekil. 18- Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kesici ^ ı m gereçlerinin akma dayanımı. En alt e g n H S S ^ t e k u t a e g n de tungsten ir içindir

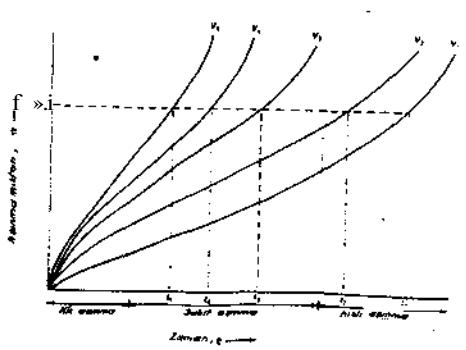


Şeki' ,19' Kesme bölgesinde kesid tekim ve iş parçasında **genelleştirilmiş sıcaklık dağılım,**

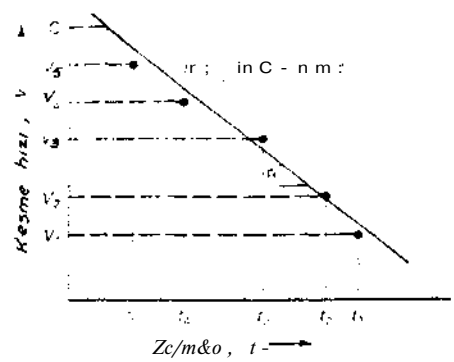
Üretim yönetiminde, bilimsel uygulamalardan en eskilerinden biri F.W. Taylor tarafından bulunmuştur. Taylor, takım aşınmasının kesme hızına bağlı olduğunu görerek ve takım ömür testlerinden elde edilen bilgileri kullanarak aşağıdaki denklemi bulmuştur.

$$V.T^{n} = C \qquad (48)$$

Taylor takım formülü olarak bilinen bu denklemde V kesme hızını, T takım ömrünü gösterir, n üssü ve C sabiti ise kesici takım ömür testlerinden bulunan sabit sayılardır. Bu sabit sayılar; kesici takımları, bir *takım ömür ölçütü* kullanarak farklı kesme hızlannda ömür testi uygulamak suretiyle elde edilirler.



Şekil. 20- Farklı kesme hızları için takım aşınma eğrileri



Şekil. 21- Şekil. 20 deki bilgiler kullanılarak logaritmik skalada Taylor takım ömrü modelinin gösterimi

5. İŞLEMEDE EKONOMİ

Bir talaş kaldırma işleminde amaç mümkün olan en düşük maliyette ya da en düşük zamanda, gerekli istekleri (boyutsal toleranslar, yüzey karakteristikleri, fiziksel özellik gereksinimleri, vb.) karşılayan parçalar üretmektir. Bu amaca varabilmek için maliyetlerin ve işlem koşullarının çok iyi analiz edilmesi gereklidir. Bir toplam analiz, aşağıdaki faktörleri de gözönüne alan kararlan içermelidir.

- İstenilen biçim, ölçü, yüzey kalitesi, tolerans, vb. sağlayacak gerekli işleme işlemleri ve bunun sıralaması seçiminin yapılması.
- Güç, sağlamlık, hız ve ilerleme de dikkate alınarak işi gerçekleştirmek için uygun takım tezgahınınn seçimi.
- İş parçası gereci, sadece tasan m istekleri temel alınarak seçilmemeli, fakat malzemenin üretim karakteristikleri (işlenebiliriik gibi) de gözönünde bulundurulmalıdır.
- Kesici takım gereci ve geometrisi çok iyi seçilmelidir.
- Doğru kesme sıvısı ve uygulama yöntemi bulunmalıdır.
- Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği (paso) gibi uygulanmakta olan işleme değişkenleri belirlenmelidir.
- Tutma ve bağlama düzenleri, operatör yöntemleri, gereç taşıma esasları, muayene, vb. gibi diğer etmenler gözönünde bulundurulmalıdır.

Bu faktörlerin tümünün birden gözönüne alınması, işlemin optimal tasarımını güçleştirir. Optimum çözüm, bu faktörlerin ancak bir bölümünün gözönünde bulundurulması ile bulunabilir.

İşlemin ekonomik analizinde genellikle iki ölçüt kullanılır. Bunlar:

1. Parça başına minimum maliyet
2. Maksimum üretim hızı ya da parça başına minimum zaman

Kullanılacak ölçütün seçimi; rekabete dayanma, işleme konulacak siparişleri beklemesi, kontrat gerekleri, üretilecek parça sayısı ve işletmenin kapasitesi gibi birçok etmene bağımlı olan yönetim kararlarına bağlıdır.

Maliyet Faktörleri

Bütün işleme işlemleri aşağıda tarif edilen en fazla altı faktörü içerir.

/. Malzeme maliyeti, k_r (TL/parça): Birim parça başına düşen ham malzemenin maliyeti.

2. Hazırlama maliyeti, k_s (TL): İş istasyonunun, fiili çalışmaya geçmesi için yapılan hazırlığın maliyetidir. Şayet direkt işçilik maliyeti c_d (TL/saat) ve hazırlama zamanı t_s (saat) ise hazırlama maliyeti aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$k_s = c_d t_t \qquad (49)$$

3. İşleme maliyeti, k_m *(TL/parça):* Fiili işleme zamanının maliyetidir. Şayet gerekli işleme zamanı t_m (saat) ise;

$$k_m = c_d t_{ra} \quad \text{olur.} \qquad (50)$$

4. Takım değiştirme maliyeti, k_c (TL/parça): Aşınmış takımın değiştirme maliyetidir. Şayet, takımı değiştirmek ve ayarlamak için harcanan zaman t_c (saat) ise takım değiştirme maliyeti aşağıdaki gibi bulunur.

$$k_c = t_c \cdot c_d \left(\frac{t_m}{T}\right) \qquad (51)$$

ki burada T takım ömrü (saat), t_m işleme zamanı (saat) $\left(\frac{t_m}{T}\right)$ beher iş parçası için gerekli kesme kenarı sayısıdır.

5. Genel yapım giderleri maliyeti, k_o (TL/parça): Amortisman ve genel yönetim giderleri gibi maliyet faktörlerini içeren dolaylı maliyettir. Parça başına genel yapım giderleri maliyeti, birim parça için üretim zamanı TV (saat/parça) ile birim zaman için genel yapım giderleri maliyeti c, (TL/saat) nin çarpımı ile bulunur.

$$k_{,,} = c_u TT \qquad (52)$$

Burada, T_T (saat/parça) bir parçanın işlenmesi için gerekli toplam zamandır. T_T toplam zamanı; t_s hazırlama zamanı, t_m işleme zamanı ve t_c takım değiştirme zamanını ifade eder, ya da

$$T_T = t_s + t_m + t_c \left(\frac{t_m}{T}\right) \quad \text{olur.} \qquad (53)$$

Böylece, birim parçanın genel yapım giderleri maliyeti:

$$k_o = c_o \left[t_s + t_m + t_c \left(\frac{t_m}{T}\right)\right] \quad \text{olur.} \qquad (54)$$

6. Takım maliyeti, k_t(TL/parça): Beher parça için takım maliyetidir. Şayet c, bir kesme kenarı için takım maliyetini gösterirse, beher parça için takım maliyeti

$$k_t = c_t \left(\frac{t_m}{T}\right) \quad \textbf{olur.} \qquad \textbf{(55)}$$

Değiştirilebilir uçlar (insört) için,

$$_{C|} = ÇL \quad \text{olur.} \qquad (56)$$

Burada; C, takma ucun ilk maliyeti, N_c takma uçtaki kullanılabilir kesme kenarı sayısıdır.

Bilenebilir takımlar için;

$$C_t = \frac{C, + N, (C^)}{1 + N_g} \qquad \textbf{(57)}$$

Burada N_g mümkün olan bilemenin sayısı, C_g (TL/saat) bileme birim zamanının maliyeti, t_g (saat) bileme zamanıdır.

Birim parçanın toplam maliyeti C,. ise yukarıda sayılan ayn ayn maliyetlerin toplamıdır. Yani;

$$C_T = k_r + c_ı\ t_s + o\ t™ + c_ı\ tc\ (^) + c\ f^) + c, I\ t_s + Un + tc\ (î*-)l \quad \text{dir.} \qquad (58)$$

Minimum Maliyet tçin Kesme Hızı

Parça başına minimum maliyeti sağlayacak kesme hızı, toplam maliyet denklemini kesme hızına göre ifade edip türevini aldıktan sonra sıfıra eşitlemekle elde edilir.

Bu işlemlerin yapılması sonucu aşağıdaki denklem elde edilir. Denklemde görüldüğü gibi V_{min}, hazırlama ve malzeme maliyetlerinden bağımsızdır.

$$V_{min} = C \left[\frac{K}{(Kt_c + c_t)\left(\frac{1}{n} - 1\right)}\right]^n \qquad (59)$$

Burada C, takım ömrü denklemindeki (V T" = C) C sabiti, n yine aynı denklemdeki n üssü ve K ise işçilik ve genel yapım giderlerinin birim maliyetidir. Yani $K = c_d + c_o$ dır.

Minimum maliyet için takım ömrü T_{min} aşağıdaki formülden bulunur:

$$T_{min} = \left(\frac{1}{V_{min}}\right)^{S} \qquad (60)$$

Minimum maliyet koşullan altında toplam maliyet C_{Tmin} aşağıdaki formülden bulunur:

$$C_{Tmin} = Kt_s + Kt_m + K\,t\left(\frac{t_{m\ (min)}}{T_{min}}\right) + C\left(\frac{t_{m\ (miti)}}{T_{min}}\right) \qquad (61)$$

$t_{m(min)}$ değeri; minimum maliyet koşullarındaki işleme zamanıdır. Yapılan işlemenin tipine bağlı olup örneğin tornalama için

$$t_{m\ (min)} = \frac{\pi dL}{12V_{Bin}.f} \quad \text{dir.} \qquad (62)$$

Burada d iş parçası çapı (mm ya da inch), L tornalama boyu (mm ya da inch), f ilerleme (mm / dak ya da inch/dak.)dir.

Genelde t_m aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$t_m = \frac{\text{işleme boyu}}{\text{ilerleme}} \qquad (63)$$

Maksimum Üretim Hızı

Bazı durumlarda üretim zamanını en aza indirmek ya da üretim hızını en yükseğe çıkartmak, maliyetin en aza indirilmesi için düşünülebilir. Daha önce belirtildiği gibi, beher parça için toplam üretim zamanı T_T aşağıdaki gibi yazılır:

$$T_T = t_s + t_m + t_c \qquad \text{(eşitlik 53)}$$

Bu denklemdeki terimleri kesme hızı cinsinden yazıp minimum kesme zamanına göre çözersek;

$$V_{maks} = \frac{C}{RHf} \qquad (64)$$

$$T_{maks} = \left(\frac{C}{V_{mak.s}}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{elde edilir} \qquad (65)$$

Burada V_{maks}, maksimum üretim hızı için kesme hızı, T_{maks} maksimum üretim hızı için takım ömrüdür.

Ekonomik Modellere İlişkin Uygulamalar

Yukanda anlatılan ekonomik modelleri açıklayabilmek için aşağıdaki örneği çözelim.

Kesme derinliği 5 mm, ilerlemesi 0.15 mm/devir olan tornalama işlemindeki işlenebilirlik test sonuçlan Çizelge. 2 de verilmiştir. İşleme boyu 330 mm, parça çapı 178 mm dir. Beher parça için yükleme/boşaltma ve takım ayarlama zamanı içinde, hazırlama zamanı 10 dakikadır. Maliyetler ve uygun çalışma zamanlan Çizelge. 3 ve Çizelge. 4 de verilmiştir.

Bulunması istenilen, minimum maliyet ve maksimum üretim hızı için kesme hızlan ve herbir durum için parça başına maliyetlerdir.

Çizelge. 2- Ekonomik Modellerin Uygulaması: İşlenebilirlik Testi Sonuçlan. Örnek

Takım tipi	Kesme hızı fpm	m/dak.	Takım ömrü dak.
HSS	136	**41.4**	30
	111	33.8	**90**
Karbür	199	60.6	30
	148	**45.1**	**90**

Çizelge. 3- Ekonomik Modellerin Uygulaması: Zaman ve Maliyet Bilgileri. Örnek

Madde	HSS	Karbür
Orijinal takım maliyeti (TL)	58 500	115000
Bileme zaman (dak)	12	-
Takım değiştirme zamanı (dak)	4	3
Kenar sayısı (adet)	1	4/uç
Mümkün bileme sayısı (adet)	15	-

Çizelge. 4- Ekonomik Modellerin Uygulaması. İşçilik Ücretleri - Örnek

Madde	TL/saat
Tezgah operatörü ücreti (c_d)	87 750
Atölye genel yapım giderleri (c_o)	221 000
Bileme operatörü ücreti	94 250
Taşlama bl. gen. yapım giderleri	195 000

Takım Ömrü Denklemleri

HSS

$$\text{İn}(V,) + n\,\text{İn}(T,) = \text{İn}(V_2) + n\,\text{İn}(T_2) \quad (\text{İn e tabanına göre doğal logaritma})$$

$$\text{İn}(41.4) + n\ \text{İn}(30) = \text{in}(33.8) + n\,\text{İn}(90)$$

$$n = \frac{\text{İn}(41.4) - \text{İn}(33.8)}{\text{İn}(90) - \text{İn}(30)}$$

$$n = 1.88$$

$VT^n = C$ olduğundan $C = 41.4\,(30)^{1.811} = 78.46$ bulunur. Buradan,

takım ömrü denklemi:

$$V.T^{1.88} = 78.46 \text{ olur.}$$

Karbür

$$\text{İn}(60) + n\,\text{İn}(30) = \text{İn}(45.1) + n\,\text{İn}(90)$$

$$n = \frac{\text{İn}(60) - \text{İn}(45.1)}{\text{İn}(90) - \text{İn}(30)}$$

n = 0.27 C = 60.6 (30)$^{0.27}$ =151.81 bulunur. Buradan;

takım ömrü denklemi:

$$VT^{0.27} = 151.81 \text{ olur.}$$

Genel işçilik ve genel yapım giderleri maliyeti: *Tornalama*

$$K = \frac{Cd + c»}{60} = \frac{87750 + 221000}{60} = 5145 \text{ TL / dak.}$$

Genel işçilik ve genel yapım giderleri maliyeti: *Bileme*

$$c_g = \frac{94250 + 195000}{60} = 4821 \text{ TL/dak.}$$

Takım maliyeti::

HSS

$$c_t = \frac{C_1 + N_g (C_e tg)}{N_g + 1}$$

$$c_t = \frac{58.500 + 15(4821 \times 12)}{15 + 1} = 57.892 \text{ TL / kenar}$$

Karbür

$$c_t = \frac{C_t}{N_c} = \frac{115\,000}{4} = 28\,750 \text{ TL/kenar}$$

Minimum parça maliyeti için kesme hızı:

HSS

$$V_{min} = C \left[\frac{K}{(K_1 + c_t)\left(\frac{1}{n} - 1\right)} \right]^n$$

$$V_{min} = 78.46 \left[\frac{5145}{(5145 \times 4 + 57\,892)\left(\frac{1}{0.188} - 1\right)} \right]^{0.188}$$

$$V_{min} = 35.65 \text{ m/dak}$$

Karbür

$$V_{min} = 151.81 \left[\frac{5145}{(5145 \times 3 + 28750)\left(\frac{1}{0.27} - 1\right)} \right]^{0.27}$$

$$V_{min} = 65.22 \text{ m/dak.}$$

Parpa *başına maliyet* - minimum maliyet koşullan:

$$Ormin = K t_s + K t_m + K t_c \left(\frac{t_m}{T_{min}}\right) + c_t \left(\frac{t_m}{T_{nta}}\right)$$

HSS

$$T_{min} = \frac{C^{1/n}}{V_{min}} = \frac{7846^{\frac{1}{0.188}}}{35.65} = 66 \text{ dak/kenar}$$

$$t_m = \frac{\pi d L}{1000 V_{min}.f} = \frac{\pi \times 178 \times 330}{1000 \times 35.65 \times 0.15} = 34 \text{ dak/parça}$$

$$C_{Tmm} = 5145 \times 10 + 5145 \times 34 + 5145 \times A\dot{I}^{-}) + 57\,892 \left(\frac{34}{166}\right)$$
V66/

$$^{c}rmin = {}^{266805} \text{ TL/parça}$$

Karbür

$$T_{min} = \left(\frac{151.81 \sqrt{i27}}{\backslash\ 65.22/}\right)^{\frac{1}{}} = 23 \text{ dak/kenar}$$

$$t_m = \frac{7t(178)\ (330)}{1000 \times (65.22) \times (0.15)} = {}^{10\,c}18.5 \text{ dak/parça}$$

$$C_{Tn,in} = 5145 \times 10 + 5145 \times 18.5 + 5145 \times 3\ (i^{.}) + 28750 \left(\frac{18.5}{v\ 23}\right)$$
V 23 /

$$C_{Train} = 182\ 172TI7 \text{parça}$$

Sonuç olarak minimum maliyet için karbür kesici takımın daha ucuz olduğu ortaya çıkar.

Maksimum üretim hızı için kesme hızı:

$$V_{\cdot} - \frac{C}{\left[\quad - 1\right]^{n}}$$

HSS

$$V_{maks} = \frac{78.46}{\left[4\left(\frac{}{0.188} - 1\right)\right]^{0.188}} = 46 \text{ m / dak.}$$

Karbür

$$V_{maks} = \frac{151.81}{\left[3\left(\frac{1}{0.27} - 1\right)\right]^{0.27}} = 86 \text{ m/dak,}$$

Maksimum üretim hızında parça maliyeti

$$C_{Tmaks} = K t_s + K t_m + K t_c \left(\frac{t_m}{T_{maks}}\right) + c_t \left(\frac{t_m}{T_{maks}}\right)$$

HSS

$$T_{Tmaks} = \left(\frac{1}{Wm.J \quad V\ 46\ /}\right)^{\frac{1}{}} = 17.2 \text{ dak / kenar}$$

$$t_m = \frac{5 İ L}{1000 V_{maks}.f} = \frac{7C \times 178 \times 330}{1000 \times 46 \times 0.15} = 26{,}3 \text{ dak/parça}$$

$$C_t maks = 5145 \times 10 + 5145 \times 26.3 + 5145 \times 4 \underset{U7.2/}{(2\hat{}1)} + 57\,892 \underset{V17.2/}{(2ÂJ]}$$

Ctmaks = 306 752 TL/parça

Karbür

$$T_{maks} = \left(\cdot \quad \frac{1}{86}\right)^{\hat{}""} = 8.1 \text{ dak/kenar}$$

$$t_m = \frac{TC \times 178 \times 330}{1000 \times 86 \times 0.15} = 14 \text{ dak/parça}$$

$$C_{Tmaks} = 5145 \times 10 + 5145 \times 14 + 5145 \times 3 \underset{V8.1/}{(M\text{-}â\text{-})} + 28\,750 \underset{V8.1}{(\text{-}L3\text{-})}$$

0 ^ , = 199850 Tl/parça

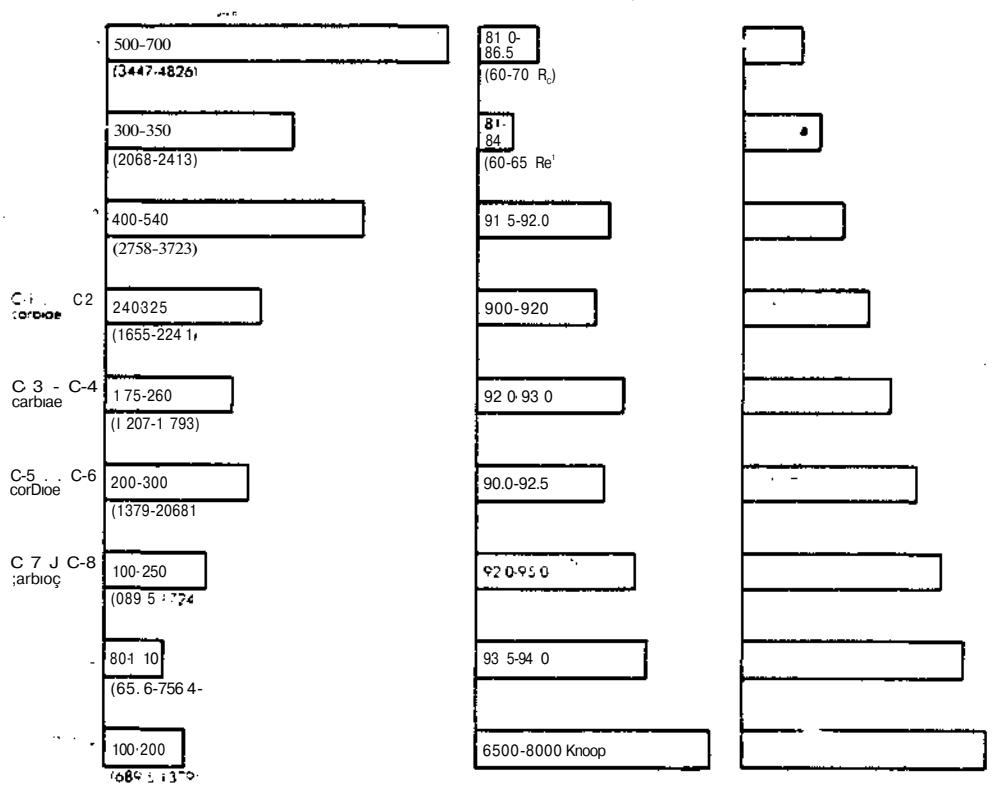
Sonuç olarak maksimum üretim hızında parça maliyetinin karbür kesici ile daha ucuz olduğu görülmektedir.

6. KESİCİ TAKIM GEREÇLERİ

Herhangi bir işleme işlemini etkileyen birçok değişkenden en kritik olan bir tanesi kesici takımdır. Kesici takımın geometrisi, ilerlemeler, hızlar, takım tutucuları ve kesme sıvıları daha önce anlatılmış ya da anlatılacaktır. Bu bölümde halen kullanılmakta olan kesici takım gereçleri anlatılacaktır.

Kesici takım gerecinin seçimini etkileyen faktörler şunlardır:

- İş parçası malzemesinin sertliği ve durumu.
- Gerçekleştirilecek işlemler: Optimum takım seçimi, gerekli işlem sayısını azaltır.
- Kaldırılacak talaş miktarı.
- Hassasiyet ve yüzey kalitesi.
- Takım ve iş parçasının bağlanma sağlamlığı (rijiditesi).



Şekil. 22- Takım gereçlerinin özelliklerinin karşılaştırılması

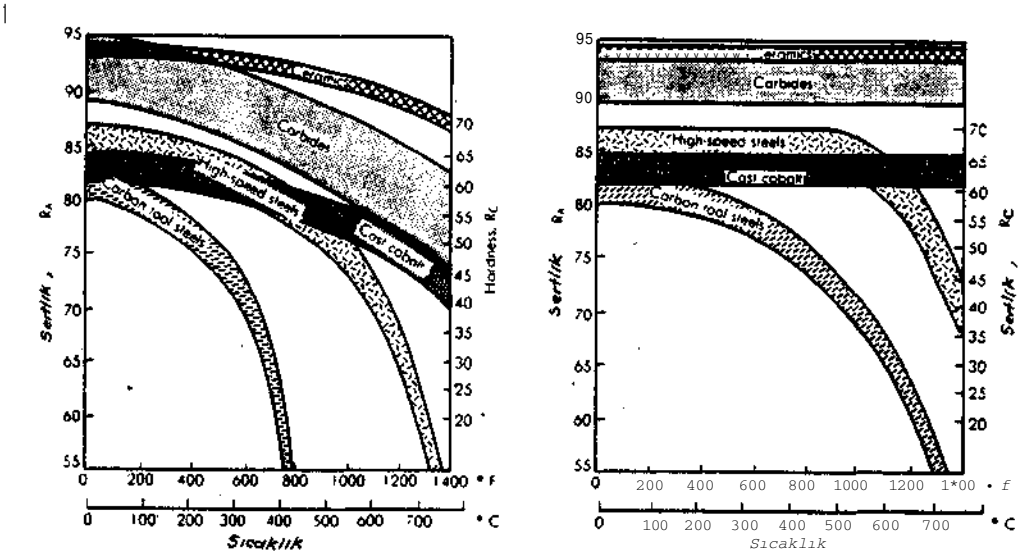
- Hız ve ilerleme seçimini etkileyen üretim istekleri.
- Kesme kuvvetleri ve sıcaklıklar gibi işlem koşulları.
- Takım başlangıç maliyeti, bileme maliyeti, takım ömrü, yeniden bileme ve değiştirme sıklığı ve işçilik maliyeti içinde işlenmiş parça başına takım maliyeti.

Kesici takım gerecinin uygun seçimi çok büyük yararlar sağlar. Bunlar; verimliliğin artması., kalitenin iyileştirilmesi ve maliyetin azaltılmasıdır.

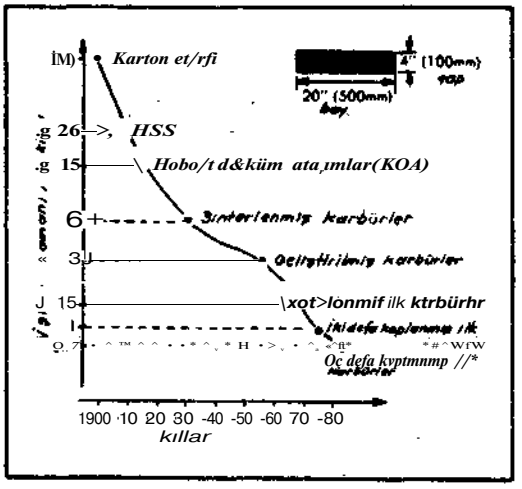
Herhangi bir kesici takım gerecinden beklenen en önemli özellikler; aşınma direncinin, dayanıklılığının ve yüksek sıcaklıktaki sertliğinin iyi olmasıdır.

Şekil. 22 de çeşitli kesici takım gereçlerinin; mekanik şok direnci, aşınma direnci ve krater oluşum direnci karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Şekil. 23 de ise yine çeşitli tipteki kesici takım gereçlerinin sıcaklığa bağlı yüksek sıcaklık sertliği ve geri kazanım (recovery) sertliği görülmektedir.

Kesici takım gereçlerinin tarihsel gelişimi ise şöyle özetlenebilir. 1900 yılından önce tüm işlemelerde basit karbonlu çelikler kullanılmakta idi. Daha sonraki gelişmeler ise sırayla 1903 yılında yüksek hız çelikleri (HSS), 1915 de kobaltlı döküm çelikler, 1930 da tungsten karbür, 1940 da alaşımlı karbür, 1955 de seramikler, 1957 de yapay elmaslar, 1970 de kaplanmış karbürler ve daha sonra da kübik bor nitratlar (CBN)dir. İlginç olması dolayısıyla Sandvik Coromant firması tarafından yapılmış bir araştırma sonucu, 100 mm çapın-



Şekil. 23- Çeşitli tiplerdeki kesici takım gereçlerinin yüksek sıcaklık sertliği (soldaki) ve recovery sertliği (sağdaki).



Şekil. 24- Çeşitli malzemelerden yapılmış kesici takımlarla işlenmiş bir metal çubuğun karşılaştırmalı işleme zamanı

da 500 mm boyunda bir silindirik parçanın, tarihsel gelişim içinde tornalama zamanının nasıl kısaldığı Şekil. 24 de gösterilmektedir.

Şimdi sırayla bu kesici takım gereçlerini tanıyalım.

Çizelge. 5- Karbonlu Takım Çeliklerinin Kimyasal Bileşimleri

Gereç No	Simge	Bileşim					
		C %	Si %	Mn %	P %	S %	Diğerleri %
1.1520	C7OW1	0.65-0.74	0.10-0.25	0.10-0.25	0.020	0.020	--
1.1525	C80W1	0.75-0.85	0.10-025	0.10-0.25	0.020	0.020	--
1.1545	C105V/1	1.00-1.10	0.10-0.25	0.10-0.25	0.020	0.020	--
1.1620	C70W2	0.65-0.74	0.10-0.30	0.10-0.35	0.030	0.030	--
1.1625	C80W2	0.75-0.85	0.10-0.30	0.10-0.35	0.030	0.030	--
1.1645	C105W2	1.00-1.10	0.10-0.30	0.10-0.35	0.030	0.030	--
1.1654	C110W	1.00-1.20	0.10-0.30	0.10-0.35	0.030	0.030	--
1.1663	C125W	1.20-1.35	0.10-030	0.10-0.35	0.030	0.030	--
1.1673	C135W	1.30-145	0.10-0.30	0.10-0.35	0.030	0.030	--
1.1730	C45W	0.40-0.50	0.15-0.40	0.60-0.80	0.035	0.035	--
1.1740	C60W	0.55-0.65	0.15-0.40	0.60-0.80	0.035	0.035	--
1.1744	C67W	0.64-0.72	0.15-0.40	0.60-0.80	0.035	0.035	--
1.1750	C75W	0.72-0.82	0.15-0.40	0.60-0.80	0.035	0.035	--
1.1820	C55W	0.50-0.58	0.15	0.30-0.50	0.030	0.030	--
1.1830	C85W	0.80-090	0.25-0.40	0.50-0.70	0.025	0.020	--

Karbon ve Düşük Alaşımlı Takım Çelikleri

1900 yılından önce tüm işlemeler, ya basit karbonlu ya da düşük alaşımlı çelikten yapılmış kesici takımlarla yapılıyordu. Bu çeliklerin avantajları; yumuşak halde iken kolaylıkla işlenebilir olmaları ve uygun ısıl işlemle nisbeten yüksek yüzey sertliği ve orta seviyede çekirdek sağlamlığıdır.

Çizelge. 6- Karbonlu Çeliklerin Standart Karşılıktan

T.S.E.	Federal Alman Standart No. DİN	Fransız AFNOR	İngiliz B.S.	U.S.A. AISI/SAE
	1.1525	Y,90,Y, 80	--	W108
	1.1545	Y, 105	—	W110
	1.1625		BW İB	Wl
	1.1663	$Y_2$120	--	W 112
	1.1673	$Y_2$140	—	..
	1.1750	--	BW1A	**Wl**

Bu çeliklerin en büyük dezavantajı, yüksek sıcaklıktaki sertliklerinin kötü oluşudur. Karbonlu çeliklerden yapılmış bir takımın kesme kenan maksimum yaklaşık 260 °C a kadar dayanabilmektedir. Uygulamada bu tip çelikler talaşlı kesmede kullanılmasa da kullanmak gerektiği zaman düşük kesme hızları uygulanmalıdır. Bu çeliklerin Alman Standartlarındaki standart numaralan ve bunlann kimyasal bileşimleri Çizelge.5 de verilmiştir. Çizelge.6 da bu standartların diğer ülke standart karşılıkları, Çizelge.7 de ısıl işlem şartları, Çizelge.8 de ise genel kullanım yerleri verilmektedir.

Çizelge. 7- Karbonlu Takım Çeliklerinin Isıl İşlem Koşulları

Karbonlu Takım Çelikleri												
	Isıl İşlem											
Gereç No	Sıcak çalışma °C	Yumuşak tavlama °C	Tavlı sertlik HB30 Çubuk	Levha	Tavlı çekme gerilmesi N/mm² Çubuk	Levha	Su vererek sertleştirme °C	Su	Yağ	Kazandığı sertlik HRc	Sertlik girişimi (nüfuz) mm	Temperleme °C
1.1520	1000-800	680-710	190	-	640	-	790-820	•	-	63	2.5-3.5	180-300
1.1525	1050-800	680-710	190	-	640	-	780-810	•	-	64	2.5-3.5	180-300
1.1545	1000-800	680-710	190	248	640	830	770-800	•	-	65	2.0-3.0	180-300
1.1620	1000-800	680-710	190	-	640	760	790-820	•	-	63	2.5-4.0	180-300
1.1625	1000-800	680-710	190	-	640	-	780-810	•	-	64	2.5-4.0	180-300
1.1645	1000-800	700-720	190	-	640	-	770-800	•	-	65	2.0-3.5	180-300
1.1654	1000-800	680-710	195	-	660	-	770-800	•	-	65	2.0-3.5	180-300
1.1663	1000-800	680-710	210	-	710	-	760-790	•	-	65	2.0-3.5	180-300
1.1673	1000-800	680-710	230	-	780	-	750-780	•	-	65	2.0-3.0	180-300
1.1730	1050-800	680-710	190	207	640	700	800-830	•	-	58	3.5-5.0	180-300
1.1740	1100-800	680-710	207	-	700	-	800-830	«[2]	•	58"	3.5-5.0	180-300
1.1744	1100-800	680-710	217	248	730	830	800-840	-	•	6O'>	3.5-5.0	180-300
1.1750	1050-800	680-710	217	-	730	-	790-820	-	•	62[2]>	3.5-5.0	180-300
1.1820	1100-800	680-710	170	-	570	-	790-820	•	-	60	2.0-3.5	180-300
1.1830	1100-800	680-710	(225)	248	(760)	830	800-830	-	•	60	3.5-5.0	180-300

1) 0 12 mm den küçük çubuklar ve 5 mm den ince levhalar için.
2) Büyük çaplar için 780 - 820 ℃ de suda

Çizelge. 8- Karbonlu Takım Çeliklerinn Kullanım Yerleri

Standart No.	Kullanım Yerleri
1.1520	Soğuk kenar düzeltme kalıplan, zımbaları, küçük dövme presi kalıplan.
1.1525	Soğuk darbeli ekstrüzyon kalıpları, soğuk kesme ve delme kalıplan, ağaç makası.
1.1545	Kesme ve delme kalıplan, kesme bıçaklan, kabartma kalıplan (para, vs.)
1.1620	Madencilik ve yol yapımında kullanılan havalı takımlar.
1.1625	Orta sertlikteki taşlar için taş kırma aletleri, çekiçler, deri ve kaşık kalıplan.
1.1645	Sert taşlar için taş kırma aletleri, kabartma takımları, tırpanlar, vs.
1.1654	Çok sert taşlar için taş kırma aletleri, ağaç ve deri işleme takımlan.
1.1663	Eğeler, özellikle sert bıçaklar, bileme çelikleri, raspalar.
1.1673	Eğeler, markalama ve işleme takımlan.
1.1730	Çekiçler, çatallar, miller, bıçaklar, kesiciler, tornavidalar.
1.1740	Takımlar için saplar, çubuklar, iğneler, taş kırma çekiçleri.
1.1744	Kıyma bıçakları, sebze doğrama takımları, el testereleri, tırmık bıçaklan.
1.1750	Sıcak kalıplar, ılık kesme kalıplan, ayna ayaklan, örsler, mandreller.
1.1820	Akslar (dövme kaynağı olabilir), derin oymalı sıcak dövme kalıplan
1.1830	Dayire testereler, ağaç kesme testereleri.

Yüksek Hız Çelikleri HSS (High Speed Steels)

Yirminci yüzyılın başından beri yüksek hız çelikleri, metal sanayiinde kesici takım gereçlerinin temelini oluşturmuştur. HSS'ler diğer gereçleri verimli bir biçimde yüksek hızlarda kesmek için tasarımlanmış yüksek alaşımlı çeliklerdir.

Çizelge. 9- Yüksek Hız Çeliklerinin Kimyasal Bileşimleri (Nominal)

AISI Tipi	Bileşim				
	C	Cr	W	Mo	V	Co
Molibdenli HSS ler						
Mİ	0.85	4.00	1.50	8.50	1.00	--
M2	0.85	4.00	6.00	5.00	2.00	--
M2 (Yüksek C)	1.00	4.00	6.00	5.00	2.00	—
M3(Classl)	1.05	4.00	6.00	5.00	2.40	—
M3 (Class 2)	1.20	4.00	6.00	5.00	3.00	—
M4	1.30	4.00	5.50	4.50	4.00	--
M7	1.00	4.00	1.75	8.75	2.00	--
M10	0.85	4.00	—	8.00	2.00	—
M33	0.90	4.00	1.50	9.50	1.15.	8.00
M36	0.80	4.00	6.00	5.00	2.00	8.00
M41	1.10	4.25	6.75	3.75	2.00	5.00
M42	1.10.	3.75	1.50	9.50	1.15	8.00
Tungstenli HSS ler						
T1	0.75	4.00	18.00	--	1.00	--
T4	0.75	4.00	18.00	--	1.00	5.00
T5	0.80	4.00	18.00	-	2.00	8.00
T6	0.80	4.50	20.00	-	1.50	12.00
T8	0.75	4.00	14.00	--	2.00	5.00
Tl 5	1.50	4.00	12.00	..	5.00	5.00

ilk HSS çelik, havada sertleşebilen takım çelikleri için yapılan deneyler sırasında keşfedilmiştir.

HSS takım çeliklerinin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek alaşımlanabilme yeteneği.
- Genellikle, 64 HRC ye kadar sertlik alabilecek kadar yeterli karbon içermeleri.
- Her tarafı üniform olacak biçimde sertlik alabilmeleri.
- Yüksek sıcaklıkta sertlik alabilmeleri ve küçük kesitlerde durgun hava ortamında soğutularak maksimuma yakın sertlikler alabilmeleri.

HSS takımların üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- 63-68 HRC ye kadar sertlik alabilmeleri.
- Yüksek sıcaklık sertliklerinin iyi olması.
- Yüksek seviyede aşınma direncine sahip olmaları.
- Darbeye dayanımı ve kesintili yükleme dayanımının karbür gerece göre iyi olması.
- Yumuşak halde iken sıcak işlem, işlenebiime, taşlama gibi işlemlerle kolaylıkla kesici takım halinde şekillendirilebilmeleri.

HSS takımların zayıf tarafları ise şöyle sıralanabilir:

- HSS çeliğin yapısında bulunan karbürler yapı içinde uygun bir biçimde dağılmamışsa, fiziksel özellikler azalabilir ve taşlama çok zorlaşabilir. Taşlanabilme özelliği toz metal HSS lerin en önemli özelliğidir.
- HSS lerin bir diğer zayıf tarafı, işleme sıcaklıkları 538-593 °C yi geçtiği zaman, sertliklerinin çok hızlı olarak düşmesidir.

Çizelge. 10- Yüksek Hız Çeliklerinin Alman Standartlarında Kimyasal Bileşimleri

Yüksek hız çelikleri											
Gereç No	Sembol	Si! i I e ş i m %									
		C	Si	Mn	P	S	Co	Cr	Mo	V	W
1.3202	S 12-1-4-5 (EV4Co)	1.30-1.45	0.45	0.40	0.030	0.030	4.50-5.00	3.80-4.50	0.70-1.00	3.50-4.00	11.50-12.50
1.3207	SI04-3-IO(EW9ColO)	1.20-1.35	0.45	0.40	0.030	0.030	9.50-10.50	3.80-4.50	3.20-3.90	3.00-3.50	9.00-10.00
1.3243	S6-5-2-5(EMo5Co5)	0.88-0.96	0.45	0.40	0.030	0.030	4.50-5.00	3.80-4.50	4.70-5.20	1.70-2.00	6.00-6.70
1.3246	S 7-4-2-5	1.05-1.15	0.45	0.40	0.030	0.030	4.80-5.20	3.80-4.50	3.60-4.00	1.70-1.90	6.60-7.10
1.3247	S 2-10-1-8	1.05-1.12	0.45	0.40	0.030	0.030	7.50-8.50	3.60-4.40	9.00-10.00	1.00-1.30	1.20-1.80
1.3249	S 2-9-2-8	0.85-0.92	0.45	0.40	0.030	0.030	7.75-8.75	3.50-4.20	8.00-9.20	1.80-2.20	1.50-2.00
1.3255	S 18-1-2-5 (E 18 Co 5)	0.75-0.83	0.45	0.40	0.030	0.030	4.50-5.00	3.80-4.50	0.5(W).8O	1.40-1.70	17.50-18.50
1.3257	S 18-1-2-15 (E 18 Co 15)	0.60-0.70	0.45	0.40	0.030	0.030	15.00-16.00	3.80-4.50	0.50-1.00	1.40-1.70	17.50-18.50
1.3265	S18-l-2-IO(EI8ColO)	0.72-0.80	0.45	0.40	0.030	0.030	9.00-10.00	3.80-4.50	0.50-0.80	1.40-1.70	17.50-18.50
1.3302	SI2-I-4(EV4)	1.20-1.35	0.45	0.40	0.030	0.030	—	3.80-4.50	0.70-1.00	3.50-4.00	11.50-12.50
1.3318	S 12-1-2 (D)	0.90-1.00	0.45	0.40	0.030	0.030	—	3.80-4.50	0.70-1.00	2.30-2.60	11.50-12.50
1.3333	S 3-3-2 (ABC III)	0.95-1.03	0.45	0.40	0.030	0.030	—	3.80-4.50	2.50-2.80	2.20-2.50	2.70-300
1.3342	SC 6-5-2	0.95-1.05	0.45	0.40	0.030	0.030	—	3.80-4.50	4.70-5.20	1.70-2.00	6.00-6.70
1.3343	**S6-5-2(DMo5)**	0.86-0.94	0.45	0.40	0.030	0.030	—	3.80-4.50	4.70-5.20	1.70-2.00	6.00-670
1.3344	S 6-5-3 (E Mo 5 V 3)	1.17-1.27	0.45	0.40	0.030	0.030	—	3.80-4.50	4.70-5.20	2.70-3.20	6.00-6.70
1.3346	S2-9-l(BMo9)	0.78-0.86	0.45	0.40	0.030	0.030	—	3.50-4.20	8.00-9.20	1.00-1.30	1.50-2.00
1.3348	S2-9-2(BMo9V)	0.97-1.07	0.45	**0.40**	0.030	0.030	—	**3.50-4.20**	**8.00-9.20**	1.80-2.20	1.50-2.00
1.3355	S18-0-1 (B 18)	0.70-0.78	0.45	0.40	0.030	0.030	—	3.80-4.50	—	1.00-1.20	17.50-1850

HSS lerin kimyasal bileşimlerine gelince, AISI standartlarında verilmiş bileşim Çizelge.9 da görülmektedir.. Buradan da görüleceği üzere HSS çelikleri iki tip olup bunlar M tipi molibden esaslı, T tipi tungsten esaslıdır.

Alman standartlarında HSS gereçlerin bileşimleri Çizelge. 10 da verilmiştir. Bu standartta verilen gereçlerin dövme sıcaklıkları, ısıl işlemleri (yumuşatma ve mekanik özellikleri, sertleştirme ve temperleme) ve sertlikleri Çizelge. 11 de verilmiştir. Çizelge. 12 de ise herbir HSS in genel kullanım yerleri verilmektedir.

Bugün metal işlemede % 60 ile en fazla kullanılan Kesici takım gereçleri *Yüksek Hız Çelikleridir (HSS).* Pekçok matkap, raypa, kılavuz, vida açma uçları, parmak frezeler, dişli açma takımları (modül freze çakılan, azdırma çakıları) HSS gereçten yapılmaktadır. Aynca, form çakılar gibi karmaşık şekilli takımlar, kesme çakıları da HSS gereçten yapılmaktadır. Pekçok broş, torna ve planya takımları da HSS den yapılmaktadır.

HSS takımlar, genellikle eski, rijit olmayan düşük güçlü tezgahlarla düzgün yüzey kalitesi istenen işlemlerde, düşük kesme hızı ile gerçekleştirilen işlerde tercih edilir. Bunlar, ısıl işlem yapılmış çelikler, titanyum alaşımları ve refrakter malzemeler gibi işlenmesi zor malzemelerde sıkça kullanılır.

Çizelge. **11- Alman Standartlarındaki HSS lerin Isıl** İşlem **Koşullan**

Yüksek Hız Çelikleri													
	Isıl İşlem 3)												
				Sertleştirme İşlemi									
Gereç No	Sıcak şekillendirme •C 1)	Yumuşatma tavı •C 2)	Tavlı çekme gerilmesi HB30	Isıtma sıcaklığı "C	On ısıtma I. kademe •C	ön ısıtma II. kademe •C	Sertleştirme Sıcaklığı •C	Yağda	Sıcak su verme 550 C	Havada	Temperleme •C	Temperli sertlik HRC
1.3202	1100-900	780-810	240-300	450-600	850	1050	1220-1260	•	•	•	560-580	65
1.3207	1100-900	800-830	240-300	450-600	850	1050	1210-1250	•	•	•	550-570	65
1.3243	1100-900	790-820	240-300	450-600	850	1050	1210-1250	•	•	•	550-570	64
1.3246	1100-900	770-840	240-300	450-600	850	1050	1180-1220	•	•	•	540-570	64
1.3247	1050-900	770-820	240-300	450-600	850	1050	1180-1210	•	•	•	510-540	67
1.3249	1100-900	790-820	235-300	450-600	850	1050	1190-1230	•	•	•	550-570	64
1.3255	1150-900	820-850	240-300	450-600	850	1050	1260-1300	•	•	•	560-580	64
1.3257	1150-900	820-850	240-300	450-600	850	1050	1260-1300	•	•	•	560-580	64
1.3265	1150-900	820-850	240-300	450-600	850	1050	1260-1300	•	•	•	560-580	64
1.3302	1100-900	780-810	240-300	450-600	850	1050	1220-1260	•	•	•	560-580	65
1.3318	1100-900	780-810	225-280	450-600	850	1050	1230-1270	•	•	•	550-570	64
1.3333	1100-900	760-790	225-280	450-600	850	1050	1180-1220	•	•	•	530-550	64
1.3342	1050-900	770-820	230-280	450-600	850	1050	1180-1220	•	•	•	540-560	65
L3343	1100-900	790-820	225-280	450-600	850	1050	1200-1240	•	•	•	540-560	64
1.3344	1100-900	770-820	230-280	450-600	850	1050	1200-1240	•	•	•	550-570	64
1.3346	1100-900	790-820	225-280	450-600	850	1050	1180-1220	•	•	•	530-550	64
1.3348	1100-900	780-810	230-280	450-600	850	1050	1190-1230	•	•	•	540-560	64
1.3355	1150-900	820-850	240-300	450-600	850	1050	1250-1290	•	•	•	550-570	64

1) Külde ya da fırında yavaş soğutma
2) Fırında yaklaşık 600 °C ye kadar yavaş soğutma
3) İşledikten sonra su vermeden önce 1 saat süreyle 650 "C de gerilim giderme

Çizelge. 12- HSS Takımların Genel Kullanım Yerleri

Standart No.	Kullanım Yerleri
1.3202	Yüksek dirençli sert metallerin yüzey düzeltme (zımparalama, eğeleme, raspalama) ve kesme işlemlerinde aşınma direnci yüksek takım gereci olarak
1.3207	Torna takımları, kesici takımlar, özellikle otomat torna işlemlerinde
1.3243	Yüksek gerilimli matkaplar, her çeşit ayrılabilir (sectional) takımlar
1.3246	Matkaplar, freze çakılan, raybalar, kılavuzlar, havsa matkapları
1.3247	Kalıp taşıyıcıları, oyma freze çakılan, otomatlar için küçük takımlar
1.3249	Freze çakılan, yüksek yüklerde kaba işleme takımları
1.3255	Çok büyük kesme direnci olan tornalama ve planyalamada
1.3257	Ağır iş torna ve planyalama takımları ve ağır işlerde
1.3265	Ostenitik çelikler dahil her türlü çelik, çelik döküm, gri döküm ve demir dışı metallerin işlenmesinde yüksek sıcaklık dayanımı yüksek torna, raspa ve freze bıçağı olarak
1.3302	Son tornalama ve freze takımları, pinyon tip kesiciler, kesme takımları, broşlar
1.3318	Torna takımları, freze bıçakları, sert malzemelerle çalışmak için
1.3333	Matkaplar, freze çakılan, broşlar vb.
1.3342	Ağır iş freze çakılan, matkaplar, kesme ve itme takımlan
1.3343	Broşlar, matkaplar, freze çakılan, dayiresel testereler için takma ağızlar
1.3344	Ağır iş freze çakılan ve broşlar, raybalar
1.3346	Matkaplar, vida açma takımları, kesme dayanımı 880 N/mm^2 den büyük malzemeler için freze çakılan
1.3348	Freze takımları, yüksek kesme sertlikleri için pinyon tip kesiciler vb.
1.3355	Matkaplar, vida açma takımlan, freze çakıları, kağıt delme zımbalan

Bazı uygulamalarda, kesme verimi ve takım ömrü yüzey işlemleri ile iyileştirilebilir. Yüzey işlemleri; düzeltme işlemleri, yağlama ve sertleştirme işlemleri ve kaplama işlemleri diye sınıflandırılabilir.

Yüzey düzeltme işlemleri: Genellikle kum püskürtme, taşlama, honlama ve parlatma işlemleridir. Bu işlemler uzun zamandan beri ısıl işlem sonrası takımı temizlemek için kullanılmaktadır. Takımın düzgün olması, işlenen parçanın da düzgün yüzeyli olmasını sağlar.

Yüzey yağlama işlemleri: Takım yüzeyinin oksitlenmesi, sülfürlenmesi ve fosfatlanması ile yapılan işlemlerdir. Bu işlemler talaşın takım kesme yüzeyindeki sürtünmesini azaltır.

Yüzey sertleştirme işlemleri: Ergimiş tuz banyosunda nitrürleme, karbürleme ve karbonitrürleme ile takım yüzeyinde ince ve sert bir yüzey elde edilmesi için uygulanır. Bu sert yüzey takımın aşınmasını azaltarak ömrünü uzatır.

Yüzey yağlama (oksitleme) ve yüzey sertleştirme (nitrürleme) işlemleri bazen birlikte uygulanabilir.

Krom, tungsten, tungsten karbür ve diğer gereçler bazen elektrokaplama, kimyasal ya da vakumlu kaplama, alev ya da plazma kaplama ve elektrokıvılcım yolu ile kesici takım yüzeylerine uygulanır. Bu kaplamalar düşük sürtünme, aşınma direnci ve takım yüzeyine kaynak olmama özellikleri sağlar. Ayrıca, aşınmış takımlan tekrar eski ölçülerine getirmekte kullanılır. Bu tür kaplamalar hernekadar takım maliyetini 2-6 kat arttınrsa da takım ömrünü 5-10 kat arttırmaktadır.

Çizelge. 13- HSS **lerin Standart Karşılıkları**

TSE	**Federal Alman DİN**	**Fransız AFNOR**	**İngiliz B.S.**	**Amerikan AISI/SAE**
	1.1302	—	BT15	**T** 15
	1.1307	Z 130WKCDV 10-10-04-04-03	BT42	—
	1.3243	Z 85 WDKCV 06-05-05-04-02 Z 90 WDKCV 06-05-05-04-02	—	—
	1.3246	Z 110 WKCDV 07-05-04-04-02	—	M41
	1.3247	Z 110 DKCWV 09-08-04-02-01	BM42	M42
	1.3249	—	BM 34	M33, M34
	1.3255	Z80V/KCV 18-05-04-01	BT4	T4
	1.3265	Z80WKCV 18-10-04-02	BT5	T5
	1.3342	Z90 WDCV 06-05-04-02	—	M3
	1.3343	Z85 WDCV 06-05-04-02	BM2	M2
	1.3344	Z120 WDCV 06-05-04-03 Zl 30 WDCV 06-05-04-03	—	M3 Class 2
	1.3346	Z85 DCWV 08-04-02-01	BM1	H41,M1
	1.3348	Z100DCWV 09-04-02-02	—	M7
	1.3355	Z 80 WCV 18-04-01	BT1	Tl

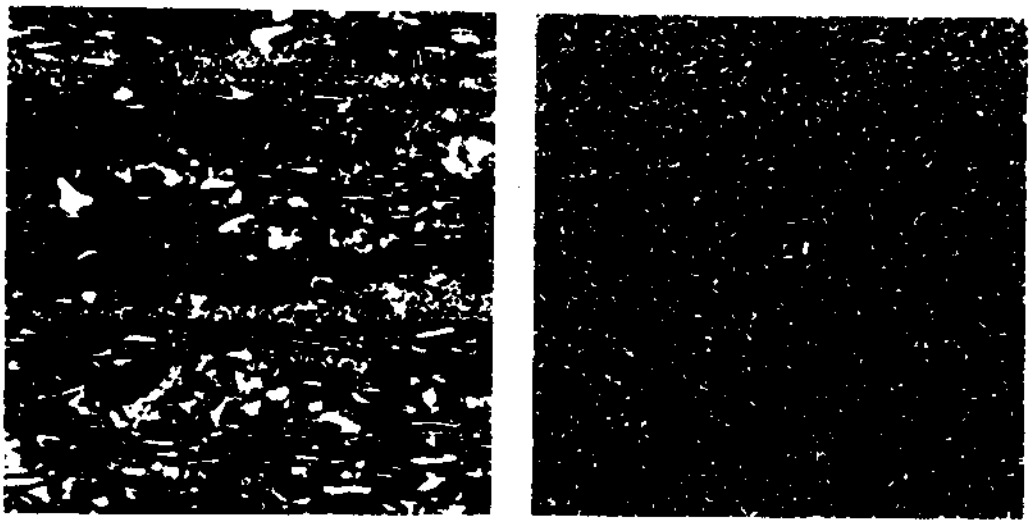
Toz Metal Yüksek Hız çelikleri (T/M - HSS)

Toz metal yüksek hız çelikleri (T/M HSS); mükemmel üretimi ve performans özelliklerinden dolayı matkaplar, kılavuzlar, parmak frezeleri, raybalar, broşlar ve diğer kesici takımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. T/M HSS çelikler bilinen HSS lere göre çok değişik üstünlükler sağlar. Bilindiği gibi HSS çelikleri, yapılarında bulunan karbürlerin düzgün dağılmaması nedeniyle kaba tanecikli ve üniform olmayan bir mikroyapıda olurlar. Bu da bu çeliklerin, ısıl işleminde tane büyüklüğünün kontrol zorluğu ve düzgün olmayan sertlik dağılımı ve gevreklik ve taşlanabilme özelliklerinin kötü olmasına neden olur. T/M HSS çelikler, bu tür problemlerin yok edildiği, karbür ve metalik olmayan (fosfor, kükürt vb.) malzemelerin düzgün dağıldığı çok ince mikroyapının elde edildiği çeliklerdir. Bu çeliklerin üretimi ergimiş atomize HSS çeliğinin hızlı katılaştınlması ve elde edilen bu tozun izostatik preslenmesi ve haddelenmesi ile gerçekleştirilir. Normal HSS çeliklerin T/M HSS çeliklerin mikroyapı karşılaştırması Şekil. 25 de görülmektedir.

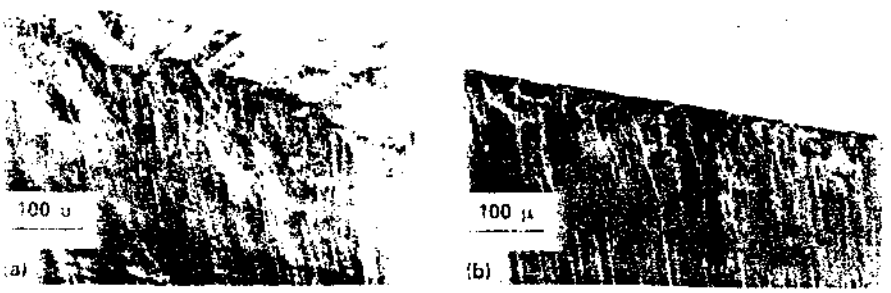
T/M HSS lerin kesici takım açısından başlıca özellikleri:

• *Aşınma direnci:* Genellikle takımın sertliğinin ve ana alaşım içeriğinin ya da karbür tipinin bir fonksiyonudur. Çok yüksek sertlikler elde edilmesi T/M HSS lerle mümkün olup karbon ve vanadyum içermesi aşınma direncini arttırıcı etkiler yapar.

• *Sağlamlık:* Bir takımın ya da HSS takımın sağlamlığı, kırılmaya ya da çapaklanmaya karşı dayanım ve sünekliğinin bir birleşimi olarak tanımlanır. Şekil. 26 da HSS ve T/M HSS in karşılaştırmalı olarak aşınmaya direnç ve sağlamlığı görülmektedir.



Şekil. 25- (a) **1.3202 HSS de karbür dağılımı,**
(b) Aynı çeliğin T/M HSS olarak karbür dağılımı (x500 büyültme).



Şekil. 26- Kesme kenarı aşınmasının (a) HSS takımda ve
(b) T/M HSS takımda karşılaştırmalı olarak gösterimi.

• *Taşlanabilirlik :* Aynı kimyasal bileşime sahip T/M HSS takımların normal HSS takımlara göre taşlanabilme (bilenebilme) özellikleri çok iyidir.

Çizelge. 14 de T/M HSS lerin Amerikan Crucible Materials Corporation firmasınca üretilen tiplerinin kimyasal bileşimleri ve tipik sertlikleri görülmektedir. Bu çizelgeye dikkatle bakılırsa C miktarının arttığı ve sertlik derecesinin bir miktar yükseldiği görülmektedir.

Çizelge. 14- T/M HSS Çeliklerinin Kimyasal Bileşimleri

Adlandırma		Bileşim %							Serdik
Ticari	AISI	C	Cr	W	Mo	V	Co	S	HRc
CPM Rex M2HCHS	M2	1.00	4.15	6.40	5.00	2.00	...	0.27	64-66
CPM Rex M3HCHS	M3	1.30	4.00	6.25	5.00	3.00	...	0.27	65-67
CPM Rex M4	M4	1.35	4.25	5.75	4.50	4.00	...	0.06	64-66
CPM Rex M4 HS	M4	1.35	4.25	5.75	4.50	4.00	...	0.22	64-66
CPM Rex M35 HCHS	M35	1.00	4.15	6.00	5.00	2.00	5.00	0.27	65-67
CPM Rex M42	M42	1.10	3.75	1.50	9.50	1.15	8.00	...	66-68
CPM Rex 45	...	1.30	4.00	6.25	5.00	3.00	8.25	0.03	66-68
CPM Rex 45 HS	...	1.30	4.00	6.25	5.00	3.00	8.25	0.22	66-68
CPM Rex 20	M62	1.30	3.75	6.25	10.50	2.00	...	0.06	66-68
CPMRexT15	T15	1.55	4.00	12.25	...	5.00	5.00	0.06	65-67
CPMRexT15HS	T15	1.55	4.00	12.25	...	5.00	5.00	0.22	65-67
CPM Rex 76	M48	1.50	3.75	10.00	5.25	3.10	9.00	0.06	67-69
CPM Rex 76 HS	M48	1.50	3.75	10.00	5.25	3.10	9.00	0.22	67-69

Kobalt esaslı Döküm Alaşımları (KDA)

Kobalt döküm alaşımları, HSS çelikleri ile karbürler arasındaki boşluğu doldurmak için geliştirilmiş kesici takım gereçleridir. HSS çeliklerle karşılaştınldığında normal sıcaklıktaki sertlikler yakın ise de yüksek sıcaklıklarda KDA lann sertliklerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle KDA lar yüksek kesme hızlarında HSS lere göre daha verimli olmaktadır. KDA larda kesme hızı HSS e göre % 20 daha fazladır.

HSS leri ısıl işlem yapıldığında istenilen sertliklere getirmek mümkün olduğu halde KDA lar, ısıl işleme hiçbir gereksinme duymadan sertliklerini döküldükleri zaman alırlar ve ısıl işlemle sertleştirilip yumuşatılamazlar.

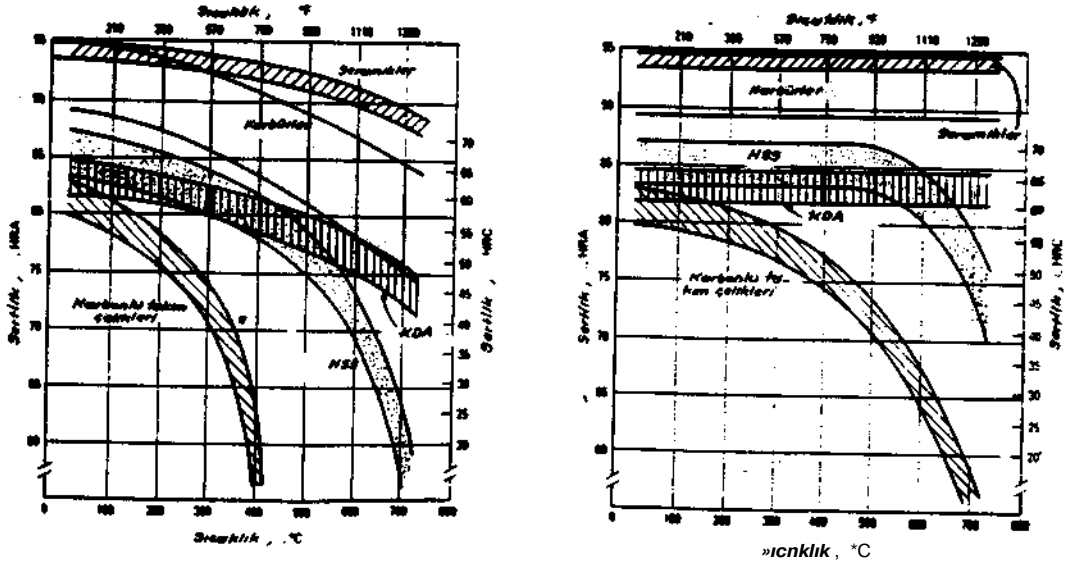
KDA lar koruyucu atmosfer altında elektrik ya da indüksiyonla ergitme ile üretilirler.

KDA ların 3 ticari tipine ait kimyasal bileşimler Çizelge. 15 de verilmektedir.

Çizelge. 15- Kobalt Esaslı Döküm Alaşımlarının Kimyasal Bileşimleri

Element	Bileşim aralığı %		
	Tantung G ve Black alloyTX-90	Tantung 144 ve Black alloy 525	Stellite 100
Kobalt	42-47	40-45	41.5-43.5
Nikel	1-7	1-7	1.5 maks
Krom	27-32	25-30	32.75-34.25
Tungsten	14-19	16-21	18.25-19.25
Karbon	2-4	2-4	1.85-2.05
Kolombiyum	2-5	3-8	—
Manganez	1-3	1-3	0.75 maks
Demir	2-5	2-5	2.00 maks
Silisyum	0.3-0.7	0.3-0.7	0.40-0.60
Bor	—	—	0.85-1.05

Şekil. 27 de KDA lar ile diğer gereçlerin yüksek sıcaklıktaki sertlikleri ve ıslah edildikten sonraki sertlikleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil. 27- KDA ve diğer kesici takım gereçlerinin sıcak haldeki sertliklerinin karşılaştırılması.
a) Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak sıcak haldeki sertlik.
b) Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ıslah edilmiş sertlik.

Çizelge. 15 de bileşimleri verilen üç tip KDA dan Tantung G genel amaçlı kesici takımlar ve aşınmanın çok olduğu durumlar için tavsiye edilir ve kullanım açısından Tantung 144 den daha fazla yaygındır. Tantung 144 Tantung G den daha sert olup aşınma direncinin çok önemli olduğu ve darbenin az ya da hiç olmadığı yerlerde kullanılır.

KDA lan, aşağıda sıralanan durumlarda kullanmayı düşünmelidir :

• Karbür uçlarda, oldukça düşük hızlarda çalışıldığı zaman takım ucunun kınlması (küçük parçacık halinde) durumunda.

• Kullanılan tezgahın gücünün ya da rijiditesinin, karbürü etkin olarak kullanmaya yeterli olmaması.

• HSS takımlarla mümkün olandan daha fazla üretim istendiğinde.

• Otomat tezgahlannda, bir ya da daha fazla işlemin kesme hızlan, HSS ve karbür uçlar için tavsiye edilenden aşağı düşerse.

• Otomatik cihazlarda kısa süreli çalışmalarda, karbür takımlann form taşlamalannın çok pahalı olmasında.

• Yüzeyinde kalan kum, yüzey oksidi, cüruf ya da sıcaklığa dayanıklı tanelerin olması halinde dökümlerin kaba yüzeylerinin işlenmesinde.

KDA dan yapılmış takımlar genellikle hafif, çok hızlı son işlem kesmelerde tavsiye edilmez. Bu alaşımlar için aşınmayla ilgili tipik uygulamalar; kumlama cihazlarının aşınma bantları, bakır ekstrüzyon kalıplan, molibden boru eksrüzyon kalıplan, tungsten çubuklann sıcak çapsal redaksiyonunda, hadde makaralannın parlatılmasında, ayna ayaklarında, delme burçlarında ve meyve, sebze ve etlerin dilimlenmesinde kullanılan bıçaklardır.

Sinterlenmiş Karbürler

Sinterlenmiş karbürler sert, aşınmaya dirençli, yüksek sıcaklığa dayanıklı gereçler sınıfından olup, sert karbür (metal karbür) taneciklerin yumuşak ve sünek bir metal bağlayıcıyla birleştirilmesiyle elde edilirler. İlk olarak 1920 lerde Almanya'da üretilmiştir, tik üretilen karbür ise tungsten (wolfram) karbür (WC) olup bağlayıcısı kobaltdır.

Karbürler, çeşitli aşamalan olan toz metalürjisi işlemleri ile üretilirler. Bu aşamalar özetle aşağıdaki gibidir.

- Tungsten karbür tozun elde edilmesi (0.5-30 ^m),
- Alaşım elemanı diğer karbür tozlann elde edilmesi,
- Toz kanşımlannın hazırlanması (belli oranlara göre),
- Parça ilk şeklinin preslenmesi,
- Sinterleme,
- Son sinterleme.

Sinterlenmiş ürün, yapılacak uygulamaya uygun olacak şekilde; ya doğrudan kullanılabilir ya da taşlanabilir, parlatılabilir ya da kaplanabilir.

Karbür gereçler esas olarak tungsten karbür (WC) ün kobalt, nikel ya da demir bağlayıcı ile yaptığı ya da buna ek olarak titanyum karbür (TiC), tantalyum karbür (TaC) ya da niobyum karbür (NbC) ile yaptığı alaşımlardır.

Karbür Gereçlerinin Sınıflandırılması

Sinterlenmiş karbürün uluslararası kabul görmüş bir sınıflama sistemi yoktur. Bugün Amerika da "C derecesi" sınıflandırma ile ISO sınıflandırma kullanılmaktadır. Avrupada ise ISO sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemler sıra ile:

1) Derece (C-Grade) Sınıflandırması

Amerikan karbür üreticilerinin kullandığı C derece sistemi kullanım amacına göre hazırlanmış, uygun kalitede karbür seçimine çok yardımcı olan bir sistemdir. Bu sistemde herhangi bir karbür kalitesini belirlemek için ticari adının kullanılmasına gerek yoktur. Çizelge. 16 da C-derece sınıflandırma görülmektedir. Takım uygulamalannı basitleştirmesine karşın bu sınıflandırma, uygun karbür kalitesinin seçimini çok etkileyen malzeme özelliklerini yansıtmamaktadır. Aynca, bu çizelgede yazılan işlenecek malzeme sınıflan belirsizdir. Bütün bu olumsuzluklara karşın C-derece sınıflandırması 1942 den beri Amerikan üretim endüstrisi tarafından başarı ile kullanılmaktadır

Çizelge. 16- Karbürlerin C-Derece (Grade) Sınıflandırılması

C-derece (grade)	Uygulama yeri
Demir döküm, demir dışı ve metal olmayan malzemelerin işlenmesi	
C-1	Kaba işleme
C-2	Genel amaçlı işleme
C-3	Son işleme
C-4	Hassas son işleme
Karbon ve alaşımlı çeliklerin işlenmesi	
C-5	Kaba işleme
C-6	Genel amaçlı işleme
C-7	Son işleme
C-8	Hassas son işleme

2) ISO Sınıflandırması

1964 de Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) önerisi No. R 513" Talaş Kaldırarak İşlemeler için Karbürlerin Uygulanması" yayınlanmıştır. Karbürlerin ISO sınıflandırması Çizelge.17 de toplanmıştır.

Çizelge. 17- Karbürlerin ISO R 513 Sınıflandırması

Gösterim (a)	İşlenen Gereç	Kullanma Yerleri ve Çalışma Koşulları
P01	Çelik, çelik dökümler.	Son tornalama ve delik işleme; yüksek kesme hızlan, küçük talaş kesiti, boyutlarda hassasiyet ve mükemmel son işlem. Titreşimsiz işlem
P10	Çelik, çelik dökümler.	Tornalama, kopya tornalama, vida açma ve frezeleme; yüksek kesme hızları, küçük ve orta kesitli talaş.
P20	Çelik, çelik dökümler, uzun talaşlı dövülebilir dökme demir.	Tornalama, kopya tornalama, orta kesme hızı ve talaş kesiti; küçük talaş kesitli planyalama.
P30	Çelik, çelik dökümler, uzun talaşlı dövülebilir dökme demir.	Tornalama, frezeleme, planyalama; orta ve düşük kesme hızları, orta ya da büyük talaş kesitleri, istenmeyen şartlarda (b) işleme.
P40	Çelik, kumlu ve boşluklu çelik dökümler.	Tornalama, planyalama, yarık açma; düşük kesme hızlan, istenmeyen şartlarda (b) ve otomatik tezgahlarda işlemeler için büyük kesme açıları ile mümkün büyük talaş kesitleri.
P50	Çelik, kumlu ve boşluklu orta ya da düşük çekme dayanimlı çelik dökümler.	Çok sağlam karbür kullanmayı gerektiren işlemler için tornalama, planyalama, yarık açma, düşük kesme hızları, büyük talaş kesitleri, istenmeyen şartlarda (b) ve otomatik tezgahlarda işlemeler için büyük kesme açıları ile mümkün büyük talaş kesitleri.
M 10	Çelik,çelik dökümler, manganlı çelikler, gri dökme demir, alaşımlı dökme demir.	Tornalama, orta ya da yüksek kesme hızları; küçük ya da orta talaş kesitleri
M 20	Çelik, çelik dökümler, östenitik ya da manganlı çelikler, gri dökme demir.	Tornalama, frezeleme; orta kesme hızları ve talaş kesitleri
M 30	Çelik, çelik dökümler, östenitik çelik gri dökme demir, yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımlar.	Tornalama, frezeleme, planyalama; orta kesme hızları, orta ya da büyük talaş kesitleri.
M 40	Yumuşak otomat çeliği, düşük çekme dayanımlı çelik, demir metaller ve hafif alaşımlar.	Tornalama, kesme, özellikle otomatik tezgahalrda.
KOI	Çok sert gri dökme demir, 85 seleroskop sertliğin üzerinde sertleştirilmiş dökümler yüksek silisyumlu alüminyum alaşımları, sertleştirilmiş çelik, yüksek aşındırıcı plastikler, sert karton, seramikler.	Tornalama, son tornalama, delik işleme, frezeleme, raspalama
K10	220 **HBR** nin üstünde gri dökme demir, uzun talaşlı dövülebilir dökme demir, sertleştirilmiş çelik, silisyumlu alüminyum alaşımları, bakır alaşımları, plastikler, cam, sert lastik, sert karton, porselen, taş.	Tornalama, frezeleme, delme, delik işleme, broşlama raspalama

Çizelge. 17- Karbürlerin ISO R 513 Sınıflandırması (Devamı)

Gösterim (a)	İşlenen Gereç	Kullanma Yerleri ve Çalışma Koşulları
K 20	220 **HBR** ye kadar gri dökme demir, demir dışı metaller, bakır, pirinç, alüminyum.	Tornalama, frezeleme, planyalama, delik işleme, broşlama, çok sağlam karbür kullanma durumunda,
K 30	Düşük sertlikli gri dökme demir, düşük çekme dayanımlı çelik, sıkıştırılmış tahta.	Tornalama, frezeleme, planyalama, yank açma, istenmeyen şartlarda (b) ve büyük kesme açılarının mümkün olduğu işlemelerde.
K 40	Yumuşak ya da sert tahta, demir dışı metaller.	Tornalama, frezeleme, planyalama, yank açma, istenmeyen şartlarda (b) ve büyük kesme açılarının mümkün olduğu işlemelerde.

(a) Her bir harf sınıfında, küçük sayılar yüksek hızlar ve düşük ilerlemeler için, büyük sayılar düşük hızlar ya da büyük ilerlemeler içindir. Ayrıca sayının artması, karbür gerecin artan sağlamlığını ve azalan aşınma direncini gösterir, (b) İstenmeyen şartlar: tezgaha zorluk çıkaran şekilleri; döküm ya da sıcak dövme yüzeyli malzemeleri; sertliği homojen olmayan gereçleri; değişen kesme derinlikli, kesintili kesme ya da ortadan şiddetliye titreşimleri olan işlemeleri içeren şartlardır.

ISO sisteminde, tüm işleme sınıfları üç renk kodlu gruba bölünmüştür.

• Çeliklerin işlenmesi için, çok yüksek alaşımlandırılmış tungsten karbür derecesi (harf P, renk mavi).

• Çelikler, nikel esaslı süper alaşımlar ve sünek demir döküm gibi çok amaçlı kullanımlar için alaşımlandırılmış tungsten karbür derecesi (harf M, renk san).

• Gri dökme demir, demir dışı metaller ve metal dışı gereçlerin işlenmesinde doğrudan tungsten karbür derecesi (harf K, renk kırmızı).

Bu gruptaki herbir dereceye, maksimum sertlikten maksimum sağlamlığa doğru durumunu temsil eden bir numara eklenmiştir. P derecesi 01 den 50 ye, M derecesi 10 dan 40 a ve K derecesi 01 den 40 a kadar kendi içinde sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sistemi hazırlandığında, kaplanmış kaliteler henüz geliştirilmemişti. Bu nedenle bunlar, kolaylıkla kaplanmamış kaliteler olarak nitelendirilebilir.

Sinterlenmiş Karbürlerin özellikleri

İşlenecek bir gereç için karbür derecesi seçmek ve kesici takım malzemesini geliştirmek için takım malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini değerlendirmek önemli bir ön koşuldur. Birçok endüstri, milli ve ISO standarttan, sinterlenmiş karbürün belirli özelliklerini tesbit için standart geliştirmişlerdir (Çizelge. 18). Şimdi bu özelliklerin bir kısmını görelim;

Sertlik: Bir gerecin aşınma ve aşındırmaya direncini belirler. Sertlik, sadece kompozisyonla değil fakat gözenekliliğin seviyesi ve mikroyapı ile de etkilenir. Normal WC-Co alaşımında, tane büyüklüğü aynı kalmak şartıyla, kobalt yüzdesi arttıkça sertlik ve aşındırma direnci azalır. Kobalt yüzdesi sabit kalmak üzere tane büyüklüğü küçüldükçe sertlik artar.

Karbür gereçlerde sertlik 88 ile 94 HRA (1100-2000 HV) arasında olur.

Sıkışma özellikleri: Sinterlenmiş karbürün biricik özelliği basınç dayanımının yüksek oluşudur. Tipik değerler 3.5-7.0 GPa (Gigapaskal)dır.

Enine kopma dayanımı: Sinterlenmiş karbürlerin kopma dayanımının bulunmasında kullanılan genel yöntem, enine kopma dayanımı testidir. Enine kopma dayanımının tornalama verimine etkisi bulunamamıştır. Ancak, bu özelliğin frezeleme verimi ile ilişkisi vardır.

Çizelge. 18- Sinterlennüş Karbür Özelliklerini Bulmak İçin Kullanılan Test Yöntemleri

Özellik	Test Yöntemi ASTM/ ANSI	ISO	Özellik	Test Yöntemi ASTM/ ANSI	ISO
Aşınma direnci	B611	—	Sertlik, HV	E 92	3878
Tane büyüklüğünün görünüşü	B 390	—	Boysal ısı genleşmesi	B95	—
Gözenekliliğinin görünüşü	B 276	4505	Manyetik geçirgenlik	A 342	—
Zorunlu metodlar	—	3326	Mikroyapı	B657	4499
Sıkıştırma dayanımı	E 9	4506	Poisson oranı	E 132	—
Yoğunluk	B311	3369	Enine kopma dayanımı	B406	3327
Sertlik, HRA	B 294	3738	Young modülü	E11i	3312

Kopma sağlamlığı: Örnek büyüklüğü, geometri ve yüzey kalitesi gibi dış etkenlere enine kopma dayanımından daha az duyarlıdır. Kopma dayanımı, kobalt yüzdesinin artması ve tane büyüklüğünün büyümesi ile artar

Yoğunluk: Yoğunluk, örneğin gözenekliliğine ve bileşimine çok bağlıdır ve sinterlenmiş karbürlerin kalite kontrolünün bir testidir. Sinterlenmiş karbürlerde 10-15 g/cm^3 arasındadır.

Manyetik özellikler: Kobaltın ferromanyetik özelliğinden dolayı tungsten karbür (WC) -kobalt (Co) alaşımı da manyetik özellik taşır.

Gözeneklilik: Sinterlenmiş karbürün önemli özelliklerinden bir tanesidir.

Isıl şok direnci: Frezeleme gibi kesintili işleme işlemlerinde takımın verimliliğini etkileyen özelliktir.

Aşınma direnci: Aşınma, takım ömrünü belirlediğinden aşınma direnci önemli bir özelliktir. Genellikle aşınma direnci, kobalt yüzdesinin artması ve karbür tanelerinin büyümesi ile azalır.

Kaplanmış Karbür Takımları

Takımın verimini arttırmak ve ömrünü uzatmak için karbür uçlar, aşınmaya dirençli bileşiklerle kaplanır. Kaplanmış uçların kaplanmamış olanlara göre verimi, bazı hallerde % 20 olmasına karşılık beş katına kadar çıkabilmektedir.

ilk kaplanmış uçlar, normal tungsten karbürün üzerine ince bir titanyum karbür (TiC) kaplanması ile yapılmıştır. Daha sonra, titanyum, hafniyum ve zirkonyumun karbür ve nitritleri ve alüminyum ve zirkonyumun oksitleri bir yada çok katlı olarak karbür uçlara uygulanarak kullanım alanları genişletilmiştir.

Kaplamanın Üstünlükleri

Tüm karbür takımlar için genel kural şudur: Aşınma direnci (sertlik) arttıkça, sağlamlık (darbe direnci) azalır ya da tersi; sağlamlık arttıkça aşınma direnci azalır. Yüksek dayanımlı, sıcaklığa dirençli bir temel gerece, yüksek sıcaklıkta stabil olarak sert bir gereç metalurjik yöntemle ince bir tabaka şeklinde bağlanmak suretiyle aşınma direnci yüksek ve daha uzun ömürlü uçlar elde edilir.

Kaplanmış karbür uçların yeteneklerinin çok yönlü artması bir diğer üstünlüğüdür.

Sınırlamalar

Kaplanmış karbür uçları bazı uygulamalar, örneğin; ince et kalınlıklı parçaların hassas delik işlemesi ve tornalanması gibi hafif son işlemeler için uygun değildir. Bu iki işlemede uygun sonuç almak için genellikle keskin kesme kenarı gerekir.

Bu uçlar, yüzeyinde kum ve cüruf ya da yabancı madde olan parçaların işlenmesinde kesinlikle kullanılmamalıdır. Çok ağır kaba işlemede ve kesintili kesme işlemlerinde tavsiye edilmez. Ayrıca, demir dışı metallerin ve metal dışı gereçlerin işlenmesi için de genellikle uygun değildirler.

Kaplanmış karbür uçlar fiyat olarak biraz yüksektir. Bu nedenle maliyet analizi mutlaka yapılmalıdır.

Kaplamalar, sadece; döndürülebilir (index yapılabilir), bir defa kullanıldıktan sonra atılan uçlar da kullanılır.

Kaplama Türleri

Titanyum karbür (TiC) kaplama; İlk ticari kaplama türüdür. Özellikleri; Yüksek sıcaklıktaki sertlik ve kimyasal stabilite, iyi aşınma direnci ve takım ile iş parçası arasındaki sürtünmenin düşük olmasıdır. Zayıf tarafı ise kaplamanın uygulama işleminden kaynaklanan temel gereçte dekarbürizasyona neden olmasıdır.

Titanyum nitriir (TiN) kaplama: TiC kadar sert değidir, fakat uçlara düşük sürtünme ve krater direncinde iyileştirme sağlar. Bir diğer üstünlüğü de temel gereçte dekarbürizasyona neden olmamasıdır.

Alüminyum oksit ($Al_2O^$ kaplamalar: Karbür uçlara tek katlı olarak uygulanan bir kaplamadır. Yüksek sıcaklıktaki sertlik, daha iyi kimyasal stabilite ve mükemmel bir sıcaklık sınırı; TİC kaplanmış uçlara göre iki katı kesme hızı sağlar. $A1_2O$, ile kaplanmış uçlar genellikle, 125-450 m/dak kesme hızı ile demir dökümlerin işlenmesi için uygundur.

Hafniyum nitrür (HfN) kaplamalar: HfN kaplamalar, tungsten karbür (WC) ile aynı genleşme katsayısına sahip olduğu için yüksek kesme sıcaklığında farklı genleşmenin neden olacağı kaplama kalkması tehlikesi yoktur. HfN kaplamanın diğer üstünlükleri ise yüksek stabilite, yüksek sıcaklıktaki sertlik ve aşınma ve kraterlenmeye karşı iyi dirençtir.

Tek tabaka kaplamadan elde edilen başarılar, iki ya da daha fazla katlı kaplamaların geliştirilmesine öncü olmuştur. Çok katlı ya da çok fazlı kaplamalı karbür uçlar, tek kat kaplamalı uçlara göre daha iyi özellikler ve seçenekler sağlar. İlk tabaka genellikle, temel gereç ile ısıl genleşmesi yakın olduğu gibi yapışma özelliği ve aşınma direnci iyi olduğu için TiC olur. Orta ve/ya da dış tabakalar, maksimum ısı, kimyasal, aşınma ve krater direnci için seçilir.

Çeşitli kaplama gereçlerine ilişkin özellikler Çizelge 19. da görülmektedir.

Çizelge. 19- Karbür Uçlar İçin Bazı Kaplamaların Karşılaştırılmalı Özellikleri

Kaplama Gereci	Oda sıcaklığındaki sertlik (Piramit elmas)	Kimyasal direnç	Isı sınırı	Sürtünme katsayısı
TiC	2700	İyi	İyi	İyi
TİN	2700	İyi	İyi	Mükemmel
HfN	2000	İyi	İyi	İyi
$A1_2O$,	2300	Mükemmel	Mükemmel	İyi

Kaplanmış ve kaplanmamış karbür uçların karşılaştırmalı özellikleri Çizelge. 20 de verilmiştir.

Çizelge. 20- Kaplanmış ve Kaplanmamış Karbür Uçların Karşılaştırmalı Başarıları

İşlem	Gereç	Sertlik	Kesme hızı m/dak.		İlerleme hızı mm/devir		paso derinliği mm	Karşılaştırmalı Basan: Talaş kaldırma hızı cmVdak		Karşılaştırmalı Basan: Beher kesme kenarı ile işlenen parça sayısı	
			Kaplanmamış	Kaplanmış	Kaplanmamış	Kaplanmış		Kaplanmamış	Kaplanmış	Kaplanmamış	Kaplanmış
Delik işleme, Tornalama Alın tornalama	AISI4140 Çelik döküm	—	91	122*	0.18	0.38	—	124	193	2-3	4-5
Tornalama	AISI Type 303 paslanmaz çelik valf makarası	—	69	152*	0.20	0.20	2.54	—	—	14	50
Delik işleme	AISI 1040 Çelik bağlantı çubuğu	250HBR	107	198*	0.23	0.23	0.51	—	—	455	815
Delik işleme Tornalama ve alın tornalama	Karbonlu otomat çeliği	140-187 HBR	158	192**	0.38	0.38	3.81	229	279	4-6	12-14
Delik işleme Tornalama ve alın tornalama	Orta karbonlu alaşımlı çelik	187-217 HBR	145	145**	0.18	0.38	3.81	111	213	11	13
Tornalama	Dökme demir	30 Re	107	213+	0.30	0.30	5.08	165.2	330.4	7	17
Tornalama	AISI 1020 çelik	27 Re	85	122?	0.76	0.91	7.62	492	849.7	1	9

* Carboloy Pro-Max grade 518 TiC kaplanmış karbür uç
** Kennametal kaplanmış karbür, grade KC 250
+ Teledyne Firth Slerling grade HN + - Hafniyum nitrür kaplanmış
? Teledyne Firth Slerling grade TC + - Titanyum nitrür kaplanmış

Sermetler (Cermets)

Sermetler, bir metalle bağlanan seramik taneciklerinin (tozunun) oluşturduğu toz metal kesici gereçlerdir. Adından da anlaşılacağı gibi sermetler bir seramik (Ceramic) + metal **(Metal) alaşımıdır. Alaşımın** metal kısmı sünekliği ve ısıl şok direncini, seramik kısmı ise yüksek sıcaklıktaki sertlik ve oksitlenme direncini sağlar. Seramik birleşenin metalle bağlanması karmaşık bir işlem olup büyük oranda seçilen gereçlerin çözünürlük, ıslanma özellikleri ve faz ilişkilerine bağlıdır.

Sermetlerin Bileşimi ve Mikroyapısı

Seramikler, üretim ya da kullanma sırasında yüksek sıcaklığa maruz kalan inorganik ya da metal olmayan ürünler olarak tanımlanır. Tipik olarak bir seramik; metal oksiti, boriti ya da karbürü ya da bunların bir bileşimidir. Seramiklerin bu tanımına göre aşağıdaki gereçler sermetler grubuna girer:

- WC + Co (Tungsten karbür + kobalt)
- WC/TiC/TaC+Co (Tungsten karbür/Titanyum karbür/Tantalyum karbür + Kobalt)
- TiC + Ni (Titanyum karbür + nikel)
- Ti (C, N) + Ni/Mo (Titanyum karbür / Nitrür + Nikel / Molibden)

Buna karşın kesici takım endüstrisi, tungsten karbür esaslı gereçleri sinterlenmiş karbürler olarak adlandırırken, sadece titanyum karbür ve titanyum karbonnitrürleri sermet olarak dikkate alır.

Titanyum Karbür Sermetler

ilk titanyum karbür sermet 1929 yılında Almanya'da üretilmeye başlanmıştır. Bu sermet, titanyum karbür / molibden karbürün % 15 nikel bağlayıcı içindeki katı çözeltisi şeklinde üretilmiş ve çeliklerin son tornalamasında uygulanmıştır. Düşük dayanım ve yüksek kırılganlıktan dolayı sonuçta sınırlı bir kabul görmüştür.

Titanyum karbürün birçok üstünlüğünden dolayı çalışmalara devam edilmiş, TiC in nikelle kötü olan ıslanabilirliği nikel içine molibden ya da molibden karbür katılması ile çözümlenerek TiC sermetlerin üretilmesine devam edilmiştir. Bu sermetin tipik bir bileşimi TİC - 16.5 Ni - 9 Mo dır.

Metal Karbonnitrür Esaslı Sermetler

Sermetlerin geliştirilmesi metal karbonnitrürlerin girişiyle devam etmiştir. Titanyum-molibden-karbon-azot (nitrojen) ve titanyum -tungsten-karbon-azot bileşikleri, tercihen nikel, molibden, kobalt ya da bunların bir birleşiminin metal bağlayıcılarla oluşturduğu sermet özel ilgi kazanmıştır.

Yukarıda açıklanan iki tür sermetin özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge. 21 de verilmiştir.

Çizelge. 21- Bir TiC Sermet ile Bir Karbonnitrür Kompleksi Sermetin Yüksek Sıcaklık Özelliklerinin Karşılaştırılması

Sermetin Bileşimi	1000 ℃ de Vikers sertliği N/mm^2	900 °C de enine kopma dayanımı MPa	Ksi (1000 psi)	1000 °C de oksitlenme direnci. Ağırlık kazancı mg/cm^2h	1000 "C de ısıl iletkenlik $W/k^6.m$
TiC-16.5Ni-9Mo	50000	1050	152	11.8	24.7
TiC-20TiN-15WC-10TaC-5.5Ni-llCo-9Mo	65000	1360	197	1.66	42.3

Uygulamalar

Sermet kesici takımlar çeliklerin, demir dökümlerin, çelik dökümlerin ve demir dışı otomat malzemelerinin işlenmesi için uygundur. Çizelge. 22 de bu uygulamalar görülmektedir. Sermet kesici takımlar, karbür ya da kaplanmış takımlardan daha yüksek kesme hızına sahip olduklarından iyi yüzey elde edilmesine uygundurlar.

Sermet kesici takımlar genellikle döndürülebilir takma uç şeklinde kullanılırlar. Sermet takma uçlar, karbür takma uçlara uygulanan üretim yöntemlerinin aynısı ile üretilirler.

Çizelge. 22- Sermet Kesici Takımların İşleme Uygulamaları

Takım Bileşimi	İşlem	İş Parçası Gereci
Molibden karbür ile sağlamlaştırılmış sermet.	Kaba ve yarı bitirme tornalaması; frezeleme, kanal açma ve vida açma.	Karbonlu çelikler, alaşımlı çelikler, dökme demirler; otomat işleme ve yaklaşık 38 HRC sertliğe kadar alüminyum, bakır, pirinç ve bronz gibi demir dışı metaller.
	Son tornalama ve frezeleme.	Karbonlu çelikler, alaşımlı çelikler, takım çelikleri, paslanmaz çelikler ve dökme demirler; yaklaşık 38 HRC sertliğe kadar alüminyum, bakır, pirinç ve bronz gibi demir dışı gereçlerin otomat işlemleri için.
Tantal/niobyum karbür ile sağlamlaştırılmış sermetler.	Kaba ve yarı bitirme tornalaması frezeleme, kanal açma ve vida açma.	Yaklaşık 38 HRC sertliğe kadar karbon çelikleri, alaşımlı çelikler, dökme demirler, paslanmaz çelikler ve takım çelikleri.

Sermetlerin üstünlükleri

Sermet gereçlerin en önemli özellikleri yüksek ergime noktası ve sertlik, işlemede karşılaşılan yüksek sıcaklıktaki oksitlenme direnci, düşük yoğunluk, iyi krater direnci ve takımdaki ısıyı azaltmaya yardımcı olan WC den daha düşük ısı iletkenliği ve sürtünme katsayısıdır. Bu özellikler sermetleri bazı dökme demirlerin olduğu kadar çeliklerin işlenmesi için iyi birtakım gereci yapmaktadır. Üstünlükleri genel olarak aşağıdaki gibi sıralıyabiliriz :

- Sıvanma ve kraterlenme direnci yüksek (WC ve seramiklere göre çok iyi).
- Aşınmaya direncinden dolayı kesme kenarlarının keskinliklerini koruması, uzun son işlemlerde, toleransları dar tutar.
- Düzgün yüzey elde edilebilmesi, daha sonra taşlanma gereksinimini ortadan kaldırır.
- Mümkün olan kesme hızı aralığı seramikler için kullanılan aralığa yaklaşır, fakat dayanımının çok iyi olması aynı takım ömründe daha fazla talaş kaldırmasını sağlar. Aynı hızlarda çalışıldığında WC takımlarla mukayese edilirse sermet uçlar; daha uzun takım ömürlü ya da aynı takım ömründe kesme hızı daha fazladır.
- Sermet uçlar; kesme hızı değişimini, WC ya da seramik takımlardan daha fazla tolere ederler.
- Sermet takımlar; WC den yapılanlara göre daha az stratejik ham maddeye gereksinim duyarlar.

Çizelge.23 te TiC esaslı sermet kesici takımların özellikleri verilmiştir.

Çizelge.23- Titanyum Karbür Kesici Takımların Özellikleri

Takım gösterimi ISO	Takım gösterimi USA	Nominal nikel yüzdesi (Ağırlıkça)	Sertlik R_A	Enine kopma dayanımı MPa	Yoğunluk g/cm^3	Young modülü GPa
P01.P10	C-7.C-8	12	92.8	1379	5.55	440.6
P10.P20	C-6,C-7	17	92.0	1620	5.63	430.9
P20, P30	C-5, C-6	22	91.0	1896	5.80	413.0

Çizelge.24 de ise karbür takımlarla karşılaşılan genel sorunlara hızlı çözüm önerileri verilmektedir.

Çizelge.24- Karbür Takımlar Sorun Çözme Kılavuzu

Sorun	Çözümü
Aşınma	- Kesme hızını ve/ya da ilerleme hızını azalt. Aşınma direnci daha yüksek dereceli karbür kullan
Kraterlenme	- Daha sert dereceli alaşımlı karbür ya da kaplanmış karbür kullan. Kesme hızını azalt. Kesme sıvısı kullan.
Çapaklama (iş parçasında)	- Kesme kenarını honla. Esnemeleri azalt. Daha güçlü takım geometrisi ya da şok dirençli karbür seç.
Sıvanma	- Kesme hızını arttır. Kesme sıvısı kullan. Kesme kuvvetlerini azaltmak için pozitif üst kesme açısı kullan. Kaplanmış karbür uç dene.
Kenar deformasyonu	- Kesme hızını ve/ya da ilerleme hızını azalt. Daha yüksek sıcak sertlikli ve aşınma dirençli karbür kullan. Kesme sıvısı kullan
Sıcaklık kırılmaları	- Kesme hızım azalt. Kesme sıvısını doğru olarak kullan ve/ya da kullanmaktan vazgeç. Şok direnci daha yüksek karbür dereceleri kullan.
Kopma	- ilerleme hızını ve/ya da pasoyu azalt. Daha kuvvetli takım geometrisi ve/ya da daha kalın uç kullan. Daha yumuşak, daha sağlam, şok direnci daha fazla karbür derecesi kullan.

Seramikler

Seramikler, işlenmesi zor malzemeleri yüksek talaş kaldırma hızı ile işlemek ve geniş yüksek hız aralığında bitirici işlemler için potansiyel olan yepyeni bir takım gereci sınıfıdır. Esası alümina (Al_2O_3) ya da silisyum nitrür (Si_3N_4) ve katkı maddesi olarak yapıda bulunan bazı metal oksitleri ve titanyum karbürün birlikte sinterlenmesi ile elde edilirler.

Seramik takımların üretimi, toz halindeki malzemenin birleştirilmesi ve sinterlenmesi ile yapılır. Başlangıcı 1905'lere kadar uzanır. Ancak, ticari olarak kullanılması 1950 li yıllarda başlar. Bugüne kadar gelişmesi sonucu, çok sağlam, çok uniform ve çok kaliteli duruma gelerek geniş kullanım alanı bulmuşlardır.

Seramik Takımların Türleri

iki temel tür seramik kesici takım gereci vardır :

/. *Basit seramikler :* %99 ya da daha fazla saflıkta alümina ve çok az miktarda diğer oksitleri (magnezyum, itriyum, zirkonyum ve krom oksitleri) içeren seramiklerdir. Bu seramiklerden yapılan kesici takım uçları, ince alümina tozun yüksek basınç altında soğuk preslenmesi ve bundan sonra tanecikleri birbirine bağlamak için yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile üretilir. Ürün beyaz renkte olup daha sonra elmas taşlarla son ölçülerine getirmek için taşlanır. Bir diğer üretim yöntemi de sıcak presleme olup aynı anda, yüksek basınç ile sıkıştırma ve yüksek sıcaklıkta sinterleme şeklinde tek bir işlemle yapılır. Çıkan ürün gri renkte olur.

2. Kompozit seramikler: Bazen yanlış olarak sermetler olarak adlandırılan bu seramikler, temel gereci alümina ile % 15-30 ya da daha fazla titanyum karbür (TiC) ve/ya da diğer alaşımlandırma elemanı içeren seramiklerdir. Bu gereçlerden yapılan kesici takım uçları siyah renkte olup sıcak preslenerek ya da sıcak ızostatik preslenerek yapılırlar.

Saflık, üniform ince tane büyüklüğü ve yoğunluk, takım başarısı açısından kritiktir. Takım başarısı, azalan gözeneklikle artar.

Seramik kesme takımları, karbürler gibi derece olarak sınıflandınlmamıştır. Bunun yerine tür olarak sınıflandırılmıştır. Seramik takımların bazı türlerinin fiziksel özellikleri Çizelge.25 de verilmiştir.

Çizelge.25- Bazı Seramik Kesici Takımların Fiziksel Özelliklerinin Sınırlan

Kesici takım gereci	Enine kopma dayanımı, MPa	Oratalama yoğunluk, g/cm^3	Sertlik RA	Tane büyüklüğü, μ
Soğuk preslenmiş saf seramikler	551.6-786	3.90 - 3.99	91-94	3.0
Sıcak preslenmiş kompozit seramikler	689.5-931	4.10-4.30	92 - 95.5	2.0

Seramik Gereçlerin Üstünlükleri

Seramik kesici takımları kullanmanın en büyük üstünlüğü çeşitli uygulamalarda verimliliğin artmasıdır. Seramik kesici takımlar, tungsten karbür takımlardan daha yüksek kesme hızlarında çalıştırılabilirler. Bu sonuç pek çok uygulamada, talaş kaldırma hızını artırmıştır. Bu üstünlükleri destekleyen diğer özellikler ise iyi sıcak sertlik, düşük sürtünme katsıyısı, yüksek aşınma direnci, kimyasal tepkimesizliği ve ısıl iletkenlik katsayısının düşük oluşudur.

Diğer önemli üstünlük ise takım aşınması olmayışı ile -daha iyi boyut kontrolü sonucu- kaliteli parçaların üretilebilmesidir. Ayrıca seramik takımlar, genellikle daha sonra taşlama gerektirmeyecek kalitede pek çok sert malzemeyi işleyebilecek yetenektedir. Haddelerde kullanılan sertleştirilmiş çelik hadde makaralarının işlenmesi önemli bir uygulamadır.

Sınırlamalar: Seramik takımlar karbürlere göre çok kırılgan olduklarından dikkatli kullanılması gerekir. Mekanik şok azaltılmalıdır ve ısıl şok önlenmelidir.

Seramik gereçlerden yapılmış takımlar hafiften ortaya kadarki şiddetle kesintli (vuruntulu) kesmede başarı ile kullanılmıştır, fakat ağır vuruntulu kesmede kullanılması genellikle tavsiye edilmemektedir.

Uygulamalar : Çeşitli tiplerdeki saf ve kompozit seramiklerin özelliklerindeki farklar geniş bir uygulama alanında kullanılmalarına izin verir. Soğuk preslenmiş saf seramik uçlar, sıcak preslenmiş kompozit seramiklerden daha az ısıl şok direncine sahiptir, fakat bunlar yumuşak çelik ve demirleri işlerken daha fazla aşınma direncine sahiptirler. Sonuç olarak bunlar; 330 HBn nin altında sertlikteki dökme demirleri (gri, dövülebilir ve nodüller), sıcak haddelenmiş ya da soğuk çekilmiş yaklaşık 30 HRc sertlikteki karbon ve alaşım çeliklerini ve pirinç, bronz, lastik, karbon ve plastikleri işlemede çok etkindirler.

Sıcak preslenmiş kompozit seramik takımlar daha yoğun, çok ince taneli bir yapıya sahiptirler ve genellikle soğuk preslenmiş seramik takımlardan daha sağlam ve şok dirençlidirler. Sert metalleri ya da tufallı yüzeyleri işlerken aşınma dirençleri daha iyidir. Sonuç olarak dar toieranslann sağlandığı son kesmeler ideal uygulamalardır. Sıcak preslenmiş kompozit seramik takımlar 330 HBn nin üzerinde sertliğe sahip dökme demirler, 32 Re ile 68 Re nin üzerinde sertliğe sahip karbonlu, alaşımlı ve takım çelikleri, su verilmiş dökme demir ve sertleştirilmiş haddeler ve martenzitik ve yapay yaşlandırılmış paslanmaz çelikler gibi çok sert malzemeler için tavsiye edilir. Bunlar ayrıca; yüzeyinde aşınmaya neden olabilecek tufal ya da sertleşmiş alanlar olan yumuşak dökme demirlerin tornalanmasında ve pek çok frezeleme işlemlerinde de kullanılmaktadır.

Seramik kesici takımlar, dökme demirlerin ve çeliklerin sürekli bir kesme hareketi gerektiren yüksek hızlı işlenmelerinde basan ile kullanılmaktadır. Bunlar, genellikle hızla aşınan karbür takımların yerine konacak iyi takımlardır. Fakat kınlan karbürlerin yerine kullanılmaz. Çeliklerin ve demir dökümlerin alın tornalamasını basan ile yapmalarına karşılık darbeli kesmeler için tavsiye edilmez.

Çizelge.26 da seramik takımlarda karşılaşılan genel sorunlara çözüm önerileri sıralanmıştır.

Çizelge.26- Seramik Takımlar için Sorun Çözme Kılavuzu

Sorun	Olası nedenler
Kesme kenarında yontulma	- Rijiditelerin bozulması, kesme kenarı çok keskin, talaş kırıcı çok dar ya da derin, titreşim, tufal ya da kalıntı, uygun olmayan bileme, çok fazla kesme boşluğu, hatalı takım tutucu, üst kesme yüzeyi açısı çok pozitif.
Takımın çatlaması ya da kırılması	- Uç yüzeyleri düzlem değil, uç sıkıca oturtulmamış, takım iş parçasına temas ederken iş parçasının dönmesinin durdurulması, aşınmış ya da yontulmuş kesme kenarı, ilerleme çok fazla, uygun olmayan soğutucu uygulaması, çok fazla üst kesme ya da boşluk açısı, takım çok fazla çıkıntılı ya da çok küçük, hazırlamada rijiditenin bozulması, kesme hızı çok düşük titreşim bileme çatlakları.
Tırlama, titreşim	- Takım merkezde değil, yetersiz boşluk açısı, çok fazla üst kesme yüzeyi açığı, takım çok fazla çıkıntılı ve çok küçük, uç radyusu çok büyük, ilerleme çok fazla, rijiditenin bozulması, güç yetersiz ya da hereket aktarımlarında (motordan fener miline) kayma, çok fazla paso.
Yüzeyde yırtılmalar (iş parçasında)	- Rijiditenin bozulması, körlenmiş takım, kesme hızı çok yavaş, talaş kırıcı çok dar ya da derin, uygun olmayan bileme.
Hızlı aşınma	- Kesme hızı çok yüksek ya da ilerleme çok yavaş, uç radyusu çok büyük, uygun olmayan bileme.

Tek Kristalli Elmaslar

Doğadan doğal olarak elde edilen endüstriyel kalitede tek kristalli elmastan yapılan kesici takımlar yıllardan beri kullanılmaktadır. Bir sonraki ayrımda anlatılan çok kristalli elmas takımlar pek çok uygulamada kullanılmalarına karşın tek kristalli elmas takımların kullanımı artmaya devam etmektedir.

Elmas, karbonun kübik kristal şeklidir. Kesici takımlar için kullanılan endüstriyel tip tek kristalli doğal elmas, uygulamalar için gerekli olan kesme kenarı geometrisi elde etmek için kesilir (bölerek, yararak ya da perdahlıyarak).

Üstünlükleri : Elmas doğada bulunan en sert maddedir. Sertliği karbürün 5 katı kadardır. Knoop sertliği 57· 104 GPa kadardır. Karbürlerin sertliği (Tungsten karbür-KlO) 13 GPa dır. Yüksek ısıl iletkenlik ve düşük sıkıştınlabilirlik ve ısıl genleşme, boyutsal stabilite sağlar. Bundan dolayı bununla işlenen parçalar dar toleranslarda ve düzgün yüzeyli olarak elde edilir.

Diğer kesici takım gereçlerine göre tek kristalli elmas takımlar çok fazla pahalı olmalarına karşın, parça işleme maliyeti daha düşüktür.

Demir dışı ve metal olmayan malzemeler işlendiği zaman, elmaslar kimyasal tepkimesizliklerinden, düşük sürtünme katsayılarından ve düzgünlüklerinden dolayı talaşlar takım yüzeyine yapışmazlar ya da sıvanmazlar.

Sınırlamalar : Endüstriyel tek kristalli elmasları seçmek kritiktir. Bunlar, mükemmel kalitede, kesme alanı çatlaksız ya da kalıntısız olmalıdır. Ayrıca, minimum aşınma için takımda elmasın bölünmesi ustaca yapılmalıdır. Elmas o şekilde monte edilmelidir ki takımın iş parçasına yaklaşımı sert düzlemince olsun. Elmasın yumuşak doğrultuda yerleştirilmesi zamanından önce aşınmaya ve muhtemelen pul pul kalkmaya ya da yontulmaya neden olacaktır.

Darbeye dayanımı düşük takımların dikkatli taşınması ve şoklara karşı korunması gereklidir. Bu tür takımlar sadece iyi durumdaki rijid tezgahlarda kullanılmalıdır. Takımın ve iş parçasının rijid bir şekilde tutulması esastır ve özellikle tornalama için iş parçasını ve onu çeviren sistemi (ayna-fener mili) dengelemek ve titreşimini sönümlendirmek gereklidir. Üç ayaklı aynalar genellikle tavsiye edilmez, çünkü bunlar dinamik olarak dengelenemez. Eğer gerekiyorsa sönümlendiricili olmalıdır. Delik işleme katerlerinin sönümlendirümesi ayrıca tavsiye edilir.

Tek kristalli elmas takımlar, yüksek kesme kuvveti gereksiniminin takımı kırabilmesinden dolayı, özellikle yüksek çekme dayanımına sahip alaşımlar olmak üzere demir metallerin işlenmesi için uygun değildir. Ayrıca, bu takımlar sert malzemelerin kesintili (darbeli) işlenmesi ya da kaba yüzeylerden tufalın temizlenmesi için tavsiye edilmez.

Uygulamalar : Tek kristalli elmas kesici takımlar, genellikle aşağıda sıralanan malzemelerin işlenmesinde çok verimli olurlar:

- Alüminyum, babbit, pirinç, bakır, bronz ve diğer yatak alaşımları gibi demir dışı metaller.
- Altın, gümüş ve platin gibi değerli metaller.
- Sert kauçuk, fenolik ya da diğer plastikler ya da reçineler, selüloz asetat, sıkıştırılmış (preslenmiş) grafit ya da karbon, kompozit malzemeler, bazı karbür ve seramikler, fiberglas ve çeşitli epoksi ve fiberglaslı reçineler dahil metal dışı ve aşındırıcı malzemeler.

Elmas kristaller, 0.025 µm ya da daha az pürüzlülükte yüzey düzgünlüğü elde edilecek şekilde, kesme kenarı leblenebilir. Bu nedenle tek kristalli elmas takımlar düzgün, ayna gibi yüzey istenen yüksek hassasiyetli işleme işlemlerinde sıkça kullanılır.

Tek kristalli elmas takımlarla işlenen parçalara örnek olarak bilgisayar bellek diskleri, matbaa gravürleri ve fotokopi merdaneleri, plastik lensler, objektif çerçeveleri; güdüm sistemi parçalan, mühimmat parçaları gösterilebilir.

Çok Kristalli Elmas Kesici Takımlar

ABD de yaklaşık 1973 yılında kullanılmaya başlanılan çok kristalli elmas plaketler, yüksek basınç ve sıcaklık altında ince (toz gibi) elmas kristallerinin bağlanması ile elde edilir. Doğal ve yapay elmas kristaller bu yolla sinterlenebilir, kesici takım plaketleri ve uçları bu her iki tip kristalden üretilir.

Kesici takım amacıyla çeşitli şekillerde plaket haline getirilir ve bazıları tungsten ya da tungsten karbür temel metalle birleştirilebilir. Çok kristalli elmas kesici takımlar genellikle demir dışı metaller ve metal dışı gereçlerin işlenmesi için tavsiye edilir. Demir metallerin işlenmesi için tavsiye edilmez.

Üstünlükleri: Çok kristalli elmas kesici takımların en büyük üstünlüğü, tek kristalli elmas kesici takımlarda bulunan düzlemsel ayrılmalara neden olmayacak şekilde elmas kanşımındaki kristallerin rastgele yönlenmiş olmalarıdır. Bunun bir sonucu olarak sertlik ve aşınma direnci üniform olarak her yönde aynıdır. Sertlik tek kristalli doğal elmastakine yaklaşık eşit olup karbürdekinin 5 katı kadardır. Çok kristalli elmas plaketler, tungsten ya da tungsten karbür temel metale bağlandığında; elde edilen takım sadece sert ve aşınma direnci yüksek olmayıp aynı zamanda dayanımı ve şok direnci de yüksek olur.

Çok kristalli elmas kesici takımlar genellikle tek kristalli elmas takımlardan ucuzdur.

Karbür kesici takımlarla karşılaştırıldıklarında çok kristalli elmastan yapılan kesici takımlar, daha uzun ömürlü, daha iyi ölçü kontrollü, iyileştirilmiş yüzey, artan verimlilik, azalan bozuk parça ve düzeltme ve parça başına daha düşük maliyet sağlar.

Sınırlamalar : Çok kristalli elmas takımların kullanım sınırlamalarından biri tek kristalli elmas takımlarda da geçerli olan, çelik ve dökme demir gibi demir esaslı metallerin işlenmesine uygun olmamasıdır. Elmaslar -hem doğal hem de yapay- karbondur, yüksek kesme sıcaklıklarında demir esaslı metallerle kimyasal reaksiyona girer.

Uygulamalar: Çok kristalli elmastan yapılmış takımlar karbon, ön sinterlenmiş seramikler, fiberglas ve kompozitleri, grafit, takviyeli plastikler ve sert kauçuk gibi metal dışı malzemeler; alüminyum alaşımları (özellikle silisyum içerenler), bakır, pirinç, bronz, kurşun, çinko ve bunların alaşımları gibi demir dışı metaller ve ön sinterlenmiş karbür ve % 6 nın üzerinde kobalt içeren sinterlenmiş tungsten karbür gibi çok aşındırıcı malzemelerin kesme işlemleri için çok kullanışlıdır.

Pekçok demir dışı metallerin, plastiklerin ve kompozit malzemelerin -ürün ağırlığını azaltmak için kullanılmalarından dolayı- çok kristalli elmas takımların kullanımı artmaktadır.

Artan kesme hızlarının, ilerlemelerin, kesme derinliklerinin meydana getirdiği yüksek basınçlara ve darbe kuvvetlerine, alın frezeleme gibi pekçok kesintili kesme uygulamalarına daha dayanıklıdırlar. Çok kristalli elmas

takımların kesme kenarlarının keskinliğinin sınırlı olmasından dolayı çok düzgün yüzey gerektiren işlemler için tek kristalli elmas takımlar hala tercih edilmektedir.

Çok kristalli elmas takımlar, kimyasal tepkimesizliğinin yüksek seviyede olmasından dolayı sıvanmada azalma, uzun takım ömrü (çok yüksek kesme hızında bile), maliyet düşüşü ve artan verimlilik sağlarlar.

Çok kristalli elmas takımlar son yıllarda ağaç endüstrisinde de artan bir hızda kullanılmaya başlanmıştır. Modern kompozit ağaç esaslı levhalar (sunta, vb.), kontrollü boyut ve karakterde ağaç parçacıkların reçine ile birbirine yapıştırılması ile yapılmaktadır. Bu levhalar, plastik tabaka ya da doğal ağaç kaplamalarda (aşındırıcı reçine ile yapıştırılmaktadır) kaplanmaktadır. Ağaç endüstrisinde kullanılan en genel kesme teknikleri dayire testere ile kesme ve planyalamadır. Her iki işlemde de çok kristalli elmas uç takılmış takımlar kullanılmaya başlanmıştır.

Çizelge. 27 de çok kristalli elmas takımlarla bazı gereçlerin tipik işlemleri için uygulanan işleme parametreleri verilmektedir.

Çizelge. 27- Çok Kristalli Elmaslar İçin Tipik İşleme Parametreleri

İş parçasının gereci	**Kesme hızı (m/dak)**	**İlerleme hızı (mm/devir)**	**Kesme derinliği (mm) (≤)**
Tornalama			
Alüminyum alaşımları, bakır, pirinç ve alaşımları	300-1000	0.05-0.5	10.0
Sinterlenmiş tungsten karbür	10-30	0.1-0.2	2.0
Yeşil tungsten karbür	50-200	0.1-0.5	5.0
Cam ve cam elyaf takviyeli plastikler	100-600	0.05-0.5	2.0
Yeşil seramikler	100-600	≤0.2	2.0
Frezeleme			
Alüminyum alaşımları	500-3000	0.1-0.5 (a)	5.0
Bakır, pirinç ve alaşımları	200-1000	0.10-0.5 (a)	2.0
Yonga levha (sunta, MDF) ve fiber levha	2000-3000	1.5-2.0 (a)	15.0

(a) mm/diş

Kübik Bor Nitrür (Cubic Boron Nitride-CBN)

Kübik bor nitrür, bor nitrürün bir şekli olup elmastan sonra ikinci sertlik ve aşınma dirençli bir süper aşındırıcı kristaldir. Sentetik elmas yapımında kullanılan prosese benzer bir yöntemle yüksek basınç/yüksek sıcaklıkta üretilmektedir. CBN kristalleri genel olarak süper aşındırıcı taşlarda çelik ve süper alaşımların hassas taşlanması için kullanılmaktadır. Kristaller ayrıca, çok kristalli kesici takımların yapımında (uç, plaket vb.) kullanılmaktadır.

Üstünlükleri : İşleme işlemleri için, CBN kristallerinden yapılan kesici takımlar elmas takımlara göre daha büyük ısı direnci üstünlüğü sağlar. Bir diğer önemli üstünlük ise yine elmaslara göre daha yüksek kimyasal tepkimesizliktir. Bu özellik, demir dışı metaller de içinde, pek çok iş parçası gerecine yüksek kesme sıcaklıklarında oksidasyona ve kimyasal tepkilemelere karşı büyük direnç sağlar. CBN takımlar, elmas takımlardan farklı olarak, 70 HRc sertliğe kadarki takım ve alaşımlı çeliklerin, 45-68 HRc arasında sertliğe sahip dövme çelikler ve Ni sertlikli ve sertleştirilmiş dökme demirlerin, yüzey sertleştirilmiş parçalar ve nikel ya da kobalt esaslı süper alaşımların yüksek hızlarda işlenmelerine uygundur. Ayrıca, toz metallerin, plastiklerin ve grafitin işlenmesinde de başarı ile kullanılmışlardır.

Uygulamalar : CBN den yapılmış kesici takımların uygulamaları; çeşitli sert metallerin tornalanması, alın tornalanması, delik işlenmesi ve frezelenmesi olarak sıralanabilir. Demir esaslı metallerin frezelenmesi dahil kesintili işlemlerde başarı ile uygulanabilmektedir. Kırılganlıklarından dolayı, CBN takımlar genellikle ağır kesintili kesmeler için tavsiye edilmez.

TALAŞ KALDIRARAK İŞLEME

Çizelge. 28 de Sumi Boron CBN için önerilen kesme koşullan verilmektedir.

Çizelge.28- Sumi Boron CBN* için önerilen Kesme Koşulları

İş Parçası Gereci	Sertlik	fşlem	Kesme Hızı (m/dak)	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Hızı (mm/devir)
Karbonlu çelikler	45-68 HRc	Tornalama	100-200	0.5	0.2
Karbonlu takım çelikleri, alaşımlı çelikler, yatak çelikleri ve yapı çelikleri		Delik işleme vb. Frezeleme	100-200	**0.5**	0.15
Yüksek hız takım ve kalıp çelikleri	45-68 HRc	Tornalama	50-100	**0.5**	0.2
		Delik işleme vb. Frezeleme	100-200	0.5	0.15
Sertleştirilmiş ve yumuşak dökme demirler	50-75 Sclerescope	Tornalama	70-150	**2.5**	1.5
dökme çelikler ve dövme çelik haddeler	75-85 Sclerescope	Tornalama	40-80	**2.5**	0.80

* Sumi Boron CBN, Sumitomo Electric Ind. of Japan'ın geliştirdiği CBN uçlardır.

7. METAL KESME VE TAŞLAMA SIVILARI

İş parçasının maliyetini azaltmak ve özelliklerini arttırmak için kesme işlemlerine sıvı uygulaması yaklaşık 200 yıldan beri yaygın olarak yapılmaktadır.

Kesme sıvısı teknolojisi; korozyon koruması, bakteri üremesine dayanıklılık, iyileştirilmiş yağlama yeteneği, daha fazla kimyasal stabilite ve emülsiyon yapma yeteneği gibi istenen özelliklerde mineral, bitkisel ve hayvansal yağların formülasyonu ve kullanımını kapsar.

Kesme ve Taşlama Sıvılarının İşlevleri

Yapılmakta olan işleme işlemine bağlı olarak kesme ve talaşlama sıvılan aşağıdaki işlevlerin bir ya da daha fazlasını yaparlar.

- Takımın, iş parçasının ya da talaşın soğutulması,
- Yağlama (takımdaki sürtünmeyi ve erozyonu azaltma),
- Takımdaki malzeme sıvanmasını kontrol etme,
- Talaşlann uzaklaştırılması,
- iş parçasını, takımı ve tezgahı korozyondan koruma.

Bu işlevlerin herbirinin önemi, iş parçası malzemesine, kesme ve taşlama takımına, işleme koşullanna ve parçada gerekli yüzeye bağlıdır.

Taşlama Sıvılan

Taşlama sıvıları, kesme sıvılanndaki işlevlerden pek çoğunu yaparlar. Taşlama sıvıları, iş parçası/taş arasını yağlar, böylece ısı ve güç gereksinimi azalır.

Taşlama ve kesme sıvılarının işlevleri arasındaki ilk fark yağlamanın, taşlamada kesmeye göre daha önemli oluşudur. Metal kesmede, kesme işlemi sırasında oluşan ısının pek çoğu, talaşla atılır. Taşlama durumunda, ısının çoğu iş parçasında kalır. Bundan dolayı, taşlama sıvılan için yağlama, kesme sıvılannınkinden çok daha önemli hale gelir.

Kesme Sıvılan

Kesme sıvılannın yağlama ve soğutma olarak iki işlevi takım/iş parçası arasındaki sürtünmeyi ve sıcaklığı azaltmaktır. Yüksek hızlı kesme işlemlerinde, kesme sıvısı tarafından sağlanan soğutma çok önemlidir.

Orta kesme hızlarında, hem soğutma hem de yağlama önemlidir, fakat düşük kesme hızlarında yağlama işlevi daha baskın özellik olur.

Kesme ve Taşlama Sıvılarının Kimyası

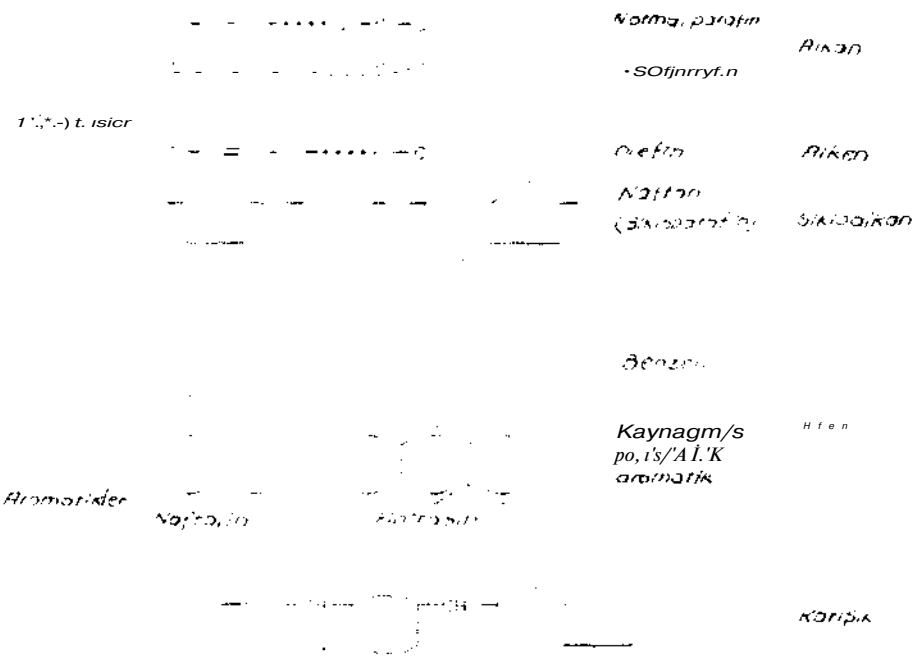
Metal kesme ve taşlama sıvıları iki tiptir. Bunlar, çözeltiler ve emülsiyonlardır. Çözeltiler petrol yağı, petrol çözücü, sentetik sıvı ya da su gibi esas bir sıvı içerir. Bu sıvı, içinde çözülebilen bir takım katkı maddeleri ile karıştırılır. Diğer taraftan, emülsiyon iki fazdan meydana gelmiştir. Bunlar sudan ibaret olan sürekli faz ve suda asılı olan yağ, petrol ya da sentetik sıvı partiküllerinden oluşan süreksiz faz. Bu emülsiyonlar genellikle çözünebilir yağ (solubleoil) olarak adlandırılır.

Yağlar ya da sentetik çözeltiler genellikle en yüksek yağlama yeteneğine ve en düşük soğutma verimine sahiptirler. Su esaslı çözeltiler ise en yüksek soğutma verimine, en düşük yağlama etkinliğine sahiptir. Genelde, emülsiyonlar hem yağlama hem de soğutma özelliklerine sahiptirler.

Çözeltiler

Bazı kesme ve taşlama çözeltileri; üç tip esas sıvıya göre aşağıda açıklanmaktadır.

Kesme yağları: Kesme ya da taşlama yağlan naftenik (neft), parafinik (parafın) ya da petrol çözücü esaslı yağlardır. Parafinik yağlar, naftenik yağlara göre daha fazla oksitlenme direnci gösterirler. Öte yandan, naftenik yağlar, katkı maddeleri ile parafinik yağlardan daha fazla stabil bir çözelti oluştururlar. Naftenik yağlarda, yağ içindeki aromatikler yüzey aktif olduklarından yük taşıma kapasitesinde iyileştirme sağlarlar. Şekil. 28 de bazı madeni yağ bileşenleri görülmektedir.



Şekil. 28- Madeni yağların bazı bileşenleri

Sentetik yağlar: Sentetik yağlayıcılar, tahmin edilebilir özellikleriyle kontrol edilmiş bir yapıya sahiptirler. Polialfaolefmler gibi sentetik hidrokarbonlar, bazı özel kesme sıvısı uygulamalarında madensel yağların yerine kullanılmışlardır. Uzun zincirli alkoller bazı özel uygulamalar için kullanılmıştır. Bu sentetik kesme sıvıları için önemli bir pazar geliştirilememiştir.

Su esaslı çözeltiler: Endüstride genellikle **sentetikler** olarak adlandırılır. Su esaslı çözeltiler, suyun yüksek ısı kapasitesinden dolayı, çok iyi ısı iletimi karakteristiklerine sahiptirler. Suyun saf olması, bu çözeltilerin verimliliğini önemli ölçüde etkiler.

Emülsiyonlar: Emülsiferler ya da yüzey aktif kimyasallar (sıvılar içinde çözülebilir olanlar) nedeniyle oldukça stabil bir karışım oluşturan karışmaz sıvılardır. Metal kesme ve taşlama sıvılarının emülsiyonları esas olarak su içinde asılı haldeki madeni yağ ya da sentetik sıvıdan meydana gelmiştir. Asılı haldeki sıvının tane büyüklüğü, sistemi emülsiyonlaştırmak için kullanılan yüzey aklifleyici kimyasallara bağlı olarak değişir. Temiz emülsiyonlar, asılı fazın yeterince ince parçacıklardan meydana gelmesiyle elde edilebilir, fakat pek çok durumda enıülsiyonlar, katkıların kimyasına bağlı olarak süt beyazı ya da mavi-beyaz renkte olurlar. Bu halde parçacıkların boyutları daha büyüktür. Emülsiyonların stabilitesi metal kesme ve taşlama işlemleri için önemlidir.

Katkı Maddeleri

Hem çözeltilerde hem de emülsiyonlarda kullanılan bazı önemli katkı maddesi sınıfları aşağıda tanımlanmıştır.

Aşın basınç katkıları: Aşırı basınç katkıları, düşük bağlama enerjisi ile katı yağlayıcılar gibi görev yaparak takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltırlar. Bunlar esas olarak kükürtlü katkılar (yağ asitlerinin sülfürlenmiş esterleri gibi), klorlu katkılar (klorlanmış hidrokarbonlar ya da klorlanmış esu rler gibi) ya da fosforlu katkılar (fosforik asit esterleri gibi) dır. Molibdendisülfür gibi katı yağlayıcılar da az miktarlarda kullanılır.

Deterjanlar: Uzun zincirli alkoller, benzen, sülfonik asit ve petrol esaslı sülfonik asitler gibi bileşikler olup iş parçası üzerinde birikim oluşumunu azaltır ya da önler.

Sis önleyici katkılar: Yağ esaslı çözeltiler kullanıldığında, metal kesme sıvılarının oluşturduğu asılı kirlilik uzun zamandan beri yaşanan bir sorundur. Az miktarlarda akrilat ya da polibutan eklenmesi, taneciklerin büyümesini sağlayarak, sislenmeyi azaltır.

Köpük önleyici katkılar: Köpüklenme, genellikle sıvı içerisine, ya da kesme işlemi ya da taşıma sırasındaki sallanmadan dolayı, hava karışması ile oluşur. Köpük oluşumunu önlemek ya da azaltmak için film yüzeyindeki serbest enerjinin azaltılması gereklidir. Bu amaçla geliştirilen köpük önleyici katkılar, polialkoksiloksanlar. dumanlı silika, yüksek molekül ağırlıklı amidler ve poliglikol gibi kimyasal maddelerdir.

Koku önleyiciler: Takım/iş parçası ara yüzeyindeki yüksek sıcaklıklar kesme sıvısını ısıtır ve operatör tarafından istenmeyen bir koku oluşur. Çam esansı, sedir yağı ve sassafras esansı bu kokulan önlemek için kullanılır. (Sassafras: Kuzey Amerika'da yetişen yaprakları hoş kokulu defnegillerden bir ağaç cinsi).

Korozyon önleyiciler: Özellikle su esaslı akışkanlar, tezgah parçalarının korozyonuna neden olurlar. Korozyonu önlemek için kesme sıvılarına sülfonatlar, boratlar ve benzotriazoller katkı maddeleri olarak eklenir. Korozyonu önleyen pek çok organik aminler ve sülfonatlar, aynı zamanda sülfaktan karakteristikleri de gösterirler. Bakır ve bakır alaşımlarında toluytriazol etkin bir korozyon önleyici katkıdır.

Boyalar: Kesme sıvalarının uygulama tekniklerine göre kullanma yerlerini tanımlamak için yağ ve suda çöünebilir boyalar kullanılmaktadır.

Antimikrobik Maddeler : Mikrobik çoğalmalar, bilerek ya da bilmeyerek su içeren kesme sıvılannda meydana gelir. Çoğalma koşullarına bağlı olarak bakteri, mantar ve/ya da küflenme oluşur. Bunları önlemek için mikrop öldürücü kimyasal madde kullanılır.

Kesme ve Taşlama Sıvılarının Seçimi

Metal kesme ve taşlama sıvılarının seçimi, çok sayıda ilgili etkinin değerlendirilmesine bağlı olarak yapılır. Bu değerlendirilen etkilerin bazıları, metal kesme ve taşlamaya etkisinden çok parçanın işlemden sonra temizlenmesi, sıvının tekrar kazanılma maliyeti, sıvının atık maliyeti, operatörün sağlığına ve güvenliğine karşı olası etkileri ve sıvının kendi maliyetidir. Bununla birlikte, özel bir kesme ya da taşlama sıvısı seçimi, işleme işleminin teknik ölçütünün temeli olmalıdır. Bu ölçütler, istenen tolerans, takım ömrü, yüzey kalitesi ve enerji tüketimidir. Sıvılar ayrıca, tezgaha ve işlenen parçaya karşı korozif olmamalıdır. Kesme ya da taşlama sıvısının seçimi; sıvının karakterisikleri, iş parçasının gereci ve işleme işleminden etkilenir. Çizelge.29, bu parametrelere göre hazırlanmtş bir kılavuzdur.

Kesme Sıvılarının Karakteristikleri

Yağ esaslı çözeltiler en iyi yağlama karakteristiklerine, bakteriyel etkilere direnç, yüzeyleri korozyondan koruma ve uygun filtreleme ile hemen kullanılabilme özelliklerine sahiptirler. Su esaslı çözeltiler en iyi soğutma ve girme (nüfuz etme) yeteneğine, en düşük kullanım maliyetine, daha az mineral yağ eklenmesi bağımlılığına ve talaşın kolay süziilmesinden dolayı yeniden kullanım maliyetinin daha düşük olması özelliklerine sahiptir.

İş Parçasının Malzemesi

Verilen bir iş parçasının gerecine göre kesme sıvısının seçiminde bazı genel tercihler vardır.

Otomat çelikleri: Özellikle yağlı esterler gibi kükürt esaslı katkılar içeren su esaslı kesme sıvıları çok uygundur. Klorlu aşın basınç katkıları genellikle uygun değildir.

Düşük karbonlu çelikler: Bu gereçleri işlemek için emülsiyonlar ve düşük viskoziteli yağlar kullanılır.

Orta ve yüksek karbonlu çelikler: Emülsiyonlar ve özellikle işleme hızı yüksekse su esaslı çözeltiler kullanır.

Dökme demirler: Su esaslı emülsiyonlar ve çözeltiler kullanılır.

Paslanmaz çelikler: Klor ve kükürtlü aşırı basınç katkıları eklenmiş düşük viskoziteli yağlar kullanılır.

Çizelge. 29- Kesme Sıvıları için Seçim Kılavuzu

Bu öneriler genel hatlardır. Bunlar, takım gereci ve bileşimi, iş parçası gereci ve ısıl işlemi ile takım tezgahına göre değişir. Tungsten karbür ve seramik takımlarla işlemede; alüminyum alaşımları, bakır alaşımları, plastikler ve çelikler için işlem koşullarına bağlı olarak çoğu kez bir kesme sıvısı kullanılmaz.

Gereç	İşlem(a)							
	Broşlama (içvedıs)	Kılavıu çekme, vida açma, derin delik delme	Otomatik tezgahlarda işleme	Frezeleme, delme, planyalama	Tornalama	Testere ile kesme	Yüzey, silindirik ve puntasız taşlama	Ezme ve form taşlama
Karbonlu çelikler	E2c, S2c	E2d, S2c 05 d	E2d 04d,05d	E2d, S2c 04c, 05c	E2d, S2c 04d, 05d	E2c, S2c 03c	E2c,d S2c, d 05c	03 c 05c
Otomat çelikleri, düşük karbonlu çelikler	E2d, S2c	E2c, S2c 05d	E2d 04d	E2d, S2d 04d, 05d	E2d, S2c d, 04d	E2c, S2c 03c	E2c,d S2c, d 05c	E2c,d 03d 05d
Alaşımlı çelikler	E2c 05c. d 07c	04c, 05c	E2c, 05c	E2c, S2c, 03c, 05c	E2c, S2c 03c, 05c	E2c, S2c 05c	E2c,d S2c,d 05c	04d 05d
Paslanmaz çelikler Takım çelikleri	E2c, S2c 04c, 05c	04c, 05c	E2c. 05c	E2c, S2c 03c, 04c	E2c, S2c 04c, 05c	E2c, S2c 05c	E2c,d S2c,d 05c	04d 05d
Dökme demirler	E1c,E2c S1c, S2c	E2c, S2c 05c	E2d,04d	E1c,E2d S1c, d S2c, d	E2c,04c	E2c,d	E2c,d S2c,d	E2c 05d
Alüminyum ve alaşımları	E2d, S2d 06d, 07d	E2d, S2d 05d, 07d	E2c,d 04d	E2c,d S2c,d	E2c,d S2c,d	E2c,d S2c,d	E2d, S2d	E2c,d 06d, 07d
Bakır ve alaşımları	E1d, S1d 06d	E2d, S2d 05d, 07d	E2d, 07d	E2d, S2c,d 07d	E2c,d S2c,d 04d	E2c,d S2c,d 06d	E2d, S2d	Ezd S2d
Titanyum ve alaşımları	E2c, S2c	03d, 05c	E2c, 04c	04c, 05c	E2c, S2c	E2c, S2c 05c, 07c	E2d, S2d	S2d,04d
Refrakter alaşımları	05c	05c	E2c, 04c	04c, 05c	E2c, S2c	S2c, 05c	E2d, S2d	E2c, d
Yüksek sıcaklık alaşımları (demir, nikel ve kobalt esaslı)	E2c, S2c 05c	05c	E2c, 05c, d	S2c, 05c 07c	E2c, 03c	E2c, S2c 05c	E1e, d S1c.d 04d	03c, 05c
Plastikler	E1d, E2d S1d, S2d 06d	E2c, S2c 06d	E2d, 01 04d	E2d, S2d 01	E2d, S2d	E1d,E2d S1c,S2c	E1d,E2d S1d,S2d	E1d,E2d S1d,S2d

(a) E, emülsiyonlar: 1. yüzey aklif, 2. Aşın basınç; S. Çözeltiler: 1. Yüzeyaktif, 2. Aşın basınç; 0, Mineral yağlar: 1. doğrudan mineral yağ, 2. Mineral yağ + hayvansal yağ, 3. Mineral yağ + hayvansal yağ + kükürt, 4. Mineral yağ + hayvansal yağ + klor, 5. Mineral yağ + hayvansal yağ + kükürt + klor, 6. Mineral yağ + hayvansal yağ + inhibite edilmiş kükürt, 7. Mineral yağ + hayvansal yağ + inhibite edilmiş klor. c, konsantre; d, seyreltilmiş.

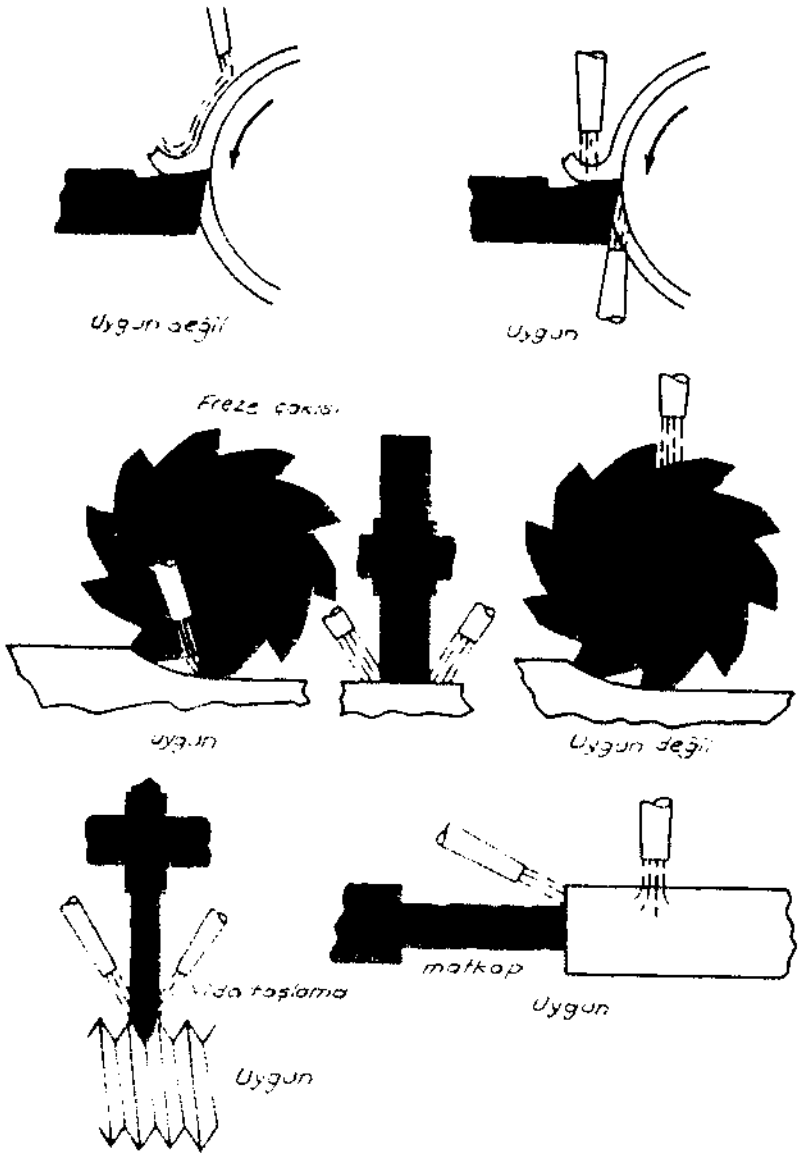
Bakır alaşımları: Hayvansal yağlı ester eklenmiş yağlar, emülsiyonlar ve su esaslı çözeltiler ile sabun esaslı çözeltiler kullanılır.

Alüminyum alaşımları: Hayvansal yağlı esterler ve amidler içeren su esaslı çözeltiler kullanılır. Ayrıca, özellikle tornalama ve frezeleme işleminde, hayvansal yağ esterleri içeren hafif yağlar da kullanılmaktadır.

Titanyum alaşımları: Klorlu aşın basınç katkılan içeren hafif yağlar kullanılır. Silisyum karbür taşlarla taşlama yapıldığ zaman, klor içeren emülsiyonlar da etkin olarak kullanılmaktadır.

İşleme Yöntemleri

Herbir metal kesme işlemi, kesme sıvısının verimini etkileyen karakteristiklere sahiptir. Bu kesme işlemleri ve etkileri aşağıdaki gibidir.



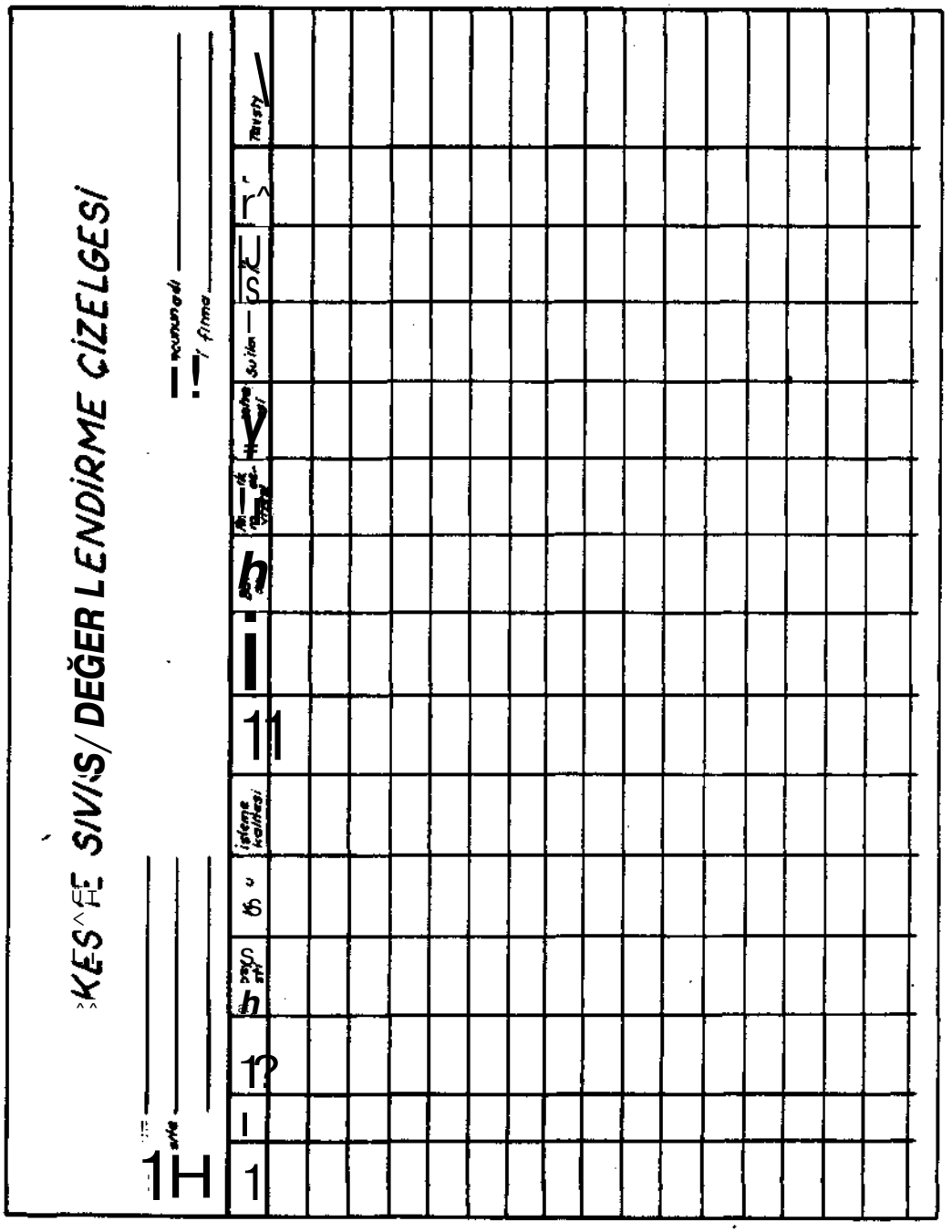
Şekil.29- Kesme sıvısının uygulamasının düzgün ve düzgün olmayan biçimleri

Tornalama: Kesici takımın iş parçası ile sürekli temas etmesinden dolayı kesme alanına ulaşmak çok sınırlıdır. Bundan dolayı seçilecek kesme sıvısı ve katkısı düşük moleküler ağırlıklı olmalıdır. Genelde, pekçok tornalama işlemi için su esaslı çözeltiler ve emülsiyonlar tercih edilir.

Frezeleme: Bu işlemde, kesme hızlarının nispeten düşük olması ve kesici takıma ulaşmak kolay olduğu için, genellikle yağlama çok önemlidir. Bundan dolayı, bileşik yağlar ve emülsi-yonlar tercih edilir.

Delme: Takım ve iş parçasının sürekli birbiri içine geçmiş olması ve kesme alanına ulaşmanın zorluğundan dolayı, mümkünse kesme sıvısını kesme alanına ulaştıracak kanala sahip matkaplar kullanılmalıdır. Kimyasal özellikleri, işlenen malzemenin bileşimi fazla etkilense de, kükürt ve/ya da klor katkılı yağ ve su esaslı çözeltiler basan ile kullanılmaktadır.

Taşlama: Taşlama taşının yüksek dönme hızından dolayı, sıvının taş ve iş parçasına temas ettiğinden emin olmak çok önemlidir. Ayrca, taşlama taşının ve iş parçasının kimyasal ilişkisi de önemlidir. Genellikle taşlamada, esterlerin, amidlerin, kükürt bileşiklerinin ve klor bileşiklerinin formülasyonda kullanıldığı emülsiyonlar ve su esaslı çözeltiler taşlama sıvısı olarak kullanılır.



Şekil 0- Kesme sıvılarının ön — nin — t ve analizi kullanılması kesme sıvısı değeri

Uygulama Yöntemleri

Kesme sıvılarının takım/iş parçası ara yüzeyine doğru bir biçimde uygulanması, sıvının etkin olarak kullanılmasının temelidir. Uygulama yöntemi sadece yağlama ve soğutmayı etkilemez, fakat ayrıca kesme işleminde çıkan talaşın uzaklaştırılmasının verimliliğini de etkiler. Şekil. 29 da kesme sıvısının akışının nasıl yapılması gerektiği hakkında bazı öneriler görülmektedir.

Kesme sıvısı uygulamasında genellikle üç yöntem kullanılır. Bunlar;

Akıtma: Kesme bölgesine sıvının doğrudan akıtılması biçiminde uygulanan bu yöntem çok yaygındır. Yağlama, soğutma talaşın uzaklaştırılması ve kesme alanına ulaşmada çok yardımcı bir metoddur.

8. KESME VE TAŞLAMA SIVILARININ KONTROL VE TEST YÖNTEMLERİ

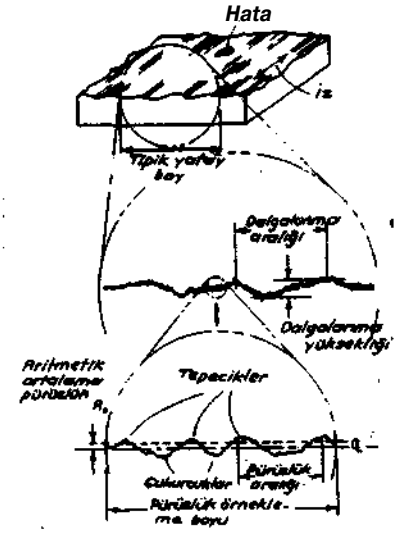
Kesme ve taşlama sıvılarının; seçimi ve uygun kullanımı kadar üretimi, satmalımı ve kullanımı sırasında periyodik olarak bir takım kontrol ve testlerin yapılması da önemlidir. Burada, yapılması gereken kontrol ve testler sadece ad olarak sıralanmıştır. Nasıl yapılması gerektiği çok yaygın olarak kullanılmalarından dolayı, Çizelge. 30 da listesi verilen ASTM standartlarında detaylı olarak verilmektedir. Kullanılan kontrol ve test yöntemleri:

- Viskozite
- Konsantrasyon
- Emülsiyon stabilitesi
- Köpüklerime
- Kir tanecikleri
- Hidrojen iyonu konsantrasyonu
- Korozyon
- Biyolojik testler
- Su kalitesi
- Kalıntılar (residues)
- Elektrik iletgenliği.

Kesme ve taşlama sıvılarının değerlendirilmesi ve analizinin yapılabilmesi için Şekil. 30 da verilen çizelge kullanılmaktadır. Buradan alınacak verilerle aynı zamanda sıvının kullanım ömrü de saptanabilir.

Çizelge. **30- Metal** Kesme ve Taşlama **Sıvılarının Kontrolü İçin ASTM Standartları**

Standart No	Konusu
D88	Seybolt viskozitesi
D92	Cleveland açık kab ile parlama ve yanma noktası
D94	Petrol ürünlerinin sabunlaşması sayısı
D129	Petrol ürünlerinde kükürt (bomba yöntemi)
D130	Bakır şeritli leke testi ile petrol ürünlerinin bakır korozyonunun tesbiti
D808	Yeni ve kullanılmış petrol ürünlerinde klor (bomba metodu)
D811	Yeni ve kullanılmış yağlama yağında metallerin kimyasal analizi
D892	Yağlama yağlarının köpüklenme karakteristikleri
D893	Kullanılmış yağlama yağlan içindeki erimeyenler
D1317	Yeni ve kullanlmış yağlayıcılarda klor (sodyum alkalat metodu)
D1479	Eriyebilen kesme yağlarının emülsiyon stabiliteleri
D1662	Kesme sıvılarında aktif kükürt
D1748	Nemli kabinlerde metal koruyucularla pastan koruma
D3601	Sulu ortamlarda köpük (şişe testi)
D3705	Yağlama sıvılarının sislenme özellikleri
D3946	Suda çözünebilir metal işleme sıvılarının biyolojik dirençlerinin değerlendirilmesi.



Şekil. 31- Tek doğrultulu iz ve bir hatalı yüzeyde pürüzlülük ve dalgalanma.
R_a ve dalgalanma yüksekliği tanımı için Şekil. 32 ye bakınız.

9. YÜZEY KALİTESİ VE YÜZEY UYGUNLUĞU

Bir parça yüzeyinin tanımlanması ve kontrol edilmesi gereken iki önemli görünüşü vardır. Birincisi yüzeyin düzgünsüzlüğü, ikincisi de yüzeyin ve yüzey tabakalarının metalurjik değişiklikleri ile ilgilidir. Bu ikinci görünüş, yüzey uygunluğu olarak adlandırılır. Hem yüzey kalitesi hem de yüzey uygunluğu, herhangi bir ürünün işlemlenmesinde, belirlenmiş sınırlar içinde tanımlanmalı, ölçülebilmeli ve sağlanmalıdır. Yüzey kalitesi için kullanılan standartlar ABD de, ANSI/ASME B 46.1 - 1985 ve Avrupada İSO dur. Yüzey yapısı (texture) sembolleri için standart olarak Amerikada ANSI Y 14-36-1978, Avrupada ISO kullanılmaktadır. Yüzey uygunluğu için Amerika'da ANSI B 211.1-1986, Avrupada ISO kullanılmaktadır.

Yüzey Kalitesi ya da Yüzey Yapısı

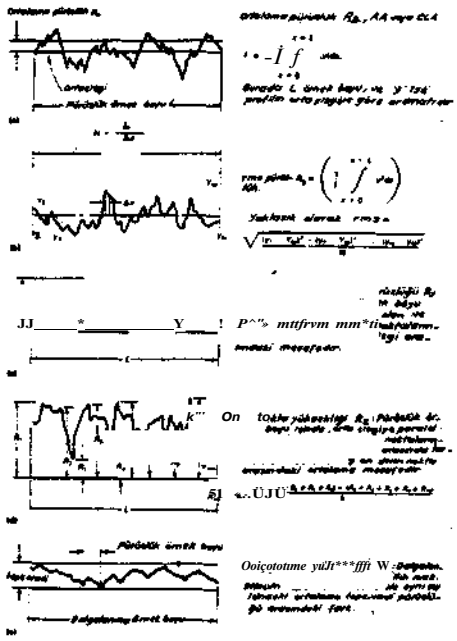
Yüzey kalitesi, ANSI/ASME B46.1-1985'te tanımlandığı gibi sadece parça yüzeyinin geometrik düzgünsüzlüğü ve pürüzlülük ölçme cihazlarının karakteristikleri ile ilgilidir. Yüzey yapısı; pürüzlülük, dalgalanma, iz ve hatalara göre belirlenir (Şekil. 31).

- Yüzey pürüzlülüğü, işleme sırasında oluşan ilerleme izleri gibi üretim işleminin doğasından kaynaklanan çok küçük düzgünsüzlüklerdir.
- Dalgalanma; tezgah ya da iş parçasındaki esnemeler, titreşim ya da tırlamalar gibi etkenlerden doğan yüzey yapısının büyük bir alandaki görünüşüdür.
- İz, işlenmiş yüzeyde kesici takımın bırakmış olduğu desenin yönüdür.
- Hatalar, yüzeyde kasıtsız olarak meydana gelmiş beklenmedik ve istenmeyen süreksizliklerdir. Örneğin çatlaklar, çentikler ve çizikler

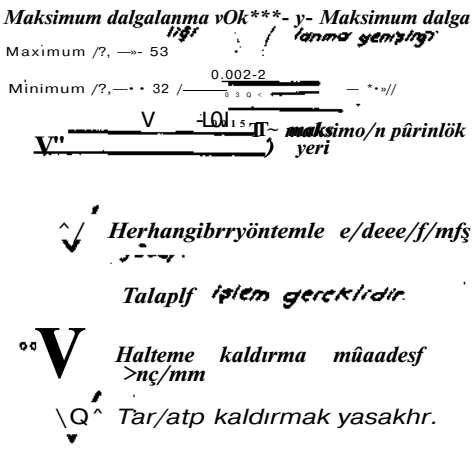
Yüzey pürüzlülüğü ve dalgalanma, yüzey temaslı ve temassız tipte olmak üzere, çeşitli aletlerle ölçülebilir, iğneli temaslı tip bir alet ile yüzey pürüzlülüğünü ölçmek, en fazla kullanılan bir teknik olup, yüzey pürüzlülüğünün sayısal değerini verir. Bu tür aletler genellikle pürüzlülüğü, aritmetik ortalama R_a (Şekil.32a) ya da karelerin ortalamasının kökü (root mean square - rms) R, (Şekil. 32b) cinsinden verirler.

Yüzey Deseni Sembolleri. Şekil. 33 de gösterilmiş olan bu semboller teknik resim ve şartnamelerde kullanılır, tzler ve doğrultularını tanımlayan semboller Şekil. 34 de görülmektedir.

Yüzey Pürüzlülüğü Tanımları. Bazı yüzey pürüzlülüğü tanımları Şekil. 32 de görülmektedir. Bugün en çok kullanılan tanımlar, aritmetik ortalama R_a ve karelerin ortalamasının kökü R_q dur. R<, ve R_a arasındaki oran, yüzeyin elde edildiği üretim işlemine bağlı olarak değişir (Bak.Çizelge. 31). Yüzey pürüzlülük değerlerinin ençok kullanılanları seri olarak Çizelge. 32 de verilmiştir.



Şekil. 32- Bazı çok kullanılan yüzey pürüzlülüğü tanımlan; (aj R,, (b) R_q, (c) R_y veya R_{max}, (d) R_x, (e) w



Şekil.33- Teknik resimler ya da şartnamelerde kullanılan yüzey kalitesi semboUeri. Bu örnekte, ^m olarak verilen Ra değerleri hariç tüm değerler mm dir.

Üretim işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü. Döküm, ekstrüzyon ve sıcak dövme gibi ilk işlemlerden bazı bitmiş yüzeyler olmasına rağmen, yüzey elde etmek için esas metod işleme işlemidir (talaşlı işlemdir). Herbir yüzey elde etme metodu karakteristik bir yüzey pürüzlülüğü aralığına sahiptir. Bunlardan bazıları şekil 35 te gösterilmiştir. Son yüzeyler genellikle işleme teknikleri ile elde edilir.

Yüzey pürüzlülüğü ve *boyutsal toleranslar.* Bir makina parçasının hassasiyeti ya da toleranslı yüzey pürüzlülüğü ile yakından bağlıdır (Bakınız Çizelge. 33). Çok dar tolerans elde etmek için çok hassas bir yüzey gerekir ve bir parçayı çok küçük pürüzlülük değerinde işlemek için bir kaç işleme işlemi gerekebilecektir. Örneğin 3.2 *m\ı* (125 **n** in.) yüzey pürüzlülüğü frezeleme ve tornalamada elde edilebilirken, çok hassas (düşük pürüzlülük değerinde) bir yüzey taşlama ya da aynca honlama, süperfiniş, parlatma, vb. gerektirebilir. Bundan dolayı, hassas yüzeyler maliyet artışına neden olurlar.

Çizelge. 31- Karelerin Ortalamasının Karekökü Pürüzlülüğün Aritmetik Ortalama Pürüzlülüğe Oram

Karelerin ortalamasının karekökü pürüzlülük	R_1
Arimetik ortalama pürüzlülük	R_a
Sinüs dalgasının teorik oranı R_q/R_a	1.11
Çeşitli işlemler için R^/R, nın gerçek değeri	
Tornalama	1.17-1.26
Frezeleme	1.16-1.40
Yüzey taşlama	1.22-1.27
Silindirik taşlama	1.26-1.28
Yumuşak honlama	1.29-1.48
Sert honlama	1.50-2.10
Elektro erozyon işleme (EDM)	1.24-1.27
Kum püskürtme (kumlama)	1.24-1.28
R_q/R_a nın pratik değrleri	
Pek çok işlem	1.25
Honlama	1.45



ŞekU34- İz ve doğal doğrultusunu tanımlamak için kullanılan semboller

Çizelge. 32- Pürüzlülüğün Çok Kullanılan Serileri

|xm	(iin	µm	(iin
0.012	0.5	1.25	50
0.025	**1**	**1.60**	**63**
0.050	**2**	2.0	80
0.075	3	2.5	100
0.10	**4**	**3.2**	**125**
0.125	5	4.0	160
0.15	6	5.0	200
0.20	**8**	**6.3**	**250**
0.25	10	8.0	320
0.32	13	10.0	400
0.40	**16**	**12.5**	**500**
0.50	20	15	600
0.63	25	20	800
0.80	**32**	**25**	1000
1.0	40	**50**	2000

Çizelge. 33- İşlenmiş Yüzeylerin Sınıflandırılması

Sınıf	Pürüzlülük, Hm	Ra (iin	Elde edilebilecek Tolerans (+/-) mm	in	Tipik işleme metodu	Yaklaşık Oransal Maliyet
Süperfiniş	0.10	4	0.0125	0.0005	Taşlama, mikrohonlama, lepleme	40
Parlatma (Polish)	0.20	8	0.0125	0.0005	Taşlama, honlama, lepleme	35
Taşlama	0.40	16	0.025	0.001	Taşlama, lepleme	25
Pürüzsüz	0.80	32	0.050	0.002	Taşlama, frezeleme	18
Hassas	1.60	63	0.075	0.003	Frezeleme, taşlama, raybalama, broşlama	13
Yarıhassas	3.2	125	0.100	0.004	Taşlama, broşlama, frezeleme, tornalama	9
Orta	6.3	250	0.175	0.007	Planyalama, frezeleme, tornalama	6
Yarıkaba	12.5	500	0.330	0.013	Frezeleme, tornalama	4
Kaba	25.0	1000	0.635	0.025	Tornalama	2
Temizlenmiş	50	2000	1.250	0.050	Tornalama	1

Frezeleme ve tornalama takımları ile elde edilebilen teorik yüzey pürüzlülüğü. Freze ve torna kesme takımları ile elde edilen teorik yüzey pürüzlülüğü profilini hesaplamak mümkündür. Bu hesaplar üç genel kesici takım için yapılmıştır. Bunlar; tip A: sivri uçlu freze (Şekil. 36a), tip B: yuvarlak torna, tip C: ucu radyuslu torna, (Şekil. 36b) dır. Tip B ve C hem tornalama hem de frezelemede kullanılmaktadır. Hesaplamalar, ilerleme, takım uç radyusu, arka kesme açısı ve yan kesme açısının bir fonksiyonu olarak yapılmışıtr. Bu hesaplamalardan elde edilecek yüzey pürüzlülüğü pratikte elde edilebilecek yüzeyin en iyisidir. Gerçekte ise takım ucuna malzeme sıvanmasından dolayı, yüzey pürüzlülüğü daha kötü olur.

Sıfır uç radyuslu kesici ile yapılan alın frezelemede elde edilebilecek teorik yüzey pürüzlülüğü Şekil. 37 de gösterilmiştir. Yuvarlak kesme kenarlı bir kesici takım ile frezeleme ya da tornalamada elde edilebilecek teorik yüzey pürüzlülüğü Şekil. 38 de gösterilmiştir. Uç radyusu 0.396 mm ve çeşitli arka kesme açılı takımlar ile elde edilebilecek teorik yüzey pürüzlülüğü Şekil. 39 da görülmektedir.

Yüzey Uygunluğu.

Bozulmamış ya da daha da iyileştirilmiş yüzeylerin karakteristiği ve üretimi için metalürji, **izlenebilirlik** ve mekanik testler arasındaki ilişkinin anlaşılmış olması gerekir. Bu istekleri karşılamak için, yüzey uygunluğu olarak bilinen bir kavram oluşturulmuş ve bu da tüm dünyaca kabul edilmiştir. Yüzey uygunluğu teknolojisi, malzeme özelliklerine etkileri ve yüzeylerin çalışma sırasındaki verimi dahil, üretim sırasında oluşan yüzey tabakalarının mümkün olan pekçok değişimlerini açıklar ve kontrol eder. Yüzey uygunluluğunu sağlamak için, üretim işlemlerinin seçilmesi ve kontrolü ve bunların iş parçası gereçlerinin önemli özelliklerine etkilerinin tahmin edilmesi gereklidir.

Yüzey uygunluğu, hem yüzey pürüzlülüğü ya da topografyası ve hem de yüzey metalürjisi, çalışma ve kontrolünü kapsar. Bu etkilerin hepsi, işlenmiş yüzey ve yüzey altının kalitesini etkiler ve yüksek statik ve dinamik gerilmelere dayanması gereken parçaların üretilmesi sırasında çok daha önem kazanırlar.

Tipik yüzey uygunluğu problemleri aşağıda sıralanan işlemlerde oluşur:

- Uçak iniş takımlarındaki yüksek dayanımlı çeliklerde taşlama yanmalarında.
- Çelik parçalardaki deliklerde temperlenmemiş martenzit.
- Nikel döküm esaslı gaz türbin kepçelerinin dip kesitlerindeki taşlama çatlakları.
- Elektro erezyonla (EDM) işlenmiş parçalarda yorulma dayanımının (Fatigue strength) azalması.
- İnce parçalarda çarpılma
- İşlemede kalıcı gerilimler ve bunun çarpılmaya, yorulmaya ve gerilim korozyonuna etkiler.

Talaşlı Üretimle İlgili Yüzey Değişimlerinin Tipleri

Mekanik

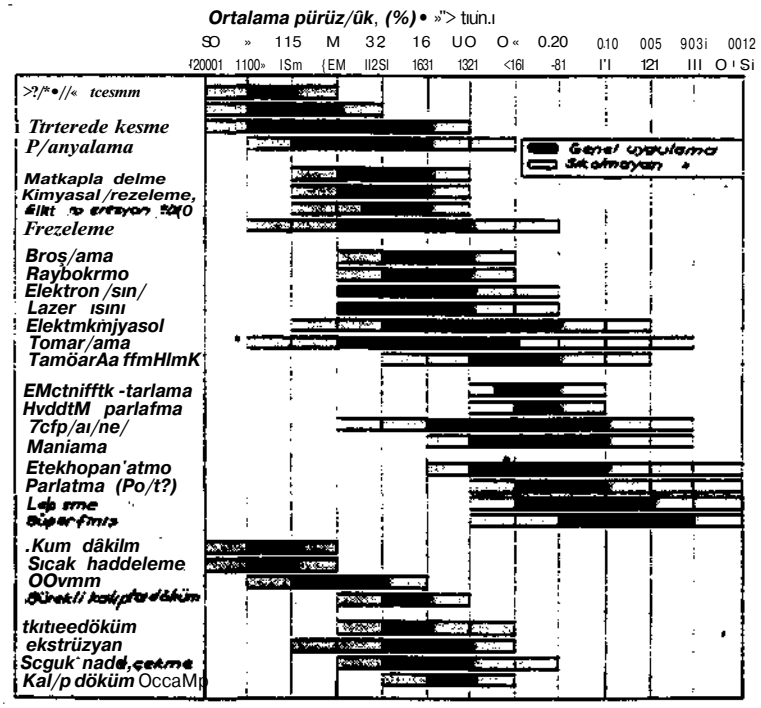
- Plastik şekil değiştirme (sıcak ya da soğuk işlem sonucu olarak)
- Yırtılma ve katlanma ve yarılma gibi hatalar (işlemede malzeme sıvanması oluşumu ile ilgili)
- Sertlik değişmeleri
- Yüzey tabakasında kalıcı gerilim dağılımı
- İşlem sonucu yabancı madde girişi
- Taşlamanın bir sonucu plastik olarak şekil değiştirmiş kalıntılar.
- Yüzeyde; boşluklar, çukurcuklar, çapaklar ve yabancı madde.

Metalurjik

- Fazların transformasyonu
- Tane büyüklüğü ve dağılımı
- Çökelti büyüklüğü ve dağılımı
- Malzeme içinde yabancı madde
- İkizlenme (Twinning)
- Yeniden kristallenme
- Temperlenmemiş ya da aşırı temperlenmiş martenzit
- Yeniden çözülme ya da östenit geri dönüşümü (austenite reversion)

Kimyasal

- Taneler arası etkileşim
- Taneler arası korozyon
- Taneler arası oksitlenme
- Mikroyapıların erimesi
- Kirlenmeler
- Hidrojen ve klor gibi elementlerin kimyasal absorbsiyonu ile oluşan kırılganlık (Hidrojen kırılganlığı, klor kırılganlığı)
- Çukurcuklar veya dağlanmalar
- Korozyon
- Gerilim korozyonu (stress corrosion).



Şekil.35- Genel üretim yöntemleri ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü.
Gösterilen aralıklar listelenen işlemler için tipiktir. Yüksek ya da düşük değerler özel şartlarda elde edilir.

Isıl

' Isıdan etkilenmiş bölge
• Yeniden dökülmüş ya da yeniden birikmiş malzeme
• Yeniden katılaşmış malzeme
• Yüzeyde, çarpmış parçacık ya da yeniden ergimiş metal birikmesi.

Elektriksel

• iletkenliğin değişmesi
• Manyetik değişme
• Dirençli ısınma ve aşırı ısınma.

Talaşlı işlemlerde oluşan yüzey değişmelerinin ana nedenleri şöyle sıralanabilir:

• Talaşlı işlemde oluşan yüksek sıcaklık ya da yüksek sıcaklık dağılımı
• Plastik şekil değiştirme.
• işlenmiş yüzeye kimyasal reaksiyonlar ve bunu izleyen absorbsiyon
• Aşın elektrik akımları
• işlem sırasındaki aşırı enerji yoğunluğu.

Gerçekte tüm talaş alma işlemleri, yüzey değişmele^ ve yüzey altı şartlar oluşturur. Çeşitli işlemler sonucu oluşan yüzey değişimleri Çizelge.34 de özetlenmiştir.

Çizelge. 34- Çeşiüi Talaş Alma İşlemlerinden Doğan Muhtemel Yüzey Değişimlerinin Özeti

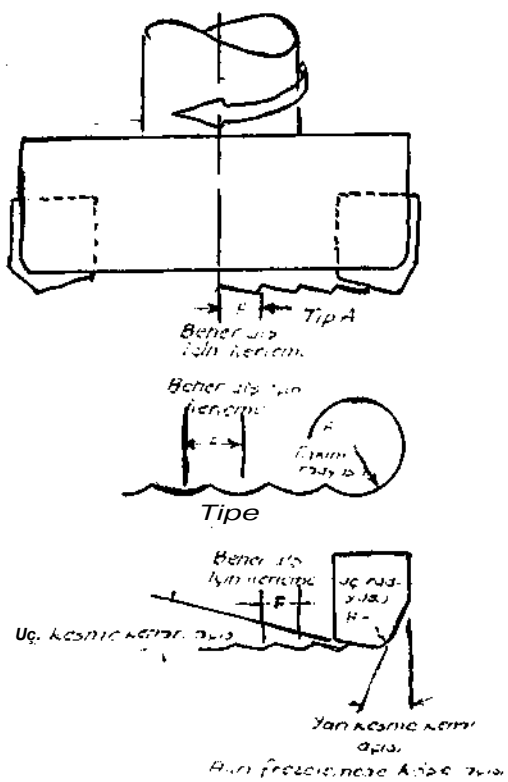
R	Yüzey pürüzlülüğü	**UTM**	Temperlenmemiş martenzit
PD	Plastik şekil değiştirme ya da plastik olarak şekil değiştirmiş kalıntılar	**OTM**	Aşırı temperlenmiş martenzit
		OA	Aşın yaşlandırma
L & T	Katmerler ve yırtılmalar	RS	Yeniden çözülme veya östenit geri dönüşümü
MCK	Mikro çatlaklar	RC	Tekrar döküm,, çarpmış metal veya buharlaşarak birikmiş metal
SE	Dağlanma	**HAZ**	Isı ile etkilenmiş bölge

IGA Taneler arası etkileşim

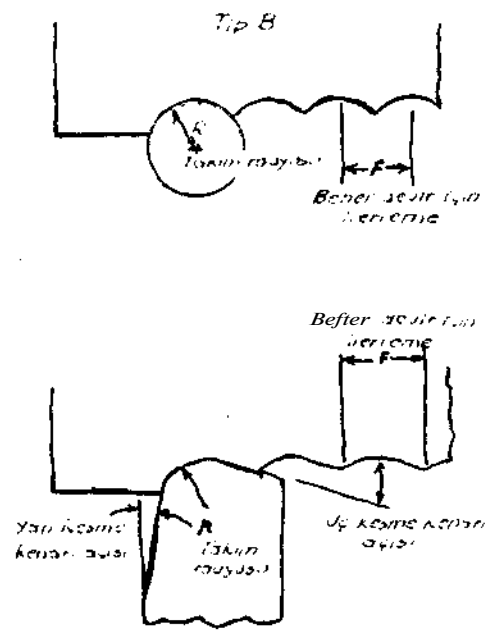
	İşlem				
	Geleneksel		**Geleneksel Olmayan**		
Gereç	**Frezeleme, delme ve tornalama**	**Taşlama**	**Elektroerozyon (EDM)**	**Elektrokimyasal (ECM)**	**Kimyasal işleme**
Sertleşmeyen AISI/SAE 1018 çeliği	R PD	R PD	R MCK	R SE	R **SE**
Sertleşebilir AISI/SAE 4340 ve D6 ac çelikleri	R **PD** **L&T** MCK UTM OTM	R **PD** MCK UTM OTM	R MCK **RC** UTM OTM	R SE IGA OTM	R **SE** IGA
AISI/SAE D2 takım çeliği	R PD L&T MCK UTM OTM	**R** PD MCK UTM OTM	R MCK **RC** UTM OTM	R SE IGA	R SE IGA
AISI/SAE type 410 paslanmaz çelik (martenzitik)	R PD L&T MCK UTM OTM	R **PD** MCK UTM OTM	R MCK **RC** UTM OTM	**R** SE IGA	R **SE** IGA
AISI/SAE type 302 paslanmaz çelik (östenitik)	R **PD** **L&T**	R PD	R MCK **RC**	R **SE** IGA	R **SE** IGA
17-4 PH Çelik	**R** **PD** L&T OA	R **PD** **OA**	R MCK RC OA	**R** **SE** IGA	**R** **SE** IGA
Grade 250 maraging çeliği (% 18 Ni)	R PD L&T RC OA	R PD RS OA	R RC RS OA	**R** SE IGA	R SE IGA

Çizelge. 34- Çeşitli Talaş Alma İşlemlerinden Doğan Muhtemel Yüzey Değişimlerinin Özeti (Devam)

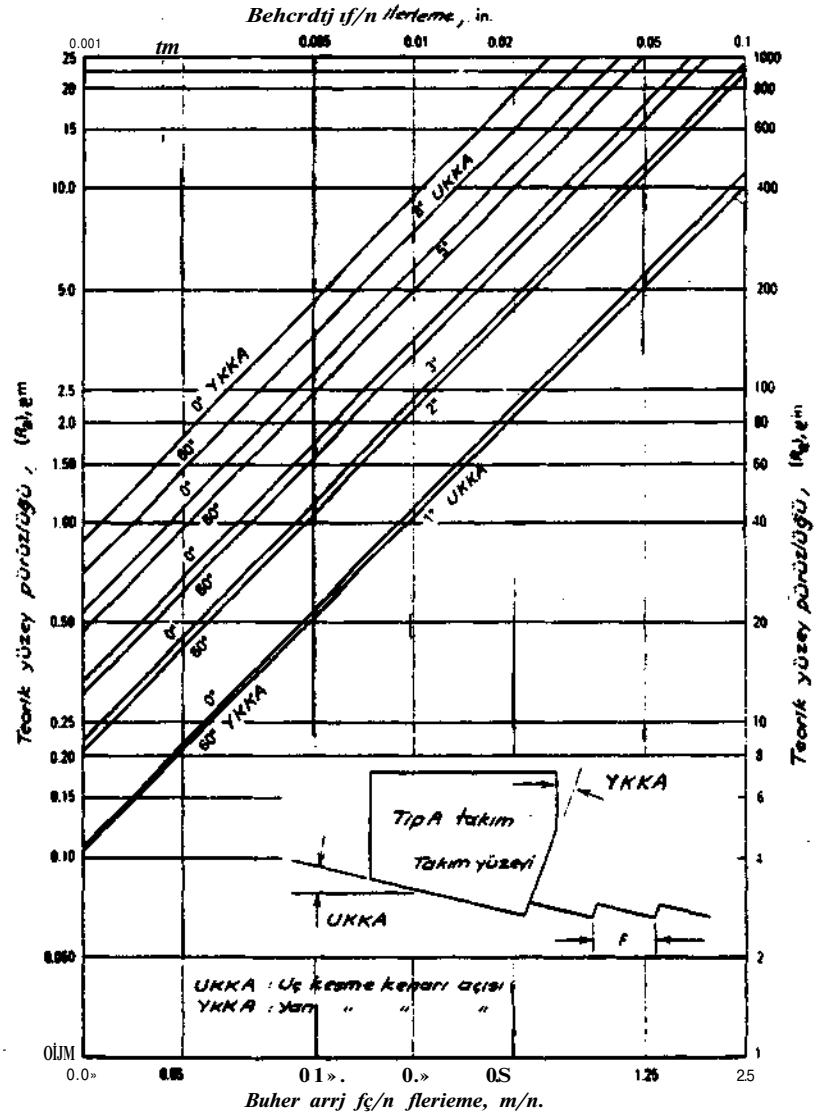
Nikel ve kobalt esaslı alaşımlar	HAZ	HAZ	**R**	**R**	**R**
Inconel alaşımı 718	**R**	**R**	MCK	SE	SE
René 41	PD	PD	RC	IGA	IGA
HS31	L&T	MCK			
İN 100	MCK				
Tİ-6AL-4V	HAZ	HAZ			
	R	R	**R**	R	**R**
	PD	**PD**	MCK	SE	SE
	L&T	MCK	RC	IGA	
Refrakter Alaşımı TZM	**R**	**R**	**R**	**R**	**R**
	L&T	MCK	MCK	SE	SE
	MCK			IGA	
Tungsten (preslenmiş ve sinterlenmiş)	R	R	**R**	**R**	**R**
	L&T	MCK	MCK	SE	SE
	MCK			MCK	MCK
			IGA	IGA	



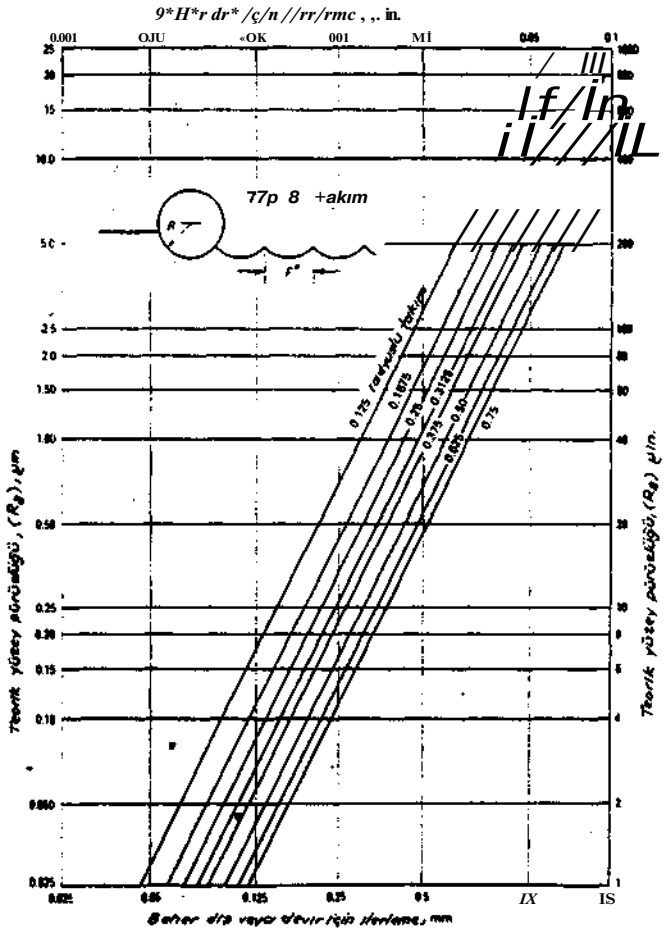
Şekil. 36a- Alın frezeleme modelinde elde edilen teorik yüzeyler: Tip A sivri uçlu freze takımı, Tip B yuvarlak takım ve Tip C ucu radyuslu freze takımı



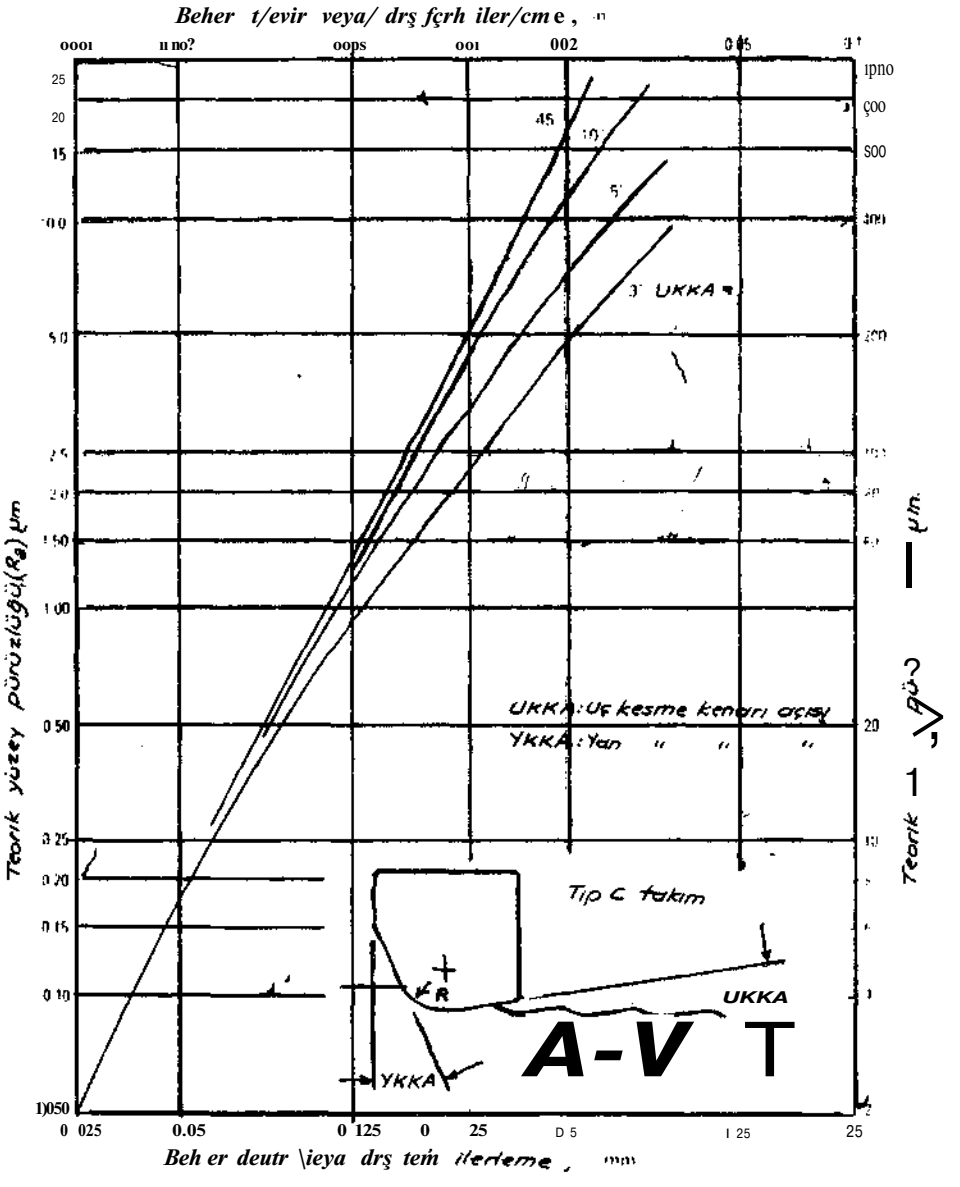
Şekil. 36b- Tornalama ile elde edilebilecek teorik **yüzeyler. Tip B yuvarlak bir takımla ve Tip C radyuslu bir takım.**



Şekil. 37- Sıfır uç radyuslu dişi olan bir freze takımı için teorik yüzey pürüzlülüğü.



Şekil. 38- Yuvarlak kesme kenarlı kesici takım ile tornalama ya da frezeleme için teorik yüzey pürüzlülüğü



Şekil. 39- 0.39 mm ve radyusu ve çeşitli arka kesme açıları ile tornalama ve alın frezeleme için teorik yüzey pürüzlülüğü

Yüzey uygunluğunun ölçülmesi.

Yüzey uygunluğu genel olarak iki yöntemle ölçülür. Bunlar:

Makroskopik yöntem: Görülebilir çatlaklar ve diğer yüzey hatalarım bulmak için uygulanan gözle muayene yöntemidir. Bu yöntemde magnetik olmayan gereçler için *sıvı penetran (dye penetrant),* magnetik gereçler için *Magnetik parçacık (Magnetic partide),* alüminyum gibi demir dışı metaller için *Eddy akımları (Eddy current)* testleri en çok kullanılan yöntemlerdir.

Mikroskopik yöntem: Bu yöntemle incelenecek yüzeye dik bir kesit alınarak bu yüzey mikroskop altında incelenir.

Bu yöntem ile aşağıda sıralanan mikroyapısal değişimler incelenir:

- Mikroçatlaklar
- Plastik şekil değiştirmeler
- Faz transformasyonları
- Taneler arası etkileşimler
- Katmerler ve kalıntılar gibi mikrohatalar
- Sıvanma ya da kalıntıların birikimi
- Erime tabakaları
- Dağlanma
- Metalurjik değişimler
- Isıdan etkilenmiş bölgeler.

Yüzey uygunluğunun kontrolü; üretim maliyetinin artışına, üretim hızının azalmasına neden olur. Bu nedenle yüzey uygunluğu kontrolü gerekmedikçe uygulanmamalıdır. Yüzey uygunluğunu sağlayan proses parametreleri maliyeti azaltmak için sadece kritik parçalara ya da parçanın kritik alanlarına uygulanmalıdır.

10. TORNALAMA

Genel

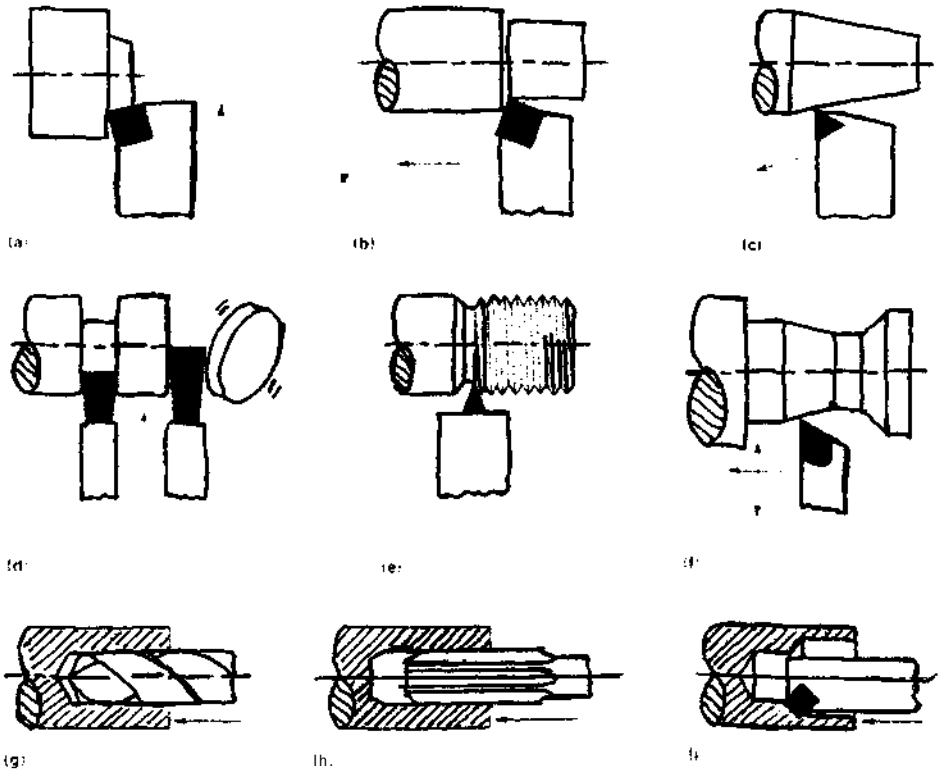
Tornalama, genellikle bir torna tezgahında, dönen bir iş parçası üzerinden kesici takımın hareketi ile dış yüzeyden talaş kaldırma işlemidir. Delik tornalama (boring) ise aynı işlemin delik iç yüzeyine uygulanmasıdır.

Genellikle, bazı diğer talaş kaldırma işlemleri tornalama ile birlikte yapılır. Bunlar; alın tornalama, delme, delik tornalama, raybalama, kılavuz çekme, vida açma, pah kırma ve tırtıl çekme işlemleridir. Bu işlemlerin bir bölümü Şekil. 40 da görülmektedir. Tornalama işlemi iki biçimde yapılabilir. Bunlardan birincisinde parça aynaya bağlanıp punta ile desteklenir (ki uzun parçalar bu biçimde bağlanır), diğerinde ise parça punta ile desteklenmeden doğrudan aynaya tutturulur (takoz şeklinde kısa parçalar bu şekilde bağlanır.).

Tornalama, saat parçasından 25 m uzunluktaki gemi şaftına kadar değişen boyuttaki parçalara uygulanır. 3 m çaptaki alüminyum parçalar da (çelik yada pirincin üçte biri yoğunlukta) başanlı bir şekilde tornalanmaktadır. Tutma ve taşımadaki sorunlar ağırlık ve boyutun artması ile artar. Bazı büyük parçalar düşey torna tezgahlarında tornalanır.

Torna Tezgahları

Torna tezgahlan ilke olarak, kesici takımların yerleştirilip bağlandığı ve hareketlerinin sağlandığı araba, arabanın iş parçası dönme eksenine paralel hareketini sağlayan iki yollu banko, iş parçasının üzerine takılıp döndürüldüğü fener mili, fener milinin istenilen yön ve devirde dönmesini sağlayan Norton kutusu, hareket gücünü veren bir motor ve iş parçasının eksende tutulmasını sağlayan puntadan oluşur. Bu ana parçalar ve temel hareketler Şekil. 41 de görülmektedir.



Şekil. 40- Tornada gerçekleştirilen bazı temel talaş kaldırma işlemleri, (a) Alın tornalama, (b) Düz tornalama-sabit çap tornalama, (c) Konik tornalama, (d) Kanal açma ve kesme, (e) Vida açma, (f) Kopya tornalama, (g) Delme, (h) Raybalama, (ı) Delik tornalama.

Tornalar, boyut ve modellerine bakılmaksızın, işlem sırasındaki kontrol yöntemine göre üç sınıfa ayrılır. Bunlar:

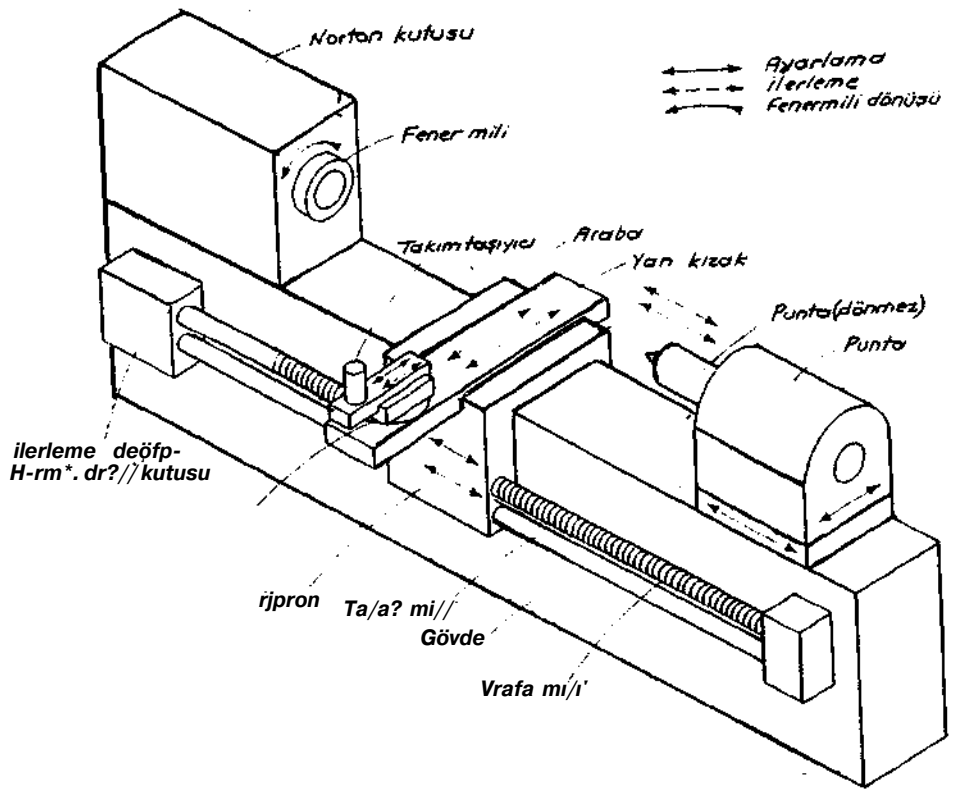
1. El kumandalı tornalar: Hiçbir otomatik ya da yan otomatik konrolu olmayan, tüm işlemlerin operatör tarafından kontrol ve kumanda edildiği torna tezganlandır. Bu tip tornalar genellikle; bir ya da birkaç tane parçanın işleneceği işlemlerde, prototip işlemek için modelhanelerde ya da küçük atölyelerde, tornalama işleminin bir ya da birkaç gün süreceği büyük parçaların işlenmesinde kullanılır.

Bu tornalarda tezgah hazırlık zamanı, yan otomatik ve otomatik tornalara göre çok azdır. Bu tür tornalara, eksenlerin hareket miktannı çok hassas olarak (0.001 mm) okuyan dijital okuyucular takılarak hassasiyet ve verimlilik arttırılmıştır.

2. Yarı otomatik tornalar: İşlemin, büyük ölçüde otomatik olarak yapıldığı torna tezgahlandır. Tüm yan otomatik tornalar, işlem sırasında işlemi gözlemleyen bir operatör gerektirir.

Yan otomatik tornalar için tezgah hazırlık zamanı, otomatik tornalardan az, fakat el kumandalı tornalardan çoktur. Pekçok yan otomatik torna tezgahı kopya tertibatlı olabilmektedir.

3. Otomatik tornalar: tşlem esnasında operatör gözlemine gerek olmayan tornlaardır. Pekçok tipinde iş parçası tezgaha elle verilmekte ve alınmaktadır. Aynca, işlem elle başlatılmakta, fakat otomatik olarak tamamlanmaktadır (ve tezgah durmaktadır). İşlem zamanına bağlı olarak (yeteri kadar uzun), bazan bir operatör, iki ya da daha fazla sayıda otomatik tornayı yönetebilmektedir.



41- Bir torna tezgahının esas **parçaları ve hareketleri**

Otomatik tornalar, hazırlık zamanı en yüksek tezgahlardır, fakat üretim kapasiteleri de çok yüksektir. Tezgahı daha da otomatik hale getirmek için bazan otomatik yükleme ve boşaltma düzenekleri eklenmektedir.

Tornalar, yukarıda anlatıldığı gibi sınıflandırmanın yanında tasan m karakteristiklerine göre de sınıflandırılırlar. Bunlar, üniversal tornalar, kopya tornalar, revolver tornalar, otomatik (otomat) tornalar, çok milli otomat tornalar, özel amaçlı tornalar, sayısal denetimli tornalar (NC), bilgisayarlı sayısal denetimli tornalar. (CNC) ve bu tiplerin çeşitli modelleridir.

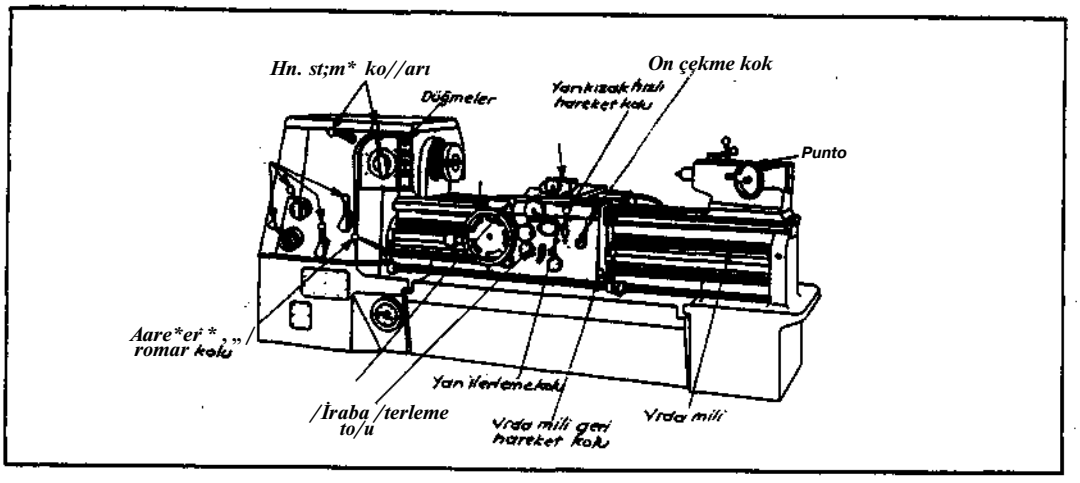
Üniversal tornalar: Üniversal tornalar ya da basit tornalar olarak adlandırabileceğimiz bu tornalar, aynı anda ^sadece tek uçlu bir kesici takımla talaş kaldırma işlemi yapan, genel amaçlı takım tezgahlandır. Takım, iş parça-"sının dönme eksenine paralel, dik ya da bir açıda hareket eder.

Üniversal tornalarda, kullanılacak donanım ve düzeneğe bağlı olarak birçok farklı işlem gerçekleştirmek mümkündür. Bunlar vida açma, pafta çekme, kılavuz çekme, konik tornalama, kopya tornalama, delme, raybalama, delik işleme, frezeleme ve taşlamadır. Bu tornalar az sayılardaki çok çeşitli parçaların üretiminde, takımhanelerde ve onanm atölyelerinde kullanılmaktadır.

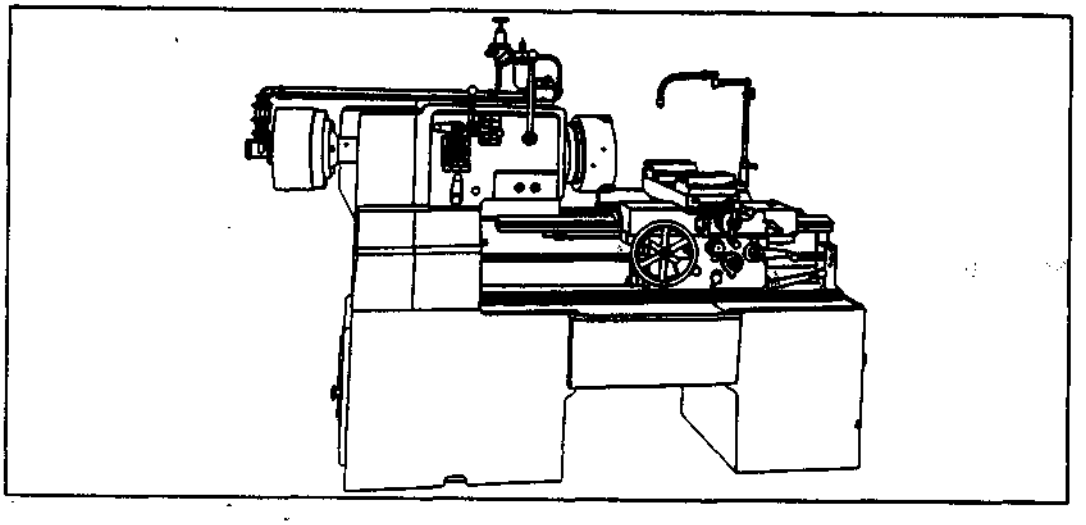
Üniversal tornalann büyüklüklerine ve kullanım yerlerine göre çeşitli tipleri vardır. Bunlar;

Masa tornaları: Bu tornalar iş masalanna yerleştirilebilecek kadar küçük tezgahlardır. Bu nedenle bu tezgahlarda,çok küçük parçalar işlenir. Bu tezgahlarda işlenebilecek parça çapı 100-200 mm, boyuöOO mm dolaylarındadır.

Normal tornalar: Masa tornalarından büyük ve güçlü genel amaçlı tornalar olup bugün ülkemizde küçük sanayicilerin çok kullandığı torna tipidir. Bu tip bir torna tezgahı Şekil. 42 de görülmektedir. Normal torna tezgahlarının ilerleme kumandası hem el hem de güçle (talaş mili aracılığıyla güç merkezinden ya da doğrudan bir motorla) olmaktadır. Genelde tüm üniversal tornalar, vida mili ve hız değiştirme dişlileri ile donatılmışlardır.



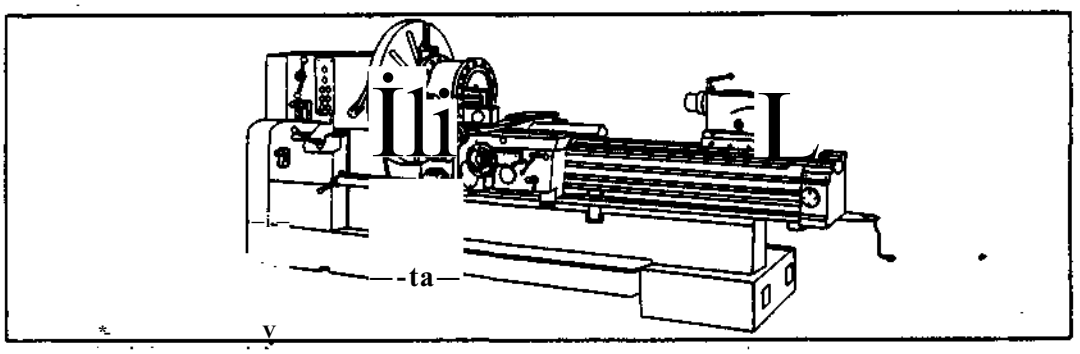
Şekil. 42. Üniversal torna tezgahı genel görünüşü ve I>;ı/ı purçaları



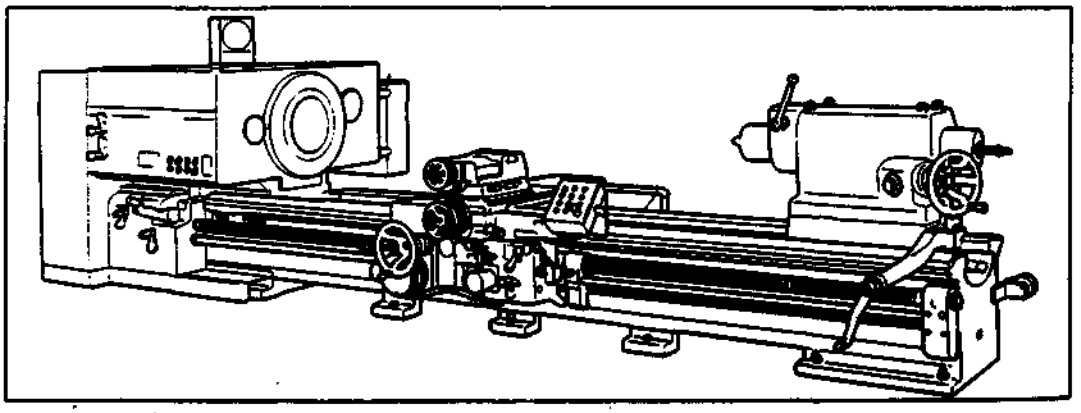
Şekil. 43- Aynalı tip imalat tornası

Takım tornalan: Bu tornalar genelde takım, vb. hassas parçaların üretiminde kullanıldıklarından dar toleransta üretilmiş tezgahlardır.

İmalat tornaları: Bir tipi Şekil. 43 de görüldüğü gibi, özel iş parçalarını seri halde üretmek için özel amaçlı donanımlarla donatılmış üniversal tornalardır. Örneğin, şekilde görülen torna, çoklu boyca durdurucular, çoklu enine durdurucular ve havalı ayna ile donatılmıştır.

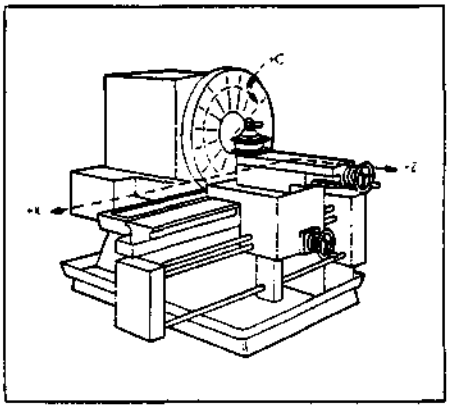


Şekil. 44- Büyük aynalı tornanın kayar yataklı tipi

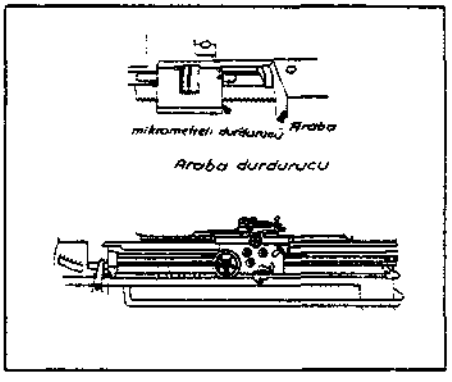


Şekil. 45- Büyük çaplı fener milli torna tezgahı

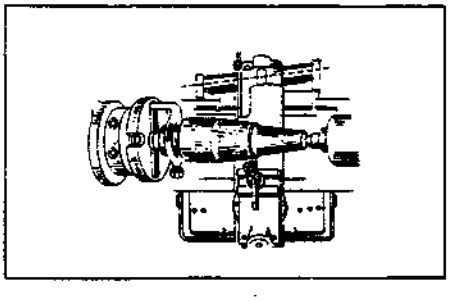
özel amaçlı tornalar: Adından da anlaşılacağı gibi özel tiplerdeki iş parçalarının işlenmesi için uyarlanış üniversal tornalardır. Bu tip tezgahlara ait örnekler Şekil. 44,45 ve 46 da görülmektedir.



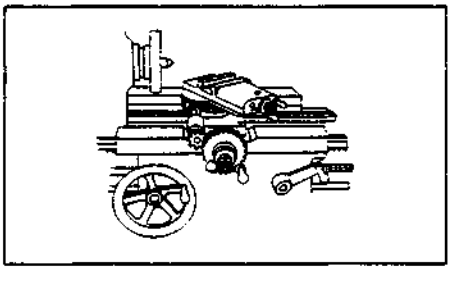
Şekil. 46- Dik açılı torna



Şekil. 47- Araba durdurucuları



Şekil. 48- Konik tornalama eklentisi



Şekil. 49- Küre ya da radyus tornalama eklentisi

Üniversal tornalarda, kullanışlılığı ve/ya da üretim hızını arttırmak ya da özel tip bir kontrol ya da işlev sağlamak için bir takım donanımlar, eklentiler ve düzenekler eklenir. Çok kullanılan düzeneklerden bazıları şunlardır:

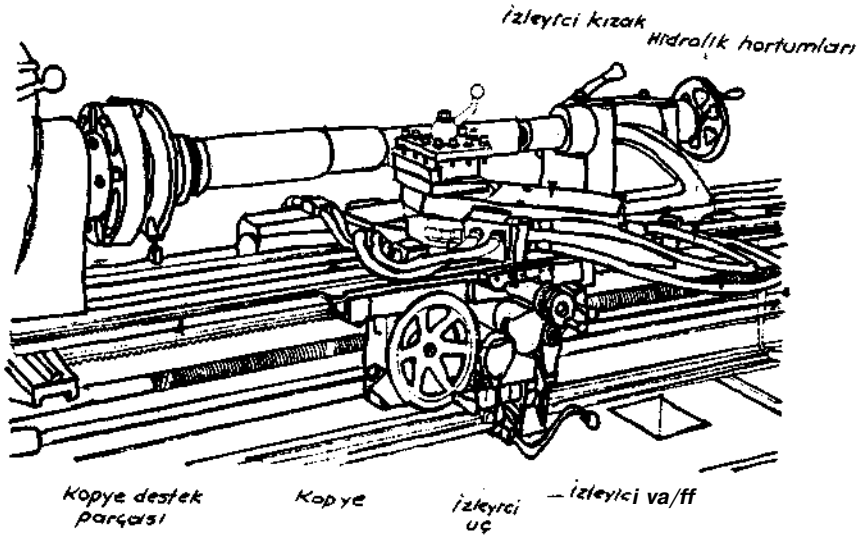
- Araba durdurucuları (Şekil. 47)
- Arabactk durdurucuları
- Hızlı hareket düzeneği
- Konik tornalama eklentisi (Şekil. 48)

- Küre ya da radyus tornalama eklentisi (Şekil. 49)
- Frezeleme/testere eklentisi
- Taşlama eklentisi
- Dişli açma eklentisi
- Revolver eklentisi
- Sabit kesme hızı düzeneği
- Delik işleme ve delme düzeneği

Kopya tornaları: Kopya tornalama, kesici takım yolunun kontrol edilmesiyle, iş parçalan üzerinde üç boyutlu şekiller elde edilmesidir. Şimdi birçok kopya tornalama sayısal denetimli tornalarda (bu bölümde dahasonra anlatılacaktır) gerçekleştirilmesine rağmen pekçok kopya tornalama hala kopya eklentisi takılmış, standart tornalarda yapılmaktadır.

Bir üniversal tornada kopya tornalama yapılırken kesici takımın hareketi bir kopya eklentisi ile kontrol edilir. Bu eklentilerle, bir izleyici ya da iğne, düz bir şablon yüzeyi üzerinde hareket ederek istenen şekli kopyalamak için kesici takım hareketini kontrol eder.

Kontrollar hidrolik, elektrik, elektronik, elektromekanik, pnömatik ya da mekanik olarak hareketlendirilir. Üniversal bir torna tezgahına monte edilmiş hidrolik olarak çalışan tipik bir kopya eklentisi Şekil. 50 de görülmektedir.



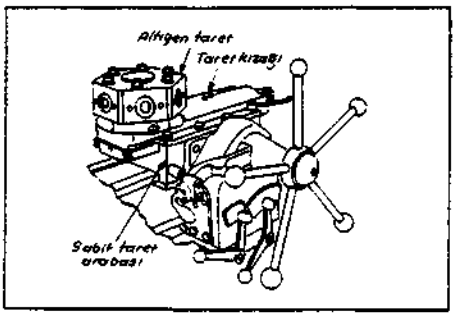
Şekil. 50- Hidrolik olarak çalışan kopya eklentisi

Revolver (taretli) tornalar: Bir revolver torna, üniversal bir tornanın punta gövdesi üzerine altıgen bir takım taşıyıcı takılarak değiştirilmiş şeklidir. El kumandalı olup bazılarına çubuk yükleme mekanizması eklenerek çubuk beslemeli revolver torna elde edilir. Taretin tezgah bankosu üzerindeki yerleştirilme biçimine göre iki tip rovelver torna vardır. Bunlar:

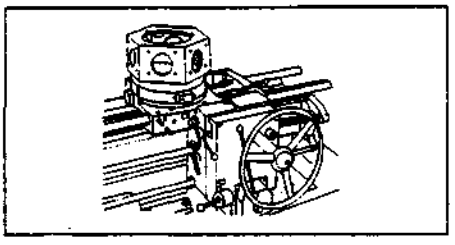
- *Koç tipi revolver torna:* Burada taret sabit duran bir taşıyıcı üzerinde tezgah eksenine paralel olarak hareket yapar. Bu tip bir revolver tornanın taret bölümü Şekil. 51 de görülmektedir.

- *Eğer ya da semer tipi revolver torna:* Bu tip tornada taret doğrudan tezgah bankosu üzerine yerleştirilmiş olup yine tezgah eksenine paralel hareket eder. Bu tipin koç tipine göre farkı daha rijid olmasıdır. Böyle bir revolver tornanın taret bölümü Şekil. 52 de görülmektedir.

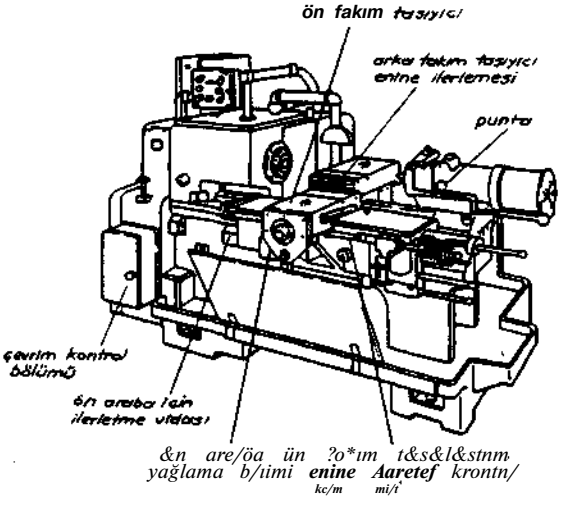
Otomatik tornalar (otomatlar): Çeşitli tipleri olan otomat tornalar yükleme, boşaltma ve işlem çevrimi dahil başlatma ve durdurma hariç tüm işlemlerin otomatik olarak gerçekleştirildiği tornalardır. Ekonomik seri üretim için en uygun tezgahlardır. Bu tornalar bir noktada revolver tornaların otomatikleşmiş şekli olarak da düşünülebilir.

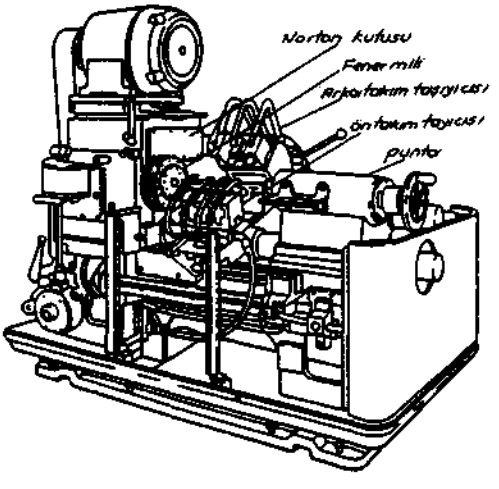


Şekil. 51- Koç tipi **revolver tornada taret konstrüksiyonu**



Şekil. 52- Semer tipi revolver tornada taret konstrüksiyonu

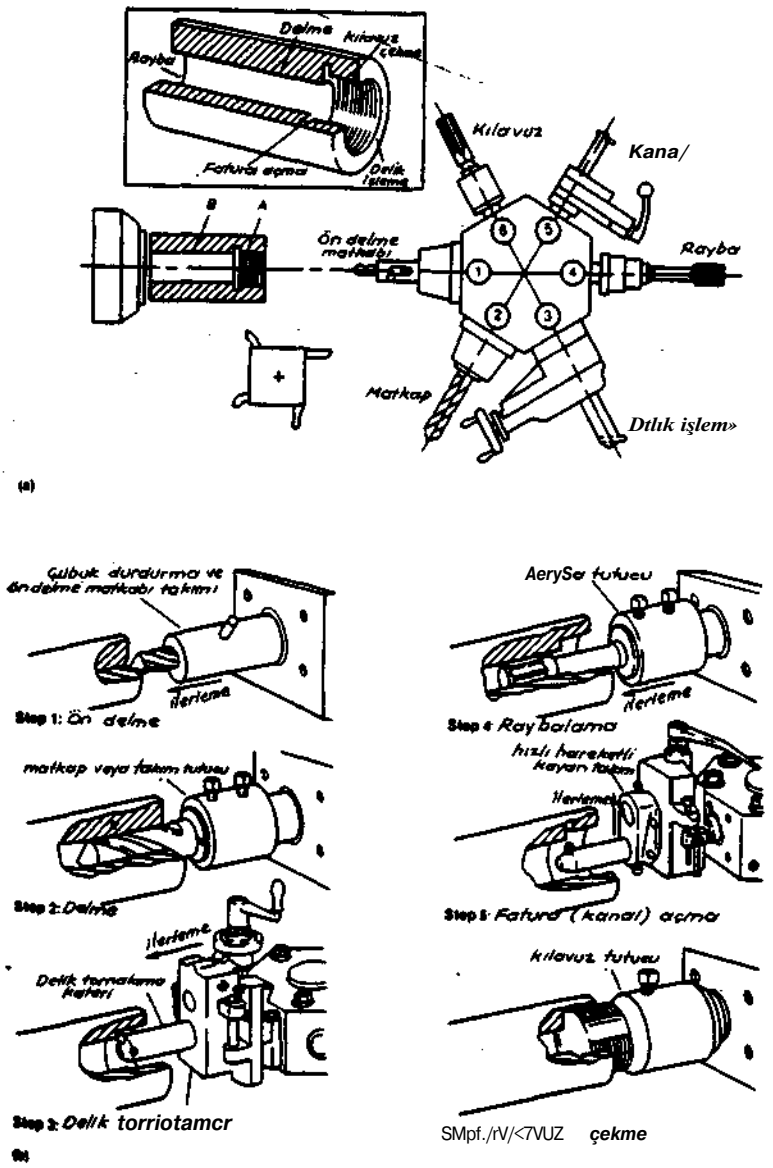




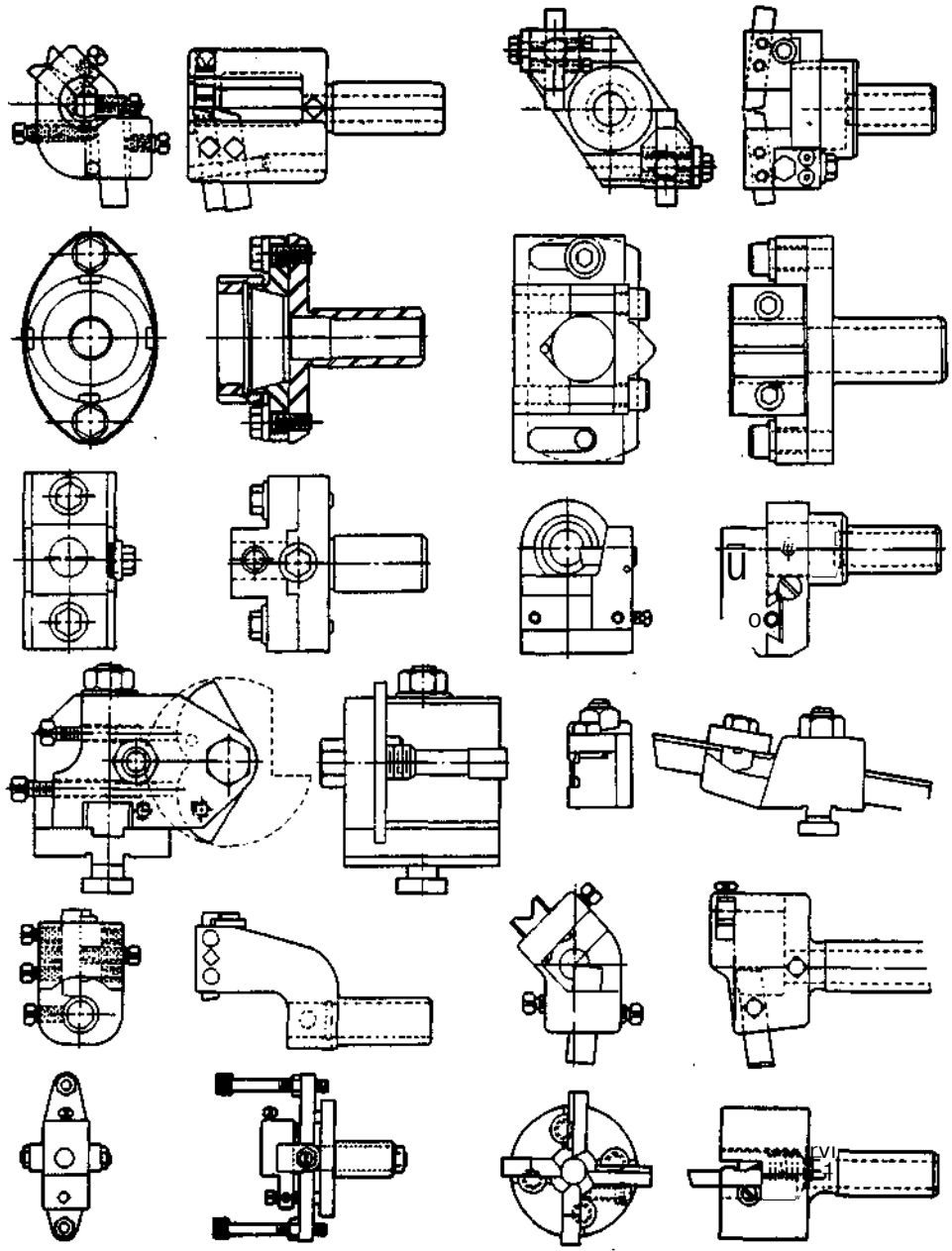
Şekil. 53- Tekmili otomat tornalar, (a) kam ilerlemeli ön takım taşıyıcısı, (b) vidalı mil ilerletmeli ön takım taşıyıcısı.

Otomat tornalar tezgah hazırlama zamanı revolver tornalara göre bir miktar uzun olmasına rağmen operatör hatalarının etkisi enazdır.

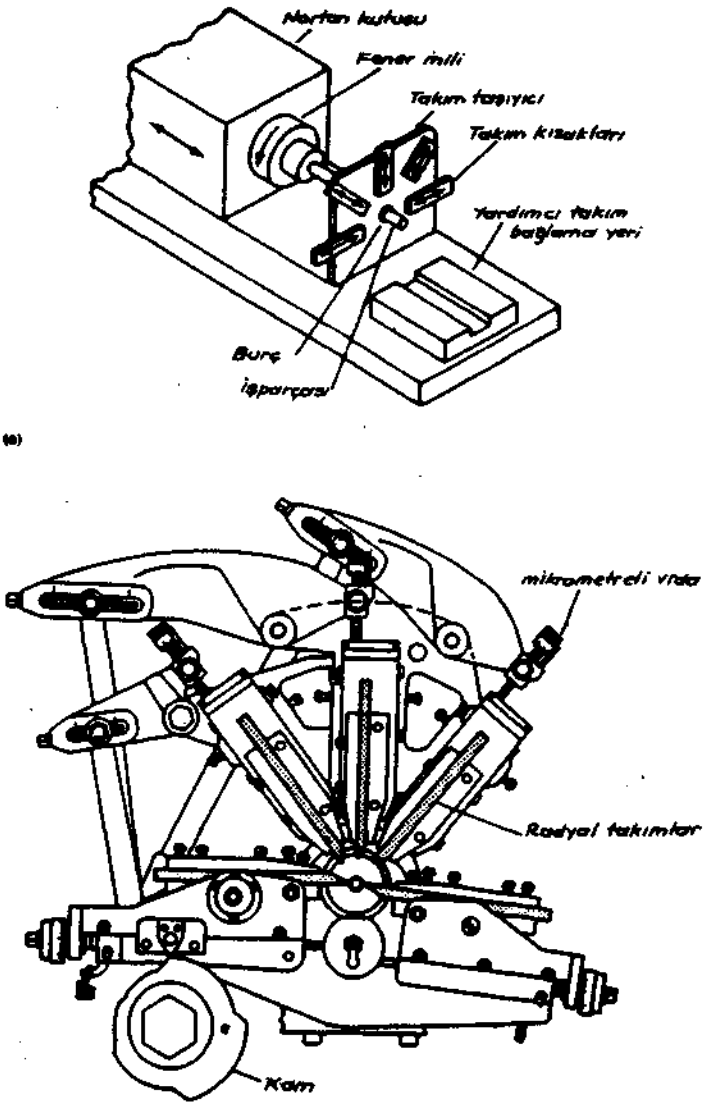
Otomat tornalarda, takımlar otomatik olarak iş parçası Üzerine yaklaşır ve talaş alarak ilerler; çevrim sonunda da otomatik olarak başlangıç noktasına geri döner. Tezgahın üreticisine bağlı olarak, takım taşıyıcıları; hidrolik, havalı/hidrolik, vidalı mil ya da kamlarla ilerler. Şekil. 53(a) da ön takım taşıyıcının kam ile Şekil. 53(b) de vidalı mil ile ilerletilmesi görülmektedir.



Şekil. 54- Altı takındık taretti bir otomat tornada,
(a) takımların taret üzerinde yerleştirilmesi, (b) işlemlerin adımlar halinde görünüşü



Şekil. 55- Otomat tornalar için standart takımlar
(Not: Resimler Amerikan standartlarından hazırlanmış olduklarından buna göre incelenmelidir.)



Şekil. 56- İsviçre tipi çubuk otomat tornasının şematik görünüşü, (a) eses parçalar ve hareketieri. (b) düzlemsel kam ve takım kontrol mekanizmasının önden görünüşü.

Otomat tornalar iş parçasının yükleniş biçimine bağlı olarak iki tipte olurlar. Bunlar:

1. *Takoz yüklemeli otomat tornalar:* Bu tip otomatlarda iş parçası gereci takoz halinde tornaya ya elle ya da otomatik olarak verilir. İşlem sonunda bitmiş parça elle ya da düştüğü kutudan alınır.

2. *Çubuk yüklemeli otomat tornalar:* Bu tip otomatlarda iş parçası gereci çubuk halinde olup bir çubuk yükleme mekanizması ile tornanın fener mili içine otomatik olarak itilir. Tezgahın kızakları arasında bulunan bir durdurucu ile istenen boyda durdurulur, işlem çevrimi sonunda çubuk besleme ile yeni bir çevrim başlatılır.

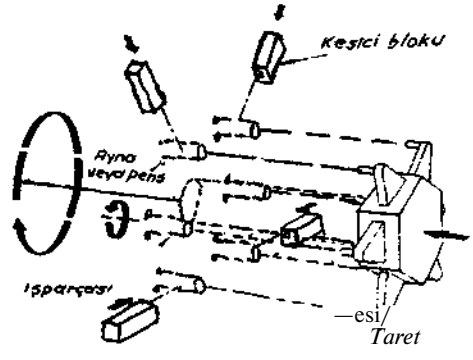
Örnek olarak, altı takımlık taretli çubuk yüklemeli bir otomat tornada, basit bir parçanın işlenmesi Şekil. 54 de görülmektedir.

Otomat tornalarda, revolver tormalarda ve bazen çok milli otomat tornalarda kesici takımların tezgaha bağlanmasını sağlayan bir takım standart takımlar kullanılır. Şekil. 55 de bu takımların büyük bir bölümü görülmektedir.

isviçre tipi otomat tornalar: İsviçre tipi çubuk beslemeli otomat tornalar bundan 50 yıldan fazla bir zaman önce özellikle çok hassas saat parçalan ve benzeri çok hassas ölçme aletleri parçalan üretmek için geliştirilmiş tezgahlardır. Bu tornalar diğer çubuk beslemeli otomat tornalardan farklı bir ilke ile çalışır. Temel fark, bu tornalarda taretin buhınayışı ve takımların, Şekil. 56 da görüldüğü gibi, fener mili önünde duran ortasında sert metal bir burç (çubuk çapında) ve üzerinde takım taşıyıcı kızaktan olan ve takımların bunun üzerinde kamlarla hareket ettirildiği bir sistem olmasıdır.

İsviçre tipi otomat tornaların esası kamlı olmakla birlikte, bu tezgahlar da gelişmelerden etkilenerek bilgisayarlı sayısal denetimli duruma getirilmişlerdir. Böylece kam gereksinimi ortadan kalkmakta, tezgah hazırlama zamanlan ve usta operatör gereksinimi azalmaktadır. Bundan dolayı bu tezgahlar düşük hacimli üretimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çok milli tornalar: Otomat tornalarda tek mil (fener mili) olması nedeniyle, ancak bir ya da iki takım aynı anda işleme yapabilmektedir. Böylece, beher parça için toplam çevrim süresi herbir kesici takımın kesme zamanlannın toplamına eşit olmaktadır. Çok milli otomat tornalarda (ki genellikle dört, altı ya da sekiz mili olmaktadırlar), tüm takımlar aynı anda işleme yaptıklarından bir parçanın işleme zamanı bir pozisyondaki işleme zamanı artı indeksleme zamanı kadardır.



Şekil. 57- Çok **milli çubuk ya da takoz beslemeli otomat tornada** esas **parçalar** ve **hareketleri**

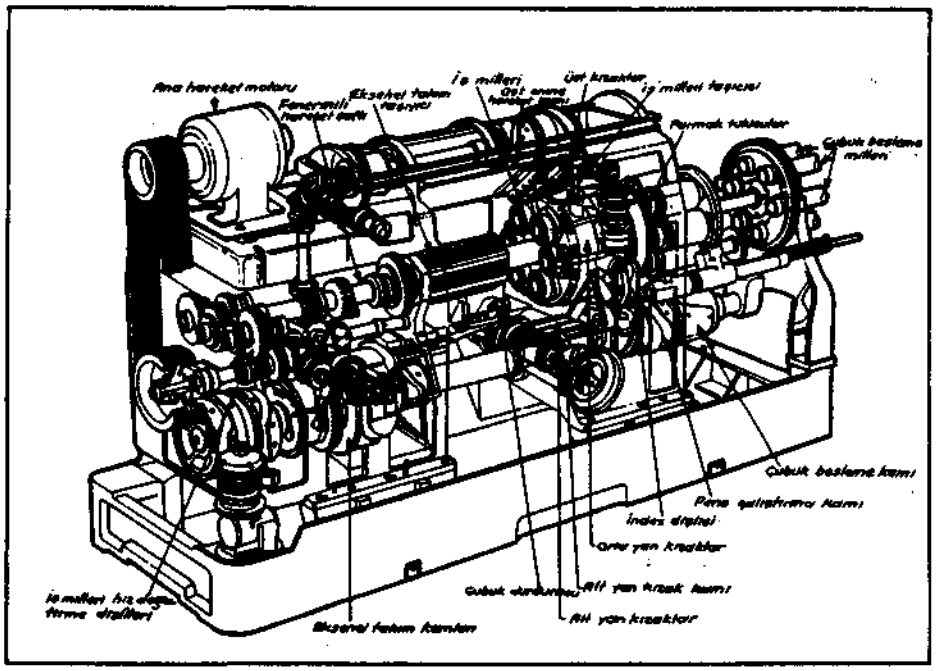
Çok milli otomat tornaların iki temel özelliği vardır. Birincisi, herbir mili farklı işleme durumlarına getirmek için dönen bir tambur üzerinde çoklu mil (4,6 ya da 8) oluşudur. İkincisi ise herbir milin karşısında, sadece eksene paralel hareket eden dönmeyen bir tambur üzerinde sabit duran takımların sadece eksenel hareketle kesme işlemini yapmalarıdır. Ek olarak, pek çok tezgahta herbir mile yanlamasına yaklaşarak kesme işlemi yapan (alın tornalama, kanal açma, tırtıl çekme, pah kırma ve kesme gibi) yan kesiciler olmaktadır.

Bu özellikler Şekil. 57 de bir arada görülmektedir. Çok milli otomatlarda tüm hareketler otomatik olarak yapılmaktadır.

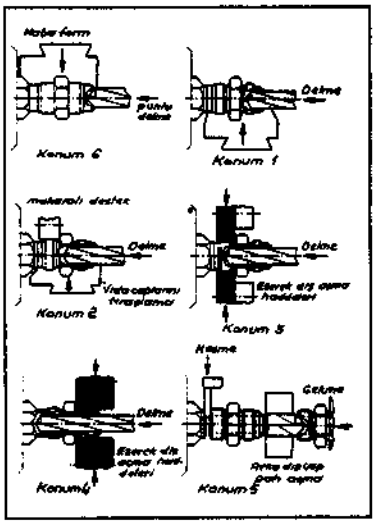
Çok milli otomatlar çubuk ya da takoz beslemeli olabilmektedir. Şekil. 58 de altı milli bir çubuk otomat torna tezgahı görülmektedir.

Çok milli otomat tornalarda parça işlenmesine örnekler. Şekil. 59 da altı milli otomat tornada bir parçanın işlenmesi, Şekil. 60 da sekiz milli otomat tornada bir parça işlenmesi görülmektedir.

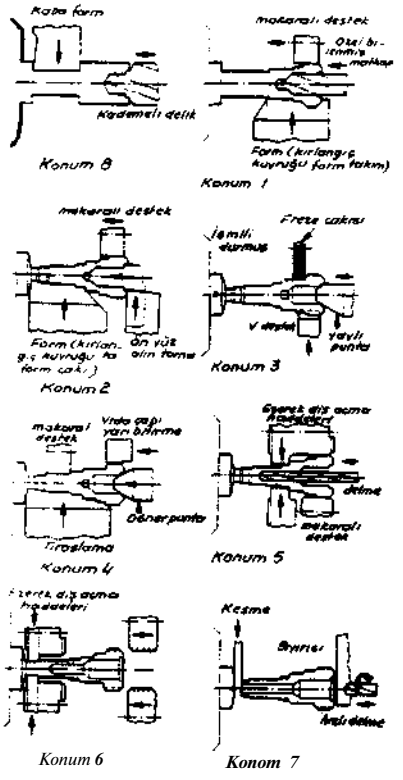
Sayısal denetimli (NCyBilgisayarlı sayısal denetimli (CNC) tornalar: Sayısal Denetimli (Numerically Contralled-NC) ve Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (Computer Numerically Controlled-CNC) tezgahlar ve tornalar, üretkenliği arttırdığı, işleme maliyetini düşürdüğü, üretimde esneklik sağladığı ve profil işleme yeteneğinden dolayı kullanımı hızla artmaktadır.



Şekil. 58- Altı milli çubuk otomat torna tezgahı



Şekil. 59- 11/4" çaplı altıköşe çubuktan (AISI 1211) altı milli otomat tornada parça işlenmesi. Toplam 13 işlem 27 saniyede tamamlanmaktadır.



Şekil. 60-13/16" çaplı alüminyum alaşımı çubuktan sekiz milli otomat tornada parça işlenmesi. Toplam 19 işlem 5.6 saniyede tamamlanmaktadır.

Üstünlükleri: Tezgahın hazırlanmasının hızlı olması, takım değiştirme gereksiniminin azalması, faydalı kullanımın artması ve çevrimin kısalması dolayısıyla NC/CNC tornalarda yüksek bir üretkenlik elde edilir.

Pekçok uygulamada, geleneksel yöntemlere göre NC/CNC tezgahlar üretimi ikiye katlamakta ve bazı hallerde de dört ya da daha fazla kat arttırmaktadır. Tezgahın çok takıma sahip olması takım değiştirme gereksinimini enaza indirir ve genellikle ön işleme ya da ikinci işleme gereğini azaltır ya da kaldırır. Bu tezgahların hassasiyeti, tekrarlayabilmesi ve güvenilirliği üretilen parçaların kalitesini artırmakta, hatalı parça sayısını azaltmaktadır.

Usta operatör gereğinin azalması; özel takım, malzeme taşınması ve ölçme ihtiyacının asgariye indirilmesi maliyette önemli bir tasarruf sağlar.

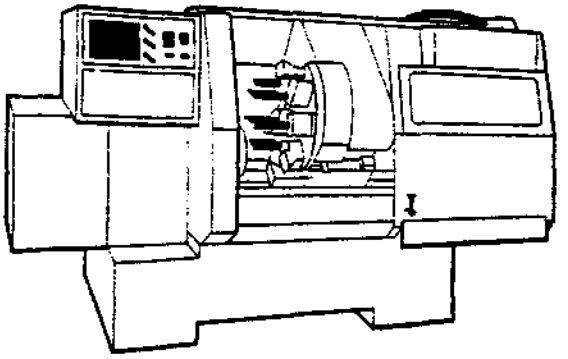
Sınırlamalar: Yatırım maliyetinin yüksek olması, programcı personel ihtiyacı, çok karmaşık düzeneklerin onanm zorluğu NC/CNC tornaların sınırlamalandır. Tezgahlar genellikle, yatınm maliyetini dengelemek için iki ya da üç vardiya çalıştırılır.

CNC tornaların tipleri: Çok çeşitli CNC tezgahlar ve tornalar vardır. Bazılan tek ya da çok milli düşey, pekçoğu da tek milli yatay olarak tasarlanmıştır. Tek milli yatay tornalar üç temel tiptedirler:

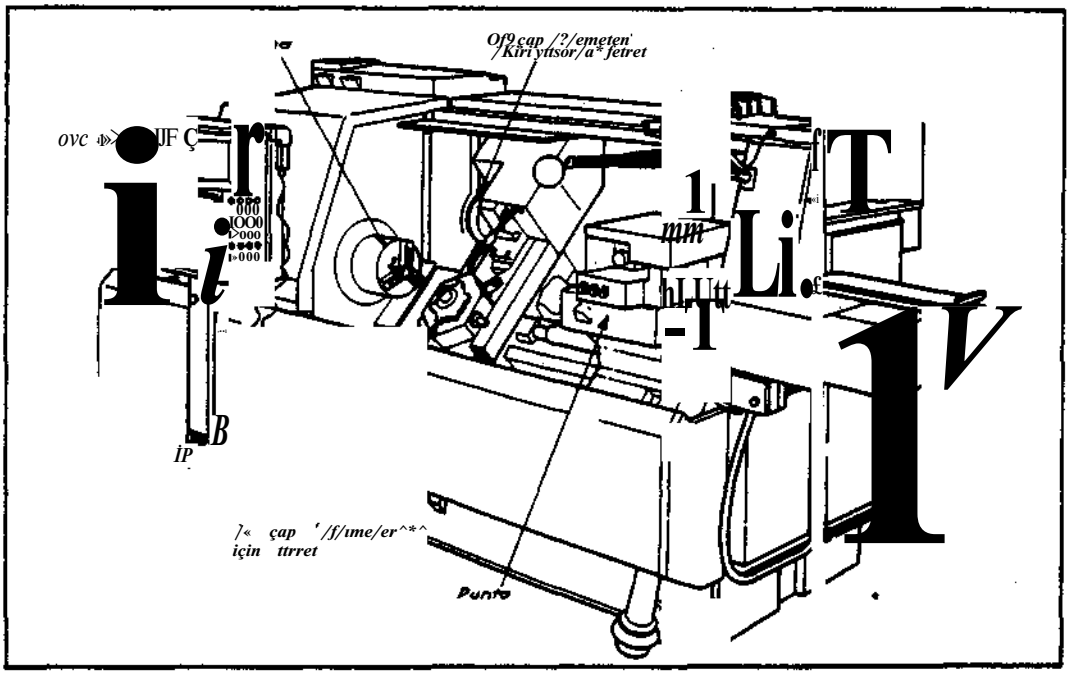
1. Eksenel tip tornalar ekseriya şaft tezgahı olarak bilinirler ve öncelikle eksenler arası işlemelerde (aynaya bağlanıp puntaya alınan) kullanılırlar. Bunlann yatak boylan uzun olur ve puntalan vardır. Yüksek dönme hızları, bir yan kızak ve sadece dış çap işlemeye uygun taret bu tezgahlann genel karakteristikleridir.

2. *Takoz yüklemeli tip tornalat,* yüksek ve düşük dönme hızlan, geniş ve ağır yan kızaklar, dış ve iç çap işlemeye uygun taretler, kısa yatak boyu, puntasız ya da isteğe bağlı olarak hareketli puntalı olurlar. Böyle bir tip torna Şekil. 61 de görülmektedir. Bu tezgahın iç ve dış çap takımlannı birlikte tutan takım tutuculu bir tek diskli tareti vardır.

3. Üniversalya da birleşik tezgahlar, ya takoz yüklemeli tip takımlamah eksenel tip ya da puntalı takoz yüklemeli tip olurlar. Bu tip bir tezgah Şekil. 62 de görülmektedir. Bu tezgah dış çap işlemeleri için yuvarlak bir taret, iç çap işlemeleri için bir altılı taret ve eksenler arası işlemeler için bir puntaya sahiptir.



Şekil. 61- İki eksenli, eğik kızaklı, takoz yüklemeli CNC torna



Şekil. 62- Üniversal tip bir CNC torna

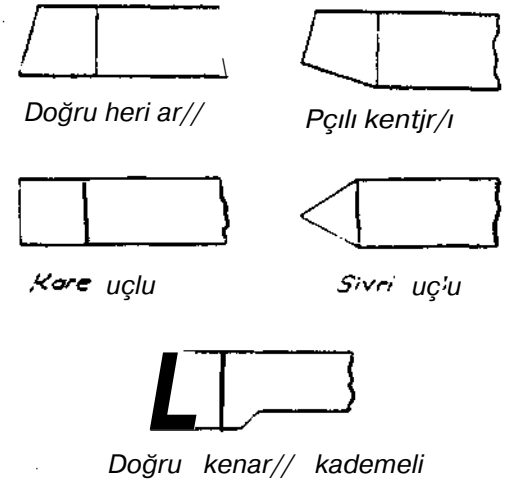
CNC tezgahların programlanması ile ilgili bilgiler başka bir bölümde geniş bir biçimde anlatılacaktır.

Tornalamada Kesici Takımlar

Form kesici takımlar hariç, tornalamada kullanılan kesici takımlar tek uçludur. Tek uçlu bir kesici takımın bir kesici ucu ve onun da tutulduğu bir sap kısmı vardır. Kesici ucun, kesme kenarı kesme yüzeyi ve ön yüzeyi vardır.

Tornalama kesici uçları; takım çeliği çubuktan yapılmış tek parça takım ya da bir takım ucuna pirinç kaynağı ile karbür plaket takılı biçimde olur. Fakat bugün hızla yayılmakta olan kesici takım şekli, çeşitli kesici takım malzemelerinden yapılmış döndürülebilir uçların (insert) bir tutucu ucuna mekanik olarak bağlanmış şeklidir.

Tek parça (yekpare) kesici takımlar; döküm, dövme, haddelenmiş çubuk ya da toz metalurjusi işlemleri ile üretilirler. Kesici takım gereci olarak, karbon ve düşük alaşımlı takım çelikleri, yüksek hız çelikleri (HSS), kobalt esaslı döküm alaşımları ve karbürler kullanılmakta olup kesici takım gereçleri bölümünde geniş olarak anlatılmışlardır.



Şekil. 63- Genel olarak kullanılan tek uçlu takım şekilleri

Tek parça kesici takımların, çeşitli şekilleri Şekil. 63 de görülmektedir. Burada görülmeyen bir diğer şekil ise yuvarlak uçlardır. Bir şeklin seçimi öncelikle uygulanacak kesme tipine bağlıdır. Şimdi bunları teker teker görelim.

Doğru kenarlı kesici takım: Bunlar alın ve delik tornalama için hem kaba ve hem de hassas tornalarda kullanılan genel amaçlı takımlardır. Bunlar genellikle ince kesitli iş parçalarının işlenmesinde tercih edilir.

Açılı kenarlı kesici takım: Bunlar genellikle, kesintili ya da düzgün olmayan kesme olarak ağır tornalama alın tornalama ve delik tornalama işlemlerinde kullanılır.

Kare uçlu takımlar: Bunlar, özel şekillerin ya da formların taşlanarak kullanılabilmesi için stokta bekletilen takımlardır.

Sivri uçlu takımlar: Bu takımlar 60° ve 80° uç açılarında olurlar. 60° uçlu takım prensip olarak 60° açılı vidaları açmak için kullanılır. 80° uçlu takım ise delik işleme, fatura açma, pah kırma ve genel amaçlar için kullanılır.

Kademeli takımlar: Bu takımlar uçtan ve yandan kesme tipinde olurlar. Bunlar doğru kenarlı kesici takımların erişemediiği yerlerde tornalama, delik işleme ve alın tornalamada kullanılır.

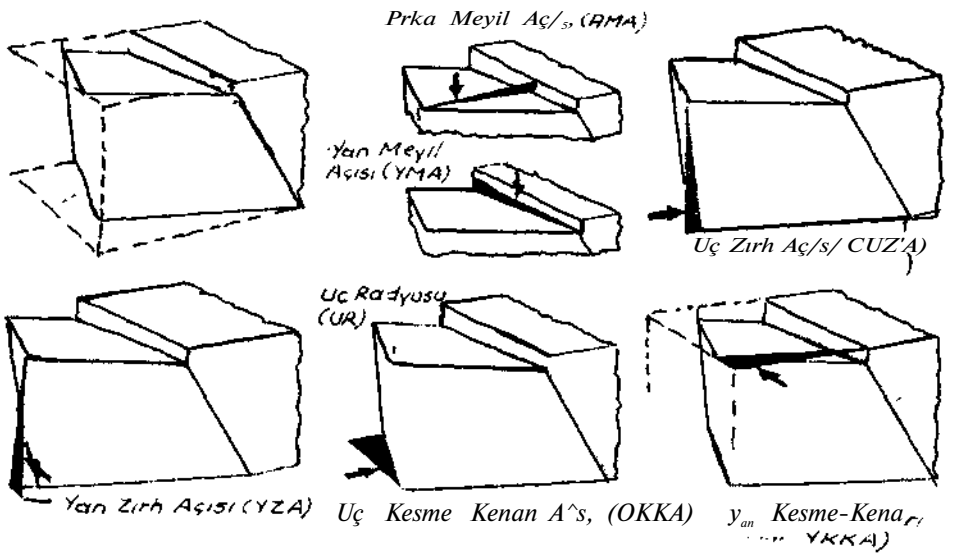
Yuvarlak uçlu takımlar: Yüksek ilerleme hızlarına imkan verdiği için büyük çaplı parçaların tornalanmasında kullanılır.

Kaynak uçlu kesici takımlar, ucuz bir malzemeden yapılmış bir gövde ve kesme ucuna sert lehim ya da başka bir şekilde takılmış plaket şeklindeki kesici takım malzemesinden oluşmuştur. Kesici takım ucu olarak yüksek hız çelikleri, kobalt esaslı döküm alaşımlar, karbürler, tek kristalli ve çok kristalli elmaslar ve kübik bor nitrürler kullanılır. Kaynak uçlu kesici takımların şekilleri yukarıda anlatılmış olan tek parça kesici takım şekilleri ile aynı olurlar.

Tek uçlu kesici takımarın tasarımlanmasında takım geometrisi, boyutları ve takım gereci belirlenir.

Tek uçlu kesici takımlarda takım geometrisi. Bu konuda standartlar bulunmakla birlikte genel olarak uygulamada kullanılan geometrik tanımlar Şekil. 64 de gösterildiği gibidir. Buradan görüleceği gibi, tek uçlu bir torna kalemini tanımlamak için sekiz açının ve bir uç radyusunun belirlenmesi gereklidir. Bunları sıra ile görelim.

J. Arka meyil açısı (AMA): Takımın kesme yüzeyi ile sap üst yüzeyi arasındaki açı olup sapın yan yüzeyine paralel olarak ölçülmelidir. Şekil. 64 deki açı pozitiftir. Yani arkaya doğru meyil pozitif, öne doğru meyil negatif açıyı tanımlar.



Şekil. 64- Tek uçlu kesici takımların geometrisinin (açılarının, radyusunun) standart terimleri ve kısaltmaları

2. Yan meyil açısı (YMA): Takım sapının üst ve yan yüzeyine dik (ya da kısaca takım eksenine dik) bir düzleme paralel olarak kesme yüzeyi ile sap üst yüzeyi arasındaki açıdır. Şekil. 64 de gösterilen açı pozitiftir. Yan eğim aşağı doğru olursa pozitif, yukarı doğru olursa negatif açıyı gösterir.

3. Uç zırh açısı (UZA): Zırh açıları genelde boşluk açıları ile karıştırılmaktadır. Fakat bunlar tamamen farklı açılardır. Uç zırh açısı takımın uç zırh yüzeyi ile kesme ucundan takım tabanına dik olarak inen çizgi arasındaki açıdır. Şekil. 64 de gösterilen açı pozitiftir. Bu açı negatif olamaz.

4. Uç boşluk açısı (UBA): Uç boşluk açısı, uç zırh açısı ile aynı düzlemde, zırhın bitim noktasından itibaren takımın uç yüzeyi ile bu noktadan takım tabanına dik inen doğru arasındaki açıdır. Şekil. 64 de gösterilen açı pozitif olup bu açı negatif olamaz.

5. *Yan zırh açısı (YZA):* Yan zırh açısı takımın yan zırh yüzeyi ile yan kesme kenarından takım tabanına dik olarak inen çizgi arasındaki açıdır. Şekil.64 te gösterilen açı pozitiftir. Bu açıda negatif olamaz.

6. Yan Boşluk Açısı (YBA): Yan boşluk açısı, yan zırhın bitiminden sonraki yan yüzey ile zırh bitim noktasından takım tabanına inen dik çizgi arasındaki açıdır. Seki 1.64 teki açı pozitif olup bu açı negatif olamaz.

7. Uç Kesme Kenarı Açısı (UKKA) : Uç kesme kenarı ile sapın yan yüzeyine dik doğru arasındaki açıdır. Yine Şekil.64 te gösterilen açı pozitif olup bu açı negatif olamaz.

S. *Yan Kesme Kenarı Açısı (YKKA) :* Giriş açısı olarak ta nitelenen bu açı yan kesme kenarı ile yan yüzey arasındaki açıdır. Şekil.64 te gösterilen açı pozitiftir.

9. Uç Radyusu (UR): Uç kesme kenarı ile yan kesme kenarının kesim noktasındaki radyustur.

Takım Geometrisinin Seçimi

Herhangi bir uygulama için kullanılaracak takım geometrisi, işparçası ve kesici takımın gerecine, kullanılacak tezgaha ve uygulanacak işleme bağlıdır.

Meyil Açıları : Meyil açılarının en avantajlı kombinasyonu, takım gereci, işparçası gereci ve işin ekonomisi ile çok değişir. Kesmenin temıal verimliliği; pozitif meyil açıları ile artar. Fakat öte yandan yüksek pozitif meyil açıları kesme kenarını çok kırılgan hale getirir. Bu nedenle verimlilik ve kesme kenarının sağlamlığını optimize eden bir meyil açısı kullanılır. Yüksek kesme hızında kullanılanılabilecek bir kesici takım malzemesi ile çalışırken, takım dayanımını arttırmak ya da takımın ömrünü ekenomik duruma getirmek için düşük pozitif ve hatta ne-

gatif meyil açılan kullanılabilir. Genel bir kural olarak, işleme şartları elverdiğince negatif meyil açıları kullanmak uygundur.

Zırh Açıları : Yan ve uç zırh açıları metal kesmelerde 5-15° arasındadır. Bazı metal dışı malzemeler için bu açılar daha yüksek olur. Yüksek zırh açılan kesme kuvvetlerini azaltır ve düşük çekme dayanımlı metallerde daha temiz kesmeler sağlar. Düşük zırh açıları ise kesme kenarına dayanıklılık sağlar ve bu da yüksek dayanımlı metallerin tornalanması için çok uygundur. Zırh açılarının hemen altındaki açılar ise boşluk açılan olup takım çıkıntısı ile işparçası arasında yeterli bir boşluk sağlarlar. Bu tür boşluk açılan genellikle delik tornalamada ya da dışa doğru alın tornalamada gereklidir.

Kesme Kenarları Açılan : Yan kesme kenarı açısı genellikle iş parçası şekline bağlıdır. Özel bir şekil gerekmedikçe yan kesme kenan açısı yaklaşık 15° olup güç gereksinimini azaltır, takım ömrünü arttırır ve talaş kontroluna yardımcı olur. 2-5° arasında negatif yan kesme kenarı açıları dik açılı köşeleri işlemek için kullanılır. Uç kesme kenarı açısı genellikle 6-15° dır. 6° den küçük UKKA iş parçası yüzeyine dik aşırı kuvvetler doğurur ve takımda hızlı körelmeye sebep olur. Yüksek UKKA genellikle kopye tornalamada kullanılır.

Uç Radyusu : Küçük uç radyusları kesme kuvvetlerini azaltır ve uzun parçalarda ya da ince cidarlı boruların tornalanmasında kullanılır. Büyük UR lan takımı daha kuvvetli yapar ve genellikle takım ömrünü arttırır. Bu nedenlerle de kaba tornaalamalarda kullanılır. Fakat öte yandan UR u büyüdükçe kesme kuvvetleri artar.

Bu genel bilgiler ışığında uzun deneyler sonucu elde edilmiş takım geometrisi ile ilgili açılar Çizelge.35 de verilmektedir.

Tek uçlu karbürlü (Sertmetal) kesici takım geometrisi ile ilgili açılar ise Çizelge.36 da verilmiştir.

Çizelge.35- Tek Uçlu HSS Kesici Takımlar için Açılar*

İşlenen Gereç	Yan ZırhAçısı YZA, der.	Uç Zırh Açısı UZA, der.	Arka meyil Açısı, AMA, der.	Yan meyil Açısı, YMA der.
Yüksek hız alaşımları, Yüksek karbonlu takım çelikleri ve paslanmaz çelikler	7-9 (8)	6-7 (8)	0-7 (0)	8-10(8)
SAE/AISI Çelikleri				
1020, 1035, 1040	8-10(8)	8-10(8)	0-12(0)	8-12(8)
1045, 1095	7-9 (8)	8-10(8)	0-12(0)	8-12(8)
1112,1120	7-9 (8)	7-9 (8)	0-14(0)	10-14(10)
1314,1315	7-9 (8)	7-9 (8)	0-14(0)	10-16(10)
1335	7-9 (8)	7-9 (8)	0-14(0)	10-16(10)
3115,3120,3130	7-9 (8)	7-9 (8)	0-10(0)	8-12(8)
3135,3140	7-9(8)	7-9 (8)	0-10(0)	8-10(8)
3250,4140,4340	7-9 (8)	7-9 (8)	0-8 (0)	8-10(8)
6140,6145	7-9 (8)	7-9 (8)	0-8 (0)	8-10(8)
Alüminyum	12-14(14)	(14)	(0)	(15)
Bakalit	(14)	(14)	(0)	(10)
Pirinç, otomat işlemler için	10-12(10)	8-10(10)	(0)	1-8(8)
Bronz, kızıl, sarı yada döküm	8-10(10)	8-10(10)	(0)	-4 ila +6 (+6)
Bronz, otomat işlemler için	8-10(10)	8-10(10)	(0)	2-6 (6)
Sert Fosfor Bronzu	8-10(0)	6-10(10)	(0)	0-6 (6)
Gri dökme demir	8-10(8)	6-8 (8)	0-5 (0)	8-12(8)
Bakır	12-14(12)	12-14(12)	0-16(0)	12-20(12)
Bakır Alaşımları				
Sert	8-10(10)	6-10(10)	(0)	0-8 (8)
Yumuşak	10-12(12)	8-12(12)	0-2 (0)	0-10(10)
Fiber	14-16(14)	12-14(14)	0-2 (0)	0-10(10)
Formika	14-16(14)	10-14(14)	0-16(0)	10-12(12)
Nikel demir	14-16(14)	10-14(14)	0-8 (0)	12-15(15)
Micarta	14-16(14)	10-14(14)	0-16(0)	10-15(15)
Monel ve Nikel	14-16(14)	12-14(14)	0-10(0)	12-15(15)
Nikel gümüşleri	10-14(14)	10-14(14)	0-10(0)	0-10(0)
Sert lastik	18-20(20)	14-20(20)	(0)	0-20 (20)

* Parantez içindeki açılar başlangıç açıları olarak önerilir.

Çizelge.36- Tek Uçlu Sertmetal (Karbürlü) Kesici Takımlar için Açılar*

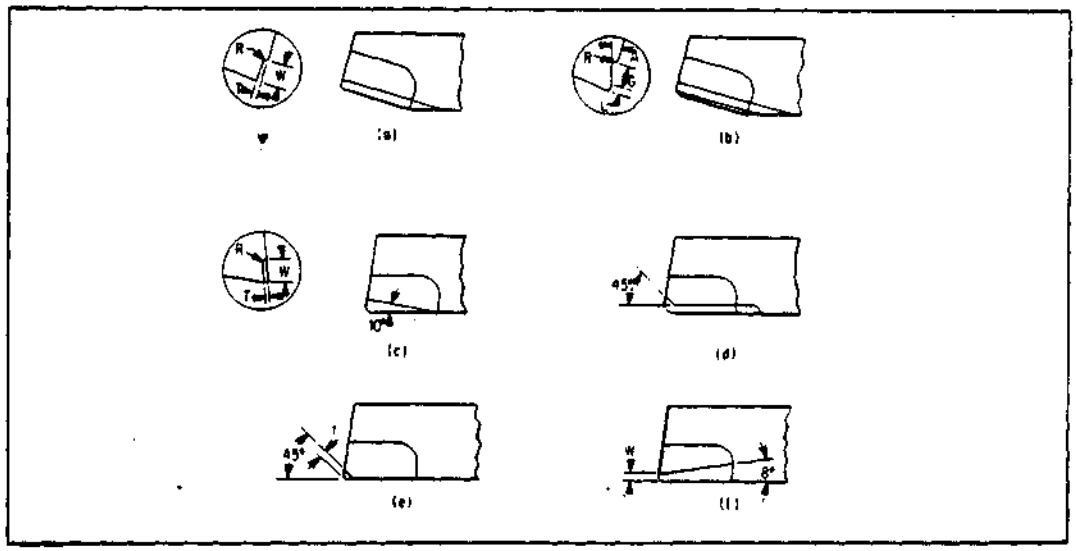
İşlenen Gereç	Yan ZırhAçısı YZA, der.	Uç Zırh Açısı UZA, der.	Arka meyil Açısı, AMA, der.	Yan meyil Açısı, YMA der.
Alüminyum ve Magnezyum Alaşımları	6-10(10)	6-10(10)	0 ila 10(10)	10 ila 20 (15)
Bakır	6-8 (8)	6-8 (8)	0 ila 4 (0)	15 ila 20 (15)
Pirinç ve Bronz	6-8 (8)	6-8 (8)	0 ila -5 (0)	+8 ila -5 (+8)
Dökme Demir	5-8 (6)	5-8 (8)	0 ila -7 (0)	+6 ila -7 (-6)
SAE 1020 ye kadar düşük karbonlu çelikler	5-10(6)	5-10(6)	0 ila -7 (0)	+6 ila -7 (+6)
SAE 1025 ve üstü karbonlu çelikler	5-8 (6)	5-8 (6)	0 ila -7 (0)	+6 ila -7 (+6)
Alaşımlı çelikler	5-8 (6)	5-8 (6)	0 ila -7 (0)	+6 ila -7 (+6)
SAE 1100 ve 1300 serisi otomat çelikleri	5-10(6)	5-10(6)	0 ila -7 (0)	+6 ila -7 (+6)
Östenitik paslanmaz çelikler	5-10(6)	5-10(6)	0 ila -7 (0)	+6 ila -7 (+6)
Sertleştirilebilir paslanmaz çelikler	5-8 (6)	5-8 (6)	0 ila -7 (0)	+6 ila -7 (+6)
Yüksek Nikelli alaşımlar (Monel, inconel vs)	5-10(8)	5-10(8)	0 ila -3 (0)	+6 ila+10 (+10)
Titanyum alaşımları	5-8 (6)	5-8 (6)	0 ila -5 (0)	+6 ila -5 (+6)

* Parantez içindeki açılar başlangıç açıları olarak tavsiye edilir.

Talaş Kontrolü

Tek uçlu takımlarda talaş kontrol alanı, talaşın takım ya da işparçası üzerine kıvrılarak kırılmasına sebep olmak için, takım kesme yüzeyi üzerinde küçük bir kademe ya da kanal açarak ya da takım ya da takım tutucuya ayn bir parça takarak hazırlanan alandır. Tornalama yapılırken, talaşı küçük parçalara ayınp takım ucu civarında uzaklaştırmak için etkili bir yol sağlanmazsa, yüksek dayanımlı ve sünek çelikler ve bazı diğer işparçası gereçleri sürekli (kopmayan) talaş oluşturur. Tek uçlu kesici takımlar için üç tip talaş kontrol (talaş kırma) yöntemi olup bunlar; takım ucunun taşlanması, takım ucuna talaş kinci parça bağlanması ve takma ucun talaş kıracak şekilde şekillendirilmesi (daha sonraki bölümde görülecektir).

Taşlanarak takım ucuna verilen şekilde, işparçasmın tornalanmamış bölümüne doğru talaşı kıvıracak şekilde takım üst yüzeyinde genellikle bir kanal, kademe ya da çıkıntı yapılır. Bu şekil talaşın kırılarak küçük parçalara ayrılmasını sağlar. Şekil.65 te sertmetal plaketli tek uçlu bir takımdaki talaşdaki talaş kinci formları, Çizelge.37 ve Çizelge.38 de ise boyutları verilmektedir.



Şekil.65- Sert metal plaketli tek uçlu takımlarda talaş kırıcı formlar, (a) paralel tip (b) kanal tipi, (c) açısal tip, (d) büyük uç radyuslu takımlar için paralel ve açısal tiplerin kombinasyonu, (e) hafif kesmeler için açısal tip, (f) derinlikle çok değişen kesmeler için ters açılı tip. Ölçüler için Çizelge.37 ve 38 e bakınız

Çizelge.37- Çeşitli Kesme Derinlekleri için, Paralel ve Açısal Tip Talaş Kırıcılarında İlerleme, R, T, W Ölçüleri

İlerleme, mm / dev.		0.15 - 0.30	0.33 - 0.43	0.46 - 0.63	0.71 - 1.02	1.02 üstü
Kesme derinliği derinliği, mm	R, mm * T, mm*	0.25 - 0.63 0.25	0.89 - 1.65 0.38	0.89 - 1.65 0.51	0.89-1.65 0.76	0.89-1.65 0.76
0.4- 1.2	W, mm*	1.6	1.2	2.8	3.2	—
1.6-6.4	W, mm*	2.4	3.2	4.0	4.8	4.8
7.9- 12.7	W, mm*	3.2	4.0	4.8	4.8	4.8
14.3 - 19.1	W, mm*	4.0	4.8	4.8	4.8	4.8
19.1 in üstü	W, mm*	4.8	4.8	4.8	4.8	6.4

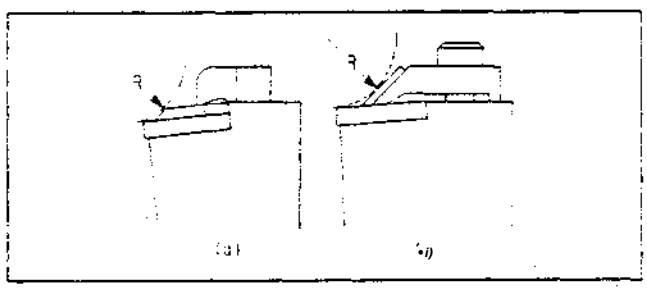
* Şekil.65 e bakınız.

Çizelge.38- Kanal Tip talaş Kırıcı Ölçüleri

Radyus, R * mm	Açı, A * derece	İlerleme hızı mm / devir
0.25 - 0.63	10	0.13-0.25
0.89-1.65	8	0.28-0.61
0.89-1.65	6	0.63 ve üstü

* Şekü.65 e bakınız.

Mekanik talaş kırıcılar ise, talaşa istenen kıvırmayı vermek için kesme kenarından uygun bir uzaklıkta eğimli bir yüzey sağlamak için genellikle tungsten karbürden yapılmış bir plaket bağlanarak yapılır. Talaş kırıcı plaketin takım üst yüzeyine iyice oturması çok önemlidir. Şekil.66 da yaygın olarak kullanılan mekanik talaş kıncılar görülmektedir.



Şekil.66- Sert metal plaketti tek uçlu takımlar için mekanik talaş kırıcılar. Her iki şekilde görüldüğü gibi şelf genişliği değiştirilerek kıvrılma radyusu değiştirilebilir.

Döndürülebilir Uçlar (İnsertler)

Döndürülebilir uçlar bugün tornalama işlemlerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplanmamış ve kaplanmış karbür uçlar en yaygın olmasına rağmen, HSS, seramik, çok kristalli elmas ve CBN den yapılmış uçlarda pek çok uygulama alanı bulmuşlardır.

Döndürülebilir uçlar geometri olarak birbiri ile eşdeğerde olan iki standart ile standardize edilmişlerdir. Bunlar, Amerika ve pekçok diğer ülkelerde kullanılan "ANSI Standart B94" ile Avrupa ve Türkiye dahil metrik sistemi kullanan pekçok diğer ülkelerde kullanılan ISO 1832 dir Aslında ISO 1832 hem metrik hem de inch sisteminde boyunlandırma yaparak ANSI B94.4 il de kapsadığı için daha üniversal bir sistem olup burada bu standart açıklanacaktır.

ISO 1832 de döndürülebilir bir uç (indexible insert), kullanılması zorunlu 7 simge ile kullanılması isteğe bağlı 2 simgenin yanyana belli bir sırada yazılması ile kodlanır. Sağdaki sonuncu simge den sonra bir çizgi ile ayrılmış olan bir ya da iki karakterli bir simge daha vardır ki bu da üreticinin kullanımı için olup kullanma zorunluğu yoktur.

Anlatım kolaylığı açısından örnek bir kodlama verilecek ve sıra ile simgeler açıklanacaktır.

Örnek:	Simge No:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Simgeler:	T	C	M	T	16	T3	04	F	N

1. Ucun şeklini tanımlayan harf simgesi: Çizelge.39 da şekiller ve açılara karşılık gelen harfler görülmektedir. Buna göre örneğimizdeki ucun şekli T - üçgendir.

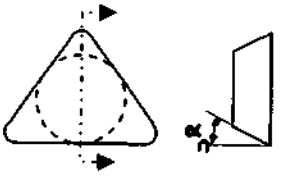
Çizelge.39- Uç **Şekil Simgeleri**

Tip	**Harf simgesi**	**Şeklin tanımı**	Şekli	En **küçük** iç açısı
Eşit kenar ve eşit açılı şekiller	**H**	Altıgen (Hexagonal)		120
	O	Sekizgen (Oktagonl)		135
	P	Beşgen (Pentagonal)		**108**
	S	Kare (Square)		90
	T	Üçgen (Triangle)		60
Eşit kenarlı fakat eşit açılı olmayan	C	Paralel kenar (Rhombic)		80
	D			55
	E			75
	M			86
	V			35
	W	Altıgen (Hexagonal)		80
Eşit kenarlı olmayan fakat eşit açılı	L	Dikdörtgen (Rectangular)		90
Eşit kenarlı ve eşit **açılı olmayan**	A	Paralel kenar		85
	B			82
	K			55
Yuvarlak	**R**	Yuvarlak (Round)		—

2. Ucun normal boşluk açısını (aynı zamanda zırh açısı anlamına gelir) tanımlayan harf simgesi. Çizelge.40 da bu açılara karşılık gelen harfler görülmektedir.

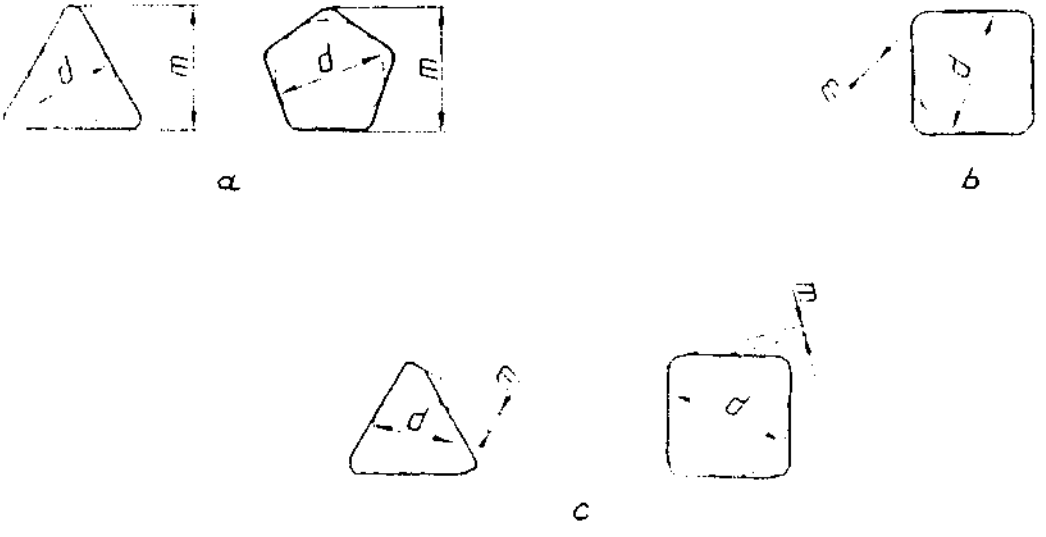
Çizelge.40- Normal Boşluk Açısı Simgeleri

Harf simgeleri
• Normal boşluk için, büyük kesme kenarına karşılık gelen aşağıda ki simgelerden birini seçin (Sekile bakınız). • Eğer (farklı normal boşluklara rağmen) tüm kesme kenarlan büyük kesme kenarı olarak kullanılıyorsa, uç boyutunu (5.e bakınız) belirtmek için en büyük kesme kenarı olarak ta göz önüne alınan en uzun kesme kenarının normal boşluk açısı, normal boşluk açısını belirtmek için kullanılacak simgenin uygulandığı boşluk açısı olacaktır.



an = 0° - N
3° - A
5° - B
7° - C
11° - P
15° - D
20° - E
25° - F
30° - G
Diğer özel açılar - O

3. Tolerans sınıfını gösteren harf simgesi: Çizelge.41 de her harf simgesine karşılık gelen, Şekil.67 de gösterilen şekillerdeki boyutlara ait toleranslar verilmektedir.



Şekil.67- Üç duruma ait boyutlar.
Durum (a) Tek sayılı (3,5,7 vs) kenar ve köşeli uçlar, (b) çift sayılı (2, 4, 6, vs) kenar ve köşeli uçlar, (c) silici kenarlı uçlar (bakınız Çizelge.48. not. 1)

Bu boyutlar; d, uç şeklinin iç teğet dayiresinin nominal çapı, s, ucun kalınlığı ve m ise Şekil.67 de gösterilen uç duruma ait köşe kenarının iç teğet dayireye olan uzaklığıdır.

Çizelge.41- Uçların Boyut Toleransları (Boyutlar için Şekil.67 ye bakınız)

Harf Sembolü	Milimetre olarak toleranslar			İnç olarak toleranslar		
	d	m	s	d	m	s
A'>	± 0.025	± 0.005	± 0.025	±0.001	±0.0002	±0.001
F"	±0.013	±0.005	± 0.025	±0.0005	±0.0002	±0.001
C>	± 0.025	±0.013	± 0.025	±0.001	±0.0005	±0.001
H	±0.013	±0.013	± 0.025	± 0.0005	±0.0005	±0.001
E	± 0.025	± 0.025	± 0.025	±0.001	±0.001	±0.001
G	± 0.025	± 0.025	±0.13	±0.001	±0.001	±0.005
J	±0.05 ila 0.15[2)]	±0.005	± 0.025	± 0.002 ila 0..006[2)]	±0.0002	±0.001
K	±0.05 ila 0.15[2)]	±0.013	± 0.025	±0.002 ila 0..006[2)]	±0.0005	±0.001
L	±0.05 ila 0.15[2)]	± 0.025	± 0.025	±0.002 ila 0..006[2)]	±0.001	±0.001
M	±0.05 ila 0.15[2)]	± 0.08 ila 0.2[2)]	±0.13	±0.002 ila 0..006[2)]	±0.003 ila 0.008[2)]	±0.005
N	±0.05 ila O.15[2)]	± 0.08 ila 0.2^	±0.25	± 0.002 ila 0..006[2)]	±0.003 ila 0.008[2)]	±0.001
U	± 0.08 ila 0.25[2)]	±0.13 ila 0.88[2)]	±0.13	±0.003 ila 0..01[2)]	±0.005 ila 0.015[2)]	±0.005

1) Bu tolerans sınıfları normal olarak köşeleri çift açılı uçlara uygulanır.

2) Bu toleranslar uç boyutuna bağlıdır (Çizelge. 42 ve 43 e bakınız) ve karşılık gelen boyutsal standartlara göre belirtilmelidir.

H, O, P, S, T, C, E, M, W ve R şekilli uçlann J, K, L, M, N ve U tolerans sınıflan için d nin toleranslan ve en küçük açıları 60° ve daha fazla olan H, O, P, S, T, c, E, M ve W şekilli uçlann M, N ve U tolerans sınıfları için m nin toleranslan Çizelge 42 de verilmiştir.

Çizelge.42- Uç Boyutuna Bağlı d ve m nin Toleransları

İç teğet daire çapı, d		d nin toleransı				m nin toleransı			
		J,K,L,M,N sınıfları		U sınıfı		M ve N sınıfları		U sınıfı	
mm	inç	mm	inç	mm	inç	mm	inç	mm	inç
4.76	3/16								
5.56	7/32								
6"	—								
6.35	1/4	0.05	0.002	0.08	0.003	**0.08**	0.003	0.13	0.005
7.94	5/16								
8"	—								
9.525	3/8								
10"									
12"	—	0.08	0.003	0.13	0.005	0.13	0.005	0.2	0.008
12.7	1/2								
15.875	5/8								
16"	—								
19.05	3/4	0.1	0.004	0.18	0.007	0.15	0.006	0.27	0.011
20"	—								
25	—	0.13	0.005	0.25	0.01	0.18	0.007	0.38	0.015
25.4	1								
31.75	1 1/4	0.15	0.006	0.25	0.01	0.2	0.008	0.38	0.015
32	—								

1) Sadece yuvarlak uçlara uyguların.

İlgili uçların şekilleri

Harf simgeleri



En küçük açısı 55° li (Şekil.D) paralel kenar (rhombic) uçlar için d ve m'nin M ve N tolerans sınıflan için değerleri Çizelge.43 de verilmiştir.

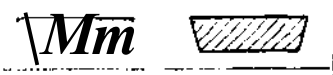
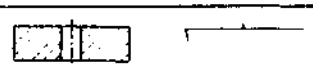
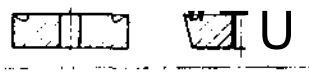
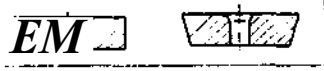
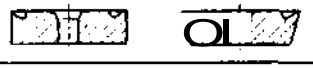
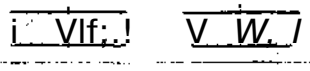
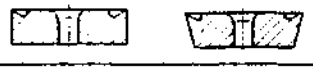
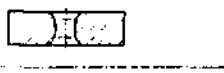
Çizelge.43- M ve N Tolerans Sınıflarında d ve m Değerleri

İş teğet dairenin d çapı		d nin toleransı		m nin toleransı		paralel kenar uç şekli
mm	inç	mm	inç	mm	inç	
5.56	7/32					D
6.35	1/4					
7.94	5/16	±0.05	±0.002	±0.11	±0.004	
9.525	3/8					
12.7	1/2	±0.08	±0.003	±0.15	±0.006	
15.875	5/8					
19.05	3/4	±0.1	±0.004	±0.18	±0.007	

En küçük açı 55° den küçük olduğu zaman m nin toleransı farkedilecek şekilde artar.

4. Ucun bağlanması ve/ya da talaş kırıcılar için harf simgesi: Çizelge.44 de uçlann bağlanması, talaş kınalan ve bunlarla ilgi kesit resimlere karşılık gelen herbir duruma ait harf simgesi görülmektedir. Ömeğimizdeki T harfi ucumuzun sadece bir yüzünde talaş kincisi olan ve yine sadece bir tarafında 40° ile 60° arasında açılı havşası olan kısmen silindirik bir bağlama deliği olan bir uç olduğu tanımlanmaktadır. Talaş kıncılann tanımları için ISO 3002-1 e bakılması gerekmektedir.

Çizelge.44- Bağlama ve ya da talaş kırıcı simgeleri

Harf Simgeci	Qdğ/c/rno	Tc/ıoş kırıcılar	Şekil
N	öoğt&mo deliksiz.	Talaş kınasız.	
R		Sadece bir yüzeyde tnlaş-kırıc/l'i	
F		Her iki yüzeyde- talaş kın-alı	
A	S//ı'ndırik bağ/amo de//kl/	Talaş kınasız	
M		Sadece bir yüzeyde Hy/op kın ci/ı	
G		Her iki yüzeyde -talaş kın-alı	
W	Sadece bfr tarafında 40° t/â 60° açı/ı />av?o//kısm? sf//nd/r/k bağ/ama de/fklı	Talcfş kınasız.	
T		Sadece bfr yüzeyde talaş kınalı	
O	Heriki tarafında 4o°i/ö€o° açılı havşalt kısmis//ind/r/k bağlama de/fkl/ Her f ki yüzeyde talaş krri-cılı	Talaş kınasız	
U			
B	Sadece bfr tarafında/ 70° i/a SO° acl/l hovsa/f fcısmT s)/ind/rik bağ/ama de//k//	Talaş kınasız	
H		Sadece bir yüzeyde talaş kınalı	
C	Her/ki tarafında 7O°' ı/â 3Cf açılı Aaı/fio//kısmi"ei'/ınd/rlk bağfama del/klı'	Talaş kınc/srz.	
J		Her /ki yüzey de to/a? /cırı cı/ı	
X»	Dctoy/ı açıklama, b"~ 9ekil ı/c/a '//âı/e şar/ırame* gerek/im-, Jmtay/ı veya 6/cO/u		

0 Thlag kınalann tarrf/eri /çın ISO 300S—I 'e bakınız.

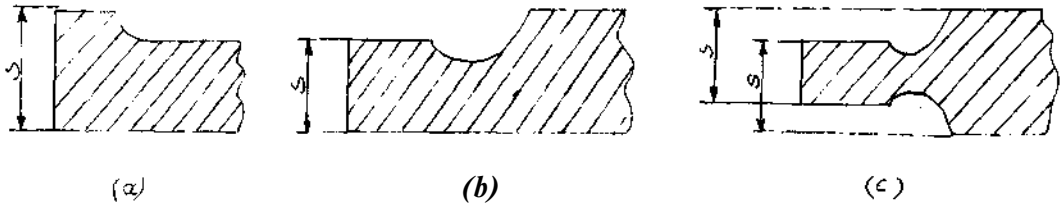
<9 Genrp/ıgfn Ctûyûk kerme kenarı *cya »nOZun kesme, kenarına/a df/t o/arok S/p6/enJ bel/rf//mesı ve konshx3k.eiyonür> <Sıe/ korakterfsfrffi l/s /lg//f ctetay/ar/r>c/or> <to/ayı 'fkencir o/mayan Uf/on © /e X f/e çfUsferrTıGjt grrok/fdfr:
© d* •farlftenmeyn ^eıer/lı üç/ar fcjn X harf simge s f Mu//am/omo*..

5. Uç boyutu için rakamsal simge : Çizelge.45 te uç tipine göre boyutlann rakamsal simgelenmesinin nasıl yapıldığı anlatılmaktadır. Çizelge.46 ve 47 de ise her uç şekline göre boyutlann simgelenmesi verilmiştir.

Çizelge.45- Uç **Boyutu için Rakamsal Simgeler**

Ucun tipi	**Rakamsal simgeleme**
MI Eşkenar uçlar	- Metrik sistemi kullanan ülkeler, kenar boyunun değerini uç boyutunu göstermek için rakamsal bir simge olarak seçmişler ve ondalık rakamlan atmışlardır. Şayet boyut tok rakamlı ise sol önüne bir 0 eklenmesi ile simge tamamlanır. *Örnekler:* Kenar boyu 15.5 mm ise rakamsal simge 15 kenar boyu 9.525 mm ise rakamsal simge 09 olur. - Inç sistemi kullanan ülkeler, iç teğet dayirenin çap değerini boyut rakamsal simge olarak seçmişlerdir. Boyutun birimi olarak 1/8 inç esas alınmış ve boyut bunun katlan ile tanımlanmıştır. a) Boyut tam sayı ise bir dijitli bir simge kullanılır *Örnek:* İç teğetsel dayire çapı 1/2 inç ise Gösterim simgesi 4(1/2 = 4/8) b) Boyut tam sayı değil ise iki dijitli bir simge kullanılır. *Örnek:* İç teğetsel dayire çapı 5/16 inç ise Gösterim simgesi 2.5 (5/16 = 2.5/8) *Not:* Çizelge.46 da eşkanar uçların iç teğet dayire çaplarının genel standart değerleri için rakamsal simgeler verilmiştir.
ni-rv **Eşkenar olmayan uçlar**	Uç boyutunu gösteren simge daima büyük kesme kenan ya da en uzun kesme kenan için verilir. Diğer boyutlar, (4) üncü simgeye x sembolü konulup çizim ya da detaylı açıklamayla belirtilir. - Metrik sistemi kullanan ülkelerde, boy un gösterim simgesi ondalık sayısız boy dur. *Örnek;* Esas kenann boyu 19.5 mm Gösterim simgesi 19 - İnç sistemini kullanan ülkelerde boyut birimi olarak 1/4 inç esas alınmış ve boyut bunun katlan olarak ifade edilmiştir *Örnek :* Esas kenann boyu 3/4 inç Gösterim simgesi 3
V **Yuvarlak uçlar**	- Metrik sistemi kullanan ülkeler, gösterim simgesi olarak çapın ondalık sayı içermeyen değerini seçmişlerdir. *Örnek:* Uç çapı 15.875 Gösterim simgesi 15 Yuvarlatılmış metrik çaplı uçlar için, (7) inci simge de özel bir simgeyle birleştirilmiş aynı kural geçerlidir (Bakınız 7). - Inç sistemini kullanan ülkelerde, eşkenar uçlardaki (tip I-II) yöntem kullanılır.

6. Uç kalınlığı için alfanümerik simgeleme : Bir ucun s kalınlığı, kesme kenarı ucunun bu ucun kullanıldığı zamandaki karşı destekleme yüzeyine olan uzaklığıdır. Uç kalınlığı üç genel durum için Şekil.68 de gösterilmiştir.



Şekil.68 Bir ucun üç duruma göre kalınlığı

Yuvarlatılmış ve pahlı kesme kenarları, keskin kesme kenarı olarak düşünülecektir. Çizelge.46 da uç kalınlığının alfanümerik simgelenmesinin nasıl yapıldığı açıklanmaktadır.

Çizelge.46- Uç **Kalınlığı Alfanümerik Simgelemesi**

Alfanümerik simgeleme
- Metrik sistemi kullanan ülkelerde, ondalık sayılar atılarak kalınlığın nümerik değeri uç kalınlığının gösterim simgesi olarak kullanılır. Şayet değer tek rakamlı ise sol tarafına 0 konularak iki dijitli simge haline getirilir. *örnek:* Uç kalınlığı 3.18 mm Gösterim simgesi 03 1.98 mm ve 3.97 mm kalınlığa sahip uçlar için bir istisna olarak, 1.59 mm (kodu 01) ve 3.18 mm (kodu 03) kalınlıklardan ayırtetmek için soldaki dijite T harfi ilave edilmiştir. *Örnek:* Uç kalınlığı 3.97 mm , 1.98 mm Gösterim simgesi T3 , Tl - tnç sistemini kullanan ülkelerde, uç kalınlığının birimi olarak 1/16 inç esas alınmış ve bunun katlan olarak ifade edilmiştir. a) rakam tam sayı ise simge bir dijitli dir. *Örnek:* Uç kalınlığı 1/8 inç Gösterim simgesi 2(1/8 = 2/16) b) rakam tam sayı değilse simge iki dijitli olur. *Örnek:* Uç kalınlığı 3/32 inç Gösterim simgesi 1.5 (3/32 =1.5/16) Not: Çizelge.47 de standart uç kalınlıklarının gösterim simgeleri verilmiştir.

Örneğimizdeki ucun kalınlığı, Çizelge.46 ve 47 ye göre 3.97 mm dir.

Çizelge.47- Standartlaştırılmış Uç Kalınlıklarının Gösterim Simgeleri

Uç kalınlıkları		Gösterim simgeleri	
mm	**inç**	**metrik**	**inç**
1.59	1/16	01	1
1.98	5/64	T1	1.2
2.38	3/32	02	1.5
3.18	1/8	03	2
3.97	5/32	**T3**	**2.5**
4.76	3/16	**04**	**3**
5.56	7/32	**05**	**3.5**
6.35	1/4	06	4
7.94	5/16	07	5
9.52	3/8	09	6
12.7	1/2	12	8

Şayet bu simgeler Çizelge.47 de verilenlerden başka bir anlamda kullanılırsa, *(4) deki simge X olacaktır.*

7. Ucun köşe şeklinin alfanümerik simgesi. Çizelge.48 de bu simgenin nasıl kodlanacağı gösterilmektedir. Örneğimizdeki ucun köşesi 0.4 mm yuvarlaktır.

Seçime bağlı simgeler : Zorunlu simgler (1) den (7) ye kadarki simgleri kapsar. (3) te belirtildiği gibi (8) ve (9) da verilen simgeler gerekli olduğu zaman kullanılırlar.

Eğer sadece bir simge gerekli ise (kesme kenan şartlan ya da kesme yönü), (8) inci pozisyon doldurulur. Şayet hem kesme kenan şartlan ve hem de kesme yönü belirtilecekse, (8) ve (9) uncu pozisyonlar doldurulur.

Çizelge.48- Uç Köşe Şeklinin Alfanümerik Simgelenmesi

Rakam ya da Harf Simgesi

1) Eğer uç yuvarlak bir köşeye sahipse gösterim simgesi (kodu);

a) Metrik sistemi kullanan ülkelerde, köşe radyosunun değeri 0.1 mm nin katlan olarak ifade edilir ve eğer bu rakam 10 dan küçük ise sol tarafına 0 ilavesi ile iki dijite çıkarılır.

Örnek: Köşe radyusu 0.8 mm
Gösterim simgesi 08

Eğer köşe yuvarlatılmamışsa (yani keskin ise) gösterim kodu 00 (sıfır-sıfır) olur.

b) Inç sistemini kullanan ülkelerde aşağıdaki gibi olur.

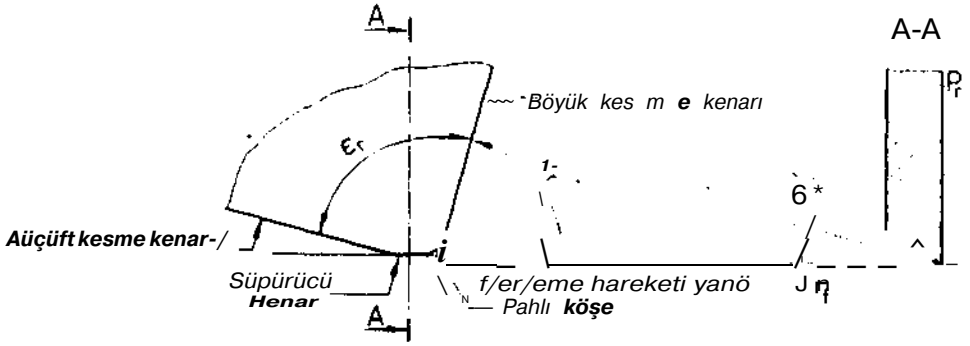
keskin köşe (yuvarlatılmamış)		-0	
köşe radyusu	1/64 inç	-1	(1/64=1/64)
köşe radyusu	1/32 inç	-2	(1/32 = 2/64)
köşe radyusu	3/64 inç	-3	(3/64 = 3/64)
köşe radyusu	1/16 inç	-4	(1/16 = 4/64)
köşe radyusu	3/32 inç	-6	(3/32 = 6/64)
köşe radyusu	1/8 inç	-8	(1/8 = 8/64)
Herhangi diğer köşe radyusu		-X	

(Burada da sistemin 1/64 ün katlarını esas alındığı görülmektedir)

2) Eğer ucun silici kenarı varsa, aşağıdaki gösterim simgelerin kullanılır :

Kesme kenen açısı K_r için;	Silici kenarın normal boşluğu oc'_n için
A = 45°	A = 3° G = 30°
D = 60°	B = 5° N = 0°
E = 75°	C = 7° P = 11°
F = 85°	D = 15° Z = herhangi diğer silici kenar normal
P = 90°	E = 20° boşluğu için
Z = Diğer kesme açılan	F = 25°

Notlar: 1. Silici kenar, küçük kesme kenannın bir parçasıdır.



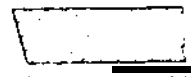
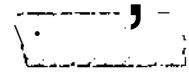
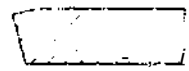
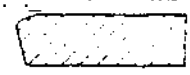
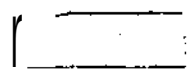
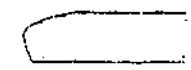
2. Silici kenarlı uçlar, tiplerine bağlı olarak, pahlı köşeli ya da köşesiz olurlar. Dönderilebilir uçlann standart gösterimi (kodu), ucun pahlı ya da pahsız olduğu hakkında bilgi vermez. Standartlaştınlmış uçlar için bu bilgi boyutsal standartlarda verilmiştir, standart olmayan uçlar için ise bu bilgi üretici kataloglannda verilmiştir.

3) Yuvarlak uçlar da (7) inci simgeyi doldurmak için, metrik sistemi kullanan ülkeler
- 00 (sıfır-sıfır) eğer çap bir ine değerden çevrilmişse
- M0 eğer çap metrik bir değerse,

olarak belirtirler

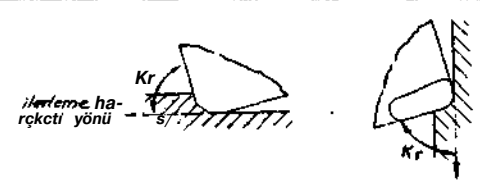
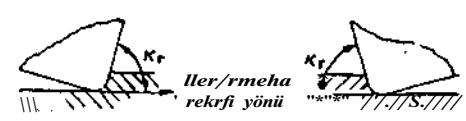
8- Kesme kenarı şartları simgeleri: Bu harf simgeleri Çizelge.49 da da verilmektedir. Ömeğimizdeki uç keskin kenarlıdır.

Çizelge.49- Kesme Kenan Şartlan Simgeleri

Harf o/mc/cst.	Kesme fcenarın/n durumu	Şekli
F	Keskin kesme kenor//	
F	yuvor/ofı/rn/s kesme kenar/ı	
T	Pah// kcsmç kenar//	
S	Pah// \/e yuvarlatılmış kesme kenar//	
K	Ç-ff/poh/ı kesme, tenor//	
P	\Gift pah// ı/(f yuvar/e*- \Hlmi-? kesmekenori/	

9. Köşe tipi ve ucun uygulaması (ilerleme hareketi yönü) simgeleri: Çizelge.5O de bu harf simgeleri verilmektedir. Ömeğimizdeki uç nötr dür.

Çizelge.50- Köşe Tipi ve Ucun Hareket Simgeleri

Harf simgesi	Köşe tipi	ucun uygulamaları	Şekil
R	Sağ uç	Simetrik olmayan köşe ve talaş kıncılı uçlar ve eşkenar ve eşitaçılı olmayan uçlar sadece tek ilerleme hareketi yönüne izin verirler (sağ ya da sol)	
L	Sol uç		
N	Nötr uç	Simetrik köşeli ve talaş kınalı uçlar her iki ilerleme (sağ-sol) hareketi yönüne izin verirler.	

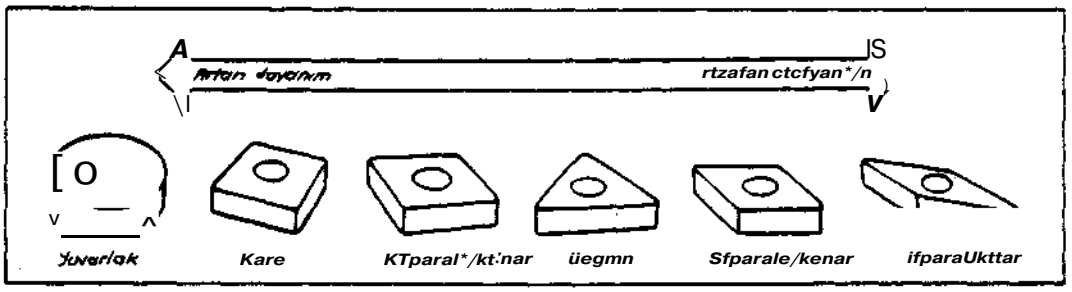
Döndürülebilir Uçların Seçimi

Döndürülebilir bir ucu seçerken -isterse gereci HSS, karbür, seramik, çok kristalli elmas ya da CBN olsun- şu yedi faktör gözönünde bulundurulmalıdır. Bunlar; uç şekli, geometrisi, boyutu, kalınlığı, köşe radyusu, tolerans ve uç gerecidir. Uç seçimini etkileyen diğer değişkenler ise şunlardır.

1. tş parçası gereci ve şartlan
2. iş parçasının toleransı, yüzey kalitesi ve üretim gerekleri
3. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği
4. Kullanılacak tezgah ve gücü
5. Tezgahın ve takımlamanın sağlamlağı (rijiditesi)
6. Yapılacak işlem
7. Ucun takılacağı takım tutucu (uçların takılacağı takım tutucular bundan sonraki bölümde anlatılacaktır).

Şimdi yukarıda sayılan uçla ilgili faktörleri teker teker görelim.

Uç Şekli: iş parçası şeklinin izin verebileceği en dayanıklı uç şekli seçilmelidir. Şekil.69 da artan ve azalan sıradaki dayanımları görülen çok kullanılan altı standart şekilli ucun herbirinin farklı avantaj ve sınırlamaları vardır. Görüldüğü gibi köşe iç açısı en büyük olan uç en dayanıklı uçtur.



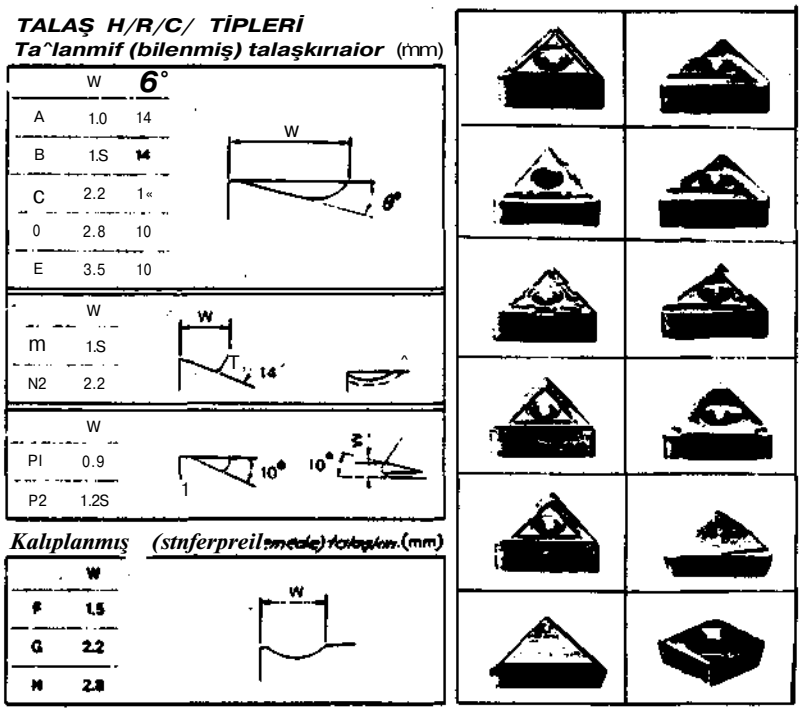
Şekil.69- Çok kullanılan standart şekilli altı ucun göreceli dayanımları

Uç Geometrisi: Negatif eğimli uçlar, pozitif eğimli uçların iki katı kesme yüzeyi (köşesi) ne sahiptir. Bunlar ayrıca, büyük ilerleme hızı ve kesme derinliğine olanak verecek kadar da sağlamdırlar.

Negatif eğim açılı uçlar, talaş kınalı olsun ya da olmasın, yüksek ilerleme hızlannda pozitif eğim açılı uçlara göre talaşı daha iyi kırarlar. En iyi genel kural, işparçası şeklinin ve malzemesinin elverdiğince negatif eğimli uçlar kullanmaktır.

Negatif eğimli uçlar, kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur, bundan dolayı kullanılacak tezgah yeterli güç ve sağlamlıkta olmalıdır. Pozitif eğimli uçlar daha serbest kesme hareketi sağlar ve fırlama ve esnemeyi azaltır. Boru gibi ince cidarlı işparçalannı işlerken çok faydalı olurlar. Pozitif eğimli açılar aynca, düşük karbonlu çelikler, yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımlar gibi çok sünek malzemelerde ve işleme sırasında sertleşen malzemelerde, daha iyi çalışır.

Negatif eğimli uçlann dayanımını pozitif eğimli uçlann kesme hareketi geometrisi ile birleştiren uçlar daha etkin bir geometri sağlar. Talaş kontrolü için, eğim yüzeylerinde kesme kenarını yükselterek ya da kalıpta çıkarılmış kanallı pozitif / negatif uçlar üretilmiştir (Bakınız Şekil.70). Talaş kınalı uçlar olarak adlandırılan bu uçlar, negatif eğimli uçlann ekenomik faydalannı sağlarken pozitif eğimli uçlann düşük kesme kuvvetleri ile işleme avantajını birleştirirler. Talaş kınalar için ISO 3002-1 uluslararası standart olmasına rağmen çeşitli uç üreticileri özel kanal geometrileri ile çeşitli tasanmlarda talaş kinci formlar geliştirmişlerdir. Şekil.70 de ISO 3002-1 den alınan talaş kinci tipleri, ölçüleri ve bunlara ait simgeler görülmektedir. Çeşitli üretici kataloglannda daha detaylı bilgiler verilmektedir.



Şekil.70- Talaş kırıcı tipleri ve üçgen uçtaki çeşitli uygulamalar.

Uç boyutu : Çizelge.45 den görüldüğü gibi metrik sistemde uç boyutu kesme kenan boyuna göre tanımlanmıştır. Amerikan sisteminde ise uç boyutu; ucun çevresi içinde kalan, kenarlara teğet en büyük dayirenin çapı olarak tanımlanır. Bu, genellikle iç teğet dayire IC (Inscribed Circle) olarak tanımlanır. Bir uç boyutunu seçerken, kesme kenarı boyu ya da IC çapı, yapılan işlemin isteklerini karşılayacak derecede yeterli büyüklükte olmalıdır. Ekonomiklik için ise, istenen kesme derinliği sağlayabilecek derecede küçük uç seçilmelidir.

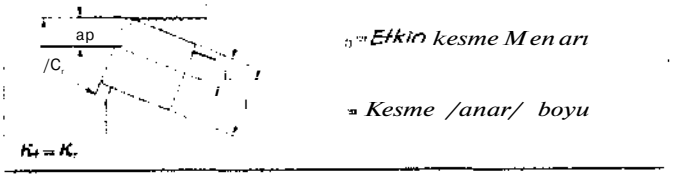
Ucun şekline, köşe radyüsüne ve takım tutucuya bağlı olarak kesme kenan boyu ile IC arasında doğrudan bir ilinti vardır. Örneğin, IC 1/2" (12.7 mm) lik kare bir ucun 1/2" (12.7 mm) kesme kenan boyu vardır. 1/2" IC li üçgen bir ucun kesme kenan boyu 7/8" (22 mm) dir. Kesme kenan boyu, kesme derinliği gereklerini yerine getirebilecek derecede uygun olmalıdır. Genel işlemler için kesme kenan boyu, kesme derinliğinin yaklaşık iki katı olmalıdır.

Uçlar genellikle, yan kesme kenan açılı olarak bağlanırlar. Bu nedenle efektif kesme kenan boyunun hesaplanması gereksinimi ortaya çıkar. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla Şekil.71 de düz tornalama ve Şekil.72 de kopya tornalama için yapılan terminolojik tanımlara göre Çizelge.Sl de giriş açısı olarakta bilinen yan kesme kenan açısı ve kesme derinliğine göre *gerekli etkin kesme kenarı boyu* verilmiştir.

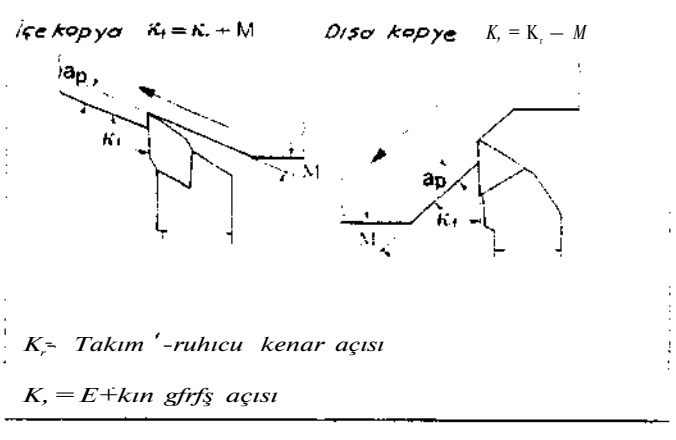
Bundan alınacak veriye göre de ucun kesme kenan boyu belirlenir.

Çizelge.51- Gerekli Etkin Kesme Kenarı Boyu

Giriş açısı K_r		Kesme derinliği (a_p) nun										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
		Gerekli etkin kesme kenan boyu (L.), mm										
	90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
105	75	1.1	2.1	3.1	4.1	5.2	6.2	7.3	8.3	9.3	11	16
120	60	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7	8.2	9.3	11	12	18
135	45	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.5	10	12	13	15	22
150	30	2	4	6	8	10	12	14	16	8	20	30
165	15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58



Şekil.71- Düz tornalama



Şekil.72- Kopya tornalama

Uç kalınlığı : Uç kalınlığı, temel olarak kullanılan kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak seçilir. Bu iki faktör bilinirse uç kalınlığı Çizelge.52 den kolayca seçilebilir.

Çizelge.52- Çeşitli Kesme Derinlikleri ve İlerleme Hızları için Uç Kalınlıkları

Kesme derinliği mm (inç)	ilerleme hızı mm/devir	ipr*	uç kalınlığı mm (inç)
3.2(1/8)	0.20-0.30	0.008-0.012	3.2 (1/8)
	0.38	0.015	4.8 (3/16)
	0.51	0.020	4.8(3/16)
4.8 (3/16)	0.20-0.25	0.008-0.010	3.2 (1/8)
	0.30-0.51	0.012-0.020	4.8(3/16)
	0.63	0.025	6.4(1/4)
6.4 (1/4)	0.25-0.38	0.010-0.015	4.8 (3/16)
	0.38-0.63	0.015-0.025	6.4(1/4)
7.9 (5/16)	0.25-0.30	0.010-0.012	4.8 (3/16)
	0.38-0.63	0.015-0.025	6.4(1/4)
	0.76	0.030	6.4 - 7.9
9.5 (3/8)	0.25-0.30	0.010-0.012	4.8(3/16)
	0.38-0.63	0.015-0.025	6.4(1/4)
	0.76	0.030	7.9(5/16)
12.7 (1/2)	0.30-0.51	0.012-0.020	6.4 (1/4)
	0.63-0.76	0.025-0.030	7.9 (5/16)

*ipr : inch per revolution - inç / devir

Uç köşe radyusu : Bir ucun köşe radyusunu, iş parçasının şekli (gerekli radyuslar ya da birleştirmeler) ve istenen yüzey kalitesi belirler. Uç radyuslannın seçiminde dikkat edilmesi gerekli bazı temel noktalar vardır. Bunlar;

1. Küçük radyuslar (keskin bir köşeden 0.25 mm radyus'a kadar) çok zayıf köşelerin oluşmasına ve bunun sonucu ucun kırılmasına neden olur. Öte yandan küçük radyuslann talaş kırma özellikleri daha iyidir ve tırlamaya daha az eğimlidir.
2. Aşın derecede büyük radyuslar, talaşın incelmesi ve radyal basıncın artması nedeniyle takımda titreşimlere (fırlamalara) neden olur.
3. Şayet takım tutucu, iş parçası ve tezgah rijid olursa büyük radyus kullanılabilir.
4. Belirli bir yüzey kalitesi gerekli olduğu zaman, uygun köşe radyusu en önemli etken olur. Nisbeten büyük radyuslar daha iyi yüzey kalitesi verir.
5. Mümkün olduğunca, uç boyutu için verilmiş standart radyuslar seçilmelidir.

Bu temel noktalardan hareketle kaba ve hassas tornalamalar için şunlar söylenebilir :

Kaba tornalamada; • sağlam bir kesme kenarı için mümkün olan en büyük radyusu seçin. • büyük köşe radyusu yüksek ilerleme hizlanna olanak verir. • titreşim varsa küçük köşe radyusu seçin.

Çeşitli radyuslar için önerilen en büyük ilerleme hızlan Çizelge.53 de verilmiştir. Bu çizelge, önerilen en büyük ilerleme hızının köşe radyusunun 2/3 ü oluşu temel alınarak hazırlanmıştır.

Çizelge.53- Çeşitli Köşe Radyusları için En Büyük İlerleme

Köşe radyusu (mm)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.4
Önerilen en yüksek ilerleme hızı (f) mm/d	0.25-0.35	0.40-0.70	0.50-1.00	0.70-1.30	1.00-1.80

Yüksek ilerleme hızları; • en fazla 60° köşe açılı sağlam kesme kenarlı. • tek kenarlı • 90° den küçük giriş açılı • işlenebilirliği iyi ve orta kesme hızlannda kullanılan uçlara uygulanır.

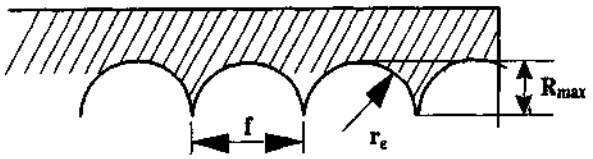
Genel kural olarak kaba tornalamada; ilerleme hızı köşe radyusunun yansı olarak alınmalıdır.

Hassas tornalama, yüzey kalitesi ve toleranslar, işparçasının stabilitesi, bağlanması ve tezgahın gnel durumu-

nun olduğu kadar köşe radyusu ve ilerleme hızının kombinasyonu ile de etkilenir. Şekil.73 te R_{max} teorik değeri ile ilerleme ve köşe radyusu kombinasyonu arasındaki ilişki diyagram olarak görülmektedir.

Teorik R_{max} değeri denklem 66 ile ayrıca hesaplamak mümkündür.

$$R_{max} = \frac{f^2}{8 r_\varepsilon} \text{ xlOOO} \quad \text{(Hm)} \qquad (66)$$



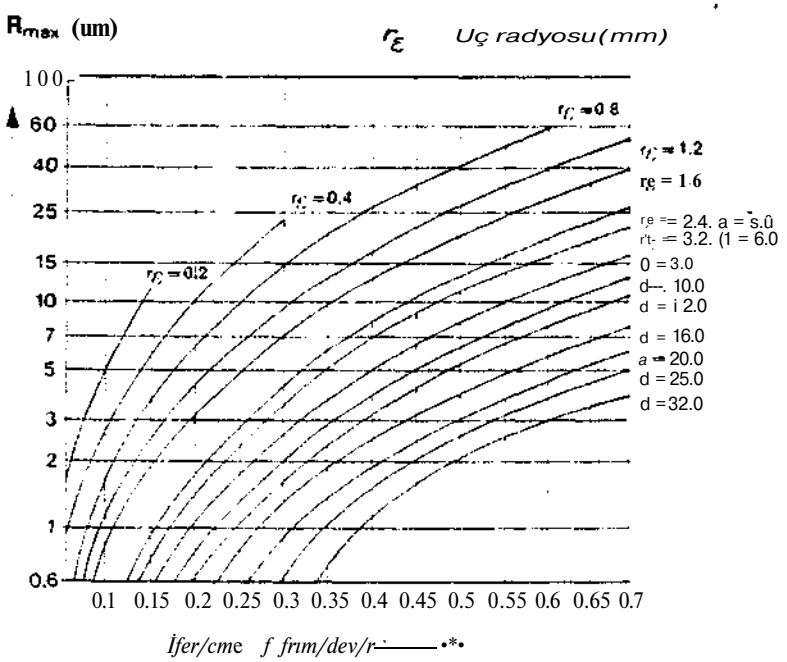
Burada

R_{max} = Profil derinliği (|im)

r_E = köşe radyusu (yançapı) (mm)

f = ilerleme hızı (mm / devir) dir.

R_{max} bulunduktan sonra Çizelge.54 ten de bu değere karşı gelen çeşitli birimlerdeki^üzey kalitesi değerleri bulunur.



Şekil.73- İlerleme hızı ve köşe radyusuna göre R_{max} değerleri

Uç toleransları : Standart uçlar, üç tolerans sınıfında bulunabilir. Bunlar; normal, hassas ve çok hassas toleranslardır. Normal toleranslı uçlar sadece üst ve alt yüzeyleri taşlanan uçlardır. Bunlann tolerans aralığı ±0.13-0.30 mm olup kalınlıkları ±0.13 mm de tutulmaktadır.

Talaş kınalı olarak hassas preslenmiş uçlar, taşlanmadan, IC çaplan ±0.05 mm ve kalınlıklan ±0.13 mm toleransla üretilebilmektedir. Bu uçlar tüm kenarlan taşlanarak IC çaplannda ±0.03 mm tolerans elde edilebilmektedir.

Hasas uçlar tüm yüzeyleri taşlanarak, istenilen sınıfa bağlı olarak, IC çaplannda ±0.03 mm kalınlıklarında ±0.03 mm ile ±0.13 mm tolerans elde edilebilmektedir.

Çizelge.54- R_{m}«x ile Çeşitli Sistemlerdeki Yüzey Kalitesi Değerleri Arasındaki Yaklaşık İlişki

"max .um	Ra-CLA-AA .um	.uin	RMS .um	,uin	Pürüz/ü/Ok Oeree» no.	Üçgen simge
1.6	0.30	11.8	0.33	13.1		
1.8	035	13.8	0.39	15.3		
2.0	0.40	15.7	0.44	17.4	N5	
2.2	0.44	17.5	0.49	19.4		
2.4	0.49	19.2	0.54	21.3		
2.6	0.53	20.8	0.59	23.1		
2.8	0.58	22.7	0.64	25.2		
3.0	0.63	246	0.70	27.3		
3.5	0.71	278	0.79	30.9		
40	0.80	31.4	0.89	34.8	N<	
4.5	0.90	35.2	1.0	39.1		
5.0	0.99	38.8	1.1	43.1		
6.0	1.2	47.2	1.3	52.4		
7.0	1.4	55.1	1.5	61.2		
8.0	1.6	63.0	1.8	70.0	N7	
9.0	1.8	71	2.0	78.8		
10.0	2.0	79	2.2	87.7		
15.0	3.2	126	3.10	140	N»	
20.0	4.4	173	4.9	192		
25.0	5.8	238	6.4	264		
27.0	6.3	247	7.0	274	**N»**	
30.0	7.4	292	8.2	324		
35.0	8.8	346	9.8	384		
40.0	10.7	422	11.9	468		
4S.0	12.5	485	13.9	538	N10	
50.0	140	552	15.5	613		

Uç tolerans sınıfının seçiminde aşağıdaki genel tavsiyelere uyulması uygundur. Bunlar;

I. Aşağıdaki şartlarda normal toleranslı uçlar seçin :

a) Kesme ucu maliyetini azaltmak için
b) iş parçası toleransı kritik değilse
c) Kaba tornalama yapılıyorsa
d) işleme sonucu takım ömrü kötü ise

II. Aşağıdaki şartlarda hassas ve çok hassas toleranslı uçlar seçin :

a) Uç tekrarlanması gerekli olursa
b) İşparçası toleransları çok önemli ise
c) Takım ayarlanması azaltılması istenirse
d) Son işlem yapılıyorsa.

Uç Gereçleri: Bir uç için kesici takım gerecinin tipini ve derecesini seçmek pek çok faktöre bağlıdır. Bunların en önemlileri; işparçasının gereci (sertlik ve şartlan), yapılacak işlem, üretim gerekleri (hızı, alınacak talaş, hassasiyet ve son işlem), kullanılacak tezgah (tipi, yeteneği ve durumu), takımlamanın rijiditesi, işleme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği) ve işlenen parça başına takım maliyetidir.

Döndürülebilir uçlar; HSS, kaplanmamış ve kaplanmış karbürler, seramikler, çok kristalli elmaslar ve CBN (Cubic Boron Nitride) gereçten yapılırlar.

Uç gereçlerinin sınıflandırılması, avantajları, sınırlamaları, uygulamaları ve işlem parametreleri "Kesici Takım Gereçleri" bölümünde detaylı olarak ele alınmaktadır.

Döndürülebilir Uçlar İçin Takım Tutucuları

Döndürülebilir uçların takım tutucuları da döndürülebilir uçlar gibi standartlara göre kullanılmaktadır. Bu konuda da yine uçlarda olduğu gibi, Amerika ve pek çok diğer ülkelerde kullanılan ANSI B 94.26-1977-. Döndürülebilir uç takım tutucuları (Indexable Insert Holders) ve ANSI 94.45 M-1979- Döndürülebilir uçlar için hassas takım tutucular (Precision Holders for Indexable Insert) standartları ile Avrupa ve Türkiye dahil metrik sistemi kullanan pek çok diğer ülkelerde ISO 5608 : 1989 (E)- Döndürülebilir uçlar için tornalama, kopye tornalama takım tutucuları ve kartuşları-tanımlama (Turning and Copying Tool Holders and Cartridges for Indexable Insert-Designation) standartı kullanılmaktadır. Yaygın kullanımı nedeniyle burada ISO 5608 anlatılacaktır.

ISO 5608 e göre takım tutucuları, dokuz tanesi zorunlu ve son bir tanesi de gerektiğinde kullanılmak üzere toplam on simgenin bir sırada yazılması ile tanımlanırlar. Bunlara ek olarak takım üreticisi tarafından on simgeye ek olarak - ile ayrılan ve 10 uncu simgede kullanılmayan harf ve / ya da rakamlardan oluşan en fazla üç dijitli bir simge eklenebilir.

Anlatım kolaylığı açısından örnek bir kodlama verilecek ve sıra ile simgeler açıklanacaktır.

Örnek; Simge no : (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11)
Simgeler : C T G N R 32 25 M 16 Q - DDD

/. Yatay olarak takılmış uçların tutma yöntemini gösteren harf simgesi: Simgeler ve bunlara karşılık gelen tutma yöntemi Çizelge.55 te verilmiştir. Örneğimizdeki takım tutucu delik olmayan bir ucu üstten sıkmaktadır.

Çizelge.55- Tutma Yöntemleri için Harf Simgeleri

Harf simgesi	Ucun sıkma yöntemi
C	Üstten sıkma (Deliksiz uçlar için)
M	Üstten ve delikten sıkma (Delik uçlar için)
P	Delikten sıkma (Delik uçlar için)
S	Delikten vidalı sıkma (Delik uçlar için)

2. Uç şeklinin simgesi: ISO 1832 tanımlanan uç şeklinin simgesi olup Çizelge.39 da verilmektedir. Örneğimizdeki ucun üçgen olduğu belirtilmektedir.

3. Takım biçiminin harf simgesi: Takımın uç takıldıktan sonraki kesme kenarının kesme doğrultusu ile yaptığı açı, sap şekli ve kesme şeklini tanımlayan simgedir. Çizelge.56 da sıralanmıştır. Örneğimizdeki takımda uç 90° kesme kenarı açısı ile yan kesme yapmaktadır ve sapı kademelidir.

4. Ucun normal boşluk açısı için harf simgesi : Çizelge.40 ta bu açılara karşılık gelen harf simgeleri verilmektedir. Örneğimizdeki takım tutucuya takılan ucun normal boşluk açısı 0° dir.

5. *Takımın yönünü belirleyen harf simgesi:*

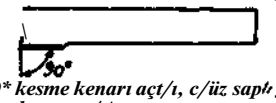
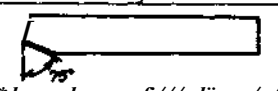
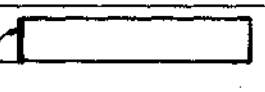
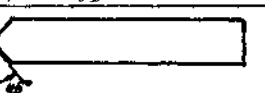
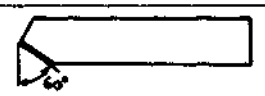
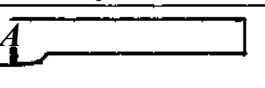
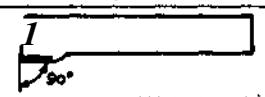
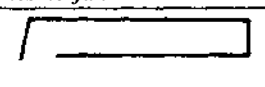
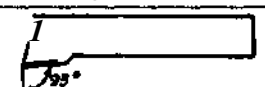
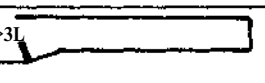
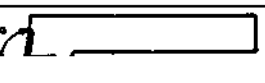
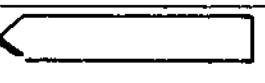
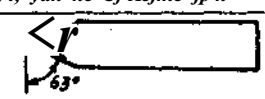
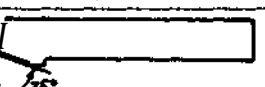
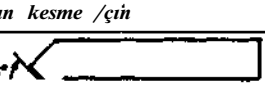
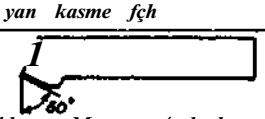
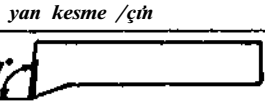
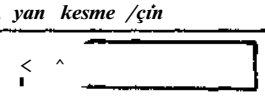
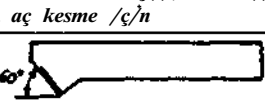
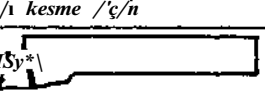
Simgeler	**Takımın yönü**
R	Sağ
L	Sol
N	Heriki yön

Örneğimizdeki takım sağ takımdır.

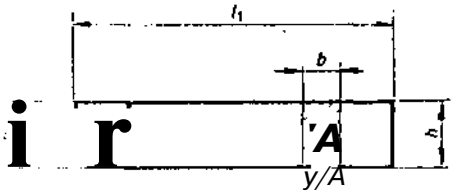
6. Takımın yüksekliğini gösteren nümerik simge : Dikdörtgen kesit saplı takım tutucularında kesici kenar yüksekliği hı sap yüksekliği h a eşittir (bakınız Şekil.74). Bu nümerik simge sap yüksekliği h nin mm olarak değeridir. Şayet yükseklik 10 mm den küçük olursa simge sol tarafa sıfır ekiyle iki dijitli duruma getirilir. Standart sap yükseklikleri ISO 5610 da verilmiştir.

örnek: h = 32 mm için simge 32
h = 8 mm için simge 08 dir.

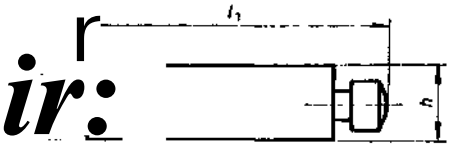
Çizelge.56- Takım Biçimleri

Biçim simgesi	Takım brelmi	Biçim simgesi	Takım biçimi
A	 90° 9O* kesme kenarı açt/ı, c/üz sapl*, yan k esme /y»	B	 75° 7$* kesme kenarı afi///, düz. sc/p/ı yan /resme fçjh
C	 90° 9o' kesme kenarı açı/l, düz. sap/t uç kesme /ç/n	D	 45° 4'tf^kestne Aenc/n cfçt/tj, doz. sop/ yan kesme içth
E	 60° So° kesme kenarı a&//, düz sap// yan kesme /'çin	F	 »-A 90° karne kenar, af//,, kademe// sap/ı, üç kesme fain
6	 90° $0°kesme kenarı aç///, kademe/< Sap//, yan kesme /ç/n	H	 107J"/Cume. kenarı aç/l, kademeli saplı, yan kesme /ç/n
7	 93° $'3°kesme kenarıap///, kademe!ı saplı. yan kesme Ifln	K	 75>3L 75° kesme kenar/ af///, kademe// sap//, iç kesme İçin
L	 95° H*rik, ktsmekenon95'aç//ı, kademeli sap/ı, yan ne Uf Aejme fp'n	M	 50* kesme kenar/ arç///, düz sop//, yan &8sm* tçt/9
N	 63° S3° kesme kenarı aç/l/ , ďaz saplı, yan kesme /çin	P	 75° 75* kesme kenar/aç///, kademe// sop- A/ yan kasme fçh
S	 45° 4f° kesme kenarı aç///, kademe/; sap- lı , yan kesme /çin	T	 60° 6o" kesme Menan aç/ı, kademe//sap- 1/, yan kesme /çin
U	 93° 93°ketm» kenarı açı//, kademe// sap- lı , aç kesme /ç/n	V	 7SS° kesme kenan aç/// , cüz sep//^ yo/ı kesme /'ç/n
W	 60° 6o° kesme kenarı aç///,kademe// sap- /ı ı oç kesme ı'çin	y	 6IŠy* 85** kesme kenarı aç///, kademe/'i sop- //, aç kesme İç/h

Not-- S bı'çi/nli /ak/ma yuvar/ok Uçlar (R seki'///) da fakı/ab/l/r.



Şekil.74- Sap ana ölçüleri



Şekil.75- Kartuş tip takım tutucularında ana ölçüler

Kesme kenarı yüksekliği hı olan kartuş tip takım tutucularında hı sap yüksekliği h a eşit değildir (Bakınız Şekil.75). Bu tip takım tutucularında, takım yüksekliği nümerik simgesi olarak kesici kenar yüksekliği hı in mm değeri alınır. Şayet yükseklik 10 mm den küçükse sol tarafa sıfır ekiyle iki dijitli duruma getirilir. Kartuş tip takım tutucuları boyutsal standart olarak ISO 5611 de verilmiştir.

örnek: h = 12 mm için simge 12
h = 8 mm için simge 08 olur.

7. *Tahmin genişliğini gösteren simge :* Dikdörtgen kesit saplı takım tutucularında takım genişliğini gösteren nümerik simge sap genişliği b nin mm olarak değeridir (Bakınız Şekil.74). Eğer genişlik 10 mm den küçük olursa simge sıfır ekiyle iki dijitli duruma getirilir. Standart sap genişlikleri ISO 5610 da verilmiştir.

örnek: b = 25 mm için simge 25
b = 8 mm için simge 08 dir.

Sap genişliğini belirten bir simge verilmediği zaman, yerini iki harfli bir simge alır. İlk harf her zaman C olup takımın kartuş (cartridge) tipi olduğunu ve ikinci harf ise kartuşun tipini belirtir, tkinci harf, örneğin tip A, kartuş tip sapların boyutsal standartı olan ISO 5611 de belirtilmektedir.

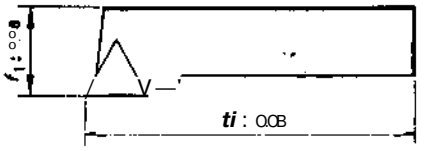
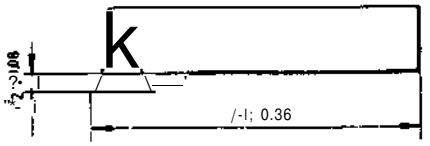
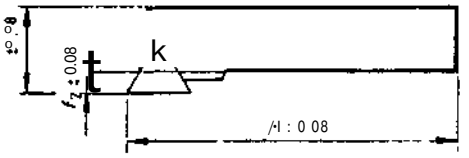
8. Takımın boyunu gösteren harf simgesi: Takım boyu için harf simgesi Çizelge.57 den seçilebilir. Her takım boyutu için yalnızca bir boyun belirlendiği standartlaştınlmış takımlarda takım boyunu gösteren harf simgesi yerine bir - (tire) konur.

lı boyu Çizelge.57 de verilmiş harf simgeleri içinde olmayan (örneğin lı = 44 mm) standartlaştınlmış kartuşlarda takımın boyunu gösteren harf simgesi yerine bir - konur.

Çizelge.57- Takım Boyu Harf Simgeleri

Harf Simgesi	Takım boyu, mm (lı Şekil.74 ve 75 te)	Harf Simgesi	Takım boyu, mm Gı Şekil.74 ve 75 te)
A	**32**	**M**	150
B	**40**	**N**	160
C	50	**P**	**170**
D	60	**Q**	**180**
E	70	**R**	200
F	80	**S**	250
G	90	**T**	300
H	100	**U**	350
J	**110**	**V**	**400**
K	**125**	**W**	450
L	**140**	**X**	**Belirlenecek** özel boy
		Y	500

Çizelge.58- Özel Toleransların Harf Simgeleri

Harf simgesi	*Takımın AJİtcifÇİ*	*Şekil*
a.	*Rrfta MC uca hassas fakım*	
F	*Ön ve ucu has&as hıkım*	
8	*Ön.j.arka ile üco hassas fakım*	

(9; *Döndürülebilir uç boyutu için simgeler:* Çizelge.45 de verilmiştir.

(10) İsteğe bağlı simge : Özel toleranslar için simgeler Çizelge.58 de verilmiştir. Nitelikli takım, f„ *h* ve 1, boyudan 0.08 toleransa sahip takımdır (Çizelge.58 deki şekillere bakınız).

Form Kesici Takımlar

Bir form kesici takım, bir tornalama işlemi ile (iş parçası dönme eksenine dik bir ilerleme ile) bir iş parçası üzerinde istenen bir formu elde etmek için kullanılan bir kesici takımdır. Genellikle, kopya tornalama ile zor tornalanabilen ya da ekonomik olmayacak kadar dar genişlikteki formların işlenmesinde ve üniversal tornalarda yapılan tornalamala ılama yeri bulur.

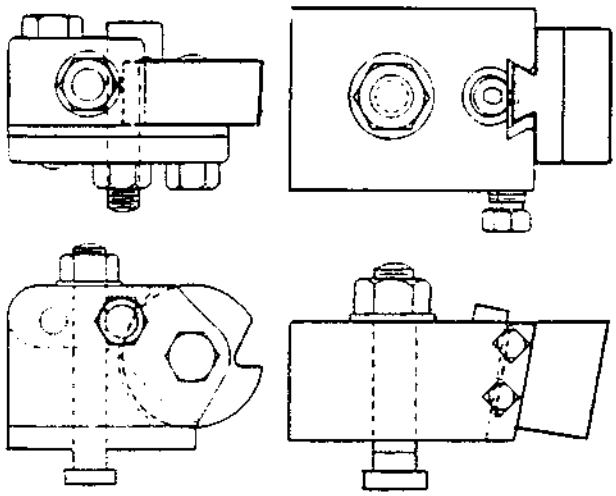
Kısaca form da form takım aldı verilen form kesici takımlar iki tipe ayrılırlar. Bunlar; düz form çakı ve dairesel form çakıdır.

Düz form çakı Şekil.76 da görüldüğü gibi, kesme kenarı (ucu) boyunca form verilmiş kare ya da dikdörtgen şekil verilmiş bir kesici takımdır. Form çakı ya doğrudan tornanın takım tutucusuna ya da kırlangıç kuyruğu ile özel bir takım tutucuya bağlanır. Form çakılar ya doğrudan HSS ya da çelik bir gövde üzerine sertlehimle tutturulmuş KDA (Kobalt esaslı döküm alaşımı) ya da karbür plaket şeklinde olurlar.

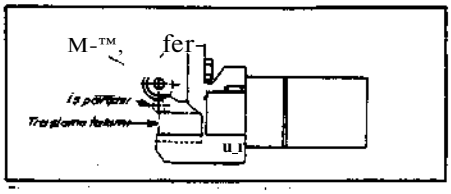
'6 da görüldüğü gibi kesici ağzı; form verilmiş çevresinden bir bölüm kesilelinde) bir kesici takımdır. Bu takımlar da genellikle HSS ya da kesme ağzına KDA ya da karbür plaket takılmış şekilde olurlar.

Ekonomik rıldıklarında; dayiresel form çakıların başlangıç maliyetlerinin yüksek olı kullanma çokluğu nedeni ile birim parçaya düşen kesici takım ma ılar ise bunun tersi olarak başlangıç maliyeti düşük fakat bilenerek S kufimi°a$_z$llı nedeniyle birim parça kesici takım maliyeti yüksek olur.

Düz form çakılar : Düz form çakılar takım alnı boyunca istenen form verilecek şekilde yapılırlar. Verilen formun şekli tabandan üst kesme yüzeyl ınarak bilenirler. Düz form çakıların çeşitli tipleri vardır. Bunlar; kırlangıç kuyruklu form çakılar, uç form a m a tak,mlan v e yontma takımlarıdır.



Şekil.76- **Tutucularına takılmış** dayiresel **(solda)** ve **düz form çakılar**



Şekil.77- Traşlama takımı ve takım tutucusu

Kırlangıç kuyruklu form çakıların karakteristik farkı kırlangıç kuyruğunun form açılmış yüzeye paralel oluşudur. Bağlanma açısı ön boşluk açısını verir.

Traşlama takımları, kırlangıç kuyruklu form çakılara benzer olup daha dar toleransta işlemler içindir. Şekil.77 de tipik bir traşlama takımı görülmektedir.

Yontma takımları genellikle uzun parçaların form tomdamasında kullanılır. Normal form çakılarda 2.5:1 i geçmeyen boy (form boyu) çap (işlenen çap) oranı yontma form işlemede 10:1 ya da daha fazla olur. Şekil.78 de bir yontma takımın genel tasarımı ve durumu görülmektedir.

Düz Form Çakıların Hesaplanması : Bir işparçasının işlenen formunun isteklere uygun olarak işlenebilmesi için uç boşluk açısı ve arka eğim açısının bilinmesi şarttır. Şekil.79 da görülen form çakıda iş parçası üzerinde form tornalama yapılan iki farklı çap ON ve OX olsun. İş parçasında gerçek kesme derinliğini elde etmek için takımda bu derinliği sağlayacak XY ile gösterilen derinliği hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılmalıdır.

NX : İş parçası üzerinde gerçekleştirilmesi gerekli derinlik

XY: NX i gerçekleştirmek için takımda olması gereken derinlik ise

$$\overline{XY}=\overline{NX}\ \ Cos\widehat{NXY} \qquad (67) \qquad \text{dir.}$$

form çakı üzerinde yapılacak her kademe düzeltmesi iş parçası üzerindeki form işlenen en küçük çapa göre yapılmalıdır. Konik form işlemlerde form çakıda yapılacak açısal düzeltemelerde aşağıdaki denkleme göre yapılmalıdır.

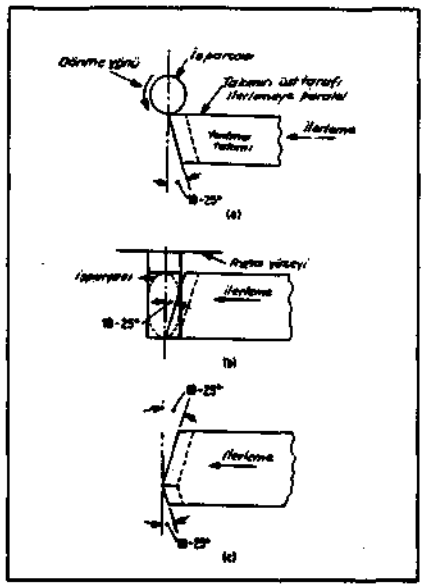
a = İş parçası üzerinde gerçekleştirilecek koniklik açısı

Φ = **a** yi gerçekleştirmek için takımda olması gereken açı

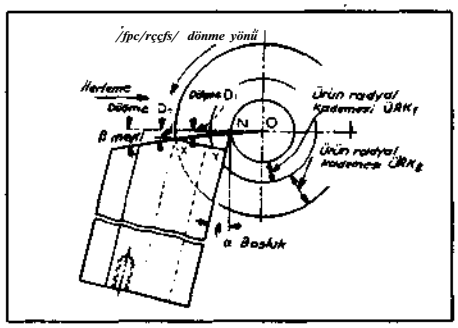
y = form çakının arka eğim açısı

P = Uç boşluk açısı ise

$$\text{tg}\ \Phi = \text{tgcc}\ \frac{\cos(Y+P)}{\cos y} \qquad (68) \qquad \text{dir.}$$



Şekil.78- Bir yontma form işlemede genel tasarım ve durum



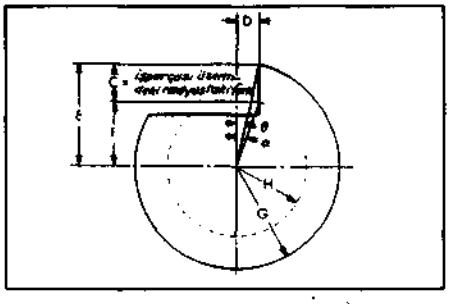
Şekil.79- Bir düz form çakının tasanın parametreleri

Dayiresel Form Çakılar: Dayiresel form çakılarda ise form dayiresel çakının tüm çevresine verilmiş ve çevreden arka eğim açısını sağlayacak şekilde kesme ağzı çıkarılarak oluşturulmuştur. Kullanımda kesme kenan bozuldukça uygun miktarda taşlama ile uygun kesme elde edilir. Dayiresel form çakı kullanırken, geniş çakılar kesme basıncından dolayı esner. Bu nedenle bu takımlar çok rijid yöntemlerle desteklenmelidir.

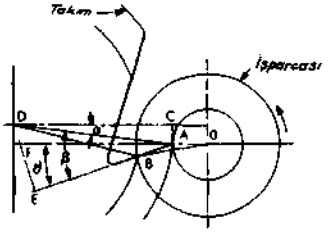
Dayiresel Form Çakıların Hesaplanması : İş parçasının dayiresel form çakı ile işlenen formunun isteklere uygun olarak işlenebilmesi için en dış kesme kenan radyusu G esas alınarak iç kesme kenan radyuslannın hesaplanmaları gerekmektedir. Şekil. 80 deki görülen diğer tasan m parametreleri dikkate alınarak iç kesme kenan radyusu H aşağıdaki denkleme göre hesaplanır.

$$H = \sqrt{D^2 + F^2} \qquad (69)$$

Burada; D : En büyük radyuslu kesme kenannın eksen kaçıklığı
C : İş parçasında esas alınan ve hasaplanan radyuslar arasındaki fark



Şekil.80- Dayiresel form çakılar için iç kesme kenarı radyuslannın bulunması



Şekil.81- Dayiresel form çakılarda pozitif arka eğim açısı için düzeltmeler

Dayiresel form çakılarda pozitif arka eğim açısı içinde düzeltme yapılması gerekmektedir. Şekil.81 da bu düzeltmeye esas olacak tasarım parametreleri görülmektedir. Burada;

AD : Takım en büyük yarıçapı
AC : Takım en büyük yançaplı kesme kenan eksen kaçıklığı
0 : Arka eğim açısı
OA : İş parçasında form işlenen en küçük yarıçap
OB : İş parçıasında form işlenen en büyük yarıçap

bilinen değerlerdir. Bu değerlere göre

DB : Form takımda OB yi işleyen yarıçap aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır.

$$\overline{DB} = \sqrt{\overline{OE}^2 + \overline{EB}^2} \qquad (70)$$ burada:

$$\overline{DE} = \overline{AD}\sin\beta \qquad (71)$$

$$\beta = \alpha + \Theta \qquad (72)$$

$$\overline{EB} = \overline{AD}\cos P - \overline{OB}\,\frac{\sin A\hat{O}B}{\sin O\hat{A}B} \qquad (73)$$

$$O\hat{A}B = 180 - 0 \qquad (74)$$

$$A\hat{O}B = 0 - O\hat{B}A \qquad (75)$$

$$\sin O\hat{B}A = \frac{\overline{AO}}{\overline{OB}}\sin(180 - 0)\ \text{dır.} \qquad (76)$$

Parlatıcı Takımlar

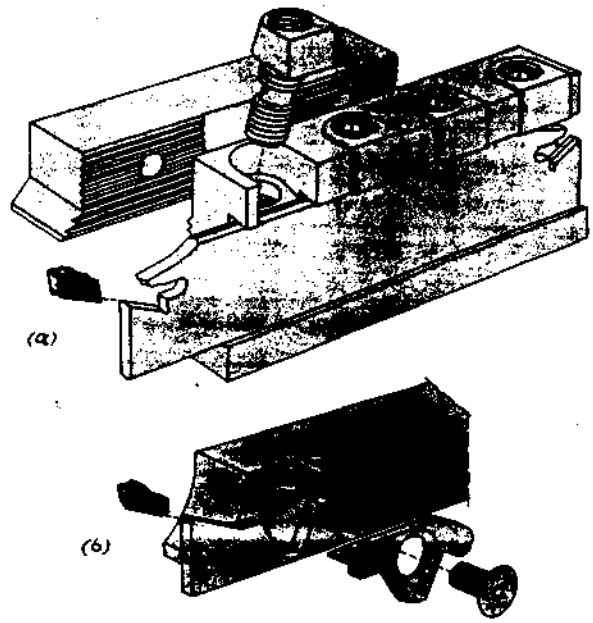
Tornalanmış yüzeyleri pürüzsüz yüzeyler haline getirmek için makaralı (hadde) parlatma uygulanır. Makaralı parlatma takımları, iki kollu bir parça arasına yerleştirilmiş bir pim etrafında dönen konik, sertleştirilmiş ve parlatılmış bir makaradan oluşmuşlardır. Parlatma makarası tornalanmış yüzey üzerinde basınç yaparak dönerken takım izlerini ve düzgünsüzlükleri gidererek yüzeyi parlatır. Bu parlatma işlemi yanında bu işlemin bir diğer özelliği köşe radyuslanna uygulanarak soğuk işlem ile yüzeye dayanım kazandırılması ile çentik dayanımının arttırılmasıdır. Bu son işlem özellikle uçak endüstrisinde kullanılan bağlama elemanları üretiminde kullanılmaktadır.

Kesme Takımları

Kesme takımları, işlenmesi bitmiş ya da belli boylarda parçalara ayınlacak çubuk ya da boru şeklindeki iş parçalarını kesme işleminde kullanılır. İki tip kesme takımı vardır. Bunlar; kesici takım çeliğinden yapılan kesme bıçaklan ve karbür gereçli takma uçlu kesme takımlarıdır.

Kesici takım çeliğinden (genellikle HSS) yapılmış kesme bıçaklan ince, dikdörtgen kesitli olup bir kater üzerine takılarak kullanılır. Sertleştirme ısıl işlemi yapılmış olarak alınıp istenilen formda bilenerek kullanılabilir.

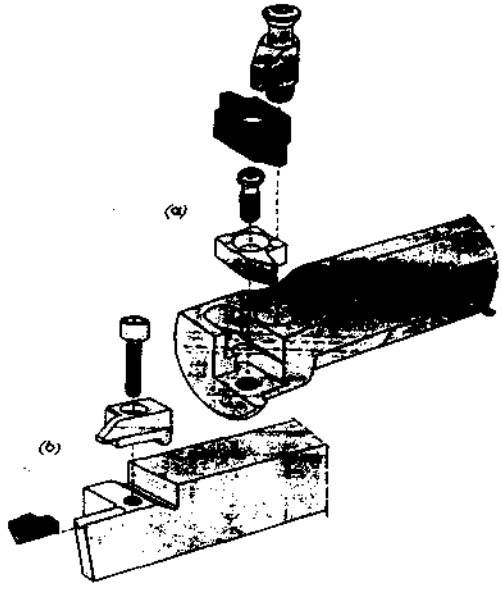
Karbür kesme uçlar, genellikle HSS ten yapılmış bir bıçağın uç kısmına kendinden yaylı bir sistem ile **(akılmış** uç ve bıçağın üzerine bağlandığı özel bir takım tutucudan ya da doğrudan bir uç ile bu ucun mekanik olarak üzerine takıldığı özel bir takım tutucudan oluşur. Şekil.82 de bu iki tip görülmektedir. Kesici takma uçlar standardize edilmedikleri için her üretici firma kendi hazırladığı kodlamayı kullanmaktadır.



Şekil.82- Takma uçlu kesme takımları.
(a) kendinden yaylı, (b) mekanik bağlamalı

Kanal Açma Takımları

Kanal açma, küçük sanayide genellikle kesme takımlan ile yapılmaktadır. Ancak seri üretimde ve hassa işlerde takma uçlu karbür kanal açma takımlan kullanılmaktadır. Bu takımlar genellikle Şekil.83 te görüldüğü gibi bir kanal ucu, bir takım tutucu ve ucu takım tutucuya bağlamakta kullanılan bağlama elemanlarından oluşurlar. Kanalın iç ya da dış çapta oluşuna göre takım şekli değişir. Şekil.83 te bu iki tip görülmektedir. Kanal açma takımlan da standardize edilmedikleri için her üretici firma kendi hazırladığı kodlamayı kullanmaktadır.



Şekil.83- Takma uçlu kanal açma takımları
(a) iç çapta kanal açma, (b) dış çapta kanal açma

Tornalamada Bağlama Düzenekleri

Başarılı bir tornalama işlemi için en gerekli şeyler; güvenlik, hız, hassasiyet ve iş parçasının tornaya rijid olarak bağlanmasıdır.

Bağlama elemanlarının ana tipleri, ahnplakası ve bağlama aparatları, mandreller, çeneli aynalar, kademeli aynalar, pensler ve manyetik ve vakumlu aynalarıdır.

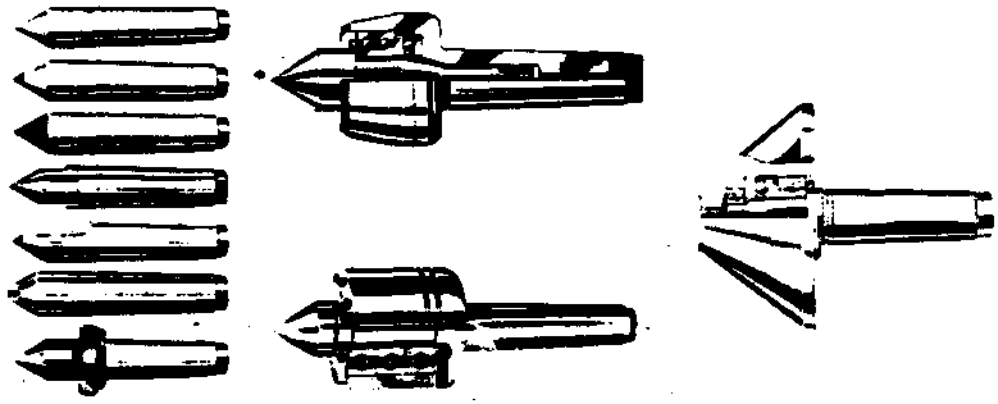
Kullanılan bağlama tipine bağlı olarak, iş parçası mümkün olan en büyük çaptan tutulmalıdır. İş parçası ayrıca mümkün olduğunca ayna yüzeyine en yakın yerden tutulmalıdır.

Özellikle kısa olan pek çok iş parçası, herhangi bir merkezleyici kullanmadan doğrudan fener mili ucuna bağlı bir bağlama aparatına bağlanarak tornalanır. Bu; aynalar, pensler ya da diğer tutma aparatları ya da tornanın fener mili ucundaki alın plakasına iş parçası ya da bağlama aparatının doğrudan civatalanması ile yapılır.

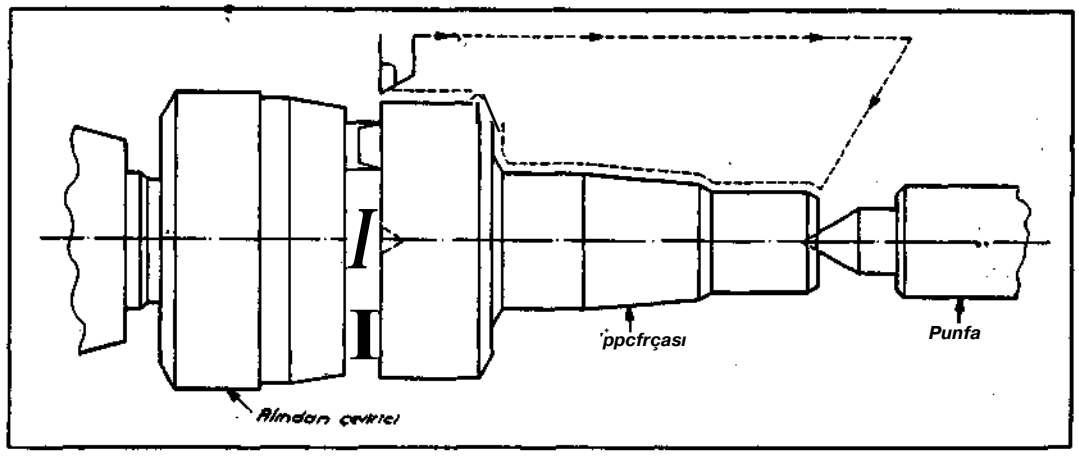
Özellikle uzun olan pekçok iş parçası ise tornalama sırasında, ayna ve punta ya da iki punta arasında en az bir ara yatak ile desteklenmelidir. Puntalar ya iş parçası ile birlikte dönen döner tip ya da hareketsiz olan sabit tipte olurlar. Şekil.84 de bu iki tip punta görülmektedir.

İş parçası tasarımının uygun olması durumunda, çevirme gücünü iş parçası alnına uygulanması verimliliği artırır. Bu iş için alından çevirici (face driver) olarak adlandıncağımız bağlama elemanları kullanılır. Şekil.85 de görülen bu bağlama elemanı (alından çevirici) nin bir tipinde, bir çevirici kafa ve bu kafanın fener miline takılmasını sağlayan fener mili ucuna uygun bir sap kısmı vardır. Çevirici kafa ise yaylı bir punta ve iş parçası alnını düzgünsüzlüklerine ayarlanmayı sağlayan dengeleme düzeneğinin kontrol ettiği çevirici pimler vardır, iş parçası alından çevirici deki punta ile tornanın puntası arasına yerleştirilip torna puntasının sıkıştırması ile tornaya bağlanır. Bu bağlama ile iş parçasının tüm dış konturunu tornalamak mümkündür. Bu tip bağlama takımlan genellikle dövme ve döküm gibi kaba yüzeyli parçaların tornalanmasında uygulanır.

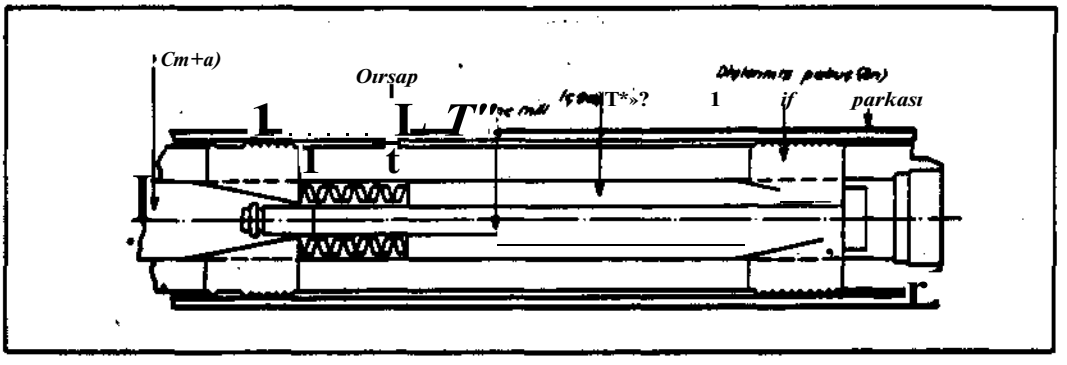
İçi boş ve boru iş parçalan içten tutmak için genellikle mandrel üzerine takılırlar. İçten tutma için üç tip mandrel vardır. Bunlar; pabuçlu (ya da pimli olarak ta tanımlayacağımız) tip, genişlemeli (expanding) tip ve vidalı tip mandrellerdir.



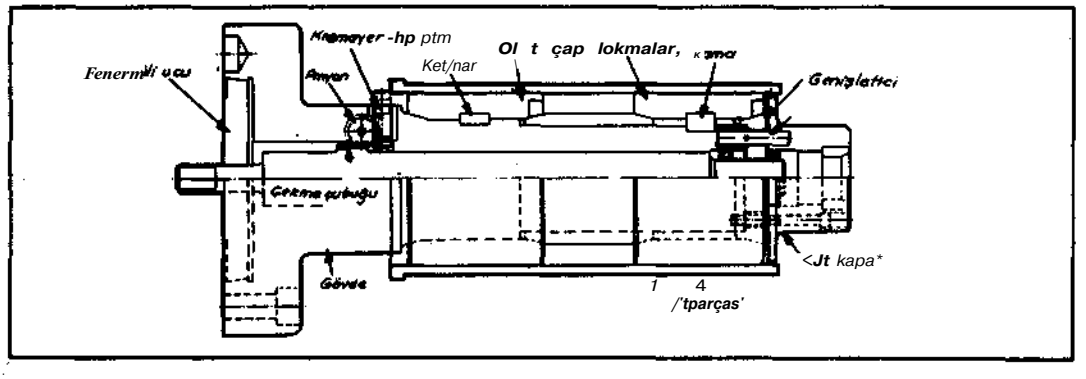
Şekil.84- Döner ve hareketsiz puntalar



Şekil.85- Tipik bir alından *çevirici bağlama* takımı



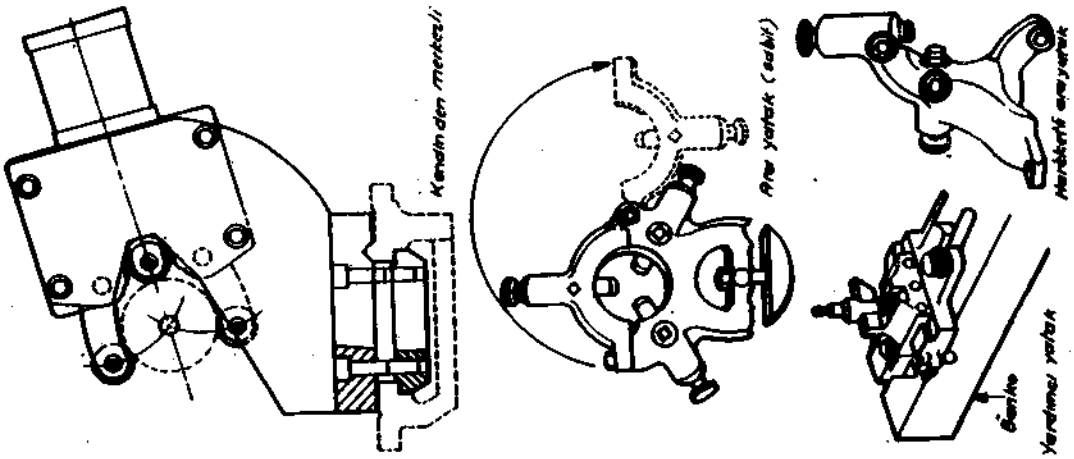
Şekil.86- Uzun ve ince cidarlı iş parçalarını bağlamak için kullanılan pabuçlu mandrel



Şekil.87- Genişlemeli (expanding) mandrel

Papuçlu tip mandreller genellikle döküm, dövme yada kaba parçalann tutulmasında kullanılır. Şekil.86 da bu tip bir mandrel görülmektedir.

Genişlemeli manşon tipi mandreller genellikle düzgün iç yüzeyli iş parçalarının tutulmasında kullanılmaktadır. Şekil.87 de bu tip bir mandrel görülmektedir.

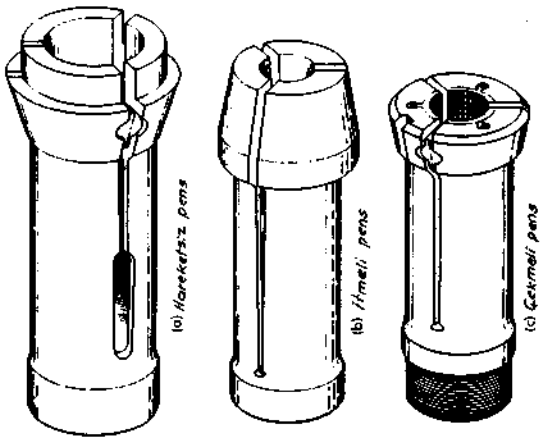


Şekil.88- Tornalarda uzun iş parçalarını desteklemede kullanılan tipik sabit ara yatak, yardımcı yatak, hareketli karşı yatak ve kendinden merkezlemeli sabit ara yatak

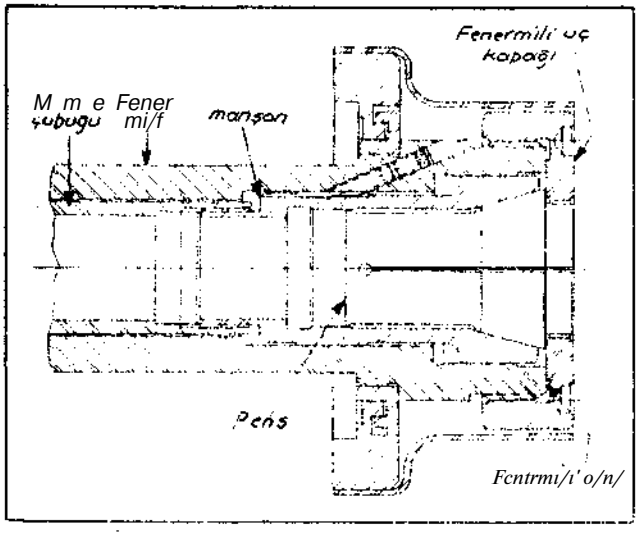
Halkalı ve tıkaç tipleri dahil vidalı mandreller, tutma işini iş parçası üzerindeki vida ile yaparlar. Tutma işlemi, iş parçasının vidalı bir tutucu üzerinde, bir durdurucuya karşı çevrilerek yapılır. İnce ve uzun iş parçalın, puntalar arası tornalama sırasında ara sabit yatak ya da hareketli karşı yataklarla desteklenirler. Şekil.88 de bu tip yataklara örnekler görülmektedir.

Sıkma pensleri, düzgün ya da işlenmiş yüzeyleri olan soğuk çekilmiş ve puntasız taşlanmış iş parçası ve çubukları küçük boyutlu torna tezgahlarında tutmada kullanılan düzeneklerdir. Penslerin en büyük avantajları; çubukla temas yüzeylerinin büyük olması nedeniyle yüksek tutma gücü, tutma izlerinin olmayışı ve ucuzluklarıdır. Aynca, santrifüj etkiler nedeniyle tutma kuvvetlerini kaybetmezler. Üç temel tip sıkma pensi vardır. Bunlar; duran tip (sabit tip), itmeli tip ve çekmeli tiptir. Şekil.89 da üç temel tip pens görülmektedir.

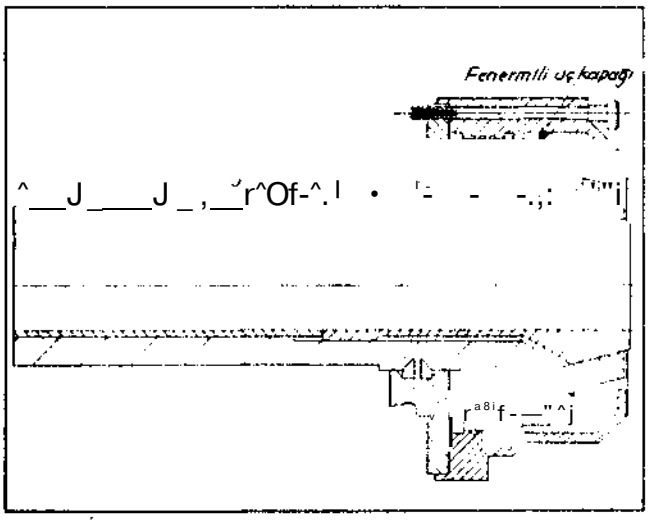
Sabit tip pensin fener miline montajına ait tipik bir örnek Şekil.90 da görülmektedir. İtmeli tip bir pens Şekil.91 de ve çekmeli tip bir pens ise Şekil.92 de görülmektedir.



Şekil.89- Temel tip pensler;
(a) sabit, (b) itmeli, (c) çekmeli



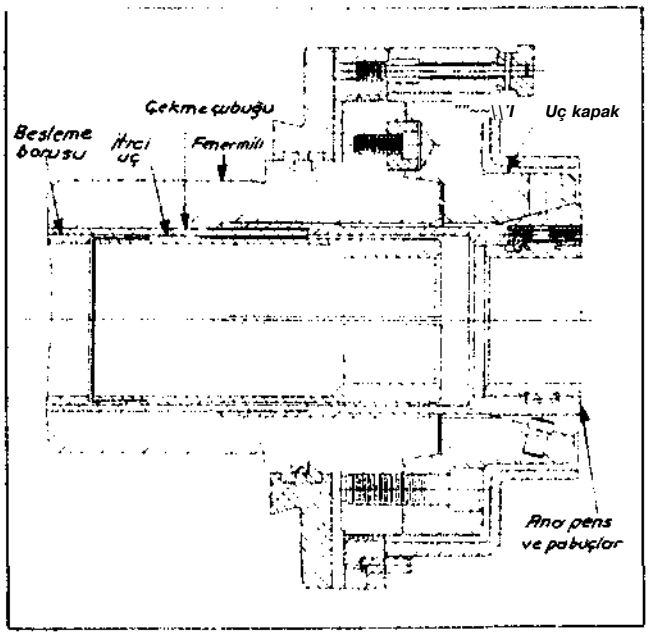
Şekil.90- Fener mili içine monte edilmiş sabit tip pens
İş parçası boyundaki değişmeler en aza inmiştir.



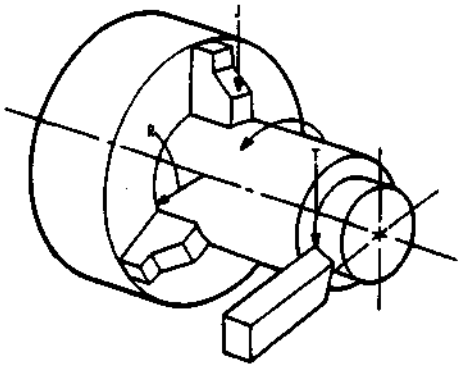
Şekil.91- İtici tip pensler, çubuğun durdurucu nedeniyle itilememesinden dolayı boyda hassasiyet sağlarlar

Ayaklı aynalar halen üniversal tornalarda en çok kullanılan iş parçası bağlama elemanıdır. Bir torna aynasının seçiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörler şu şekilde özetlenebilir: işlenecek parçanın boyutları kullanılacak takımlama, işlem hızı, üretim istekleri ve iş parçasını rijit olarak tutmak için gerekli çene (ayak) kuvvetidir, önemli ve uygulamanın çok geniş olması nedeniyle bunları açıklamak faydalı olacaktır.

Bir iş parçasını emniyetli ve rijit olarak tutabilmek için ayna çenelerinin iş parçasına uygulaması gerekli kuvvet Şekil.93 de verilen formüle göre hesaplanır. Bu formül, yalnızca kısa ya da punta ile desteklenmiş iş parçalarını bağlamalarda önerilir. Tutma kuvvetleri, aynanın boyutuna ve tasarımına (tipine) bağlı olarak çok değişir. 250 mm çaplı bir aynanın tipik tutma kuvveti herbir çene için 22.2 - 37.8 kN, 610 mm lik bir ayna için 44.5 - 97.9 kN dur. Aynalar genellikle, en büyük hızlarda, verilen normal sıkma kuvvetlerinin %50-75 ine sahip olurlar.



Şekil.92- Besleme borusu ucuna vidalanmış bir ilerletme pensi ile donatılmış çekme tipi pens

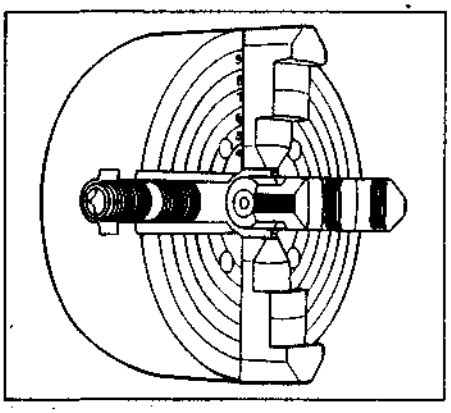


$$J = \frac{TS}{\mu NR}$$

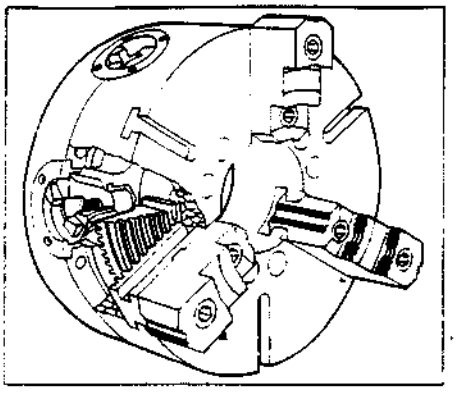
*Borada} -7 - /tyner ayağının sıkma kuvveti, kM/ieher aya**
T m Moment, Mm
*fj. Sürtünme katsayısı, o§V dii² ayaklar için 0.15 -O.tO , bakla Mmi çenHkftnmt» **yw Marbûr uçlu ayaklar fç/h OSS-to*
/V - 0yaM sayısı
R z Sıkma yarıçapı, mm
3 ₛ Bmniyer' Ma/sayısı, t M 3

Şekil.93- Bir tornada bir iş parçasını döndürmek için gerekli çene kuvvetlerinin hesaplanması

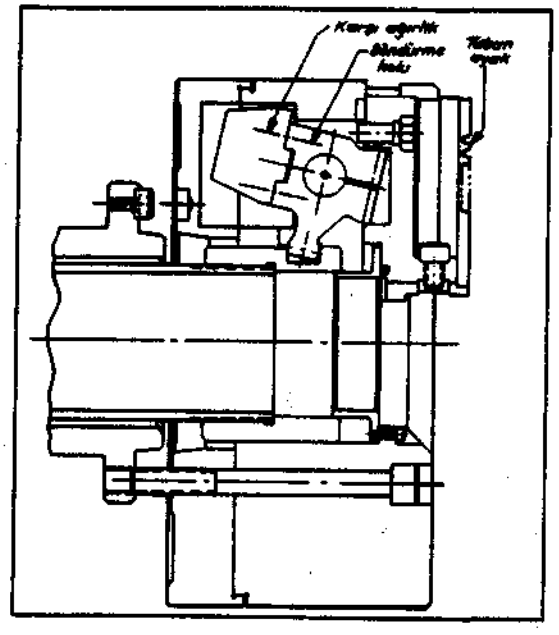
Torna aynalan, el ya da güç kumandalı olarak çok çeşitli tip ve tasanmda olurlar. El kumandalı aynalar genellikle, takımhanelerde, tamirhanelerde ve seri olmayan üretimlerde kullanılır. Güç kumandalı (hidrolik vb.) aynalar pahalı olmalarına karşın hızlı ve çok üretken olurlar. Aynca, çene kuvvetleri çeşitli isteklere göre ayarlanabilir. Aynaların ana tipleri; bağımsız ayaklı ve kendinden merkezlemeli olarak iki tanedir. Bağımsız ayarlı ayaklı aynalar eksantrik ya da düzgün olmayan şekilli parçalann tornalanmasında kullanılırlar ve genelde dört ayaklı olurlar. Böyle bir dört ayaklı ayna Şekil.94 de görülmektedir. Kendinden merkezlemeli aynalar ise genellikle üç ayaklı olup ayaklar Şekil.95 de görüldüğü gibi spiral alın dişliler ile hareket ettirilirler.



Şekil.94- Bağımsız hareketli dört ayaklı ayna



Şekil.95- Kendinden merkezlemeli üç ayaklı ayna



Şekil.96- Karşı ağırlıklı levye tipli ayna

Güç kumandalı aynalar, pnömatik ya da hidrolik olarak hareket ettirilen itme çubuğu ya da borusu ile çalışan ya da güçle tahrik düzeneği kendi içinde olan aynalardır. Pek çok NC tornalar bu tür aynalarla donatılmıştır. Hidrolik ya da pnömatik olarak itilen (ya da çekilen) çubuk (ya da boru) itme kuvvetini bir mekanizmaya iletir. Bu mekanizma da çeneleri kapatır ya da açar. Şekil.96 da levye mekanizmalı bir güç kumandalı ayna görülmektedir.

Tornalamada Çalışma Parametreleri

Herhangi bir tornalama ya da bunlarla ilgili işlemde; tezgah ve takım seçimi, güç gereksinimi, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği gibi değişkenlerin belirlenmesi gereklidir. Torna tezgahının seçimi bu bölümün başında anlatılmıştır. Yine aynı şekilde takım seci mide bu bölümde anlatılmıştır.

Tornalamada güç gereksinimi : Tornalamada güç gereksinimini hesaplamak için aşağıda Amerikan SME (Society of Manufacturing Engineers - Amerikan Üretim Mühendisleri Birliği) ce kabul edilip yayınlanmış MR 77-974 numaralı teknik raporda verilen denklemler anlatılacaktır. Aşağıdaki denklemler, belirli bir malzemeyi tek uçlu bir kesici takımla tornalamak için gerekli gerçek gücü hesaplamada kullanılır. Ana denklem :

$$P_c = Up.\frac{V}{60}.C.f.d \qquad (77)$$ dir.

Burada:

Pc : Kesici uçtaki güç, kW
Up : Birim güç, $kW/cm^3.s$
C : İlerleme için düzeltme faktörü
V : Kesme hızı, m/dak.
f : İlerleme hızı, mm/devir.
d : Kesme derinliği, mm dir.

Şimdi bu denklemdeki alt parametreleri görelim.

Birim güç Up : İşlenen her farklı gereç için ayrı bir değerdedir. 1 saniyede 1 cm^3 (1000 mm^3) talaş kaldırmak için gerekli güçtür. Deneysel olarak dinamometre ile kesme kuvvetinin ölçülüp aşağıdaki denkleme uyarlanması ile bulunabildiği gibi Çizelge.59 dan doğrudan doğruya alınabilir.

$$Up = \frac{Fc}{f.d} \qquad (78)$$

Burada:

Fc : kesme kuvveti, kN
f: ilerleme hızı, mm/devir
d: kesme derinliği, mm dir.

Çizelge.59- Çeşitli Malzemeler için Birim Güç Değerleri

İşlenen gereç	Sertlik HBr	Birim güç Up (kW/cm³.s)
Çelikler, AISI		
1010-1025	150-175	**0.16**
	176-200	0.18
1030-1055	150-175	0.16
	176-200	0.18
	201-250	0.22
	251-300	0.26
1060-1095	201-250	0.20
	251-300	0.24
	301-350	0.27
1112-1120	150-175	0.14
1314-1340	150-175	0.11
	176-200	0.13
	201-250	0.14
1330-1350	176-200	0.18
	201-250	0.20
	251-300	0.25
	301-350	0.30
2015-2115	150-175	0.18
2315-2335	150-175	0.15
	176-200	0.16
	201-250	0.17
	251-300	0.20
	301-350	0.25
	351-400	0.27
2340-2350	176-200	0.14
	201-250	0.16
	251-300	0.19
	301-350	0.23
2512-2515	150-175	0.14
	176-200	0.16
	201-250	0.18
	251-300	0.22
	301-350	0.25
3115-3130	150-175	0.14
	176-200	0.16
	201-250	0.19
	251-300	0.23
	301-400	0.27
3160-3450	176-200	0.14
	201-250	0.17
	251-300	0.20
	301-350	0.24
	351-400	0.27
4130-4345	176-200	0.13
	201-250	0.16
	251-300	0.19
	301-350	0.23
	351-400	0.27
4615-4820	150-175	0.13
	176-200	0.14
	201-250	0.16
	251-300	0.19
	301-350	0.23
	351-400	0.24
5120-5150	150-175	0.13
	176-200	0.14
	201-250	0.17
	251-300	0.20
	301-350	0.24
	351-400	0.27
52100	176-200	0.16
	201-250	0.18
	251-300	0.23
	301-350	0.27
6115-6140	150-175	0.13
	176-200	0.15
	201-250	0.18
	251-300	0.23
	301-350	0.27
6145-6195	176-200	0.19
	201-250	0.23
	251-300	0.27
	301-350	0.33
	351-400	0.36
Dökmedemir	150-175	0.08
	176-200	0.09
	201-250	0.11
	251-300	0.14
Alaşımlı dökme demir	150-175	0.08
	176-200	0.11
	201-250	0.15
Yumuşak demir çelik döküm	150-175	0.11
	150-175	0.17
	176-200	0.18
	201-250	0.22
Yüksek sıcaklık alaşımları		
A 286	165	0.22
	285	0.25
chromoloy	200	0.21
	310	0.32
Hastelloy - B	230	0.30
Inco 700	330	0.31
Inco 702	230	0.30
M 252	230	0.30
	310	0.33
TI-150A	340	0.18
U500	375	0.30
4340	200	0.21
	340	0.25
Pirinç;		
Sert	—	0.22
Orta	—	0.14
Yumuşak	—	0.09
Otomat	—	0.07
Bronz;		
Sert	—	0.22
Orta	—	0.14
Yumuşak	—	0.09
Bakır (saf)	—	0.25
Alüminyum		
Döküm	—	0.07
Sert (haddelenmiş)	—	0.09
Monel (haddelenmiş)	—	0.27
Çinko alaşımı		
(kalıp döküm)	—	0.07

İlerleme düzeltme faktörü: Birim güç, ilerleme hızının değişimine bağlı olarak değişir. Bu değişimleri dengelemek (kompanse etmek) için Çizelge.60 da verilen düzeltme faktörleri kullanılır. Bu faktörler, yalnızca Çizelge.59 ile birlikte geçerlidir.

Çizelge.60- Tek Uçlu Tornalamadaki Güç Gereksinimini Bulmak için Derleme Hızı Düzeltme Faktörleri

İlerleme hızı mm/devir	Düzetme faktörü, C	İlerleme hızı mm/devir	Düzeltme faktörü, C
0.08	1.32	0.38	0.96
0.13	1.16	0.53	0.89
0.25	1.04	0.76	0.83
0.30	1.00	1.02	0.79

V kesme hızı, filerleme hızı ve d kesme derinliği şimdi anlatılacak parametrelerdir.

Kesme hızı, ilerleme ve Kesme derinliği: Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametreleri talaş kaldırma miktarının hızını ve takım ömrünü kontrol eder. Bu parametrelerden herhangi biri artarsa, talaş kaldırma miktarı artar, fakat buna karşılık takım ömrü azalır. Bu üç parametreden herhangi birindeki bir değişim talaş kaldırma hızında eşit etki gösterir, fakat buna karşılık her parametrenin takım ömrüne etkisi farklıdır.

Kesme derinliğinin değişiminin takım ömrüne etkisi diğer iki parametreye göre enaz olanıdır. Deneyler göstermiştir ki kesme derinliğindeki %50 artış, takım ömründe %15 azalmaya neden olur. Bu nedenle talaş kaldırma miktarını artırmanın en iyi yolunun, kaldırılacak talaş miktarı, tezgahın gücü, takımlamanın rijitliği, takımın yeterliği, yüzey kalitesi ve hassasiyet ve bazan da iş parçasının şekli uygun oldukça, talaş derinliğini arttırmak olduğu bilinmelidir. Ayrıca, genellikle kesme kenarının yalnızca %50-75 nin iş parçasına değmesi tavsiye edilir.

İlerleme hızı değişiminin takım ömrüne etkisi, kesme derinliğinin değişiminden fazla, fakat kesme hızının değişiminden azdır. Deneyler göstermiştir ki ilerleme hızında %50 lik bir artış takım ömründe %60 lık azalmaya neden olur.

Takım ömründen fedakarlık yapılmasına rağmen, birim hacminde talaş kaldırma için gerekli en düşük güç ve en yüksek üretim hızını elde etmek için genellikle önerilen, mümkün olan en yüksek ilerleme hızında çalışmaktır. İlerleme hızının arttırılması, kullanılan takım tezgahının kapasitesi, kesici takım, iş parçası, takımlamanın kesme kuvvetlerine dayanaklılığı ve iş parçasında istenen yüzey kalitesi ile sınırlıdır.

Tornalamada elde edilecek yüzey kalitesine en büyük etki, kullanılan ilerleme hızı ve kesici takımın kesme ucundaki radyusundan kaynaklanır. Kesme ucundaki radyusu arttırmak ya da ilerleme hızını azaltmak yüzey kalitesini arttırır. İlerleme hızı, verimliliğe ve takım ömrüne etkisi esas alınarak, ilk önce saptanır. Daha sonra istenilen yüzey kalitesini elde etmek için Şekil.97 deki nomograftan uç radyusu seçilir.

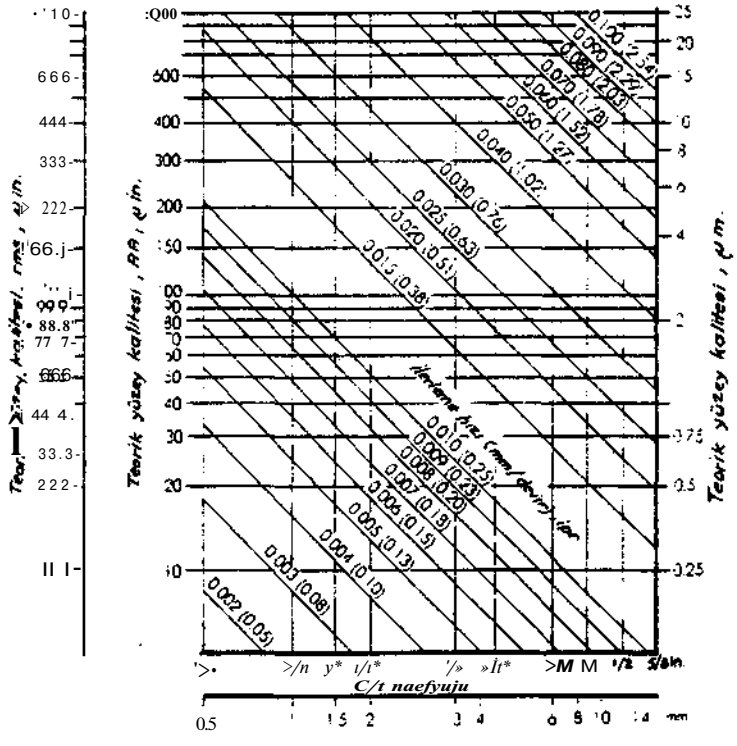
Tornalamada kesme hızının takım ömrüne etkisi hem kesme derinliği, hem de ilerleme hızından daha büyük olup bundan dolayi kesme hızının seçimi çok kritiktir. Yine deneyler göstermiştir ki kesme hızında %50 bir artış takım ömründe %90 lık bir azalmaya neden olur. Talaş kaldırma hızını arttırmak için yüksek kesme hızlan kullanmak, takım ömrü ve verimlilik yönünden bir maliyet hesabını gerektirir. Kaplanmış karbürler, seramikler, PCD (çok kristalli elmas) ve CBN (Kübik boran nitrür) gibi en yeni kesici takım gereçleri, yüksek kesme hızı özelliklerinden dolayı, takım ömrü ve verimlilikten kaynaklanan dengesizliği azaltır. Yüksek hızlar, titreşim, yataklamalar gibi tezgah parçalarının ömrü ve azalan güvenlikle ilgili problemleri birlikte getirir. Kesme hızlarının seçiminde önemli olan üretim ve parça maliyetlerinin dengelenmesidir.

Yukarıda anlatılanların sonucu olarak; genellikle önerilen, mümkün olan en büyük kesme derinliği ve ilerleme hızının kullanılmasıdır. Ve daha sonra da, takım ömrüne göre üretim hızını dengelemek esas alınarak kesme hızı seçilmelidir.

Tornalamada kesme parametreleri, mutlaka, kesici takım gereci, işlenecek parçanın gereci esas alınarak seçilmelidir. Seçilen kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme hızı) iyi birer başlangıç değeri olarak alınmalı, mali-

yet ya da maksimum üretim hızına göre uygulanacak değer belirlenmelidir. Önerilen kesme parametreleri, alaşımların genel çoğunluğunun, HSS ya da sert lehimlenmiş karbür uçlann kullanılmasında kesme zamanının 1-2 saat, döndürülebilir karbür uç kullanımında 30-60 dakika olduğu esas alınarak hazırlanmıştır.

HŞS kesici takım gereci ile çeşitli iş parçası gereçlerinin tornalanmasında kullanılabilecek kesme parametreleri Çizelge.61 de, aynı parametreler kobalt esaslı döküm alaşımı kesici takım gereçleri için Çizelge.62 de, tungsten karbür esaslı tesici takım gereçleri için Çizelge.63 de, titanyum karbür esaslı kesici takım gereçleri için Çözelge.64 de seramik kesici takım gereçleri için Çizelge.65 de, çok kristalli elmas kesici takım gereçleri için Çizelge.66 da, CBN kesici takım gereçleri için Çizelge.67 de verilmiştir.



Şekil.97- Farklı ilerleme hızlan ile istenen yüzey kalitesine elde etmek amacıyla uç radyusunu bulmak için kullanılacak nomograf

Çizelge.61- HSS Kesici Takım Gereçle, Çeşitli İş Parçası Gereçlerinin Tornalanmasında Kullamlacak Kesme Parametreleri

Toranalanacak gereç	SerÜik HBr	Kesme derinliği, mm	Kesme hızı, m/dak	İlerleme hızı mm/devir	Takım gereci ISO	Takım gereci AISI
Karbonlu çelikler						
Düşük karbonlular	125-175	1	46	0.18	S4, S5	M2, M3
AISI 1005-1025		4	38	0.40		
		8	30	0.50		
		16	24	0.75		
Orta karbonlular	125-175	1	43	0.18	S4, S5	M2, M3
AISI 1030-1527		4	35	0.40		
		8	37	0.50		
		16	11	0.75		
Alaşımlı çelikler						
Orta karbonlular	275-325	1	29	0.18	S9.S11	T15, M42
AISI 1330-94 830		4	23	0.40		
		8	18	0.50		
Orta karbonlular	175-225	1	41	0.18	S4, S5	M2, M3
AISI 1340-8742		4	32	0.40		
		8	24	0.50		
		16	20	0.75		
Düşük karbonlular	225-275	1	34	0.18	S4, S5	M2, M3
AISI 4012-94 B 17		4	26	0.40		
		8	20	0.50		
		16	15	0.75		
Yüksek dayanımlı çelikler	225-300	1	26	0.18	S4, S5	M2, M3
AISI 300 M-H 13		4	20	0.40		
		8	15	0.50		
		16	12	0.75		
Paslanmaz çelikler						
Östenitik	135-185	1	34	0.18	S4, S5	M2, M3
AISI 201-385		4	27	0.40		
		8	21	0.50		
		16	17	0.75		
Martenzitik	135-175	1	34	0.18	S4, S5	M2, M3
AISI 403-502		4	38	0.40		
		8	30	0.50		
		16	24	0.75		
Gri dökme demir	190-220	1	37	0.18	S9-S11	T15-M42
Pertlitik		4	34	0.40		
		8	20	0.50		
		16	17	0.75		
Pirinç	—	—	280	0.10		
MS 58-MS 67		—	160	0.20		
		—	115	0.50		
Bronz	—	—	100	0.10		
		—	80	0.20		
		—	50	0.50		
Bakır	—	—	80	0.10		
		—	65	0.20		
		—	40	0.50		
Alüminyum ve alaşımları	—	—	250	0.10		
		—	135	0.20		
		—	100	6.50		

Çizelge.62- Kobalt Esaslı Döküm Alaşımı Kesici Takım Gereçle, Çeşitli İş Parçası Gereçlerinin Tornalanmasında Kullanılacak Kesme Parametreleri

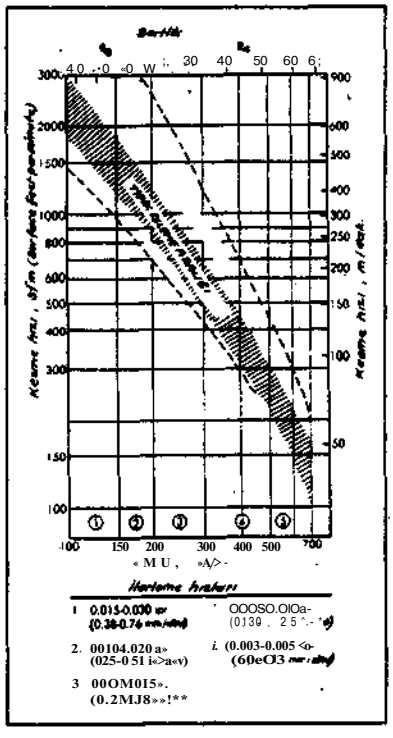
İşlenecek gereç	Kesme hızı, m/dak / İlerleme hızı, mm/devir Kaba tornalama	Hassas tornalama	Kesme	Delik işleme
Döküm ve dövme demir	37-24/0.30-3.8	46-30/0.08-0.25	23-15/0.25-2.00	38-18/0.13-0.50
Çelik dökümler	37-18/0.30-3.8	61-38/0.08-0.25	27-15/0.25-1.50	38-18/0.13-0.50
Çelikler	107-46/1.3-0.38	122-61/0.20-0.10	61-37/0.20-0.10	43-11/0.13-1.0
Paslanmaz ve sıcaklığa dayanıklı çelikler	46-18/0.5-0.13	61-37/0.20-0.13	37-30/0.15-0.10	30-20/2.5-0.13
Pirinç ve bronz	91-61/0.30-2.5	152-76/0.10-0.25	61-30/0.25-0.75	91-61/0.13-0.50
Alüminyum alaşımları	550-183/0.25-2.5	550-183/0.10-0,25	152-107/0.25-1.30	550/0.20-1.50
Alüminyum bronzu	46 /1.5	91/0.38	46/0.25	46/0.50
Bakır	91/1.5	122/0.25	91/0.13	61/0.50

Çizelge.63- Tungsten Karbür Kesici Takım Gereçle Çeşitli İş Parçası Gereçlerinin İşlenmesinde (Tornalamayı da kapsar) Kullanılacak Kesme Parametreleri

İşlenecek gereç	Kesme hızı, m/dak Kaba	Hassas	İlerleme hızı, mm/devir Kaba	Hassas	Kesme derinliği, mm Kaba	Hassas
Karbonlu otomat çelikler 140-190 HBR	76-335	305-610	0.25-2.16	0.13-0.38	3.18-17.15	4.50 ye kadar
Karbonlu çelikler 185-240 HBR	61-244	213-488	0.25-2.16	0.13-0.38	3.18-17.15	4.50 ye kadar
Alaşımlı çelikler 190-240 HBR	53-188	168-366	0.25-2.16	0.13-0.38	3.18-17.15	4.50 ye kadar
Demir dökümler 150-210 HBR	61-366	61-229	0.25-1.40	0.13-0.38	3.18-17.15	4.50 ye kadar
Martenzitik paslanmaz çelikler 175-210 HBR	53-137	137-259	0.25-1.00	0.13-0.38	3.18-12.70	4.50 ye kadar
Ostenitik paslanmaz çelikler 140-190 HBR	38-130	130-198	0.25-1.00	0.13-0.38	3.18-12.70	4.50 ye kadar
Süperal aşımlar 240-300 HBR	9-46	46-122	0.25-1.00	0.13-0.38	2.54-7.62	4.50 ye kadar
Takım Çelikleri 210-240 HBR	30-91	84-229	0.25-1.65	0.13-0.38	3.18-17.15	4.50 ye kadar
Demirdışı otomat alaşımları, Al, Cu, Zn ve pirinç alaşımları 80-120 HBR	122-366	305-610	0.25-2.16	0.13-0.38	3.18-17.15	4.50 ye kadar
Metaldışı gereçler Naylon, akrilikler ve fenolik reçineler	107-244	244-457	0.25-1.00	0.13-0.38	3.18-12.70	4.50 ye kadar

Çizelge.64- Titanyum Karbür Esaslı (Sermet) Gereçli Kesici Takımla Yapılan İşlemede Kesme Hızlan

İşlenecek gereç	Kesme hızlan, m/dak Kaba	Hassas
• Karbonlu çelikler; 1000 serisi	61-229	244-610
• Otomat çelikleri; 1100 ve 1200 serileri, kurşunlu ya da kükürtsüz	99-282	335-533
• Alaşımlı çelikler; 4000, 5000, 8000 ve 9000 serileri	46-152	213-457
• Takım çelikleri; sıcak ve soğuk iş, HSS ve şok dirençli	53-107	107-213
• Dökme demirler; nodüler, dövülebilir ve sertleştirilmiş	84-244	221-457
• Alaşımlı dökme demirler	91-183	198-366
• Paslanmaz çelikler; 200 ve 300 serileri	61-152	157-221
• Paslanmaz çelikler; 400 ve 500 serileri- ve çökeltme sertleştirmesi yapılabilenler	55-130	160-182
• Demirdışı alaşımlar ve saf metaller	152-457	533-914



Şekil.98- Çeşitli sertlikteki dökme demirler ve çeliklerin seramik kesici takımlarla tornalanması için önerilen kesme ve ilerleme hızları

Çizelge.65- Çeşitli Gereçlerin Çok Kristalli Elmas Takımlarla İşlenmesinde Önerilen İşleme Parametreleri

İşlenecek gereç	İşlem	Kesme hızı m/dak	İlerleme hızı mm/devir	Kesme derinliği mm	Uç radyusu mm	Arka eğim açısı derece	Yan eğim açısı derece	Boşluk açısı derece	Göreceli Verim
Alüminyum alaşımı (%9-10 Si)	Vida açma	387	1.50	—	0.10	**0**	**0**	10	150.000 parça /ken
Alüminyum alaşımı (% 13-16 Si)	Tornalama	890	0.15	0.35	0.76	**5**	10	—	50 x karbür 103.000 parça / ken
Alüminyum alaşımı (%16-18Si)	Delik işleme	1098	0.125	0.38	0.25	10	**5**	—	171 x karbür 100.000 parça/ken
Alüminyum alaşımı (%20 Si))	Tornalama ve delik işleme	430	0.03	0.50	0.30	**0**	10	25	250 x karbür 50 x karbür
Bakır alternatör	Tornalama	457	0.15	0.25	1.0	15	—	6-7	100.000 parça/ken.
Bakır komutatör	Tornalama	418	0.05	0.46	0.76	15	30	—	330 x karbür 100.000 parça/ken;
Bronz yatak alaşımı	Delik işleme	275	0.05	0.025	0.51	**0**	**0**	10	5 x tek kristalli elmas 60 x tek kristalli eln
Babbit yatak alaşımı astar	Delik işleme	394	0.06	0.4-0.8	0.78	**5**	**0**	10	60.000 parça/kenar 130 x karbür
Ön sinterlenmiş WC (%6 Co)	Tornalama ve delik işleme	90	0.02	0.2-2.5	1.0	**0**	**5**	**5**	Tek kristalli elmas ile aynı ömür fakat çapaksız.
Sinterlenmiş WC (%13Co)	Tornalama	30	0.15-0.25	0.1-0.5	1.0-3.C)	**0**	**-5**	**5**	Tek kristalli elmas ile aynı ömür fakat çapaksız
Bakalit kasnak	Alın tornalama	270	0.03-0.1	0.2-0.5	Düz	**0**	**0**	8-10	20 x karbür, 100 x tt
Cam takviyeli polipropilen	pah kırma	767	—	0.38	—	**0**	**7**	8-10	kristalli elmas
Teflon ve lifcam takviyeli fenolik reçine dişli	Alın ve delik tornalama (kesintisiz kesme)	120 den büyük	0.035	0.12	0.10	6-7	14	12	40.000 parça/kenai 400 x karbür 6.000 parça / kenar 1000 xWC

Çizelge.66- Sumi Boron CBN için önerilen Kesme Şartları

İşlenecek gereç	Serdik HRc	İşlem	Kesme hızı m/dak	Kesme derinliği mm	ilerleme hızı mm/dev.
Karbonlu çelikler		Tornalama			
Karbonlu takım çelikleri		delik işleme	100-200	0.50	0.20
Alaşımlı çelikler	45-68	vs.			
Yataklama çelikleri					
Yapı çelikleri		Frezeleme	100-200	0.50	0.15
HSS takım çelikleri		Tornalama			
Kalıp çelikleri	45-68	Frezeleme	50-100	0.50	0.20
		vs.			
		Frezeleme	100-200	0.50	0.15
Sertleştirilmiş ve					
Yumuşak dökme demir	50-75	Tornalama	70-150	2.50	1.50
Çelik döküm					
Dövme çelik haddeler	75-85	Tornalama	40-80	2.50	0.80

Tornalamada İş Güvenliği

Tornalann; yapımı, korunması v<: kullanımında uygulanacak iş güvenliği gerekleri ANSI Standard Bil. G.1975 te belirtilmiştir. Tüm tehlikelii şartlar ya da durumlar tümüyle llerhangi bir standarda konulamadığından her zaman sağduyu, iyi karar ve güvenli iş pratiği gereklidir.

İşlemede güvenlik konusunda dikkate alınacak en önemli nokta takımın bozulması ve parçalanması olasılığıdır. Takım parçalan yüksek hızlara ulaşırlar, bundan dolayı kişilerin ve düzeneklerin korunması gereklidir. Bunun için emniyetli gözlükler kullanılır ve güvenlik donatımı, koruma kalkanları ya da bölmeleri yerleştirilir. Pekçok modern otomatik tezgahın takımlama ve işleme bölümü otomatik emniyet kilitli sürgülü kapı ile kapatılarak iş güvenliği sağlanmıştır. Bu tezgahlarda kapı kapatılmadan işe başlanamamaktadır.

Takımın kendisi, yani uç kalınlığı ve takım tutucu, uygulanan kesme yüklerine dayanacak kadar güçlü olmalıdır. Takımın bağlama yerinden uzantısı, eğilmeyi ve titreşimi sınırlamak için minimumda tutulmalıdır. Aşın uzanmadan kaynaklanan eğilme ve/ ya da titreşim takımın kırılmasına neden olur.

Talaşın kontrol edilmesi de iş güvenliği açısından gereklidir, tş parçasından, sıcak ve yüksek hızlı talaş fırlaması olasılığına karşı tezgahın korunması ve personelin koruyucu donatım kullanması zorunlu olur. Talaşlar elle alınmamalı ve taşınmamalıdır ve talaşı tezgahtan ya da parçadan uzaklaştırmak için basınçlı hava kullanılmamalıdır. Ayrıca talaşı uzaklaştırmadan önce tezgah mutlaka durdurulmalıdır.

Kesme sıvıları mümkün olduğunca temiz tutulmalı ve talaştan temizlenmelidir. Kesme sıvısı olarak yağ kullanılması yangın tehlikesi oluşturmaktadır. Tezgah yüzeyleri ve talaş tekneleri alevlenebilir malzemelerden temiz tutulmalıdır.

İşleme sırasında oluşabilecek toz, duman ve buharlar uygun bir havalandırma - emme ile atölye dışına atılmalıdır.

Yukarıda anlatılanlara ek olarak iş güvenliği açısından genel öneriler; tezgahın ve çalışma alanının temiz tutulması (yerlerin özellikle yağlı ya da kaygan olmaması), aşın yüklere dikkat edilmesi, uygun onanm ve bakım yapıldığından emin olunması ve tezgahın hareketli parçalannın temiz tutulması (sıkışma noktalan) dır.

TALAŞ KALDIRARAK İŞLEME

11. DELİK İŞLEME

Genel

Delik işleme, tek uçlu ya da çoklu kesme kenarlı takımlarla talaş kaldırarak iç silindirik şekillerin elde edildiği hassas bir talaş kaldırma işlemidir. Bu işlem çoğu zaman iş parçasının sabit tutulup kesici takımların döndürülmesi ve ilerletilmesi ile yapılır. Delik işleme, kesici takımların sabit ve iş parçasının döndürülmesi ile de yapılabilmektedir.

Delik işlemenin genel uygulamaları, ortası boşaltılmış, presleme ile delinmiş ya da matkapla delinmiş delikleri genişletme ya da hassas işleme olarak sıralanabilir.

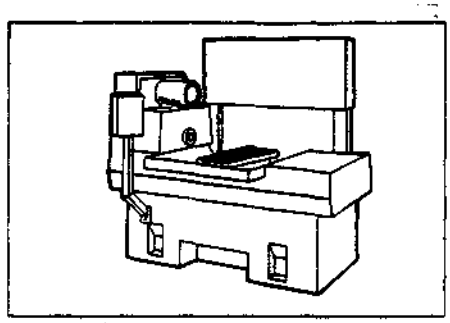
Delik işleme, istenen toleransları sağlayan tezgahın tasarımının izin verdiği sağlamlık ve hassasiyetteki yatay, düşey ya da açılı tezgahlarda yapılabilir. Pek çok delik işleme işlemi *Tornalama* bölümünde sözü edilen çeşitli tiplerdeki torna tezgahlarında yapılmaktadır. Ayrıca, *Delme* işleminin anlatıldığı bölümde anlatılacak olan özellikle, radyal matkaplar başta olmak üzere, bazı delme tezgahlarında da bu işlem gerçekleştirilmektedir.

Delik işleme uygulamaları; ağır (kaba) kesme ve hassas işlemler olmak üzere ikiye ayrılır. Ağır işleme genellikle; dikey taretli torna ve delik işleme, delme ve freze tezgahları dahil büyük yatay ve dikey delik işleme tezgahlarında yapılır. Bu tezgahlar ve yine delik işlemede kullanılan diğer tezgahlara - otomat tornalar, çubuk ve takoz yüklemdi çok milli otomat tornalar, işleme merkezleri ve transfer tezgahlan gibi - tornalama bölümünde değinilmiştir. Bu nedenle bu bölümde sadece hassas delik işleme tezgahlarına değinilecektir.

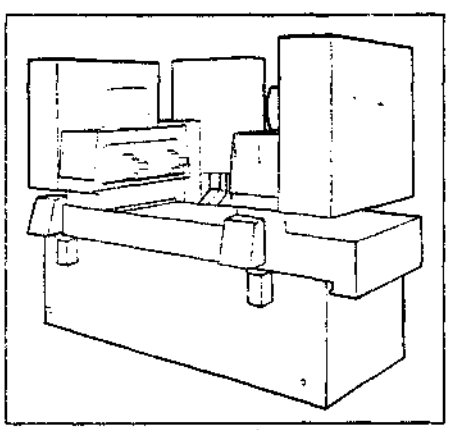
Hassas Delik İşleme Tezgahları

Hassas delik işleme tezgahlan, perçok farklı uygulamalara yanıt verecek şekilde çeşitli tiplerde olurlar. Bu tipler; yatay ya da gerekli herhangi bir açıda tek ya da çok milli olurlar. Kullanılacak tipin seçimi; öncelikle iş parçasının büyüklüğü ve şekli olmak üzere yapılacak işlemlere ve üretim gereklerine bağlıdır. Hassas delik işlemelerde kesici takımın ve iş parçasının dönmesi, özel uygulamalara ve iş parçasının boyutuna, şekline ve dengelenmesine bağlıdır. Düzgün olmayan şekilli ve / ya da dengelenmemiş iş parçalan genellikle dönen kesici takımla işlenir. Dönen takımlar ve çoklu miller yine sık olarak aynı iş parçasında çok delik işlenmesi gerektiği zaman da kullanılır. İş parçasının dönmesi bazen çok karmaşık işlemler için tercih edilir. Genel uygulama kesici takımların dönmesi şeklindedir.

Hassas delik işleme tezgahlan pekçok tipte olurlar. Ana tipler; yatay tek ya da çift taraflı tezgahlar, merkezi tahrikli tezgahlar, düşey tezgahlar, mili hareketli tezgahlar ve NC tezgahlardır. Hassas delik işlemede hassasiyet ve yüzey kalitesini etkileyen en önemli faktörler ısı ve titreşim olduğundan ağır gövdeli tezgahlar tırlama ve titreşim problemlerini en aza indirir.

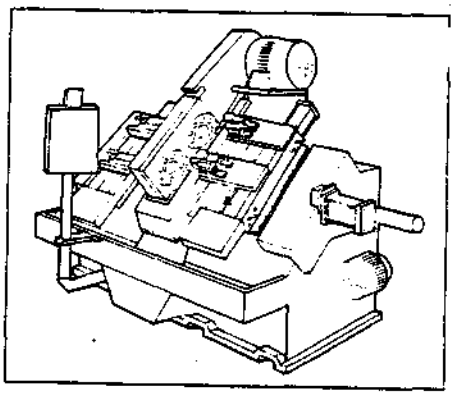


Şekü.99- Yatay, tek taraflı, hassas delik işleme tezgahı

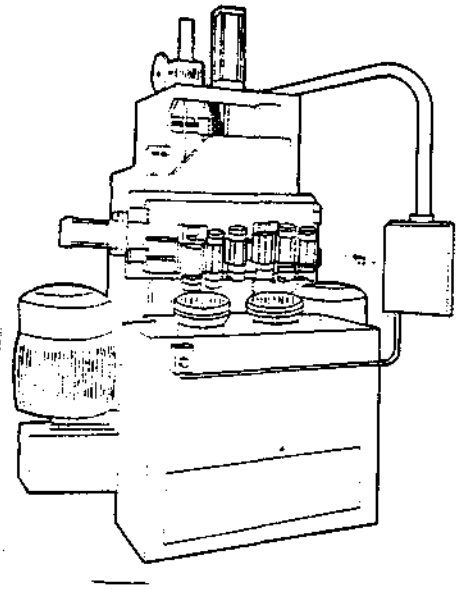


Şekil.100- Yatay, çift taraflı hassas delik işleme tezgahı

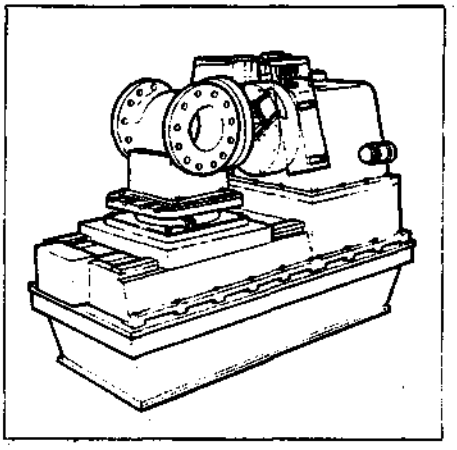
Tipik bir *yatay, tek taraflı hassas delik işleme tezgahı* Şekil.99 da görülmektedir. Bir *yatay, çift taraflı hasas delik işleme tezgahı* ise Şekil. **100** de görülmektedir. Şekil.101 de ise *çift taraflı, kam kontrollü, merkezi tahrikli delik işleme tezgahı* görülmektedir. Tipik bir *iki düşey milli hassas delik işleme tezgahı* ise Şekil.102 de görülmektedir. CNC (bilgisayarlı sayısal kontrollü) delik işleme tezgahına bir örnek Şekil. 103 de verilmiştir.



Şekil.101- İki milli, kamlı, merkezi tahrikli hassas delik işleme tezgahı



Şekil.102- İki düşey milli, kamlı hassasdelik işleme tezgahı



Şekil.103- İki eksenli, CNC delik işleme tezgahı

Delik İşleme Takımları

Delik işleme işlemleri, özellikle derin ve küçük çaplı deliklerdeki talaş kaldırma problemlerine neden olan sınırlı işleme alanından dolayı, kesici takımlar açısından tornalama işleminden zordur. Bunun sonucu olarak kesici takımların boyutu, dayanımı ve sağlamlığı (bağlanabilirlik açısından) genel olarak delik boyutu ve kesme boyundan dolayı sınırlandırılmıştır. Bu sınırlamalara karşın, normal kesici takım teorileri (Bakınız Ayrım. 1) ve tornalama takımlarında anlatılanlar, hassas delik işleme takımlarına da uygulanmaktadır. Burada da tornalamada olduğu gibi; tek parça, takım tutucuya sert lehim yapılmış karbür plaketti ve döndürülebilir uçlu kesici takımlar kullanılmakta olup döndürülebilir uçlu takımlar çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hassas delik işlemede, HSS ve KDA lar, düşük kesme hızlarının gerekli olması durumu hariç, çok sınırlı olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeden yapılmış takımlar; işlenmesi zor gereçlerde, darbeli kesmelerde ve özel formlarda kullanılmaktadır.

Çeşitli kalitedeki (grade) karbürler hassas delik işlemede de çok yaygın olarak, tek parça, lehimlenmiş plaket ve döndürülebilir uç şeklinde kullanılmaktadır.

Seramik gereçlerden yapılmış döndürülebilir uçların hassas delik işlemelerde kullanımı hızla artmaktadır. Seramik uçların dökme demir parçaların hassas deliklerinin işlenmesinde ideal olduğu gözlemlenmiştir. Seramiklerin karbürlere göre çok kırılgan oldukları gözden kaçınlmamahdır. Bu nedenle seramik uç kullanırken mekanik ve termal şoklara dikkat edilmelidir. Seramik uçlar genellikle ağır, darbeli kesmelerde ya da refrakter gereçlerde ve sıvanma nedeniyle bazı alüminyum alaşımları için önerilmez.

Tek ya da çok kristalli elmas takımlar, aşındırıcı özelliği olan metaldışı ve demirdışı gereçler için çok uygundur.

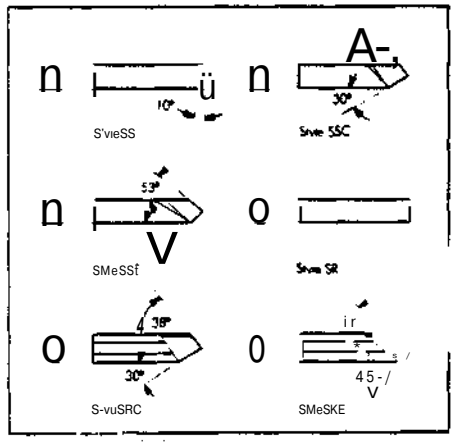
CBN takımlar ise, yüksek ısıl dayanım ve kimyasal tepkimesizliklerinden dolayı, demir esaslı gereçlerin delik işlenmesi için uygundur.

Tek parça ve plaketli delik işleme takımları: Hernekadar döndürülebilir uçlar çok yaygın olarak kullanılıyor ise de bazı uygulamalarda hala tek parça ve plaketli takımlar kullanılmaktadır. Tek parça delik işleme takımları genellikle karbürlerden ve arasıra da HSS ya da KDA dan yapılmaktadır. Plaketli takımlar için en fazla karbür olmak üzere, elmaslar (tek kristalli ya da çok kristalli) ve CBN kadar yukarıda sayılan gereçler kullanılmaktadır.

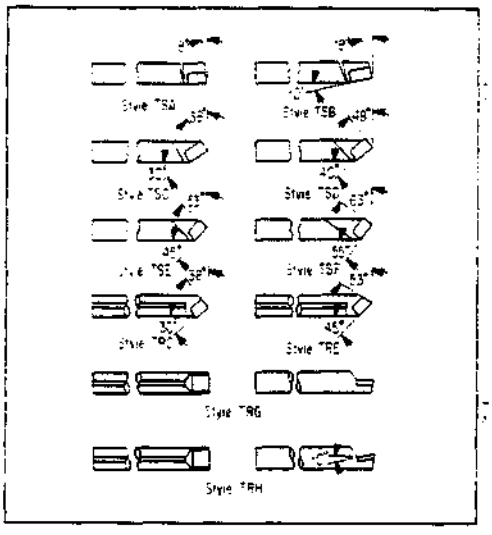
Karbür delik işleme takımlarının (tek parça ve plaketli, yuvarlak ve kare kesitli ve bilenmemiş plaketler) standart boyutları, biçimleri ve gösterimleri ASME tarafından yayınlanan ANSI Standard B 94.5-1974 de verilmiştir. Delik işleme takımı olarak dört temel biçim bulunur. Bunlar : SS, TS, SR ve TR dir. İlk harflerden S tek parça ve T plaketli olduğunu, ikinci harflerden S kare kesitli ve R yuvarlak kesitli olduğunu gösterir. Yan kesme kenarı açısı A dan H a kadar olan üçüncü bir harfle gösterilir ki bunlar Çizelge.67 de gösterilmiştir. Bazı standart kare ve yuvarlak karbür delik işleme takımları ve plaketleri Şekil. 104. de gösterilmiştir. Standart karbür plaketli takımlar ise Şekil. 105 de gösterilmiştir. Belirli boyutlar biçim gösteriminden hemen sonra gelen ek rakamlarda gösterilir. İlk rakam, çap ya da karenin ölçüsünü ikinci rakam ise takımın boyunu gösterir.

Çizelge.67- Tek Parça ve Plaketli Karbür Delik İşleme Takımlarının Çeşitli Biçimleri için Yan Kesme Kenan Açıları (ANSI Stand. B 94.5-1974)

Yan kesme kenarı açısı		Delik işleme takım biçimleri			
Gösterim	**Derece**	**Tek parça Kare (SS)**	**Plaketli Kare (TS)**	**Tek parça Yuvarlak (SR)**	**Plaketli Yuvarlak (TR)**
A	0	—	TSA	—	—
B	10	—	TSB	—	—
C	30	SSC	TSC	SRC	TRC
D	40	—	TSD	—	—
E	45	SSE	TSE	SRE	TRE
F	55	—	TSF	—	—
G	90 (0 eğim)	—	—	—	TRG
H	90 (10 eğim)	—	—	—	TRH

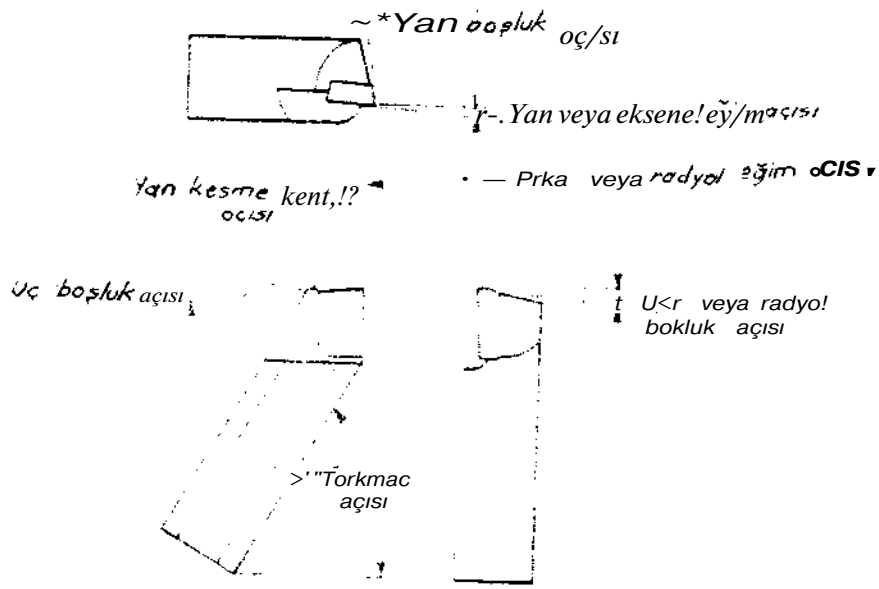


Şekil.104- Standart tek parça kare ve yuvarlak karbür delik işleme takımları ve uçları



Şekil.105- Standart karbür plaketli delik işleme takımları

Delik işleme takımları, tornalamada kullanılan genel amaçlı tek uçlu takımlardan farklı bir takım geometrisini gerektirir. Kullanılacak geometri; iş parçası ve takım gereçleri, iş parçasının şekli, kullanılacak tezgah, gerçekleştirilecek işlemler ve takım tutucunun bağlama açısı olmak üzere pekçok değişkene bağlıdır. Karbür plaketli takımlarla çeşitli gereçlerin delik işlenmesinde önerilen takım geometrileri Çizelge.68 de verilmiştir. Çok kristalli elmas takımlarda takım geometrisi temel olarak pozitif olup karbür uçlara benzer. Çeşitli gereçlerin çok kristalli elmas takımlarla delik işlenmesinde kullanılan bazı takım geometrileri Çizelge.65 de verilmiştir. Çoğu GBN takimlardaki takım geometrisinde, arka ve yan eğim açılan -5 ve boşluk açılan da 5 dir.



Çizelge.68- Karbür Plaketli Takımlarla Çeşitli Gereçlerin Delik İşlenmesinde Önerilen Takım Geometrileri

İşlenen Gereç	Sertlik HBR	Arka ya da radyal eğim açısı[1], der.	Yan ya da eksene! eğim açısı[2], der.	Uç ya da radyal boşluk açısı, der.	Yan boşluk açısı der.
Karbonlu otomat çelikleri, dövme	100-425	-3 ile-10	0 ilâ 15	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Karbonlu çelikler, dövme ve döküm	85-425	-3 ilâ-10	Oilâ 15	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Alaşımlı otomat çelikleri, dövme	150-425	-3 ilâ-10	0 ilâ 15	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Alaşımlı çelikler, dövme ve döküm	125-425	0 ilâ -6	-3 ilâ -8	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Yüksek dayanımlı çelikler ve maragin çelikleri, dövme	175-375	0 ilâ -6	-3 ilâ -8	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Takım çelikleri, dövme	100-375	0 ilâ -6	-3 ilâ -8	**5** ilâ **10**	**2** ilâ **3**
Nitrürlii çelikler, dövme	200-350	0 ilâ -6	3 ilâ-8	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Zırh levhalar, dövme	250-320	-5 ilâ -35	15 ilâ 35	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Yapı çelikleri, dövme	100-350 350-500	-3 ilâ 10 0 ilâ -6	Oilâ 15 -3 ilâ-8	**5** ilâ 10 **5** ilâ 10	**2** ilâ **3** **2** ilâ **3**
Paslanmaz otomat çelikleri, dövme	135-425	3 ilâ 10	Oilâ 15	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Ferritik paslanmaz çelikler, dövme ve dökUm	135-185	3 ilâ 10	Oilâ 15	**5** ilâ **10**	2 ilâ 3
Ostenitik paslanmaz çelikler, dövme ve döküm	135-275	3 ilâ 10	Oilâ 15	**5** ilâ 10	2 ilâ 3
Martenzitik paslanmaz çelikler, dövme ve dökUm	135-425	3 ilâ 10	Oilâ 15	**5** ilâ 10	**2** ilâ **3**
Çökeltme sertleşmesi yapılmış paslanmaz çelikler, dövme ve döküm	150-440	3 ilâ 10	Oilâ 15	**5** ilâ **10**	2 ilâ 3

Çizelge.68- Karbür Plaketti Takımlarla Çeşitli Gereçlerin Delik İşlenmesinde Önerilen Takım Geometrileri (devam)

İşlenen Gereç	Sertlik HBR	Arka ya da radyal eğim açısı[1], der.	yan ya da eksenel eğim açısı[2], der.	Uç ya da radyal boşluk açısı, der.	Yan boşluk açısı der.
Karbon ve alaşımlı çelikler, döküm	120-400	0 ilâ -6	-3 ilâ -8	**5** ilâ 10	2 ilâ 3
Gri dökme demirler	110-320	0	0	**5** ilâ 10	5 ilâ 8
Çekilâbilir dökme demirler	140-400	0	0	**5** ilâ 10	5 ilâ 8
Dövülebilir dökme demirler	110-280	0	0	**5** ilâ 10	5 ilâ 8
Alüminyum alaşımları, dövme ve döküm	3O-I5O[3]	Oilâ 15	5 ilâ 15	**8** ilâ **13**	5 ilâ 8
Magnezyum alaşımları, dövme ve döküm	40-90[3]	0 **ilâ** 15	5 ilâ 15	**8** ilâ **13**	5 ilâ 8
Titanyum alaşımları, dövme	110-440	-3 ilâ-10	-3 ilâ -8	**8** ilâ 12	3 ilâ 5
Bakır alaşımları, dövme ve döküm	40-200[3]	0 ilâ 10	5 ilâ 20	**8** ilâ **13**	5 ilâ 8
Nikel alaşımları, dövme ve döküm	80-360	3 ilâ 10	Oilâ 15	**5** ilâ **10**	2 ilâ 3
Yüksek sıcaklık alaşımları dövme ve döküm	140-475	3 ilâ 10	Oilâ 15	**5** ilâ 10	2 ilâ 5
Kolombiyum, molibden ve tantal alaşımları, dövme, döküm ve Toz metal (T/M)	170-290	0	20	**8** ilâ **12**	3 ilâ 5
Tungsten alaşımları, dövme, döküm, T/M	180-320	-15	0	**5**	5
Çinko alaşımları, döküm	80-100	Oilâ 15	5 ilâ 10	**8** ilâ **13**	5 ilâ 8

(1) Bu değerler delik işleme takımının merkeze ayarlanmasına göre verilmiştir. Eğer takım merkezin üstüne ayarlanırsa, aşağıda hesaplanan değere göre, radyal eğim açisi artacak ve uç boşluk açısı azalacaktır.

$$\Phi = \text{arc tg} \frac{H}{R} \qquad (79)$$

ki burada; H merkeze göre yükseklik, R işlenen deliğin yarı çapıdır.

(2) Bu uç boşluk açıları 12.7 mm ya da daha büyük çaplı deliklere uygulanır. Daha küçük çaplı deliklerde daha büyük boşluk açıları gerekir.

(3) Bu sertlik değerleri 5000 N yüke göredir.

Döndürülebilir uçlu delik işleme takımları: Her türlü torna tezgahında gerçekleştirilân delik işlemelerde kullanılan döndürülebilir uçlu kesici takımlar için döndürülebilir uçlar, tornalama işlemlerinde kullanılanlarla aynı olup ISO 1832 ye göre seçimi yapılacak ve bu standarda göre kodlanacaktır. Bunun için tornalama ayınmma bakılmalıdır. Takım tutucu ise delik içinde çalışacağından genellikle silindirik şekilde olup ISO 6261 - 1984 (E) ilâ standart! aş tın lmıştır.

ISO 6361 e göre bir delik işleme katerini tanımlamak için boyutları ve takımın ve takılacak ucun diğer karakteristiklerini simgeleyen alfanümerik dokuz tane simgeli kod kullanılır. Bu simgeleri anlatmak için aşağıdaki örnek verilmiştir.

Örnek: Simge No : (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10)
Simgeler : A 2 5 R - S E U C R 0 9 -

1- Takımın tipini belirten harf simgesi: Simgeler ve bunlara karşılık gelen takım tipi Çizelge.69 da verilmiştir. Örneğimizdeki takım tipi A, katerin yağlama delikli tek parça çelik olduğunu göstermektedir.

Çizelge.69- Takım Tipini Gösteren Harf Simgeleri ve Takım Tipi

Harf Simgesi	Takım gereci
S	Tek parça çelik
A	Yağlama delikli tek parça çelik
B	Antivibrasyonlu tek parça çelik
D	Antivibrasyonlu ve yağlama delikli tek parça çelik
C	Sinter karbür saplı, çelik başlıklı
E	Sinter karbür saplı, çelik başlıklı ve yağlama delikli
F	Sinter karbür saplı, çelik başlıklı ve anti vibrasyonlu
G	Sinter karbür saplı, çelik başlıklı, antivibrasyonlu ve yağlama delikli
H	Tek parça ağır metal
J	Yağlama delikli tek parça ağır metal

2- Sap çapını gösteren nümerik simge : Sap çapını gösteren nümerik simge çapın mm olarak değeridir, iki evli (dijitli) olan bu simgede sap çapı tek rakamlı olursa önüne sıfır (0) eklenerek iki evli hale getirilir. Örneğimizdeki katerin çapı 25 mm dir. Şayet sap çapı 8 mm olursa bu simge 08 olur.

3- Takım boyunu gösteren harf simgesi: Çizelge.70 de harf simgeleri ve bunlara karşılık gelen boylar mm olarak görülmektedir. Örneğimizdeki katerin boyu **(R)** 200 mm dir.

Çizelge.70- Takım Boyunu Gösteren Harf Simgeleri ve mm Olarak Boylar

Harf simgesi	Boy (mm)	Harf simgesi	Boy (mm)	Harf simgesi	Boy (mm)
F	**80**	**M**	150	T	300
G	**90**	**N**	160	U	350
H	100	**P**	170	V	400
J	110	**Q**	180	W	450
K	125	**R**	200	Y	500
L	140	**S**	250	X	Belirtilmesi gereken özel boy

4- Yatay olarak monte edilmiş uçların tutulma yöntemini gösteren harf simgesi: ISO 5608 ilâ aynı olan bu simgeler Çizelge.55 de verilmiştir. Örneğimizdeki katerde uç, uç üzerindeki delikten vida ile katere monte edilmiştir.

5- *Uç şeklini belirten harf simgesi:* ISO 1832 de tanımlanan uç şeklinin simgesi olup Çizelge.39 da verilmiştir. Örneğimizdeki ucun şekli eşit kenarlı paralel kenar olup en küçük uç açısı 75° dir.

6- Takım biçimini gösteren harf simgesi: ISO 1832 de tanımlanan takım biçimlerinden sadece F, K, L, Q, S, U, W ve Y biçimlerini içeren simgedir. Bu simgelere karşılık gelen biçimlerin şekilleri ve açıklamaları Çizelge.56 da verilmiştir. Örneğimizdeki kater; 93° kesme kenarı açılı, kademeli saplı ve uç kesme için kullanılan bir katerdir.

7- Ucun normal boşluk açısını gösteren harf simgesi: ISO 1832 de verilen simgelerin aynısı kullanılmakta olup Çizelge.40 da bu harf simgelerine karşılık gelen açılar gösterilmiştir. Örneğimizdeki katere takılan ucun normal boşluk açısı 7° dir.

8- Takımın yönünü belirten harf simgesi: Bunlar aşağıdaki gibi olup örneğimizdeki katerin yönü sağ dır.

Simgeler	Takımın yönü
R	Sağ
L	Sol

9- Uç boyutunu gösteren nümerik simge : Uç tipine bağlı olarak uç boyutunu gösteren simge olup Çizelge.71 de verilmektedir. Örneğimizdeki katere takılan uç (eşit kenarlı-paralel kenar) un kenar boyu 9 mm dir.

Çizelge.71- Uç Tipine Bağlı Olarak Uç Boyutunu Tanımlayan Nümerik Simge

Uç tipi	Nümerik simge
Eşkenar ve eşit açılı (H, O, P, S, T) ve eşkenar ve eşit olmayan açılı (C, D, E, M, V, W)	Uç boyutunu gösteren simge kenar boyunun tam sayılı bölümüdür. Bu sayı iki evden az olursa tek rakamın önüne 0 eklenerek iki evli duruma getirilir. *Örnek* : kenar boyu 16.5 mm , 9.525 mm ise simge 16 , 0 9 olur
Eşkenar olmayan fakat eşit açılı (L) ve eşkenar ve eşit olmayan açılı (A, B, K)	Uç boyutunu gösteren simge daima, en büyük ya da en uzun kesme kenarı için verilir. Boyu gösteren simge boyun tam sayılı bölümüdür. Bu sayı iki evden az olursa tek rakamın önüne 0 eklenerek iki evli duruma getirilir. *Örnek* : en büyük kesme kenarı boyu 19.5 mm ise simge 19 olur.
Yuvarlak uç (R)	Uç boyutunu gösteren simge daima çap değeri için verilir. Boyutu gösteren simge çapın tam sayılı değeri olup bir ev olursa önüne 0 eklenerek iki evli duruma getirilir. *Örnek* : çap 15.875 mm ise simge 15 olur

Hassas Delik İşleme için Takım Tutucular

Delik işleme takımları iki ana bölüme ayrılabilir.: Bunlar dönen ve sabit (dönmeyen) takımlardır. Dönen takımlar, çeşitli delik işleme, alın işleme ve benzeri işlemleri delik ve takım aynı eksende ve takım fener miline takılı olarak gerçekleştiren takımlardır. Sabit takımlar, genellikle takım tutucu ile aynı eksende olmayan dönen iş parçalan üzerinde işlemler gerçekleştiren, tezgahın tabla ya da kızakları üzerine takılan takımlardır.

Dönen takımlann en genel tipi, tek çapta delik işleme gerçekleştirmek için, ucuna bir kesici uç takılmış yuvarlak bir delik işleme ban (çubuğu) dır. Bu tip bir bar Şekil. 106 da görülmektedir. Çizelge.72 de ise delik işleme ban tasanmında başlangıç noktası olarak kullanılabilecek faydalı bilgiler verilmektedir.

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ EL KİTABI

ÜRETİM ve TASARIM
Cilt 2

Baskıya Hazırlayan
A. Münir CERİT
Makina Yük. Mühendisi

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

YAYIN NO.: 170

2. BASKI

SUAT SEZAİ GÜRÜ'nün anısına

Koordinasyon

MMO Kitap Komisyonu
Ali Münir CERİT
Prof. Dr. Alp ESİN
Doç. Dr. Kahraman ALBAYRAK
Bilal BAYRAM

BÖLÜM İS

GELENEKSEL OLMAYAN YAPIM YÖNTEMLERİ

Hazırlayan

Prof. Dr. Abdülkadir ERDEN, ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü

Sayfa

1. Giriş ve Tarihçe....02
2. Mekanik Enerjili Geleneksel Olmayan İşleme Yöntemleri....06.
3. Kimyasal Enerji Kullanılan Geleneksel Olmayan Yapım Yöntemleri....23
4. Elektro-Kimyasal İşleme Yöntemleri....25
5. Isıl Enerji Kullanan Yöntemler....36
KAYNAKÇA....48

GELENEKSEL OLMAYAN YAPIM YÖNTEMLERİ

ÖNSÖZ

Birçok yazar tarafından literatüre geçmiş geleneksel olmayan yapım yöntemlerinin sayısının 70-80 dolayında olduğu belirtiliyor. Ancak bu yöntemlerin hepsini tanımlayan ve sınıflandıran bir yayına rastlamadım. Benim kişisel çalışmalarım sonunda 50-60 değişik yöntem belirleyebildim. Bunların bazılarının bağımsız ve tümüyle ayrı bir yöntem olarak kabul edilmeleri tartışma konusu olabilir (Elektrokimyasal yöntemler gibi). Bazı yöntemlerin ise geleneksel olup olmadıkları tartışma konusudur.

Makina Mühendisliği El Kitabının bu bölümünde toplam 49 tane yöntem adı verdim. Bu yöntemler hakkında vermem gereken ayrıntı bilgi düzeyini, yöntemin halen endüstriyel uygulamalarda görülen yaygınlık düzeyini göz önüne alarak belirledim. Bu nedenle bazı yöntemleri birkaç cümle ile anlatırken, bazılarını daha ayrıntılı olarak verdim. Her yöntem tamamen ayn bir fiziksel olay olduğu için bu el kitabının yayın ölçütleri içinde daha çok bilgi vermek mümkün görülmedi. Bu düzeyin yeterli olacağı ümidindeyim.

Bölüm sonunda verilen yayınlar listesi de çok uzun bir yayın listesinden seçilerek alınmış yayınlardır. Bu konuda elimde bulunan 3000 den fazla yayının listesini burada verebilmem mümkün değil. Ancak, bana başvurarak ilgilendiği konuyu belirten herkese, o konunun yayın listesini gönderebilirim.

Yukarıda açıklamaya çalıştığım neden ile bölüm içinde birçok işlem hakkında yeterince açıklama bulunmamakta ve sonuç olarak bazı hususlar açıklanmamış durumdadır. Bu konularda da ilgili kişilere özel olarak bilgi verebileceğimi belirtmek isterim.

Okuyucuların bu bölüm hakkındaki eleştiri ve önerileri beni çok mutlu edecektir.

1. GİRİŞ VE TARİHÇE

Geleneksel olmayan yapım yöntemlerini, geleneksel talaş kaldırma işlemlerini kullanmayan yapım yöntemleri olarak tanımlayabiliriz. Geleneksel talaş kaldırma yöntemleri olarak tornalama, delik delme, frezeleme, taşlama vb. yöntemler anlaşılır. Bu yöntemlerin ortak özellikleri belirlenirse, bu özellikleri sağlamayan geleneksel olmayan yapım yöntemlerini daha iyi tanımlayabiliriz :

1. Geleneksel yöntemlerde malzemeden talaş kaldırma işlemi torna kalemi, freze bıçağı, taşlama taşı vb. kesici takımlar kullanarak yapılır. Mekanik kuvvet kullanılarak ve zorlama ile, genellikle malzeme içinde kayma gerilmeleri yaratarak, malzeme üzerinden talaş kaldırılır. Gerilme ile talaş kaldırma tüm geleneksel yöntemlerin ortak özelliğidir.

2. Geleneksel yöntemlerde kesici takım ile iş malzemesi arasında talaş kaldırma işlemi sırasında fiziksel temas vardır. Takım ve iş malzemesi işleme sırasında sürekli olarak birbiri ile fiziksel temas halinde olup, her ikisi arasında göreli olarak hareket vardır.

3. Talaş kaldırma işlemi özelliği olarak, geleneksel yöntemlerin işleme özellikleri ve sınırları, iş malzemesinin mekanik özellikleri ile sınırlıdır. Akma gerilmesi yüksek olan malzemelerin, geleneksel yöntemlerle işlenmesinde önemli sorunlar olabilir. Bu sorunların çözümü için çok pahalı ve özel takımlar gerekebilir, bazı durumlarda ise tamamen imkansızdır.

4. Takım ve iş malzemesi arasındaki göreli hareket ya düzlemsel/doğrusal ya da daireseldir. Bu durumda elde edilen iş malzemesi yüzeyleri de, düzlem ya da silindirik olmaktadır. Böylece geleneksel yöntemler kullanılarak elde edilebilecek iş parçası şekilleri sınırlı kalmaktadır.

5. Takım ile malzeme arasındaki fiziksel temas ve kuvvet uygulanma zorunluluğu nedeni ile takım boyutlarının çok küçük olması mümkün değildir. Bu nedenle küçük boyutlu işlerin geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor ya da imkansızdır. Benzer nedenlerle çok büyük boyutlu işlerin de işlenmesi güçtür. Geleneksel yöntemler daha çok orta boyutlu işler için uygundur.

6. Geleneksel yöntemler çok uzun yıllardır kullanılmakta olduklarından, teknoloji birikimi çok yüksektir. Bu nedenle gelenksel yöntemleri kullanan tezgahlar basit ama yüksek verimlidir. Kullanıcı eğitimi de çok kolaydır.

7. Geleneksel yöntemlerin doğal sınırlamalar dışında, esneklikleri çok yüksektir. Özellikle bilgisayar teknolojisinin kullanılması ile birlikte otomasyona uygun tezgah üretimi mümkün olmuştur.

GELENEKSEL OLMAYAN YAPIM YÖNTEMLERİ

Geleneksel yapım yöntemlerinin yukarıda belirtilen özelliklerine bağlı olarak bazı sınırlamaları ve zayıflıkları vardır :

1. Takım aşınması kaçınılmazdır.
2. Takım aşınmasının önceden tahmini çok zordur.
3. Takım malzemesi, iş malzemesinden daha sert olmalıdır. Bu durum iş malzemelerinin çeşidini sınırlar.
4. Yüksek dayanımlı malzemeler için yüksek kesme kuvvetleri gerekir.
5. işleme hızı malzeme dayanımı ile ters orantılıdır.
6. Kesme bölgesindeki ısınma işleme hızını sınırlar.
7. Talaş kaldırma sadece doğrusal ve dairesel olabilir.
8. Takım titreşimi her zaman önemli bir sorun olur.
9. Kesici takımların küçük boyutlarda yapımı mümkün değildir. Bu durum ise iş boyutlarını sınırlar.

Yukarıda belirtilen sınırlamalar ve gelişen teknolojik istemler sonucu, imalat mühendisleri daha yeni imalat yöntemleri aramaya başladılar. Özellikle 2. Dünya Savaşını izleyen yıllarda bu konuda yoğun çaba harcandı ve ilk geleneksel olmayan yöntemler 1950-1970 yılları arasında doğdu. Özellikle elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve havacılık ve uzay endüstrisinin talepleri sonucu bugünkü konuma ulaşıldı. Geleneksel olmayan yöntemlerin gelişmesini sağlayan başlıca üç konu görülmektedir :

1. Metalürji mühendisliği ve malzeme bilimindeki gelişmeler sonucunda olağanüstü özelliklere sahip malzemeler üretildi. Özellikle uzay ve havacılık endüstrisinden gelen bu malzemeler, çok yüksek dayanımlı olduklarından geleneksel yöntemlerle işlenemedi. Ayrıca, bu malzemeler çok pahalı oldukları için iş boyutlarının küçültülmesi gerekti. Bu durum geleneksel yöntemlerle çözülemez sorunlar getirdi.

2. Elektronik endüstrisinde transistorun icadı ile başlayan bir dizi yeni ürünün, geleneksel yöntemlerle yapımı mümkün olmadı. Bu amaçla yeni yöntem arayışları sonunda gelişen yapım yöntemleri, o günlerde beklenenden daha iyi sonuçlar vererek elektronikte minyatürleşme sürecini başlattı. Parça boyutlarının küçülmesi ile azalan imalat giderleri sonucu, geleneksel olmayan yapım yöntemlerinin gelişme süreci büyük bir ivme kazandı.

3. Olağanüstü özelliklere sahip yeni malzemelerin, olağanüstü küçük boyutlarda ve şekillerde yapımının mümkün olması, tasarım mühendislerine yeni ürünler geliştirilmesi konusunda geniş ufuklar açtı. Giderek artan ürün çeşitleri, yeni ürün taleplerini de arttırarak, giderek artan ve hızla parasal kaynağa dönüşebilen bir potansiyel yarattı. Böylece geleneksel olmayan yöntemler hızla yaygınlaşma olanağı buldu.

Son yıllardaki değerlendirmelere göre geleneksel olmayan yöntemlerin toplam sayısı 70-80 dolaylarındadır. Bunlardan 30-35 kadarı laboratuvar aşamasını geçmiş ve endüstride uygulama alanı bulabilmiştir. Diğerleri ise henüz laboratuvar aşamasında, çok özel koşullarda özel işler ve işlemler için kullanılmaktadır. Bunların bir kısmı hakkında yayınlanmış bilgi dahi yoktur.

Geleneksel olmayan yöntemler, literatürde, İngilizce isimlerinin baş harfleri ile anılırlar. Halen endüstride kullanılan yöntemlerin listesi Çizelge. 1 de verilmiştir.

Geleneksel olmayan yapım yöntemleri yaygın olarak kullandıkları enerjiye göre sınflandtrılırlar :

a) Mekanik enerji kullanan yöntemler (Çizelge. 1; 1-14 sıra numaralı yöntemler)
b) Elektro kimyasal enerji kullanan yöntemler (Çizelge. 1; 15-29 sıra numaralı yöntemler)
c) Kimyasal eneriji kullanan yöntemler (Çizelge. 1; 30-33 sıra numaralı yöntemler)
d) Isıl enerji kullanan yöntemler (Çizelge. 1; 34-44 sıra numaralı yöntemler).

Bir başka sınıflandırma yöntemi de, yöntemin uygulandığı tezgah yapısına göre olabilir.

a) Şekilli üç boyutlu elektrot kullanarak işleme yapan yöntemler: USM, ECD, ECM, PECM, ECP, EDM.

Çizelge.l- Yayınlanmış Geleneksel Olmayan Yapım Yöntemleri

Sıra	Adı	İngilizce Adı	Kısaltma
1	Aşındırıcı akış ile işleme	Abrasive Flow Machining	AFM
2	Aşındırıcı jet ile işleme	Abrasive Jet Machining	AJM
3	Basınçlı su ile kesme (Hidrodinamik işleme)	Water Jet Machining (Hydrodynamic Machining)	WJM (HDM)
4	Aşındırıcı su jeti ile işleme	Abrasive Water Jet Machining	AWJM
5	Aşındırıcı su jeti ile tornalama	Abrasive Water Jet Turning	AWJT
6	Düşük gerilmeli taşlama	Low Stress Grinding	LSG
7	Sürünme ilerlemeli taşlama	Creep Feed Grinding	CFG
8	Isıl yardımlı işleme	Thermally Assisted Machining	TAM
9	Tümden şekil işleme	Total Form Machining	TFM
10	Ultrasonik (ses ötesi) aşındırıcı ile işleme	Ultrasonic Abrasive Machining	USM (UAM)
11	Dönel ultrasonik işleme	Rotary Ultrasonic Machining	RUM
12	Toz parçacık ile işleme	Powder Partide Machining	PPM
13	Elastik emisyon ile işleme	Elastic Emission Machining	EEM
14	Manyetik aşındırıcı toz ile işleme	Magnetic Abrasive Polishing	MAP
15	Elektrokimyasal çapak temizleme	Electrochemical Deburring	ECDB
16	Elektrokimyasal delik delme	Electrochemical Drilling	ECD
17	Elektrokimyasal taşlama	Electrochemical Grinding	ECG
18	Elektrokimyasal erozyon taşlama	Electrochemical Discharge Grindiņs	ECDG
19	Elektrokimyasal honlama	Electrochemical Honing	ECH
20	Elektrokimyasal işleme (frezeleme)	Electrochemical Machining (Milline)	ECM
21	Elektrokimyasal parlatma	Electrochemical Polishing	ECP
22	Elektrokimyasal bileme	Electrochemical Sharpening	ECS
23	Eelektrokimyasal delme	Electrochemical Slitting	ECS
24	Elektrokimyasal tornalama	Electrochemical turning	ECT
25	Elektrokimyasal sıvı jeti	Electro Stream	ES
26	Şekilli boru ile elektrokimyasal işleme	Shaped Tube Electrolytic Machining	STEM
27	Telli elektrokimyasal kesme	Electrochemical Wire Cuting (Wire Electrochemical Machining)	WECM
28	Atmalı elektrokimyasal işleme	Pulse electrochemical Machining	PECM
29	Telli elektrokimyasal erozyon işleme	Wire electro-chemical Discharge Machining	WECDM
30	Kimyasal işleme	Chemical Machining	CHM
31	Elektro parlatma	Electro-Polishing	ELP
32	Fotokimyasal işleme	Photo chemical Machining	PCM
33	Isıl kimyasal işleme	Thermo Chemical Machining (Combustion Machining, Thermal Energy Method)	TCM
34	Elektron ışını ile işleme	Electron Beam Machining	EBM
35	Elektoerozyon ile taşlama	Electric Discharge Grinding (Electro-Erosion Grinding)	EDG

Çizelge.l- Yayınlanmış Geleneksel Olmayan Yapım Yöntemleri (Devamı)

Sıra	Adı	İngilizce Adı	Kısaltma
36	Elektroerozyon işleme (kıvılcımla i şleme)	Electric Discharge Machining (Electro-erosion/Spark erosion)	EDM
37	Elektroerozyon testereleme	Electric Discharge Sawing	EDS
38	Telli elekdtroerozyon ile kesme	Electric Discharge Wire Cutting (Wire EDM/Spark Erosion)	WEDM
39	Dönel elektro erozyon	Rotary EDM	REDM
40	Lazer ışını ile işleme	Laser Beam Machining	LBM
41	Lazerli hamlaç	Laser Beam Torch	LBT
42	Lazer yüklemeli kimyasal işleme	Laser-Induced Chemical Processing	LCP
43	Plazma ile işleme	Plasma Beam (Arc) Machining	PAM
44	Plazma yardımlı işleme	Plasma assisted Machining	
45	Elektro-temas ile işleme	Electro-contact Machining	EcM
46	İyon ışını işleme	Ion Beam Machining	IBM
47	İyon ışını sıçratma ile işleme	Ion Beam Sputter Machining	IBSM
48	Tepkimeli iyon ışını ile işleme	Reactive Ion Etching	RIBE
49	İyon ışını ile tohumlama	Ion Beam Implantation Process	IBIP

b) Tel/boru elektrot kullanarak malzeme kesen yöntemler; STEM, WECM, WECDM, ECS, WEDM, ECT.

c) Lüle (nozzle) vb., takımlar kullanarak göreceli olarak uzaktan işleme yapan yöntemler; AJM, HDM, WJM, AWJM, AWJM, PPM, EEM, MAP, EBM, LBM, PBM, LBT.

d) Bir ortam içinde zamana bağlı olarak işleme yapan yöntemler; AFM, ES, CHM, TCM, PCM, LCP.

e) Geleneksel yöntem takımlarına benzer takımlar kullanan yöntemler; LSG, TAM, TFM, RUSM, ECD, ECG, ECDG, ECH, ECP, ECS, EDS, REDM.

Geleneksel olmayan işleme yöntemlerini, endüstriyel uygulamalarının yaygınlığına göre de sınıflandırmak mümkündür:

a) Endüstride çok yaygın olarak kullanılan ve tezgah birimleri standart ürün olarak üretilen yöntemler; AJM, WJM, USM, ECG, ECM, CHM, PCM, EDM, WEDM, LBM, EBM, PAM.

b) Önceki gruba göre daha az kullanılan yöntemler; TAM, HDM, AWJM, RUSM, ECD, ECG, ECDG, ECH, ECP, ECS, ECT, ES, STEM, EBM, EDG, LBT

c) Endüstride özel işler için kullanılan yöntemler (genellikle firma tekelindedir); PEM, EEM, LSG, TFM, AFM, ELP, TCM, EDS, vb.

Yukarıda verilen bütün sınıflandarma ölçütleri çok kesin olmamakla birlikte, yöntemler hakkında genel bir fikir verebilmektedir. Güncel endüstriyel ve teknolojik döküm ve yakın gelecekteki gelişme potansiyeli göz önüne atandığında, EDM ve LBM en önemli iki işlem gibi görünmektedir. Ayrıca WEDM, PCM, AJM, WJM kendi uygulama alanlarında çok önemli ve vazgeçilmez yöntemlerdir. Temel ilkeler gözönüne alındığında gelecek yıllarda giderek önem kazanma potansiyeli olan yöntemler ise ECM ve diğer elektrokimyasal enerji kullanan yöntemlerdir. PPM gibi bazı yöntemler ise bazı özel uygulamalarda çok başarılı olmuşlardır.

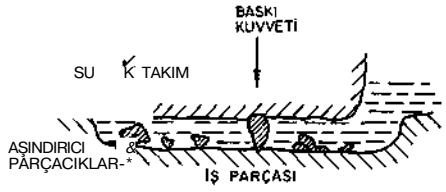
Bundan sonraki alt bölümlerde, geleneksel olmayan yöntemlerin gelişme düzeyleri ve endüstriyel uygulamalarına göre değişik ayrıntılarda bilgi verilecektir.

2. MEKANİK ENERJİLİ GELENEKSEL OLMAYAN İŞLEME YÖNTEMLERİ

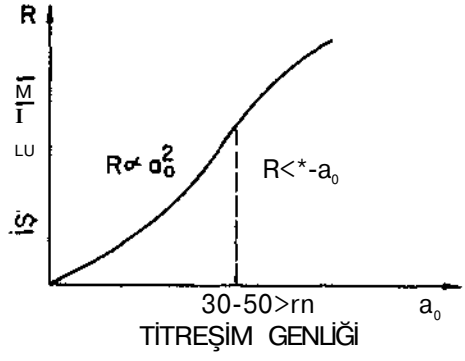
İş parçası üzerinden malzeme işlemek için mekanik enerji kullanan yöntemlerdir. Çoğunlukla aşındırıcı parçacık ve tozların hızlandırılması ile oluşan kinetik enerjinin, çarpma ile gerilme yaratması ve bu gerilmelerin malzeme işleme amacı ile kullanılması ilkesine dayanır. Ortak işleme ortamı su ya da havadır. Tüm mekanik enerjili yöntemler malzemenin iletken ya da yalıtkan olmasından bağımsız olarak işleme olanağı sağlar. Bu özellik, mekanik enerjili yöntemlerin ileriki bölümlerde verilecek olan elektriksel işleme yöntemlerine göre önemli bir üstünlüğüdür. Mekanik enerjili yöntemlerin içinde en geniş endüstriyel uygulama alanı bulmuş yöntemler USM (UAM), AWJM, WJM, AJM dir. Diğer yöntemler özel endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

U.S.M. : Ultrasonik İşleme

Mekanik enerji kullanan geleneksel olmayan işleme yöntemleri içinde en geniş uygulama alanı bulan yöntem, Ultrasonik (Sesötesi) işleme (USM) dir. Özellikle sert ve gevrek malzemelerde ve gevrek şekillerde basan ile uygulanmaktadır.



Şekil.1- Ultrasonik işleme ilkeleri



Şekil.2- İşleme hızının titreşim genliği ile değişimi

USM nin endüstriyel uygulamasında iki ayrı işleme yöntemi görülür. Ultrasonik Aşındırma ile işleme (UAM) daha çok bilinen yöntemdir. Genellikle USM ve UAM kısaltmaları birbiri yerine kullanılır. Diğer yöntem ise Dönel Ultrasonik İşlemedir (RUM ya da RUSM).

U.A.M. : Ultrasonik aşındırma ile İşleme

Ultrasonik aşındırma ile işleme (UAM), bir sıvı (genellikle su) içinde bulunan aşındırıcı parçacıkların (aşındırıcı tozun) takımın ultrasonik (sesötesi) frekansta titreşmesine bağlı olarak iş parçasını aşındırması ve böylece 3 boyutlu takım şeklinin dişlisinin iş parçasına işlenmesi ilkesine dayanır. Şekil. 1 de takım, iş parçası, sıvı ve aşındırıcı parçacıkların işleme sırasında konumlan görülmektedir. Takım ve iş parçası sıvı içine tamamen gömülmüş durumda ve birbirine 5-50 μm uzaklıkta (işleme aralığı) bulunur. İşleme aralığında bulunan ve işlemede en önemli rolü oynayan aşındırıcı parçacıklar sürekli sıvı devri (sirkülasyonu) ile yenilenir. Sıvı devri ile iş ve takımın soğutulması ve işleme ürünlerinin işleme aralığından dışarı taşınması ve temizlenmesi (filtre edilmesi) sağlanır.

UAM de işlenen malzemenin %80 i, takım ve iş parçası arasında sıkışan aşındırıcı parçacıkların, iş malzemesinden (az da olsa takım malzemesinden) talaş parçacıkları koparması ile oluşur. Uygun takım malzemesi (genellikle tok malzeme) seçimi ile takım aşınması en aza indirilir. UAM için diğer olası malzeme işleme mekanizmaları olarak aşındırıcı parçacıkların kinetik enerjileri ile iş malzemesine çarpması (%20) ve çok az düzeyde de kavitasyon ve kimyasal tepkime görülür.

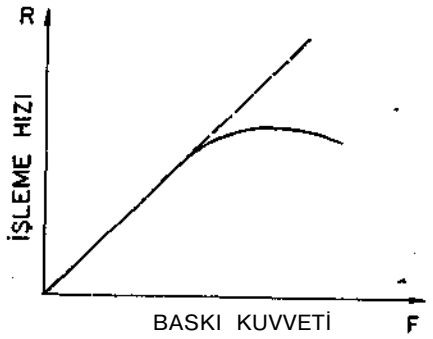
İşlem Parametreleri

UAM de işlemeperformansını etkileyen başlıca parametreler ve bu parametrelerin etkileri aşağıdaverilmiştir.

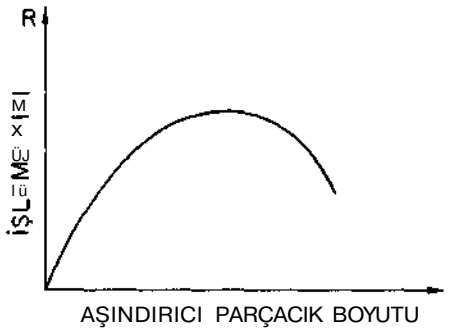
a) Titreşim Genliği : UAM de kullanılan titreşim genliği sınırlan 1-100 μm dolaylarındadır. Tipik uygulamalarda ise 10-50 μm kullanılır. Bugüne kadar yayınlanmış deneysel çalışmalann sonuçlarına göre işleme hızı ile titreşim genliği arasında Şekil.2 de verilen ilişki olası görülmektedir.

b) Titreşim Frekansı : UAM uygulayıcısının geniş bir frekans bandı seçme olanağı yoktur. Genellikle ultrasonik dalga boylannda, 16-25 kHz frekans uygulanır. Yayınlanmış deneysel çalışmalar, işleme hızı (R) için frekans (f) e göre R = f bağıntısını önermektedir, n üssünün deneysel olarak bulunan tipik değerleri 0.5-1 arasında değişmektedir.

c) Takım Baskı Kuvveti : Takım ile iş parçası arasında titreşim hareketi dışında 0.2-2 kg dolaylarında bir statik kuvvet uygulanmaktadır. Ultrasonik titreşim ile birlikte bu kuvvet, aşındırıcı parçacıkların iş malzemesi ile takım arasında sıkışmasına ve sonuçta ultrasonik frekansta çekiçleme hareketine neden olur. Böylece iş malzemesi yüzeyinden malzeme aşındırılır. Takım ile iş parçası arasında kalan parçacıkların bir kısmı kırılarak, daha küçükparçalara ayrılır. Bu durumda toplam temas yüzeyi artacağından, iş malzemesi yüzeyinde kırılmaya neden olan gerilmeler azalır. Bu nedenle işleme hızı yüksek baskı kuvvetlerinde azalır. Düşük baskı kuvveti değerlerinde ise işleme hızı, baskı kuvvetinin artması ile artar (Şekil.3).



Şekil.3- İşleme hızının baskı kuvveti ile değişimi



Şekil.4- işleme hızının parçacık boyutu ile değişimi

d) Aşındım Parçacık Malzemesi ve Boyutları : UAM de en yaygın kullanılan aşındırıcı parçacık bor karbür (B_4 C) dür. Alüminyum oksit (Al_2 O.ı),silikon karbür (SlC) ve elmas (C) tozu uygulamada görülen diğer aşındırıcılardır. Bunlardan pahalı olan elmas to/ıı dışında, en sert olanı B4C en yüksek işleme hızını vermektedir (Çizelge.2). Buradan aşındırıcı malzemenin sertlik değerinin UAM işleme performansı üzerinde etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Çizgelge.2- UAM de Kullanılan Bazı Aşındırıcı Malzeme Özellikleri

Aşındırıcı	Bileşim	Sertlik (Ridgeway)	Yoğunluk (g/cm^3)
Elektrokorondum	Al_2O_3(%1-2Fe, kromoksit)	12	3.93-4.0
Silikon karbür	SİC	13	3.15-3.20
Boro karbür	B4C	**14**	2.52
Elmas tozu	C	15	3.45-3.6

UAM de aşındırıcı parçacık seçimi, tezgah özelliklerine bağlı olmaksızın işleme performansını ve iş kalitesini etkileyen önemli bir etmendir. Genellikle 100-1000 elek (mesh) boylannda parçacıklar kullanılmaktadır. Ortalama parçacık çapı ençok 100 mm, genellikle 27 mm dolaylanndadır. Parçacık boyutlannın işleme hızı, yüzey kalitesi ve işleme hassasiyeti üzerinde doğrudan etkisi vardır. İş parçası-takım aralığında daha küçük parçacıklar için işleme hızı parçacık boyutu ile artar. Parçacık boyutu ile işleme aralığının eşit olması durumunda en yüksek işleme hızına ulaşılır. Büyük parçacıklar ise işleme hızını azaltır (Şekil.4).

UAM de yakın toleranslar ve yüksek işleme hassasiyeti elde etmek için ince parçacıklar kullanılır, tş parçasının yüzey kalitesi de parçacık boyutlarına bağlıdır. Büyük boyutlu parçacıklar kaba yüzey kalitesi vermektedir. İşleme sırasında aşındıncı parçacıklar sürekli olarak kini arak daha küçük parçacıklara aynlır. İstenen parçacık boyutunu korumak için sıvı ile aşındıncı parçacıklann sürekli olarak yenilenmesi ve devri gerekmektedir. Derin işlemede sıvının yenilenme zorunluluğu nedeni ile kınlmış parçacıklar işleme aralığında daha etkin olmakta, bu ise işleme hızını düşürmektedir.

e) İşleme Sıvısı ve Aşındırıcı Parçacık Yoğunluğu : UAM de işleme sıvısının başlıca üç görevi vardır.

Bunlar:
1. Aşındırıcı parçacıkları işleme aralığına taşımak.
2. Aşınan iş ve takım malzemesi talaşlannı ve kırılan aşındıncı parçacıklan işleme aralığından uzaklaştırarak süzülmelerini sağlamak,
3. İş ve takım malzemelerini soğutmak.

Bu amaçla genellikle, su, su-gliserin kanşımı, benzen ve yağlar kullanılmaktadır. Çeşitli sıvılann işleme özellikleri Çizelge.3 de verilmiştir. İşleme sıvısı viskozitesi işleme hızını önemli ölçüde etkilemekte, artan vizkosite ile işleme hızı azalmaktadır. Sıvı sıcaklığı da kavitasyon nedeni ile işleme hızını etkilemktedir. Su ile yapılan deneylerde 50 C su sıcaklığı en yüksek işleme hızı vermiştir. Bu sıcaklık değeri su için kavitasyonun en etkin olduğu sıcaklıktır.

Çizgelge.3- UAM **de Kullanılan Çeşitli Sıvılar ve İşleme Hızları**

Sıvı	**İşleme Hızı (mm/dak)**	**Viskosite (poise)**
Su	0.89	0.011
Benzen	0.63	0.006
Etanol	0.51	0.012
Trikloroetilen	0.43	----
Yağlama yağı	0.31	0.5-10
Transformatör yağı	0.25	----
Su gliserin karışımı (% gliserol)		
100	0.01	0.36
75	0.13	0.15
67	0.31	0.07
50	0.45	0.02
0	0.99	0.01

işleme sıvısı içindeki aşındırıcı parçacık yoğunluğu da işleme hızını etkileyen önemli bir etmendir. Genellikle %30-0 aşındıncı yoğunluğu uygun kabul edilmektedir. Genellikle %30 a kadar artan parçacık yoğunluğu ile artı gösteren işleme hızı, bu değerden sonra değişmemektedir. İşleme sıvısının dolaşım yöntemi de etken olmaktadır, tş parçası özelliğine göre takım ya da iş içinden açılan merkezi bir delik yardımı ile sağlanan sıvı dolaşımı, işleme hızında % 10-70 arasında artış verebilmektedir.

f) Takım Malzemesi: UAM de işleme ekonomisini etkileyen önemli etmenlerden biri takım malzemesi seçimi yapımıdır. Takım malzemesi ve yapım giderleri ile birlikte takım değiştirme zamanı da etken olmaktadır. Genellikle yumuşak fakat yüksek dayanımlı malzemeler kullanılır. Düşük karbonlu çelik bu nedenle uygun bir malzemedir. Paslanmaz çelik, pirinç, duralimin, tungsten ve molibden uygulamada görülen diğer takım malzemeleridir.

Takım malzemesi, aşındıncı ile temas halinde olduğundan sürekli olarak aşınır. Takım eskimesi sonucu, takım boyutları zamanla değişir. Özellikle takımın uç kısmında eskime fazladır. Eskime oranı iş parçası malzemesine bağlı olarak %100 e kadar çıkabilir. Çizelge.4 de çelik takımın çeşitli iş malzemeleri eskime oranlan verilmiştir.

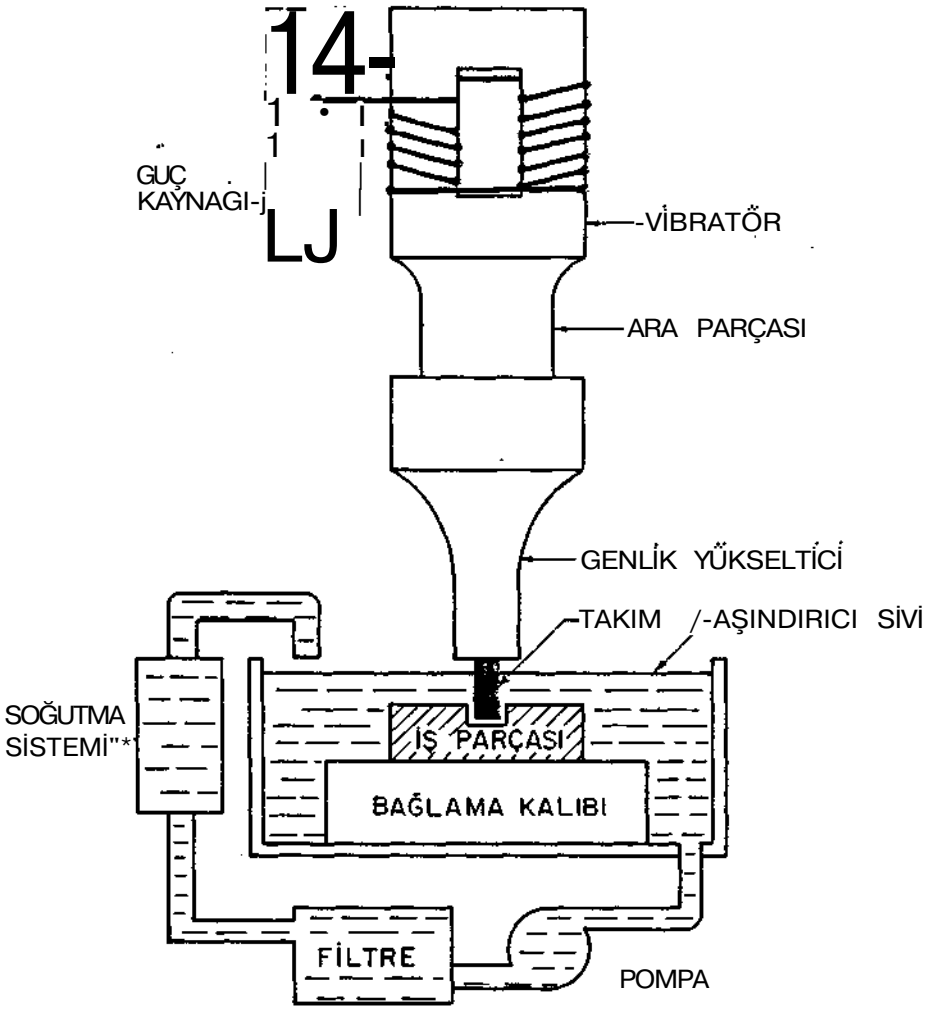
Paslanmaz çelik ve diğer bazı sert alaşımların takım olarak kullanılmaları eskime açısından tercih edilmektedir.

Çizgelge.4- Çelik Takım Malzemesinin Çeşitli İş Malzemeleri ile Eskime Oranları

İş Malzemesi	Eskime (%)
Germanyum	0.5
Silikon	0.5
Ferritler	0.5
Seramik	0.7
Optik cam	0.9
Soda camı	1.0
Kuartz	2
Akik	2.9
Korondum	12
Yakut	50
Tungsten karbürlü	
Sert alaşımlar	60-80
Sertleştirilmiş çelik	1000

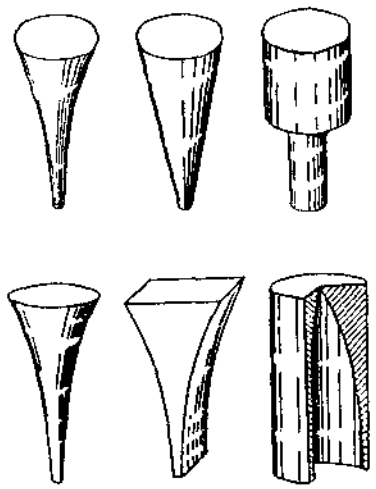
Takım Tezgahı

UAM tezgahlan genellikle ya bağımsız tezgahlar halinde ya da normal freze, matkap gibi tezgahlara uyarlanabilir birimler halinde bulunur. Her iki türde de UAM ye özgü kısımlar biribirine benzer. Tezgah güçleri 0.005 kW ten 4 kW mertebelerine kadar değişebilir.



Şekil.5- Şematik USM tezgahı

UAM tezgahlarında yöntemin gereği ana birim akustik birimdir (Şekil.5). Akustik birim tezgaha gelen elektrik enerjisini, işlemede yararlanılan titreşim enerjisine çevirir. Başlıca üç elemandan meydana gelir. Bunlar güç üretici, vibratör (titreşim üretici) ve amplifikatör (genlik yükseltici) dir. Güç üretici, osilatör (vurum üretici) ve amplifikatör (yükselteç) den oluşur. 50-60 Hz normal alternatif akım frekansını UAM de kullanılan 15-30 kHz mertebesine çıkarır. UAM de uygulanan titreşim frekanslarının alt sınırını işitilebilirlik sınırı, üst sınırını ise akustik birimin soğutma sorunu belirlemektedir. Ultrasonik frekanstaki elektrik vurumları, bir vibratör ile mekanik titreşim enerjisine çevrili. Bu kısım, bir elektro-mıknatıs ve nikel •plakalardan oluşmuştur. Elektro-mıknatısın değişen manyetik alanına bağlı olarak nikel plakaların boyu da değişim gösterir. Böylece üretilen mekanik titreşimlerin genliği, nikel plakaların dayanımı ile sınırlıdır. Bu genlik değerleri ise işlemeye olanak verecek boyutta değildir. Ençok 20-25 um dolaylarındadır, işleme için titreşim genliğinin arttırılması gerekir. Bu amaçla rezonansa gelerek titreşim genliğni yükseltecek, genlik yükselteçleri kullanılır. Genlik yükselteçleri çeşitli şekillerde olabilir (Şekil.6) Bu yükselteçlerle 6 kata kadar genlik artımı sağlanabilir. Akustik kaybı az ve yorulma ömrü uzun malzemeler genlik yükseltici yapımı için uygundur. Genellikle monel ve imalat çelikleri bu amaçla kullanılır. Takım, genlik yükseltici ucuna lehimlenir. Burda rijit bir bağlantı olması gerekmektedir.



Şekil.6- USM de kullanılan çeşitli titreşim genliği yükscltеçleri

USM de iş parçası alışılmış yöntemlerle iş tablasına bağlanır. Genellikle iş tablası hassas konumlama için üç boyutta hareketlidir. Ancak işleme sırasında sabit kalır. İş parçası ve takımın sürekli teması, takımın iş parçasına doğru ilerlemesi ile sağlanır. İlerleme mekanizması denetimli kuvvet uygulamasına ve hassas geometrik konumlamaya olanak verecek şekilde olmalıdır. İş parçasının sıvı tankı içine gömülmesi her zaman zorunlu değildir, ancak aşındırıcı sıvının sürekli dolaşımı ve işleme aralığında aşındırıcı parçacık bulunması sağlanmalıdır. Bunun için aşındırıcı sıvının dolaşımını sağlayan pompa ve uygun boru sistemi kullanılır. Kullanılamayacak boyutlardaki aşındırıcı parçacıklar ve iş takım malzemelerinden kaldırılan talaş uygun bir filtre sistemi ile tutulur. Ayrıca sıvının soğutulması da gereklidir.

İş Parçası

UAM ile pirinç gibi yumuşak malzemeler de dahil olmak üzere metal ya da metal olmayan tüm malzemeler işlenebilir. Sert ve kırılgan malzemeler genellikle daha iyi işleme koşulları vermektedir. Çizelge.5 de UAM ile işlenebilen kırılgan malzemelerden bazıları verilmiştir. Bunlar arasında kıymetli taşlar, elektrik ve elektronik sanayiinde kullanılan malzemeler önemli yer tutmaktadır. Çizelge.6 da ise bazı malzemeler için işlenebilme özellikleri verilmiştir.

Çizgelge.S- UAM **ile İşlenebilen Kırılgan Malzemelerden Örnekler**

Akik	Cam çeşitleri	Germanyum
Baryum titanat	Mika	Kuartz çeşitleri
Bor karbür	Granit	Kaya kristalleri
Seramik çeşitleri	Grafit	Yakut
Korondum	Alçı çeşitleri	Safir
Mermer	Jadeit	Silikon
Su mermeri	Dehne	Stetit
Elmas	Sedef	Zirkonyum Borit
Toprak eşya	Nefrit	Sert alaşımlar
Ferritler	Oniks	(Tungsten ve
Florit	Porselen	titanyum karbürler)

Çizgelge.6- UAM ile İşlenebilen Bazı Malzemelerin Özellikleri

Malzeme	İşleme Hızı		işlenebilen en geniş alan cm^2	Eskime oranı %
	Hacımsal cmVdak.	Lineer cm/dak.		
Cam	3.865	0.381	25.80	1
Ferrit	3.210	0.318	22.60	1
Mika	3.210	0.318	22.60	1
Germanyum	2.180	0.216	22.60	1
Grafit	2.045	0.203	19.35	1
Kuartz	1.670	0.165	19.35	2
Seramik	1.540	0.153	19.35	1.3
Bor karbür	0.393	0.038	5.80	40
Tungsten karbür	0.360	0.035	7.75	67
Takım çeliği	0.262	0.025	7.75	100

UAM de işleme sırasında iş parçasının titreşimi kesinlikle önlenmelidir. Bu amaçla iş parçalan daha büyük boyutlu bağlama kalıplarına bağlanmalıdır. Ayrıca, boydan deliklerde takımın çıkış bölgesinde iş malzemesinde kırılma görülür. Bunun önlenmesi için iş malzemesine çıkış bölgesinde yeterli alt destek sağlanmalıdır. Delik işlemede, sıvı dolaşımı için ortadan küçük çaplı bir delik açılması yararlı olmaktadır.

Endüstriyel Uygulama

UAM genellikle kırılgan ve sert malzemelerde ve alışılmış yöntemlerle işlenemeyen şekillerde daha baharlı olmaktadır. İlke olarak bir kopya işlemi olduğundan, erkek kalıbı yapılan her şekil pratik olarak UAM ile işlenebilmektedir. İşleme ilkesi gereği elektriksel iletken ya da yalıtkan malzemeler, metal ya da metal olmayan malzemeler uygulamaya sınır getirmemektedir. Çelik türleri yanında, molibden, bor kırışımlı malzemeler, berilyum, germanyum, silikon, cam türleri, kuartz, seramik çeşitleri, kıymetli taşlar UAM ile işlenebilen malzemelerdir.

UAM uygulaması bugünkü teknoloji ile genellikle küçük işleme alanları için başarılı olmaktadır. Tezgah güçleri geniş alanlar için başarılı olmaktadır. Tezgah güçleri geniş alanlar için yeterli değildir. İşleme hızının da düşük olması nedeni ile UAM küçük boyutlu işlerler sınırlı kalmaktadır. UAM ile işlenmiş yüzeylerin kalitesi, diğer yöntemlerle elde edilmiş yüzeylerle karşılaştırıldığında daha iyi olmaktadır. Ortalama 0.15-0.7 um yüzey pürüzlülük değerleri kolaylıkla sağlanmaktadır. Yavaş işleme hızı göz önüne alınırsa, kaba işleme için EDM ya da diğer gelişmiş yöntemlerden biri, ince işleme için UAM uygulaması önerilmektedir. Böylece EDM de elde edilen ve metalurjik yönden istenmeyen yüzey, UAM ile kaldırılabilmektedir. Genellikle 0.1-1 mm arasında bir yüzey kalınlığı işlenmesi önerilmektedir. UAM ile tipik olarak 0.025 mm hassasiyet ve 0.01 mm tolerans değerleri elde edilmektedir.

UAM elektronik ve elektrik mühendisliği uygulamalarında, seramik çeşitlerini hassas boyutlarda işlemede uygulanmıştır. Cam işlemede delik delme, boşaltma ve cam yüzeyine şekiller işlemede yaygın olarak UAM kullanılmaktadır. Kuartz, germanyum ve silikon gibi çok sert ve aşırı kırılgan malzemelerin işlenmesinde, kıymetli taşların işlenmesinde, bilgisayar ve çeşitli elektronik sanayi içinferritlerin işlenmesinde de UAM uygulanmaktadır. Kalıpçılıkta kalıp çelikleri UAM ile başarılı bir şekilde işlenmiştir. Demir olmayan malzemelerden tel çekmede kullanılan elmas kalıpların yapımında da UAM uygulanmaktadır. Ayrıcı, çelik ve çelik olmayan yıpranmış kalıpların onarımında da kullanılabilir.

UAM de elde edilebilen en küçük delik çapı, kullanılan takımın dayanımı ve aşındırıcı parçacık boyutlarınca belirlenir. Uygulamada görülen en küçük çap 0.08 mm dolaylarındadır. En büyük çap ise 8-10 cm ye çıkabilmektedir. Aşındırıcı sıvının dolaşım güçlüğü nedeni ile derin delik işlenmesinde bazı sorunlar görülür. Bu nedenle kör delik uygulamaları yerine boydan boya delik ya da sıvı dolaşımı için delik tabanında ayrıca bir delik açılması önerilir.

UAM nin uygulanmasında en önemli sorunlardan birisi düşük işleme hızı ise diğeri de takım eskimesidir. İş parçası ile birlikte aşman takım, ilk boyutlarını kaybeder. Bu durumda işlenen işin boyut hassasiyeti kaybolur. Eskime, uç eskimesi ve yan eskime olmak üzere ikiye ayrılır. Takım eskimesinin etkisini azaltmak için birden çok sayıda takım kullanılması gerikir.

RUM : Dönel Ultrasonik İşleme

Dönel ultrasonik işleme çok derin ya da kırılgan malzemelere dairesel kesitli delik delmek için geliştirilmiş bir yönıemdir. Uç kısmına elmas tozu emdirilmiş ya da kaplanmış dairesel kesitli bir takım kullanılır. Takıma ekseni çevresinde 3000-5000 d/dak dönme hızı ve aynı eksen boyunca da 20 kHz ultrasonik frekansta dalga hareketi verilir. Eksen boyunca ilerleyen takım, iş malzemesine dairesel bir delik açar (Şekil.7). Sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısı enerjisi, soğutma suyu yardımı ile taşınır. Bazı uygulamalarda soğutma suyuna da ultrasonik dalga verilir. Böylece işleme yapılan alanın çok daha iyi temizlenmesi ve talaşların uzaklaştırılması sağlanır. • Takım üzerinden iş parçasına doğru uygulanan eksenel kuvvet değerleri çok düşüktür. Bu nedenle kırılgan malzemeler sorunsuz olarak işlenebilir ve çok uzun takımlar kullanarak derin delikler açılabilir.

Büyük çaplı delikler için (0D>1 mm) boru şeklinde takımlar, küçük çaplı delikler için ise dolu takımlar kullanılır. En küçük delik çapı 0.5 mm dolaylarındadır. Delik çapının üst sınırı ise 40 mm ye yaklaşır, ultrasonik rezonans koşulları nedeni ile daha büyük çaplı delik delmek için özel ve yüksek güçlü tezgah gerekir. Takım ucundaki elmas parçacıklar için emdirme ya da nikel kaplama yöntemi uygulanır. Emdirme yöntemi 10 kat daha uzun ömürlü olmasına karşın, kaplama yöntemi birçok kez uygulanabilir ve daha ucuzdur. Derin delik delme uygulamalarında ayrıca uzatma çubukları kullanılır. Derin delikleri için Çap/Boy oranı 1/300 e kadar çıkabilir. Yöntemin en önemli üstünlüklerinden (ve endüstiriyel uygulamalarından) birisi, uzun delikleri hem dairesel hem de eksenel olarak düzgün açabilmesidir. Ayrıca, işleme hızı yüksektir. Tipik olarak işleme süreleri 2 dakikadan kısadır. RUM, kırılgan malzemelere de rahatlıkla uygulanır. LBM ile delik açmada görülen eğim ve dairesellikten kaçma RUM da görülmez.

Uygun ilerleme hızı verilerek ve özel takımlar kullanarak, çok uzun diş açmak da mümkündür. RUM ile, alumina, alüminyum oksit, cam, ferrit, kuartz, zirkonyum ve türevleri, safir, yakut vb. kıymetli taşlan, bor alaşımları ve türevleri, seramik vb. malzemeler çok rahat işlenir. Çelik vb. alışılmış malzemeler içine çok derin delikler açılabilir. Uygulanan kuvvet çok az olduğu için birbirine çok yakın (ara duvarları çok ince) delikler delmek mümkündür.

RUM tezgahları yapısal olarak alışılmış matkap tezgahlarına benzer. Soğutma sıvısı işleme alanına püskürtülerek kullanılır.

TAM : Isıl Yardımlı İşleme

TAM, yeni ve sert malzemeleri geleneksel yöntemlerle işlerken ortaya çıkan sorunları çözmek için geliştirilmiş bir işlemdir. Bu sorunların başlıcaları düşük kesme ve ilerleme hızları, yataklara ve kızaklara gelen aşırı yüksek yüklerdir.

TAM, geleneksel tezgahlarda uygulanabilen basit ve kolay bir işlemdir. Kesici takımın ilerleme yoluna uygulanan bir ısı kaynağı ile, iş malzemesinin kayma direnci azaltılır. Böylece talaş kalehmv: işlemi kolaylaşır, takım üzerine gelen darbe ve yükler «zahr ve daha iyi yüzey özellikleri elde ediü. Yöntemin iş malzemesi üzerinde istenmeyen bir etkisi görülmez.

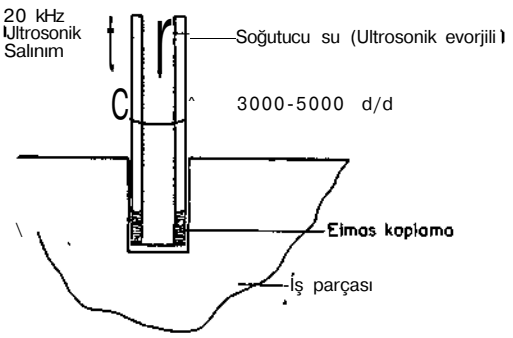
İş malzemesini ısıtma amacı ile aiev (oksi-asetilen vb.) DC ark, plazma ark, fırın, elektrik direnci, radyo frekans direnci ve endüksiyon yöntemleri uygulanır. Yöntem seçiminine iş malzemesi kadar, iş parçasının şekli de etkili olur.

800 K sıcaklığa kadar ısıtılan iş iKiizcmelerinde kesici takım ömründe uzama görülür. Daha yüksek sıcaklıklarda ise işlemek zordur. Tornada 800 d/dak hızlara kadar çıkılır. Freze tezgahlarında tipik olarak 30 cmVdak/kW işleme hızı sağlanır. İş parçası uzun süreli olarak yüksek sıcaklıkta tutulursa temperleme sonucu mekanik özelliklerini kaybeder.

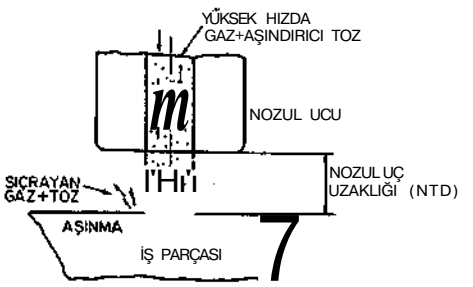
AJM : Aşındırıcı Toz Jeti ile İşleme

Aşındırıcı toz jeti ile işleme (AJM) ilke olarak, döküm parçaların temizlenmesinde kullanılan klasik kum püskürtme yöntemine benzemektedir. Her iki yöntemde de aşındırıcı parçacıklar bir gaz içinde, hızla iş parçasına doğru püskürtülür. Ancak AJM, kum püskürtme yöntemine göre çok hassas, kontrollü ve ince işleme olanağı verir. Aşındırıcı parçacıklar dar bir orifisten ve basınç altında geçirilerek işlemede boyutsal kontrol ve dar toleranslar sağlanır. Yöntem aşırı kırılgan, sert, yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilenen, işleme sırasında çapak bırakan malzemeleri işlemekte, kesme, çapak alma ve temizleme işlemlerinde endüstriyel uygulama alanı bulmuştur. Özellikle ulaşılması güç iş yüzeylerinin işlenmesi ve düzeltilmesi, diğer yöntemlerle işlenemeyen malzeme

ve şekillerin işlenmesinde tercih edilmektedir iş parçası ile herhangi bir takımın doğrudun fiziksel teması yoktur. Buna bağlı olarak titreşim ve kuvvet iletimi de olmadığından alışılmış talaş kaldırma yöntemlerine üstünlük sağlamaktadır. Aşındırıcı parçacıkları sürükleyen gaz, aynı zamanda soğutucu olarak da görev yapmaktadır. Böylece, aşındıncı parçacıkların darbeleri ile iş parçasının ısınması önlenmektedir.



Şekil.7- RUM ilkeleri



Şekil.8- Aşındıncı toz jeti (AJM) ile işleme ilkeleri

İşleme İlkeleri

Aşındırıcı parçacıklar, basınç altında gaz akımı içinde sürüklenerek, lüleden yüksek hızlarda (tipik olarak 350 m/san) çıkar ve iş parçası yüzeyine çarparlar. Parçacık ile iş parçası malzemesi arasında meydana gelen çarpışma sonucu, parçacığa göre daha kırılgan olan iş malzemesi yüzeyinde parçalanma görülür (Şekil.8). Nozulun kontrollü bir şekilde kullanımı ile iş parçasında istenen hassas işleme sağlanır. Aşınma olayının kuramsal modellemesi için yayınlanmış bazı yaklaşımlar vardır. Kırılgan ve yumuşak malzemeler için değişik modeller geçerlidir. Ancak her durumda da aşındırıcı parçacığın şekli ve hızı aşınmayı etkileyen en önemli etmenler olarak görülmektedir. Çarpışma ile oluşan kalıcı şekil değiştirme ve buna bağlı gelişen sertleşme sonucu yüzeyde kırılgan bir tabaka oluşur. Bu tabaka, aşındırıcı parçacıkların daha sonraki çarpmaları ile, koparılarak aşındırılır. Parçacıkların iş malzemesi ile çarpışması sonucu açığa çıkan enerji ile ısınan iş malzemesi, gaz akımı ile kısa sürede soğutulduğundan iş malzemesine zarar vermesi önlenir.

İşleme Değişkenleri

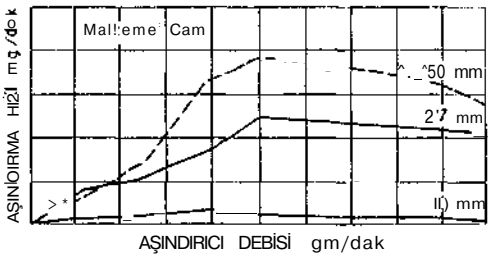
Aşındıncı toz jeti ile işlemede işleme performansına etki eden etmenler arasında aşındırıcı parçacık özellikleri başta gelir. Parçacık malzemesi, boyutu, şekli, kütle debisi, AJM performansını doğrudan etkiler. Parçacıklann içinde sürüklendiği gazın niteliği, gaz basınç ve hızı, püskürtme lülesinin geometrisi, lüle ucunun iş malzemesine uzaklığı ve püskürtme açısı diğer önemli etmenleridir.

Aşındırıcı Parçacıklar

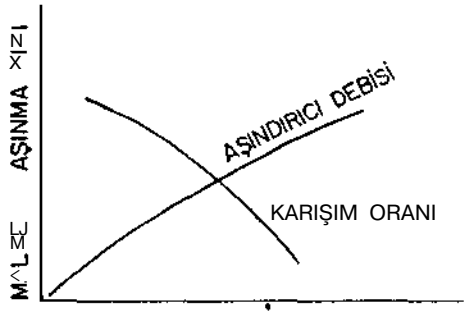
AJM de en çok kullanılan aşındıncı parçacık türü 10, 27, 50 mm boyutlarında alüminyum oksit parçacıklardır. Özel amaçlı bazı işler için silisyum karbür ve diğerleri kullanılır. Çizelge.7 de çeşitli aşındırıcı toz malzemeleri ve kullanım alanları verilmiştir. AJM de kullanılan parçacıklann köşeli ve keskin kenarlara sahip olması istenen bir özelliktir, işleme sırasında bu keskin kenarlar ve köşeler aşınarak yuvarlaklasın Bu nedenle, bir kez kullanılmış aşındıncı parçacıkların tekrar kullanılması önerilmez. Ayrıca, kullanılmış parçacıklar içine karışan yabancı maddelerin de püskürtme orifisini tıkaması sorun olmaktadır.

AJM de küçük parçacıklarla daha iyi işleme koşullan sağlanır. Büyük boyutlu parçacıklar lüle ucu aşınmasının artmasına neden olurlar, fakat sağladıklan işleme hızı daha yüksektir. Şekil.9 da 3 ayrı boyuttaki parçacığın işleme hızı üzerindeki etkisi görülmektedir. Ticari olarak piyasada bulunan aşındıncı parçacıklar boyut ve şekil bakımından AJM için uygun değildir. Bu nedenle özel olarak AJM için hazırlanmış karışımların kullanılması gerekir.

Gaz içindeki toz miktarı da işleme hızını doğrudan etkileyen bir etmendir. Parçacık kütle debisi arttıkça, iş malzemesine çarpan parçacık sayısı da artacağından, işleme hızı da yükselir. Ancak toz/gaz karışım oranı arttıkça işleme hızı azalma eğilimi gösterir (Şekil. 10).



Şekil.9- Aşındırıcı toz parçacık boyutunun işleme hızına etkisi
(İşleme Koşulları : Gaz = Hava,
Nozuldaki basınç = 5.27 kg/cm, Nozul orifis çapı = 0.46 mm
Nozul ucunun iş parçasına uzaklığı NTD = 0.81 mm,
İş malzemesi = cam, Knoop sertliği 450 - 510,
Aşındırıcı toz = Alüminyum Oksit)



Şekil.10- Aşındırıcı toz kütle debisi ve toz/gaz karışım oranının malzeme işleme hızına etkisi

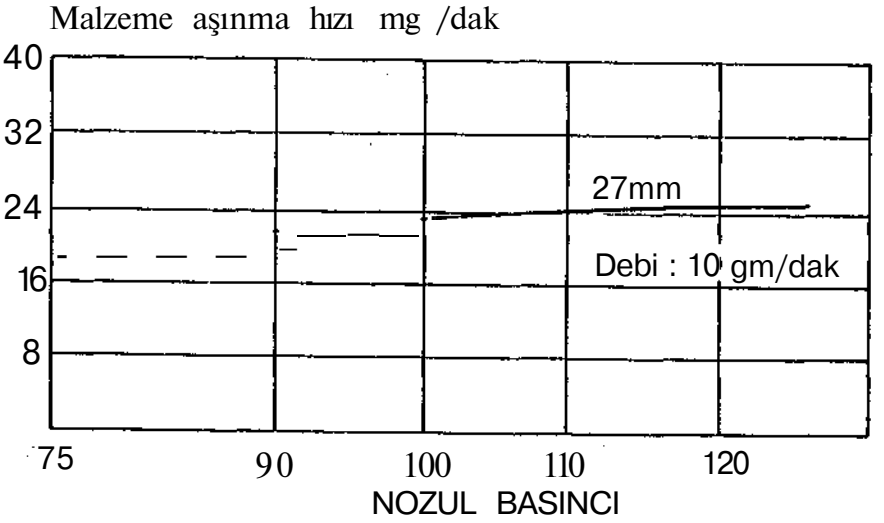
Aşındırıcı parçacıkların filtreden geçirilmeleri zorunlu değildir. Alüminyum oksit ve dolomit için filtresiz uygulamalar bir sorun yaratmamaktadır. Soduyum bikarbonatın nem alıcı özelliğinden dolayı, bu malzeme ile kullanılan gazın filtre edilmesi ve sıcaklığın kontrol edilmesi gerekmektedir.

Çizelge.7- Aşındırıcı Toz ve Önerilen Uygulamalar

Aşındırıcı Toz	Boyut ((im)	Önerilen Uygulama	Yüzey Pürüzlülüğü
Alüminyum oksit	10	Genel amaçlı, genel	6-8
($A1_2O_3$)	27	kesme işleri	14-20
	50		38-55
Silisyum	25	Çok sert malzemelerin	14-20
(StC)	50	işlenmesinde (seramik vb.)	38-55
Dolomit (Kalsiyum-magnezyum karbonat)		Temizleme ve yüzey işlemede	
Sodyum bikarbonat (Özel hazırlanmış)		İnce temizleme, Potansiyometre yapımı	
Cam	25-50	Çok ince temizleme, parlatma, ince yüzey işleme, metallurjik olarak temiz yüzey elde etme	3-5

Toz Taşıyıcı Gaz

Aşındırıcı tozu taşıyıcı olarak, genellikle piyasada basınçlı tüp içinde bulunan karbondioksit ve azot ya da yağ ve nemden arındırılmış basınçlı hava kullanılmaktadır. Bu amaçla oksijen kesinlikle kullanılmamalıdır. Kullanılan gazın basıncı, normal işleme koşullarında 2.8-8.5 kg/bar dolaylarındadır. Tipik bir uygulamada 5.27 kg/bar basıncında gaz tüketimi 0.028 m^3/dak olarak bulunmuştur. Malzeme işleme hızının lüle gaz basıncı ile değişimi Şekil. 11 de görülmektedir. Artan gaz basıncı ile lüle ucunun eskimesi de artmaktadır.



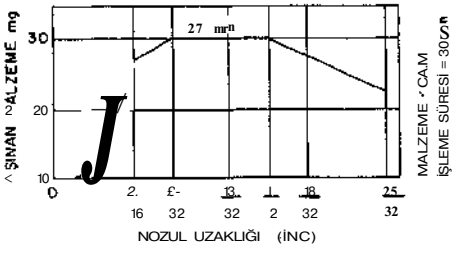
Şekil. 11. Malzeme işleme hızının lüle gaz basıncı ile değişimi.
(İşleme koşulları Şekil.9 ile aynı)

Lüle (Üfleme Kafası)

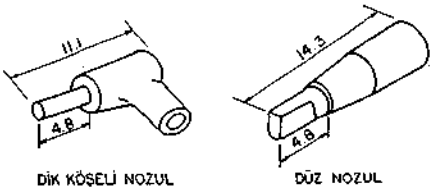
Lüleler basınç altında aşındırıcı toz ve gaz karışımını dar bir kanalda toplayarak iş parçası yüzeyine doğrultur. Genellikle tungsten karbür malzemeden yapılır. Bazı özel durumlarda yapay safir kullanılır. Tungsten karbür lüleler tipik işleme koşullarında 12-30 saat arasında ömüre sahiptir. Safirin ömrü ise, 27 (im alüminyum oksit toz ile 300 saate kadar çıkabilir. Lüle ömrünün kullanılan toz miktan ile ölçülmesi daha sağlıklı görülmektedir. 0.46 mm çapında orifisli bir lülede, 5.27 kg/bar basınçta, 27 um boyutlu alüminyum oksit toz ile 16 kg aşındırıcı toz kullanıldıktan sonra lüle eskimesi kabul edilemeyecek boyutlara gelmiştir. Küçük boyutlu aşındırıcı parçacıklar için ömür daha uzun olur. Biçim olarak lüleler düz ya da dik köşeli olabilir (Şekil. 12). İkinci tür lüleler kolay ulaşılamayan yerlerin (delik içi gibi) işlenmesinde kullanılır. Lüle orifisleri dayire ya da dikdörtgen kesitli olabilir. En çok kullanılan dayire kesitli lülelerin çapları 0.18 mm - 0.8 mm arasında değişmektedir. Dikdörtgen lülelerin genişliği 0.08 mm, boyu ise 0.5 mm ye kadar inebilmektedir. Tipik lüle orifis kesit alanları 0.065 mm^2 ile 0.23 mm^2 arasındadır. Orifis boyu ise 5 mm dolayındadır.

Lüle Uç Uzaklığı

Lüle uç uzaklığı (NTD : Nozzle Tip Distance) lüle ucundan iş parçası üzerindeki işleme alanına olan uzaklık olarak tanımlanır, işleme hızını doğrudan etkileyen bir parametredir. Şekil. 13 de NTD ile işleme hızının değişimi verilmiştir. Püskürtme sırasında nozuldan çıkan gaz-toz karışımı ivme kazanarak hızını arttırmaktadır, başlangıçta genişlemeyen gaz-toz kanalı, daha sonra çapsal yönde de hız kazanmaktadır. Lüleden uzaklaştıkça gaz-toz demeti koni şeklini alır. Koni tepesi yaklaşık 7 derece civarındadır. (Şekil. 14). Bu açıya bağlı olarak iş parçası üzerinde açılan deliğin çapı ve derinliği değişmektedir. NTD arttırıldıkça delik çapı artmakta, ancak delik yan duvarları eksene göre eğimli olmaktadır. Bu eğimin oluşmasını karşılamak için, lülenin iş parçası yüzeyine eğimli olarak tutulması gerekir.



Şekil.12- Lüle şekilleri

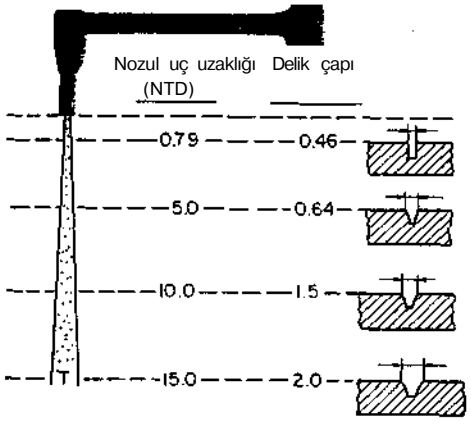


Şekil.13- Lüle uç uzaklığının işleme hızına etkisi.
(İşleme koşulları Şekil.2 ile aynı)

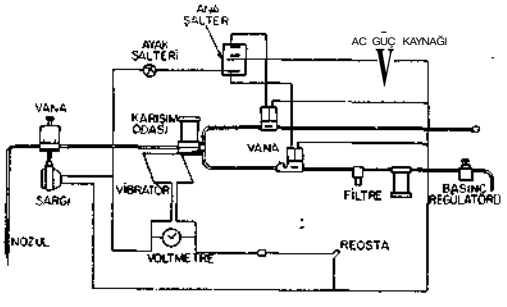
Takım Tezgahı

Bir AJM takım tezgahının şematik yapısı Şekil. 15 de görülmektedir. Nozul dışında diğer birimler hareketsizdir. Nozul ise, esnek bir hortumla hareketsiz birimlere bağlanmıştır. Nozul el ile kullanılabileceği gibi, torna, matkap vb., tezgahlara bağlanarak da kullanılabilir.

Tezgah çalışma prensipleri basittir. Şekildeki 1 numaralı solenoidin açılması ile sisteme basınçlı gaz verilir. Titreşim ile toz odasından alınan aşındırıcı toz, basınçlı gaz ile karıştırılarak hortumla nozula iletilir. Toz debisi ile gaz basıncı bağımsız olarak ayrı ayrı ayarlanabilmektedir.



Şekil. 14- 0.46 mm çaplı orifisten çıkan gaz+toz karışımının değişen NTD ile iş parçası üzerine etkisi



Şekil. 15- AJM tezgahının şematik yapısı

AJM ile işleme yaparken etrafa saçılan aşındırıcı tozun diğer tezgah ve insanlara zarar vermesini önleyecek önlemlerin alınması gerekir. Bu amaçla dağılan tozu toplayacak bir sistemin tezgaha eklenmesi yararlı olur.

Uygulama

AJM temel mekanizması gereği yavaş işleme hızı olan bir işlemdir. Cam için tipik işleme hızı 40 mg/dak dır. Genelde 15-20 mnvVdak işleme hızı kabul edilebilir. Ancak AJM ile yapılan işler küçük boyutlarda olduğu için yavaş işleme hızı önemli bir sakınca kabul edilmemektedir. Diğer yöntemlerle karşılaştırılınca işleme hızı yerine işleme süresi göz önüne alındığında AJM nin üstünlüğü gözlenebilmektedir. 0.5 mm genişliğinde 0.25 mm derinlikte ve 127 mm boyunda bir kanal AJM ile 1 dakikada açılabilmektedir.

AJM uygulamasında en dar kanal genişliği 0.13 mm olabilmektedir. Bunun için lüle orifis boyutları 0.076 mm x 0.152 mm ve NTD ise 0.8 mm alınmıştır. Genel uygulamalarda boyutsal tolererans 0.05 mm, hassasiyet ise 0.13 mm olarak elde edilmektedir. En düşük köşe yarıçapı 0.1 mm ve meyil ise 0.005 mm/mm olabilmektedir.

AJM ile işlenmiş yüzeylerde aşındırıcı parçacıklar kısmen işlenen malzeme içine gömülmektedir. Bu parçacıkların gömülme derinlikleri 0.0025 mm kadar olabilmektedir.

Uyglama Alanları

AJM ile ilgili çeşitli uygulama alanlarından örnekler aşağıda verilmiştir.

a) Aşındırma ve Buzlanma

AJM ile cam malzeme yüzeylerinin çeşitli yüzey kalitelerinde aşındırılması ya da buzlanması yaygın bir uygulamadır. Asit ile aşındırma ve taşlamadan daha hızlı ve ekonomiktir. Parçacık boyutuna bağlı olarak 0.15 um den 1.5 (im ye kadar değişen yüzey pürüzlülük değerleri elde edilebilir. Maske kullanarak lastik, cam ve bakır kullanılır. Lastik maskeler uzun özürlü olmakta, ancak şekil ayrıntıları keskin olmamaktadır. Cam ise kısa ömürlüdür, fakat ayrıntılı ve net şekiller elde edilebilir. Bakır genel amaçlı bir maskeleme malzemesidir. Aşındırma ve buzlanmada lüle uzaklığı 25-75 mm dolaylarında alınır. Lüle iş yüzeyine açılı olarak tutulur.

b) Temizleme

AJM seramik çapaklan, metal üzerindeki oksitleri, koruyucu kaplamaları hassas bir şekilde temizler. Özellikle el ile ya da taşlama ile temizlenmeye dayanamayacak kadar kırılgan işlerin AJM ile temizlenmesi kolaylıkla ve sorunsuz yapılabilmektedir. Çok küçük çapaklann alınması için lülenin iş parçasına çok yakın tutulması gerekir. Bunun dışında, genelde 12-75 mm değerleri uygulanmaktadır.

c) Elektrik-Elektronik Endüstrisi

AJM ile film malzemeden yapılan elektrik direnç elemanlannın %0.5 hata sınırlan içinde otomatik olarak 1 saniyeden daha kısa bir sürede üretilmesi mümkündür. Ayrıca, potansiyometre yapımında, diğer yöntemlere göre 6-10 katı daha hızlı işleme sağlamıştır. Hassas elektrik malzemelerinin şekillendirilmesinde, ısı, titreşim ve mekanik kuvvet etkisi olmadan işleme yapılabilmektedir. Kablo ve diğer elektrik malzemelerinin hassas kaplamalannı sıyırmakta da AJM uygulanmaktadır.

d) Yarı iletkenler

Germanyum, silisyum, galyum, arsenidegibi yarı iletkenler üzerinde delik delme, temizleme, kesme, kanal açma ve inceltme gibi çeşitli işlemler yapılabilir. Çok ince ve kınlgan malzeme ve şekiller hassas bir şekilde işlenebilir.

e) Kristal Malzemeler

Kuartz, safir, mika, cam ve diğer kristal malzemeler AJM ile kesilebilir ve işlenebilir. Maskeleme ile yüzey şekillendirme yapılabilir.

fi Çelik Kalıplar

Çelik kalıplann ısıl işlem sonrasında küçük düzeltmeleri için AJM kullanılabilir. Çelik işlerde kolay ulaşılamayan yerlerdeki fazla malzeme alınabilir. Bölgesel mat yüzeyler elde edilebilir.

g) Çapak Alma

AJM ile ince çapaklar temiz bir şekilde ve hassas boyutlarda alınabilir. İç ve dış yüzeylerde, vida açılmış yüzeylerde, ulaşımı güç yüzeylerdeki çapak alma işlemlerinde AJM basan ile uygulanır.

h) Diğer Uygulamalar

ince ve sert malzemelerin kesilmesi ve delinmesi işlemlerinde parçalann yüzeyine rakam ve harf yazmakta, krom kaplanmış ya da paslanmış yüzeyleri kaplama ve pastan temizlemekte ve mat yüzeyler elde edilmesi nede AJM uygulanır.

i) Laboratuvar Uygulamalarında

AJM çeşitli malzemelerin aşınmaya karşı olan dirençlerini belirlemekte kullanılmaktadır. Sabit bir ayarda, değişik melzemelerin AJM ile aşınma hızlan, o malzemelerin aşınma dirençlerini göstermektedir. Aynca "Strain-Gage" yapıştınlacak yüzeylerin hazırlanmasında ve kalibre cihazlan için yapay yüzey bozukluktan yapmakta AJM uygulanmaktadır.

AFM : Aşındırıcı Akış ile İşleme

AFM, çok az talaş kaldırabilen, temel olarak çapak temizleme ve yüzey parlatma işlemleri için kullanılan bir yöntemdir. Aşındırma işlemi için diş macunu gibi yan-katı yapıda özel bir pasta (mjcun) kullanılır. Bu macun içine aşındırıcı parçacıklar karıştınlır. Bir silindir yardımı ile, aşındıncı macun iş malzemesi üzerinden geçirilir (Şekil. 16). iş parçası üzerindeki tasanmdan gelen engeller ve yapım çapakları nedeni ile bazı bölgelerde macunun iş üzerine uyguladığı basınç artar. Macun içindeki aşındıncı parçacıklar bu bölgelerde aşınmaya neden olur. Öncelikle göreli olarak iri çapaklan kınlır. Daha sonra çapak kökleri temizlenir.

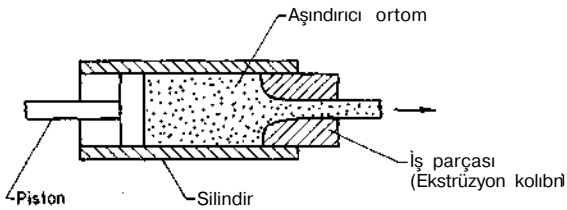
Özel macun olarak yan-katı bir polimer malzeme kullanılır. Bu malzeme içine akışkan özelliğini iyileştirmek için özel katkı maddeleri, sürtünmeyi azaltmak için de yağlama maddeleri eklenir. Aşındırıcı parçacık olarak ise alüminyum oksit, silisyum karbür, bor karbür ve elmas tozu kullanılır. Çapak temizleme için silisyum karbür en iyi aşındırıcıdır. Genellikle 8-500 elek boylarında parçacıklar kullanılmaktadır, iri parçacıklar köşe kırma işlemi için, küçük parçacıklar ise parlatma ve yüzey temizleme işlemleri için kullanılır.

iş parçasından aşındınlan malzemeler akışkan macun içine kanşır ve temizlenmelerine gerek yoktur. Bu nedenle macun defalarca kullanılabilir. AFM işleminden sonra iş parçalan basınçlı hava ile temizlenir. Yeterli temizlik sağlanamazsa, özel sıvılar da kullanılmaktadır.

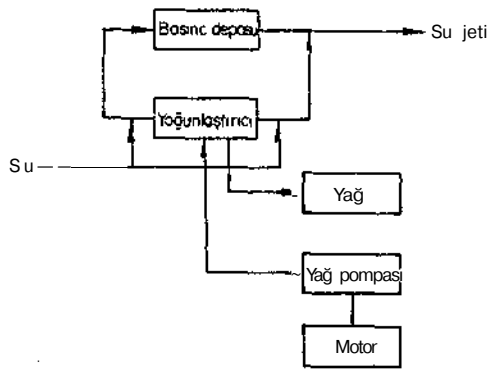
AFM tezgahı elemanlan olarak genellikle iki silindir ve iş parçalann sabitleyen tablalar kullanılır. Bir silin-

dirve iş parçalarını sabitleyen tablalar kullanılır. Bir silindirin basma hareketi ile bir yöne doğru akan macun, diğer silindirin için dolar. Hareketin tamamlanması ile diğer silindir çalışarak, macunun bu kez ters yönde akması sağlanır. Böylece oluşan git-gel hareketi ile tüm iş yüzeylerinden aşınma sağlanır. İşleme miktarı ve diğer işleme özellikleri macun malzeme özelliklerine bağlıdır. Ayrıca, hareketli macun miktarı hızı ve piston basıncı işlem üzerinde etkin olan parametrelerdir. Tipik olarak uygulanan basınç 700-3000 kPa, macun debisi 0-50 gmp dolaylandadır. Kırılgan ve küçük alanlar için düşük basınç değerleri önerilir.

AFM endüstriyel uygulamalarda, özellikle karmaşık şekiller ve iç yüzeylerdeki çapak temizleme işleri için kullanılır. AFM ile yüzey pürüzlülüğü 10 kat daha iyileştirilir. Örnek olarak bir uygulamada, yüzey pürüzlülüğü, 7.5 (xm olan bir malzeme AFM ile 0.15-0.2 µm yüzey pürüzlülüğüne indirilmiştir. AFM ile köşe kırma (köşelere çap verme) işlemlerinde 20-1500 um yançaplar elde edilebilmektedir. Bu değer özel olarak 10 um yarıçaplara kadar indirilebilir. Diğer yöntemlerle işlenerek (EDM, LBM vb.) yüzey özelliklerinde istenmeyen değişikler bulunan iş parçaları için AFM ile yüzey temizliği yapılır. Çeşitli kalıplar, zımba vb. işler son işlem olarak AFM ile işlenir. Tıbbi malzemelerin son işlemleri ve parlatılmaları, oksi-asetilen şaloma uçlarının parlatılması vb. işler AFM ile yapılır. 1 mm boyutlarından 1 m boyutlarına kadar çeşitli büyüklükteki işler, bütün metaller, seramik, karbür ve sert plastikler, tek ya da çok sayıda olarak AFM ile işlenebilir.



Şekil.16- AFM ile işleme



Şekil.17- WJM sisteminin şematik yapısı

İşlemin en önemli sının, sadece her iki ucu açık şekillere uygulanmasıdır. Kör delik vb. şekillere uygulanamaz.

WJM (HDM) : Basınçlı Su ile İşleme

WJM, önceleri madencilikte uygulanan bir yöntemin geliştirilirek yapım endüstrisine uygulanmasıdır. Madencilikte kayaları parçalamak ve kömür vb. sert madenlerin üretiminde, hafif işler için 0.1-0.4 k bar dolaylarında basınç ve 20-30 mm çaplarda su jeti kullanılmaktadır. Yapım endüstrisinde ise su basıncı 400 kPa dolaylarına ve daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Su jeti çapı ise 0.05-0.5 mm dolaylanndadır. Tipik olarak su jetinin hızı 2.8 Mach değerlerine ulaşır. Bu hızda bir su jetinin, sert bir yüzeye çarpması ve çok kısa bir sürede hızını tümüyle kaybetmesi sonucu, suyun kinetik enerjisi, basınç enerjisine dönüşür. Suyun yüzeye ilk temesandan birkaç milisaniye sonra malzeme yüzeyinde normal stagnasyon basıncından birkaç kez daha büyük geçici basınç dalgaları oluşur. Bu basınç dalgalan iş malzemesinin dayanımını aşarak, malzemenin işlenmesini sağlar.

WJM ile malzeme kesmede gözlenen başlıca 4 kesme mekanizması vardır :

1. Yerel yüksek statik basıncının yarattığı gerilmeler,
2. Su jetinin temas noktasından çevreye doğru hızla akan suyun yarattığı kayma gerilmeleri,
3. Malzeme içindeki gerilme dalgalarının yarattığı yansıma ve kesişmeler sonucu malzeme parçacıklarının kopması ve yüzeyden sıçraması,
4. Malzeme çatlaklarının ilerlemesi.

Bu yöntemle, özellikle yüksek (690 kPa) basınçlarda ince metal folyolan bile kesmek mümkündür. Endüstride uygulanan 300-400 kPa basınç değerlerinde ise metal olmayan birçok malzeme şekilli olarak (profil) kesilmektedir. Bütün plastikler, cam-fibercam, kumaş ve tekstil kökenli ürünler, deri, keçe, ağaç ve ağaç kökenli malzemeler, tuğla vb. malzemeler, yiyecekler (balık, et, kek, çukulata vb.) asbest malzemeler WJM ile kesilebilmektedir. Su çapı çok küçük ve su hızı yüksek olduğu için kesilen malzeme ıslanmamakta ya da çok az

oluşan ıslaklık ise, açığa çıkan ısı nedeni ile kaybolmaktadır. Kesme sırasında toz oluşmamakta, bu durum asbest türünde malzemelerin WJM ile işlenmesi için büyük üstünlük sağlamaktadır. Metal olmayan malzemelerin çok katlı olarak kesilmesi mümkündür. Özellikle robot teknolojisinin gelişmesi ve bilgisayar denetimli WJM tezgahları gelişmiştir. Bu tezgahlar şekilli kesmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Tipik kesme hızları 15 m/dak olabilmektedir.

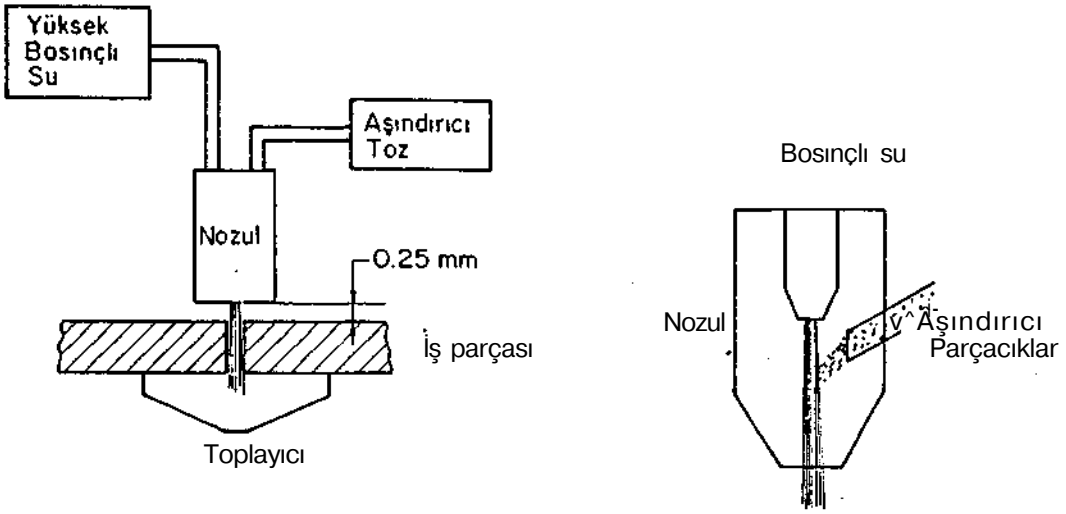
Kullanılan su, normal çeşme suyu olabildiği gibi, daha ince su jeti elde etmek için su içine polimer malzeme de karıştırılabilir. 400 kPa dolaylarındaki su, %12 oranında sıkıştırılabilir özelliğe sahiptir. Bu özelliğin, tezgah tasarımında dikkate alınması gerekir. Tipik su debileri 300-400 l/saat tir. Yine yüksek basınç nedeni ile su içinde eriyen havanın bir anda açığa çıkması ile işleme sırasında çok yüksek (80-105 DB, bazen 130 DB) gürültü oluşur. Bu nedenle özel önlemler alınması gerekir. Kesme lülesinin karşısına ve kesilen levhanın altında susturucu ve su toplama sistemi konulması gerekmektedir. Lüle ile iş malzemesi arasındaki uzaklığın 25 mm dolaylarında olması en iyi kesme koşullan sağlar. 200 mm den daha fazla uzaklıklarda ise su jetinin kesme gücü çok azalır. Su basınç birimi (pompa sistemi) ile lüle arasındaki uzaklık ise 100 mm den de fazla olabilir. Bu uzaklık kesme performansını etkilemez.

Lüle malzemesi olarak tungsten karbür, elmas, çelik alaşımları ve yaygın olarak yapay ya da doğal safir kullanılır. Lüle çapları 0.05-0.5 mm dolaylarındadır. Genellikle konik girişte 6-20 (en iyi olarak 13-14) bir açı bulunur. Düz silindirik kısmının boyu ise çapın 2-4 katı olabilir. Tipik lüle ömürleri 50-200 saattir. Lüle iç çeperlerinin düzgün ve çok iyi parlatılmış olması gerekir.

WJM için yüksek basınç değerleri, özel hidrolik sistem ve basınç odası ile sağlanır (Şekil. 17). Tezgahın tüm elemanlarının ve boru sisteminin yüksek basınca dayanıklı olarak yapılması gerekir.

WJM yönteminin diğer kesme yöntemlerine göre başlıca üstünlükleri şunlardır :

1. WJM tümüyle tozsuz bir yöntemdir (Asbest, kumaş, deri, tuğla kesme)
2. Kesme işlemi su ile sağlandığından, sağlık koşullarına tümüyle uygundur (yiyecek kesme).
3. Karmaşık şekiller ve köşeli şekiller rahatlıkla kesilebilir (örnek : deri ya da lastik ayakkabı taban profilleri).
4. Tümüyle çapaksız kenarlar elde edilebilir.
5. Kesme işlemine malzeme kenarından başlama zorunluluğu yoktur.
6. Bıçak değiştirme ve bıçak bileme işlemleri yoktur. Lüleler ultrasonik temizlemeden sonra tekrar kullanılabilir.
7. Kesme aralığı çok ince olduğu için, malzeme kaybı çok azdır.
8. Kesilen malzeme bıçak takılması vb. nedenlerle yıpranmaz ve zarar görmez.
9. Kesme kuvveti çok az olduğu için çok ince ve zayıf dayanımlı malzemeler kesilebilir., kenarlar sıyırma yapılabilir.
10. Diğer yöntemlerde oluşan sıcaklık nedeni ile malzemenin zarar görmesi ve tekrar kaynaması sorunları yoktur.



Şekil.18- WJM İlkeleri

Yöntemin en Önemli zayıflıkları İse aşın gürültü ve yüksek basınç ile ilgili sorunlardır. Suya karşı hassas olan bazı malzemelerde de kullanılmaz.

AWJM : Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme

WJM yönteminin bazı durumlarda yetersiz kalması sonucu, su jetine aşındırıcı parçacıkların karıştırılması ile daha kuvvetli bir kesme yöntemi olarak AWJM doğmuştur. Yöntem özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanılmakta, otomasyona çok uygun bir yöntem olduğu için giderek yaygınlaşmaktadır. AWJM ile metal olmayan malzemelerin yanında hemen bütün metal malzemeler de kesilebilmektedir. Paslanmaz çelik 125 mm, gri döküm 75 mm, alüminyum 150 mm, takım çeliği 75 mm, yumuşak çelik 115 mm, bronz 100 mm, seramik 25 mm, grafit 50 mm, cam 50 mm kalınlığa kadar AWJM ile kesilebilmektedir. Yöntemin en önemli üstünlüğü çapaksız, temiz ve keskin kesme kenarları sağlamasıdır. Kesme yüzeyleri 5-10 |xm yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Kesme aralığı ise 2 mm den az, 1 mm dolaylarındadır. Uygun düzenek ile eğimli kesme kenarı sağlanabilir. Çizelge.8 de çeşitli malzemeler için kesme hızları verilmiştir.

Çizelge.8- Bazı Malzemelerin AWJM ile Kesme Hızları

Malzeme	Kalınlık (mm)	Orifs Çapı (mm)	Kesme Hızı (mm/dak)
Akrilik	9.53	0.3	381
Fi bere am	10.2	0.3	1219
Kurşun	6.35	0.35	127
Magnezyum	9.53	**0.4**	114
Nikel alaşım	3.18	0.3	25
Alüminyum	25.4	0.3	25
Ferrit	2.54	0.3	51
Inconel	1.27	0.3	125
Cam	12.7	0.35	381
Paslanmaz çelik	6.35	0.3	102
Titanyum	1.17	0.3	127
Takım çeliği	6.35	0.3	76
Pirinç	3.18	—	508

Basınçlı su, WJM de olduğu gibi elde edilir. Oluşan su jetine aşındırıcı parçacıklar kontrollü bir şekilde karıştırılır (Şekil. 18). Aşındırıcı parçacık miktarının hassas kontrolü çok önemlidir. Su jetinin lülesi 200 saat ömürlü olmasına karşın, aşındırıcı lüle çok daha kısa ömürlüdür (3-10 saat). Tipik olarak 3-4 1/dak dolaylarında su, 0.2-0.3 kg/dak dolaylarında aşındırıcı parçacık harcanır. İş malzemesi üzerine uygulanan toplam kuvvet 10-12 kg dolaylarındadır.

AJM süreklilik, hassasiyet ve tekrarlanabilirlik özellikleri ile seri üretim otomasyona çok uygundur. Bilgisayar denetimli esnek imalat sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Benzer yöntemlerden, WJM yöntemine göre çok daha yüksek kesme gücü vardır. Mekanik testerelerin sıkıştığı ve yapıştığı malzemeleri sorunsuz keser. Lazer ile kesme sonucunda oluşan erimiş ve tekrar donmuş, ısıdan etkilenmiş katmanlar AWJM de oluşur.

Lüle çaplan 0.25-0.5 m dolaylarındadır. Aşındırıcı toz olarak, genellikle 40-60 elek boylannda gamet, [Fe_3Ah (SiÖVb] ve bazen alüminyum oksit, silisyum karbür ve döküm kumu kullanılır.

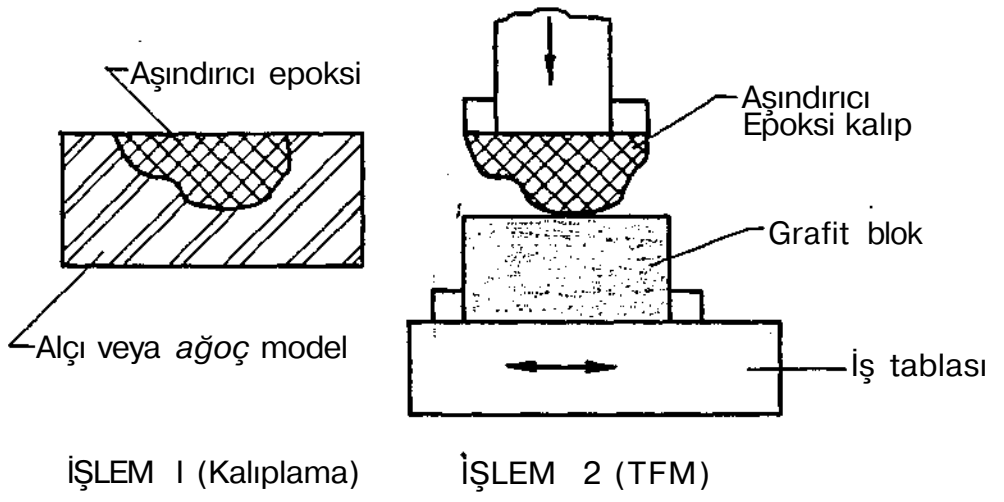
Kesme işlemini tamamlayan ve kesilen malzemenin diğer tarafına geçen su ve aşındıncı parçacık kanşımının özel bir toplama birimi ile toplanması gerekir. Bu amaçla su-aşındıncı jetinin enerjisini yutan bir sistem (bilya haznesi) ya da çelik plakalar kullanılır.

AWJM uygulamasında havacılık endüstrisi öncülük yapmaktadır. Metal ve sentetik malzemeler, çok katmanlı (örnek : çelik-alüminyum) malzemelerin şekilli kesimi yapılmaktadır.

TEM : **Tümden Şekil İşleme**

TFM, EDM için kalıp yapımında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir işlemdir. Herhangi bir yöntemle (örneğin alçı ya da ağaç model içine dökülerek) yapılan aşındırıcı epoksi mastar, kalıp işlenecek grafit blok üzerine yerleştirilir.

Hidrolik bir sistem ile mastar ve grafit blok birbirine bastırılır, iş tablasına bir kam mekanizması ile istenen toleranslar içinde salınım hareketi verilir. Böylece tüm yüzeyde aşınma ile işleme sağlanır (Şekil. 19). Bir mastar kalıp ile 100-250 grafit EDM elektrodu yapılabilir. Sağlanabilen tolerans ve hassasiyet EDM uygulamaları için yeterlidir.



Şekil.19- TFM ilkeleri

AWJT: Aşındırıcı Tozlu Basınçlı Su ile Tornalama

Henüz laboratuvar aşamasında olan bu yöntemde, aşındırıcı tozlu basınçlı su jeti, malzeme tornalamada kullanılmaktadır. Tamamlanan deneysel sonuçlar yöntemin teknolojik potansiyeli olduğunu ve yakın gelecekte endüstriyel uygulamalar bulacağını göstermektedir.

MAP : **Manyetik Aşındırıcı Tozla Parlatma**

Ferromanyetik özelliğe sahip aşındırıcı parçacıkların, manyetik kuvvet etkisi ile iş parçası yüzeyi üzerinde hareket etmesi ile parlatma işleminde kullanılması ilkesine dayanır. Özel uygulamalarda kullanılır.

İşlemli Taşlama

LSG geleneksel taşlama yöntemine benzemekle birlikte bazı farklılıklar gösterir. Bu özellikler şunlardır.

1. Kaba taşlama taşı,
2. Düşük taş hızları (20 m/dak dan az yüzey hızları)
3. Düşük taş ilerlemesi (5-15 um paso)
4. Yağlama,
5. Yumuşak taşlar,
6. Yüksek tabla hızları (15000 mm/dak dan yüksek)

Bu koşulların sağlanması ile taşlanmış yüzeylerde düşük değerli artık basınç gerilmeleri geleneksel taşlama yüksek değerli artık çeki gerilmeleri yaratır). Böylece ısıl etki ve kahcı (plastik) deformasyon en alt düzeye indirilir.

LSG ile çok az yüzey bozulması, çok düşük artık gerilmeler ve çok iyi yüzey özellikleri elde edilir. Yüksek salmımlı yükler ve gerilme korozyonuna maruz işler için çok uygundur. Malzeme deneyleri için özel örnek parçalar hazırlama bu uygulamalardan biridir. 1 ,u.m AA yüzey pürüzlülüğü ve 2.5 |lm hassasiyet sağlanabilir. LSG tezgah için, elde bulunan geleneksel taşlama tezgahlan uyarlanarak kullanılabilir.

Yöntem bazı uygulamalarda sünek ilerlemeli taşlama (CFG) olarak anılır.

EEM : Elastik Emisyon ile İşleme

EEM olağanüstü hassas işleme sağlayan, atomik boyutlarda elastik kırılma sağlayan bir yöntemdir. Çok ince toz parçacıklar, su ile karıştırılır ve bu sıvı yağlama sıvısı gibi kullanılarak toz parçacıkların iş malzemesi yüzeyine çarpması sağlanır. Böylece çok küçük boyutlarda işleme sağlanır. Yöntem, geometrik, kristalografik ve fiziksel olarak mükemmel ayna özelliğine sahip yüzey yapımında kullanılır.

PPM : Toz Parçacıklar ile İşleme

PPM de EEM gibi olağanüstü hassas işleme sağlayan bir yöntemdir. Çok ince toz parçacıklar, statik elektrik ile yüklenir. Zıt kutup ile yüklenen iş parçasına doğru hızla çekilen toz parçacıkların malzeme yüzeyine çarpması ile yüzeyde çok hassas işleme sağlanır. Yöntem çok özel optik yüzeylerin işlenmesinde kullanılır.

3. KİMYASAL ENERJİ KULLANILAN GELENEKSEL OLMAYAN YAPIM YÖNTEMLERİ

Kimyasal enerji kullanan geleneksel olmayan yapım yöntemlerinin ortak özelliği, kontrollü kimyasal aşınma ile hassas şekilde malzeme işlenebilmesidir. Genellikle, aşınması istenmeyen yüzeyler uygun bir koruyucu madde (maske) ile kaplanır. Açıkta kalan yüzeylere aşındırıcı kimyasal sıvı püskürtülür ya da iş parçası bu sıvı içine daldırılır. İş malzemesinin sıvı ile temas süresi işleme miktarı / derinliğini belirler. İşleme hızı genellikle sıvı özelliklerine bağlı olmakla birlikte sıvı yoğunluğu tipik olarak 0.025 mm/dak doğrusal işleme hızları verecek şekilde ayarlanır.

Bu grup imalat yöntemlerine giren başlıca 4 işleme yöntemi vardır.

CHM : Kimyasal İşleme

Tarihin bilinen en eski malzeme işleme yöntemlerinden biridir MÖ 2500 yıllarında Mısırlılar bakır mücevherleri sitrik asit ile işlemişlerdir. CHM yöntemi, bugünkü endüstriyel uygulama potansiyeli ile başta havacılık ve uzay teknolojisi, elektronik sanayii olmak üzere hemen bütün endüstriyel alanlarda ucuz ve hassas bir yapım yöntemi olarak kabul edilmiştir.

Kimyasal işleme (CHM) beş aşamalı bir işleme yöntemidir.

/. *Temizleme :* İş malzemesi yüzeyinden yağ, oksit vb. yabancı maddelerin, buhar, mekanik ve alkali yöntemlerle kaldırılmasıdır. Aşırı kirli yüzeyler için kurulama ve buhar temizleme gerekli olabilir.

2. *Maskeleme :* İş malzemesi yüzeyinde, aşınması istenmeyen yüzeylerin, aşınmaya dirençli özel bir malzeme ile kaplanması gerekmektedir. Bu nedenle kullanılan aşındırıcı sıvıya karşı özel bir direnci olan bir malzeme iş parçasını tümüyle kaplayacak şekilde kullanılır. Bu amaçla daldırma, püskürtme ve kaplama yöntemleri uygulanır. Çizelge.9 da bazı tipik maske malzemeleri verilmiştir.

Çizelge.9- Çeşitli Metaller için Tipik Maske Malzemeleri

Metal	Eriyik	Sıcaklık ( )	Maske Malzemesi
Alüminyum	Alkali	90	Acrylonitrile lastik Butyl lastik Neoprene lastik
Berilyum	Asit	54	Vinyl Neoprene Butyl malzemeler
Demir alaşımları	Asit	54	Polyvinyl klorür Polietilen Butyl lasitk
Magnezyum	Asit	<38	Polimerler
Nikel	Asit	50	Neoprene
Titanyum	Asit	35	Polimer

3. Şekillendirme : Maske ile kaplanmış iş parçasının aşınması istenen bölgeleri, çizme, kesme ve soyma yöntemleri ile açılır. Böylece açığa çıkan kısımlar eriyik ile temasta olur ve aşınır. Maske altında kalan kısımlar ise aşınmaz. Maske yüzeylerinin şekillendirmesi için daha hassas yöntemler (laser, elektron demeti, optik vb.) de kullanılabilir.

4. Kimyasal Aşındırma : İş malzemesine karşı aşındırıcı etkili eriyik ile iş parçası üzerindeki açık alanlarda işleme sağlanır. Kullanılan eriyik, iş malzemesine göre değişir. Çizelge. 10 da bazı aşındırıc! eriyikler ve tipik özellikleri verilmiştir, tş ile eriyik teması daldırma ve püskürtme yöntemleri ile sağlanır. İş malzemesinde işleme derinliği zaman ile doğru orantılıdır.

5. Son Temizleme : Kimyasal işleme bittikten sonra, hem aşındıncı sıvının hem de maskenin temizlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla aşındırıcı sıvıyı nötürleyen sıvılar, maske temizleme için de kimyasal ya da mekanik yöntemler uygulanır.

Çizelge.10- Çeşitli Aşındırıcı Eriyikler ve Özellikleri

Aşındırıcı Eriyik	Yoğunluk (Be : Baumé)	Sıcaklık K	Aşındırma Hızı (mnı/dak)	İşlenebilen Malzemeler
$FeCl_3$	12-18 B	320	0.25	Alüminyum alaşımları
HC1, HNO3H2O	10:1:9	320	0.025-0.05	Alüminyum alaşımları
$FeCl_3$	42 Be	320	0.025	Soğuk hadde çelikleri
HNO3	%10-15 hacim	320	0.025	Soğuk hadde çelikleri
$FeCl_3$	42 Be	320	0.05	Bakır ve alaşımları
$(NH)_2S_2O_8$	0.22 g/cm^3 su	300-320	0.025	Bakır ve alaşımları
Kromik asit	Ticari	325	0.038	Bakır ve alaşımları
$CuCl_2$	35 Be	325	0.013	Bakır ve alaşımları
HF				
$HF:HNO_2$	Çeşitli	-----	----	Cam
$HC1:HNO_3$	3:1	305-310	0.025-0.05	Altın
HNO3	%10-15	310-320	0.013-0.025	Sertleştirilmiş takım çeliği
$FeCI_3$	42 B	330	—	Kurşun
$FeCl_3$	42 B	320	0.013-0.025	Nikel ve nikel alaşımları, demir
FeCİ	42 B	Oda sıc.	0.013	Fosfor bronzu
Kromik asit	Ticari	Oda sıc.	0.013	
$(NH_4)2S_2O_8$	0.22 g/cm^3 su	Oda sıc.	0.007	
FeCb	42 B	330	0.020	Paslanmaz çelik
$FeCl_3$	42 B	330	—-	Kalay
HF	% 10-50	300-320	—-	Titanyum
HNO3	%10-15	300-320	0.025 0.025	Çinko

CHM yönteminin en önemli üstünlüğü, diğer yöntemlerle işlenmesi imkansız olan işleri yapabilmektir. Uçak kanatlarındaki fazla metalleri alarak ağırlık azaltma gibi boyutsal hassasiyeti olmayan işler yanında, 0.1 0.005

mm kalınlıkta folyo işlemekte de başarı ile kullanılır, ince ve kalın saç malzemeler tüm yüzeyde ya da şekilli yüzeylerde, değişik kalınlıklarda ya da eğimli olarak işlenebilir. Malzeme üzerinde mekanik kuvvet uygulanmadığı için çok ince malzemeler işlenebilir. CHM ile üç boyutlu şekil üremek mümkündür. Yöntemin takım giderleri yoktur. Aynı tasarımda küçük değişiklikler yaparak kolayca yeniden üretmek mümkün olduğu için deneysel parça üretiminde de kullanılır.

CHM yönteminin önemli zayıflıklarından birisi, malzeme yüzeyine dikey işleme ile birlikte, maske altına doğru işlemenin önlenememesidir. Bu nedenle keskin köşeler, dar ve derin kesimler ve keskin eğimler işlenemez. Yüzeyde önceden var olan pürüzler temizlenemez. Gözenekli yapılarda ve kaynaklı malzemelerde yöntem sorun yaratır. Çevre kirliliği konusunda da dikkatli olmak gerekir.

PCM : Fotokimyasal İşleme

PCM, maske olarak fotografik yöntemler kullanılan bir kimyasal işlemi (CHM) yöntemidir. Üretilecek parçanın ilk resmi büyük boyutlu olarak çizilir. Bu resim fotografik yöntemlerle istenildiği kadar küçültülür ve çoğaltılır. Küçültme işleminin fotografik yöntemlerle yapılması sonucu hassasiyet olağanüstü yüksektir. Üretilecek parçanın resiminin film olarak malzeme üzerine kaplanmasından sonra film üzerindeki negatif/pozitif bölgeler püskürtme ya da daldırma ile aşındırılır. Böylece açığa çıkan iş malzemesi CHM ile işlenir.

PCM yöntemi çapaksız, karmaşık şekiller üretimine imkan verir. Mekanik kuvvet bulunmadığından kırılgan malzemeler işlenebilir. Fotografik yöntemlerle maske çoğaltma hassas, ucuz ve kolay olduğundan, seri üretime uygundur. Üretilen parçalar birbiri ile ayn; özellikleri taşır.

PCM ile işleme hızı düşüktür. Ancak yöntem genellikle ince sac malzemenin işlenmesinde kullanıldığı için yavaş işleme hızları sorun yaratmaz. Sac malzemenin kalınlığının % 10 u kadar geometrik tolerans kabul edilir. PCM elektronik endüstrisinde çeşitli şekillerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

ELP: Elektriksel Parlatma

ELP, kimyasal işleme (CHM) ile elektrokimyasal işleme (ECM) yöntemlerinin birleşimidir. ELP de asıl malzeme işleme mekanizması, CHM de olduğu gibi yoğun asit eriyiklerin iş malzemesini aşındırmasıdır. Ancak bu işleme ek olarak, düşük voltaj ve düşük akımlı bir güç kaynağı kullanarak düz bir katod plaka, asit eriyiğine parlatılacak yüzeyin karşısına daldırılır. Böylece oluşan elektroliz sistemi sadece çapak ve pürüzleri alır, ana işleme ise asit tarafından kimyasal olarak gerçekleşir.

ELP yöntemi yüksek kaliteli, pürüzsüz ve artık gerilmesiz yüzeyler elde edilmesinde kullanılır. Bu yüzeyler sürtünmenin çok düşük olduğu uygulamalar için gereklidir.

ELP işleme hızı çok düşük olmasına rağmen (0.25 mm/dak) 1-2 dakikalık işleme parlatma için yeterli olmaktadır. Yüzey pürüzlülük değerleri ise 0.1 μm den azdır.

TCM: Isıl Kimyasal İşleme

TCM, iş malzemesi üzerinde bulunan çapakları ve pürüzleri kısa süreli sıcak gazlarla temasta bırakarak temizleyen bir yöntemdir. Sıcak gazlar patlayıcı bir ortam kullanarak üretilir. Patlayıcı gaz (hidrojen vb.) oksijen karışımı ortamların ani patlaması ile oluşan Mach 8 hızında ısıl dalgalar, birkaç milisaniye süre ile etkili olurlar. Bu kısa süreli ısıl enerji, iş malzemesine bir etki yapmaz, ancak yüzeyde bulunan ince pürüzler ve çapaklar buharlaşarak temizlenir. Bu yöntem, ulaşılması güç yerlerde bulunan çapak ve pürüzlerin temizlenmesinde (örneğin: karbüratör gövdeleri, dişliler, vana gövdeleri vb.) kullanılır.

LCP: Lazer Yüklemeli Kimyasal İşleme

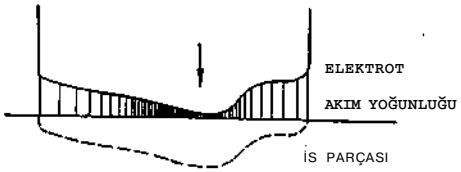
LCP, maske kullanmadan kimyasal işleme sağlayan bir yöntemdir. Kimyasal aşınma yapılacak bölgeler, lazer yardımı ile belirlenir. Birkaç mikrometre boyutlarından birkaç santimetre boyutlara kadar işleme sağlanır. Yöntem elektronik sanayiinde uygulanır.

4. ELEKTRO-KİMYASAL İŞLEME YÖNTEMLERİ

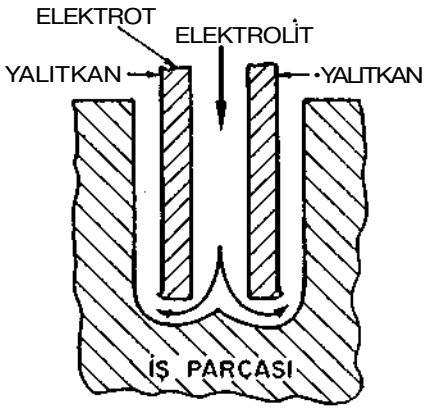
Elektro-kimyasal işleme yöntemleri, geleneksel olmayan işleme yöntemleri içinde potansiyel olarak en yüksek değere sahiptir. Halen görülen bazı sorunların çözülmesi durumunda bu grup yöntemler birçok işlemlerin yerini alacaktır.

Elektro-kimyasal işleme yöntemlerinin malzeme işleme ilkesi çok eskidir. Temel olarak elektroliz olayına dayanır. Anot (+ kutup) iş parçası olarak, katot (- kutup) ise şekilli takım elektrot olarak uygun bir elektrolitik sıvı içine daldırılır. Elektrotlar arasına uygulanan düşük gerilim (4-30 V de) ve yüksek akım (20 000 ampere

kadar) elektrik potansiyeli sonucu anottan (+) iyonlar elektrolitik sıvı içine dağılır. Genellikle seyreltik tuz eriyiği olan elektrolitik sıvı içinde bu iyonlar metal-hidroksitleri oluşturur. Anottaki iyon oluşumu akım yoğunluğuna bağlı olduğundan, takım elektrot (katot) şeklinin dişisi, iş parçasına (anot) işlenmiş olur. (Şekil. 20). Sıvı içindeki metal-hidroksitler, sıvı ile taşınarak filtre edilir.



Şekil. 20- ECM de akım yoğunluğu birbirine en yakın yüzeylerde fazladır



Şekil.21- ECM ile delik açma

Elektrokimyasal işleme olayı anot için şöyle özetlenebilir:

$M \rightarrow M^{+} + e^{-}$ (Metal iyonlaşması)

$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e$ (Oksijen üretimi)

$3Cl^{-} \rightarrow Cl_2 + 2e$ (Gaz oluşumu)

Örnek olarak demir alaşımlar için ECM ile işleme olayının mekanizması aşağıda verilmiştir.

$Fe^{++} + 2(OH^{-}) \rightarrow Fe(OH)_2$

$Fe + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + H_2$

yada

$2Fe + 4H_2O + O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_2 + H_2$

Burada da görüldüğü gibi, elektrolitik sıvı tüketilmemekte, sadece akım taşıyıcı olarak görev yapmaktadır.

Elektro-kimyasal işleme olayı kuramsal olarak tümüyle bilinmektedir. Bu nedenle bütün malzemeler için kuramsal işleme hızlarını hesaplamak mümkündür. Herhangi bir malzemenin işlenme hızı şu formül ile bulunur:

$$s = \frac{M \cdot i \cdot \eta}{96500\ n\ d}\ m^3/amp - s$$

Burada N malzemenin atomik ağırlığı, n malzemenin valansı, d malzemenin yoğunluğu ve T| da elektrik akımının verimidir. S (amp/m^2) akım yoğunluğu ise;

$$S = \frac{E}{\rho_s A}$$

olur. Burada E işleme gerilimi, p_s elektrolitik sıvının direnci (ohm-m), A ise işleme alanıdır (m^2). Bu durumda takım elektrot ilerlemesi

$$f = S_{,}$$

olarak bulunur.

Çizelge. 11 de bazı metaller için bu formüllere göre hesaplanmış kuramsal işleme hızlan verilmiştir. Birçok uygulamada *r*\ değeri 1 ve bazen 1 den de büyüktür.

Çizelge. 11 - Metaller için Kuramsal Malzeme İşleme Hızlan

Metal	Valans	Yoğunluk g/cm^3	1000 Amp'de Kuramsal İşleme Hızı (cm^3/dak)
Alüminyum	3	2.67	2.06
Berilyum	2	1.85	1.50
Krom	2	7.19	2.25
	3		1.51
	6		0.75
Kobalt	2	8.85	2.05
	3		1.38
Kolombiyum	3	8.57	2.16
	4		1.69
	5		1.34
Bakır	1	8.96	4.39
	2		2.20
Demir	2	7.86	2.21
	3		1.47
Magnezyum	2	1.74	4.34
Manganez	2	7.43	2.28
	4		1.1 S
	6		0.77
	7		0.66
Molibden	3	10.22	1.95
	4		1.47
	6		0.98
Nikel	2	8.90	2.11
	3		1.36
Silisyum	4	2.33	1.87
Gümüş	1	10.49	6.39

Çizelge. 11- Metaller için Kuramsal Malzeme İşleme Hızları (Devam)

Metal	Valans	Yoğunluk g/cm^3	1000 Amp'de Kuramsal İşleme Hızı (cm^3/dak)
Kalay	2	7.30	5.05
	4		2.52
Titanyum	3	4.51	2.19
	4		1.65
Tungsten	6	19.30	0.98
	8		0.74
Uranyum	4	19.10	1.92
	6		1.29
Vanadyum	3	6.1	1.74
	5		1.05
Çinko	2	7.13	2.85

ECM de iş malzemesinin ve takım elektrodun elektriksel iletken olmaları gerekmektedir. CHM de olduğu gibi işlenmesi istenmeyen yüzeyler (yan yüzeyler gibi) yalıtkan malzeme ile kaplanır (Şekil. 21).

Elektro-kimyasal yöntemlerle malzeme işleyen 9 tane geleneksel olmayan yapım yöntemi vardır. Bu yapım yöntemlerinin hepsi, ilke olarak aynı olmasına rağmen, uygulama farklılıkları gösterir. Endüstriyel uygulaması olan elektro-kimyasal yapım yöntemleri şunlardır:

1. ECM: Elektrokimyasal işleme (frezeleme)
2. ECG: Elektrokimyasal taşlama
3. ECD: Elektrokimyasal çapak temizleme
4. ECH: Elektrokimyasal honlama
5. ECP: Elektrokimyasal parlatma
6. ECT: Elektrokimyasal tornalama
7. ECDG: Elektrokimyasal erozyon taşlama
8. STEM: Şekilli tüp/boru ile elektrolitik işleme
9. ES: Elektro-akış

Bu yöntemlere ait bilgiler önemlerine göre ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

ECM: Elektrokimyasal İşleme

ECM, şekilli takım elektrot kullanarak, bu elektrodun iş parçasına dikey ilerlemesi ile 3 boyutlu işleme sağlar. Tezgah yapısı olarak USM ve EDM tezgahlarına benzer. Şekil. 22 de ECM tezgahının şematik yapısı verilmiştir. ECM tezgahının en önemli birimi elektrolitik sıvı devresidir. Bazı tezgahlarda soğutma ve işleme ürünlerinin çökelmesi için çok büyük sıvı depolan gerekebilir. Elektrolitik sıvı sürekli olarak dolaşmalı ve temizlenmelidir. Bu amaçla özel pompa ve filtre sistemi kullanılır. Sıvı basıncı tipik olarak 0.7 - 30 bar arasındadır. ECM de elektrolitik sıvının başlıca üç görevi vardır:

1. Takım ve iş parçası arasında akım taşıyarak malzeme işlenmesini sağlar.
2. İşleme sonucu açığa çıkan işleme ürünlerini taşıyarak filtre edilmelerini sağlar.
3. Isınan elektrotları soğutur.

Bu görevleri sağlayabilecek sıvıların şu özelliklere sahip olmaları gerekir:

1. İyi elektriksel iletken olmaları gerekir.
2. Kendisi ya da buharı zehirli olmamalıdır.
3. Korozif olmalıdır.
4. Kimyasal ve elektrokimyasal yönden dengeli (stabl) olmalıdır.
5. Anot ve katot yüzeylerini pasifleştirmemelidir.

Endüstriyel uygulamada kullanılan bazı elektrolitik sıvılar ve özellikleri Çizelge. 12 de verilmiştir. Sodyum klorür ve diğer tuz eriyikleri elektrolitik sıvı olarak kullanıldıklarında erimeyen çökeltiler verir. Sodyum hidroksit gibi bazı elektrolitik sıvılarda ise çökeltiler sıvı içinde dağılır. İkincilerin filtrasyonu daha kolaydır, ancak kimyasal bileşiminin kontrolü güçtür.

Aşınma ürünleri (çökelti) hidroksit ve hidrat oksitlerden oluşmuştur. İşlenen 1 birim hacim metal için 100 - 150 hacim çökelti oluşur. Normal işleme koşullan elde etmek için çökeltinin ağırlık olarak % 2 yi geçmemesi gerekir. Çökeltiyi temizlemek için filtre, santrifüj ya da çökeltme yöntemleri uygulanabilir.

Elektrolitik sıvı iletkenliği, sıvının yoğunluk ve sıcaklığına bağlıdır. Seyrettik elektrolik sıvıların iletkenliği daha azdır. Ancak, aşırı doymuş elektrolitik sıvılar vana, pompa gibi kritik yerlerde tuz kristalleri oluşumuna yol açar. Artan sıcaklık ile elektrolitik sıvı iletkenliği de artar. Ancak sıvıyı ısıtmak ek bir enerji gerektirir.

Elektrolitik sıvı akış hızı, aşınma ürünlerinin taşınması ve elektrodların soğutulması açısından çok önemlidir. Genellikle yüksek akış hızı daha düzgün ve devamlı yüzey sağlar. Düşük hızda ise elektrodlar arasında sıvı akımı düzgün ve devamlı sağlanamaz, tıkanmalar olur. Bu da kontrolsüz işlemeye, bölgesel aşınmaya yol açar.

Sodyum klorür ve potasyum klorür eriyikleri gibi bazı elektrolitik sıvılar elektrokimyasal işlemede tehlike yaratmazlar. Sodyum nitrat ve sodyum klorat eriyikleri ise yanıcı maddelerle temastan korunmalıdır. Alkali eriyikler insan vücudu için de zararlıdır. Buhar ve tozlan teneffüs edilmemelidir. Yüz maskeleri ve koruyucu eldivenler, tehlikeli elektrolitik sıvılar için kullanılmalıdır.

ECM de kısa devre bazen patlamalara yol açabilir, ya da iş parçası ve elektroda zarar verebilir. Asit ve klorür eriyikleri de genellikle tezgah konstrüksiyon elemanlarına karşı korozifdir. Bu elemanların özel alaşımlardan yapılması gerekir.

ECM ile işleme sonunda elektrolitik sıvının etkisini silmek için, iş parçasını temizlemek gerekir. Bu amaçla genellikle su ile yıkama yeterli olmaktadır. Ancak, demir alaşımlarında dikkatli olmak gerekir.

Çizelge. 12- Çeşitli İş Malzemeleri için Elektrolitik Sıvı Türleri ve ÖzeUikleri

iş malzemesi	Elektrolitik	Üstünlükleri	Sakıncaları
Çelik ve diğer demir alaşım-ları	NaCl 300 mg/l ye kadar (ya da KC1: daha iletken fakat pahalı)	- Ucuz - Zehirsiz ve tehlikesiz - Yumuşak ve düzgün yüzey - Yüksek yoğunlukta kontrolü kolay, verimi fazla	- Çevre yüzeyleri de aşındırır, zarar verir - Paslanmaz çelikte aşın yörel aşınma vardır - iletkenlik sıcaklığa bağlıdır
	$NaNO_3$ 600 mg/l ye kadar	- NaCl den daha iyi yüzey - Çevre yüzeyleri aşındırma	- NaCl den daha pahalıdır - Alev alma tehlikesi yardır - iyi iletkenlik için yüksek yoğunluk gerektirir - iletkenlik sıvı akım hızına ve sıcaklığına bağlıdır - Yüksek gerilim gerektirir
	$NaClO_3$ 250-550 mg/l	- Çok düzgün ve parlak yüzeyler elde edilebilir - Korozyona dayanıklı yüzey verir - iletkenlik sıcaklığına bağlı değildir - Çevre yüzeyleri etkilemez - Hassas işler için çok uygundur	-Pahalı ve zehirlidir - Alev alma tehlikesi verdir - Özel depolama gerektirir - Düşük yoğunlukta verimlilik düşüktür - Yüksek gerilimlerde (20 V) en iyi sonucu verir
	NaCl (120 mg/l) + sitrik asit (12 mg/l)	- Sitrik asit metal metal hidroksit çökeltilerini önler - Dar aralıklar için çok uygundur - Düşük basınçta işleme mümkündür	- Çok pahalıdır - Sık yenilemek gerekir
	NaCl (300 mg/l ye kadar) + HCl ya da H_2SO_4 (PH3 - PH2 ye) kadar	- NaCl + Sitrik asit ile aynı özelliklere sahip	- Sık yenileme gerektirir - Katot elektrod siyahlaşır. temizlemek gerekir - Çok korozifdir
Gri Demir döküm	NaCl (3000 mg/l ye kadar) ya da $NaNO_3$ (600 mg/l ye kadar)		- Geniş elektrod aralığı (0.5 - 0.8 mm) gereklidir
Beyaz demir döküm	$NaNO_3$ (360 mg/l ye kadar)		- Kaba yüzey elde edilir
Nikel ve kobalt alaşımları	NaCl (120 mg/l) + $NaNO_3$ (120 mg/l)	- Ucuz - Tane yapısına etki etmez - iyi yüzey kalitesi	- Sıvı akım hızı işleme etki edebilir - Yüzey hafif yapışkan bir madde ile kaplanır

Çizelge. 12- Çeşitli İş Malzemeleri için Elektrolitik Sıvı Türleri ve Özellikleri (Devamı)

İş malzemesi	Elektrolitik	Üstünlükleri	Sakıncaları
	$NaNO_3$ (600 mg/l ye kadar)	- Tane yapısına etki etmez - tyi yüzey kalitesi	- NaCl + $NaNo_3$ ile aynı - Daha pahalı - Yüksek gerilim gerektirir - Alev alma tehlikesi vardır
	NaCl (300 mg/l ye kadar)	- Parlak ve düzgün yüzey - İşletmeden sonra yüzey temizliği gerektirmez	- Tane yapısına etki eder, iş iş parçasının yorulma ömrü azalır - Çevre yüzeyler etkilenir
	NaCl (300 mg/l ye kadar) + NaF (2.4 mg/l)	- Bazı malzemelerde görülen siyah oksit tabakayı önler	- NaCl ile aynı
Titanyum alaşımları	NaCl (150 mg/l) + NaBr (60 mg/l) + NaF (2.4 mg/l)	- iyi yüzey kalitesi - Küçük toleransları kontrol mümkündür	- Yüzeyde gri renkli oksit görülür - Çevre yüzeyleri etkiler
	NaCl (120 mg/l den az)	- Yukarıdaki elektro-litten daha iyi yüzey - Yüzeyde oksit kalmaz	- Yüksek gerilim gereklidir - Sıvı akımı işlemi etkiler - Yüksek kalitesi devamlılık göstermez - Çevre yüzeyleri etkiler
Tungsten molibden	NaOH		-İşletme sırasında NaOH harcanır
Tungsten karbür	NaCl (120 mg/l) + NaOH (60 mg/l) + Triethanolamine (240 mg/l)	- 0.25 (im ye kadar yüzey kalitesi	
	NaCl (120 mg/l) + NaOH 72 mg/l) + Sodyum tartarat (204 mg/l)		
Alüminyum alaşımları bakır ve alaşımları berilyum	NaNO3 (600 mg/l ye kadar ya da NaC! (300 mg/l ye kadar)	- $NaNO_3$ mümkün olan en iyi yüzeyi verebilir	
Kobalt-krom ve atellite tipi tungsten alaşımları	NaC! (300 mg/i ye kadar)		
Uranyum zirkonyum emetaller B_4CZrB_2	NaCl		
ZrC, TiB_2	NaCl		

Elektrod tasarımı elektro-kimyasal işlemenin en önemli ve aynı ölçüde en güç cephesidir. Elektrod şekli, elektrolitik sıvı içindeki akımı belirli yerlere kanalize eder. Ancak, düzgün ve hızlı bir sıvı akımına imkan verecek şekilde olması ve sürekli olarak elektrolizi sağlayacak açıklıkta olması gerekir. Elektrot ölçüleri istenen iş parçasından "kesim fazlalığı" kadar farklıdır. Bu fark 0.025 - 1 mm arasında değişir. Elektrot kesit alanı da basınca dayanıklı ve yüksek akımı taşıyabilecek güçte olmalıdır.

Elektrot tasarımının en önemli yönü, düzgün, sürekli ve hızlı elektrolitik sıvı akımı sağlamaktır. Bunun için belirli ve sağlam bir yöntem yoktur. Her iş için dene-gör prensibi ile çeşitli çözüm yolları bulunabilir. Sıvı akımının iyi sağlanamadığı köşelerde ve sıvının giriş ve çıkış bölgelerinde aşırı aşınma görülebilir.

Elektrot yüzeyleri mümkün olan en iyi şekilde işlenip parlatılmalıdır. Küçük pürüzler bile iş parçası yüzeyinde büyük hatalara yol açar.

Yalıtım, ECM de akımı kanalize etmede önemli bir yer tutar. Her elektrot için özel uygulamalar gerekebilir. İyi bir yalıtım için aranan özellikler şunlardır:

1. Elektroda iyi yapışkanlık,
2. Kaçaklara yol açmayacak şekilde yoğun yapı,
3. Uygulanabilir kalınlık,
4. Elektrolitik sıvı akımını bozmayacak düzgünlük,
5. 200 C sıcaklıklara kadar devamlı direnç,
6. Aşınmaya karşı direnç,
7. Elektrolitik sıvıya karşı kimyasal direnç,
8. Yüksek elektriksel direnç.

Bu özellikleri sağlayan başlıca ticari maddeler ise şunlardır: yüksek ısıya dayanıklı vernik, vinyl, teflon, polyester, urethane, phenolic, epoxy, tape.

ECM de iş parçası olarak, elektriği ileten bütün malzemeler, diğer özelliklerine bağlı olmaksızın kullanılabilir. Ancak, malzemenin metalurjik yapısı ve sertliğinin işleme özelliklerine az da olsa etki edebildiği tahmin edilmektedir.

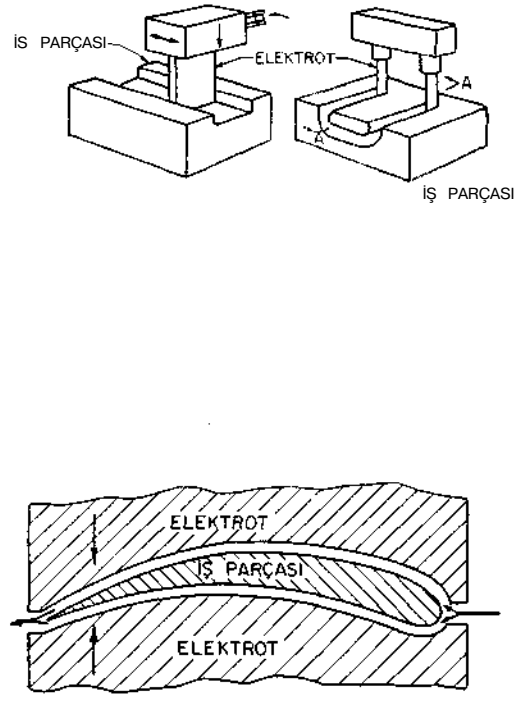
İşleme hızı teorik olarak bütün malzemeler için hesaplanabilmektedir. Bu değerler elektrot tasarımına bağlı olarak değişir. Ancak, uygulamadan önce bütün malzemeler için, her 10 000 A için 15 cm^3/dak işleme hızı kabul edilebilir. Pratikte 8 - 16 cm^3/dak: 10 000 A arasında değişir.

ECM, karmaşık şekilli ve çok sayıda üretilecek parçalar için çok uygundur. 3 boyutlu yüzey geometrisine sahip işlerin ECM ile seri üretimi mümkündür. Dayiresel olmayan delikler 0.025 mm hassasiyet ile açılabilir. Derin delikler (örneğin 1 mm çapında ve 600 mm derinlikte) delinebilir.

ECM ile işlenen yüzeyler mekanik gerilmelerden tümüyle arındırılmıştır. Bu durum bazen malzemenin yorulma ömrünü % 80 e kadar azaltır. Bunu önlemek için bilya püskürtme, kumlama vb. yöntemler ile artık basınç gerilmeleri yaratılır. ECM ile işlenmiş yüzeyler genellikle parlak olabilir. Yüzey pürüzlülüğü 0.1 - 1 µm arasında değişir.

Yöntem, işleme hızı çok yüksek, ilkesel olarak işleme potansiyeli fazla olduğundan hem seri üretim parçalannda, hem de kalıp üretimi gibi az sayıda parça yapımında kullanılır. Ancak, ECM nin halen en önemli zayıflığı, elektrolitik sıvının istenmeyen korozif etkisi ve yüksek akım değerleri nedeni ile görülen elektrik kaçaklarıdır.

ECM normal olarak şekilli takım elektrotlar kullanarak işleme için uygulanır. Ancak, Şekil. 23 de gösterilen değişik uygulamaları da mümkündür.

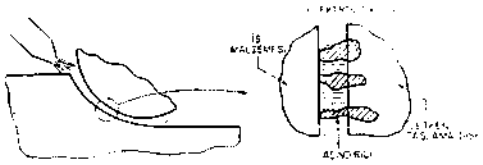


Şekil. 23- Değişik ECM uygulamaları

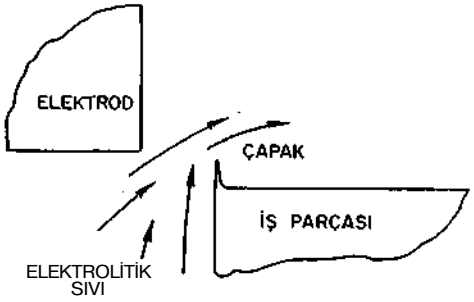
ECG: Elektrokimyasal Taşlama

ECG, iletken dolgu maddeleri ve aşındırıcı parçacıklardan oluşan taşlama diski kullanan bir yöntemdir. Malzeme işleme, taşlama diski (anot) ile iş malzemesi arasında elektrokimyasal yöntemlerle olur. Aşındırıcı parçacıklar ise oluşan film tabakalarını kaldırırlar (Şekil. 24). Aşındırıcı parçacıkların taşlama diski üzerindeki pürüz çıkıntıları 0.025 mm dolaylarındadır. Bu pürüzler anot taşlama diski ile iş parçası arasında gerekli olan boşluğu da sağlar. Elektrokimyasal işleme için gerekli elektrolitik sıvı, taş ve iş parçası arasına lüle ile püskürtülerek sağlanır. Elektrolitik sıvı olarak genellikle sodyum nitrat kullanılır. Taşlama diskinin dönme hızı 1000 - 1500 m/dak dolaylarındadır.

ECG tungsten karbür gibi sert malzemeleri taşlamakta kullanılır. Petek yapısındaki kırılgan şekiller, tıbbi enjeksiyon iğnelerinin eğimli uç yüzeyleri ve türbin kanatçıkları ECG ile taşlanır. Taşlanmış yüzeyler temiz ve çapaksızdır. Taşlama hızı geleneksel taşlama yöntemleri ile aynı düzeydedir.



Şekil. 24 - Elektrokimyasal taşlama



Şekil. 25 - Elektrokimyasal çapak temizleme

ECDB: Elektrokimyasal Çapak Temizleme

ECDB, hareketsiz ve düz bir elektrot kullanarak iş parçası üzerindeki çapak ve pürüzleri temizlemekte kullanılan bir yöntemdir (Şekil.25). iş ile elektrot arasında 0.1-1 mm aralık vardır. Elektrolitik sıvı akımı kınlan çapakların kolayca taşınabileceği yönde sağlanır. Genellikle düşük akım değerleri uygulanır. ECDB ile çapak temizleme işlemi birkaç saniye sürer. El ile çapak temizlemeye göre çok hızlı ve güvenilir bir yöntemdir. Otomotiv endüstrisinde piston kollan, dişli dişleri, supap yatakları lüle içlerinde kesişen delikler, vb. yerlerde çapak temizlemekte kullanılır. ECBD ile daha uzun süreli işleme ile köşe yuvarlatma da sağlanır.

ECDG: Elektrokimyasal Erozyon Taşlama

ECG ile ECDB yöntemlerinin bileşimidir. Temel malzeme işleme mekanizması elektrokimyasaldır. Elektrik arkları (kıvılcımlar) yüzeydeki film tabakasının kaldırılmasını sağlar. Böylece hiçbir mekanik temas olmadan taşlama yapılmış olur. ECDG için 0.025 mm olağan bir hassasiyettir. 0.01 mm değerlerine kadar azalabilir. Yüzey pürüzlülük değerleri ise 1 (im dolaylarındadır.

ECH: Elektrokimyasal Honlama

Honlama ve elektrokimyasal işleme özelliklerini beraberce uygulayan bir yöntemdir. Yalıtkan honlama çubuklan iş malzemesi üzerindeki tabakaları kaldırarak temiz malzeme yüzeyini açığa çıkarır. Elektrokimyasal işleme ile de bu yüzeyler honlanır. Elektrot ve iş malzemesi arasındaki açıklık 1 mm den başlayarak, giderek artar.

ECH ile çapta 0.01 mm, dayiresellikte 0.005 \ım hassasiyet sağlanabilir. Yüzey pürüzlülüğü 0.1 - 0.5 mm CLA'dır.

ECP: Elektrokimyasal Parlatma

ECP elektrokimyasal parlatma işleminde, elektrokimyasal işleme (ECM) ile çok benzer bir düzenek kullanılır. Ancak, ECM de takım elektrot hareketli olmasına karşılık, ECP de takım elektrot hareketsizdir. Böylece düşük akım değerlerinde parlatma sağlanır. ECM ile işlemenin sonunda takım elektrodun bir süre hareketsiz bırakılması ile de ECP sağlanır. Özel tezgah gerektirmez. 1-2 um AA yüzey pürüzlülüğü değerleri sağlanır.

ECT: **Elektrokimyasal Tornalama**

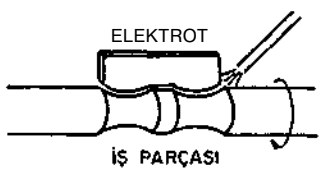
Elektrokimyasal işleme ilkelerinin tornalama işlemine uygulanmasıdır. Şekilli takım elektrotlar kullanılabileceği gibi genel amaçlı düz takımlar da kullanılır (Şekil. 26). Dönme olayı tezgah yapısını biraz daha karmaşık yapar. ECT büyük döküm parçaların tornalanmasında kullanılır. Rulman bileziklerinin hassas ölçülerinde tornalanması da ECT ile yapılabilir.

ES: Elektrokimyasal Sıvı Jeti

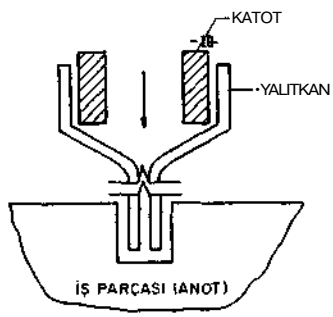
ES, ECM ilkelerini kullanarak küçük çaplı delik delmek için kullanılan bir yöntemdir. Boru şeklinde katot elektrot ucuna, yalıtkan bir malzemeden orifisli bir lüle yerleştirilir. Boru ve lüle içinden iletilen elektrolitik sıvı yardımı ile elektrokimyasal işleme gerçekleşir (Şekil. 27). Lüle olarak cam kullanılabilir. ES ile çapı 0.2 mm ye kadar derin delikler delinebilir. Gaz türbinlerinde soğutma deliklerinin delinmesi tipik bir ES uygulamasıdır. Aynı anda çok sayıda (50 kadar) delik delmek mümkündür.

STEM: Şekilli Boru ile Elektrokimyasal İşleme

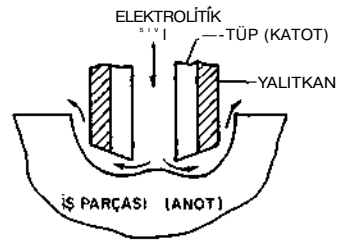
STEM, ECM ilkeleri ile herhangi bir kesitte delik delmek için kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin özelliği, dayiresel ya da dayiresel olmayan boru (tüp) şeklindeki takım elektrodun ortasından elektrolitik sıvı akımı sağlanırken, boru dış cephelerinin yalıtkan malzeme ile kaplı olmasıdır (Şekil. 28). STEM ile küçük çaplı (1 mm den az) derin delikler işlenebilmektedir (boy/çap oranı 200:1).



Şekil. 26- Elektrokimyasal tornalama



Şekil. 27- ES ile delik delme



Şekil. 28- STEM ile delik delme

Diğer Elektrokimyasal Yöntemler

Yukarıda ayrı bölümlerde verilmeyen diğer elektrokimyasal işleme yöntemleri (ECD, ECS, WECM, PECM, WECDM) elektrokimyasal işleme ilkeleri üzerinde geliştirilen ve daha az uygulama bulmuş yöntemlerdir. ECD ve ECS temelde ECM ile aynıdır. WECM ise tel elektrot kullanan özel bir yöntem olup WEDM yönteminin elektrokimyasal işlemeye uygulamasıdır. PECM, sürekli akım yerine vurumlu (kısa süreli puls) akım kullanan bir elektrokimyasal yöntemdir. Özel koşullarda daha iyi işleme sağlar. WECDM ise WECM ile WEDM yöntemlerinin bileşimidir.

5. ISIL ENERJİ KULLANAN YÖNTEMLER

İş parçasından malzeme işlemek için yoğunlaştırılmış ısıl enerji kullanan yöntemlerdir. Isıl enerji kaynağı olarak elektrik boşalımı, elektron huzmesi ve laser ışını gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Bütün yöntemlerde ulaşılan odak sıcaklıkları, bilinen bütün malzemelerin ergime ve buharlaşma sıcaklıklarının çok üzerindedir. Bu nedenle ısıl enerji kullanan yöntemlerle bilinen bütün malzemeleri işlemek mümkündür. Bu gruba giren yöntemler, işleme mekanizması bakımından diğer gruplara göre daha fazla çeşitlilik gösterirler. Grup içinde özellikle EDM ve LBM çağdaş teknolojide çok önemli bir yer almıştır. Diğer yöntemlerin de endüstriyel uygulamaları çok fazladır.

EDM: Elektroerozyonla İşleme

Geleneksel olmayan malzeme işleme yöntemleri içinde halen en yaygın olarak kullanılan yöntem EDM dir. Endüstride bugün kullanılmakta olan tezgah sayısı göz önüne alındığında, geleneksel olmayan yöntemlerin içinde en ön sırada gelmekte, geleneksel yöntemlerle de karşılaştırma yapabilecek düzeydedir. Kalıpçılık endüstrisinde EDM yöntemi kullanılmadan çağdaş bir endüstriyel üretimden söz etmek mümkün değildir. Halen EDM uygulamalarının yarısından çoğu kalıpçılık endüstrisinde, özellikle hassas kalıp yapımındadır.

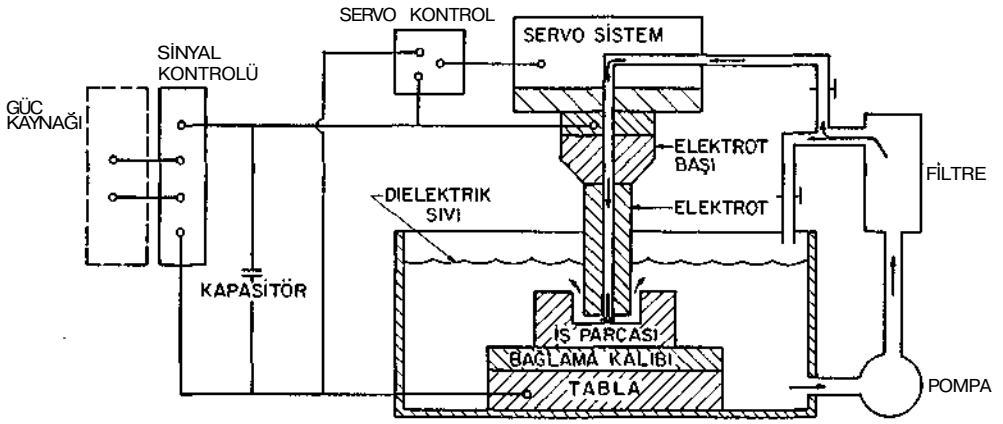
İşlem İlkeleri

Elektro-erozyon ile işleme, dielektrik bir sıvı içinde elektriksel iletken iki elektrot arasında ard arda oluşan çok sayıdaki elektriksel boşalımların (kıvılcımların) elektrotları aşındırması ilkesine dayanır. Uygun elektriksel parametreler ve malzeme seçimi ile şekilli takım olarak kullanılan elektrot çok az aşınırken, iş parçası olan elektrot aşınarak işlenmiş olur. Böylece, şekilli takım elektrodun şeklinin dişisi iş malzemesine işlenir. Aşındırma olayı, elektrot malzemesinin kıvılcım içinde yüksek sıcaklıklarda (10 000 K) ergiyip buharlaşması ve böylece malzeme yüzeylerinin küçük çukurcuklar (kraterler) ile kaplanmasıdır. Gerekli kıvılcım enerjisi, elektrodlar ile paralel bağlantılı bir elektrik devresi ile sağlanır. Genellikle iş parçası artı (+) kutupa, takım elektrot da eksi (-) kutupa bağlanır. Zıddı uygulamalar da yaygındır.

EDM tezgahı genellikle geleneksel matkap ya da freze tezgahlarına benzemektedir, iş parçası, dielektrik sıvı içine gömülmüş olarak hareketli bir tabla üzerinde bulunur. Elektrot ise mekanik ya da çoğunlukla servo hidrolik bir sistemle iş parçası içine doğru ilerler. EDM tezgahlarında 4 ayrı bölüm görülür (Şekil. 29):

a) Kıvılcım Üretici

Elektrotlar arasında istenilen özellikte kıvılcım oluşmasını sağlayan elektrik devreleri grubudur. Dircnç-kapasitör (relaksiyon) devreleri basit, güvenilir ve ucuz olmaları bakımından çok yaygındır (Şekil. 30a). Genellikle bakır ve pirinç elektrodlar ile ve ince yüzey işlemede kullanılır. Ancak, işleme hızı düşüktür. Kapasitör değerleri 1000 mf a kadar çıkar. Basit sinyal üreteçleri ise elektrodlar arasına belirli zaman aralıklarında sabıi bir gerilim uygular (Şekil. 30b). Çağdaş EDM tezgahlarının tamamında transistorlu kıvılcım üreteçleri kullanılır (Şekil 30c). Bu devrelere, takım elektrot aşınmasını azaltan ve işleme verimliliğini arttıran özel kontrol devreleri eklenerek daha verimli duruma getirilmiştir. Özellikle uyarlamalı (adaptif) kontrol teknolojisinin uygulanması sonucu EDM ile işleme performansı çok geliştirilmiştir.



Şekil. 29- EDM Tezgahı Şeması

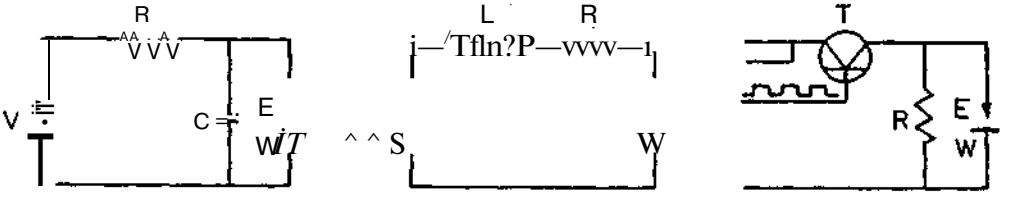
b) Dielektrik Devresi

Elektrodlar arasındaki aşınma ürünlerinin taşınıp temizlenmesi ve elektrod yüzeylerinin soğutulması amacı ile elektrodlar arasındaki dielektrik sıvının yenilenmesini sağlar. Basınçlı sıvı göndermek (4 bar kadar) ya da kirli sıvıyı vakum ile emmek işleme özelliklerini geliştirdiği için yaygın olarak kullanılır. Mümkün olan hallerde, elektrod ya da iş parçası içinden dielektrik sıvı basılır ya da emilir. Şekil. 31 de çeşitli örnekler görülmektedir.

c) Kıvılcım Aralığı Kontrol Ünitesi

Kontrol devresinden sağlanan hata mesajını, servo sisteme besleyerek, elektrodlar arasındaki açıklığı (0.01 - 0.2 mm) istenilen düzeyde tutmayı sağlar (Şekil. 29).

İşleme aralığını istenilen düzeyde tutmayı sağlayan sistem mekanik ya da elektromanyetik olabilir, ancak çağdaş tezgahlarda elektro-hidrolik sistemler kullanılmaktadır.



a) Direnc-kapasitör devresi

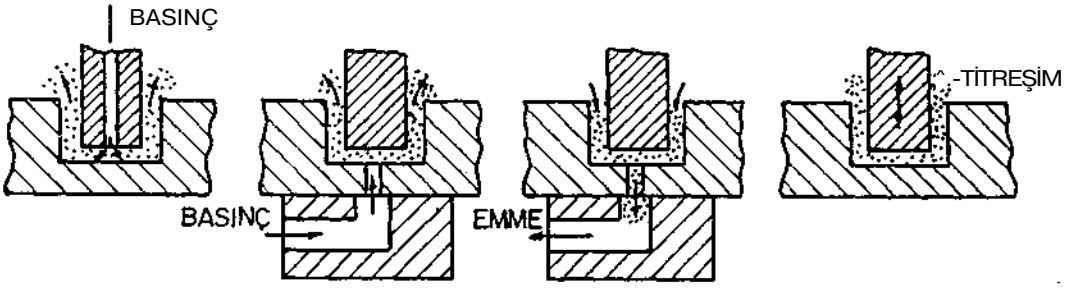
b) Basit sinyal üreteci

c) Basit transistorlu devre

Şekil. 30- EDM kıvılcım üretici, elektrik devreleri örnekleri

d) Mekanik Ünite

Tezgah gövdesi ve elektrot ile iş parçasının tesbit edilmesini sağlayan düzenlerden oluşmuştur. Geleneksel tezgahlara benzer. Elektrodun bağlandığı elektrot başının, birkaç elektrot kullanılan hallerde, aynı referans çizgilerini verebilecek hassasiyette olması gerekir. Son yıllarda geliştirilen özel kalıp ve iş parçası bağlama düzenekleri ile üretim verimliliği artırılmıştır.



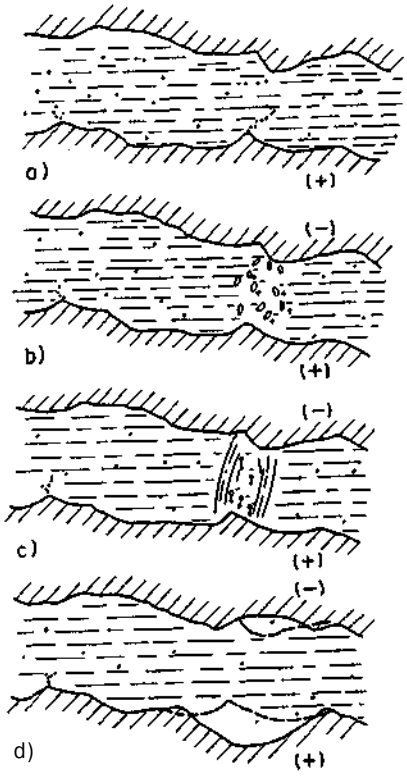
Şekil. 31- Aşınma ürünlerinin elektrodlar arasından taşınması

Kıvılcım Oluşumu

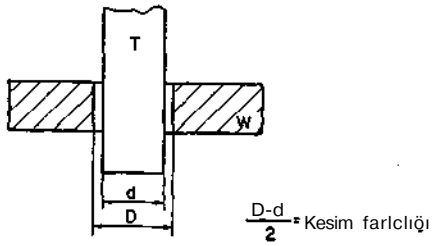
Çoğunlukla kabul edildiği gibi, elektro-ısıl bir özellik gösterir. Dielektrik sıvı içinde bulunan parçacıklar, kuvvetli elektromanyetik alanın etkisi ile bazı noktalarda, dielektrik sıvı direncinin zayıflamasını sağlarlar (Şekil. 32). Sıvı içindeki iyonların da hareketi ile iki elektrot arasındaki dielektrik sıvı direnci bir anda kaybolur

ve elektron-iyon akımı başlar. Bunun sonucu açığa çıkan enerji, elektrot yüzeylerini ergitir ve kraterler oluşmasına neden olur. Krater oluşumu kuramsal olarak karmaşık bir olaydır ve çok sayıda parametreye bağımlılık gösterir.

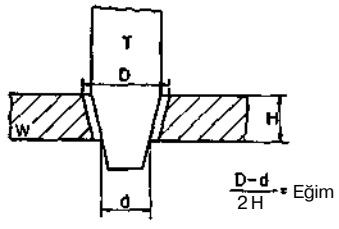
EDM de elektrot, toplam maliyetin % 80 ini meydana getirir. Bu nedenle elektrot imali ve malzemesi EDM için çok önemlidir. İşleme süresince elektrodda da bir aşınma görülür. Bu aşınma, eskime olarak adlandırılır. Aşınma, malzemenin ergime sıcaklığına bağlı olduğu için yüksek ergime noktalı malzemelerde eskimenin daha az olması beklenir. Bilinen en yüksek ergime sıcaklığına sahip grafit (3500 C) elektrot olarak en iyi performansı gösterir. EDM de elektrot olarak kullanılacak malzemelerin elektriği iyi iletir olması, ucuz ve kolay bulunabilmesi, iyi ısıl iletken olmalan ve dielektrik sıvı ile kimyasal tepkimeye girmemeleri istenen başlıca özellikleridir. Çizelge. 13 de bilinen başlıca elektrot malzemeleri ve bazı özellikleri verilmektedir.



Şekil. 32- EDM de kıvılcım oluşumu



Şekil. 33- EDM de kesim **fazlalığı**



Şekil. 34- EDM de eğim

Elektrot tasarımı, EDM teknolojisine iyice vakıf olmayı öngörür. İşleme hızı, istenen yüzey kalitesi, iş parçası malzemesi, tasarıma etki edebilen en önemli faktörlerdir. Elektrot tasarımında göz önünde bulundurulması gereken iki önemli özellik vardır:

1. Kesim fazlalığı, elektrot ile iş parçası malzemesi arasında, kıvılcım oluşumu için bırakılmış açıklıktır (Şekil. 33). 0.005 - 0.2 mm arasında değişir. Elektrot ölçülerinin iş parçası boyutlarından daha küçük olmasını gerektirir. EDM tezgah imalatçıları, seçilen çalışma şartları için bırakılması gereken kesim fazlalığını veren çizelge ve grafikler hazırlamışlardır.
2. Eğim, özellikle derin işlemelerde, kesim fazlalığının yüzeye doğru artmasıdır (Şekil. 34). Dielektrik sıvı devre özelliklerine kuvvetle bağlıdır. 0.1 mm ye kadar çıkabilir.

Çizelge.13- Bilinen Başlıca Elektrot Malzemeleri ve Bazı Özellikleri

Elektrod malzemesi (İşlemelime özeliği)	Ticari Şekil	Maliyeti	üreteç türü Sinyal	RC devre	Tavsiye edilen iş parçası malzemesi	Tavsiye edilmeyen iş parçası malzemesi	Tavsiye edilen uygulamalar	Tavsiye edilmeyen uygulamalar
Grafit (A)*	Kütük, çubuk	Düşük	A*	D	Çelik	Karbidler	Takım endüstrisi	Çok İnce yüzey kalitesi
' Bakır - Grafit (C)	özel İmalat	DUşük	—* ·	—	-	-	-	— —
Bakır (B)	Çubuk, te! levha, kütük	Düşük	B	A	Hepsi	Yok	Delikler	Hassas İşler ve derin İşlemeler
Tungsten (D)	Tel, çubuk	Orta	B	B	Hepsi	Yok	KUçUk kanallar, delikler	Kanşık çok detaylı şekiller.
Tungsten karbid (D)	özel imalat	YUksek	B	B	Hepsi	Yok	Tungsten İle aynı	Tungsten İle aynı
Bakır • Tungsten alaşımları (C)	Küçük boyutlu çubuk, levha	Orta	A	A	Hepsi	Yok	Karbid malzemelerde kanallar	Geniş alanlar
Pirinç (B)	Çubuk, kütük tel, levha	Düşük	A	C	Hepsi	Yok	Delikler	Hassu İşler
Çinko ve alaşımları (B)	Döküm ve levha	Düşük	C	D	Çelik	-	Dövme kalıplan	Delikler (alaşımlar için)
Alüminyum (B)	Döküm ve levha	Düşük	C	D	ÇeUk	Tungsten karbid	Dövme Kalıplan	— —
Demir (A)	Her şekilde	Düşük	-	—	-	-	-	- -
Çelik (A)	Her şekilde	DUşük	B	D	Demir olmıran	Karbidler	Boydan delikler	- -
Çelik (A)	Her şekilde	DUşük	C	D	Çelik	Karbidler	Basma kalıplan	- - -
Gümüş • tungsten (C)	SInterlenmiş	Yüksek	A	A	Hepsi	Yok	KUçUk kanallar ve dillkler	Geniş alanlar
Nikel vf alaşımları (C)	—	YUksek	A	A	Hepsi	Yok	Çok karışık ve hassu şekiller	"~ —

A*:Çoklyl, B:!yl, C:OrU, DtKötü —** : Bilinmiyor.

Elektrot yapımı, EDM kullanan teknolojilerde büyük önem kazanmıştır. Başlıca yöntemler şunlardır:

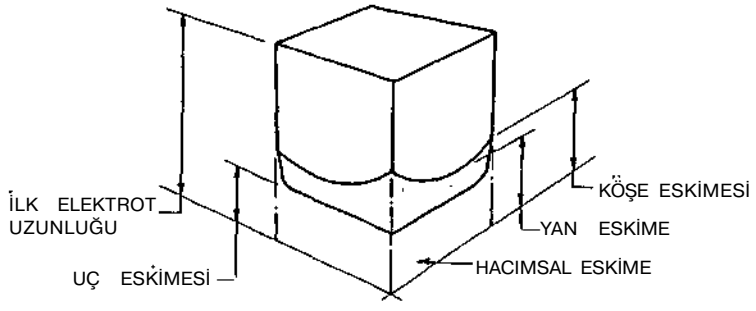
a) Geleneksel işleme yöntemleri, pirinç ve bakır gibi elektrodlar için mümkün olan hallerde uygulanır. Grafit de bu yolla işlenebilir, ancak grafit tozunun uygun bir yolla önlenmesi gerekir.

b) Çinko ve alüminyum elektrodlar, çok miktarda yapılacaklarsa döküm yöntemleri kullanılır.

c) Karışık şekiller için kaplama ya da püskürtme elektrot tercih edilir. Örneğin, kolay şekillendirilir plastik bir malzeme üzerine püskürtmede bakır ucuz ve kolay bir elektrot meydana getirir.

d) İnce levhalar, preslenerek elektrot olarak kullanılabilir.

e) Kimyasal aşındırma, WEDM ve diğer geleneksel olmayan yöntemler de EDM için elektrot yapımında kullanılır.



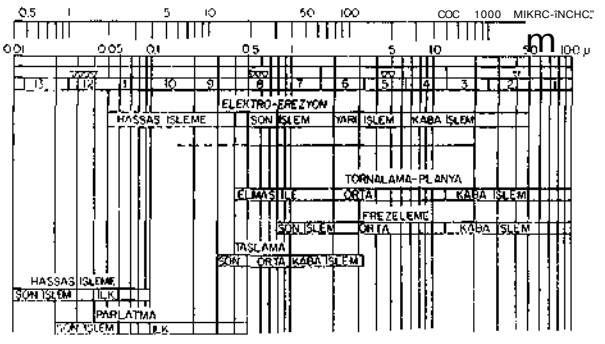
Şekil. 35- EDM de elektrot eskimesi

Elektrot eskimesi Şekil. 35 de görüldüğü gibi çeşitli biçimlerde olabilir. Uygun elektrot malzemesi seçimi ve iyi bir tasarım ile eskime en alt değerlere indirilebilir. Çoğunlukla aynı iş için birkaç elektrot kullanmak gerekebilir. Bu durumlarda en son elektrot en iyi yüzey kalitesini vermeli, ilk elektrot ise en fazla işleme hızını sağlamalıdır. Malzemede, EDM ile işlenmeden önce geleneksel yöntemlerle mümkün olan en fazla işlem yapılmış olmalıdır. Çizelge. 14 de bazı elektrot malzemelerinin değişik iş parçaları ile eskime oranları verilmiştir.

Çizelge. 14- Başlıca EDM Elektrodlarının Değişik İş Parçaları ile Eskime Oranları (Eskime Oranı= Elektrot Eskimesi/İş Parçası Aşınması)

Elektrot	İş Parçası			
	Çelik	Karbürler	Pirinç	Tungsten
Grafit	0.15-0.50	Fazla	--------	---------
Grafit	0.001 e kadar (T)*	Fazla	--------	---------
Bakır	0.25-1	—	--------	---------
Tungsten	0.1-0.25	—	Fazla	---------
Bakır-Tungsten	0.1-1 (T)	0.75-2	--------	1
Pirinç	0.5-1.2	4	0.2	7
Çinko	1-5	----	--------	---------
Alüminyum	0.25-6	—	....	—
Demir	0.5	....	....	....
Çelik	0.7-1	....	0.25	—-
Gümüş-Tungsten	0.06-0.3	—	—	—
Nikel	0.1-0.2	....	....	....

*** T: Ters Kutup**



Şekil. 36- EDM ve Diğer Yöntemlerin Yüzey Özellikleri

EDM de İş Parçası

Elektriği ileten bütün malzemeler (metal ve iletken seramikler), sertlik, kırılabilirlik, vb. mekanik özelliklerine bağlı olmadan EDM ile işlenebilir. Ancak, yüzey özelliklerinde bazı değişiklikler görülür. EDM ile işlenmiş yüzeylerin kraterlerle kaplanmış olması, geleneksel işleme yöntemlerinin aksine, yöne bağlı olmayan bir özellik gösterirler. Mat görünüşlüdür, fakat kolayca parlatılabilir.

Halen ticari olarak satılan EDM tezgahları içinde 30 000 N ağırlıkta iş parçası işleme imkanı olan tezgahlar vardır. Geleneksel işleme yöntemleri ile işlenmiş yüzeylerle karşılaştırıldıklarında aynı yüzey pürüzlülük değerinde (RMS ya da CLA), EDM ile işlenmiş yüzey daha üstün kabul edilmektedir. Yüzeyi kaplayan kraterler, işleyen parçalarda yağ deposu olarak iş görürler, sürtünme ve aşınmayı azaltırlar. EDM ile elde edilebilecek yüzey kalitesi sınırları ve diğer yöntemler Şekil. 36 da görülmektedir. Aşınma olayı sırasında, elektrot yüzeylerinin yüksek sıcaklıklara çıkması ve sonradan ani soğuması sonucu malzeme yüzeyinde bazı metalurjik değişiklikler görülür (0.001 - 0.1 mm kalınlıkta). Şekil. 37 de bu durum çelik için özetlenmiştir. Bazen dielektrik sıvıya ve elektrot malzemesine bağlı olarak ana malzeme içine karbon ya da elektrot malzemesi girebilir. Bu olay, bazı yüzeylerin özelliklerini geliştirmekte kullanılabilir. EDM yöntemiyle işlenmiş yüzeylerde elektrot ve ana malzeme içindeki sıcaklık farklarından dolayı artık gerilmeler ve bazı çatlaklar da görülür. Artık gerilmelerin basma kalıplarında ömrü uzattığı iddia edilmektedir. Ancak, çekme yükünde azalma vardır. EDM ile işlenmiş yüzeylerde çatlaklar ençok birkaç |j.m ye kadar inerler, fakat bu çatlakların darbe direncini azalttığı tesbit edilmiştir.

İşleme Hızı

İş parçasının hacim ya da ağırlık olarak birim zamanda aşınmasıdır. Krater büyüklüğüne ve birim zamanda-
ki kıvılcım sayısına bağlıdır. Tipik işleme hızları genellikle 15 mm/saat - 250 000 mm /saat arasındadır.

Büyük kraterler daha kaba yüzey verdiği için işleme hızı ile yüzey kalitesi ters orantılıdır. En uygun seçimin, kullanılan tezgah ve iş özelliklerine bağlı olarak yapılması gerekir. Bazı tipik değerler Çizelge. 15 de verilmiştir.

Çizelge. 15- Tipik EDM İşleme Hızları

Elektrot	İş Malzemesi	İşleme Hızı
Pirinç	Çelik	14.7 cm3/saat
Bakır-tungsten	Çelik	18.4cm3/saat
Grafit	Çelik	73.7 cm3/saat

EDM de dielektrik sıvının görevleri üç grupta toplanabilir:

a) Belirli bir gerilime kadar yalıtkan kalır ve sonra birden kınlarak kıvılcım oluşumuna neden olur. Kıvılcımı dar bir kanalda yoğunlaştırarak enerji yoğunluğunu arttınr.
b) Kıvılcım ile ısınan malzemeyi, ısı malzeme içlerine taşınmadan soğutur.
c) Aşınma ürünlerini kıvılcım aralığından hızla taşıyarak kıvılcım aralığının kapanmasını önler.

Dielektrik sıvılann, malzemeyi ıslatabilir özellikte olması, zehirli ya da kolayca alev alır olmaması, elektrodlar ile reaksiyona girmemesi ve kolay, ucuz bulunabilir olması gerekir. EDM için geliştirilmiş çeşitli dielektrik sıvılar vardır. Bu sıvılann büyük bölümü hafif hidrokarbon türevleridir. En yaygın olarak gazyağı, kokusu alınmış gazyağı, mazot, vb. sıvılar ve bunların özel işlemden geçirilmiş türevleri, iyonlan alınmış su kullanılır.

EDM Uygulaması

İşlenecek malzemeye, parça şekline, hassasiyet ve işlenecek malzeme miktanna bağlıdır. Çizelge. 16 da EDM lehine ve aleyhine olan faktörler özetlenmektedir.

EDM den mümkün olan en fazla yararı sağlamak için uygulama alanının çok iyi smırlandınlması ve teknolojisine iyice vakıf olunması gerekir. EDM uygulaması üç grupta toplanabilir:

a) Takım Endüstrisi

Toplam EDM uygulamasının % 80 ini meydana getirir. Yüksek kaliteli ve diğer yöntemlerle işlenemeyen malzemelerden her türlü basma ve pres kalıpları, ekstrüzyon kalıplan yapılabilir. Kanşık şekilli kalıplar, geometrik şekillerine bağlı olmaksızın bir bütün olarak imal edilebilir. Eskimiş ve yıpranmış kalıplar ısıl işlem görmeden onarılabilir. Hatalı kalıplar düzeltilebilir.

Çizelge. 16- EDM Özellikleri

	EDM lehine olan faktörler	EDM aleyhine olan faktörler
iş Malzemesi	Yüksek sertlik, yüksek çekme dayanımı, kolay kınlabilirlik, kötü işlenebilme özelliği, kesici kaleme yapışkanlık	Malzemenin elektriksel iletken olması, yüzey metalürjisinin değişmesi
iş Parçası	Kanşık ve düzensiz şekiller, kırılabilir ve bağlanması güç parçalar, küçük ve derin delikler, yarıklar, dar ve karmaşık şekiller, dayiresel olmayan delikler, aynı ya da değişik düzeylerde çok sayıda delik ya da oymalar	Geleneksel işleme tezgahlannda basitçe işleme imkanı olanlar EDM de pahalıya mal olur
Yapım	Çapaksız işleme, birbirine iyi uyması gereken kalıp ve presler, çok sayıda işlemin aynı anda yapılması, iş devamlılığının sağlanması	işlenecek malzeme miktarının fazla olmaması, özel teknoloji, elektrot eskimesi, elektrot imali
Ekonomi	Geleneksel yöntemlerle imkansız olan ya da çok pahalıya çıkan birçok durumlarda ekonomiktir	Düşük işleme hızı ve geleneksel tezgahlara göre daha pahalı olması

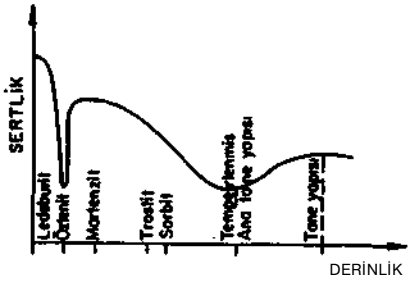
b) özel Amaçlı Parça Yapımı

Bu konuda EDM çok ilginç uygulamalar bulmuştur:

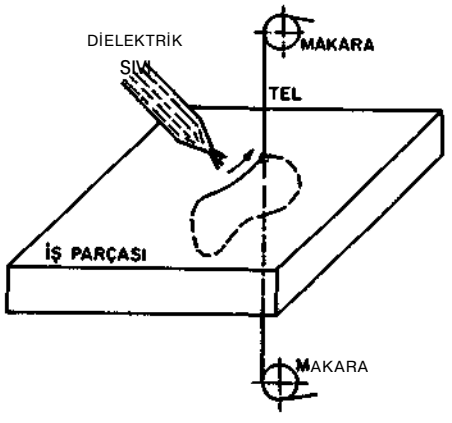
1. Dayiresel olmayan delikler,
2. Derin ve dar oymalar, yarıklar, konik delikler, boşluk oyma,
3. Çok küçük çaplı delikler (100 um çap),
4. Derin delik işleme (20:1 boy/çap oranı),
5. Birbirine yakın çok sayıda delik delme,
6. Erişilmesi güç olan derin ve uzak yerlerdeki işlemler,
7. Kırılabilir ve bağlanması güç işler,
8. Çapaksız yüzey gerektiren yerler,
9. Zehirli ve radyoaktif malzeme işleme,
10. İç dişlililer, çok sert malzemeler üzerindeki dişlerin işlenmesi,
11. Elektronik sanayiinde mikro oyma işlemleri,
12. Ekseni kaymış deliklerin düzeltilmesi,
13. Değerli madenlerin işlenmesi.

c) Laboratuvar Uygulamaları

Laboratuvarlar için metal kristallerin hazırlanması, büyük bloklardan örnek parçalar alınması gibi bilimsel uygulamaları kapsamaktadır.



Şekil. 37- EDM ile işlenmiş malzeme yüzeyinde sertlik değişimi



Şekil. 38- WEDM ilkeleri

WEDM: Tel Elektro-Erozyonla İşleme

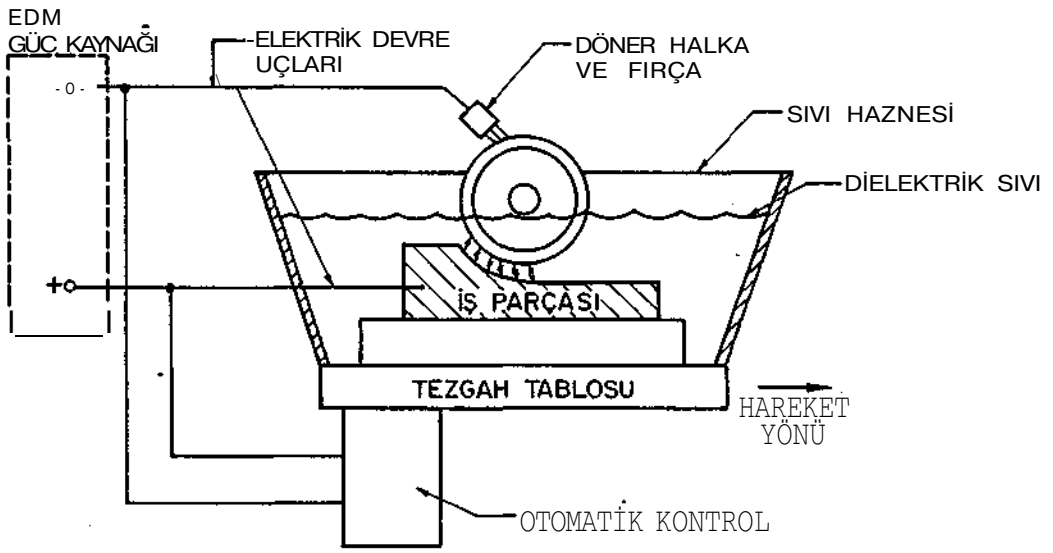
Tel elektroerozyon (WEDM), bilgisayar kontrollü tezgah teknolojisinin gelişmesi ile gelişen ve kalıpçılık endüstrisinde çok önemli yeri olan bir yöntemdir. Geleneksel EDM de kullanılan şekilli elektrot yerine, sürekli tel elektrot kullanılır (Şekil. 38). Tel elektrot malzemesi olarak pirinç yaygın olarak kullanılır. Tipik tel çapı 0.2 mm dir. Bazı özel uygulamalarda 0.05 mm çapında molibden tel kullanılır. Pirinç için tipik kesme fazlalığı (işleme aralığı) 0.03 mm dolaylarındadır.

WEDM de iş tablası ya da tel elektrot sabit ya da hareketli olabilir. İstenen kesme profili bilgisayar programlaması ile sağlanır. Aynca tel ile iş malzemesi yüzeyi arasına farklı açılar verilerek 30 ye kadar eğimli yüzey işlenmesi sağlanabilir. WEDM ile işleme hızlan 300 mm^2/dak değerlerine kadar çıkabilir. Çelik malzeme için tipik olarak 100-200 mm^2/dak (50 mm kalıp çeliği) dolaylarındadır. Yüzey pürüzlülüğü ise 1 µm Ra değerlerine ulaşır. Önceki bölümde EDM için verilen özellikler WEDM için tümüyle geçerlidir. WEDM de dielektrik sıvı olarak iyonları alınmış su kullanılır. Su, işleme aralığına püskürtülür. Elektriği ileten bütün malzemeler WEDM ile işlenebilir. 350 mm kalınlığa kadar 20 µm doğrusallık hatası ile işlemek mümkündür. WEDM için bilgisayar kontrolü esastır. Bu nedenle işlenecek şekil önce tezgah bilgisayarında tanımlanır.

WEDM ile her türlü kesme kalıpları yapılır, zımba ve dişi kalıplar bir arada imal edilebilir. Gerek boyutsal hassasiyet ve gerekse yüzey özellikleri çok iyidir. Bakır malzemeden şekilli EDM elektrotları WEDM ile hazırlanabilir. İşlenecek işlerin iki tarafı açık şekiller olması dışında yöntemin bir sınırlaması yoktur.

EDG: Elektro-Erozyonla Taşlama

EDG prensip olarak EDM ye benzemektedir. Tek farkı, burada ekseni çevresinde dönen bir elektrodun bulunmasıdır. Elektrot, düz ya da şekilli olabilir. Tezgah yapısı bilinen taşlama tezgahlanna benzemektedir (Şekil. 39). İş parçası ile elektrot arasında mekanik bir temas yoktur. İş ve elektrot dielektrik sıvıya gömülebildiği gibi, dielektrik sıvı elektrotlar arasına da püskürtülebilir.



Şekil. 39- **Elektroerozyon taşlama tezgahı prensip Şeması**

EDG de güç kaynağı olarak EDM de kullanılan devreler kullanılmaktadır. İşleme alanı daha küçük olduğu için düşük güç tercih edilmektedir. Tipik uygulamalar 40-80 volt, 0.5-15 A arasındadır. Kıvılcım aralığı 0.01-0.1 mm arasında değişir. Taşlama diski (elektrot) yüzey hızı 50-300 cm/s arasındadır.

Döner elektrot genellikle grafitten yapılır, pirinç ve diğer malzemeler de kullanılabilir. EDG ile elde edilen yüzeyler, aynı şartlarda EDM ile elde edilen yüzeylerden daha kalitelidir.

Elektrot aşınması hacimsel olarak EDM den fazladır. Ancak, dönen bir yüzey söz konusu olduğu için elektrot çapındaki eskime oldukça azdır. Normal şartlarda 0.001 mm kadar hassasiyet elde edilebilmektedir.

EDG genel olarak yavaş bir işlemdir. 0.1-1 cm^3/saat normal işleme hızıdır. EDG uygulaması şunları kapsar:

1. Çelik ve karbürlerin aynı anda taşlanması,
2. Kırılgan malzemelerin taşlanması,
3. Çok ince ve esnek parçaların taşlanması,
4. Bağlanması güç ve çok ince parçaların taşlanması,
5. Elmas kalemlerin pahalı olabileceği işler,
6. Silindirik parçalarda,
7. Çok yakın dar kanallar açmada,
8. Karmaşık kesitli parçaların taşlanmasında.

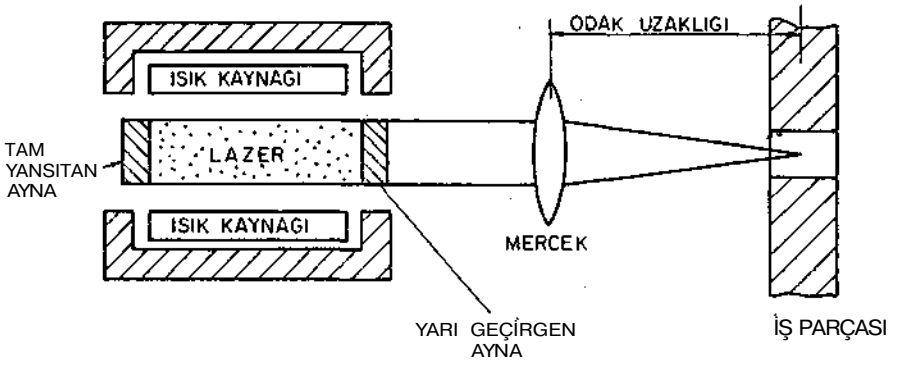
Yukarıdaki özel haller dışında EDG, ancak yardımcı işlem olarak kullanıldığında beklenen faydayı sağlayabilir.

Elektroerozyon ile taşlamada, EDM de görülen iş malzemesi yüzeyindeki değişiklikler de aynen görülür.

LBM: Laser **Işını** ile **İşleme**

LBM, önümüzdeki yıllarda çok yüksek kullanılma potansiyeli olan bir yöntemdir. Özellikle robot teknolojisinin gelişmesi ile giderek daha yaygın olarak kullanılacaktır. Laser sözcüğü, İngilizce "Light Amplification by Stimulated Emission on Radiation" deyiminin ilk harflerinden oluşur. Tek renkli ve dağılmayan (Max. dağılma açısı 10^{-2} - 10^{-4} rad) özelliğe sahip bir ışık demetidir. Bu özellikleri nedeni ile küçük bir alanda odaklaştınlabilir. Böylece çok yüksek enerji yoğunluklan (10^6 W/mm^2) elde edilebilir. Metallerin 10^4W/cm^2 enerji yoğunluklarında ergimesi ile işleme sağlanır. Odaklanmış laser etkisi altındaki malzeme yüzeyleri 8000 K sıcaklığa 0.0005 saniye sürede ulaşabilir.

Malzeme işlemede kullanılan laser türleri ve özellikleri Çizelge. 17 de verilmiştir.



Şekil. 40- LBM ilkeleri

Laser ışınının merceklerle odaklanması sonucu, laser malzemesine bağlı olarak dalga boylan mertebesinde çapa sahip yoğun enerjili ışın elde edilir (Şekil. 40). Böylesine küçük çaplı yoğun enerji kullanarak çok hassas şekilde malzeme işlemek mümkündür. Çok kullanılan metal ve metal olmayan malzemelerin yanında, her türlü komposit malzemeler, plastik ve seramik çeşitleri, olağanüstü özelliğe sahip süper alaşımlar LBM ile işlenebilir. Tungsten, doğal elmas, titanyum, alümina ve tantalum gibi diğer yöntemlerle işlenmesi çok güç olan bazı malzemeler de kolaylıkla işlenebilir. Çizelge. 18 de bazı malzemeler için LBM ile işlenebilme özellikleri verilmiştir.

Çizelge. 17- **LBM** için **Bazı Laser Türleri** ve **Özellikleri**

Laser	Dalga Boyu (nm)	Puls Tipi (*)	Uygulama
Argon	351-529	**CW**	Film kesine, yarı iletken işleme
He-Ne	633	**CW**	--------
CO_2	10600	**CW**	Isıl işlem, kaynak, kesine, delik delme, seramik işleme
		p	---------
Nd-Yağ	1064	**CW**	Kaynak, kenar traşlama, seramik işleme, elmas kesme
		p	Kaynak, delik delme
Yakut	694	p	Nokta kaynağı, delik delme
Nd-Cam	1064	CW, P	-------
Excimer	200-500	p	-------

(*) CW: Sürekli laser ışını, P: Kesikli laser ışını

LBM ile yapılan işlemler malzeme kesme ve delik delme olarak ikiye ayrılabilir. Her iki yöntemde de laser ışını malzeme yüzeyine odaklanmış olarak kullanılır. Malzeme yüzeyini odak noktasından uzaklaştırarak, yüzeyde ısıl işlem, metal kaplama ve laser ile kaynak işlemleri de yapılabilir.

Çizelge. 18- Bazı Malzemelerin LBM ile İşlenebilme özellikleri

Malzeme	Kalınlık (nm)	Kesme Hızı (m/dak)	Kesme Aralığı (mm)	Gerekli LBM Gücü (kW)
Kağıt	Gazete	>600	0.13	0.4
Kumaş	0.45 g/m^2	50	0.25	0.4
Kuartz	2.0	1.0	0.25	0.4
Fibercam	1.5	3.0	0.25	0.4
Ağaç	25	1.5	1.5	8.0
Sertleştirilmiş takım çeliği	3.0	1.7	0.2	0.4
18-8-1 Paslanmaz çelik	1.3	4.6	0.2	0.4
304 Paslanmaz çelik	4.7	1.27	2.0	0.4
Titanyum	1.0	7.5	0.5	0.6
Titanyum	9.5	25	büyük(*)	—

(•) Oksijen üflemeli

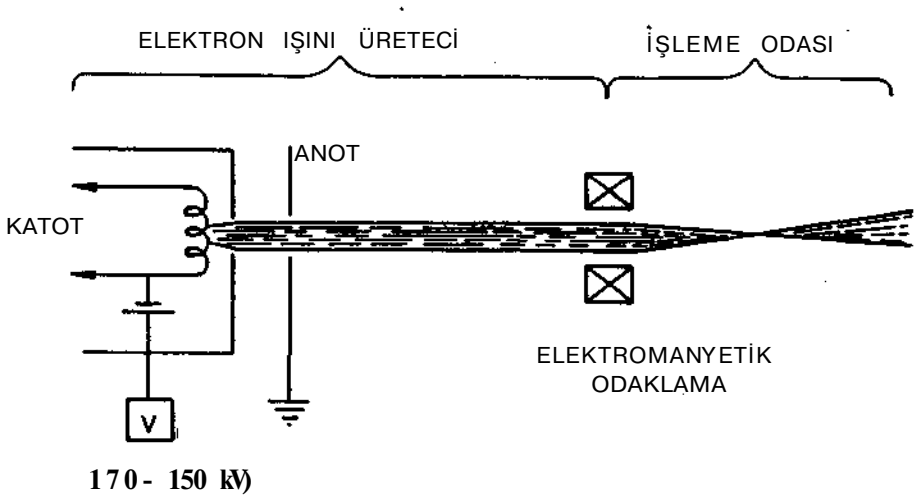
LBM teknolojisinin en önemli üstünlüklerinden birisi, işlemeye etki eden mekanik parçaların azlığıdır. Laser kaynağında üretilen laser ışını ayna ve mercekler kullanılarak yönlendirilir. Böylece pratik olarak laser ışını uzak mesafelere bile taşınabilir. Prizmatik aynalar kullanarak bir laser ışını, birkaç ışına ayrılabilir. Böylece bir laser kaynağı kullanarak, birkaç ayn merkezde malzeme işleme ya da kaynak ve ısıl işlem yapmak mümkündür. Laser ışınının hareketi ise mercek ve aynaların hareketi ile sağlanır. Işın tepki süresi, ayna ve merceklerin ataleti ile ilgilidir.

Bilgisayarların takım tezgahının kontrolunda kullanılması ile LBM, sac ve levha malzeme kesmede yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Çeşitli karmaşık profil şekiller, çapaksız ve temiz bir yüzey ile çok hassas şekilde kesilebilir. Robot teknolojisinin gelişmesi ile üç boyutlu şekillerin kesilmesi mümkün olmuştur. Örneğin derin çekme parçalar 3 boyutlu olarak LBM ile kesilebilir.

Küçük çaplı delik işleme, LBM in en önemli özelliklerinden birisidir. Kuramsal olarak LBM ile açılabilecek en küçük delik çapı, laser türüne göre, laser dalga boyuna eşittir. Böylesine küçük çaplı delik açmak, diğer yöntemlerle çok zor ve imkansızdır. Ayrıca ulaşılması güç yerlerde delik açmak ve işlemek LBM ile mümkündür.

EBM: Elektron Işını ile İşleme

EBM, vakum içinde elektrostatik alanda hızlandırılan elektronların enerjisinden yararlanarak malzeme işleyen bir yöntemdir (Şekil. 41). Elektron demeti malzeme yüzeyinde 10* kW/cm^2 mertebesinde enerji yoğunlukları oluşturur. Oluşturulan bu ortamda iş malzemesi ya yüksek sıcaklık nedeni ile buharlaşır ya da kimyasal tepkime ile işlenir. EBM ile 0.01 mm çapa kadar delikler, seramikler dahil çok çeşitli malzemeler üzerine işlenebilir. EBM uygulaması çok hassas kanallar açmak, gravür ve elektronik sanayiinde film işlemek, küçük çaplı derin delikler (200:1 derinlik: çap oranı) açmak gibi küçük boyutlu fakat hassas işler için uygundur. Özellikle orifis delikleri açmak, tel ve fiber çekme kalıplarının işlenmesi önemli endüstriyel uygulamalardır. Ancak, vakumda işleme zorunluluğu ile maliyet yüksektir. Birçok konuda LBM, EBM ye göre tercih edilen yöntemdir. EBM nin önemli üstünlüklerinden birisi çok küçük boyutlarda (birkaç nm dolaylarında) işleme olanağı vermesidir. Bu özellik EDM, ECM, vb. diğer yöntemlerce sağlanamamaktadır. EBM nin bir diğer üstünlüğü ise elektron ışınının tamamen elektromanyetik alan kontrolü altında hareket ettirilme özelliğidir. Böylece LBM de kullanıldığı şekilde mekanik hareketli optik düzen yerine, mekanik hareket tümüyle önlenmiş olmaktadır. LBM ile karşılaştırıldığında, EBM nin bir diğer üstünlüğü yüksek verimdir. LBM genellikle % 3-5 verimlilik ile çalışırken EBM nin verimi % 70 dolaylarındadır. Ayrıca, LBM ile işlenemeyen yansıma özelliği olan yüzeyler EBM ile sorunsuz işlenebilmektedir. Ekonomik olarak incelendiğinde, az sayıda aynı tür işler için LBM daha ucuz olmasına karşılık, çok sayıdaki işler için aynı ekonomik özelliklere sahiptir. EBM ile işlenmiş metal yüzeylerinde, EDM ile işlenmiş yüzeylere benzeyen metalurjik değişiklikler görülür. Bu değişiklikler önemli bir sorun yaratmazlar. EBM ile tipik malzeme işleme hızlan 0.1 mg/san. dolaylarındadır.



Şekil. 41- EBM ile işleme ilkeleri

IBM: İyon Işını ile İşleme

IBM, hızlandırılmış iyonların kinetik enerjisinden yararlanarak malzeme işleyen bir yöntemdir. Temel malzeme işleme mekanizması ısıl olmayıp dinamik bir olaydır, iyonların yüksek hızda (2/3 ışık hızı) malzeme yüzeyine çarpması ile malzeme yapısı içindeki atomlar yer değiştirir, tyon ışını atomları (örneğin Ar atomları) malzeme kristal yapısı içine yerleşirler. Bu arada yer değiştiren iş malzemesi atomlarının bir kısmı malzeme yüzeyinden sıçrayarak malzemeden koparlar (IBSM). Kimyasal tepkimeye giren iyon ışınlan kullanılması ya da kimyasal tepkimeye girebilen gaz ortamında argon iyonları kullanılması halinde çok net ve yüksek ayrıntıda işlemek mümkündür (RIBE). Malzeme iyonları arasına iyon ışınından iyonların yerleşmesi (tohumlama) ile elektronik sanayiinde kullanılan çok önemli bir yöntem elde edilmiş olur **(IBIP).**

tyon ışını ile iş malzemesinin yüzey yapısında önemli değişiklikler elde edilir. Böylece malzemenin tribolojik ve korozif özelliklerini iyileştirmek mümkündür. RIBE ile maske (elektronik devre yapımında) ve direnç film yapımında çok yüksek ayrıntıda şekiller elde edilebilir. Bu nedenle çok daha küçük boyutlu yapım gerçekleştirilir, tyon ışını ile bütün malzemeleri (metal, seramik ve polimerler) işlemek, tohumlamak ve yüzey özelliklerini geliştirmek mümkündür.

PAM: **Plasma** ile İşleme

PAM, plazma halindeki gazın ısıl enerjisini kullanarak malzemeyi ergiten ve ergimiş malzemeyi gaz basıncı ile üfleyip yakarak malzeme işleyen bir yöntemdir. Paslanmaz çelik, monel ve diğer süper alaşımları kesmekte kullanılır. Plazma sıcaklıkları 20 000 C ye kadar çıkabilir. Tungsten (katot) elektrot ile iş parçası (anot) arasında oluşturulan plazma jetine dönüştürülür. Tipik orifis alanları 6-30 mm^2 dolaylarındadır. Böylece oluşan plazma 100 mm ye kadar malzemeleri kesmekte kullanılır. Yöntem % 45 verimlilik ile çalışır. Gaz olarak argon ya da azot ile hidrojen karışımı kullanılır. Plazma çevresinde de gaz (N2, hava, O2, CO2, Ar, H_2) ya da su kullanılır. Tipik malzeme işleme hızlan 10-100 cmVdak dolaylarındadır. PAM her türlü sac/levha kesme işlerinde, sualtı kesme işlerinde kullanılır. Plazma sıcaklığı nedeni ile yüzeyde 0.5-1 mm kalınlığında sıcaklıktan etkilenmiş bir katman oluşur.

PAM bazı uygulamalarda torna ya da planya işlemlerine benzer şekilde de kullanılır. Ancak, işlenmiş yüzeyler çok kabadır. Ancak, geleneksel yöntemlerle işlenemeyecek kadar sert malzemeler için uygundur.

PAM a benzer bir yöntem de PaM dir (Plazma yardımlı işleme). Torna, planya, vargel, freze, vb. tezgahlara kesici takımın hemen önüne plazma jeti verilerek işleme hızı (10 kat) arttırılır. Böylece çok sert malzemeler işlenebilir. Kesici kalem olarak genellikle seramik ve cennet kalemler kullanılır. PaM genellikle büyük boyutlu işler için uygundur. PaM ile PAM arasındaki fark ise uygulanan sıcaklık değerlidir.

KAYNAKÇA (*)

A. GENEL

(1) BELLOWS G., **Nontraditional Machining Guide,** Machinability Data Center, Publ. No: MDC 76-101, 1976, 7 Op.

(2) SPRINGBORN R.K., **Non-traditional Machining Processes,** ASTME, 1967,178 p.

(3) PANDEY P.C. & SHAN H.S., **Modern Machining Processes,** Tata McGraw-Hill Publ. Co. New Delhi, 1980, 168 p.

(4) BELLOWS G. AND KOHLS J.B., Drilling Without Drills, **American Machinist,** Special Report 743, March 1982, pp. 173-188

(5) Metals Handbook, American Society for Metals, 1967

(6) SNOEYS R., STAELENS F., DEKEYSER W., Current Trends in Non-Conventional Material Removal Processes, **Annals of the ÇIRP,** v. 35, n. 2,1986, pp. 467-480

(7) WELLER E.J., **Nontraditional Machining Processes,** SME, 1984, 273 p.

B. MEKANİK ENERJİ KULLANAN YÖNTEMLER

(8) DROZDA T.J., Mechanical Nontraditional Processes, **Manufacturing Engineering,** July 1983, pp. 61-64

(9) SHEPPARD L.M., Machining of Advanced Ceramics, **Advanced Materials and Processes Inc. Metal Progress,** Dec. 1987, pp. 40-48

(10) KAZANTSEV V.F. and ROSENBERG L.D., The Mechanism of Ultrasonic Cutting, **Ultrasonics,** Oct.-Dec. 1965, pp. 166-174

(11) NEPPIRAS E. A., Ultrasonic Machining and Forming, **Ultrasonics,** Oct.-Dec. 1964. pp. 167-173

(12) KAINTH G.S., NANDY A., SINGH K., On the Mechanics of Material Removal in Ultrasonic Machining, **Int. J. Mach. Tool Des. Res.,** v. 19,1979, pp. 33-41

(13) ANON, Ultrasonics gets bigger jobs in machining and welding, **Iron Age,** Sept. 1976, pp. 69-72

(14) ANON, Ultrasonic machining, **Tooling and Production,** July 1967, pp. 67-69

(15) ERDEN A., Ultrasonic İşleme, **ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi,** c. 3, s. 9,1983,22p

(16) MİLLER G. E., Special Theory of Ultrasonic Machining, **Journal of Applied Physics,** v. 28. n. 2, Feb. 1957, pp. 149-156

(17) ÖZKAN Z.L., Pratik Sonotrod Tasarımı, **2. UMTİK Bildiri Kitabı,** Eylül 1986, ODTÜ, pp. 199-207

(18) ROZENBERG L.D., et al **Ultrasonic Cutting,** Consultants Bureau, New York, 1964

(19) DALLAS D.B., The New Look of Ultrasonic Machining, **Manufacturing Engineering and Management,** Feb. 1970, pp. 40-42

(20) PENTLAND W. and EKTERMANIS J.A., Improving Ultrasonic Machining Rates-Some Feasibility Studies, **Journal of Engineering for Industry,** Feb. 1965, pp. 39-46

(21) KHAIRY A.B.E., Assessment of some dynamic parameters for the Ultrasonic Machining Process, **Wear,** v. 137, n. 2, 1990, pp. 187-198

(22) ENSMINGER D., Applications of High Intensity Ultrasonics based on Mechanical Effects, **Ultrasonic Waves,** eh. 12, 1988, pp. 438-444

(23) VETTER T., Werkstoffbearbeitung mit Ultraschall, **Metali,** 20 Jahrgang, Okt. 1966, Heft 10, pp. 1073-1078

(*) Bu kaynak yayın listesinde, El Kitabı için seçilmiş örnek yayınlar vardır. Daha kapsamlı yayın listesi için "Prof. Dr. Abdülkadir Erden, ODTÜ, Makina Müh. Böl., 06531 ANKARA" adresine başvurulması...

(24) VETTER T., Sonderverfahren der Fertigungstechnik, **Metali,** 22 Jahrgang, Aug. 1968, Heft 8, pp. 825-831

(25) PAHLITZSCH G. und YOUSSEF H., Werkzeug und Lappmittelverscheiss beim Strosslappen mit Ultraschallfrequenz, **Metali,** 22 Jahrgang, Feb. 1968 Heft 2, pp. 103-108

(26) SPIOTTA R.H., Abrasive Flow machining wipes out burrs, improves surfaces, maintains tolerances, **Machine and Tool Blue Book,** Feb. 1976, pp. 80-87

(27) BRAKER A., Twenty ways to tame the wild burr, **Tooling and Production,** Aug. 1985, pp. 57-61

(28) ERDEN A., Aşındırıcı toz jeti ile işleme, **Mühendis ve Makina,** c.24, s. 289, Aralık 1983, s.4-9

(29) VENKATESH V.C., Parametric Studies on Abrasive Jet Machining, **Annals of the ÇIRP,** v. 33, n. 1, 1984, pp. 109-112

(30) VERMA A.P. and LAL G.K., An experimental study of Abrasive Jet Machining, **Int. J. Mach. Tool Des. Res,,** v. 24, n. 1, pp. 19-29

(31) TSUWA H., IKAWA N., MORI Y., SUGIYAMA K., Numerically Controlled Elastic Emission Machining, **Annals of the ÇIRP,** v.28, n.l, 1979, pp. 193-197

(32) OLIKER V.E., GRIDASOVA T., SHLYUKO V., ZHORNYAK A.F., Theory of the magnetic reactions occuring in abrasive machining with ferromagnetic powder, **Transl. Poroshkovaya Metallurgiya,** n.ll (263), pp. 871-874

(33) HASHISH M., Turnıng With Abrasive-Waterjets. A First Investigation, **Trans. ASME, Journal of Engineering for Industry,** v. 109, Nov 1987, pp. 281-290

(34) HASHISH M., A Modelling Study of Metal Cutting With Abrasive Waterjet, **Trans. ASME, J. Eng. Math. and Tech.,** v. 106, Jan. 1984, pp. 88-100

(35) HITCHCOX A.L., Vote of Confidence for Abrasive Waterjet Cutting, **Metal Progress,** July 1986, pp. 33-42

(36) HASHISH M., Cutting with abrasive \vaterjets, **Mechanical Engineering,** March 1984, pp. 60-69

(37) BRAHNEY J. H., Cutting aerospace stnıctures with water, **Aerospace Engineering,** March 1987, pp. 4-9

(38) LESLIE E.N., Automed Water Jet Cutting, **Mechanical Engineering,** Dec. 1976, pp. 40-44

(39) BEHRINGER-PLOSKONKA A.C., Waterjet cutting - a Technology Afloat on a Seam of Potential, **Manufacturing Engineering,** Nov. 1987, pp. 37-41

(40) ANON, Cutting with high-pressure water jets, **Plastics Machinery and Equipment,** March 1980, 3p

(41) DeMEIS R., Cutting Metal with water, **Aerospace America,** March 1986, pp. 22-23

(42) OLSEN J., Cutting by Waterjet, **SME Tech. Paper,** No. MR80-902, pp. 22-23

(43) JACQUES M.E. and KURKO M.C., Machining with high velocity hydraulic jets, **Hydraulic and Pneumatics,** Feb. 1971, pp. 56-58

C. KİMYASAL ENERJİLİ YÖNTEMLER

(44) HARRIS W.T., **Chemical Milling,** Oxford Unıversity Press, 1976

(45) DİNİ J.W., Fundementals of Chemical Milling, **American Machinist,** Special Report 768, July 1984, pp. 115-128

(46) DROZDA T.J., Chemical Nontraditional Machining Processes, **Manufacturing Engineering,** August 1983, pp. 55-57

(47) EYETT K. and BAUERLE D., Laser-induced Chemical Etching, **Applied Physic A 40,** 1986, pp. 235-239

(48) WILSON J.F., **Practice and Theory of Electrochemical Machining,** Wiley-Interscience, 1971

(49) DEBARR A.E. and OLIVER D.A., **Electrochemical Machining,** American Elsevier Publ. Co. 1968

(50) Mc GEOUGH J. A., **Principles of Electrochemical Machining,** Chapman and Hail, 1974

(51) HOFSTEDE A. and BREKEL J.W.M., Some Remarks on Electro-chemical Turning, **Annals of the ÇIRP,** v. 18, 1970, pp. 93-106

(52) CHABRIAL S.R., NASSER A.A., EBEID S.J. and HEWEIDY M.S., Electrochemical Wire Cutting, **Proc. 24th MTDR Confc,** 1983, pp. 323-328

(53) JAIN V.K. and PANDEY P.C., Corner Reproduction Accuracy in Electro-chemical Drilling (ECD) of Blind Holes, **Trans. ASME, Journal of Engineering Industry,** v. 106, Feb. 1984, pp. 55-61

(54) BANNARD J., Fine Hole Drilling using Electrochemical Machining, **Proc. 19th MTDR Conf.,** 1978, pp. 503-510

(55) TSUCHIYA H., INOUE T. and MIYAZAKI M., Wire Electro-chemical discharge Machining of Glasses and Ceramics, **Bull Japan Soc. of Proc. Eng&,** v. 19, n. 1,1985, p. 7374

(56) DATTA M. and LANDOLT D., Electro-chemical machining under pulsed current conditions, **Electrochimica Açta,,** v. 26, n.7,1981, pp. 899-907

(57) KARGIN G.V., Electrochemical Shaping using tubular section cathode tools, **Russian Engineering Journal,** v. 55, n. 4,1975, pp. 73-74

(58) LANDOLT D., Mechanismtische Gesichtspunkte der elektrochemischen Metallbearbeitung, Chem-**ie- Ing. Techn.,** 45 Jahrg. Nr. 4,1973, pp. 188-194

(59) KONIG W. and LINDENLAUF P., ECM-Stand und Entwicklung, **Industrie-Anzeiger,** 98, Jg. Nr. 102, v. 22,1976, pp. 1831-1837

(60) DROZDA T.J., Electrical Nontraditional Machining Processes, **Manufacturing Engineering,** June 1983, pp. 49-51

(61) DIETZ H., FUNTHER K.G., OTTO K., STARK G., Electrochemical Turning, Considerations on Machining Rates which can be attained, **Annals of the ÇIRP,** v. 28, n. 1, 1979, pp. 93-97

(62) JAIN V.K., YOGINDRA P.G. and MURUGAN S., Prediction of Anode Profile in ECBD and ECD Operations, **Int J. Mach. Tool Des. Res.,** v. 27, n. 1,1987, pp. 113-134

(63) BROOK P.A., The electrochemistry of electrochemical machining, **Metals and Materials,** Sept. 1969, pp. 359-363

(64) PHILLIPS R.E., ECG: Combining Electrochemical Attack and Abrasion, **Manufacturing** Engi-**neer,** Deç. 1986, pp. 46-48

(65) KAWAFUNE K., Studies of Electrochemical Machining, **Bulletin of JSME,** v. 11, n. 45, 1986, pp. 469-554

(66) KONIG W. and PAHL D., Accuracy and Optimal Working-Conditions in Electro-chemical Machining, **Annals of the ÇIRP,** v. 18,1970, pp. 223-230

(67) IPPOLITO R. and FASOLIO C, The vorkpiece shape in the Electrochemical machining of external profiles using coated electrodes, **Int J. Mach. Tools Des. Res.,** v. 16,1976, pp. 129-136

(68) EL-DARDERY M.A., Economic study of Electrochemical Machining, **Int J. Mach. Tool** Des. **Res.,** v. 22, n. 1,1982, pp. 147-158

(69) JAIN V.K. and PANDEY P.C., Tooling design for ECM, **Precision Engineering,** 1980, pp. 195-205

(70) JAIN V.K. and PANDEY P.C., Tooling Design for ECM-A Finite Element Approach, **Trans. ASME, Journal of Engineering for Industry,** v. 103, May 1981, pp. 183-191

E. ISIL ENERJİ KULLANAN YÖNTEMLER

(71) ANON, Troubleshooting EDM, **Manufacturing Engineering,** July 1988, pp. 65-71

(72) ERDEN A., Role of Dielectric Flushing on Electric Discharge Machining Performance, **Proc. 23rd. M.T.D.R.,** UMIST, 1982, pp. 283-289

(73) ERDEN A., Effect of Materials on the Mechanism of Materials and Technology, **Tran. ASME, Journal of Engineering for Industry,** v. 105, n.2, pp. 132-138,1983

(74) DAVW D. F., SNOEYS R., DEKEYSER W., Advanced Pulse Discriminating System for EDM Process Analysis and Control, **Annals of the ÇIRP,** v. 32, n. 2, pp. 541-549,1983

(75) JILANI S.T., PANDEY P.C., Experimental Investigations into the performance of water as dielectric in EDM, **Int J. Mach. Tool Des. Res.,** v. 24, n.l, pp. 31-43, 1984

(76) HATSCHEK R.L., EDM, Update 1984, **American Machinist,** Special Report 764, March 1984

(77) CARTER G.A., JERGAS I., Elektroden für die Funkenerosion. **Werkstatt und Betrieb,** v. 113, n. 5, 1980, pp. 313-316

(78) ERDEN A., KAFTANOĞLU B. ,Heat Transfer Modelling of Electric Discharge Machining, **Proc. 20th MTDR,** pp. 351-357,1980

(79) HUNTRESS E.A., EDM Orbiters, **American Machinism,** July 1980, pp. 105-107

(80) WELLBANK J., Effect of EDM on Material properties of die steels, **Metallurgia,** July 1980, pp. 356-362

(81) QUINLAN J.C., What's new in EDM, **Tooling and Production,** March 1987, pp. 40-49

(82) LHIAUBET C, BENZERGA L., BOYER L., Influence of a variable pressure field in the dielectric on material removal by Electrical Discharge Machining, **ASME, WAM Meeting,** Anaheim 1986

(83) PANDEY P.C. and JILANI S.T., Plasma channel growth and the resolidified layer in EDM, **Precision Engineering,** v. 8, n. 2, pp. blO4-l 10, April 1986

(84) KRUTH J.P., Steps Towards an Integrated CAD/CAM System for Mould Design and Manufacture: Anisotropic Shrinkage, Component Library and Link to NC Machining and EDM, **Annals of the ÇIRP,** v. 35, n. 1, pp. 83-87,1986

(85) KAGAYA K., OISHI Y., YADA K., Micro-electrodischarge machining using water as a vvorking fluid, **Precision Engineering,** v. 8, n.3, July 1986, pp. 157-162

(86) SAITO K., KISHINAMI T., KONNO H., ŞATO M., Development of Numerical Contouring Control Electric Discharge Machining (NCC-EDM), **Annals of the ÇIRP,** v. 35, n. 1, pp. 117-120,1986

(87) WECK M., SLOMKA M., Adaptive Regelung des Senkerodierens, **VDI-Z,** Bd. 127, n. 9, pp. 319-323,1985

(88) BUCKLOW I.A. and COLE M., Spark Machining, **Metallurgical Reviews,** v. 14, n. 135, pp. 103-117,1965

(89) MIRONOFF N., Electro-erosive metal vvorking, its physical fundementals and industrial application, I, II, III, **Microtechnics,** v. 19, n. 3, pp. 149-153, n. 4, pp. 171-177, n. 5, pp. 253-258,1965

(90) READYJ. F., Material Processing-An Overview, **Proc. IEEE,** v. 70, n. 6, June 1982, pp. 533-544

(91) BANAS CM., WEBB R., Macro-Materials Processing, **Proc. IEEE,** v. 70, n. 6, June 1982, pp. 556-565

(92) COHEN M.G., KAPLAN R.A., ARTHERS E.G., Micro-Materials Processing, **Proc. IEEE,** v. 70, n. 6, June 1982, pp. 545-555

(93) VACCARI A.J., The Laser's edge in metalworking, **American Machinist,** Special Report 768, Aug. 1984, pp. 99-110

(94) OGOREK M., FARNUM G.T., Lasers: The Light Touch for Industry, **Manufacturing Engineering,** Sept. 1985, pp. 71-78

(95) VACCARI J., Teaming lasers and Robots, **American Machinist and Automated Manufacturing,** Special Report 794, May 1987, pp. 85-96

(96) MEYER B.E., FURRER A.M., Three-Dimensional Laser Cutting, **Industrial and Production Engineering,** v. 12, n. 2, 1988, pp. 82-86

(97) LEMMOND C.Q., STAUFFER L.H., Energy beams as vvorking tools, **IEEE Spectrum,** July 1964, pp. 66-80

(98) KOELSCH J.R., Industrial Lasers, **Production Engineering,** Sep. 1985, pp. 50-54

(99) CHARSCHAN S.S., Lasers as Production Tools, **IEEE Trans.** , v. IECI-22, n. 1, Feb. 1975. pp. 3-8

(100) SCHACHRAI A., LONGO M.C., Application of High Povver Lasers in Manufacturing, **Annals of the ÇIRP,** v. 28, n. 2, 1979, pp. 457-471

(101) HAUN Jr. R.D., Laser Applications, **IEEE Spectrum,** May 1968, pp. 82-92

(102) GAGLIANO F.P., LUMLEY R.M., WATKINS L.S., Lasers in Industry, **Proc. IEEE,** v. 57, n. 2, Feb 1969, pp. 114-135

(103) PAHLITZSCH G., VISSER A., Wirkweise des Werkstoffabtrages mittels Elektronen-und Photonen (Laser) -Strahlen, **VDI-Z,** v. 110, n.25, Sept. 1968, pp. 1111-1120

(104) FAGENBAUM J., The Laser-Form Scientific Novelty to practical Industrial Tool, **Mechanical Enginering,** Sept. 1983, pp. 30-37

(105) HODGE D., Stainless Steel Profiling a review, **Sheet Metal Industries,** Jan. 1980, pp. 37-40, 69

(106) ZNOTINS T., POULIN D., REID J., Excimer Lasers. An emerging Technology in Materials Processing, **Laser Focus/Electro-Optics,** May 1987, pp. 54-74

(107) SWENSON E.J., Some Present and Future Applications of Laser Processing-An Overview, **Solid State Technology,** Nov. 1983, pp. 156-158

(108) MISKA K.H., Looking at Lasers, **Manufacturing Engineering,** Jan. 1990, pp. 69-72

(109) BOHME D., Five-axis laser robots for materials processing, **The Industrial Robot**, Mar. 1989, pp. 41-45

(110) FARNUM G.T., Microdrilling: The Expanding Market for Small Holes, **Manufacturing Engineering,** July 1986, pp. 28-34

(111) HORNING R.J., Succesful Five-axis Laser, Machining, **Manufacturing Engineering,** May 1987, pp. 55-58

(112) MOORHEAD A.J., Laser Welding and Drilling Applications, **Welding Journal,** Feb. 1971, pp. 87-106

(113) WARNECKE H.J., HARDOCK G., Laserbearbeitung zur flexiblen Blechteilefeitigung, **VDI-Z,** Bd. 127, Nr. 17, Sept. 1985, pp. 681-686

(114) SKUBICH J., STOCKERMANN T., Laser-und Elektronenstrahlbearbeitung in der Fertigung, **Werkstatt und Betrieb,** 108. Jahr. Heft 7, July 1975, pp. 425-440

(115) OAKLEY P.J., Laser Heat Treatment and Surfacing Techniques, A Review, **The Welding Institute Research Bulletin,** v. 22, Jan. 1981 pp. 4-11

(116) CHANG D.U., Laser Material Processing, **SME,** Paper No:850406,1986, pp. 3.271-286

(117) PALITZSCH G., EISLEBEN U., Bearbeitung von Werkstoffen mit Laserstrahlen, **Metali,** 26 Jahngaug, Haft 10, Okt. 1972, pp. 991-996

(118) FRONTZEK H., SCHLAGAN S., Laseranvvendung in der Blechbearbeitung, **Werkstatt und Betrieb,** v. 118, n. 6, 1985, pp. 306-313

(119) PAHLITZSCH G., VISSER A., Studien zum Werkstoffabtrag durch energieneiche Elektronenstrahlen, **Annals of the ÇIRP,** v. 13, pp. 147-155, 1966

(120) BERTELE H., Die Entwicklung der Material bearbeitung durch Elektronenstrahlen, E **und** M, Jahrgang 94, Heft 8, pp. 323-336, 1976

(121) DREW, J. Electron Beams Tackle Tough Machining Jobs, **Machine Design,** Feb. 26 1976, pp. 94-98

(122) BREWER G.R., (Ed), **Elecktron Beam Technology in Microelectronic Fabrication,** Academic Press, 1980, pp. 365-437

(123) DEARNALEY G., HARTLEY N.E.W., Ion Implantation into Metals and Carbides, **Thin Solid Films,** v. 54, pp. 215-232, 1978

(124) STROUD P.T., Ion Bombardment and Implantation and their Application to Thin Films, **Thin Film Solids,** v. 11, pp. 1-26, 1972

(125) HARTLEY N.E.V/., Friction and Wear of Ion-Implanted Metals, A review, **Thin Film Solids,** v. 64, pp. 177-190, 1979

(126) DEARNALEY G., Applications of Ion Implantations in Metals, **Thin Film Solids,** v. 107, pp. 315-326, 1983

(127) KAUFMAN H.R., READER P.D., ISAACSON G.C., Ion Sources for Ion Machining Applications, **AIAA Journal,** v. 15, n.6, pp. 843-847, 1977

(128) TANIGUCHI N., YOSHIMOTO S., MIYAMOTO I., Ion Sputter-Machining of Iron and Steel, **Annals of the ÇIRP,** v. 24, n. 1, pp. 125-130, 1975

(129) COLLIGON J.S., Surface Modification by ion beams, **Vacuum,** v. 36, n. 7-9, pp. 413-418, 1986

(130) ARMOUR D.G., Ion Implantation, **Vacuum,** v. 37, n. 56, pp. 423-427, 1987

(131) MIYAMOTO I., DAVIES S.T., KAV/ATA K., Sharpening diamond tools having an apex angle of less than 60 with a low energy Ion Beam, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,** v. B39, pp. 696-699

(132) MIYAMOTO I., Ultra fine finishing of diamond tools by ion beams. **Precision Eng.** v. 9, n. 2, pp. 71-78, 1987

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ EL KİTABI

ÜRETİM ve TASARIM

Cilt 2

Baskıya Hazırlayan
A. Münir CERİT
Makina Yük. Mühendisi

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

YAYIN NO.: 170

2. BASKI

SUAT SEZA/ GÜRÜ'nün anısına

Koordinasyon

MMO Kitap Komisyonu
Ali Münir CERİT
Prof. Dr. Alp ESÎN
Doç. Dr. Kahraman ALBAYRAK
Bilal BAYRAM

BÖLÜM 16

YÜZEY İŞLEMLERİ

Hazırlayan

Hikmet YAŞAR, Kimya Yük. Mühendisi, MKEK - Ankara

	Sayfa
1. Genel Bilgiler ve Tanımlar	02
2. Metalik Yüzeylerin Durumları	02
3. Temizlik Yöntemleri	03
4. Kimyasal Dönüşüm İşlemleri	07
5. Elektrolitik Dönüşüm İşlemleri	10
6. Boyalar ve Boyama Teknolojisi	12
7. Diğer Tabaka Uygulaması	15
8. Elektrolitik (Elektro) Metal Kaplama	16
9 Kadmiyum Kaplama	21
10. Çinko Kaplama	22
11. Bakır Kaplama	23
12. Pirinç Kaplama	24
13. Nikel Kaplama	25
14. Krom Kaplama	26
15. Kalay Kaplama	27
16. Gümüş Kaplama	28
17. Altın Kaplama	29
KAYNAKÇA	30
İLGİLİ TSE STANDARTLARI	30

YÜZEY İŞLEMLERİ

1. GENEL BİLGİLER VE TANIMLAR

Giriş

Bir mekanik parça, bir bütün ya da birim, son biçimlendirilmesi yapıldıktan sonra işlevini henüz tam olarak sürdürebilecek nitelikte değildir. Üretimin tamamlayıcısı sayılan ve değerini arttıran herhangi bir yüzey işlemi mutlaka gereklidir.

Yüzey işleminin seçimi tasarımla ilgili olup bu işlem ürüne çok defa korozyon direnci ve dekoratif görünüm kazandırmayı, bazı hallerde de onun mekanik, termik, elektriksel, foto elektrik, foto termik, lehimlenebilme gibi niteliklere sahip olmasını amaçlar.

Her yüzey işlemi iyi bir yüzey hazırlama ve temizlikten sonra uygulanır. Temizlemeden sonra da uygulanacak işleme kadar yüzeylerin temiz kalmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır.

Yüzey işlemleri ürünün yapıldığı malzemeye ve tasarım isteklerine göre çeşitli sekilerde uygulanır.

Uyanlar

Boyanmayacak Yüzeyler:

Vidalar, kayar yataklar, dişliler, kontaklar, diğer elektrikli bağlantı elemanları, plastik-lastik parçalar, bağlama parçalan, izolotörler, delik yüzeyler ve yağlama yerleri boyama işlemine verilmezler.

Birleştirilecek Parçalar :

Katlı dikiş, civata ya da perçinle birleştirilecek parçalar önceden yüzey işlemi görmüş olmalıdır. Zorunlu hallerde komple edildikten sonra işlem gören ürünler 150°C dolayında fırınlanarak asit artıklarının uzaklaşması sağlanmalıdır. Saplama, perçin ve vidalı bağlama elemanları inceltilmemiş çinkokromat astarla işlemden hemen sonra, yaş iken, yerlerine takılmalıdır.

Farklı metallerin birbiriyle temasta olduğu tasarımlardan mümkün olduğu kadar kaçınmalıdır. Zorunlu hallerde galvanik korozyonu önlemek için yalıtkanlık kazandırıcı yüzey işlemine başvurmalıdır.

Hidrojen Kırılganlığı :

Metallerin asitle temizlenmelerinde olduğu gibi çeşitli ortamlarda hidrojenin atom halinde metalik yüzeyden iç kısımlara doğru emilmesi ve daha sonra da H2 molekülleri halinde yüzeyden ayrılmaya yatkın olması büyük bir iç basınç doğurur ki buna hidrojen kırılganlığı denir. Genelde elektrometal kaplamadan sonra yüzey işlemini bozmayacak bir sıcaklıkta ısıl işlem ya da yaşlandırma ile hidrojen kırılganlığı giderilmelidir (Bak. Kadmiyum kaplama).

Tesisler:

Tesisler ya da işlem birimleri mekanik atelyelerden ayrı bir bölümde, yüzey işlemlerinin gerektirdiği biçimde tasarımlanarak kurulurlar.

Sulu sistemlerle çalışılan yerlerde güvenlik için 42 voltla çalışılır. Diğer güvenlik kurallarına da uyulur

Kapasite seçimlerinde işletmenin genişleme durumu da göz önünde bulundurulur.

2. METALİK YÜZEYLERİN DURUMLARI

Üretim yöntemlerine ve ambarlama koşullarına bağlı olarak metalik parça yüzeyleri çeşitli görünümlerde olurlar:

Yeni Üretilmiş Parça Yüzeyleri

- Talaşlı işlemeden ötürü yağlı, bekletilmişse ayrıca tozludur,
- Sıvama, haddeleme, soğuk fışkırtma, derin çekme gibi işlemlerden geçmesinden ötürü sabun, Bonder, Molikot gibi yardımcı maddelerle kirlenmiştir,
- Üretimden hemen sonra kısa süre koruma amacıyla bazı patent filmlerle kaplanmıştır.

Hafif Paslı ya da Oksitli Parça Yüzeyleri

Metal parça yüzeyinde kısmen ya da bütün yüzeyi kaplayacak şekilde pas ya da oksit bulunur.

Kalın Oksitli (Tufalli) ya da Kızdırılmış Paslı Parçalar

Sıcak dökme, sıcak fışkırtma, sıcak derin çekme gibi işlemlerle parça yüzeyinde çok kararlı siyah oksit

(Tufal) oluşabilir. Ayrıca paslı bir parça herhangi bir nedenle ısıtılacak olursa, yüksek sıcaklıkta yüzeydeki pas kararlı hale geçer.

Eskimiş Boyalı, Laldı ya da İşlemli Parça Yüzeyleri

Boya ve lak bileşimindeki reçineler uzun süre açık havada kaldığında daha da kararlı hale geçer. Genelde hurda eşyanın değerlendirilmesi ile temizliği söz konusu olmaktadır.

Çok Sert ve Gerilmeli Parça Yüzeyleri

Görünüşte yüzeylerin temiz olmasına rağmen, gerilme giderici ısıl işlem uygulanması sırasında yüzey oksitlenir. Bu oksitlenmeyi engelleyecek önlem (koruyucu gaz atmosferi gibi) alınmalıdır.

3. TEMİZLEME YÖNTEMLERİ

Paragraf 2 de belirtilen yüzeylerin ağırlık derecelerine göre değişik temizleme yöntemleri uygulanır. Bu yöntemlerin başhcaları aşağıda verilmiştir :

Mekanik Temizleme

Özellikle kalın oksitli (tufallı) ya da kızdınlmış paslı parça yüzeyleri için ilk kademe temizleme yöntemidir. Mekanik temizleme sonunda yüzeyde kalan toz ve diğer kirliliklerin giderilmesi için kimyasal temizleme gerekilidir.

Mekanik temizlemeler de değişik sistemlerde uygulanır :

Kum Püskürtme

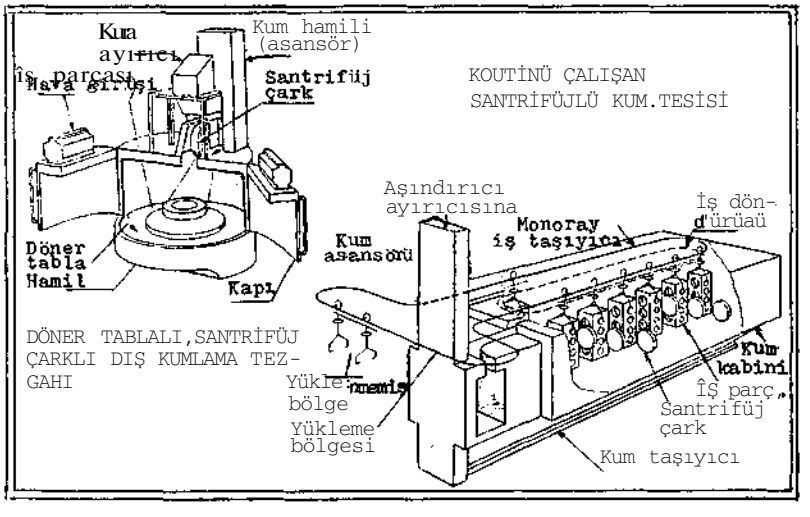
Kum püskürtme, genelde 6-7 bar hava basıncı kullanılarak, aşındırıcı niteliğinden yararlanılan bazı sert taneciklerin iş parçaları üzerine kapalı sistemde püskürtülmesi ve parça yüzeylerinin temizlenmesidir. Sistemin elle ve otomatik uygulamalan olup dış kum püskürtme, iç kum püskürtme gibi çeşitleri vardır. Şekil. 1 de kumlama düzeneği örnekleri görülmektedir.

Dış kum püskürtmede bir ambardan santrifüj çarkına dökülen kum tanecikleri yüksek devirden dolayı hızla iş parçalan üzerine yönlenirler, iç kum püskürtme ise çok sert (sinter ya da hava çeliği) bir lüleden basınçlı hava yardımıyla çıkan tanecikler iş parçalannın iç kısımlannı temizler.

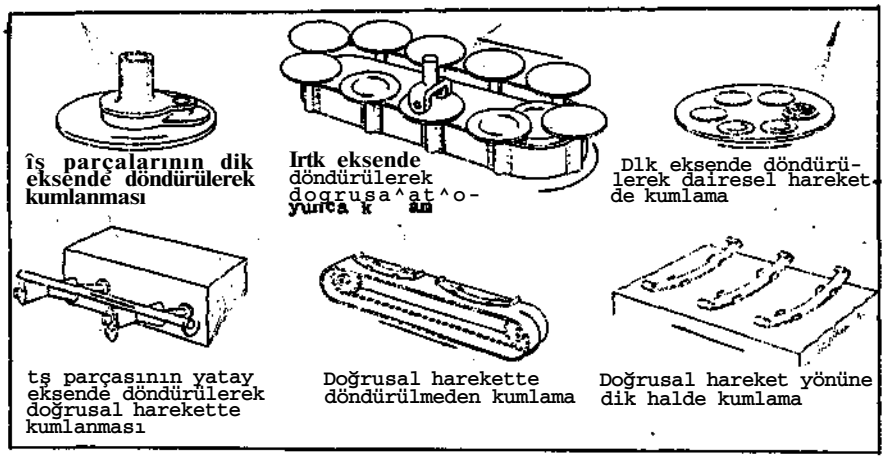
Çelik kum genelde 1-2 mm ölçüsünde, yuvarlak ya da köşeli, vasıflı çelik, temper döküm gibi malzemelerden yapılabilir. ASTM ya da DİN standardlarına göre seçilebilir.

Kum püskürtmede kullanılan zımpara taşı tanecikleri de 0,2 - 0,3 mm boyutunda (ABD Elek No : 80-50) etkin olarak kullanılabilirler.

Cam tozu da çok dahn ince olmak kaydıyla, özellikle alüminyum ve pirinç malzeme için iyi bir yüzey hazırlayıcıdır.



Şekil.l- Çeşitli kumlama düzenekleri



Şekil.,2- Çeşitli kumlama biçimleri

Tamburlama

İş parçalarının özel biçimli tamburlarda bazı aşındıncı maddelerle birlikte nisbeten düşük devirlerde döndürülerek yüzeylerinin temizlenmesi ve çapaklarının alınması işlemidir.

Tamburlama işleminde parçaların küçük olması halinde erim çok büyüktür. Zira tambur yan hacmına kadar iş parçalan ve aşındıncı ile doldurulabilmektedir. Tamburlanacak parçalar büyüdükçe tamburların hacmi da artar, dolayısıyla gürültü fazlalaşacağından tesisin iç cidarlannın lastikle kaplanması ve kapalı yere alınması gerekir.

Aşağıdaki çizelgede değişik metallerin tamburlanmalannda aşındırıcı tipleri görülmektedir.

Çizelge.l- Tamburlamada Aşındırıcılar

Aşındırıcı	TufalAlma	Pürüzlülük Giderme	Patlama, Cilalama
Alüminyum oksit, şekilli	Her Metal	Her Metal	Her Metal
Silisyum karbid	Her Metal	Her Metal	Her Metal
Seramik	------	------	Her Metal
Çinko parçacıkları	------	Çinko	------
Naylon	------	Yumuşak Metal	------
Lastik (elmas tozlu)	------	Pirinç	Pirinç
Keçe	------	Alüminyum	------
Deri	------	------	Sert Çelik
Mısır koçanı parç.	Her Metal	------	Demir dışı metal
Odun tozu	Her Metal	------	Demir dışı metal
Sert ağaç çiviler	------	Alüminyum	Plastik

Trovval malzemelerinde olduğu gibi sanayide sıvı fazın da kullanılabildiği patent aşındırıcılar yaygındır.

Fırçalama

Uçları taşlı ve keskin kenarlı çelik tellerden değişik biçimlerde yapılan fırçalarla paslı ya da oksitli metal yüzeylerin temizlenmesidir. Elde kullanılan basit tipleriyle spiral kablolu döner fırçalar ya da büyük tezgah biçi-

minde vals fırçalar değişik uygulama örnekleridir.

Aşındırıcı Bantla Temizleme

Düzgün yüzeyler için elverişli olan bu yöntemde band zımparalı tezgahlar, bazen de zımpara bezi ya da kağıdı takılan el tipi motorlu cihazlar kullanılarak metal yüzeyler oksit ve pasından anndınlmaktadır.

Kimyasal Temizleme

iş parçalarının değişik çözücüler, alkali ya da asitli maddeler kullanılarak yağ, kir, oksit ya da tufallanndan temizlenmesidir. Temizlemede hangi bileşim öngörülmüş ise tekne malzemesi ve yardımcı donanım bu maddelere kimyasal bakımdan dirençli olmalıdır. Genelde çözücü ve alkali maddeler için çelik sac yeterli olursa da asitli maddeler için özel malzemeler seçilir.

Çözücülerle Temizleme

Parça üretimi sırasındaki yağlanmalar, parçaların bekletilmesinden dolayı tozlanma ve kirlenmeler, parçaların korozyondan korunması amacıyla önceden uygulanmış ve kurumuş lak tabakaları, zift ya da asfalt lekeleri, kauçuklu bileşimler gibi değişik yüzey kirlilikleri uygun çözücüler kullanılarak temizlenirler.

Bu amaç için kullanılan başlıca çözücüler ketonlar, petrol ürünleri (Nafta, Iprasol, White Spirit), kömür katranı ürünlerinden toluen, aliftik klorlu bileşikler (kloretan, trikloretilen, perkloretilen...), bazen de değişik bileşimlerdeki tinerlerdir.

Çözücülerin kimyasal temizlemede kullanımları da çeşitli olabilmektedir. Bunlar, daldırma yıkama, buharlama yıkama, kapalı sistemde sıcak ve soğuk yıkamalardır. Bunlar içinde buharla yıkama çok etkin ve önemli bir temizleme yöntemidir.

• Buharla yıkamanın aslı, derince bir teknenin alt tarafında triklotqretilen gibi yanmaz bir çözücünün ısıtılarak buharlaştırılması, bu buharların da teknenin üst, iç çevresinde dolaştırılan soğuk su boruları yardımıyla yoğunlaştınlıp bir askıda bulunan iş parçalan üzerine damlacıklar halinde yağdırılması ve bu iş parçalarının yıkanmasından ibarettir.

Alkali Temizleme

iş parçalarının belirli bileşimlerdeki alkali çözeltilerle yıkanmasıdır. îş parçalarının malzemesine göre değişik temizleme banyoları kullanılmaktadır (Bak. Çizelge.2).

Çizelge.2- Çeşitli Metal Yüzeyler için Alkali Temizleme Bileşimleri

Temel madde, 0/0 (Susuz karışım)	Alüminyum		Demir-Çelik			Çinko		Bakır		Magnezyum		
	D	P	D	P	E	D	P	E	D	P	E	D
Sodyum hidroksit			20	20	55	1	15	15	20	15	15	20
Sodyum karbonat			18	29	8.5	--			18	—	—	18
Sodyum bikarbonat	21	24	—	—	—	—	35	34	—	34	34	—
Sodyum orta fosfat	30	30	20	20	10	90	10	10	—	—	10	20
Sodyum piro fosfat	—								20	10		
Sodyum meta silikat	45	45	30	30	25	—	40	40	30	40	40	30
Sodyum resinat			5	—	—	5			5			5
Alkilaril sülfonat	3	—		5	—	1	5	—	—	5	—	—	5
Alkil aril polieter alkol			2	—	—			—	2			2
Yüksek noiyonikler (etilenoksitte)	1	1	—	1	0,5	—	—	1	—	1	1	---
Çalışma sıc. °C	72	72	83	94	77	83	77	83	83	77	72	83
Dirişim g/1t	30	7.5	60	7.5	60	30	7.5	45	60	7.5	60	60

D : Daldırma, P : Püskürtme, E : Elektrolitik sistemde temizleme

Elektrolitik Alkali Temizleme

Çizelge.2 deki banyo bileşimleri kullanılarak metaller düşük volt, yüksek amperde anot-katot değişimiyle

çok iyi bir şekilde temizlenebilirler. Tekne malzemesinin içi bir plimerle kaplanmalı, yardımcı elektrodlar grafitten seçilmelidir. İş parçaları 150-250 A / dm^2 akım yoğunluğunda 50 saniye anot, 10 saniye katot uygulaması ile temizlenebilirler. Oksitlerin hatta tufalm bile bu yöntemle söküldüğü görülmüştür. *Daha çok elektrolitik kaplama öncesi uygulanır.*

Asitle Temizleme

Bazı inorganik asitlerle organik asitlerin, asit tuzların ya da bunların kombinasyonunun banyo bileşeni olarak kullanılması ile özellikle çelik yüzeylerin kir, oksit ve paslarının alınması ve yüzeylerinin temizlenmesi mümkün olur. İnorganik asit olarak sülfürik, fosforik, hidroklorik ve kromik asitler, organik asit olarak ta asetik asit, limon asiti, bazen de formik asit kullanılır. Banyolara az miktarda ıslatıcı (deterjan gibi) madde ile inhibitör de katılır.

İnhibitör

Yasaklayıcı, engelleyici anlamında olup bu tür kimyasal maddeler asitin oksitleri eritmesi sırasında ana metalin aşınmamasını sağlar. Piyasada Rodine, Rodine LW 57 gibi ticari isimlerle satılmakta olup banyo bileşimlerine 0/0 0,1 oranında katılırlar.

Asitle temizlemelerde 0/0 10 luk derişim çok defa yeterli olmakla beraber bazı hallerde bu derişim 0/0 20 ye çıkabilir. Asit banyosunun hazırlanmasında da teknedeki su üzerine asiti yavaş yavaş dökmelidir. Duruma göre çalışma sıcaklığı da oda sıcaklığından 90"C sıcaklığa kadar, çalışma süresi ise 2-10 dakika olabilmektedir.

Asitle Çalışmada Donanım

Sülfürik asitle çalışmada 0/0 2-4 oranında antimon havi kurşunun çok yüksek bir direnci vardır. Ancak kurşunun mekanik dayanımı az olduğu için 3-5 mm kalınlığındaki tekne malzemesinin ayrıca bir dış takviye teknesine yerleştirilmesine ihtiyaç vardır.

Sülfürik asitle çalışmada tekne malzemesi olarak W. Nr. 1.4505 (AISI 321 kalite) krom nikelli çelik te kullanılabilir. Silika ya da karbon tuğlasının asit çimentosu ile örülmesiyle de dirençli tekne yapılabilir.

Tuz asiti için Inconnel (0/0 75 Ni, 25 Cr) alaşım en uygun olanıdır, yukarıda bahsedilen tuğla tekneler de kullanılabilir.

Askı, tambur, pompa ve aspiratör donanımı da kullanılan asit ve buharlarından en az etkilenecek malzemeden yapılmalıdır. Asitli banyoda döner tambur yatakları teflondan ya da bunun kopolimerinden imal edildiği taktirde problemsiz çalışılır.

Ultrasonik Temizleme

Çözücülerle, alkali ve asitli sistemdeki temizlemelerde banyo içine konulan bir piezo elementle sıvı kütlesine titreşim verildiğinde parça yüzeyindeki kirler etkili biçimde yok edilir. Pratikte 80 litrelik bir banyo için 6-10 W lık, 20-40 kHz kapasitesinde bir piezo element yeterlidir.

Bu tür düzenekler yurdumuzda da yapılmaktadır.

Eski Boyalı ve Laklı Yüzeylerin Temizlenmesi

Özellikle çelik yüzeyler için banyo bileşimleri ve çalışma şartlan aşağıda verilen sistemler başanyla kullanılmaktadır :

1 NoJu Formül		**2 No.hı Formül**	
Arap sabunu	500 k	Sodyum hidroksit	200 k
Su camı	100 k	Su camı	100 k
Sodyum hidroksit	400 k	Amonyak (sulu çöz.)	100 k
		Kizelfar	100 k
		Deterjan	10 k

Bu banyolar iş durumuna göre 0/0 10-20 derişimde ve kaynar derece yakınındaki sıcaklıkta kullanılır. Buna benzer bileşimdeki hazır banyo ürünleri Collon 14 gibi ticari isimlerle de satılmaktadır.

4. KİMYASAL DÖNÜŞÜM İŞLEMLERİ

Tanımlama

Kimyasal dönüşüm işlemleri temizliği yapılmış metalik yüzeylerin özel banyolarda bazı kimyasal ya da elektrokimyasal işlemlere tabi tutulması, bunun sonucu yüzeylerin fiziksel görünümlerinin değişmesi ve korozyon direncinin artmasıdır.

Kimyasal dönüşüm işlemlerinin başlıcalan, fosfatlama, oksalatlama, oksit-kromat pasiflendirme, kimyasal renklendirme, eloksal, sert eloksal ve parlatma prosesleridir. Kimyasal dönüşüm sonucu yüzeyde oluşan tabaka kalınlığı 1 mikrondan 100 mikronun üstüne kadar değişebilir.

Fosfatlama

Daha çok çelik parçalara, bazen de alüminyum, çinko gibi metallere uygulanan bir kimyasal dönüşüm prosesidir. İşlemin aslı, yüzey temizliği yapılmış parçaların fosfat asitli ve bir metal iyonlu (demir, çinko, mangan gibi) ortamda, uygun sıcaklıkta bekletilerek yüzeyde kompleks kristaller tabakası oluşturmaktır.

Fosfatlamanın amacı, boya ya da laklama öncesi iyi bir yüzey hazırlığı yapmaktır. Böylece boya ya da lak, yüzeye daha iyi tutunur.

Fosfatlamada bazı türler için dekoratif görünüm esas olmaktadır. Örneğin mangan fosfatla çelik yüzeyler mat, siyah renge kavuşur.

Çelik parçaların kısa süre paslanmaya direnci için de kullanılan fosfatlama prosesi metallerin derin çekme ya da fışkırtma gibi işlemlerinde yağ tutucu ve işlem kolaylaştırıcı olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Çelik Yüzeylerin Fosfatlanması, Koruyucu Çinko Fosfat

Banyo Bileşimi

Koruyucu çinko fosfat banyoları birçok firmalarca özel ticari adlar altında yurt içinde üretilerek pazarlanmaktadır. Hangi firma ürünü alınmış ise ilgili kullanım evreleri de istenmeli ve uygulanmalıdır.

Donanım

Tekneler ve banyo çözeltileriyle temas eden diğer kısımlar 316 kalite paslanmaz çelikten yapılırsa problem çıkmaz. Sıcak banyolar için tekne çevresinde emiciler olmalıdır. Keza fosfatlama teknesi yakınında bakım için bir yedek tekne ile pompa ve filtre düzeni de bulundurulmalıdır.

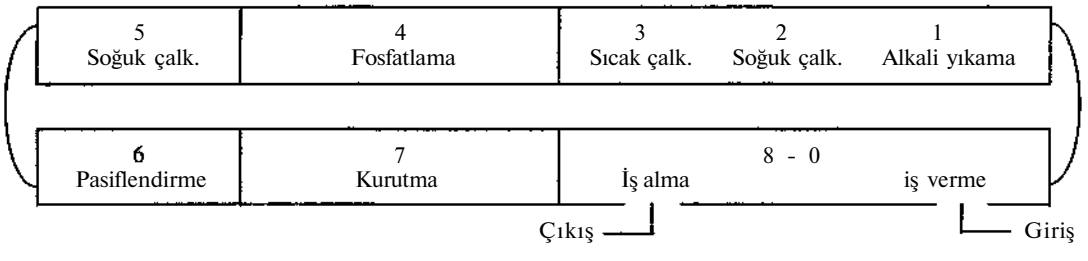
içi çukur parçaların fosfatlanması için iş parçalarının yüklendiği kasalar dönerli olmalı, motorlar kapalı tip, şebeke enerjisi de 42 volt olarak kullanılmalıdır.

Çalışma

Bir fosfatlama tesisi ve işlemleri aşağıdaki banyolardan oluşur:

- Sıcak alkali yıkama, yağ ve hafif pasları almayı amaçlar.
- Çalkalama, soğuk, tesisat suyu ile yapılır.
- Çalkalama, sıcak su ile yapılır.
- Fosfatlama, patent bileşim çözeltileriyle genelde 60-70°C sıcaklıkta yaklaşık 5-10 dakikada tamamlanır.
- Çalkalama, tesisat suyu ile **yapılır.**
- **Pasiflendirme, kromik** ve fosforik asit katılmış, pH = 2-4 olan banyoda 1-2 dakika tutularak yapılır.
- **Kurutma,** sıcak hava ile yapılır.

Bir fosfatlama tesisis şeması Şekil-3- de görülmektedir.



Şekil.3- Tipik bir fosfatlama tesisi akış şeması

Düşük alaşımlı çeliklere tavsiye edilen çinko fosfatlama yöntemi ile yüzeyler gri-siyah, mat ve üniform görünüme kavuşur.

DİN 50942, TT-C-490 Tip 1 ve MIL-P-50002 bu tür fosfatlama ile ilgili standardlar olup belirli nitelikleri öngörürler.

Çelik deney levhaları ile fosfatlama banyoları kontrolünde, belirli şartlarda en az 32 mg / dm^2 lik bir tabaka sağlanmalıdır (3-5 µ).

Kullanıldıkça niteliklerini yitiren banyolar, imalatçı firma tavsiyelerine göre katkılarla yenilenir. Dökülmesi gereken banyolar için de aynı yol izlenir.

Çekme fosfatı

Koruyucu fosfata benzer, farkı banyo bileşimine çinko nitrat girmesi ve çalışma sıcaklığının 95°C nin üstünde olmasıdır.

Çekme fosfatlı yüzeylerin korozyon direnci fazla olmamakla birlikte 10-15 mikronluk kristal tabakası kalınlığı derin çekmede kullanılan yağ ve özel katı yağlayıcılar için tutuculuk ödevini görerek bu gibi maddelerin çekme, haddeleme ya da fışkırtma işleminde ortamda kalmasını sağlar, mekanik işlemleri kolaylaştırır, malzeme tahribatını önler ve takım ömrünü arttırır.

Özel katı yağlayıcı olarak derişik sabun çözeltisi kullanılır. Bu banyoya daldırılmış olan çekme fosfatlı parçalar kurutularak mekanik işleme verilir. Bazı patent bileşimler de daha iyi sonuçlar vermektedir (Bonderlube-234 gibi).

Alüminyum malzemeye de çekme fosfatı uygulanmaktadır. Dekoratif görünüm, baskı ya da çekme işlemleri için aşağıdaki banyo kullanılır :

Amonyum primer fosfat	0/0	61,7
Amoyum hidrofluorür	0/0	22,9
Potasyum dikromat	0/0	15,4

Hazırlanacak banyonun her 100 litresi için bu karışımdan 10-15 1 alınır, işlem ya da çalışma şartlan :

Banyo sıcaklığı	47-48°C,
Süre	1-5 dakika. Kurutma sıcak hava ile.

Alüminyumun fosfatlanmasında da yüzeylerin temiz ve gerekli işlemlerden geçmesi sağlanır.

Mangan Esaslı Fosfatlama

Çelik parçalara yalnız daldırma yöntemi ile uygulanan, malzeme yüzeyine mat, siyah bir dekoratif görünüm kazandıran, ayrıca korozyon direnci de sağlayan bir kimyasal dönüşüm işlemidir.

Fosfatlanan yüzeyler dayanım amacıyla daha sora 0/0 25 lik, 70°C deki bor yağı emülsiyonu ile ya da vernik ile işlem görür.

Bileşimler ve banyo donanımları çinko fosfatlamadakine benzer. Ancak banyo bileşiminde çinko yerine mangan iyonu vardı. Çalışma sıcaklığı da 95°C dolayındadır. Kromat pasiflendirme işlemi de uygulanmaz, ince kristalli tabaka daha değerlidir, istenilen kalınlık işlem zamanının uzatılmasıyla 320 mg / dm^2 ye kadar sağlanabilir. Mangan fosfat tabakası kısa süreler için 300°C ye kadar dayanabilir.

Mangan esaslı fosfatlamada kalite ve istekler MIL-P-16232 ve DİN 50942 de tanımlanmıştır. TT-C-490 da da bazı bilgiler vardır.

Oksalatlama

Paslanmaz çelik yüzeylerin boya, lak tutmasını sağlamak ya da bu yüzelere mat, sarımsı bir görünüm vermek için uygulanan kimyasal dönüşüm işlemidir. Banyo bileşimi ve şartlar aşağıdaki gibidir :

Banyo Bileşimi	0/0 10-20 oksalik asit çözeltisi
Banyo Sıcaklığı	55-60°C,
İşlem Süresi	5-10 dakika

Banyodan çıkarılan oksalatlanmış ve yıkanmış parçaların 120°C, de kurutulmasıyla işlem tamamlanır. Oksalatlanacak malzeme cinsine göre bileşim ya da şartlar az çok değişebilir.

Oksit-Kromat Pasiflendirme

Bazı metallerin yüzeylerine doğrudan doğruya, bazı metallerde de fosfat, eloksal, elektrolitik kaplama işlemlerinden sonra uygulanan bir kimyasal dönüşüm işlemidir. Çelik (fosfatlamadan sonra), alüminyum, çinko, kadmiyum, pirinç ve diğer bazı metaller kortnik asit, bikromat, bazen de başka kimyasalları içeren çözeltilerde belirli bir süre tutulduğunda ince bir oksit-kromat filmiyle kaplanırlar. Bu film renksiz, hafif sarımsı, menevişli görünümlü (sarı-yeşil-kırmızı), zeytin yeşili gibi renklerde, suda çok az çözünen ve ana metale korozyon direnci veren özelliklerdedir. Bu şekilde işlem görmüş yüzeylere çok iyi baskı ve markalama yapılabilir. Böyle yüzeyler aynı zamanda boyayı da iyi tutar.

Oksit-kromat pasiflendirme banyolarının uygulaması çok kolaydır. Genelde oda sıcaklığında, nadiren de kaynar dercelere yakın çalışılır. Kromat pasiflendirme banyoları uzman kuruluşlardan alınacağı gibi aşağıda örnekleri verildiği üzere atelyelerde de hazırlanabilir.

Fosfat Üzerine Okist-Kromat

Orto fosforik asit + kromik asit, 1/1 oranımda karıştırılır, 1 kısım karışım 1000 kısım su ile seyreltilir, pH = 2-4 olmalıdır. Uygulama 3-5 dakika, kurutma sıcak hava ile yapılmalıdır.

Aynı amaç için bir başka formül :

Sodyum bikromat	116 g/100 mi su
Orto fosforik asit	48 g/100 mi su

Uygulama 70-80°C banyo sıcaklığı, süre 3-5 dakika, kurutma sıcak hava ile yapılmalıdır.

Çinko, Kadmiyum ve Pirinç Yüzeyler için

Kromik asit	97 g
Sülfürik asit	1 g
Su	toplam 1 litreye tamamlayacak kadar.

Uygulama oda sıcaklığında 1-2 dakikada yapılır, kurutmada sıcak hava kullanılmalıdır.

Paslanmaz Çelik İçin Pasiflendirme

Aşağıda gösterilen banyo bileşimi ve şartlarda yapılır :

Nitrik asit, d = 1, 42	0/0 20 (hacım oranında)
Sodyum bikromat	0/0 2 (ağırlık oranında)
Su	kalanı

Uygulama, iş parçalan 50-52°C deki banyoda 1/2 saat tutulur, sonra çıkarılarak suyla çalkalanır ve kurutulur.

Alüminyum ve Alaşımları için Pasiflendirme

MIL-C-5541 ve ASTM B 449 Standard isteklerini karşılayan işlem banyosu ve şartları aşağıda gösterilmiştir:

Sodyum bikromat	7,5 ɛ.
Sodyum fluorid	1 g
Potasyum ferrisiyanür	5 g
Nitrik asit, 48 *B€*	3 mi
Su	litra'ı · · '3rnamlanacak kadar.

Uygulama, iş parçaları 16-55°C deki banyoda 8 · 10 saniye kadar tutulur, çıkarılarak yıkanır ve sıcak hava ile kurutulur.

Eloksallı Alüminyum Parçaların Pasiflendirilmesi

iş parçaları 80-90°C deki sodyum bikromat (50 g/l derişimde) banyosunda 30 dakika kadar tutulur. Çıkarılarak yıkanır ve sıcak havada kurutulur.

Metallerin Kimyasal Renklendirilmeleri

Birçok metal ya da alaşımlarının özel bileşimli, kimyasal banyolarda renklendirilmeleri mümkün olmakla birlikte bu renklendirmelerin kalite ve uygulama arasından sınırlı kalmıştır. Bu renklendirmeleri önemlileri aşağıda gösterilmiştir :

Çelik Parçaların Siyah Oksit İşlemi, (Brünürleme)

Çok iyi temizlenmiş çelik parçalar 142-148°C deki bileşimi aşağıda verilen banyoda 10-15 dakika tutulur, çıkarılarak yıkanır ve kurutulursa siyah, yan parlak bir görünüm alır.

Banyo bileşimi :	
Sodyum hidroksit	600 k
Sodyum nitrat	25 k
Sodyum nitrit	25 k
Su	1000 k

Çelik parçalar, brünür dışında mangan fosfat, elektrolitik siyah nikel (ya dakrom) gibi proseslerle de siyah renklendirilebilmektedir. Bu renklendirmeler brünürden daha dirençlidir.

Alümiyum parçaların renklendirilmesi

Değişik yollarla alüminyum yüzeyler renklendirilebilirlerse de pek verimli olmamaktadır. Ancak eloksal kaplama sonunda özel eloksal boya işlemleriyle kararlı her renge ulaşılmaktadır.

5. ELEKTROLİTİK DÖNÜŞÜM İŞLEMLERİ

Eioksal İşlemi

Aüminyum yüzeylerin bazı banyolarda anot olarak asılması ve anodik oksitlenme sonucu bu yüzeylerin ince alüminyum oksit kristalleri ile kaplanması Eloksal işleminin aslını oluşturur. Bu işlem sonunda :

- Malzemenin korozyon direnci artar,
- Eloksallı yüzey çok iyi boya tutar, baskı ve markalama kabul eder,
- Yüzey yalıtkan hale gelir,
- Sert eloksal tipinde yüzey çok büyük değerlerde sertlik kazanır (Re 63 kadar)

Donanım : Eloksal tesisinde tekneler, ekonomik olarak çelik sac ve içi kısmı PVC kaplı olarak imal edilir. Sülfürik asitli banyolarda tekne malzemesi 0/0 2-6 antimon içeren kurşun olursa en az 10 yıl (4-5 mm kalınlıkta) dayanabilir. Bu durumda kurşun için bir de takviye teknesi gerekir.

Katotlar: Bazan teknenin kendisi (fazlası maskelenerek), bazen de kurşun levha kullanılır.

Karıştırma: Kromik asitlilerde hava ile yapılır. Sülfürik asitlilerde, özellikle sert eloksalda soğutma düzeni uygulanması da gereklidir

Bütün tekneler ve diğer donanım elektriksel bakımdan yalıtılmalıdır.

Akım yoğunluğu ve voltaj bağıntısı kaliteyi doğrudan etkilediğinden belirli değerlerde çalışmada yarar vardır (Bak. Çizelge.3).

Çizelge.3- Eloksal Uygulamalarında Akım Yoğunluğu ve Volttaj

Proses	Akım yoğunluğu	Voltaj
Sülfürik asit	**0,7 - 2,5**	24
Kromik asit	**0,1 - 0,3**	42
Sert eloksa	**1 2,7 - 3,7**	100

Maskeleme malzemesi olarak PVC esaslı yapışkan bantlar yeterlidir. Yine asitten etkilenmeyen, sonradan soyulabilen boyalar da aynı amaç için kullanılabilir.

Askılar : Akımı taşıyabilecek, verimi düşürmeyecek ve prosese zararlı olmayacak nitelikte alüminyum ya da daha iyisi titan malzemeden seçilmelidir. Alüminyum daha ucuzdur fakat kontak yerlerinin sık sık temizlenmesi gerekir. Alüminyum için 3003 ya da 6061 numaralı alaşımlar kullanılmalıdır. Kontak yerleri dışındaki yüzeyler poliüretan, PVC ya da epoksi lakları ile kaplanmış olmalıdır.

Eloksal prosesleri, Banyoları ve Çalışma Şartlan

Günümüzde, çoğu alüminyum malzemeye olmak üzere uygulanan prosesler sülfürik asit, kromik asit ve sert eloksal tipleridir. İlk ikisinde 8-10 mikronluk ince bir tabaka, sonucunda ise kalın (50-200 mikron) ve sert bir tabaka öngörülür. Sert eloksal sülfürik ve oksalik asitle uygulanabilir. Bütün proseslerde alışılagelen yüzey temizliği yapılır. Ancak bakirli alüminyum alaşımı için ayrıca nitrik asitli temizleme, hem bakır hem de silisyum bir alaşım için 3 kısım nitrik asit, 1 kısım hidrofluorik asitten oluşan karışımın 0/0 10-15 lik çözeltisiyle yıkanmalıdır.

Sülfürik Asit Prosesi: Proseste kullanılacak asitli banyoda 165-200 g /1 asit bulunmalıdır. Alüminyum 20 g/l den az olmalıdır. Diğer şartlar Çizelge.4 e göredir.

Çizelge.4- Eloksal Prossesleri için Banyo Bileşimleri ve Çalışma Şartları

Bileşenler ve şartlar g/l	Sülfürik asit	Kromik asit	Sert Eloksal	
			I	II
Sülfürik asit	165-20	…	120-130	120
Kromik asit	…	39.3	—	—
Oksalik asit	—	—	12-20	10
pH	…	0,5-1	—	—
Sıcaklık, °C	20-22	32-34	0 2	10
Akım yoğunluğu, A/dm^2	1,3-1,5 (5V-15V-5V) (*)	0,1	2,7-3,7 (40-60V) (*)	28 (10-75V) (*)

(*) : Kademeli voltaj uygulaması
(**) : 25-50 mikron kalınlık için süre 20-40 dakikadır.

Sülfürik asitli eloksalda işlem sırası aşağıda verilmiştir :

- Yağ alma, buharla
- Alkali temizleme
- Çalkalama
- Siyahlık alma, nitrik asit, hidrofluorik asitle
- Çalkalama
- Eloksal, Çizelge.4 e göre
- Boyama, (istendiğinde uygulanır). 0/0 0,1 lik kaynar boya çözeltisine göre
- Çalkalama
- Gözenek kapatma (boyama olmadığında uygulanır), pH = 4-6 olan asitli su ile, kaynar derece yakınında 5 dakika.
- Hava ile kurutma, en çok 106°C de.

Eloksal kaplama kalınlığı kapalı yerler için 10 mikron, açık hava şartlan için 20 mikron öngörülmektedir.

Kusurlu kaplama ya da herhangi bir eloksallı yüzeyin eloksaldan arındırılması için parçalar 15 g sodyum siyanür, 15 g sodyum hidroksitin 1 1 sudaki çözeltisine daldırılır, kalınlık durumuna göre süre ayarlanır.

Eloksallı yüzeyin boyanmasının giderilmesi için de parçalar 50-100 g fosforik asit, 50 g sodyum bikarbonat (ya da 30 g kromik asit) in 1 1 sudaki çözeltisine daldırılarak 3-5 dakika kaynatılır, çıkarılarak yıkanır.

5er/ *Eloksal Prosesi:* Benzer tesisat ve malzemeler kullanılır. Kaplama özelliği açık griden koyu gri-siyaha varan rengi ve çok sert oluşudur. Yüzey büyük bir aşınma direnci kazanır. Zamana göre kaplama kalınlıkları aşağıda verilmiştir.

30 dakikada 15 mikron,
60 dakikada 34 mikron,
90 dakikada 50 mikron,
240 dakikada 150 mikron,

Sert eloksalm diğerinden olan önemli bir işlem farkı da çok soğuk banyolarla çalışılmasıdır. Bunun için de banyoya kauple bir soğutma ünitesi gereklidir.

Eloksal işlem Standardları

İnce anodik kaplama kalınlığı ölçülmesi, tahribatsız.....TS 1322
Anodik kaplamının parlaklık yansıması.....TS 1627
Anodik kaplama yalıtkanlığının tayini.....TS 2393
Sert eloksal kaplama.....AMS 2569
Eloksal kaplama.....MIL-A-8625
Eloksal kaplama.....MIL-A-63576
Sert eloksal kaplama.....MIL-C-60536

Elektrolitik Parlatma

Elektrolitik parlatma, bir alkali ya da asitli bonyoya anot olarak asılan iş parçalarının uygun bir akım yoğunluğu kullanılarak metal yüzeylerinin parlatılması işlemidir. Hemen her metal için olmakla birlikte daha çok alüminyum, bakır ve alaşımları ve çelik için yaygın uygulanmaktadır.

Donanım : Herhangi bir elektrolitik kaplama donanımı gibidir, ancak asitli ya da alkali sistem seçildiğinde donanım da buna göre olur.

Katodlar karbon, paslanmaz çelik, bakır ya da kurşun olabilir.

Güç Kaynağı: 9-24 V luk, 16-55 A/dm^2 akım oğunluğu sağlayacak nitelikte olmalıdır.

Karıştırma : Şarttır ve mekanik olarak yapılır.

Isıtmaya da Soğutma : Çalışma sıcaklığı toleransı (1-2)oC dir. Isıtıcı ya da soğutucu serpantinler asit ya da alkaliye dayanıklı olmalıdır. Karbon ya da kuvars gövdeli ısıtıcılar çok uygundur.

Havalandırma : Gerekli olup klasik tarzda yapılır.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma Şartları : Yüzey hazırlığı ve temizliği yapılan malzemeler Çizelge.5 de ki banyodan geçirilerek parlatılırlar.

Çizelge.5- Bazı Metallerin Elektrolitik Parlatılmalarmda Banyo Bileşimleri ve Çalışma Şartları

Bileşenler, 0/0 Ağ. ve çalışma şartları	Alüminyum I	Alüminyum II	Bakır ve alaşımları	Paslanmaz Çelik I	Paslanmaz Çelik II
Sülfürik asit	—	4-45	14	41	---
Fosforik asit	—	40-80	59	45	56
Fluoborik asit	2,5	—	—	14	---
Kromikasit	—	0,2-9	0,5	—	12
Metal iyonu (+3)	—	6 ençok	---	---	---
Akım yoğ. A/dm^2	1,1-1,2	2,7-12	11-107	22-37	11-107
Voltaj, V	15-30	7-15	---	---	---
Sıcaklık, °C	29	72-92	16-76	76-108	27-78
Süre, dakika	5-10	0,5-5	---	---	---
Karıştırma	Yok	Mekanik	---	---	---

İşlemden çıkan parçalar gerekirse 0/0 1-3 oranında sülfürik, fosforik ve kromik asit içeren pusluluk alma banyosuna daldırılarak 30 saniye kadar tutulur. Banyo sıcaklığı 75-80°C olmalıdır.

6. BOYALAR VE BOYAMA TEKNOLOJİSİ

Boyalar eşyanın görünümünü güzelleştirmek, çevre etkileriyle korozyonunu önlemek ya da daha başka özel amaçlar için ince bir tabaka halinde uygulanan bir dispersiyon karışımdır.

Geçmişte doğal maddelerden deneyim yoluyla elde edilen boyalar günmüzde büyük değişmeler ve gelişmelere uğramıştır. Özellikle kimya sanayinin gelişmesiyle boya bileşimine giren ve onun kalitesini çok yükselten birçok madde sentez edilmiştir.

YÜZEY İŞLEMLERİ

Bileşim itibariyle genelde "taşıyıcı (bağlayıcı), çözücü, pigment ve diğer bazı katkı maddeleri"nden ibaret olan boyalar eşya üzerine ince bir tabaka halinde uygulandıktan bir süre sonra çözücünün uçması, reçinenin kuruması ve kür olması sonucu yüzeyde sert ve koruyucu bir film haline geçer.

Kullanım amacı ve niteliklerine göre imal edilen boyalar büyük bir çeşitlilik gösterirler. Bunların başlıcalan aşağıda verilmiştir :

Yağlı Boyalar

Bileşimindeki ana reçine kuruyan yağlardan keten yağı (Bezir yağı) dır. Bazen kaliteyi iyleştirmek ya da ucuzlatmak için başka yağlar da bileşime girer. Herhangi bir renk verici pigment, çözücü olarak da neft ya da White Spirit kullanılır. Kuruma zamanı 8-10 saat kadar olup madeni veya ahşap eşya üzerine vurulabilir.

Sentetik Boyalar

Bileşimlerinde alkid, üretan, epoksi, akrilik v.b. sentetik reçineler bulunan, gereğinde fırınlanarak ta çok çabuk kurutulan değerli sanayi boyalarıdır. Fırça ya da tabanca ile atılabilir. Tabanca ile atıldığında nispeten daha fazla inceltilmesi (seyreltilmesi) gerekir. Bu tür boyaların inceltilmesinde sentetik tiner kullanılırsa da en iyisi imalatçı firmanın tavsiye ettiği tiner kullanılmalıdır.

Fırın Boyalar

Bu boyalar genelde 120-160'C aralığında fırınlanmayı gerektiren, ancak bu şartlarda kür olan boyalardır. Üre-formaldehit, melamin,formaldehit, fenolik, epoksi gibi reçineler ihtiva ederler. Bu tür boyalar kalite ve korozyon direnci bakımından diğerlerinden üstündür.

Plastik Boyalar

Reçinesi polivinil asetat olup suda çözünür. Arzu edilen rengi sağlamak üzere uygun bir pigment, pigmentin ıslanarak dağılması için az miktar yüzey aktif madde, zamanla bozulmayı önlemek için antiseptik maddeler katılır. Plastik badana boyası da denen bu boyalar su ile inceltilerek rulo, fırça ya da basınçlı püskürtücülerele uygulanabilirler.

Wash Primer Boyalar

Polivinil butiral reçineli olup çinko kromat ve (özel incelticisinde) fosfat asiti içerir. Astar boya olarak kullanılır. Ancak diğer astar boyalardan olan önemli farkı yüzeyi dağlayarak yapışmasıdır. Soy olmayan metaller üzerindeki kurumasını tamamlamış bir boya tabakası çakı ile dahi zor kazınır. Kısacası Wash Primer astar boyası basit bir fiziksel adhezyon yapışması şeklinde değil, yüzeyle kimyasal bileşim vererek, adeta yüzeyle bütünleşerek çok kuvvetli bir yapışma arzeder.

Piyasada iki bileşenli olarak satılan Wash Primer astar boya, kullanılmadan önce imalatçı firma tavsiyesinde belirtildiği oranda karıştırılır ve birkaç saat içinde kullanılır. İhtiyaçtan fazla karışım yapılırsa fazlası jelleşerek kullanım dışı kalır.

Selülozik Boyalar

Bu tür boyaların bağlayıcıları selöloz nitrattır. Ancak yapışmayı sağlamak, esnekliği ve dayanımı arttırmak için çok defa alkid reçinesi de ilave edilmektedir. Ayrıca kaliteyi arttırıcı başka maddeler de boya bileşimine girer.

Selülozik boyaların açık hava şartlarına dayanıklılığı sınırlıdır. Nitekim son zamanlarda, özellikle otomotiv sanayiinde terkedilmek durumundadır.

Selülozik boyalar çabuk kurur. Bundan ötürü de fırça ile değil tabanca ile uygulanması gereklidir.

Klor Kauçuklu Boyalar

Bu boyalarda ana bağlayıcı, asit ve alkalilere dirençli olan klor kauçuktur, kaliteyi iyileştirmek için bazı katkı maddeleri de boya bileşimine girmektedir.

Klor kauçuklu boyalar, asit ve alkalilere olduğu kadar benzine, suya, alkole, gazlara ve daha birçok kimyasal maddelere karşı dirençlidir.

Zehirli Boyalar

Özellikle deniz suyu mikro organizmalarının deniz araçlarını tahrip etmemesi için karinalara sürülmek amacıyla geliştirilmiş boya türüdür. Ancak alüminyum gibi teknelere sürülenlerin bileşiminde bakır tuzu bulunmamalıdır.

Elektrostatik Toz Boylar

Çok çeşitleri olmasına rağmen yaygın olan türleri epoksi ve poliester reçineleriyle hazırlananlardır.

Sistemin en basit birimi özel el tabancasıdır. Küçük kapasiteli tesislerde uygulanan yöntemde bir doğru akım jeneratörü elektrik akımı özel kablolarla tabancaya gelir. Tabanca içindeki levhalar bu akımla 90-100kV gücünde statik elektrikle yüklenir. Şarj levhaları önünde bulunan plastik tozlan (toz boya) da aynı güçle yükleneceklerinden birbirlerini iterek tabanca ağzından dışan püskürürler. Bazı özel hallerde hafif bir hava akımı ya da santrifüj hareketiyle taneciklerin püskürtülmesi kolaylaşır.

Kaplanacak temiz iş parçası topraklanmış olduğundan (+) yük altındadır. (-) yüklenmiş plastik tanecikler iş parçası yüzeyine çekilir ve ergime derecesinin biraz yukarısına kadar ısıtılmış iş parçalan yüzeyinde ergiyip birleşerek bir tabaka oluştururlar. Bazen ikinci bir ısıtma ile tabaka iyileşitirilir.

Diğer Astar Boyalar

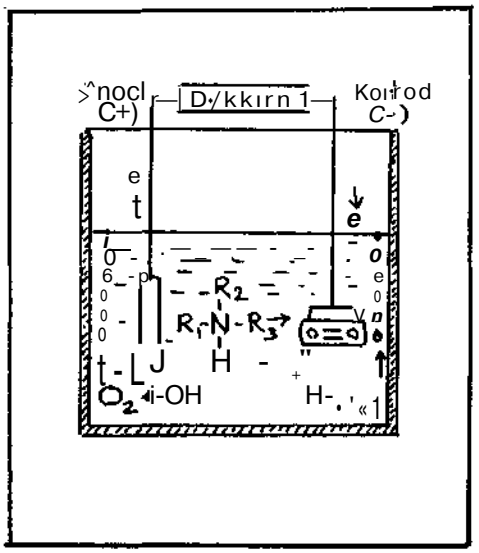
Sülyen astar oldukça değerlidir. Zira Pb3Û4 bileşimindeki kurşun oksitin tane yapısı yassımsı olduğundan yüzeyi örtme ve koruma niteliği yüksektir. Dezavantajı ise pahalı oluşudur.

Çinko kromat astar da çok kullanılan, fiyat ve kalite yönüyle ortalarda bir üründür.

Demir oksitli astar, Fe2C>3 bileşimindeki kırmızı (kiremit kırmızısı) demir oksit içerir. Son zamanlarda yaygın kullanılan ekonomik bir astar boyadır.

Elektroforez Boyalar

Bileşiminde anyonik ya da katyonik kimyasal maddeler bulunur. İş parçası katoda asılarak adeta bir elektrolitik kaplama yapılır gibi işleme tabi tutulur. Akım uygulanması ile boya parçacıkları temizlenmiş iş parçalan üzerinde bir tabaka oluşturacak şekilde toplanır. Daha sonra fınnlanan boya kür olarak kaliteli ve güzel bir görünüm orataya koyar (Bak. Şekil.4).



Şekil.4- Elektroforez boyanın uygulama şeması

Boyama Teknolojisi

İyi bir boyama şu esaslara uymakla sağlanabilir:

- Yüzeyin doğru hazırlanması,
- Uygun bir boya sisteminin seçilmesi,
- Uygun alet.cihaz ve teknikle doğru uygulama

Şimdi bu maddeleri biraz daha açıklayalım :

Yüzeyin doğru hazırlanması

Boyanın uygulandığı yüzeye yapışması çok önemlidir. Bunun için de :

- Boya sürülen yerin altı sağlam olmalıdır. Aksi halde boyanın kuruması sırasında ortaya çıkan kuvvetler karşısında boya yapışmasını kaybedip kalkar,
- Boya sürülen yüzey temiz olmalıdır,
- Yüzey düzgün olmalıdır. Boya sürüldüğü yüzeydeki girinti ve çıkıntıları aynen gösterir. Bu nedenle yüzeyler macun, astar, zımpara ile yeterli derecede düzgün hale getirilmelidir. Çok emici yüzeyler boyadan önce uygun bir malzeme ile doyurulmalıdır. Keza çoğu kez çıplak metale boya vurulmaz. Çelik parçalar için fosfatlama, alüminyum için eloksal kaplama ya da pasiflendirme, çinko, bakır ve alaşımları, işlemlerden geçtikten sonra bu parçalar boyanmahdır.

Uygun Boya Sisteminin Seçilmesi:

- Yüzey boyalı ise gerekli temizlik ve düzeltmelerden sonra yine aynı cins boyal seçimi ve uygulaması yapılmalıdır.
- Çıplak metalik yüzeyler için uygun astar, macun son kat seçimi ve uygulanması gerekir.
- içeride ya da dışarıda kullanım, korozif ortamda ya da özel amaçlarla kullanımda uygun boya sistemi seçilmelidir.

Uygun Alet, Cihaz ve Teknikle Doğru Uygulama

- Boya tabakası kalınlığının her yerde aynı olması, pütürlü olması, akıntısız ve homojen görünümlü olması için yeteri şekilde inceltilmeli, inceltmede uygun tiner kullanılmalı, kaliteli fırça ile (selülozik dışında) ya da tabanca ile uygulanmalıdır.

Boyama işleminin yapılacağı yer temiz, tozsuz, nemsiz ve uygun sıcaklıkta olmalıdır. Nem değerinin 0/0 65in altında, hava sıcaklığının da 16-32°C de olması tercih edilmelidir.

Boyamada kullanılacak donanım ve malzeme temiz olmalı, boya işinde çalışanlar koruyucu eşya kullanmalıdır.

Boyamada kalınlıklar genelde aşağıdaki gibidir:

Astar boyalar	15-20 mikron,
Surfacer (dolgu boya)	20-30 mikron
Son kat boyalar	20-30 mikron (bir ya da iki kat).

7. DİĞER TABAKA UYGULAMALARI

Vernikleme
Boyama gibidir. Korozyon direnci ve dekoratif görünüm sağlar. Çelik için en uygunu epoksi esaslı olanıdır. Bundan başka değişik metal vernikleri vardır.

Plastik Kaplama
Toz boya uygulaması, daldırma kaplama ve toz bulutu-ısıl yöntem gibi uygulama çeşitleri vardır, korozyon direnci ve dekorastif görünüm sağlar. Yalıtkanlık ta kazandırılan diğer önemli bir özelliktir.

Emaye Kaplama
Genelde çelik sac üzerine uygulanan, dekoratif görünüm / ve ısıl korozyon direnci sağlayan bir yöntemdir. Birçok kimya düzenekleri de yapılmaktadır.

Seramik Kaplama
Başta uzay ve havacılık alanı olmak üzere birçok ileri teknoloji uygulamalarına giren seramik kaplama, çok yüksek ısıl direnç ve aşınma dayanımı sağlayan oldukça yeni bir kaplama yöntemidir.

Daldırma Metal Kaplama
Daha çok çelik parçalara ve sac malzemeye kalay, çinko gibi kolay ergiyen ve korozyon direnci sağlayan metallerin eriyiğine daldırılarak yapılan kaplamalardır.

Püskürtme Metal Kaplama
Yine kolay eriyen alüminyum, çinko gibi malzeme tellerinin özel bir tabanca kullanılarak metal yüzeylere püskürtülmesi suretiyle yapılan kaplamadır. Ana malzeme bunda da korozyon direncine kavuşur.

Vakum Metalize Kaplama

Bir kabinde, düşük basınçta ergitilen metalin yaydığı buharların iş parçalan üzerinde yoğunlaşması ve bir metal tabakası oluşturmasıdır. Çinko, kadmiyum ve çinko gibi metaller kullanılarak kum püskürtülmüş (zımpara tozu) ve temizlenmiş çelik ve diğer metallerden yapılmış parçalar bu yöntemle kaplanarak korozyon direncine, plastik folyolar da dekoratif görünüme kavuşturulmaktadır.

8. ELEKTROLİTİK (ELEKTRO) METAL KAPLAMA

Tanımlama

Bir elektroliz ünitesinde doğru akım kullanılarak, (-) kutba, yani katoda asılan iş parçasının (+) kutup ya da anod malzemesi ile belirli bir tabaka kalınlığında kaplanmasıdır. Olayda anotta yükseltgenme dolayısıyla sıfır değerli metal pozitif yüklü iyonlar halinde çözünür. Katotda ise bu iyonlar indirgenerek iş parçalan üzerini; ince bir metal tabaka halinde kaplanırlar. Kaplamanın kalitesi ve kalınlığı uygulanan akım yoğunluğuna, banyo bileşimine, sıcaklığa ve zamana bağlı olarak değişir.

Değişik metal iyonlan şartlar aynı olasa da katotda farklı miktarlarda toplanırlar. "BİRİKİM GÜCÜ" denilen bu olay bakır, gümüş gibi metallerde diğerlerine göre daha yüksektir.

Elektro kaplamada önemli etkenlerden biri elektrik akımıdır. Bir ekivalent-gram metalin aynlması için 96500 kulonluk akım miktanna ihtiyaç vardır. Bu değer 3600 saniyeye oranlanırsa :

$\frac{96500}{3600} = 26\,\S$ amper-saat lik enerjiye karşılık olur. Bu kadar enerji ile bazı metallerin aynlan ekivalent miktarlan aşağıda gösterilmiştir.

Bakır	31,78 g
Çinko	32,69 g
Gümüş	107,88 g. vb.

Elektro kaplama aşağıdaki amaçlarla yapılmaktadır :

- Dekoratif görünüm,
- Korozyon direnci,
- Mekanik dayanım (aşınma dayanımı, sertlik),
- Ölçüden düşmüş parçalann kurtanlması,
- Malzemeye lehimlenebilme, iletkenlik artışı, ışık ya da ısı absorbsiyonu gibi özellikler kazandırmak, (bazen de birkaçını).

Elektro kaplama kullanılan donanıma göre üç tarzda yapılır :

- Statik tekne kaplaması,
- Tamburla kaplama,
- Otomatik sistemde kaplama.

Bunlardan ilki az yatırım isteyen, iş hacmi düşük ve orta boyutlarda olduğunda, ikincisi, parçalann küçük ve çok sayıda olduğunda, sonuncusu da parçaların orta büyüklükte ve çok sayıda olduğunda uygulanan sistemlerdir.

Tesis Kurma

Elektro tesisi kurulmasında üç ana ünitenin yapımı dikkate alınmalıdır :

- Asıl kaplama ünitesi, orta katta düşünülmelidir.
- İkmal ünitesi, üst katta bulunmalıdır. Bu ünite ile elle ya da otomatik olarak banyolann derişik çözeltilerle beslenmesi amaçlanır.
- Nötralizasyon ünitesi, çalışmalar sonucu atık sular ya da çözeltilerin zararsız hale getirilmesi amacıyla alt katta kurulması uğun olur.

Kaplama tesisi aynca yakın yerde, düzenli bir malzeme ambarına sahip olmalı, bu ambarda da kaplama tuzlan ya da çözeltilerinin gerekli miktarda kullanımını sağlamak üzere ölçü aletleri bulundurulmalıdır.

Tekne Kaplaması

Yapılacak kaplamanın cinsi, iş hacmi ve diğer şartlara göre belirli niteliklere sahip bir teknede yapılan kaplamadır. Yardımcı ve ana donanımlar da sistemde istenen özelliklerde olmalıdır. Tekne ve donanımlar

Çizelge.6 da verilmiştir. Konvensiyonel bir kaplama teknesi şeması da Şekil.5 de görülmektedir.

Çizelge.6- Kaplama Tekneleri, Malzeme ve Donanımları

Kaplama Türü	Banyo Türü	Tekne Malzemesi	Isıtıcı (*)	Filtre Malz.	Aspiratör Donanımı
Bakır	Sülfat	Lastik ya da Pb kaplı çelik	Pb	Paslanmaz Ç. ya da lastik kaplı Ç. süzgeç selülozik	istenmiyor
Bakır	Siyanür ya da Roşel	Ç. ya da Lastik kaplı Ç. ya da PVC	ç.	Ç + sel. + Asbest	Ç-
Bakır	Yük. hızlı siyanür	Ç. ya da plastik kaplı Ç.	Ç-	Ç + sel. + Asbest	ç.
Bakır	Pirofosfat	Lastik, tuğla kaplı Ç.	Durrion ya da karbon (*)	Paslanmaz Ç. ya da dök. dem. selülozik	istenmiyor
Bakır	Fluoborat	Lastik kaplı ç.	Durrion ya da karbon (**)	Lastik kaplı Ç ya da Durrion, selülozik	istenmiyor
Çinko	Siyanür	Ç. ya da lastik kaplı Ç.	Ç-	Ç. Sel. Asbest	ç.
Çinko	Sülfat	Ç. ya da lastik kaplı Ç.	Pb.	Lastik, paslanmaz Ç. ya da duriron selülozik	istenmiyor
Kadmiyum	Siyanür	Ç. yada lastik kaplı Ç. PVC	Ç-	Gövde Ç. Süzg. selülozik	ç.
Nikel	Watts (sülfat)	Kurşun, lastik ya da PVC kaplı Ç.	Pb. Paslanmaz Ç. ya da Duriron	Lastik kaplı Ç. ya da Duriron, sel.	istenmiyor
Nikel	Klorür	Lastik ya da PVC kaplı Ç.	Paslanmaz Ç. ya da Duriron	Lastik kaplı Ç. ya da Duriron, sel.	istenmiyor
Krom	Kromik Asit	Antimonlu kurşun, Asit tuğlalı Ç.	Pb.	Nadiren kullanılır	ç.
Kalay	Stannat	Ç. ya da lastik PVC kaplı Ç.	ç.	Ç. sel.	Ç. ya da istenmiyor
Kalay	Sülfat	Pb. ya da lastik kaplı Ç.	Paslanmaz Ç ya da Duriron	Lastik, Paslanmaz Ç. Duriron sel.	istenmiyor
Kalay	Fluoborat	Lastik kaplı ç.	Karbon, Duriron	Karbon, Duriron sel.	istenmiyor
Gümüş	Siyanür	Ç. ya da lastik PVC kaplı Ç.	ç.	Ç. sel. Asbest	ç.
Altın	Siyanür	PVC kaplı Ç., Emaye	ç.	Ç. sel. Asbest	Ç-
Pirinç	Siyanür	Ç. ya da lastik kaplı Ç. ya da sert PVC	ç.	Ç. sel. Asbest	ç.

(*) : **Fluoborat banyo için karbon kaplı. (**) : 18 Si, 2 Ni, 5 Cr (Duriron).**

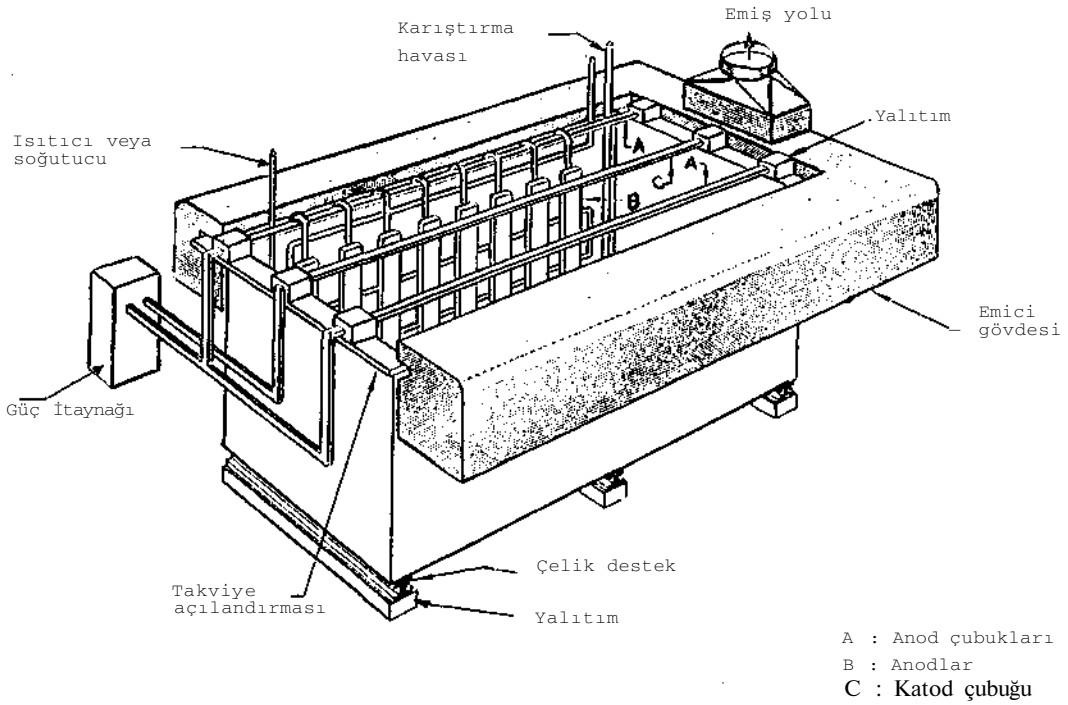
Tekne kaplamasında kullanılacak güç kaynağının kapasitesi, gerekli akım yoğunluğunun iki katı olarak hesap edilmelidir. Örnek olarak, bir kaplama için A dm2 yüzeye 150 amper saat gerekli ise güç kaynağı 300 amper saatlik olmalıdır.

Kullanılacak pompanın nitelikleri de banyo çözeltisine dirençli malzemeden seçilir. Pratikte PVC plastiği çok defa yeterlidir. Keza, banyo çözeltisinin ıslahı için kaplama teknesi yakınına bir yedek tekne ya da depo kurulmalıdır.

Kaplamanın Yapılması : Kaplama türüne göre banyo çözeltisi hazırlanır, kaplanacak parçalar yüzey temizliği (*) yapılmış halde banyoya daldırılır, gerekirse daldırmadan önce kısmen maskeleme yapılır, uygun akım yoğunluğuyla tarif üzere kaplama yapılır.

(*) Bak. Elektrolitik Alkali Temizleme

Kaplamanın yeterli nitelikte olduğunu anlamak için de kalite kontrolü gerekir. Kaplamanın kalınlığı, parlaklığı, sertliği, varsa diğer özellikleri öngörülen standartda belirtildiği şekilde tayin edilir.



Şekil.5- Bir elektroliz (kaplama) ünitesi

Tambur Kaplaması

Plastik kaplı, ya da plastikten yapılmış bir tambur içine banyo çözeltisi doldurularak sistem çalışma şartlanna getirilir. Sonra küçük iş parçalan da tambura yeteri kadar doldurularak akım verilir ve tambur düşük hızla dönmeye başlar.

Bazı hallerde de yatay durumda içinde parçalar olduğu halde bir teknedeki banyo çözeltisine tamburun kendisi daldınlır ve kaplama yapılır.

Otomatik Kaplama

Tesis maliyetinin yüksek oluşuna karşı çok yüksek kapasitede kaplama yapılabildiğinden birim kaplama maliyeti düşüktür.

Banyo bileşimleriyle kaplama aksesuarı tekne kaplamasındaki gibidir.

Otomatik kaplamada, banyo çözeltisindeki iyonlar hızla tüketildiğinden iyon beslemesi de otomatik yapılmalı ve iyon konsantrasyonu sabit tutulmalıdır. Keza atık suların nötralizasyonunda da aynı usul uygulanmalıdır.

Uyarılar

- *Kaplama kalınlığı:* Amaca ve seçilen kaplama türüne göre değişir. Kalınlık, dekoratif amaçlı altın, parlak krom gibi kaplamalarda 1-2 mikron olurken sanayi amaçlılarda (kadmiyum gibi) 8-10, sert krom kaplamada 300-400 mikron uygulanmaktadır.

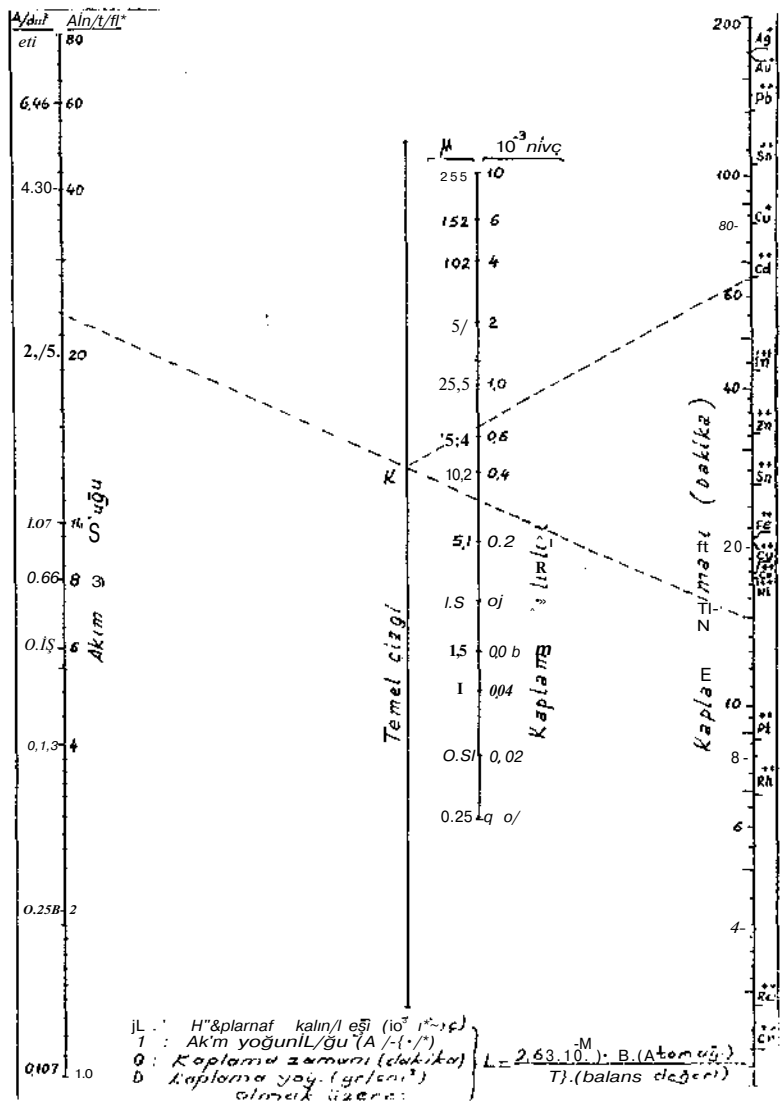
- *Kaplama sistemi:* Çok defa tek bir kaplama yeterli olursa da özellikle dış ortamda kullanılacak parçalar için üçlü, bazen de ikili kaplama sistemleri uygulanmaktadır.

- *Parça biçimi ;* Parçaların dış ve düzgün yüzeylerinde kaplama homojen kalınlıkta olur. iç düzgün yüzeylerde de homojen olmakla birlikte kalınlık dışa göre daha azdır. Derin parçaların içi yüzeyleri için önlem alınarak gerektiğinde iç anot uygulaması yapılır. Parçaların keskin kenar ve köşelerinde kaplama daha fazla birikir. Bunun için de parça tasarımlarında mümkün mertebe yuvarlatmalara gidilmelidir.

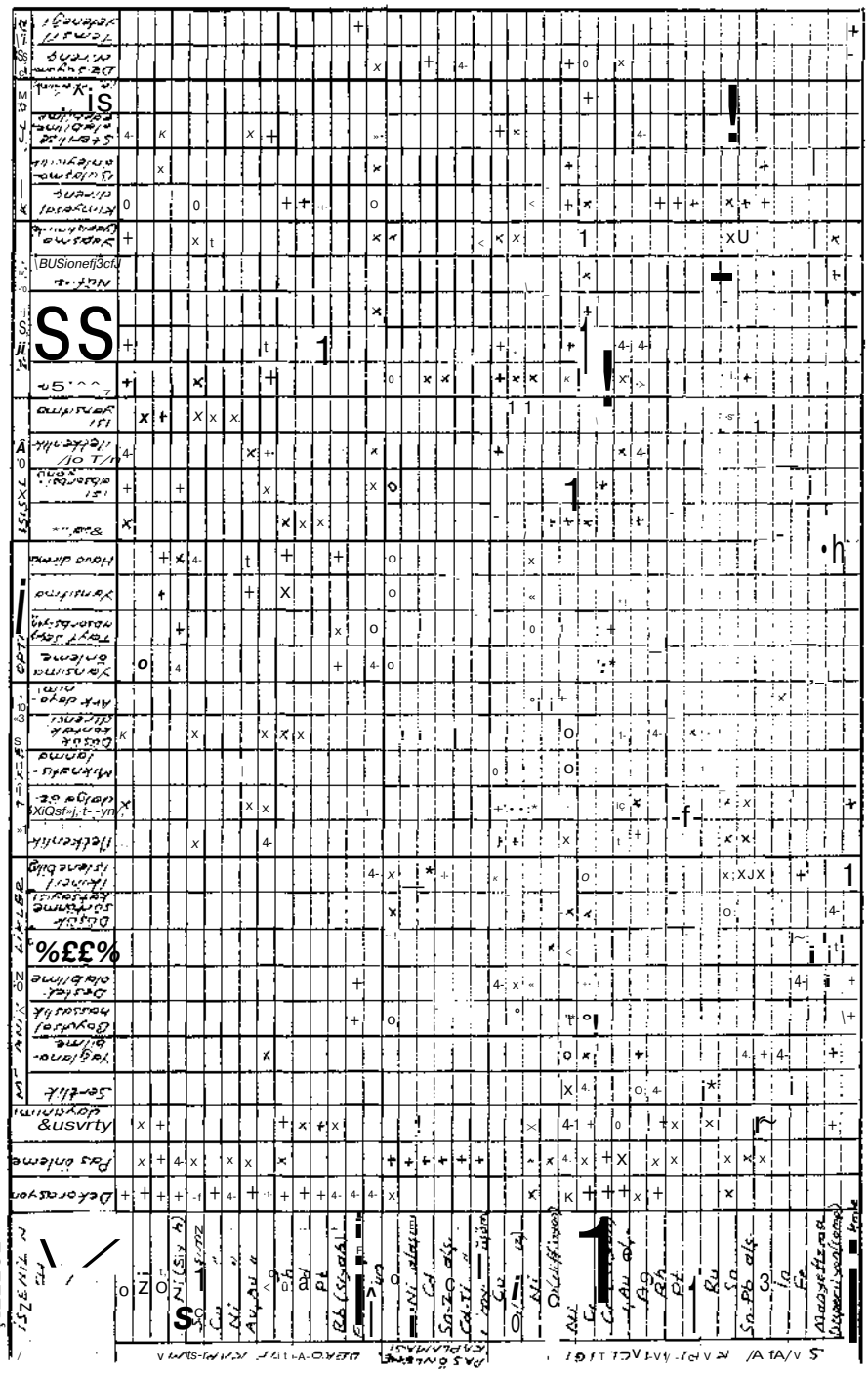
- Hidrojen kırılganlığı ya da gevrekliğine de önlem alınmalı, asitli temizlemelerden ve asitli banyolardan mümkün olduğu kadar kaçmalı, zorunlu hallerde kırılganlığın giderilmesi için gerilme gidereci tav işlemi yapılmalıdır.

- Banyolann çalıştırılmasında ilgili prosedürler geniş kapsamlı ve tam olarak uygulanmalı, banyo devre bakımları, kaplama tuzlarının depolanması ve kullanımı, koruyucu malzeme kullanımı ve diğer teknik güvenlik konulan için gerekenler yerine getirilmelidir.

- Parçaların yüzey hazırlığı ve temizliği yapılmış olmalıdır. Çizelge.7 de metaller üzerine yapılan kaplamaların özellikleri, Şekil.6 da da akım yoğunluğu, zaman ve kaplama kalınlıkları arasındaki bağıntılar bir Nomogram halinde görülmektedir.



Şekil.6-Elektro kaplamanın kalınlığı (Nomogram)



9. KADMIYUM KAPLAMA

Tanımlama

Elektro kadmiyum kaplama, çelik ve dökme demir eşyanın korozyondan korunması amacıyla yaygın kullanılmaktadır. Genelde 10-20 mikronluk bir kaplama açık hava şartlarında ana metali korozyondan korumaya yeterlidir.

Kaplanacak parça biçimi ve kaplama niteliğine göre Çizelge.8 de verilen değişik banyolar kullanılmaktadır. Kaplama sonrası uyğulancak bir pasiflendirme işlemi ile kaplamanın korozyon direnci daha da iyileşir.

Donanım

Çizelge.5 te belirtilen donanım bilgilerine şunları ekleyebiliriz :

- tş parçalan askısı plastisolla kaplı çelik malzemeden olursa yeterli ve verimlidir. Bu imkan yoksa, polistirenin bir çözücüdeki dispersiyonu da plastisol yerine kullanılabilir.
- Güç kaynağı olarak, orta büyüklükteki çalışmalar için 600 amperlik bir kapasite yeterlidir.
- Anotlar (10 mm x 200 mm x 600 mm) ölçüsünde lama kadmiyum ya da 50 mm çapta küresel kadmiyum şekillerinde kullanılabilir. Genelde iş parçalarının toplam yüzeyinin 1/4 ü kadar bir alana sahip olan anot kaplamaya uygun düşer. Kaplama yapılmadığı zaman anodlar dışarı alınırlar.
- Levha anotların baralara asıldığı kulpları çelik olmalı, askı yeri hariç kulp yalıtkan maddeyle kaplanmalı, kullanıldıkça askı yerleri sık sık temizlenmelidir.
- Küresel anodlar da çelik spiral taşıyıcılarla baralara asılırlar. Kullanım dışında anodlar dışarı alınmalıdırlar.
- Baralar sert bakırdan ve her 1000 amper için 6,5 cm^2 kesitinde olmalıdır.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma **Koşulları**

Kaplama banyosu hazırlanışında Çizelge.8 de verilen bilgilerden yararlanılır. Kullanılacak su temiz olmalı ve en az düzeyde iyon bulundurmalıdır, iyon değiştirici ve aktif kömür süzgecinden geçirilen su bu amaç için uygundur. Banyoya katılacak tuzlar sağlıklı biçimde tartılmalı, parlatıcılar litre başına 0,2-1 g olarak ilave edilmelidir.

Katoda asılan iş parçalarının anodlara yakınlığı en az 15 cm olmalıdır.

600 Amperlik bir güç kaynağı ile ortalama 2 A/dm^2 lik bir akım yoğunluğu alınır ki banyoya alınan her yüzü 1 dm^2 alana sahip iş parçalarından 200 parçaya kaplama yapılabilir. Bu konuda Şekil.6 da verilen nomogramdan çeşitli örnekler için yararlanılabilir.

Banyonun kaplamaya hazır olması çalışma sıcaklığına getirilmesi ile tamamlanır. Seçilen banyo bileşimine göre sıcaklık ayarı da yapıldıktan sonra kaplama kalınlığını belirleyecek zaman ölçer (timer) çalıştırılarak banyoya akım verilir. Bu sırada aspiratörler de çalıştırılmış olmalıdır. Bir süre sonra zaman ölçer çalınca kaplamanın tamamlandığı anlaşıldığından akım kesilir, iş parçalan askısı ile dışan alınarak yıkama, kurutma işlemlerine verilir. Pasiflendirme yapılacaksa kurutmaya vermeden yapılır, sonra yıkanır ve sıcak hava ile kurutulur. Gerilme giderici tav uygulanacaksa en ideali 190°C de 3 saat tutularak sağlanır.

Homojen bir kaplama için akım yoğunluğu 2,15 A/dm^2 yi aşmamalıdır. Kanştırma ve soğutma varsa akım yoğunluğu ihtiyacı artar. Küçük ve hafif parçalar için akım yoğunluğu düşük değerde, orta büyüklükte düzgün parçalar için 4,3 dolayında, daha büyük parçalar için de daha yüksek değerlerde uygulanır.

Standardlar ve Kalite Kontrolü

Kadmiyum elektro kaplaması için TS 1716 standardı kaplama kalite isteklerini, kaplama öncesi ve sonrası ısıl işlemlerini, numune alma ve işlem kılavuzu gibi bilgileri bulundurmaktadır.

Banyo çözeltisinin kalite kontrolü ve analizleri bu konuda kaplama maddesi satıcılanndan alınmalı ve uygulanmalıdır.

Kaplama Kusurları ve Giderilme Çareleri

Yapışma gücünün azlığı : Yüzey temizliğinin yetersizliğinden ve hidrojen kırılganlığından ileri gelir. Yüzey temizliği iyi yapılmalı ve ısıl işlem uygulanmalıdır.

İri kristalli, yanık vb. kaplamalar : Akım yoğunluğunun yüksek tutulmasındandır. Aksine çukur parçalann zayıf kaplama alması da düşük akım yoğunluğundandır. Akım yoğunluğu uygun değerlerde seçilmelidir.

Benekli ve dalgalı kaplama : Banyo çözeltisinin küf ve benzeri maddelerle aşın kirlenmesinden ileri gelir. Banyo çözeltisi süzülüp temizlenmelidir.

Çizelge.8- Kadmiyum Kaplama Banyoları

Banyo No.	NaCN/Cd	Banyo Bileşimi, g/l					Akım Yoğunluğu A/dm²		İşlem Sıcaklığı C	Notlar
		CdO	Cd	NaCN	NaOH	Na_2CO_3	Sınırlar	Ort.		
Siyanürlü Banyolar										
1	4/1	22,5	19,6	78	14,2	30-75	0,5-12	2,7	26,5-32	Tambur kaplama dahil her tür sisteme uygundur
2	7/1	22,5	19,6	137,8	14,2	30-45	1,1-8,6	2,7	26,5-32	Otomatik kaplamaya uygun (tambura değil)
3	5/1	26,2	23	114,5	16,4	30-60	0,5-9,7	3,8	23,8-29	Otomatik ve tambur kaplamaya uygun, yüksek verimlidir.
4	4,5/1	41,2	36,1	162,5	25,8	30-45	0,5-16	5,4	26,4-32	Dökme demir parçaların kaplanmasına uygun ve yüksek hızdadır.
Siyanürlü Banyolar										
5	...	Kadmiyum fluoborat 241	Cd	Amonyum fluoborat 60	Ucorice 1	3,2-6,4	3,2-6,4	—	21-37,5	Geniş ölçüde tambur kaplamaya uygundur.

(*) $Cd(OH)_2$ kullanıldığında 26 g alınır.

Kaplamanın Sökülmesi

Herhangi bir nedenle iş parçalarının üzerindeki kadmiyum kaplama, 200g/l kromik asit + 50 ml/l sülfürik asitten ibaret bir çözeltide iş parçalarının 5-10 dakika tutulması sonucu sökülebilir. Aynı işlem banyoda ters akım uygulaması (iş parçalarının anot olarak asılması) ile de yapılabilir.

Siyanürlü Suların Nötralizasyonu

Siyanürlü suların (zehirli atıklar) kanalizasyona verilmeden önce zehirliliklerinin giderilmesi gerekir. Bu işlem için hipoklorid çözeltisinden yararlanılır. Bu bileşik siyanür iyonunu aşağıdaki denkleme göre parçalar ve zararsız hale getirir :

$NaCn + NaClO \longrightarrow NaCNO + NaCl$ ve daha sonra :

$2CNO" + 3C10" + H_2O \longrightarrow 2CO_2 + H_2 + 3Cl + 2OH"$

Tepkimelerine göre siyanür iyonu tamamen yükseltgenerek zararsız ve zehirsiz ürünlere parçalanır.

Çalışma sırasında 130 g sodyum siyanür için 373 g sodyum hipokloride ihtiyaç vardır. Banyo çözeltisi ya da nötralize suları içindeki siyanür miktarı titrasyonla bulunduktan sonra bir beton teknede eşdeğer miktarda hipokloritin sulu çözeltisiyle bir pervaneden yararlanılarak kanştınhr. Tepkime sonunda banyo örneğine bir tüp içinde müreksit indikatörü ilave edilir. İndikatörün rengi değişmezse biraz daha hipoklorit ilavesi yapılarak tekne içeriği kanştınhr. Tekrar numune alınır, müreksit rengi kaybolursa teknede siyanür kalmamış demektir.

Bu işlemlerin yapılması sırasında koruyucu donanım kullanimalıdır.

10. ÇİNKO KAPLAMA

Tanımlama

Elektro çinko kaplama demir ve çelik eşyanın korozyondan korunması amacıyla sanayide kullanılan, nisbeten ekonomik, yurdumuzda daha çok tekne kaplaması şeklinde uygulanan bir kaplama türüdür. 8-13 mikronluk bir kaplama çok defa yeterlidir. Asitli ve siyanürlü banyolardan daha yaygın olanı siyanürlülerdir.

Çinko kaplama 153 kg/mm^2 den daha yüksek çekme dayanımlı çeliklere uygulanmaz.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma Koşulları
Çizelge.9 da verilmiştir.

Çizelge.9- Çinko Banyoları

Bileşenler ve koşullar (g/l)	Banyo 1	Banyo 2
Çinko oksit, saf	42	56
Sodyum siyanür	92,1	104,8
Sodyum hidroksit	37,5	55,4
Sodyum polisülfür (*)	1,5	1,5
NaCN / Zn oranı	2,7 ila 1	2,3 ila 1
Akım yoğunluğu, A/dm^2	1,1-9,7	0,3-1,1
Volt	1,5-6	9-15
Sıcakhk,°C	24-37	34-37

(*) **: Banyoya başlangıçta bu oranda katılan polisülfür çalışma süresince Pb, Cd gibi iyonlar çöktükçe azar azar daha eklenir.**

11. BAKIR KAPLAMA

Tanımlama
Elektro bakır kaplama, genelde çok katlı (Cu+Ni+Cr) kaplama sistemlerinin en alt tabakası olarak, bazen de dekoratif amaçlı ve korozyon direnci için kullanılır. Ayrıca bakırın saflaştinlmasında da ana yöntemdir. Dekoratif amaçlılarda kaplama üzerine bir vernik vurulması bakır kaplamanın kararmasını önler.

Bakır kaplama banyoları siyanürlü, asitli ve pirofosfatlı olmak üzere üç ana yöntemde uygulanır. Siyanürlüler genel amaçla, asitliler rafinasyonda ve pirofosfatlılar da gözenek kapatma ile kalın kaplamalarda uygulanmaktadır.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma Koşulları
Bunlar, Çizelge. 10, 11, ve 12 de verilmişlerdir.

Çizelge. **10-** Siyanürlü **Bakır Kaplama Banyoları**

Bileşenler veya **koşullar (g/l)**	**Sej' eliik** Siyanür Banyosu	**Standard Tambur**	Roşel Ban. Düşük Kons.	Roçel B. Yük. Kons.	Roşel B. Sodyum siyanürlü
Bakır siyanür	7,",S	45	26,2	45	1İ9.8
Sodyum siyanür	33,7	67,4	34,5	52,4	!.!4,8
Sodyum karbonat	15	—	30	59,9	i 5
Sodyum hidroksit	**PH'a** görc	---	PH	PH	30
Roşel (senyet) tuzu	...	45-75	45	90	....
Sıcakhk,"C	32-4 >	54-59	54-70	78	78
Akım yoğ. A/din^2	1,1-iö	...	2,2-4,3	5,4	3,2-6,5
Volt	6	6	6	6	6
PH (Kolorimetrik)	12-12,6	...	12-12,6	>13	>13
Anot/katot (alan)	3/1	2/1	2/1	2/1	3/2

Çizelge.ll- Asitli Bakır Banyoları

Bileşenler veya koşullar (g/l)	Bakır Sülfat Banyosu	Bakır Fluoborat (Düşük bakirli)	Bakır Fluoborat (Yüksek bakirli)
Bakır Sülfat, Kristal ($CuSO_4.5H_2O$)	197-247	—	—
Sülfürik asit	30-75	—	...
Bakır fluoborat ($Cu(BF_4)2$	—	225	450
Fluoborik asit, (HBF_4)	...	PH'a göre	PH'a göre
Sıcakhk,°C	21-48	27-76	27-76
Akım yoğ. A/dm^2	2,2-10	8-13	13-38
Volt	6	6	6-12
PH, kolorimetrik	-	0,8-1,7	<0,6—
Katot verimi, 0/0	95-100	95-100	95-100

Çizelge.12- Pirofosfatlı Bakır Banyosu

Bileşenler, g/l ya da koşullar	Konsantrasyon, g/l
Bakır	22,5-30
Pirofosfat	172,3-209,7
Amonyak	0,52-2
P2O7/Cu (Ağırlık oranı)	52,4-63,7
Nitrat	7,5-15
Sıcaklık, °C	38-60
Akım yoğ. A/dm^2	1,1-7,5
Volt	2-5
PH, Elektrometrik	8-8,5
Anot/katot (alan oranı)	1/1-2/1
Katot verimi, 0/0	96-100

Not : Parlatıcı olarak 0,75 g/l hesabıyla melas, jelatin, tutkal fenol sülfonik asit, sülfo salisilik asit maddelerinden biri (ayrı ayrı) kullanılabilir.

12. PİRİNÇ KAPLAMA

Tanımlama

Pirinç kaplama, 0/0 70 bakır ve kalanı da çinko olan san renkli bir alaşım kaplamasıdır. Hem korozyon direnci sağlamak hem de dekoratif amaçla çelik üzerine uygulanmaktadır.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma Koşullan

Bu bilgiler Çizelge. 13 de verilmiştir.

Çizelge.13- Pirinç Kaplama Banyoları

Bileşenler veya koşullar (g/l)	Seyreltik A	Standard B	Roşel Ban. C	Roşel B. D
Bakır, 0/0	78	81	93	88
Bakır siyanür, CuCN	27,31	40,5	71-105	100,5
Çinko siyanür	9-11	12	3-9	18
Sodyum siyanür	45-60	...	90-135	150,5
Sodyum karbonat	30	...	—	---
Amonyak, ml/l	3-4	—	...	...
Sodyum hidroksit	---	...	45-75	11,2
Sıcaklık, °C	32-45	23	73-89	59,5
Akım yoğ. A/dm^2	0,3-1,1	0,3	3,2-17	3,2-15
pH	10-11,5	—	...	12,2

13. NİKEL KAPLAMA

Tanımlama

Nikel kaplama, bakır, pirinç, çelik ve diğer metaller üzerine uygulanan kaliteli bir koruyucu kaplamadır. Çok katlı kaplama sitemlerinde ara kaplama olarak, bazen de son kat olarak uygulanır. Kaplama kalınlığı amaca göre değişir. Sanayi ortamında kaplama kalınlığı 13-50 mikron, dış ortamda da aynı miktar, kapalı yerlerde ise 5-18 mikronluk kaplama yapılmaktadır. Başlıca banyo çeşitleri Watts, Sulfamat ve Fluoborat banyolarıdır. Bunlardan birincisi, genel amaçlı, ucuz tuz kullanılan ve yüksek akım yoğunluğunu gerektiren banyodur. Sulfamat, yüksek verimli, kolay kontrol edilebilen, Fluoborat ise geniş konsantrasyon ve işlem şartları aralığında uygulanan banyodur. Ayrıca özel amaçlı sert nikel, siyah nikel kaplama banyoları da kullanılmaktadır.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma Koşulları

Bu bilgiler Çizelge. 14 de verilmiştir.

Çizelge.14- Nikel Banyoları

Bileşenler ve koşullar (g/l)	Watts	Sulfamat	Fluoborat
Nikel sülfat, NİSO4.6H2O	255-412	—	—
Nikel kloriir, NİCI2.6H2O	3-60	0-30	0-15
Nikel sulfamat, Ni $(SO_3NH_2)_2$	...	262-450	—
Nikel fluoborat, Ni $(BF_4)_2$	—	—	225-300
Toplam nikel (metal olarak)	58-106	62-112	57-78
Borik asit, H3BO3	30-45	30-45	15-30
Perhidrol (oyukçak önleyici) (istendiğinde ml/1001	26	26	26
Sıcaklık, °C	40-70	38-59	38-70
Akım yoğ. A/dm^2	1,1-11	2,7-32	2,7-32
PH	1,5-5,2	3-5	2,5-4

Notlar

- Dekoratif parlak nikel kaplama için akım yoğunluğu : Katot için 2-2,5, Anot için 0,5-2 A/dm^2 aralıklarında kullanılmalıdır.
- Paslanmaz çelik üzerine altın kaplama yapılacak ise altından önce nikel kaplanmalıdır.
- Nikel kaplamanın çelik, bakır, pirinç ve çinko yüzeylerden sökülmesi ters akım uygulaması ile sülfürik asitli banyoda mümkün olur :

Sülfürik asit, hacımca, 0/0	60
Su hacımca,	40
Gliserin ya da etilen glikol g/l	30
Bakır sülfat, g/l	30
Sıcaklık, °C	20-25
Volt	6
Katot malzemesi	Kurşun

14. KROM KAPLAMA

Tanımlama

Krom kaplama dekoratif ve sanayi amaçlı olmak üzere iki tipte uygulanmaktadır. Dekoratif kaplama, daha çok üçlü kaplama sisteminin (Cu+Ni+Cr) son tabakasını oluşturmak üzere 1-2 mikrona kadar yapılır ve ayna parlaklığına ulaşılır. Bazen ekonomi amacıyla bakır ve nikel kullanılmadan da krom kaplama yapılır, ancak üçlü sistem kadar korozyon direncine sahip olmaz.

Siyah krom kaplama da dekoratif krom kaplamanın bir başka tipidir.

Sanayi amaçlı krom kaplama, sert krom diye anılır ve çok kalın bir tabaka (300-500 mikron) halinde uygulanır ve çok defa taşlama ile parça son ölçüsüne getirilir. Sert kromla ulaşılan sertlik değeri 63 Re değeridir.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma Koşulları

Dekoratif krom banyoları ile ilgili banyo bileşimleri ve çalışma koşulları Çizelge. 15 de verilmiştir.

Çizelge.15- Dekoratif Krom Banyoları

Bileşenler veya koşullar (g/l)	Genel Amaçlı Çatlaksız		Mikro Çatlaklı I (çeliğe)	Mikro Çatlaklı II (çinkoya)
Kromik asit, CrO_3, g/l	250	265-300	340-375	375-415
C1O3/SO4	100/1-125/1	150/1	100/1	140/1
Sıcaklık °C	40-50	52-54	45-52	50-55
Akım yoğ. A/dm^2 (katodda)	8,3-19	27-32	9,7-16,6	13-17

Dekoratif kaplamanın uygulandığı üçlü sistemde banyo bileşimleri ve çalışma koşullan Çizelge. 16 da verilmiştir.

İTÜ MAKİNE FAK. BASIM SET.

Çizelge.16- Komple Üçlü Kaplama Yerleri, Banyo Bileşimleri, Koşullar

Kullanım yerleri	Âna metal	Kaplama kalınlığı, en az, mikron				
		Bakır	yan par. nikel	parlak nikel	Cu + Ni	Krom
Otomobil dış kısımları	Çelik	13	---	20	38	0,8
Otomobil dış kısımları	Çinko alş.	5	23	8	38	0,5
Otomobil dış kısımları	Pirinç	...	...	13	13	0,5
Oto iç kısımları	Çelik	—	...	13	13	0,5
Oto iç kısımları	Çinko alş.	5	...	8-13	13-20	0,3
Dz. Araçları	Çinko alş.	8	25-30	5	38-45	0,3
Ev eşyası	Çelik	—	—	8-13	8-13	0,3
Ev eşyası	Çinko alş.	5	...	8-13	8-13	0,3
Musluk ve boru kparç.	Çelik alş.	5	13	5-25	25	0,3
Kilit, anahtar, kapıkolu vs.	Çelik	...	—	8-13	8-13	0,3
Kilit, anahtar, kapıkolu vs.	Çinko alş.	5	...	8	13	0,3

Sert Krom uygulamaları

Sanayi amaçlı sert krom kaplamaların uygulama yerleri aşağıya çıkarılmıştır :

- Sertlik ve aşınma dayanımı kazandırılmak istenen mil, şaft gibi parçalar, doğrudan doğruya çelik üzerine yapılabilir.
- Matbaa baskı tekniğindeki ihtiyaçlar,
- Ölçüden düşmüş parçaların kurtarılması.

Sert krom banyoları ve çalışma koşulları Çizelge. 17 de verilmiştir.

Çizelge.17- Sert Krom Banyoları

Bileşenler veya koşullar (g/l)	Kromik-Sülfürik Asitli		Fluosilikatlı	
	I	II	I	II
Kromik asit,CrO3,	250	397	250	396
Sülfürik asit	2,5	4	0,8-1	—
Krom-3- iyonu	2-5	2-5	2-5	—
Sodyum fluosilikat ($Na_2 SiF_6$)	—	—	2-3	1,5
Sıcaklık, °C	52 3	52 9	48 2	54
Akım yoğ. A/dm^2	15-40	14-49	20-50	24-54
Akım verimi, 0/0	15	...	22	~

15. KALAY KAPLAMA

Tanımlama

Kalay, tamamen zehirsiz bir metal olduğundan gıda maddelerinin saklanmasında kullanılan teneke kaplann imali için eskiden beri kullanıla gelmiştir. Ancak kalay kaplı kaplann çok düşük sıcaklık ve nem ortamında tutulmaması gerekir. Bugün kalay kaplama başlıca aşağıdaki amaçlar için uygulanmaktadır :

- Lehimlenecek yüzeyler, 5 (mikron)
- Vidalar, 5
- Ölçü korumak ve hasar önleme, 8
- Nitrürleme önleyici maskeleme, 10
- Aşınma, korozyon ve gıda amabalajı 50

Elektro kalay kaplama, alkali stannat ve asitli banyolarla olmak üzere iki tipte uygulanmaktadır. Anot olarak

alkali stannat banyolarında 0/0 1 Alüminyum katkılı kalay alaşımı kullanılmakta olup yüksek verimlidir. Saf kalay anot kullanılacaksa stannitten dolayı kaplamanın grileşmesini önlemek amacıyla 0,45 g/l oranında hidrojen peroksit eklenmelidir.

Banyo Bileşimleri ve **Çalışma Koşulları**

Elektro kalay kaplamanın her iki tipiyle ilgili banyo bileşimleri ve çalışma koşullan Çizelge. 18 de verilmiştir.

Çizelge.18- Kalay Banyoları

Bileşenler veya koşullar (g/l)	Alkali Stannat I	Alkali Stannat II	Asitli Sülfat	Asitli Fluoborat
Potasyum stannat	209,7	...	...	...
Sodyum stannat	...	101,1	...	...
Potasyum Hidroksit	22,5	...	...	...
Sodyum hidroksit	...	9,7	...	—
Kalay metali (stannatta)I	79,4	419	...	80,9
Kalay-2- sülfat	...	—	52	—
Sülfürik asit	—	—	97,4	—
Krezol sülfonik asit	...	...	97,4	....
Beta naftol	...	...	1	1
Jelatin	—	—	2	6
Kalay-2-fluoborat	...	...	...	200,7
Fluoborik asit, serbest	—	...	...	53-100
Borik asit, serbest	—	...	...	24,7
Sıcaklık, C	71-92	60-84	20-37	70-43
Akım yoğ. A/dm^2	117,2 en çok	0,54-3,2	1,1-4,3	8,1-13,4
pH, kolorimetrik	...	...	—	0,2 en çok
Yoğunluk, Bome	—	—	—	20-23

16. GÜMÜŞ KAPLAMA

Tanımlama

Gümüşün başta gelen iki önemli özelliği en iyi iletken olması ve parlak görünümüdür. İletkenliği dolayısıyla elektrik ve elektronik sanayiinde fazla oranda kullanılmaktadır. Pahalı bir metal olmasından dolayı da kaplama halinde uygulanması ekonomik olmaktadır. Çeşitli kontaklar, terminaller, şalter parçalan ve piezo element yüzeyleri gümüş kaplamanın uygulandığı bazı örneklerdir.

Dekoratif amaçlı kullanımlarda yüzeyin çok iyi parlatılması yetmez, açık havadaki kükürtlü bileşiklerden dolayı kararmasının önüne ancak vernikleme ile geçilebilir.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma Koşulları

Çarpma, konvensiyonel ve yüksek hızlı olmak üzere üç tip gümüş banyosuyla ilgili banyo bileşimleri ve çalışma koşullan Çizelge. 19 da verilmiştir.

Çizelge. 19- Gümüş Banyoları

Bileşenler veya koşullar (g/l)	Konvensiyonel	Yük. Hızlı (*)	Çarpma (**) Parlık Ni üzerine	Çarpma (**) Demir dışı met. için
Gümüş siyanür	25-33	45-55	0,75-1,5	3,75-5,24
Potasyum siyanür, (serbest)	30-45	45-55	—	—
Potasyum karbonat	**23-90**	23-80	...	—
Potasyum nitrat	....	23-90	...	—
Potasyum hidroksit	—	3-12	—	—
Serbest sod. Siyanür	—	—	37,5-60	60-90
Sodyum karbonat Parlatıcı (**)	—	—	—	1,2 en çok
Sıcaklık, °C	**20-26**	40-45	oda s.	oda s.
Akım yoğ. A/dm^2	**0-54-1,61**	2,7-10,5	2,7-8	1,6-2,7
Anot malzemesi	saf gümüş	saf gümüş	saf gümüş ya da p.maz çelik	saf gümüş ya da p.maz çelik
Kaplama süresi, dak.	—	—	1-1,5	1-2

(*) : Altın ya da başka soy metal kaplamanın tutması için.
(•*) : Parlatıcı olarak karbon disülfür kullanıldığında 28 g madde 56 g eterde çözülerek 1 I banyo çözeltisi ile karıştırılır ve ana banyoya istenen miktarda eklenir. Banyo çalıştırıldıkça 15 saatte eklemeler gerekir. Aynı amaçla amonyum tiyo siyanatda kulamlabilir.

17. ALTIN KAPLAMA

Tanımlama

Parlaklığını kaybetmiyen ve çok iyi iletkenliğe sahip olan borsa metali altın, çok pahalı olduğundan elektro kaplama şeklinde dekoratif ve sanayi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Korozyon direncinin yüksekliği de kullanım alanlarını genişletmiştir.

Banyo Bileşimleri ve Çalışma Koşulları

Parlak kaplama, ince kaplama vb. değişik tiplerde uygulanan altın kaplama banyolarının bileşimleri ve çalışma koşullan Çizelge.20 de verilmiştir.

Çizelgede verilen :

I No.lu kaplama, parlak ve alaşımlara yapılan,
II N.olu kaplama, parlak ve altının Cd, Co, Cu, Ni, Ag ile yaptığı alaşımların kaplamaları,
III No.lu olanı, 1,3-25 mikron aralığındaki kaplamalar,
IV No.lu olanı, tambur kaplama,
V No.lu olanı da yüksek hızlı (50 mikron/saat) kaplamalarda kullanılmaktadır.

Çizelge.20- Altın Banyoları

Bileşenler veya koşullar (g/l)	I	II	III	IV	V
Altın, metal hesabıyla	2,05	1,03	8,21	4,105	21,91
Serbest siyanür	15	0,11-15	20	60	—
Potasyum sekunder fosfat	15	15	20	60	…
Potasyum ferro siyanür	—	…	—	…	202
Potasyum karbonat	—	…	20	60	…
Sıcakhk,°C	54-70	54-70	54-70	54-70	54-70
Akım yoğunluğu A/dm^2	**0,1-1**	**0,1-1**	**0,1-1**	**0,1-0,3**	**0,1-1**
PH	11,8-12	11,8-12	11,8-12	11,8-12	11,8-12
Karıştırma	Mekanik Yapılmalıdır.				

KAYNAKÇA

(1) YAŞAR, Hikmet, **Metaller için Yüzey İşlemleri,** KOSGEB Yayını, 1994.

(2) Metals Handbook Vol. II, American Society for Metals.

İLGİLİ TSE STANDARTLARI

TS	**149**	Demir ve çelik Parçaların Koruyucu Kaplamaları	Ekim 1964
TS	**914**	Galvanizleme (Sıcak Daldırma ile Çinko Kaplama)	Ekim 1987
TS	**1609**	Elektrolitik Kaplamalar (Çelik veya Demir Üzerine) Bakır artı Nikel artı Krom	Nisan 1974
TS	**1626**	Elektrolitik Kaplamalar (Nikel artı Krom)	Nisan 1974
TS	**1654**	Elektrolitik Kaplamalar - Nikel	Nisan 1974
TS	**1715-16**	Metalik Kaplamalar (Elektrolitik Çinko ve Kadmiyum) Dökme Demir ve Çelik Üstüne	Haziran 1974
TS	**1865**	Metalik Kaplamalar - Elektrolitik, Kalay	Nisan 1975
TS	**2392**	Metalik Kaplamalar-Elektrolitik, Kalay-Nikel Alaşımı	Nisan 1976
TS	**4922**	Metalik Malzemelerin Yüzey İşlemi, Alüminyum ve Biçimlenebilir Alüminyum Alaşımlarının Anodik Oksidasyonu (Eloksal, Teknik özellikleri)	Ekim 1986

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ EL KİTABI

ÜRETİM ve TASARIM
Cilt 2

Baskıya Hazırlayan
A. Münir CERİT
Makina Yük. Mühendisi

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

YAYIN NO.: 170

2. BASIM

SUAT SEZAİ GÜRÜ'nün anısına

Koordinasyon

MMO Kitap Komisyonu
Ali Münir CERİT
Prof. Dr. Alp ESİN
Doç. Dr. Kahraman ALBAYRAK
Bilal BAYRAM

BÖLÜM 17

ÜRETİM PLANLAMA SİSTEMİ TASARIMI

Hazırlayanlar

Prof. Dr. Ömer SAATÇlOĞLU
Doç. Dr. Sinan KAYALIGİL
Doç. Dr. Suna (KONDAKCI) KÖKSALAN

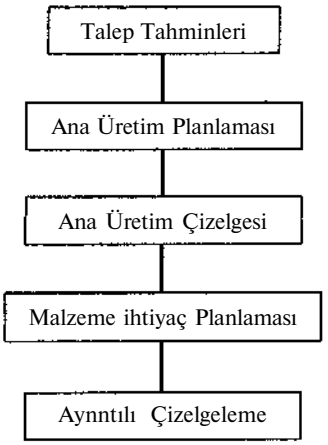
Sayfa

1. Giriş 02
2. Ana Üretim Planlaması 02
3. Esnek imalat Sistemleri (EİS) 21
4. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MİP) 28
5. Çizelgeleme 31
KAYNAKÇA 36

ÜRETİM PLANLAMA SİSTEMİ TASARIMI

1. GİRİŞ

Üretim Planlama Sistemi, üretimin öngörülen talebi zamanında karşılamak üzere seri planlama kararlan için yürütülen faaliyetlerden oluşan bir sistemdir. Bu sistem içinde alınan üretim kararlanrun katmanlı yapısı Şekil. 1 de verilmiştir.



Şekil. 1 Üretim kararlarının yapısı

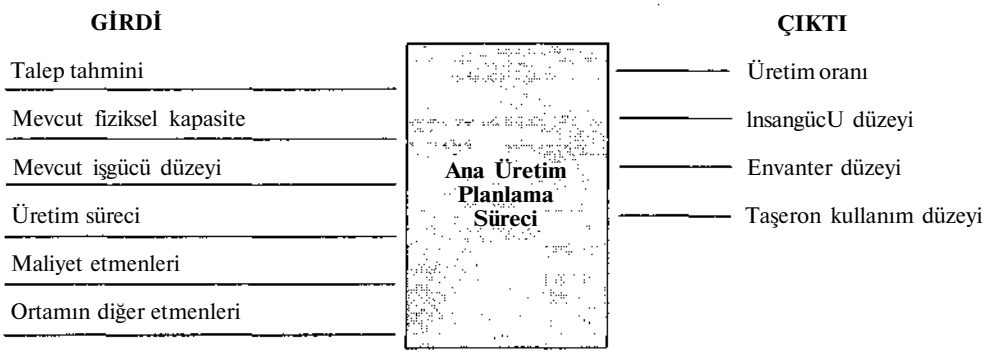
Katmanlı yapı içinde, kuruluş ilk önce - öngörülen planlama süresi için -toplaşık (agrege) satışlannı tahmin etmek durumundadır. Bu tahminler, planlama süresi için gerekli toplaşık üretimi ve işgücü düzeylerini belirlemek için kullanılır ve ana üretim planı hazırlanır. Üçüncü aşamada, toplaşık üretim planı, ana üretim çizgelgesine dönüştürülür. Ana üretim çizelgesi, üretim miktarlannın, ürün ve süre bakımından çizelgelenmesini gösterir. Sonraki aşamada, ana üretim çizelgesinde yaratılan bitmiş ürün envanterinin spesifik üretim hedeflerini karşılamak üzere malzeme ihtiyaç planlaması hazırlanır. Bu plan, nihai ürün, yan mamul ve parçalann malzeme ihtiyaçlarını sağlamak için gerekli siparişleri kapsar. Son aşamada, planlanmış bu siparişler, işler kümesine ve bu işlerin tamamlanma sürelerine dönüştürülür ve mevcut kaynaklann işler kümesine tahsis edilmesi ile çizelge oluşturulur.

Bu bölümde, üretim planlama sisteminin tasannu ile ilgili üretim kararlan açıklanacak ve ilgili karar alma tekniklerinden önemli görülenler tanıtılacaktır.

2. ANA ÜRETİM PLANLAMASI

Ana Üretim Planlama, 1 aydan 24 aya kadar değişen süreler için, dönemler bazında beklenen talebi karşılamak üzere, eldeki insangücü, malzeme ve diğer kaynaklann en iyi bileşkesini seçme sürecidir. Başka bir ifadeyle, ana üretim planlama, belli bir süre için talebi karşılamak amacıyla, en iyi üretim oranını, insangücü, envanter, taşeron kullanım ve fazla mesai düzeyleri ile vardiya sayısını belirleme sürecidir.

Üretim planlama sürecinin temel girdileri, talep, mevcut kaynaklar, süreç planlama çıktılan ve ortamın diğer etmenleridir. Üretim Planlama sürecinin girdileri ve çıktılan Şekil. 2 de gösterilmiştir.



Şekil. 2- Üretim süreci - girdi - çıktı ilişkisi

Üretim planının önemli çıktısı, ana üretim çizelgesidir. Bu çizelge, üretim sisteminin her dönem, talep edilen üründen ne miktarlarda üretilmesi gerektiğini belirtir. Ana üretim planında belirlenen dönem bazındaki üretim oranlan, üretim çizelgesinin hazırlanmasında temel girdiyi oluşturur.

Ara Üretim Planlama Stratejileri

Talebin az değiştiği ve talep ortalamasının sabit olduğu durumlarda, üretim planlama problemine çözüm oldukça kolay bulunur. Bu durumda, üretim oranını, işgücü düzeyini ve her dönem için planlanan sevk miktarlarını değiştirmeye gerek yoktur. Yalnız küçük dalgalanmalan örtmek üzere, bir miktar envanter (emniyet stoğu) bulundurmak yeterli olur. Bu politikaya uygun insangücü düzeyi aşağıdaki formülden hesaplanabilir :

$$w_t = \frac{\text{devresel ortalama satış oranı (ya da üretim oranı)}}{\text{işçi prodüktivitesi}}$$

Örnek: Günlük ortalama satış oranı veya üretim oranı 1000 birim olan bir kuruluşun günlük ortalama işçi prodüktivitesi 10 birim ise, günlük işçi sayısı:

$$w, = \frac{1000 \text{ birim/gün}}{10 \text{ birim/işçi}} = 100 \text{ işçi/gün}$$

olur.

Öte yandan, talep bir dönemden diğerine değişiklik arzediyorsa, üretim planlama problemi karmaşık bir yapıya bürünür. Bu durumlarda, talebi karşılamak üzere, aşağıda belirtilen stratejilerden biri ya da daha fazlası kullanılır.

- Üretim oranını değiştirmek,
- insan gücü düzeyini değiştirmek,
- Talebi stokdan karşılamak
- Talebi sonradan karşılamak,
- Taşeron kullanmak.

A. Üretim Oranını Değiştirmek

Bu stratejiye göre, mevcut insangücü düzeyini değiştirmeden, fazla mesai ya da az mesai (mevcut insangücünün çalışma temposu azaltılır ya da çalışma saatleri düşürülür) kullanılarak üretim oranı değiştirilir. Talep düzeyinin yüksek olduğu dönemlerde, fazla mesai kullanılarak üretim oranı arttırılır. Öte yandan, talebin düşük düzeyde olması halinde, az mesai kullanılarak üretim oranı azaltılır.

Bu alternatif, üretim oranında gerçekleştirilecek değişiklik bakımından sınırlıdır. Bunun bir nedeni, azami fazla mesai miktarının yasalarla sınırlı olmasıdır. Diğer bir neden, fazla mesai ücretlerinin ortaya çıkardığı yüksek maliyet olgusudur.

B. İnsangücü Düzeyini Değiştirmek

Farklı talep düzeylerindeki üretim oranını belirlemek üzere kullanılan diğer bir yol, insangücü düzeyini değiştirmektir. Eğer talep fazla ise üretim oranını artırmak için yeni personel alımına gidilir. Aynı şekilde, eğer talep düşük düzeyde ise, bu kez üretim oranını düşürmek üzere personel işden çıkarma yoluna gidilebilir. Her iki yolun da kendine özgü masrafları vardır.

Yeni personel alma giderleri arasında ilan, mülakat yapma, sınav verme, seçme ve eğitme harcamaları sayılabilir. İşten çıkarma ise tazminat giderine ve kuruluşun prestijinin yitirilmesine neden olur.

İşe alma ve çıkarma yoluyla üretim oranı düzenlemesi yapmak, ancak işe alınan ve çıkarılan personelin beceri düzeylerinin çok düşük olduğu ve bu tür işçi arzının fazla olması halinde geçerli olabilir.

Örneğin, otel, restoran, çiftlik ve bazı fabrikalardaki işçilerin beceri düzeyleri oldukça düşüktür. Becerili insangücü kullanan örgütlerde bu tür stratejiyi kullanmak hemen hemen olanaksızdır. Beceri sahibi personel, genellikle işçi çıkarma politikası olmayan kuruluşları seçer.

C. Talebi Stokdan Karşılamak

Bazı kuruluşlarda fazla talep talebin düşük olduğu dönemlerde biriktirilen stokdan karşılanır. Bu stratejinin maliyetini stok taşıma masrafı oluşturur. Moda ürünler ile bozulan ürünleri üreten kuruluşlar bu stratejiyi kullanamazlar. Keza hizmet stoklanamadığı için, hizmet üreten kuruluşlar bu stratejiden yararlanamazlar.

D. Talebi Sonradan Karşılamak

Talebin üretim kapasitesini aşması ve depoda envanter bulunmaması durumunda, siparişler, sonraki dönemlerde karşılanmak üzere alınabilir. Bu siparişlere telafi siparişi denir. Bu strateji uygulanırken müşterinin geç teslimatı kabul edeceği varsayımı yapılır.

Telafi ve sonradan teslim sipariş yolu, mektup siparişiyle mal satan kuruluşlarda genel bir yaklaşımdır. Bu tür kuruluşların ürünleri oldukça karmaşık ve özel siparişlerle karşılanabilecek niteliktedir. Örneğin, uçak, bilgisayar, gemi, sonradan teslim sipariş yoluyla üretilirler ya da satılırlar. Öte yandan, bu strateji, gıda maddeleri, giyim eşyaları, ilaç gibi tüketim mallarının üretimini yapan kuruluşlar ile hizmet üreten kuruluşlarda uygulanamaz.

Bu stratejinin maliyeti, yok satma ve siparişin sonradan teslim edilişi ile ilgili harcamaları kapsar.

E. Taşeron Kullanmak

Talebin karşılanmasında, eldeki kaynakların yeterli olmaması durumunda, siparişlerin bir bölümü dış koruluşlardan yararlanarak karşılanır. Bu kuruluşlara taşeron kuruluşlar denir. Taşeron kullanarak talebin bir bölümünün karşılanması stratejisi, daha çok önemli müşterileri kaybetmemek amacıyla kullanılır. Kuşkusuz burada, taşeron firmanın kalite standartlarına ve teslim tarihine uyacağı beklenir. Aksi takdirde kuruluş siparişi geri çevirmeden daha faza prestij kaybına uğrar.

Taşeron kullanmanın maliyeti yüksek olabilir. Burada, taşeron firmanın isteyeceği fiyatla, o malı kuruluşun üretmesi halindeki maliyet karşılaştırılmalıdır.

Optimal Üretim Stratejisi

Pratikte, birçok kuruluş, yukarıda tanımlanan üretim planlama stratejilerinden bir ya da ikisini kullanmaktadır. Oysaki yapılacak dikkatli bir analiz, optimal üretim stratejisinin belki de bir ya da ikiden fazla üretim planlama stratejilerinden oluşacağını gösterir. Esasında optimal üretim stratejisi, toplam üretim maliyetini minimize eden planlama stratejilerinin bir bileşkesidir. Sözkonusu bileşkede, her planlama stratejisinin en iyi düzeyi belirlenir.

Üretim stratejilerinin değerlendirilmesinde kullanılan maliyetler, aşağıdaki gruplarda özetlenebilir:

i) Temel Üretim Maliyetleri
- Sabit maliyetler
  - Hazırlık harcaması: A
  - Hazırlığı bozma harcaması : A
- Değişken maliyetler
  - Normal ücretler: C_r
  - Fazla mesai ücretleri: C_o
  - Malzeme gideri: C
  - Enerji ve diğer giderler: C_e

ii) Üretim oranı değiştirme maliyeti
- İşe alma gideri: C_h
  - ilan gideri
  - Mülakat gideri
  - Seçme gideri
  - Eğitim gideri
  - Öğrenme ve diğer giderler
- İşden çıkarma gideri: C_f
  - Tazminatlar
  - Prestij kaybı

iii) Envanter taşıma maliyeti: h
- Kapital maliyeti
- Diğer giderler
  - Depolama
  - Sigorta
  - Vergiler
  - Bozulma ve eskime

iv) Telafi ya da sonradan teslim sipariş maliyeti: C_h
- Takip gideri
- Prestij kaybı
- Satış gelirinden kayıp

v) Taşeron kullanma maliyeti: C_s

Yukanda verilen simgelemeler (notasyon) çevresinde, toplam üretim maliyeti, dönemler bakımından aşağıdaki formülle belirlenebilir :

$$TM, = C,.P_t + C_O O, + hl, + C_b B_t + ChH, + Q F_t + C_s S_t$$

Burada;

$P_,$: t dönemindeki üretim oranı

O_t: t dönemindeki fazla mesai

l_t: t dönemindeki envanter düzeyi

$B_,$: t dönemindeki sonradan teslim sipariş miktarı

H_t: t dönemindeki işe alınanların sayısı

F_t: t döneminde işden çıkarılanların sayısı

$S_,$: t döneminde kullanılan taşeron hizmet miktarı

Önerilen bir üretim plan stratejisi için toplam üretim maliyetinin nasıl hesaplandığı aşağıdaki örnekte gösterilmiştir.

Örnek: ELSA'ın üretim planlama sorumlusu, üretilmekte olan bir çeşit telsizle ilgili olarak aşağıdaki bilgileri toplamıştır.

Talep Bilgisi

A Y L A R

	Mayıs	Haziran	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim
Başlangıç envanteri	10					
Talep	980	1320	1320	1320	880	880

Üretim Bilgisi

Çalışma saatleri : 8 saat/gün

İnsangücü ihtiyacı : 4 saat/birim

Mevcut insangücü : 20 işçi

Çalışma günleri : 22 gün/ay

Maliyet Bilgisi (1000 TL)

Stok bulundurma maliyeti : 500 TL/birim/ay

Boş satım maliyeti : 3000 TL/birim/ay

tşe alma maliyeti : 70000 TL/işçi

Işden çıkarma maliyeti : 90000 TL/işçi

işçi ücreti : 300 TL/saat

Fazla mesai ücreti : 450 TL/saat

Taşeron kullama maliyeti : 2500 TL/birim

Üretim planlama sorumlusunun temmuz ayının talebini karşılamak için aşağıdaki seçenek üretim stratejisini kullanmak istediğini düşünelim:

Kaynak	**Miktar (Birim)**	**Birim Maiyeti**
Normal Üretim	600	1200
Fazla mesaili üretim	200	1800
Mayıs ayının stoğu	220	500
Taşeron kullanımı	300	2500
Toplam	**1320**	

Bu strateji için toplam üretim maliyetini hesaplayalım.

$$TM_7 = C_r P_7 + C_o D_7 + 2hI_7 + C_s S_7$$

$$= 1200x600 + 1800x200 + 2x500x220 + 2500x300 = 2\,050\,000\ TL$$

Örnekte temmuz ayı için önerilen stratejinin en iyi olduğunu iddia edemeyiz. Gerçekte temmuz ayının talebi olan 1320 yi karşılayacak çok sayıda seçenek strateji vardır. Örneğin, bir başka strateji aşağıdaki gibi olabilir:

Kaynak	Miktar (Birim)
Normal üretim	700
Fazla mesaili üretim	350
Mayıs ayının stoğu	120
Taşeron kullanımı	150
Toplam	1320

Bu stratejinin toplam üretim maliyeti ise,

$$TM'_7 = 1200x700 + 1800x350 + 2x500x120 + 2500x150$$

$$= 1\,965\,000\ TL$$

Bu stratejinin örnekteki stratejiden daha ucuz olduğu, TM7 ve TM'7 değerlerinin karşılaştırmasından anlaşılır.

Böylece, geçerli üretim plan stratejilerini yaratıp, üretim maliyeti en düşük olanı seçmek ilk akla gelen yaklaşım olarak belirlenebilir. Ancak, bu yaklaşımla temmuz ayı için bulanabilecek en iyi strateji, altı aylık üetim süresinin beraberce değerlendirilmesi durumunda en iyisi olmayabilir. Zira diğer ayların devreye girmesiyle, başka ekonomiler sağlanabilir. Örneğin, başlangıç envanterinin değerlendirmeye sokulması, toplam üretim maliyetinde de düşüşe neden olacaktır.

Bu bakımdan, optimal üretim plan stratejisini bulurken, tüm probleme sistem açısından bakmak, mevcut koşulları ve kısıtlan da karar verme mekanizmasının içine sokmak gerekir.

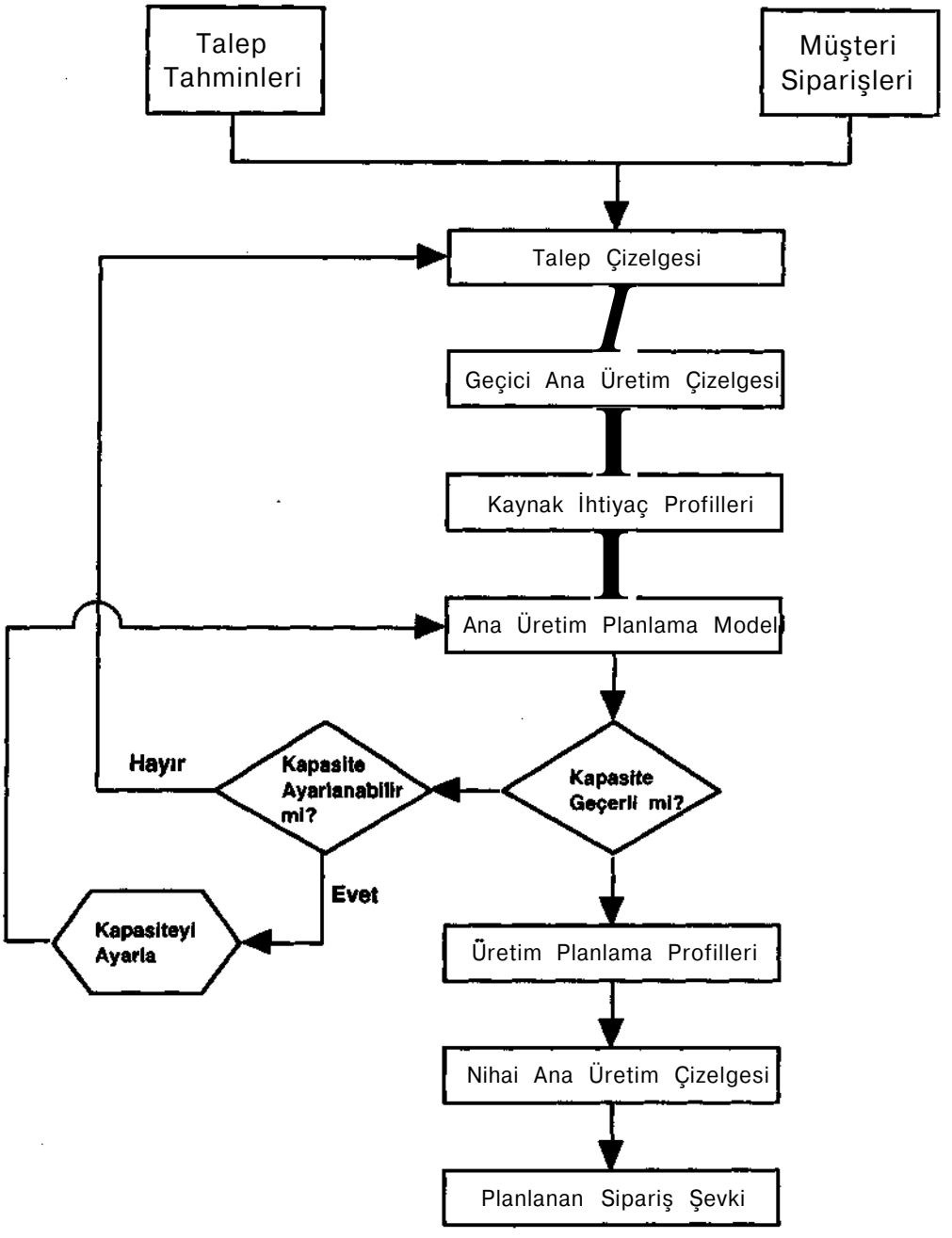
Üretim Planlama Yaklaşımları

Ana üretim planlarının yapısı ve hazırlanması için kullanılan yaklaşımlar kuruluşdan kuruluşa değişir. Planın yapısı, planlama amaçları, ilkeleri ve stratejileri ayrıntı düzeyine göre farklı şekiller alır. Büyük kuruluşlar için daha formel bir yapı varken, küçük kuruluşlardan daha çok yazılı ya da sözlü direktifler halindedir.

Ana üretim planlama yaklaşımlarından bir tanesi ve genellikle en çok kullanılanı kuruluşun yıllık planının imalat bilgilerinden yararlanılarak ana üretim planını hazırlamaktır. Tipik bir yıllık planda öngörülen talebi karşılamak üzere her üründen 12 ay süreyle üretilmesi gerekli miktarlar içerilir. Üretim planlamacı bu bilgilerden yararlanarak üretim ihtiyacını en iyi biçimde karşılamak üzere mevcut kaynakların dağıtımını yaparak ana üretim planını hazırlar. Diğer bir yaklaşım, kuruluşun toplam ihtiyaçları için öngörülen bilginin eşdeğer birimlere çevirilip planı hazırlama yoludur. Buna göre, örneğin buzdolabı ve çamaşır makinası üreten bir kuruluşun her ürün için üretim miktarları bilindiğinde, üretim plancı tüm çeşit modeller için ortalama insangücü zamanı bilgisini kullanarak kaynak dağıtımını yapar ve planı hazırlar. Bu plan sonradan kısa vade planlama aşamasında her çeşit ürün ve model için düzeltilir.

Bir yaklaşım da Şekil. 3 de belirtilmiştir.

Buna göre, ilk önce benzeşim yoluyla çeşit ana üretim çizelgeleri yaratılır ve bunların kapasite ihtiyaçları hesaplanarak kaynak ihtiyaç profilleri hazırlanır. Eğer kapasite ihtiyaçları, mevcut insangücü ve ekipmanla karşılanamıyorsa, fazla mesai, taşeron kullanımı, yeni işçi alımı gibi üretim stratejileri her ürün hattı için belirtilir ve bunlar bir araya getirilerek geçici üretim planı oluşturulur. Bu plan sonradan üretim planlama teknikleri tarafından değerlendirilir ve nihai üretim planı elde edilir. Bu plan, üretim planlama profillerine dönüştürülerek, dönemler bakımından her iş merkezindeki üretim düzeyi ile kullanılacak envanter ve sonradan teslim sipariş miktarları belirtilir. Bu bilgilerden nihai üretim çizelgesi hazırlanır ve son aşamada yakın gelecek için ürün siparişlerinin planı yapılır.



Şekil. 3- Ana üretim planlama süreci

ÜRETÎM PLANLAMA SİSTEMÎ TASARIMI

Üretim Planlama Teknikleri

Üretim planlama teknikleri yapıları bakımından iki grupta toplanabilir.

Bunlar;

i) Tablosal ve Grafiksel Teknikler
- Deneme Yanılma Tekniği
- Grafiksel Teknikler

ii) Matematiksel Teknikler
- Ulaştırma Modeli
- Doğrusal Programlama
- Doğrusal Olmayan Programlama
- Dinamik Programlama
- Doğrusal Karar Kuralı
- Sezgisel Teknikler
- Arama Kuralları

Deneme Yanılma Tekniği

Deneme Yanılma Tekniği, yaratılan ya da önerilen üretim planının, toplam maliyetler bazında karşılaştırmasını yapan basit bir tablosal tekniktir. Bu teknikle optimal çözümü elde etmek son derece zordur, adeta olanaksızdır. Teknik, önerilen planlara göre, hesaplama farklılıkları göstermekle birlikte, genel hatlarıyla dört aşamadan oluşur:

i) Üretim ihtiyaçlarının belirlenmesi,
ii) Her bir plan için toplam üretim maliyetinin hesaplanması,
iii) Planların toplam üretim maliyetlerine göre karşılaştırılıp en iyisinin seçimi,
iv) Planların ve üretim ihtiyacının grafiklerinin çizilmesi.

Bu teknik, aşağıda önceden verilmiş olan ömek üzerinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Örnek: ELSA üretim planlama sorumlusunun toplamış olduğu bilgiler çerçevesinde aşağıda önerilen üç üretim plan stratejisini deneme yanılma tekniği ile değerlendirip, en iyisini seçelim ve planlan grafiksel olarak sergileyelim.

Plan 1: Sabit insangücü; yalnız envanter ve yoksatma düzeylerini değiştir.

Plan 2: 20 işçilik insangücü kullan ve yalnız fazla mesai düzeyini değiştir.

Plan 3: insangücü düzeyini değiştirerek üretim oranını talebe uyarla.

Aşama 1: Üretim ihtiyaçlarının Belirlenmesi

A Y L A R

	Mayıs	**Haziran**	**Tem.**	**Ağus.**	**Eylül**	**Ekim**
Başlangıç envanteri	**100**					
Talep	980	1320	1320	1320	880	880
Üretim ihtiyaçtan	880	1320	1320	1320	880	880
Kümülatif üretim	880	2200	3520	4840	5720	6600

Aşama 2 : Herb ir plan için toplam üretim maliyetinin hesaplanması
Planl:

Planda insangücü sabit olduğu için ilk önce, planlama süresince geçerli olacak insangücü düzeyini ve giderek aylık üretim oranlarını hesap etmek gerekmektedir. însangücü sayısı, altı aylık işçi saati ihtiyacını bir işçi için gerekli saate bölerek bulunur.

$$\frac{\text{6600 birim x 4 saat/birim}}{\text{8 saat/işçi/gün x 22 gün/ay x 6 ay}} = \frac{26400}{1056} = 25 \text{ işçi}$$

Aylık üretim orarı ise, toplam işçi saatini bir telsizi üretmek için gerekli işçi saatine bölerek hesaplanır.

$$\frac{\text{25 işçi x 8 saat/işçi/günx 22 gün/ay}}{\text{4 saat/birim}} = 1100 \text{ birim/ay}$$

Çalışma gün sayısı her ay için aynı olduğundan, üretim oranı her ay aynı kalacaktır.

Bu plan için üretim maliyeti 5 işçinin işe alınma maliyeti, envanter taşıma maliyeti, yok satma maliyeti ve işçi maliyetinin toplamından oluşur.

Bunlardan işe alma maliyeti, birim işe alma maliyeti ile işe alınacak ek işçi sayısı olan 5 in çarpımından elde edilir:

70000 TL/işçi x 5 işçi + 350 000 TL

Diğer maliyetlerin hesaplanması Çizelge. 1 de gösterilmiştir.

Plan 2:

Bu planda her ay 20 işçi kullanılacağından aylık üretim oranı:

$$\frac{\text{20 işçi x 8 saat/işçi/gün x 22 gün/ay}}{\text{4 saat/birim}} = 880 \text{ birim/ay}$$

olacaktır. Üretim maliyeti yalnız normal ve fazla mesaili işçilik maliyetlerinin toplamından oluşacaktır. Çizelge. 1 ve 2 toplam üretim maliyetinin nasıl hesaplandığını göstermekterdir.

Çizelge. 1- Birinci Planın Üretim Maliyeti Hesaplaması

Aylar	(1)*	(2)*	(3)*	(4)*	(5)*	(6)*	(7)*	(8)*
Mayıs	1100	1100	880	220	110 000	0	0	1 320 000
Haziran	1100	2200	2200	0	0	0	0	1 320 000
Temmuz	1100	3300	3520	0	0	220	660 000	
Ağustos	1100	4400	4840	0	0	440	1 320 000	
Pylül	1100	5500	5720	0	0	220	660 000	
Rk....	1100	6600	6600	0	0	0	0	
					110 000		1 640 000	7 920 000

Toplam Maliyet = 350 000 + 110 000 + 2 640 000 +7 920 000 = 11 020 000

(1)*: Üretim Miktarı

(2)*: Kümülatif Üretim

(3)*: Kümülatif Üretim ihtiyacı

(4)*:Stok(l)-(3)

(5)*: Stok Maliyeti (4)x500TL

(6)*: Karşılanamayan Talep

(7)*: Yok Satma Maliyeti (6)x3000TL

(8)*: işçilik Maliyeti (1)X4X300

Çizelge.2- İkinci Planın Üretim Maliyet Hesaplaması

Aylar	(D Üretim İhtiyaçlan	(2) Üretim Miktarı	(3) Fazla Mesai Üretim (D-(2)	(4) Normal işçilik Maliyeti (2)x4x300	Fazla Mesaili işçilik Maliyeti (3)x4x450
Mayıs	880	880	0	1056 000	0
Haziran	1320	880	440	1 056 000	792 000
Temmuz	1320	880	440	1 056 000	792 000
Ağustos	1320	880	440	1 056 000	792 000
Eylül	880	880	0	1 056 000	0
Ekim	880	880	0	1 056 000	0
				6 336 000	2 376 000

Toplam Üretim Maliyeti = 6 **336 000** + 2 **376 000** = 8 **712 000**

Plan 3:

Bu planda, insangücü değişken olduğundan, her dönemde farklı insangücü düzeyi hesaplamak için, öncelikle her işçinin aylık ürettiği miktarı bulmak gerekir.

$$\frac{\text{22 gün/ay x 8 saat/işçi/gün}}{\text{4 saat/birim}} = \text{44 bıriin/işçi/ay}$$

3. Planın üretim maliyeti normal i*:IK maliyeti, işe alma ve işden çıkarma maliyetlerinin toplamıdır.

İşçilik maliyeti = Altı aylık kümüiatif üretim ihtiyacı x birim işçilik

= 6600 birim/6 ay x 4 x 300 = 7 920 000 TL

İşe alma ve işden çıkarma maliyetleri ile toplam üretim maliyetinin hesaplanması Çizelge. 3 de gösterilmiştir.

Çizelge.3 - Üçüncü **Planın Üretim Maliyetinin Hesaplanması**

Aylar	..(D Üretim İhtiyaçları	(2) ihtiyaç Duyulan işçi Sayısı (1)/44	(3) İşe Alınacak İşçi Sayısı	(4) işe Alma Maliyeti (3)x70000	İşden çıkarılan işçi Sayısı	(6) Işden çıkarma Maliyeti (5)x90000
Mayıs	880	20	0	0	0	0
Haziran	1320	30	10	700000	0	0
Temmuz	1320	30	0	0	0	**0**
Ağustos	1320	30	0	0	0	0
Eylül	880	20	0	0	0	900000
Ekim	880	20	0	0	0	0
				700000		900000

Toplam Üretim Maliyeti = 7 920 000 + 700 000 + 900 000 = 9 520 000 TL

Aşama.3 : Planların toplam üretim maliyetlerine göre karşılaştırılıp en iyisinin seçimi

Planların maliyetleri aşağıda özetlenmiştir.

	1.Plan	2. Plan	3. Plan
Normal işçilik maliyeti	7920000	6336000	7920000
Fazla mesai maliyeti		2376000	
Stok bulundurma maliyeti	110000		
Yok satma maliyeti	2640000		
İşe alma maliyeti	350000		700000
Işden çıkarma maliyeti			900000
	11020000	8712000	9520000

Planların toplam maliyetleri incelendiğinde, maliyeti en küçük olan 2. Plan, üç plan arasında en iyi olarak seçilir.

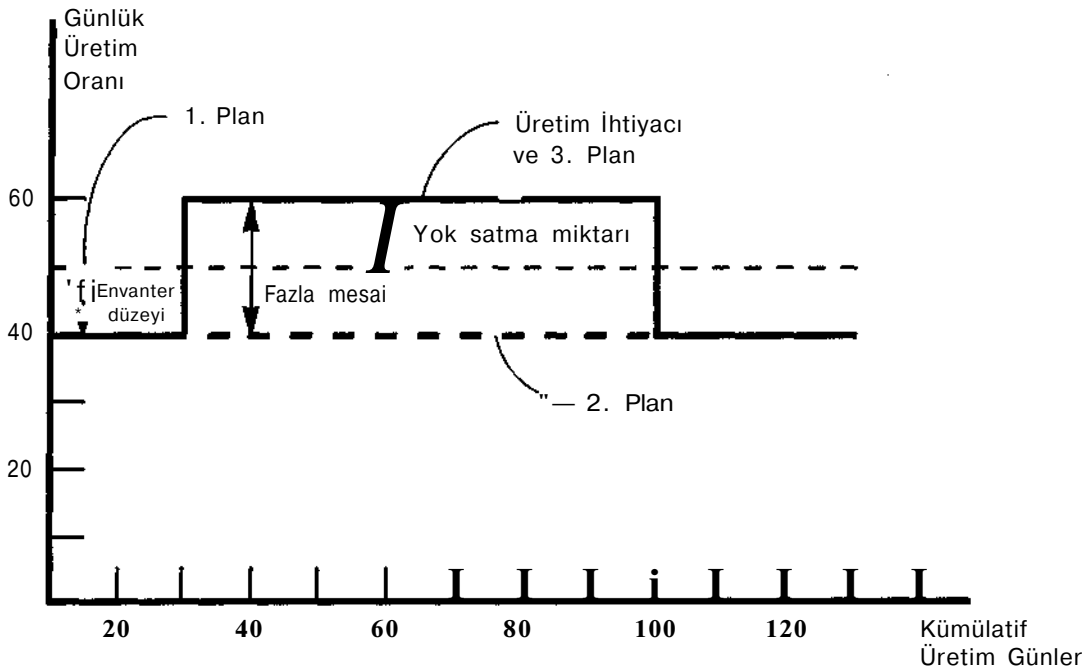
Aşama 4: Planların ve üretim ihtiyacının grafiklerinin çizilmesi.

Bu aşamada, üretim ihtiyaç eğrisi ile planların günlük üretim oranı ve üretim ihtiyacının karşılanması bazında karşılaştırılır. Ş ekil. 4 ve Şekil. 5 sözkonusu eğrileri ve karşılaştırmaları göstermektedir.

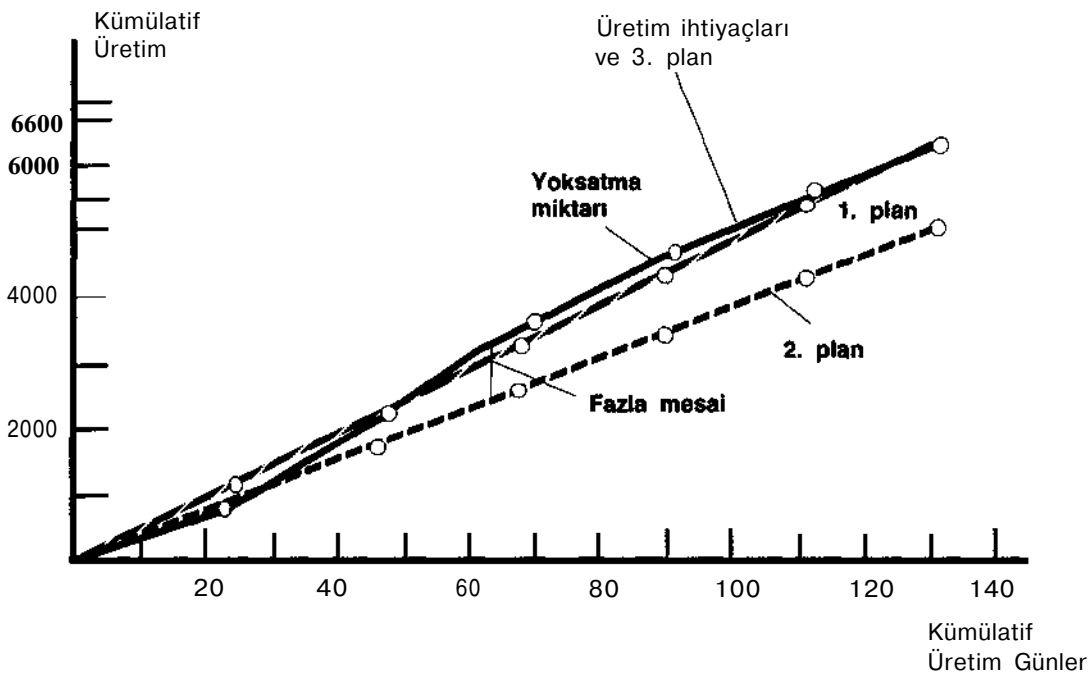
Ulaştırma Tekniği

Ulaştırma Tekniği, genel olarak, farklı noktalardaki mevcut arzı, farklı noktalardaki talebi karşılamak üzere optimal olarak dağıtan bir doğrusal programlama modelidir. Temelde, ana üretim planı da dönemlerin mevcut kaynaklarım yine dönemlerin taleplerini karşılamak üzere geliştirilmiş bir strateji olduğundan optimal üretim stratejisinin bulunmasında, ulaştırma tekniğinden yararlanılabilir.

Üretim planlamasında, başlangıç envanteri, normal işçilik, fazla mesai ve taşeron kullanımı, ulaştırma modelinde sözü geçen *arzı* oluşturur. Öte yandan, her bir dönem için tahmin edilen talep, ulaştırma modelininin *talep*



Şekil. 4- Üçüncü planın günlük üretim oranı



Şekil. 5- Üçüncü planın üretim ihtiyacını karşılama biçimi

kavramına eşdeğerdir. Mevcut kaynakların dönemlerdeki talebi karşılamak üzere en iyi dağıtımını sağlamak için, ürünlerin belli bir dönemde üretilme maliyeti ile o dönemde üretilip başka dönemler için kullanma maliyetlerinin hesaplanması gerekir. Çizelge. 4, ulaştırma modeli, üretim planlama problemi için geliştirildiğinde ortaya çıkan sözkonusu maliyetleri göstermektedir. Çizelge, kolay olsun diye üç dönem için hazırlanmıştır.

Çizelge. 4- Ulaştırma Tablosu

		1. Dönem	2. Dönem	3. Dönem	Dönem Sonuf	Kullanıl-mayan Kapasite	Mevcut Kapasite
Başlangıç Envanteri		0	h	3h	0	0	lb
	Normal Mesai	c_r	C_r+h	C_r+2h	C_r+3h	0	R.
	Fazla Mesai	C_o	C_o+h	C_0+2h	C_0+3h	0	O.
	Taşeron Kullanımı	C_s	C_s+h	C_s+2h	C_s+3h	0	Sı
	Normal Mesai	c_r+c_b	c_r	C_r+h	C_r+2h	0	R_2
	Fazla Mesai	c_o+c_b	c_o	C_0+h	C_0+2h	0	O_3
	Taşeron Kullanımı	c_s+c_b	C_s	C_s+h	C_s+2h	0	S_3
	Normal Mesai	$c,+c_b$	C_5+C_b	c_r	C_r+h	0	R_3
	Fazla Mesai	C_0+2C_b	C_o+2C_b	c_0	C_0+h	0	O_3
	Taşeron Kullanımı	C_s+2C_b	c_s+c_b	C_s	C_s+h	0	S_3
TALEP		D,	D_2	D_3	D_f	U	

Çizelgenin son sütununda, herbir kaynağın mevcut kapasitesi gösterilmiştir. Örneğin, R1, 1. dönemdeki mevcut normal mesai kapasitesini simgelemektedir. "O" lar mevcut fazla mesai, "S "ler de mevut taşeron kullanım kapasitelerini simgelemektedir. Çizelgedeki son satırda, dönemler bakımından toplam talep gösterilmektedir.

Maliyetler, tablonun her hücresinin sağ üst köşesinde gösterilmiştir. Örneğin, 3. satır ve 3. sütunun kesiminde Co+2h maliyeti tanımlanmıştır. Bu maliyet, 3. dönem talebinin 1. dönemde fazla mesai kullanılarak sağlanmasının maliyetidir. Co birim fazla mesai maliyetini, 2h ise 1. dönemde üretilen ürünlerin 3. döneme kadar stokta bulundurulmasının maliyetini simgelemektedir.

Model, mevcut kaynakların, üretim miktarları cinsinden ve toplam maliyeti minimize edecek şekilde dönem-

lere dağıtımını sağlamaktadır. Modelin temel varsayımları şunlardır:

i) Maliyet ilişkileri doğrusaldır.

ii) Üretim kaynakları (kapasitesi) ve talep aynı birimle ifade edilir.

iii) Toplam üretim kapasitesi, toplam talebi eşittir. Eğer bu koşul yerine gelmezse aradaki farkı simgeleyen, yapay bir satır (kaynak) veya sütun (talep) yaratılır. Bu satır veya sütundaki maliyetler sıfır değerine sahiptir.

Örnek: ELSA Üretim Planlama Problemini ele alalım ve dört dönem için ulaştırma modelini geliştirip en iyi çözümü bulalım. Ulaştırma modelinin ihtiyacı olan bilgiler Çizelge. 5 de özetlenmiştir.

Çizelge. 5- Örnek Problemin Ulaştırma Modeli İçin Gerekli Bilgiler

(1000 TL)

Dönemler	Beklenen Talep	Kaynak Kapasite Sınırları: Normal Mesai	Fazla Mesai	Taşeron Kullanımı
Mayıs	980	880	220	300
Haziran	1320	880	220	300
Temmuz	1320	880	220	300
Ağustos	1320	880	220	300
Dönem Sonu Envanter	400			
	Normal mesai maliyeti	= 1200 TL/birim		
	Fazla mesai maliyeti	= 1800 TL/birim		
	Stok bulundurma maliyeti	= 500 TL/birim/ay		
	Yoksatma maliyeti	= 3000 TL/birim/ay		
	Taşeron kullanma maliyeti	= 2500 TL/birim		

Bu bilgiler çerçevesinde Çizelge. 6 da verilen ulaştırma tablosu oluşturulur.

Tablodan görüldüğü gibi, toplam arz (5700) toplam talepden (5340) fazla olduğu için yapay olarak bir sütun, "kullanılmayan kapasite" adıyla tabloya eklenmiştir.

Ulaştırma Modeline çözüm, geliştirilmiş olan kompüter paket programlarıyla sağlanabilir. Bu modelin optimal çözümü, Çizelge. 6 da, daire içindeki rakamlarla belirtilmiştir. Bu tabloda, herbir satırdaki rakamlar toplandığında ilgili kaynağın sınırına eşit olduğu görülür. Aynı şekilde herbir sütundaki rakamlar toplamı ait olduğu dönemin talebine eşit olduğu gözlenebilir. Ulaştırma tekniği ile elde edilen optimal üretim stratejisinin toplam maliyeti, atama yapılan herbir hücredeki üretim miktarı ile ilgili maliyetin çarpımlarının toplamından oluşur. Bu çözüm için toplam maliyet 7 538 000 TL dir.

Optimal üretim stratejisinin ulaştırma tekniğiyle bulunmasının en çok eleştiriye uğrayan tarafı, modelin, işe alma ve işden çıkarma yoluyla üretim oranının değişmesine olanak sağlamamasıdır. Onun dışında ve maliyet ilişkilerinin doğrusal olduğu hallerde ulaştırma tekniği geçerli bir yordamdır.

Doğrusal Programlama Yöntemi

Doğrusal programlama yöntemi, optimal üretim stratejisinin bulunmasında, problemin ulaştırma tekniğine nazaran daha ayrıntılı ele alınmasını sağlar. Bu yöntemle işe alınmalarla ve çıkarmalarla, üretim oranını değiştirmek ya da üretim kapasitesine ve stok düzeyine herbir dönem için sınır koymak olanaklıdır. Üretim planlama problemine, en iyi çözümü bulmak üzere, farklı koşullar için doğrusal programlama modelleri geliştirilmiştir.

Çizelge.6- Örnek Problemin Ulaştırma Tablosu

		Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Dönem Sonu Envanter	Kullanılmayan Kapasite	Kaynak Sınırı
BAŞLANGIÇ ENVANTERİ		0	500	1000	2000	2000		100
MAYIS	Normal Mesai (NH)	1200	1700	2200	3200	3200	0	880
	Fazla Mesai (FM)	1600	2300	2600	3800	3800	0	220
	Taşeron Kullanımı (T)	2500	3000	3500	4500	4500	0	300
HAZİRAN	NM	4200	1200	1700	2700	2700	0	880
	FM	4600	1800	2300	3300	5300	0	220
	T	5500	2500	3000	3500	4000	0	300
TEMMUZ	NM	7200	4200	1200	1700	2200	5	880
	FM	7600	4800	1800	2300	2800	2	220
	T	8500	5500	2500	2000	3500	1	300
AĞUSTOS	NM	10200	7200	4200	1200	1700	0	880
	FM	10800	2800	4800	1800	2500	1 0	220
	T	11500	8500	5500	2500	3000	0	300
TALEP		980	1320	1320	1320	400	360	5700

ÜRETİM PLANLAMA SİSTEMİ TASARIMI

A. Land'ın Modeli

Land'ın modelinin matematiksel yapısı aşağıda verilmiştir. Model, dönemler için en iyi üretim oranı ile envanter düzeylerini bulmak üzere;

$$TC = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{I} C_{ij} p_{ij} + \sum_{i=1}^{t} h_i I_i$$

amaç fonksiyonunu minimize etmekte ve aşağıdaki kısıtlan sağlamaktadır.

(1) $0 \quad P_{ijt} \quad P_{ijt}$ tüm i, j, t için

(2) $, p_{ijt} \quad Py$ tüm i, j için

(3) $0 \quad I, \quad I_{maks}$ tüm t için

$$I_{i-1} + \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} P_{ij} = D_i + I_i, \quad \text{tüm } i \text{ için}$$

Burada;

P_{ij}, : t dönemindeki talebi karşılamak için i döneminde j kaynağını (normal mesai, fazla mesai, vb.) kullanarak üretilen miktar

Cy_{ij}: birim P_{ij} in üretim maliyeti

Py_t: P_{ij} ler üzerinde kapasite sınırı

P_{ij}: i dönemde j kaynağının kapasitesi

I_{maks} : ' dönemindeki azami envanter düzeyi

D_t : t dönemindeki talep

h_i : t döneminin sonunda taşınan envanterin birim maliyeti

Modelde, ulaştırma modeline nazaran herbir dönemde diğer dönemler için kullanılacak kaynak ve envanter sınırı içerilmiştir.

Modelin elle çözümü, ELSA örneği üzerinde gösterilmiştir.

Örnek: ELSA üretim planlama problemini ele alalım ve ek bilgi olarak, her dönem envanterinin 800 de sınırlandırıldığını varsayılım. Bu kısıt çerçevesinde, dört dönem için en iyi üretim stratejisini bulmak üzere Land yordamını kullanamalım. Çizelge. 7 yordamın nasıl kullanıldığını göstermektedir.

Çizelge. 7- Land Yordamının Örnek Probleme Uygulanması

(1000 TL)

Dönemler	Talep	Kaynak*	t deki maliyet	Öncelik sırası	t deki mevcut kapasite	t de kullanılan	(t+1) deki mevcut	(t+1)de maliyet
Mayıs	980	**10**	0	1	100	100		
		11	1200	2	880	880		
		12	1800	3	220		220	2300
		13	2500	4	300		300	3000
Haziran	1320	21	1200	1	880	880		
		22	1800	2	220	220		
		23	2500	4	300		300	3000
		12	2300	3	220	220		
		13	3000	5	300		300	3500
Temmuz	1320	31	1200	1	880	880		
		32	1800	2	220	220		
		33	2500	3	300	220	80	3000
		23	3000	4	300		300	3500
		13	3500	5	300		300	4000
Ağustos	1320	41	1200	1	880			
		42	1800	2	220	220		
		43	2500	3	300	220	80	3000
		33	3000	4	80		80	3000
		23	3500	5	300		300	4000
		13	4000	6	300		300	4500

* : İki rakamlı kodla gösterilmiştir. Birinci rakam dönemi; ikincisi kaynak türünü simgelemektedir (1: normal mesai, 2: fazla mesai, vb.)

Buna göre, dönemler bakımından üretim ve envanter düzeyleri Çizelge. 8 de özetlenmiştir.

Çizelge. 8- Land Yordamı ile Elde Edilen Çözümün Özeti

Dönemler	**Normal mesai**	**Fazla mesai**	**Taşeron Kullanımı**	**Talep**	**Envanter düzeyi**	**İşgücü düzeyi**
Başlangıç env.	100					
Mayıs	880	220		980	220	20
Haziran	1880	220		1320	0	20
Temmuz	880	220	220	1320	0	20
Ağustos	880	220	220	1320	0	20
	3620	880	440	**4940**		

Land yordamı ile elde edilen çözüm, ulaştırma tekniği ile bulunan çözümle karşılaştırıldığında, her ikisinin aynı olduğu görülür. Eğer envanter düzeyine konan 800 birimlik sınır, çözüm sırasında aktif olsaydı, probleme farklı çözüm elde edilebilirdi.

B. Çok Üriinlü Üretim Planlama Modeli

Çeşitli ürünlerin üretildiği bir üretim sisteminde üretim planlama problem için geliştirilen doğrusal programlama modellerinden birisi aşağıda verilmiştir. Model, her bir tür ürün ve dönemi için en iyi insangücü ve envanter düzeyleri ile işe alınacak ve işden çıkarılacak insan gücünü bulmak üzere;

$$TK = I S C_U l_{kl} + C_{k2} W_{kt} + C_{k3} O_{kt} + C_{k4} H_{kt} + C_{k5} Z_{kt} l$$

amaç fonksiyonunu minimize etmekte ve aşağıdaki kısıtları sağlamaktadır.

$$lkt = 1k_{\sim} ti^{+w}kt + O_{kt} - R_{kt} \qquad k = l, \ldots, n$$

$$W_{kt} = W_{k,M+} H_{kt} - Z_{kt} = 1, \ldots . T$$

$$F_{kt} \quad a_{kt} W_{kt}$$

$$l_{kt}, W_{kt}, O_{kt}, H_{kt}, Z_{kt}, B_{kt} _ > 0 \quad Vk,t$$

Burada;

n	:	Ürün gruplarının sayısı
T	:	Planlama süresi
|k>	:	t dönem sonu itibariyle k tipi ürün grubunun envanter seviyesi
W_{kt}	:	t dönem sonu itibariyle k tipi ürün grubunun insangücü düzeyi (normal mesai cinsinden üretim oranı)
	:	t dönem içinde k tipi ürün grubunun fazla mesai miktarı
$0_{kı}$	:	t dönem içinde k tipi ürün için öngörülen azami fazla mesai yüzdesi
a_{kt}	:	t dönem içinde k tipi ürün grubu için işe alınan personel miktarı
^{H}kt	:	t dönem içinde k tipi ürün grubu için işden çıkarılan personel miktarı
Zkt	:	t dönem içinde k tipi ürün için tahmin edilen ihtiyaçlar (siparişler)
R_{kt}	:	birim maliyet katsayıları
C'ler		

Model bu haliyle karışık görünebilir, ancak toplam maliyet fonksiyonunda içerilen maliyet kavramları oldukça basittir. Bu fonksiyonda her bir ürün grubu ve dönem için taşıma, normal ve fazla mesai insangücü ile işe alma ve işden çıkarma maliyetlerinin toplamı ifade edilmektedir. Fonksiyonda kapsanan karar değişkenleri üç kısıt denklemi ile kısıtlanmıştır. Birinci kısıt denklemine göre, t dönem sonu envanter düzeyi, t-1 dönemindeki envanter düzeyi ile normal ve fazla mesaide üretilen miktarların toplamından talebi karşılamak üzere sevkedilen ürünlerin miktarının çıkarılmasına eşit kılınmıştır, tkinci kısıt denklemi, t dönemindeki normal mesaideki insangücü miktarının, bir önceki miktar ile yeni işe alınanların toplamından işden atılanların çıkarılmasına eşit olduğunu belirtmektedir. Üçüncü kısıt eşitsizliği de fazla mesainin, normal mesainin belli bir oranından fazla olamayacağını göstermektedir.

Doğrusal Karar Kuralı Tekniği (DKK)

Ana üretim planlaması probleminde, maliyet ilişkilerinin doğrusal olmadığı durumlar için geliştirilmiş tekniklerden birisi de doğrusal karar kuralı tekniğidir. Bunlardan en çok sözü edilen ve bu tür problemler için ilk kez geliştirilmiş olan model Holt ve arkadaşlarına aittir. Modelde kullanılan karar değişkenleri, üretim oranı (Pı) ve insangücü düzeyi (Wı)dır. Modelde öngürülen amaç, her dönem için dönem üretim maliyetini minimize edecek Pt ve Wt değerlerini bulmaktır. Dönemsel maliyetlerin 2. dereceden ifade edildiği modelin formülasyonu aşağıda verilmiştir.

Minimize TM = t [C,W, $+ C_2 (W, - W,.,)^2$

normal mesai maliyeti işgücü değişme maliyeti

$+ C_3(P_t - C_w W_t)^2 + C_5 P_t - C_6 W_t$ $+ C_7(1, - C_8 - C_9 D_t)2$

fazla mesai maliyeti envanter maliyeti

Kısıt denklemi: 1,., + Pt - D, = 1, tüm t için

Burada Q ler maliyet katsayılarını, D_t talebi, l_t de envanter düzeyini simgelemektedir. Model çözüldüğünde, P ve W için karar kuralları oluşturulur. Yöntem, genellikle iki noktada eleştirilmektedir. Bunlardan birisi, maliyetlerin 2. dereceden ifade edilmesi, diğeri de üretim kaynaklan üzerindeki kısıtların içerilmemesi.

Sezgisel Teknikler

Üretim planlamada sezgisel teknikler, daha çok yöneticinin bu konudaki sağduyusunu devreye sokmak amacıyla geliştirilmiştir. Örneğin, üretim oranını, P_t, düşündüğümüzde, yönetici sezgisel olarak üretim oranının, beklenen talebe ve başlangıç koşullarına bağlı olduğunu varsayabilir. Keza insangücü düzeyini, W_t, hesaplarken, W_t nin yine beklenen talep ile başlangıç insangücü düzeyine bağlı olduğunu düşünebilir.

Bu sezgilerden esinlenerek üretim oranını ve insangücü düzeyini geçmiş bilgilerle ve beklenen taleple ilişkilendirip, her iki unsur için de karar kuralları geliştirilmiştir. Burada yalnız Bovvman'ın karar kuralı verilmiştir. Bowman, karar kuralı olarak aşağıdaki çoklu regresyon denklemlerini önermiştir.

$$Pt = a_1 W_{t-1} - b_1 l_{t-1} + C_1 D_{t-1} + \varepsilon_1$$

$$Wt = a, W_{t-1} + CD,., + e_2$$

Burada a, b ve C'ler regrasyon denklemlerinin katsayılarıdır, e lar ise hata paylarını simgelemektedir. Bu tür karar kuralları, kullanılan bilginin yaratıldığı koşulların mümkün olduğunca dengeli olduğu varsayımına dayanır.

Bilgisayar Arama Teknikleri

Üretim planlaması için çok yeni ve ümit veren bilgisayar arama teknikleriyle, önceden saptanan bilgisayar karar kuralı çerçevesinde, optimum sonuç verebilecek karar değişkenlerinin değerleri aranır. Bu yaklaşımın analitik yaklaşımlardan farkı, gerçek maliyet ilişkilerini veren maliyet/kâr modellerinin kullanılmasıdır.

Hernekadarbu teknikler optimumçözümü garanti etmiyorsa da, üretimplanlamaalanında aşağıda belirtilen avantajlara sahiptir.

i) Dönemler itibariyle maliyet modelinde gerekli ayarlamalar yapılarak, ürün tipi değişimi, teknoloji değişimi, ücretlerdeki artış gibi değişiklikler kolayca modele sokulabilir.

ii) Duyarlılık analizleri kolaylıkla yapılabilir.

iii) Karmaşık maliyet ilişkilerinin, çok amaçlı fonksiyonların, karmaşık kısıt ilişkilerinin bulunduğu ve analitik tekniklerin uygulanamadığı durumlarda kullanılabilir.

Komputer arama tekniklerinin dezavantajlarından en önemlileri, optimal çözümü garanti etmeyici ve maliyet ilişkilerinin bulunmasıyla, arama yöntemlerinin geliştirilmesindeki zorluklardır.

Tekniklerin Karşılaştırılması

Önceki bölümlerde açıklanan ana üretim planlama tekniklerinin karşılaştırılması Çizelge. 9 da verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı gibi, maliyet ve değişken ilişkilerinin doğrusal ya da doğrusal yaklaştırmanın yapılabileceği durumlarda doğrusal programlama teknikleri kullanılabilir. Öte yandan sözkonusu ilişkilerin karesel olması halinde doğrusal karar kuralı tekniği geçerli olmaktadır. Her iki koşulun sözkonusu olmadığı durumlarda da buluşsal teknikler kullanılabilmektedir. Tekniklerin karşılaştırılması yönünde yapılan bir çalışmada, komputer arama teknikleriniyisonucuverdiği anlaşılmıştır.

Endüstrideki mevcut uygulamalar değerlendirildiğinde, doğrusal programlamanın en çok kullanılan teknik olduğu belirlenmiştir. Genel olarak tekniklerin kullanılması, yönetim katının üretim planlamasına olan inancına ve bilimsel yaklaşımlara karşı tavnna bağımlıdır. Talebin karşılanması için eldeki kaynakların etkin bir biçimde kullanılmasını sağlayacak ana üretim planlama yaklaşımlarına olan ihtiyacın gün geçtikçe artacağı kaçınılmaz görülmektedir.

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişme bu alanı olumlu yönde etkileyecek ve böylece ana üretim planlamasının temel işlevlerinden birisi olan uzun ve kısa vade üretim planlan arasındaki bağlantı kurma işlevi etkin bir şekilde yerine getirilmiş olacaktır.

Çizelge. 9- Ana Üretim Planlama Tekniklerinin Karşılaştırılması

Teknik	Varsayımlar	Özellikleri
Tablosal ve grafiksel	Yok	Seçenek üretim planlarını deneme ve yanılma yoluyla değerlendirir. En iyi çözümü bulmaz, fakat oluşturması oldukça basittir ve anlaşılması da kolaydır.
Ulaştırma modeli	Doğrusallık sabit işgücü	İşe alma ve çıkarma maliyetlerinin gözönüne alınmadığı özel durumlarda kullanılır. En iyi çözümü bulur.
Doğrusal proğramlama	Doğrusallık	Çok sayıda değişkeni ele alabilir, fakat genellikle formülasyonu zordur. En iyi çözümü bulur.
Doğrusal karar kuralları	Karesel maliyet işlevleri	Geliştirmesi ve idamesi çok zordur.
Sezgisel teknikler (yönetici katsayıları)	Yöneticiler genellikle iyi karar vericilerdir.	Gelecekteki kararlar için geçmiş kararlar üzerinde istatistisel analizler yapar. Bir grup yöneticilere uygunanı. En iyi çözümü bulmaz.
Komputer arama	Herhangi bir tür maliyet yapısı	Örüntü arama yaklaşımını kulanarak toplam maliyet eğrileri üzerindeki en küçük noktaları bulur. Oluşturması zordur. En iyi çözümü bulmaz.

3. ESNEK İMALAT SİSTEMLERİ (EİS)

Esnek imalat sistemlerinin çok sayıda tanımlamaları vardır. Çoğunlukla bu tanımlamalar donatım üreticilerinin bakışları yerine kullanıcılannkine bağımlıdır. Yani bir esnek imalat sistemi ancak uygulaması içinde anlam kazanır. Bünyesinde imalat esnekliği varolan donatımın her tür uygulaması bir esnek imalat sistemini oluşturmaz. Böyle olduğu için de EÎS'in yalnızca parça (makine elemanları, baskı devre kartları, hazır giyim gibi) imalatı ile sınırlı görmemek gerekir. EIS proses (kimya-gıda) ile montaj içeren (otomotiv, beyaz eşya, elektronik eşya gibi) endüstrilerde de yer bulabilmiş durumdadır.

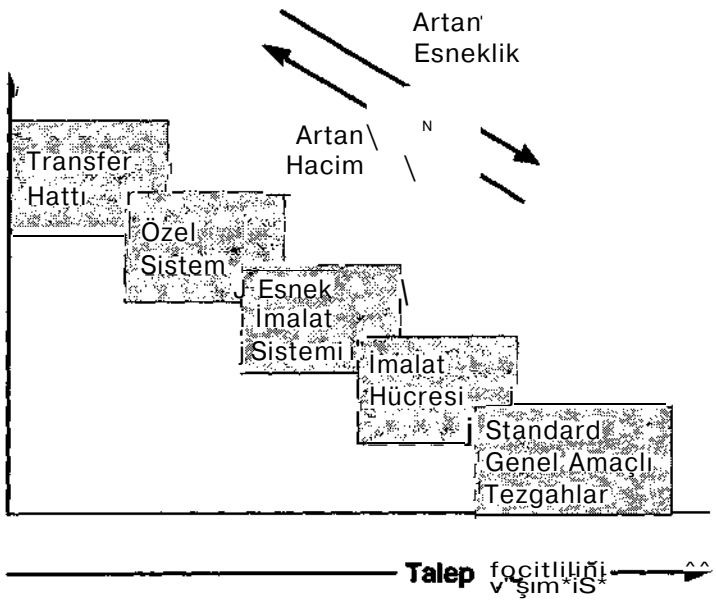
EIS kavramı, 1960 larda Londra'da David Williamson adında bir ARGE mühendisinin esnek bir işleme (machining) düzenini düşünmesi ile ortaya çıkmıştır. Williamson'un tasarımında, işlenecek parçalar elle paletlere bağlanacak, daha sonra tezgahlara dağıtılacak ve işlenmeleri gerektiğinde de otomatik olarak yükleneceklerdi. NC tezgahlan birer takım magazini ile donatılacak ve gereken takım grubu buradan alınarak otomatikman bağlanabilecekti. Esnek işleme düzeninin içinde tezgahlardan talaşın toplanması ve işlenmiş parçalann temizlenmesi de düşünülmüştü. Avrupa'da ilk EIS, Williamson'un kavramından hareket edilerek küçük sipariş hacimli ve büyük çeşitlilik gösteren parçalar için kullanılmaya başlandı. İlk başlarda EÎS iki ayn bilgisayar birimi ile işletiliyordu: İmalat istasyonlarının kontrolü için DNC birimi ile malzeme trafiğini kontrol ve yönetim bilişim birimi.

1970 lerin sonunda ortaya çıkan programlanabilir mantık devreleri ve kişisel bilgisayarlar ile 1980 lerde oluşturulmaya başlanan bilgisayar ağlan mimarisi; artık iki ayn birimin yerine çok katmanlı planlama ve kontrol imkanlannı getirmiştir. Aynca, EÎS nde çevrim-içi (on line) muayene, takım aşınmalannın kompansasyonu, yüksek devirli takım değiştirme ve çok fonksiyonlu takımlar ile imalat esnekliği daha da geliştirilme yolundadır.

ABD hükümetince benimsenen tanımı esas alırsak: EIS, *birbirlerine otomatik takım tezgahı ve ortak çok katmanlı bilgisayar kontrolü ile önceden belirlenmiş bir parça ailesinden rasgele yüklenilmiş (random fabricated) imalata izin veren düzenlemelerdir.* Burada, bir parça ailesinden hangi karışım (mamul gamı), hangi hacimlerde alınırsa alınsın aynı imalat performansının beklenebilmesinden söz edilmektedir. EIS bir mamül karışımının doğru tezgahta, doğru zamanda ve doğru sıralama ile bulundurulmasını gözetir. Esnekliği sağlayan ve üretim planlama yaklaşımları için yenilik taşıyan da bu özelliktir.

EİS nin benimsenmesinde firmaların imalat ihtiyaçları önemlidir. Aşağıdaki şekil talep hacmi ile imalat çeşitliliğine göre içlerinde EİS nin de bulunduğu değişik uygulamalann neler olabildiğini belirlemektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi imalat çeşitliliği artırıldığında EIS nin yerini imalat hücreleri, yani mamul ailelerinin paylaştırıldığı tezgah toplulukları almakta; daha da ileri çeşitlilik söz konusu olunca yani, mamuller aileler halinde sınıflandırılamadığında, standart ve genel amaçlı tezgahlara tek bir bütün içinde yer verilmektedir.

Çeşitli araştırmalar, klasik tezgahlı tipik bir talaşlı imalat işletmesinde, mamullerin herbirinin ortalama olarak zamanlannın % 95 ini bekleyerek ya da malzeme hareketleri sırasında geçirdiğini göstermektedir. Geri kalan % 5 lik sürenin de yine ortalama olarak % 3.5 lik kısmının; tezgahlara bağlama, sökme, ölçüm faaliyetlerine harcandığı gözlenmiştir. Bu durumda malzeme işlenerek katma değer yaratılan süre, parça başına % 1.5-2 gibi çok sınırlı bir pay alabilmektedir. Bu olgunun başlıca nedenleri arasında; takım ve parçaların bağlanmasında karşılaşılan güçlükler, kafile tarzında imalat, yüksek fire oranlan, tasarım değişikliklerine hızla uyarlanamama, arızalanma halinde imalat partilerini alternatif tezgahlara aktarma zorluklan sayılabilir.



Şekil.6- Talep hacmi - imalat çeşitliliği ve imalat sistemleri

EIS ile amaçlananlar şöyle sıralanabilir:

a) küçük parti büyüklükleri,
b) hızlı stok çevrimi (inventory turnover),
c) tezgah kurmalanmn ortadan kaldırılması,
d) hızlı malzeme aktarımı,
e) mamul gamındaki değişmelere hızlı uyum,
f) tezgah anzalanmalartnda hızla alternatif rotalama,
g) tasanm değişmelerine hızlı uyum,

h) tüm sistemin sürekli ve bütünleşik olarak izlenmesi,

ı) sözlü ve yazılı iletişime bağımlılıktan kurtulunması,

i) imalat hacimlerinde hızla değişiklik yapılabilmesi,

j) planlanan imalata atölye personelince sık sık müdahale yapmanın gerekmemesi,

k) teslimat sürelerindeki değişkenliğin az olması.

Sayılan bu amaçların firmalara, bir kısmı stratejik (b, e, g, ı, k), bir kısmı taktik (a, h, i) bir kısmı da operasyonel (c, d, f, j) avantajlar getireceği açıktır.

EİS ve Üretim Planlama

Başka temel işletme yönetimi faaliyetlerinin (örneğin malzeme tedarikçileriyle ilişkiler, pazarlama, personel alımı ve eğitimi, ARGE yönetimi) yanı sıra, üretim ile ilgili yönetim faaliyetleri de bu amaçlara hizmet edecek biçimde yürütülür. EİS nde amaçlananların gerçekleşmesi genellikle (firmalardaki spesifik EİS uygulamasına bağlı değişiklikler saklı kalmak üzere) aşağıdaki üç seviyeli planlama içerisindeki özel iş bölümü ile gerçekleşir.

A. Stratejik Seviye

- Mamul yelpazesine karar verilerek hangi mamül aileleriyle sınırlı EİS nin düşünüleceğinin belirlenmesi.
- Mamul yelpaazesindeki ürünlerin arasındaki miktar (imalat hacmi) ilişkilerinin neler olabileceğinin belirlenmesi.
- ElS arasından ya da bir esnek imalat sisteminin elemanları (tezgah, malzeme taşıma, depolama, bilişim donanım ve yazılımı) arasından seçim için hangi stratejik avantajların öne çıkarılacağının saptanması.
- Gerek duyulan esneklik düzeyinin ortaya konulması.
- EİS yatırımlarının aşamalandırılması.
- Taktik seviye planlama için hedeflerin ortaya konulması.

B. Taktik Seviye

- Hangi parçaların birarada yüklenebileceğinin (parça kümelerinin) belirlenmesi.
- Parça kümelerinin sıraya konulmaları.
- Tezgahların kullanım biçimine (takılı takım grupları ile aynı tip tezgahların oluşturacağı havuzların olup olmayacağına) karar verilmesi.
- Rotalama alternatiflerinin ortaya çıkarılması.
- Bir imalat çevrimindeki ürün karışım oranlarına (production ratios) karar verilmesi.

C. Operasyonel Seviye

- Alternatif rotaların kullanılma kurallarının oluşturulması.
- Malzeme taşıyıcılarının çalışma kurallarının belirlenmesi.
- Tezgahlar arasında takım gruplarının aktarımı kurallarının belirlenmesi.
- Depolama gözlerinin (storage cells) kullanılma kurallarının tasarlanması.

Her üç seviyedeki genel planlama konulan incelendiğinde klasik üretim planlama anlayışlarına göre önemli farklılıklar gözlenmektedir. Bir mamul yelpazesine karar verildikten sonra; -dolayısıyla yatırımı- doğrudan etkileyeceği için bir stratejik karar konusunu oluşturmaktadır. Klasik üretim planlamasında karşılaşılan, ayrı ayrı mamullerin talep tahminlerinin ve toplamda kapasite düzgünleştirmesinin (production smoothnig) yerini, talep hacimleri arasındaki korelasyonların (karşılıklı istatiksel bağımlılık) anlaşılması ve birbirini ikame edebilen taleplerin bulunup bulunmadığının belirlenmesi almıştır. Pekçok araştırmacı EİS nin, klasik benzerlerine göre daha pahalı yatırımlar oldukları ve ancak mamul yelpazesindeki ürünler arasında eksi işaretli korelasyonlar gözlendiğinde kabul edilir bir karlılığın gözlenebileceğini savunmaktadır.

EtS nde temin edilebilen esnekliğin de dereceleri bulunmaktadır. Daha çok takımı bir arada barındırarak daha çok çeşitli imalat operasyonuna elveren tezgahlar ve otomatik malzeme taşıma donatımları, bir veya iki ürüne sınırlı tutulduklarında (dedicated), benzeri klasik tezgahlardan daha verimsiz olabilmektedir. Bu bakımdan, klasik üretim planlamasında karşılaştığımız planlama değişkenlerine (imalat kapasiteleri, işçilik, zamanlama) ek olarak esneklik değeri de bir karar değişkeni halini almaktadır.

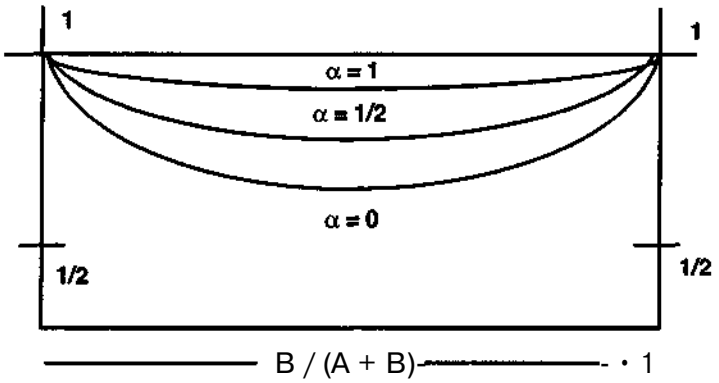
Esneklik ve etkin (efective) kapasite ilişkisi üzerine yapılan bir çalışmada, iki ürün için karşılanması gerekli imalat kapasitesi, esnekliğin bir fonksiyonu olarak şöyle tanımlanmıştır:

$$T(a)\ (K_A(A) + K_B(B) \quad A + B$$

Bu arada eşitsizliğin sol tarafı eldeki etkin kapasiteyi, sağ tarafı da iki ürünün toplam talebini göstermektedir. A ve B sırasıyla A ve B ürünlerinden planlanabilecek imalat, KA(A) ve KB(B) sırasıyla A ve B ürünlerinin teker teker kapasite gereksinmelerini temsil etmektedir. T (ot) ise a esneklik parametresi üzerinden etkin (effective) olacak kapasiteyi veren çarpan olmaktadır. Burada,

$$1/2 \quad T(cc) \quad 1$$

geçerlidir. Yani, A ve B kapasite taleplerini karşılamak için kurulu kapasitenin en çok T(a) ile çarpılan kadarı etkili olabilir. T(a) ise seçilen esneklik parametresi ile aşağıdaki grafikte gösterilen bağımlılık için de kabul edilmektedir.



Şekil. 7- İki ürün için önerilen kapasite esnekliği ilişkileri

Bu grafikte esneklik parametresi **a** için

$$0 \leq a \leq I$$

geçerlidir, **a** = 1 en büyük esnekliğe karşılık gelmektedir. Bu durumda, $K_A(A) + K_B(B)$ toplam kapasitesi A ve B nin her toplamı için bire bir ilişki içinde olabilmektedir. Diğer esneklik değerlerinde ise, A ve B nin karışımdaki oranlarına göre daha az etkin bir kapasite kullanımı söz konusu olmaktadır. a=0 durumunda A+B nin kapasite gereksinme toplamının iki katı bir kurulu kapasite gerekmektedir. Böyle olduğunda, her ürün için ayn bir tahsisli (dedicated) imalat birimi kurulmuş demektir, iki ürün için gösterilen bu basitleştirilmiş durum, daha çok ürüne uygulandığında oldukça karmaşık bir karar problemi oluşacağı açıktır. Esneklik parametresinin, üretim planlamasının kritik bir değişkeni halini alması da bundandır.

Klasik üretim planlama fonksiyonuna göre EİS nde rastlanan bir farklılık da, imalat miktarlarının yalnız tezgahların kapasite kısıtlılıkları ile ele alınmamasıdır. Genellikle, klasik üretim planlamasında her bir tezgah ve planlama dönemi için kurulan

$$\sum_i P_{ij}, X_{it} \leq C_{jt} e_{jt}$$

X_{it}: t döneminde planlanan i ürünü imalat miktarı,

PIJ : i ürünün j tezgahında birim işlem süresi,

Cj_t: t döneminde j tezgahının toplam çalışma süresi,

ej,: t döneminde j tezgahının etkinlik (efficiency) oram,

türünde bir eşitsizlik bulunur. Böyle eşitsizlikler, sol tarafındaki toplam net işlem süresi talebinin, sağ taraftaki net işlem varlığından daha çok almamasını sağlar. Yapılan nedeniyle, bu türdeki eşitsizliklerin yer aldıkları çözümlerde ulaştırma problemlerine benzer tablolu yaklaşımlar geçerliliklerini korur.

EÎS nde dönemlik imalat miktarları için kısıtlar kurulurken, ilgili takım grupları ve grupların bağlanacaktan tezgah alternatiflerinin olacağı dikkate alınmak zorundadır. Bir operasyonun belirli bir tezgah türünde yapılması zorunluluğu olmadığı gibi, tek bir takım grubunu kullanması da gerekmez. Ürünlerin net işlem talebinin çeşitli tezgah ve takıma yaygınlaştınlarak esnekliğin yaratılması ve bundan özellikle yararlanılması amaçlanır. EİS nde planlama esası; tezgahlan kaldırabilecekleri kadar iş yüküyle doldurmaktan ziyade, talebi olan işlemlere mümkün olduğunca çok tezgah-takım bileşimini hazır vaziyette bulundurabilmektir. Böylelikle, ürün yelpazesinden har hangi bir paçal (blend) yüklenildiğinde imalatın yaklaşık aynı performansı yakalaması söz konusu olabilir. Genel olarak EİS nde gözlenilen kısıtlar aşağıdaki biçimdedir.

$$(1) \qquad \sum_i Pi_{jk} \cdot Y_{ijt} \leq A_{jk\iota} \cdot G$$

$$(2) \qquad \sum_j Y_{IJt} \geq Xi,$$

$$O) \qquad \sum_k K_{jk} \cdot A_{jkt} \leq Mj$$

X_u : t döneminde planlanan i ürünü imalat miktarı,

Yy,: t döneminde i ürününden j tezgahına isabet eden pay,

Pjjk : i ürünün j tezgahında k takımı ile işlem birim süresi,

Aj_{kl}: t döneminde k tezgahına k takımının bağlı olup olmadığı mantık değişkeni (1 ise bağlı, 0 ise değil),

Kj_k: j tezgahında k takımının işgal edeceği magazin yuvası (magazine slot) adedí,

Mj: j tezgahındaki toplam mag.ı/ın yuvası adedi,

G : Çok büyük herhangi bir poziül reel sayı.

En özlü biçimiyle aktarılmaya çalışılan yukandaki üçlü kısıt grupları içinde, (1) numaralı grup tezgaha aynlan bir ürün payı var ise o dönem için uygun takımın bulundurulmasını zorunlu kılar. (3) numaralı grup ise uygun takımın, tezgahın kendine özgü takını nugazini yuva adedini gözetmesini sağlar. (2) numaralı kısıt grubuna gelince, tezgahlara dönemlik yük dağılımının alt sınırının zorlanması içindir.

Bu üçlü gruba ek olarak, ürün yelpazesinden seçilen mamul gamındaki değişmelere göre, her tezgaha takım bağlayıp sökmelerinin kontrol edilebilmesi için t=0 föneminden başlanarak her dönemde her tezgah ve her takım grubu

$$^{D}jk\iota+1 \qquad Ajkt\text{-}1 \quad " \ ^{A}jkt$$

ve

$$D_{jkt+1} \quad A_{jkt} - A_{jkt-1}$$

eşitsizlikleriyle temsil edilir. Yukandaki eşitsizliklerde Dj_{kt+1} bir 0-1 mantık değişkeni olursa, k takımı yeni yüklendiğinde birinci, söküldüğünde de ikinci eşitsizlik sonucunda 1 değerini almak zorunda bırakılabilir. Böylelikle, aşağıda anlatacağımız, birlikte imal edilecek ürün gruplarının sıralanmasında kullanılacak, bir mamul grubundan sonra gelen diğerinin ne kadar hazırlanma gerektireceği modellenir.

EİS nde taktik seviye planlama içinde zaman zaman görülen bir başka fark da mamul yelpazesinden belirli dönemler için birlikte imal edileceklerin seçimi gereğidir. Tezgahların esnekliğinin en iyi biçimde kullanılabilmesi için ürün yelpazesinin seçilmiş alt grupları belirlenir. Bu alt grupların özelliği, birbirinin yerine geçen takım-tezgah bileşimini gerektirmeleri ve böylelikle esnek imalat sisteminin kurulu şeklinde, bir ürün ile diğeri arasındaki imalat farklılığını en aza indirmektir. Bunun için de, bir arada imal edilecek ürünlerin gerektirdiği takım-tezgah bileşimlerinin mümkün olduğunca çok alternatifi bulundurulmaya çalışılır.

$$T + \sum_{i} \sum_{j} \frac{X_{bi} \cdot A_{ijk}}{KI}$$

$$Z \le \sum_{i} x_{bi}$$

$$\sum_{b} X_{bi} = 1$$

X_{bi} : i ürününün b grubuna dahil edilip edilmediği mantık değişkeni (1 ise dahil, O ise değil).

$A_{jk(b)}$: bu grubu sırasında j tezgahında i ürününe ait k takımının bağlı olup olmadığı,

KI : i ürünü için toplam işlem adedi,

T : gruplar arasında ürünler için en az işlem tekrar adedi,

Z : gruplar arasında en az çeşit adedi.

(Tezgahlardaki takım magazin kısıtları gösterilmemişitir.)

Yukandaki kısıt gruplan üzerinden Z ile T nin doğrusal bir işlem fonksiyonunu maksimize eden (en büyükleyen) Xbi çözümleri her ürünü bir grupta içerirken, her grubun içinde de işlem duplikasyonlanna mümkün olduğunca çok yer verecektir. Bu duplikasyonlann çoğaltılması ancak ortak takımları kullanan ürünlerin aynı gruba seçilmesi ile mümkün olur. Ayrıca, her ürün için işlem tekranna da yer verilerek bir imalat hacmi esnekliğine ulaşılmaya çalışılır.

Taktik seviye planlama içinde imalat miktarlarının, tezgahlardan tezgahlara rotalanması (routing) ElS nde tipik konular arasındadır. Bu alternatiflerin oluşturulması sayesinde, operasyonel seviyede yeralan rotalann kurallar dahilinde kullanımı mümkün kılınır. Rotalama alternatiflerinin çokluğu rotalama esnekliğine yol açar. Bu ise, tezgahlann anzalanmaları ya da aşırı doluluktan hallerinde başvurulacak imalat kanallannı sağlayacaktır.

Rotalama altertanitflerini tezgahlara atanan iş yükleri üzerinden mümkün olduğunda çoğaltmak için şu şekilde kısıtlılıklar altında bir çözüm aranabilir:

(1) $$\sum_{j} Y_{ijt} \cdot R_{ijjpt} = Y_{ipt+1}$$

(2) $$\sum_{j \neq p} R_{ijjpt} + \sum_{j \neq p} R_{kjjpt} + 1, \text{ her } 1 \neq k$$

Y_{ij}, : t döneminde i ürününden j tezgahına isabet eden pay (daha önce sözü edilen çözümlemelerden çıkacak),

R_{ijp} : t dönemi sonunda 1 güzergahı içinde i ürününün j tezgahından p tezgahına gidip gitmeyeceği mantık değişkeni (1 ise gider, 0 ise gitmez),

(1) numaralı kısıt grubu her alternatif rotalama için akışın sürekliliğini sağlar. Bu kısıt grubunuda her i ürünü için her dönemde ve her p tezgahına olan imalat aktarımı bir eşitlik biçimindedir. (2) numaralı kısıt grubuna gelince, rotaların arasında farklılık olmasını sağlayacaktır. Bir 1 rotasında, aralarında akış olan (j.p) çiftlerinin toplam sayısı, k rotasında en az bir eksik olacaktır.

Kısıt grupları her i ürünü için ayrışabilir bir haldedir. Her ürün için, ayrı olarak, rota adedini mümkün (feasible) bir çözüm bulunamayıncaya kadar yavaş yavaş arttırarak alternatif bütün rotalar oluşturulabilir. Bu fikir, aşağıdaki örnekte izlenebilir:

t=1 döneminde bir ürün için YA = YD = 10, YB = 30, Ye = 40 verilmiş olsun.

t=2 döneminde aynı ürün için Y E = 40, Y F = 50 verilmiş olsun.

Bu durumda 1=1 (birinci rotalama alternatifi) şöyle olabilir:

Çizelge. 10. Birinci Rotalama Alternatifi Çizelgesi

	E ye	**F ye**
Adan	10	0
Bden	30	0
Cden	0	40
D den	0	10

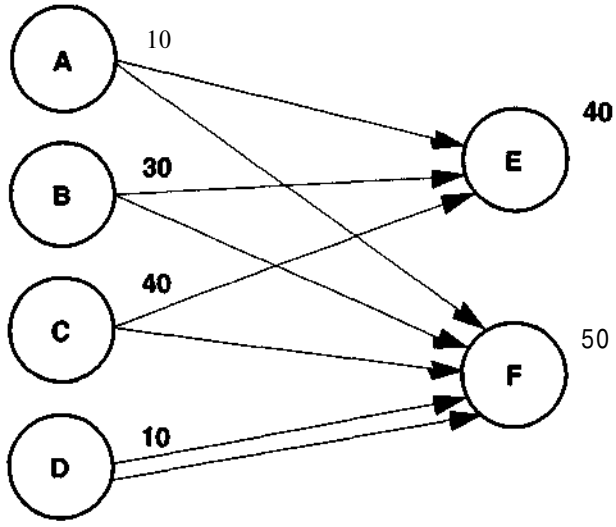
1=2 (ikinci rotalama alternatifi) şöyle olabilir:

Çizelge. 11- İkinci Rotalama Alternatifi Çizelgesi

	E ye	**F** ye
Adan	0	10
Bden	0	30
Cden	40	0
D den	0	0

Başka rota alternatiflerinin de bulunması mümkündür. Rotalama alternatiflerinin nasıl uygulanacağı operasyonel seviyede kullanılacak kurallar için yapılabilecek analizlerle bulunur.

Birinci rotalama alternatifinin kullanılmakta olduğu bir süreçte; aşağıdaki rotalama diagramından da anlaşılacağı gibi, örneğin E tezgahında oluşacak geçici bir tıkanıklık halinde, ikinci rotalama alternatifine başvurularak A ve B tezgahlannda bitirilen imalat F ye rotalanabilir. C tezgahının imalatı da bilahare E ye rotalanacaktır. Bir çok alternatif arasından hangisinin uygulanacağı çevrim içinde (on - line olarak) operasyonel bir karar verilmesini gerektirir. Bunu da malzeme akışını yöneten bilgisayarlı kontrol katmanı yapacaktır. Taktik seviyede planlamanın sorumluluğu, hangi rotalamalann bir arada uygulanması gerektiğini ortaya çıkarmaktır.



Şekil. 8- Örnekteki rotalama alternatifleri (iki tanesi gösterilmiştir)

4. MALZEME İHTİYAÇ PLANLAMASI (MİP)

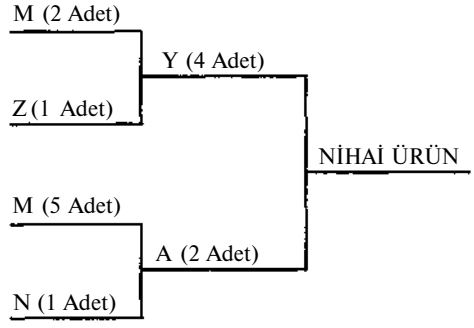
Malzeme ihtiyaç planlaması 1970 lerin ortalarında ilk olarak tanıtıldığında, bir temel anlaşıya dayandırılıyordu: Bir nihai ürünün ana üretim çizelgesiyle, o nihai ürünü oluşturan komponentlerin satın alma ya da imalat zamanlamalarının senkronize edilmesi. Nihai ürünün hangi zamanlarda ve miktarlarda bitirilmiş olması gerektiğini veren kesinleşmiş bir çizelge (firm production schedule) verili olduğunda, MİP sistemi de hangi komponentlerinin ne miktar ve zamanlama ile satın alınacağını yahut imal edileceğini belirler.

Bu amaçlarla MİP sistemi şu bilgilere sürekli erişim halindedir:

1. Nihai ürünlerin kesinleşmiş ana üretim çizelgeleri,
2. Her ürünün malzeme/komponent listelemeleri (bili of material),
3. Her komponentin stok düzeyi ve çizelgelenmiş gelecek teslimatları,
4. Satın alınır yahut imal edilir olsun, her komponentin tedarik ön süresi (lead time),

Ara Ürünlerin (Subassembly) Standart İmalat Ön Süreleri

MlP'nda zamanlama ve miktar bağlantılarının kurulabilmesi için malzeme/komponet listelemeleri en önemli araçtır. Aşağıda küçük bir malzeme listelemesi örnek olarak verilmiştir. Bu tip listelemelere, şeklinin benzemesinden ötürü, ürün ağacı adı verilir. Ürün ağacının kökünde bir nihai ürün yer alırken, her basamağında da önceki basamağa göre kökten bir uzak seviyedeki malzeme/komponentler yerleştirilir.



Şekil. 9- Bir ürün ağacı örneği

Şekilde gösterilen ürün ağacında, nihai ürün birinci basamakta Y komponentinden 4 adet, A komponentinden de 2 adet gerektirmektedir. Y komponenti ise ikinci basamak komponentleri arasından 2 adet M ile 1 adet Z ye ihtiyaç duymaktadır.

Ana Üretim Çizelgesi, planlama periyodlan içinde teslimatı gereken nihai ürün miktarlannı ayn ayn ortaya koyar. Bu çizelge **MİP** dışında kalan üretim planlama faaliyetleriyle hazırlanır. Yukanda, nihai ürün için gelecek 6 haftanın ana üretim çizelgesinin aşağıdaki gibi olduğunu kabul edelim:

Çizelge. 12- Bir Ana Üretim Çizelgesi Örneği

Hafta	1	**2**	**3**	4	5	6
Nihai Ürün	6	**10**	**3**	12	15	8

Ana üretim çizelgelemesinin mantığı gereği, teslimatlann planlama periyodlannın (örneğimizde haftalann) tam olarak neresinde yapılması gerektiği belirtilmez. Bu, tamamiyle kullanılan anlayışa bağlıdır. Genellikle periyod sonlarında teslimat anlayışı uygulanır.

Nihai ürün için oluşturulan ana üretim çizelgesinden bağlantılı stok/sipariş kayıtlanna (linked inventory/order release records) geçiş yapılır. Bu bağlantılann ilk ayağını örneğimizdeki nihai ürün için iki hafta üzerinden izleyelim:

Çizelge. 13- Son Ürün MİP Tablosu

	Basamak 0 Nihai Ürün İmalat Ön Süresi: 1 Hafta						
Hafta	Şimdiki	1	2	3	4	5	6
İhtiyaç	6	6	10				
Çizelgeli Teslimat	12						
Kalan Stok	(1+12-6)=7	1	-9				
Zamanlı Net ihtiyaç							

MIP'ın yaran, her basamakta net ihtiyacın hızlı ve doğru biçimde bulunmasını sağlamasıdır. Örneğimizde, içinde bulunulan planlama dönemi (hafta) sonunda;

Kalan Stok = Eldeki Mevcutlar + Çizelgeli Teslimat - İhtiyaç

= 1 + 12 - 6 = 7

olacaktır.

Birinci haftanın sonunda

Kalan Stok = 7 + 0 - 6 = 1

İkinci haftanın sonunda ise

Kalan Stok = 1 + 0 - 10 = -9

net ihtiyacın ortaya çıkacağını göstermektedir, ilk pozitif net ihtiyaç (yani negatif Kalan Stok) göründüğünde, tablonun bir alt sınırında yer alan Zamanlı Net ihtiyaç (Time Phased Net Requirement) değeri oluşturulur. Örneğimizde ikinci hafta sonu için görünen negatif kalan stok, bir haftalık imalat ön süresi kadar geriye gidilerek, birinci haftanın sütununda işlenecektir. Bunun anlamı, önümüzdeki birinci haftanın sonunda imalat siparişi (released order) verilecektir. Bu imalat siparişinin bütün komponent ihtiyaçlarının (örneğimizde A ve Y komponentleri) imalat siparişi verdiği anda yeterli miktarlarda hazır olması sağlanacaktır, imalat siparişi, bir haftalık gerekli ön süreyi, ikinci hafta boyunca geçirecek ve ikinci hafta sonunda eksi Kalan Stoğu kurtaracaktır.

Birinci basamağa çıkıldığında ise ilgili her komponent için bir alt basamağın Zamanlı Net ihtiyacının yansıtılması gerekir. Örneğimizde alt basamaktaki (basamak 0) nihai ürün, bir üst basamakta (basamak 1) yer alan A komponentini gerektirir. A komponentinin halihazır kalan stoğunun 3, Çizelgeli Teslimatının da 20 birim olduğunu kabul edelim. Bu durumda, şimdiki haftanın sonunda,

Kalan Stok = 3 + 20 - 12 = 11 olacaktır.

Her nihai ürünün 2 adet A komponentini gerektirdiğini düşünecek olursak birinci haftanın sonunda ise

Kalan Stok = 11 + 0 - 2 (9) = -7

olacak ve net bir ihtiyaç ortaya çıkaracaktır. Bu durumu bir sonraki çizelgede izlemek mümkündür.

Çizelge.14- A Komponenti MİP Çizelgesi

Basamak I							
A Komponenti							
İmalat Ön Süresi							
O Hafta	**şimdiki**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ihtiyaç	12	18					
Çizmeli Teslimat	20						
Kalan Stok	(3 + 20 - 2) = 11	-7					
Zamanlı Net ihtiyaç	7						

Örneğimizde, A komponentinin imalat Ön Süresi 0 haftadır. Yani imalat, siparişinin verileceği hafta sonunda teslim alınabilecektir. Böyle olunca, A komponentinden stok kalanı olan 11 birime ek olarak 7 birim daha birinci hafta sonunda tamamlanarak ikinci hafta boyunca nihai ürünün 9 birimlik imalatında kullanılmaya hazır edilebilir.

Mip Yaklaşımında Ek Teknikler

Örneğimizdeki M komponenti için olduğu gibi, bir (hatta bir çok) nihai ürünün değişik basamaklarında aynı komponentlerin bulunması söz konusu olabilir. Böyle hallerde, bütün MlP tabloları oluşturulurken, öncelikle periyodlann ihtiyaçlarının toplulaştınlması (aggregation) esastır. Ancak bu toplulaştırmadan sonra, o komponent için Zamanlı Net ihtiyacın hesaplanmasına girişilir.

MlP sistemi nihai ürün ya da komponentler için güvenlik stoklarının (safety stocks) tutulmasını sağlayabilir. Genel olarak, bu tür stoklann, komponent **kitleri** (kits of component parts) olarak düşünülmesi en iyi yöntem olarak önerilir. Ancak, güvenlik stoklarının bulundurulması, yalnızca Zamanlı Net ihtiyaçlara dayalı MlP felsefesine tam olarak uyulmaması anlamına gelir.

imalat ya da satmalına süreçlerinde karşılaşılan değişkenliklere karşı MlP sisteminin korunması için, Ön Sürelerde ek güvenlik paylarının (safety lead time) bulundurulması yoluna başvurulur. Genel olarak, basamaktan basamağa geçişler için birer periyodluk ek payın verilmesi yaygın bir uygulamadır.

MlP'mn Uygulamalarında Karşılaşılan Yetersizlikler

MlP uygulamalan işletme yönetimince büyük özenle kullanılmak durumundadır. Bu özen gösterilmeyip MlP nın temel yaklaşımına ilişkin aşağıdaki yanlış varsayımların yapıldığı sık sık gözlenmektedir :

- MlP kendi içinde tamdır ve kendi kendini düzenler (Self-maintaining),
- Malzeme Planlaması fonksiyonunu bir programa aktararak işletme yönetimi bir sorumluluktan kurtulur,
- MlP felsefesiyle müşteriye verilen hizmet kendiliğinden iyileşir,
- MlP uygulaması ile kazanılan gelişmeler bir kez izlenilince organizasyonda genel kabul görecektir,
- MlP aracılığı ile stoğa bağlanan işletme sermayesi kendiliğinden azalacaktır,
- MlP uygulaması ile kapasite planlama sorumluluğu ortadan kalkar.

Yukarıdaki kabuller, herhangi bir malzeme yönetim yaklaşımı için geçerli hedeflerdir. Ancak bunların gerçekleşmesi, MİP yaklaşımının kullanılmaya başlanması ile kendiliğinden oluşmayacaktır. Veri eksiklik ve yanlışlarının sürdürülmesi, izlemenin gevşetilmesi ve uygulamaya işletme ölçeğinde inancın pekiştirilmemesi uygulamanın yetersizliklerini hemen ortaya çıkaracaktır. MtP nda teknik bazı zorluklar da mevcuttur:

- Ön sürelerin miktara bağlı olmaksızın sabit kabul edilmesi, uygulamada yanlışlığa sürükleyebilir.
- İmalat kapasitelerinin kısıtlı olduğu gerçeğinin dikkate alınmaması kapasite sıkıntılarına yol açabilir.
- İmalat / satın almaların ardı ardına gelen periyodlara düzensiz miktarlarda yayılmış olabileceği uygulamada zorluklar doğurabilir.

Bu sıkıntıların kısmen çözümlenebilmesi için İmalat Kaynaklan Planlaması (MRP-II) denilen çok daha kapsamlı yeni bir yaklaşım taraftar kazanmaktadır.

5. ÇİZELGELEME

Çizelgeleme *belirli bir takım işlerin yapılması için kaynakların tahsis edilmesi* olarak tanımlanabilir. Yani üretim çizelgelemesinin ana işlevi, kaynaklanıl tahsisidir. Çizelge, üretimin hangi kaynaklardan, hangi sırada ve ne zaman yapılacağına ilişkin kararların verilmesi ile oluşur.

Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Çizelgeleme problemi, üretim ortamının özelliklerine göre farklılıklar gösterir. Üretim ortamlarının özellikleri incelenerek çizelgeleme problemleri için çok çeşitli şekillerde sınıflandırma yapılmıştır. Burada Graves'in (1981) çok çeşitli problem tiplerinde görülen özellikleri içeren geniş sınıflandırması tanıtılacaktır.

Üretim çizelgeleme probleminin ana sınıflandırma ölçütleri şu şekilde sıralanabilir:

A. Talebin oluşum biçimi

B. İşlem karmaşıklığı

C. Çizelge değerlendirme ölçütleri

D. Problem parametrelerinin belirginlik düzeyi

E. Çizelgeleme ortamı

Bu ölçütleri sırasıyla inceleyerek, çeşitli çizelgeleme problemlerini tanıyalım.

A. Talebin Oluşum Biçimi

Talebin oluşum biçimine göre üretim çizelgeleme problemi sınıflandırılması "açık" ve "kapalı" sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Açık sistemlerde talep müşteri siparişi ile oluşmakta, envantere üretim yapılmamaktadır. Kapalı sistemlerde ise müşteri talebi envanterden karşılanmakta ve üretim kararları envanter seviyesine göre verilmektedir. Çizelgeleme problemini, açık sistemlerde bir sıralama problemi olarak tanımlamak mümkündür. Kapalı sistemlerde ise, problem, sıralamanın yanısıra kafile büyüklüklerinin saptanmasını da içerir.

B. işlem Karmaşıklığı

İşlem karmaşıklığı işin gerektirdiği işlem sayısı ile ilgilidir. Bu ölçüt açısından çizelgeleme problemlerini aşağıda sıralanan dört grupta toplamak mümkündür.

a) Tek aşama, tek makina

b) Tek aşama, paralel makinalar

c) Çok aşama, seri iş akışı

d) Çok aşama, karışık iş akışı.

Tek aşama, tek makina problemi en basit çizelgeleme problemi olup işler mevcut tek makinada yapılabilecek bir işlem gerektirirler. Tek aşama, paralel makina probleminde ise değişik olan, gereken bir işlemin mevcut makinalardan herhangi birinde yapılabileceğidir.

Çok aşamalı sistemlerden, seri-iş-akışlı atölyelerde, adından da anlaşılabileceği gibi, işler, birbirleriyle aynı olan akış sırasıyla, birden fazla işlem gerektirirler. Karışık iş akışlı atölyede ise işlem sırası, işler bazında değişiktir.

C. Çizelge Değerlendirme Ölçütleri

Çizelgelerin değerlendirilmesi, çizelgelerin "maliyet" ve "performans"lan açısından yapılabilir.

Çizelgelerin maliyetlerini etkileyen başlıca kalemler şunlardır:

- Hazırlama ve ürün tipi değiştirme ile ilgili sabit maliyetler,

- Üretim ve fazla mesai ile ilgili değişken maliyetler,

- Envanterde taşıma maliyetleri,

- Talebi karşılayamamanın maliyeti,

- Çizelgenin hazırlanması ve uygulanmasının oluşturduğu sistem maliyetleri.

Başlıca performans değerlendirme ölçütleri ise şunlardır:

- *Tamamlanma zamanı (C,):* işin son işleminin tamamlandığı zaman.
- *İş akış zamanı (Fj):* işin atölyede toplam geçirdiği süre, Yani F; = Q - q (r_s i işinin atölyeye geldiği zamanı gösterir.)
- *Gecikme* (X,): İşin tamamlanma zamanı ile teslim tarihi (d;) arasındaki farktır. Yani Lj = Q + d_s dir.
- *Tehir (Tj):* Artı değer alan gecikme miktarıdır. Gecikme eksi değer aldığında tehir değeri sıfırdır. Yani T; = Maks (Lj, 0) dır.
- *Erken Bitirme (Ej):* Eksi değer alan gecikme miktarıdır. Gecikme artı değer aldığında erken bitirme değeri sıfırdır. Yani Ej = Maks (-Lj, 0) dır.

Performans ölçütlerine bağlı amaç fonksiyonları ise bu ölçütlerin çizelgelemenin sonucu olarak ortaya çıkan "ortalama", "toplam", "maksimum" ya da "minimum" değerlerinin enazlanmasıdır (veyaençoklanmasıdır).

Performans ölçütlerini düzenli (regular) ve düzenli olmayanlar diye iki grupta toplayabiliriz. Düzenli performans ölçütleri, bitiş zamanlarının azalmayan fonksiyonu şeklinde ifade edilebilen ölçütlerdir. İş akış zamanı, gecikme, tehir gibi ölçütler düzenli ölçütlerdir.

Burada birde performans ölçütlerinin bir (tek ölçütlü problemler) veya birden fazla (çok ölçütlü problemler) olmasının probleminin niteliğini değiştirdiğini belirtmeliyiz.

D. Parametrelerin Belirginlik Düzeyi

Parametrelerin belirginlik düzeylerine göre çizelgeleme problemleri deterministik ve rassal olmak üzere iki sınıfta incelenebilirler. Örneğin, işlerin işlem süreleri önceden bilinen sabit değerler ise çizelgeleme problemi deterministik, belli olasılık dağılımlarına göre değerler alan rassal değişkenler ise çizelgeleme problemi rassaldır.

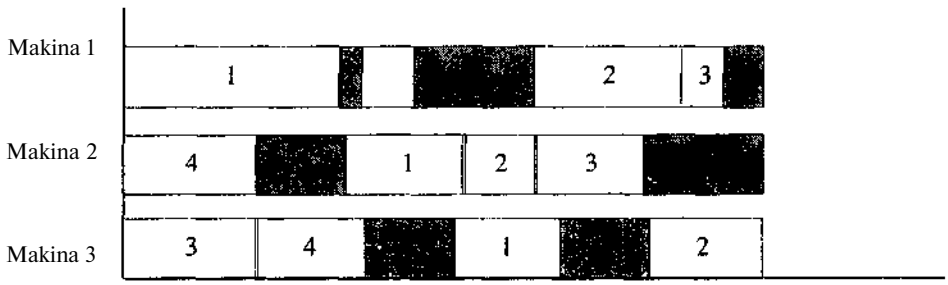
E. Çizelgeleme Ortamı

Çizelgeleme ortamı dinamik ve statik olmak üzere iki biçimde tanımlanır. Statik ortamda çizelgelenecek işler, tüm parametreleri itibariyle önceden kesin olarak bilinir. Dinamik ortamda ise zaman içerisinde yeni işler gelebilir ve/ya da mevcut işlerin parametreleri değişikliğe uğrayabilir.

Çözüm Yöntemleri

Çizelgeleme problemleri genelde deterministik ve statik olarak düşünülmüş ve çözümleri için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemleri sıralamadan önce, basit ama pratikte çok kullanılan, grafiksel bir yöntem olan Gantt şemalarına değinelim. Gantt şemaları çizelgeleme ilişkilerinin grafiksel bir sunumudur. Bir başka deyişle kaynak atamalarının zaman bazında gösterimidir. Kaynaklar, ki genellikle makinalardır, düşey eksenle, zaman ise yatay eksenle gösterilir. Görsel açıdan çok cazip olan bu şemalara alternatif çizelgeleme türetmek kolaydır.

Aşağıda 3-makina, 4-**işi** olan karışık iş akışlı bir atölye için bir örnek çizelgenin Gantt şeması sunulmuştur.



iş akışları:

1. iş - makina sırası: 1-2-3
2. iş - makina sırası: 2-1-3
3. İş-makina sırası: 3-2-1
4. iş - makina sırası: 2-3-1

Çizelgeleme problemlerini çözmek için geliştirilen diğer yaklaşımları inceleyelim.

Tümden Birerleme (Complete Enumeration)

m -makina ve bu makinalann tümünde işlem gerektiren n - işi olan karışık iş akışlı bir atölye düşünelim. Bu ortamda işlerin her bir makinada n!, atölyede ise $(n!)^m$ değişik şekilde sıralanması mümkün olabilir.

Gerçekte işlerin arasına sokabileceğimiz değişik miktarlardaki boş zamanlarla sonsuz sayıda çizelge elde edebiliriz. Neyse ki zorunlu olmayan boş zamanlar, düzenli (regular) performans ölçütleri için, kötüleştirici etki yaparlar ve dolayısıyla istenmezler, işler, kendi aralarındaki sıra bozulmadan, mümkün olduğu kadar sola yanaştırılarak işler arasındaki boş zamanların bir kısmından kurtulmak mümkündür. Böylece elde edilen çizelge "yarı-aktif çizelge" olarak adlandırılıp yukarıda verilen $(n!)^m$ sıralamalar, yan - aktif çizelgelerdir. Bu sayı orta büyüklükteki problemler için bile çok büyüktür. Örneğin;

n = 3, m = 3; $(3!)^3 = 216$

n = 5, m = 3; $(5!)^3 = 1\ 728\ 000$

n = 5, m = 5; $(5!)^3 = 24\ 883\ 200\ 00$

Bu sayıları "aktif çizelgeler" setini tanımlayarak bir miktar daha azaltmak mümkündür. "Aktif çizelge" bir işlemin bir başka işlemin başlama zamanını değiştirmeden, daha önce yapılamadığı çizelgedir. Aktif çizelgelerin sayısı da tümüne bakılamayacak kadar fazladır (Baker, 1974).

Örtük Birerleme (Implicit Enumeration) Teknikleri

Burada Dinamik Programlama ve Dal ve Sınır yöntemlerini saymak mümkündür. Dinamik programlama, çizelgeleme problemini çok aşamalı bir karar problemi olarak tanımlar ve çözer [Held ve Karp (1962), Schrage ve Baker (1978)]. Dal ve Sınır yöntemi ise dallandırma kuralı ile işlerin sıralamasını belirler, çizelgeyi oluşturur [Rinnooy Kan, Lagewag ve Lenstra (1975). Potts ve Van Wassenhove (1985)]. Dal ve sınır yönteminin basit

temel prensipleri olup uygulaması kolaydır.

Her iki teknik de orta ve büyük problemler için işlemsel açıdan cazip değildir.

Matematiksel Programlama

Çizelgeleme problemlerinin modelleri genellikle tam sayılı ve doğrusal olmayan modellerdir. Bir örnek modeli, polinom zamanda çözümü olmadığı bilinen, tek makinada toplam tehiri enazlama problemi için görelim.

Min 2, Z_t

$C, = C_{t \cdot 1} + 2_t X_{i t P i}$ Vt

$Z_t \; C_t - \Sigma_t \; X_{it} d_i$ Vt

$I_i X_h = 1$ Vt

$z, x_{it} = 1$ Vi

$C_0 = 0$, Z, OV t, $X_{jt} = 0$yada 1 V i ve t

Burada C_t, t pozisyonundaki işin bitiş zamanı, p;, i işinin işlem süresini, d;, i işinin teslim tarihini göstermektedir. X_{jt} ise i işi t pozisyonuna atandığında 1, yoksa 0 değeri alan bir değişkendir. Z, ise t pozisyonundaki işin tehir miktarını belirleyen değişkendir. Toplam n iş, dolayısıyla n pozisyon vardır. Tüm pozisyonlar için Z_t değerleri toplandığında toplam tehir miktarı bulunur.

Bu modellerin çözümleri için etkin yöntemler yoktur.

Algoritmalar

Çok çeşitli çizelgeleme problemlerinden sadece bir kısmı için algoritmalar geliştirilebilmiştir. Aşağıda çözülebilen problemlerden örnekler sıralanmıştır.

Üretim Programı	Performans Ölçütü	Algoritmayı Geliştiren (ler)
1) Tek aşama/tek makina	Maksimum gecikme Maksimum tehir	(Jackson 1955)
2) Tek aşama/tek makina	Toplam iş akış zamanı Toplam iş bitiş zamanı Toplam bekleme zamanı Toplam gecikme	(Smith 1956)
3) Tek aşama/tek makina	Tehir edilen iş sayısı	(Moore 1968)
4) Tek aşama/paralel maki nal ar	Ağırlıklı iş akış zamanı	(McNaughton 1959)
5) Seri-iş-akışlı atölye (2-makina)	Tüm işlerin bitiş zamanı	(Johnson 1954)
6) Kanşık-iş-akışlı atölye (2-makina)	Tüm işlerin bitiş zamanı	(Jackson 1955)

Tek makinadaki maksimum gecikmeyi/tehiri enazlamak için işler teslim tarihlerine göre azalmayan bir sıraya sokulurlar (en erken teslim tarihi sıralaması) ve bu sırayla makinalara atanırlar. Tek makinada toplam iş akış zamanı da yine basit bir kural olan "En Kısa tşlem Süreli lş"in uygulanmasıyla, ki adından da anlaşılabileceği gibi bu kural atamalarda en kısa işlem süreli işe öncelik verir, enazlamr.

Tek makinada, tehir edilen iş sayısını enazlayan sıralama ise şöyle bulunur. İşler önce erken teslim tarihi kuralına göre dizilir. Bu sıralamadaki ilk geç iş, diyelim ki k işi, tesbit edilir. Sıralamadaki ilk k işin arasından en uzun işlem süreli iş çıkartılır. İlk geç işin tesbit edilip.en uzun işlem zamanlı işin çıkartılmasına, kalanlar arasında geç iş kalmayana kadar devam edilir. Çıkartılan işler minimum tehirli iş sayısını verir ve herhangi bir sırada işlerin sonuna eklenir.

İşleri paralel makinalarda toplam iş akış zamanını enazlayacak şekilde dizmek için ise işler önce "En Kısa İşlem Süreli İş" kuralına göre dizilir, işler bu sıradan, her seferinde en az işlem süresi atanmış makina seçilerek, makinalara atanır.

2-makinalı seri-iş akışlı bir atölyede tüm işlerin bitiş zamanının enazlanması, çizelgeleme konusunda elde edilen ilk sonuçlardan biridir. Johnson in geliştirdiği bir kuralla elde edilen sıralama her iki makina için de aynıdır. Johnson'ın kuralı şöyle ifade edilir: Eğer Min $\{P_n, Pj2_2\}$ Min $\{P_{i2}, Pj_{(}\}$ ise i işi j işinden önce makinaya atanır. Burada, Pjj, i işinin 1. makinadaki işlem zamanını, p_{i2} ise i işinin 2. makinadaki işlem zamanını ifade etmektedir. Bu kuralın uygulanması ise şu şekilde yapılır:

Adimi: Min $\{P_n, Pj_2\}$ yi bulunuz.

Adım 2: Eğer en kısa işlem zamanı birinci makinayı gerektiriyorsa, ilgili işi sıradaki ilk boş yere koyunuz ve Adım 4 e gidiniz.

Adım 3: Eğer en kısa işlem zamanı ikinci makinayı gerektiriyorsa, ilgili işi sıradaki son boş yere koyunuz ve Adım 4 e gidiniz.

Adım 4: Atanan işi listeden çıkarıp, Adım 1 e gidiniz. Bu işlemlere sıralama tamamlanana kadar devam ediniz.

Johnson' in kuralı 2-makinalı, karışık iş akışlı atölyelere şu şekilde uygulanır: Öncelikle işler atölye içindeki akışlarına göre dört grupta toplanırlar :

{A} sadece 1. makinada işlem gerektiren işler seti

{B} sadece 2. makinada işlem gerektiren işler seti

{AB) önce 1. sonra 2. makinada işlem gerektiren işler seti

{BA} önce 2. sonra 1. makinada işlem gerektiren işler seti

{AB} ve {BA} setlerindeki işler kendi aralarında Johnson kuralı uygulanarak sıralanırlar. Bu atölyede toplam bitiş zamanını enazlayan sıra

1. makinada: {AB} {A} {BA}

2. makinada: {AB} {B} {BA} dır.

Sezgisel Yöntemler

Özellikle çözümü zor çok aşamalı sistemlerdeki çizelgeleme problemleri için geliştirilmiş çok çeşitli sezgisel yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler en iyi çözümü garanti etmemekle beraber, deneyimler sonucu genellikle "iyi" sonuç veren yöntemlerdir.

Bu yöntemler içinde öncelikle "seçme kuralı" yaklaşımından söz etmemiz gerekir. Seçme kuralları değişik ölçütler gözeterek (örneğin ortalama iş akış zamanını enazlamak gibi) boş makinaların önündeki işleri makinalara tahsis eder. Bu kurallar teslim tarihi, işlem süresi, işlerin durumu, kuyrukların durumu vb. gibi çeşitli bilgileri kullanarak karar verirler. Örneğin "en kısa işlem süresi" kuralı boş makinaya, adından da anlaşılacağı gibi, en kısa işlem süreli işi atar. 1960 lardan bu yana sadece çok aşamalı karışık iş akışlı ortamlar için 200 ün üzerinde seçme kuralı geliştirilmiştir. Seçme kuralları yaygın olarak çok çeşitli ürünlerin üretildiği karışık iş akışlı atölyelerde kullanılmaktadır.

Bir diğer sezgisel yaklaşım yöntemi olarak, bilgisayar ve karar vericinin etkileşim içinde çizelgeleme problemini çözdükleri "etkileşimli çizelgeleme" yi sayabiliriz. Bilindiği gibi, bilgisayarlar, tanımlı işlemleri süratli ve hatasız bir şekilde yaparlar. Çok miktarda bilgi depolayıp işleyebilirler, insanlar ise problem alanlannı belirleyebilir, belirsizlikleri çözebilir, özel durumlan değerlendirebilir ve değişen durumlara uyum sağlayabilirler. Kısacası insanlar inisiyatif kullanabilirler. Etkileşimli karar verme ile hedeflenen bilgisayarın becerilerini karar verme sürecinde karar vericinin hizmetine sunmaktır. Çizelgeleme problemi için değişik düzeylerde insap.-bilgisayar etkileşimi yaklaşımlan önerilmiştir [Godin (1978), Kondakcı ve Gupta (1991)]. tnsan yeteneklerinin devreye sokularak karar verme sürecinde kullanılması her ikisiyle tek başına alınan sonuçlardan daha iyi sonuç vermiştir. Bu yaklaşımın bir diğer olumlu yanı ise bu şekilde verilen kararlann uygulama şansının yüksek olmasıdır. Karar verici, karar verme sürecinin içinde olduğu ve sistemi kontrolünde tuttuğu için sonuçta verilen kararlara yabancılık çekmeyecek ve uygulanmasına yönelik şüpheleri az olacaktır.

Bunların dışında, daha basit problemlerin optimal çözümlerinden yararlanarak karmaşık problemleri çözmek için çok çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

KAYNAKÇA

(1) BAKER, K.R. (1974) **Introduction to Sequencing and Scheduling.** John Wiley and Sons ine, New York.

(2) DERVITSIOTIS, K.N. **(1981), Operations Management,** McGraw-Hill.

(3) GAITHER, N. (1980), **Production and Operations Management,** The Dryden Press.

(4) GRAVES, S. (1981) **A Review of Production Scheduling, Operations Research,** 29, 646-675.

(5) GODIN, VB.B (1978) **Interactive Scheduling: Historical Survey and State of the Art,** AIIE Transactions, 10, 331-337.

(6) HELD, M ve KARP, R.M (1962), **A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems,** Journal of Society for Indüstrial and Applied mathematics, 10, 196-210.

(7) JACKSON, J.R. (1955), **Scheduling a Production Line to Minimize Maximum Tardiness,** Research report 43, Management Sciences Research Project, University of California Los Angeles.

(8) KONDAKCI, S. ve GUPTA, R.M. (1991) An Interactive Approach for a Dual-Constraint Job Shop Scheduling Problem, Computers and Indüstrial Engineerin, 20, 17-24,

(9) LEDBETLER, W.N. ve COX, J.F. (1977), **Operations Research in Production Management:** An Investigation of Pastand Precent Utilization, Production and Inventroy Management, 84-91.

(10) LUGGEN, W. Willian, (1991), **Flexible Manufacturing Cells and Systems,** Prentice-Hall.

(11) MONKS, J.C. (1982), **Operations Management Theory and Problems,** McGraw-Hill.

(12) MOORE, J.M. (1968), **An n Job One Machine Sequencing Algorithm for Minimizing the Number of Late Jobs,** Management Science, 15, 102-110.

(13) NAHMIAS, S. (1989), **Production and Operations Analysis,** Richard D. Irwin, Inc.

(14) PETERSON, R. veSILVER, E.A. (1979), **Decision Systems For Inventory Management and Production Planning,** John Wiley and Sons.

(15) POTTS, C.N. ve Van WASSENHOVE,L.N.(1985), **A Branch and Bound Algorithm for the Total Weighted Tardiness Problem,** Operations Research, 33, 363-377.

(16) RINNOOY KAN, A.H.G., LAGEWAY, B.S. ve LENSTRA, J.K. (1975), **Minimizing Total Costs in One-Machine Scheduling,** Operations Research, 23,908-927.

(17) SCHENNER, W. Roger, **Production/Operations Management, Maxwell Macmillian** 1990 4. baskı ile Donal Demar in Operations and Indüstrial Management, McGraw Hill 1985.

(18) SCHRAGE, L. ve BAKER, K.R. (1978), **Dynamic Programming Solution of Sequencing Problems with Precedence Constraints,** Operations Research, 26,444-449.

(19) SMITH, W.E. (1956), **"Various Optimizers for Single Stage Production,"** Naval Researhc Logistics Quarterly, 3, 59-66.

(20) WILLIAM B. Lee ve KHUMAWALA, B.W. (1974), **Simulation Testing of Aggregrate Production Models in an Implementation Methodology,** Management Science, 906.

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ EL KİTABI

ÜRETİM ve TASARIM

Cilt 2

Baskıya Hazırlayan
A. Münir CERİT
Makina Yük. Mühendisi

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

YAYIN NO.: 170

2. BASKI

SUAT SEZAİ GÜRÜ'nün anısına

Koordinasyon

MMO Kitap Komisyonu
Ali Münir CERİT
Prof. Dr. Alp ESİN
Doç. Dr. Kahraman ALBAYRAK
Bilal BAYRAM

BÖLÜM 18

KALİTE GELİŞTİRME KONTROLÜ
(KALİTE KONTROL)

Hazırlayan

Prof. Dr. Ömer SAATÇİOĞLU, ODTÜ End. Mühendisliği Bölümü

Sayfa

1. Temel Kavramlar ve Deyimler.....02
2. Sistematik Tasarım ve Geliştirme.....08
3. Taguchi Deney Tasarım Yöntemi:
   Ortogonal Kolonlar.....14
4. Çevrim İçi Kalite Kontrol.....27
5. Kabul Örneklemesi Yöntemi.....32
6. Süreç Kontrolü.....41
7. Kayıp Fonksiyonu ve İşaret / Gürültü
   Oranları.....50
   KAYNAKÇA.....56

KALİTE GELİŞTİRME KONTROLÜ

1. TEMEL KAVRAMLAR VE DEYİMLER

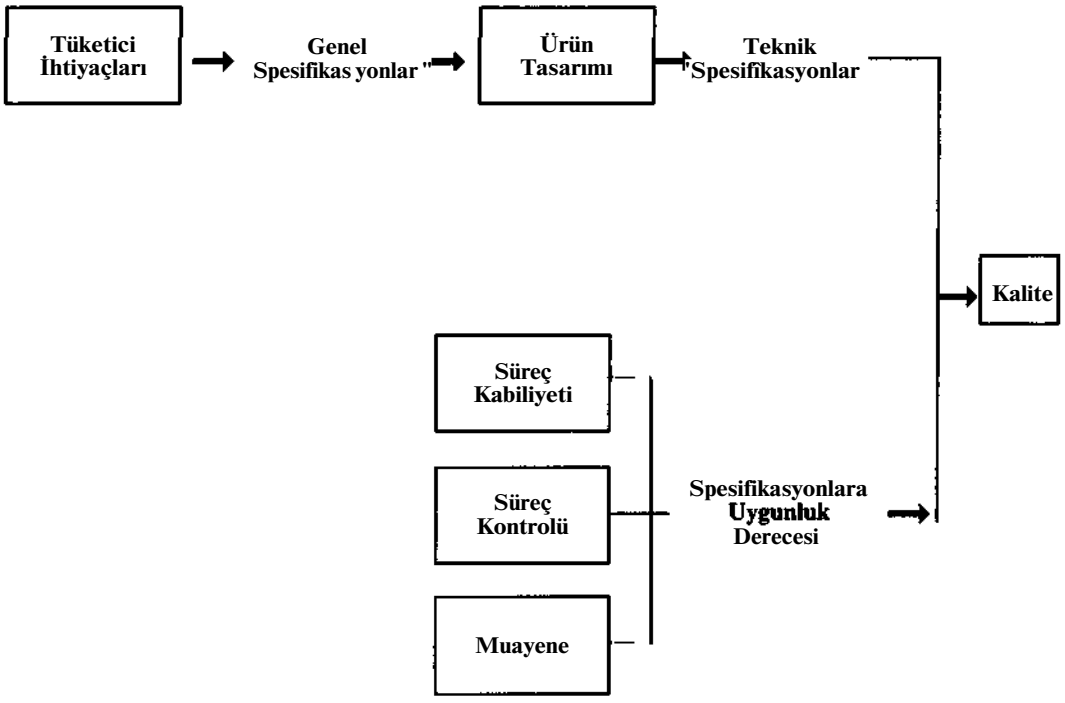
Kalite

Kalite, ihtiyaçlara ve spesifikasyonlara uygunluktur. Kaliteyi, ilgilenen kişilere göre tanımlamak olanaklıdır. Kalite, tasanmcı bakımından, daha iyi yapabilme kabiliyeti, yapımcı bakımından standartlara ve/ya da spesifikasyonlara uygunluk, tüketici bakımından da performans ve kullanıma uygunluk ya da tüketici ihtiyaçlarının karşılanma derecesidir. Kalitenin formel tanımı aşağıda verilmiştir.

Kalite, bir ürün ya da hizmetin belirlenen ya da olabilecek ihtiyaçları karşılama yeteneğine dayanan özelliklerin toplamıdır (TS 9005/11.91)

Kalite Karakteristikleri

Bireysel ihtiyaçlar, genellikle kalite karakteristikleri olarak algılanır. Boyutlar, görüntü, kütle, mukavemet, hacim, çıktı, renk, koku, tat, kalite karakteristiklerine örnek olarak gösterilebilir. Bireysel kalite karakteristikleri, kalitenin temel taşlarını oluşturur. Her bir kalite karakteristiği, bir spesifikasyonla tanımlanır. Şekil.l spesifikasyon ile kalite arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil.l- Spesifikasyon-kalite ilişkisi

Kalite Kaybı ve Maliyeti

Kalite maliyeti, kusurlu ürün için tanımlanır ve kusurlu ürünün yapım, bulma, onarım ya da kusurun giderilmesi maliyetlerini içerir. Geleneksel olarak kalite maliyeti niteliğine göre dört grupta toplanmaktadır :

(i) içsel Hata Maliyetleri,
(ii) Dışsal Hata Maliyetleri,
(iii) Değerlendirme Maliyetleri
(iv) Önleme Maliyetleri,

Bu gruplara düşen tipik maliyet kalemleri aşağıda verilmiştir.

İçsel Maliyetler *(Müşteri öncesi kusurlu üründen kaynaklanan maliyetler)*	Dışsal Maliyetler *(Müşteriye gönderildikten sonra oluşan kusurlu ürün maliyetleri)*
• Hurda maliyeti • Yeniden işleme maliyeti • Yeniden test etme maliyeti • Tanzim maliyeti	• Şikayetlerin giderilmesi maliyeti • İade maliyeti • Garanti maliyeti • Anlaşma maliyeti
Değerlendirme Maliyetleri *(ilk kez ürün koşullarını keşfetme maliyetleri)*	Önleme Maliyetleri *(Hata ve değerlendirme maliyetlerini enazlama maliyetleri)*
• Gelen malzemenin muayene maliyeti • Muayene ve test maliyeti • Test cihazlarının kalibrasyon maliyeti • Malzeme ve servis maliyeti • Stok değerlendirme maliyeti	• Kalite planlaması maliyeti • Yeniden ürünlerin gözden geçirilmesi maliyeti • Eğitim maliyeti • Süreç kontrol maliyeti • Kalite verilerinin temin ve analiz maliyeti • Kalite raporlama maliyeti • Geliştirme projeleri maliyeti

Kalite kaybı, genel olarak ürünün müşteriye gönderilmesinden sonra ürünün topluma neden olduğu maliyet olarak tanımlanmaktadır. İşlevsel kusur, zararlı etkiler, kirlilik, işletme maliyeti ve bakım maliyetleri, kalite kaybını oluşturur. Günümüzde en iyi kalite düzeyi, ürünün topluma yarattığı kayıplarının enaza indirildiği noktada tanımlanabilmektedir. Özellikle ürünün tüketiciye gönderilme emrinden sonra ortaya çıkan ve işlevsel sapmanın neden olduğu kaybın düşürülmesi önem kazanmıştır. Burada işlevsel sapma, ürünün temel kalite karakteristiklerinin önceden belirlenmiş ürünün tasarım spesifikasyonlannın nominal değerinden sapması olarak tanımlanmaktadır.

Kalite Sistemi

Ürünün yaşam devrinin her aşamasında kalite kavramını ve kalite maliyetini içeren bir sistemdir. Ürünün yaşam devri, ürün planlaması ile başlar ve ürün tasarımı, üretim süreç tasarımı, çevrim içi süreç kontrolü, pazar gelişimi ve paketleme, bakım ve diğer ürün hizmet aşamalarında devam eder. Sistemin amacı, kayıpları enazlamak üzere ürünü optimal düzeyde ve işlevsel karakteristiklerinden en az sapacak şekilde üretmektir.

Ürünün işlevsel karakteristiklerini etkileyen iki tür etmen vardır. Bunlar : (i) Kontrol edilebilir etmenler, (ii) Kontrol edilemiyen etmenlerdir (gürültü). Kontrol edilebilen etmenler, tasarımcı ve yönetici tarafından kontrol edilebilen etmenlerdir. Örnek olarak, malzeme seçimi, devir zamanı, döküm zamanı, boyutlar, ürün konfigürasyonu verilebilir. Öte yandan gürültü etmenleri, kontrolü zor olan ya da mümkün olmayan ya da masraflı olan etmenlerdir. Üç tür gürültü etmeni vardır. Bunlar, dışsal, içsel ve ürünler arası gürültü etmenleridir. Gürültü etmenlerine örnekler aşağıda verilmiştir.

İçsel Gürültü Etmenleri	**Dışsal Gürültü Etmenleri**	**Ürünlerarası Gürültü Etmenleri**
• Parçaların bozulması	• Tüketici kullanımı koşulları	• Parçadan parçaya değişiklik
• Malzeme bozulması	• Düşük sıcaklık	• Süreçten sürece değişiklik
• Oksitlenme (pas)	• Yüksek sıcaklık	
• Makina eskimesi	• Sıcaklık değişikliği	
• Takım aşınması	• Şok	

Gürültü etmenleri, genellikle, ürünün işlevsel karakteristiklerinin hedef değerinden sapmasından sorumludur. Bununla birlikte, gürültü etmenlerini ortadan kaldırmak akılcı bir yaklaşım değildir. Tercih edilen yol, kontrol edilebilen etmenlerin değerlerini, ürün ya da sürecin gürültü etmenlerdeki değişikliğe en az duyarlı olacak şekilde seçmektir.

Başka bir deyişle, gürültü etmenlerini bulup yoketmek yerine, etkilerini ortadan kaldırmak ya da azaltmak yolu izlenmelidir.

Kalite sisteminin diğer önemli amacı, ürünü, gürültü etmenlerine karşı güçlü (robust) olacak şekilde tasarlamak ve üretmektir. Ürünün güçlülüğü, işlevsel karakteristiklerinin, gürültü etmenlerinin neden olduğu değişikliğe duyarlı olmaması anlamına gelir.

Kalite Kontrol

Kalite isteklerini sağlamak için yürütülen faaliyetler ve kullanılan tekniklerdir. Bu faaliyetler ve teknikler ürün yaşamı devrinin her aşamasında uygulanır. Ürünün planlaması, tasanmı ve üretim mühendisliği aşamalarındaki kalite kontrol faaliyetlerine çevrim dışı (off line) kalite kontrol ya da kalite mühendisliği denir. Öte yandan, üretim sürecindeki kalite kontrol faaliyetlerine çevrim içi (on line) kalite kontrol denir. Güçlü ürün üretimi için çevrim dışı kalite kontrol çabalan kaçınılmaz bir olgudur. Taguchi ve Wu, çevrim dışı kalite kontrol faaliyetlerini üç grupta toplamıştır : (i) sistem tasanmı, (ii) parametre tasanmı ve (iii) tolerans tasanmı.

Sistem Tasarımı : Ürün tasanmı aşamasında prototip tasan mı n geliştirilmesini, malzemelerin, parçalann ve montaj sisteminin belirlenmesini kapsar. Üretim mühendisliği aşamasında ise, imalat sürecinin belirlenmesini içerir.

Parametre Tasarımı : Gürültü etmenlerinin ürünün işlevsel karakteristiklerine olan etkisini en azlayacak kontrol edilebilir etmenlerin (tasanm parametreleri) düzeylerini seçme sürecidir.

Tolerans Tasarımı: Tasanm parametreleri için tolerans belirleme sürecidir.

Çevrim içi kalite kontrol, ürünün arzu edilen kalitede üretilebilmesi için belirlenen spesifikasyonlardan sapmalan izleyen bir süreçdir. Kalite muayenesi, üretim ara aşamalannda ve hammadde ile son ürün üzerinde yapılır. Üretimin ara aşamalannda yapılan muayeneye süreç kontrolü denir. Süreç kontrolunda, sürecin devam edip etmeyeceğine ilişkin karar verilir ve spesifikasyonlardan aynlmanın nedenleri araştınlır. Son ürün ve hammadde üzerinde yapılan muayenelerde, sisteme giren hammadde ile son ürünün istenilen kalite düzeyinde olup olmadığı kontrol edilir. Bu tür muayenede, kalite ölçümü yapılan bir grup üründen elde edilen sonuçlara göre tüm girdiler ve çıktılar için kabul ve red karan alınır.

Kalite kontrol sürecinin işleyiş biçimi Seki 1.2 de gösterilmiştir.

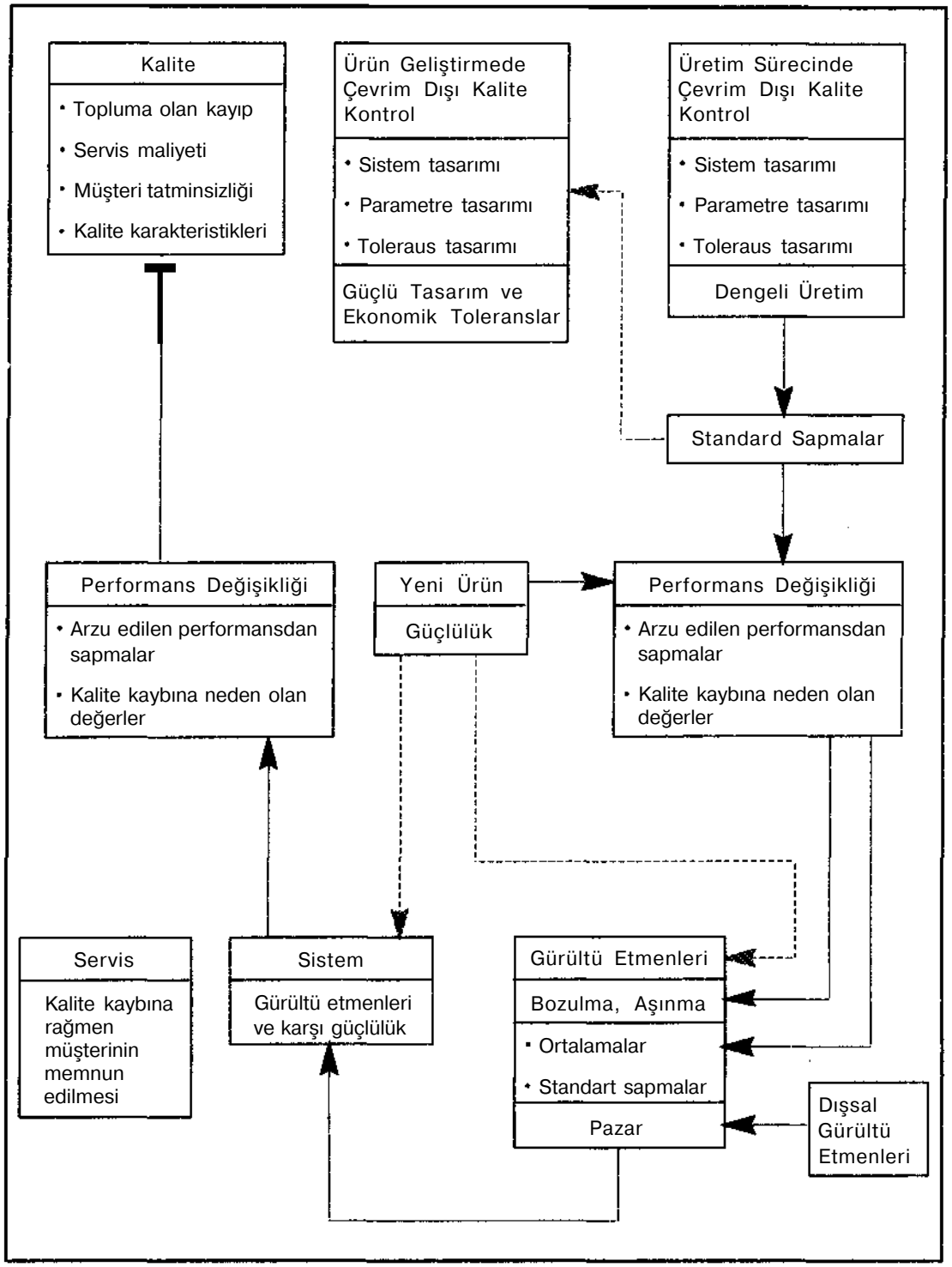
Kalite Güvencesi

Ürün ve hizmetin, kalite için belirlenen istekleri karşılamak amacıyla, yeterli güveni sağlamak için gereken planlı ve sistematik faaliyetlerin bütünüdür (TS 9005 / 11.91).

Kalite güvencesi bu şekilde tanımlanmakla birlikte, birçok kuruluşta bulunan kalite güvencesi bölümü, kalite planlaması, kalite kontrol, kalite geliştirme, kalite denetimi ve güvenilirlik gibi kalite ilişkili bir çok faaliyetle ilgilenmektedir.

Gerçekte, çoğu kalite güvencesi faaliyetleri, çıkabilecek sorunun erken uyan mekanizmalan ile kalite problemlerine karşı koruyucu olmaya yöneliktir. Temelde güvence, delillerden ya da güvenceyi yaratan gerçekler kümesinden oluşmaktadır. Basit bir ürün için delil, muayenenin bir şekli ya da ürünün test edilmesidir. Gerçekte karmaşık ürünlerde delil, yalnız muayene ya da test olmayıp, var olan planlann gözden geçirilmesi ve icra edilen planlann denetimini de içerir. Güvence faaliyetleri, genellikle kuruluşun çeşidi işlevsel birimlerinde dağılmış konumdadır. Bu birimler pazarlama, ürün geliştirme, satıcı ilişkileri, üretim, muayene ve test, tüketici hizmetleri ile ilgili birimler olabilmektedir. Güvence faaliyetlerine örnekler, birimler bakımından aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Birim	Güvence Faaliyeti
Pazarlama	Test pazan tarafından ürün değerlendirmesi
	özel anketler
	Rekabet değerlendirmeleri
	Ürünün izlenmesi
Ürün Geliştirme	Tasanmın gözden geçirilmesi
	Güvenilirlik analizi



Şekil.2- Çevrim dışı ve çevrim içi kalite kontrol süreci

Birim	Güvence Faaliyeti
Ürün Geliştirme	Bakılabilirlik analizi Emniyet analizi insan etmenleri analizi imalat ve muayene analizi Değer mühendisliği Deney tasarımı
Satıcı İlişkileri	Satıcının tasanm yeteneği Satıcının süreç yeteneği İlk örneklerin değerlendirilmesi İlk teslimatın değerlendirilmesi
Üretim	Tasanm gözden geçirme Süreç kapasite analizi Üretim öncesi denemeler Süreçler için hata türü, etki ve kritiklik analizi İmalat planının gözden geçirilmesi Üretim kalitesinin denetimi Kendi kendini kontrol analizi
Muayene ve Test	Laboratuvarlar arası testler Muayeneci hassasiyetinin ölçülmesi
Tüketici Hizmeti	Paketleme, ulaştırma ve depolamanın denetimi Bakım hizmetlerinin değerlendirilmesi

Kuruluş genelinde kalite güvencesini belirleyen önemli faaliyetler kalite denetimi, kalite yoklama ve ürün denetimidir. Bu faaliyetlerin tanımlan aşağıda verilmiştir.

Kalite Denetimi : Kalite faaliyetlerinin ve sonuçlarının planlanmış aranjmanlara uyup uymadığını, bu aranjmanların etkin bir şekilde uygulanıp uygulanmadığını ve amaçlann gerçekleştirilmesindeki uygunluğunu belirlemek için sistematik, bağımsız sorgulama ve değerlendirmedir.

Kalite Yoklaması: Kalite denetiminin dışında kalan ve daha kapsamlı konulann yoklanmasıdır. Bu tür konulara örnek olarak aşağıdakiler verilebilir :

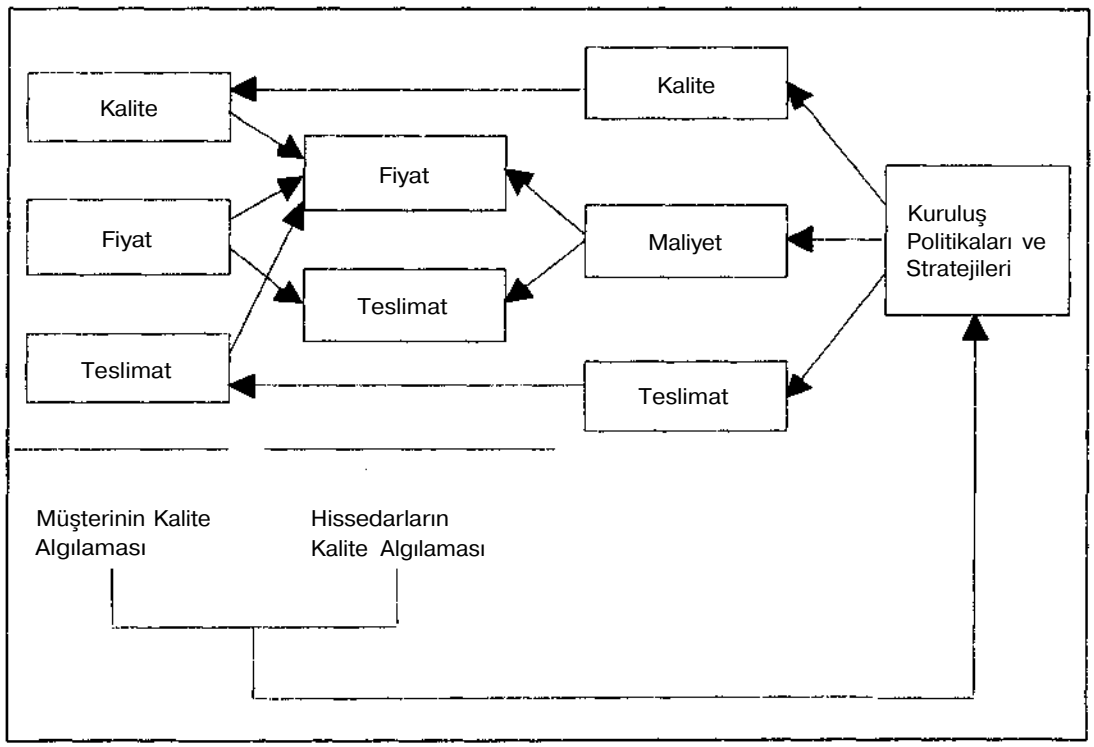
1. Kuruluşun pazar içinde kalite ile ilgili görece konumu,
2. Kalitesizliğin maliyetini düşürecek fırsatlar,
3. İşçinin kalite algılaması,
4. Ürünün yaşamı boyunca kullanıcının maliyet, rahatlık vb. konulardaki durumunun analizi,
5. Üst yönetimle, hedefler, politikalar, sözler ve inançlar hakkında mücadele.

Ürün denetimi, ürünün kullanıma uygunluk, spesifikasyonlara uymasını belirlemek üzere ürün kalitesinin bağımsız değerlendirmesidir. Ürün denetimi, her zaman muayeneden sonra gerçekleştirilen bir faaliyettir. Ürün denetiminin temel amaçlan, ürünün tüketiciye tesliminden önce kalite düzeyinin hesaplanması, spesifikasyonlara uygunluğunu belirlemede muayene kararlannm etkinliğini değerlendirmek ve muayene faaliyetlerinin üstünde ek bir güvence sağlamaktır.

Toplam Kalite Yönetimi (TKY)

Toplam Kalite Yönetimi, (1) müşterilerin gereksinimlerini büyük ölçüde karşılamak üzere örgüt amaçlarına tüketicinin kalite algılamasını konuşlandırmak, (2) örgütsel hedefleri yerine getirmek, politikalar tanımlamak ve

bunları, örgütün her düzeyinde katılımı açık ve net bir şekilde sağlayacak icra edilebilir stratejilere çevirmek diye tanımlanabilir. Kısa bir tanımla, TKY müşterilerin gereksinimlerini kalite, fiyat ve teslimat bakımından en iyi bir şekilde karşılayan ve aynı zamanda maliyetlerini düşüren bir yönetim şeklidir. Tanımlardaki kavramlar ve ilişkileri Şekil.3 de gösterilmiştir.



Şekil.3- Müşteri kalite **algılaması** ve **kuruluş amaçları ilişkisi**

TKY deki katılımlı yönetimin temelinde hataların önlenmesi hedeflenmekte ve böylece bir taraftan müşteri hatasız ürünlere sahip olurken, öte yandan üreticinin hatalı üründen kaynaklanan maliyetleri düşer. Bu hedefin gerçekleşmesinde TKY sisteminin iki temel öğesi egemen olmaktadır. Bunlar :

1. Bilimsel ve objektif analizlerle hatalara neden olan etmenlerin bulunması ve ayıklanması,
2. Bu hataların oluşmasına neden olan *sistemi* geliştirmeye dönük bir yönetim anlayışı.

TKY nin işletim ilkeleri beş başlık altında toplanabilir:

1. Müşteri tatminine bağlılık,
2. işgücünün ve takım çalışmasının seferber edilmesi,
3. Öğretim ve eğitime önemli boyutta yatırım yapma,
4. Sürekli olarak süreç geliştirme,
5. İstatistiksel yöntemlerin yaygın kullanımı.

Bu ilkelerin uygulanmasında dört temel yöntemden söz edilebilir. Bunlar:

1. Sürekli Süreç Kontrolü ve Geliştirme,
2. Politika Konuşlandırarak Yönetme,
3. Kalite İşlevinin Konuşlandırılması,
4. Taguchi Yöntemleri.

1. Sürekli Süreç Kontrolü ve Geliştirme : Bu yöntem, TKY araçlarını kullanarak, işlevsel ekipler marifetleriyle geliştirme projeleri üzerinde çalışmayı kapsar. Yönetimin önemli katkıları, değişimin ve kayıpların sürekli azaltılması, ekip faaliyetlerinin sürekli gelişimi ve çağdaş yönetimi ve işgücü ilişkilerinin gelişimi üzerinedir.

2. Politika Konuşlandırarak Yönetme : Politika konuşlandırarak yönetme, kuruluşun uzun dönem vizyonunu gerçekleştirmek için orta dönem ve yıllık stratejik planlann geliştirilmesi ve uygulanmasında çağdaş yönetim yaklaşımıdır.

3. Kalite işlevinin Konuşlandırılması : Bu yöntemin amacı, pazar payını düşük maliyetle artırmak için müşteri isteklerinin karşılanmasına odaklanmış tüm gayretleri ve kaynakları sağlamak için ürün devrinin her aşamasında uygulanacak eylemler sistemini kurmaktır.

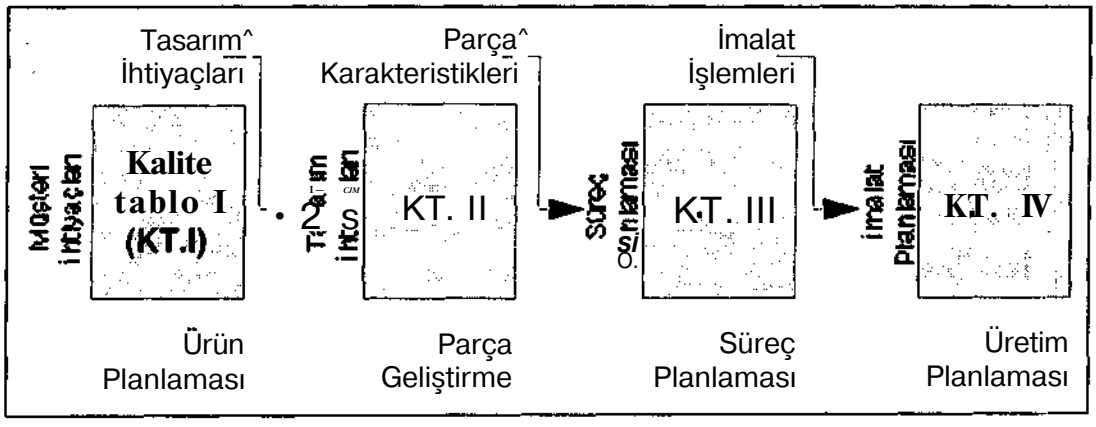
4. Taguchi Yöntemleri: Taguchi yöntemleri, ürün ve süreçlerin, müşteri ihtiyaçlarına uygun, değişimin en az düzeyde olduğu ve mümkün olan en düşük maliyette yüksek performansın elde edildiği güçlü tasarımını sağlamak üzere geliştirilmiştir. Ürün ve teknoloji gelişimi sürecinde, Taguchi Yöntemlerinden yararlanmak, kalite işlevinin konuşlandırılma faaliyetlerinin gelişmesine büyük katkı sağlayabilmektedir.

2. SİSTEMATİK TASARIM VE GELİŞTİRME

Çevrim dışı kalite uygulamalarında, insanların ve teknik konuların sistematik bir şekilde bir araya getirilmesi gerekmektedir. Liderlerin yol göstericiliğinde elde olan kaynaklan en iyi biçimde kullanarak kalite geliştirme çalışmalannı yürütmek günümüz kuruluşlarının başvurduğu bir yaklaşım olmuştur. Sistematik düşünme yoluyla, farklı departmanlann sorumluluğunda olan ürün tasarım ve geliştirme ile süreç geliştirme ve diğer ilgili faaliyetleri bir bütün olarak ele almak olanaklı olmuştur. Bu bölümde sistematik tasanm ve geliştirme yöntem ve araçlardan endüstride en çok kullanılanları açıklanmıştır.

Tasarımda Kalite İşlevi Yöntemi

Tasanmda Kalite işlevi (TKİ) yöntemi Japonya'da Dr. Yaji Akao tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, tüketici gereksinimlerinden ayrıntılı ürün spesifikasyonlannın belirlenmesine kadar sistematik olarak yürütülen faaliyetleri içermektedir. TKİ, TKY ve çevrim dışı kalite gayretlerini yönlendiren bir olgudur. Şekil.4, TKİ nin temel kavramlarım göstermektedir.



Şekil.4- Tasarımda kalite işlevi kavranılan

1. Ürün Planlaması: Bu aşamada, rekabet koşullan için kuruluşun hedefleri (ürün karakteristikleri ile ilgili) cinsinden pazarlama hedefleri tanımlanır. Ürün planlamasında iki temel aşama vardır : (i) Pazar Planlamass, (ii) Teknik Planlama. Pazar planlamasında, müşterinin arzulan ve ihtiyaçlan aynntı düzeyinde bulunur. Aynca, müşteri gereksinimleri öncelik sırasına konur, müşteri tatminini gösterir rekabet analizi yapılır ve pazar lideri olmak için gerekli hedefler belirlenir. Teknik planlamada ise müşteri gereksinimleri, ürün karakteristiklerine çevrilir ve pazar amaçlarına erişmek için gerekli hedefler belirlenir. Ürün karakteristikleri, performanslan niceliksel olarak ölçülebilecek şekilde teknik düzeyde tanımlanır. Bu aşamada, aynca, ürün yaşam devri için gerekli kaynak hesaplanır ve birim üretim maliyeti belirlenir.

2. Ürün Tasarımı: Bu aşamada, planlanan ürün performansını sağlayacak tasanm parametreleri için hedefler ve spesifikasyonlar belirlenir. Bu aşama sonunda gelişmeler, işlevsel, yeniden üretebilme ve maliyet alanlannda yerine getirilir.

3. Yapım Planlaması : Bu aşamada, üretim yöntemleri ve ilgili işlemler, işlemler sırası ve gerekli teknoloji seçilir.

4' Üretim Planlama : Bu aşamada, planlama imalat sistemi performansının bakımı ve işletmelerin hatalannın enazlanması uzennde yoğunlaşır. Bunun 19in işlem standartlan hazırlanır, işgücü planlaması ve eğitim proer lan yapılır, pilot üretim testleri ve tasanmı gözden geçirme toplantıları yerine getirilir.

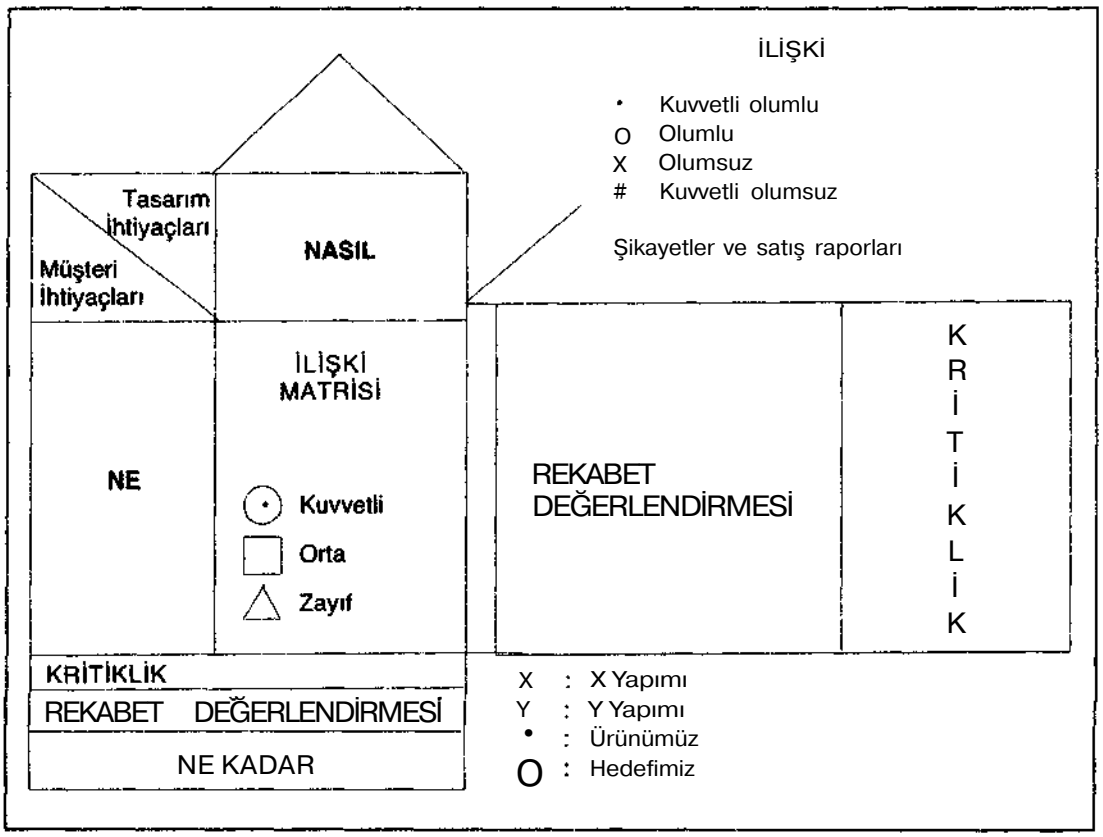
Tüm bu aşamalarda müşterinin algılaması, arzu ve ihtiyaçlan önemli bir odak noktası olu$t- yöntemi, müşten ıhtıyaçlannı sırasıyla tasanm ihtiyaçlanna, parça karakteristiklerine, vamr- arzulanna dayalı nuçta da ürün en iy. urunu, hızlı ve maliyeti etkin bir şekilde geliştirmeyi sağlamaktadır.

TKÎ yöntemi opr»ni IC gerek iş disiplinini ve aşamalar ara$ı iletişimi sağlamar : *Ne, Nasıl* ve *Ne kadar* sorulanda. Sorular her aşamada m.. tur soruya yanıt vermek üzere tasarlanmıstoiiamak amacıyla sorulmaktadır.

mştennın sesini duyurmak ve ihtiyaçb-

Ne somu. müş»ri,i ... -<»ç ve hedeflerin yerine getirilmesi ile ilgilidir. *Nasıl soru-su Ne* S c U n n l . T- ... S'sffieç ya da yöntemin ne durumda olması gerektiğine dair karan ... durumu olabildiği gibi, ürünü oluşturacak parça karakteristiği de olabilir. Aynca, yapım inletmesinin islptı ... trfimoti olabilir. *Ne kadar* sorusu TKİ aşamalarının sonuçlannı simgeıemeKieuır. oaşka bir deyişle müşteri sesi gereksinimlerini karşılamak için yerine getirilmesi gerekli hc*^ koşullandır.

Şekil.5 bu üç sorununun ürün planlaması aşamasında kullanılan tablodaki yerini ve ilişkilerini göstermektedir.



Şekil.5- Ürün planlaması kalite tablosu

Ürün geliştirmesinin her aşaması sonunda faaliyetlerin sonuçlan KT lerinde özetlenmmektedir. Etkin bir TKİ projesinde yaklaşık 56 faaliyet bulunmaktadır.

K acı aliz'

T l s î f Ağa^anaîizi (KAA), oluşan bir kusurun *yukarıdan aşağı* yaklaşımıyla analizini yapmaya yarayan bir '-•ksel araçtır. Bu araçla, ilk önce kusurun nedenleri araştırılır, arkasından nedenlerin başlangıç noktalan ınco "onunda nedenlerin ve kaynaklarının giderilme yollarına bakılır.

KAA .

-* temel uygulama alam vardır. Bunlar :

i) Tasarım piv,.

" -i için karşı önlemler üzerinde çalışma yapmak,

ü) Hata anaMzinde kullan..

iii) Problemlere çözümler tanımlama* .

* "Ma Türü Etki Analizi (HATEA) ni birlikte kullanmak,

iv) Tümden gelimli bir yaklaşımla sistem hatalarını .

' -"ranışını daha iyi anlamak.

KAA, hata analizi yoluyla, hata oluşum mciuiiii™j«.-, a».^_j. ,.,.,_____ınrnavı s_ _ .. ..«iuiKtan sonra ileri geri besleme türü karşı önlemler uygulanır. Böylece kavramsal ve ayman S Lu ı" adamasında beklenen kusurlar önlenebilir.

Tasarım, prototip, kitle üretimi, ya da sahada oluşan kusurlar, kusurlara katkıda bulunan unsurlar cinsinden analiz edilebilir. Bu teknikle geliştirme ölçülerinin etkisi gözden geçirilebilir.

KAA uygulaması ile, HTEA da keşfedilen önemli bir hata türü üst olay olarak ele alınabilir ve bunun nedeni izlenebilir. Aynı şekilde HTEA için önemli etmenler, kusur şemaları marifetiyle ortaya çıkarılabilir.

KAA sistem hatalarının nedenlerini ortaya çıkarır. Bu uygulamasında ayrıca sistemin kritik durumlarını belirler ve kontrol eder.

KAA uygulamasında aşağıdaki adımlar izlenir :

i) Üst olayı tanımla,

ii) Sınırı sapta,

iii) Sistemi tanı,

iv) Kusur ağacını oluştur,

v) Kusur ağacını analiz et,

vi) Düzeltici eylemi geliştir ve uygula.

/. Üst Olayın Tanımlanması : Üst olay, alt düzeydeki bir çok olayın sonucu olarak ortaya çıkan olaydır. Üst olay, açık olarak tanımlanmalı, tasarım ve mühendislik bakış açılarından kolayca adreslenebilmelidir.

2. Sınırın Saptanması : Üst olayın konuşlandırılacağı alanın sınırının belirlenmesi aşamasıdır. Bir ampulün hatası için oluşturulacak kusur ağacı, molekül düzeyine kadar inebilir ve her hammadde satıcısının etkisini değerlendirmeye alabilir. Kusur ağacının sınırının saptanmasında bir yol, imalatçının kontrolüne girebilen olaylar olabilir.

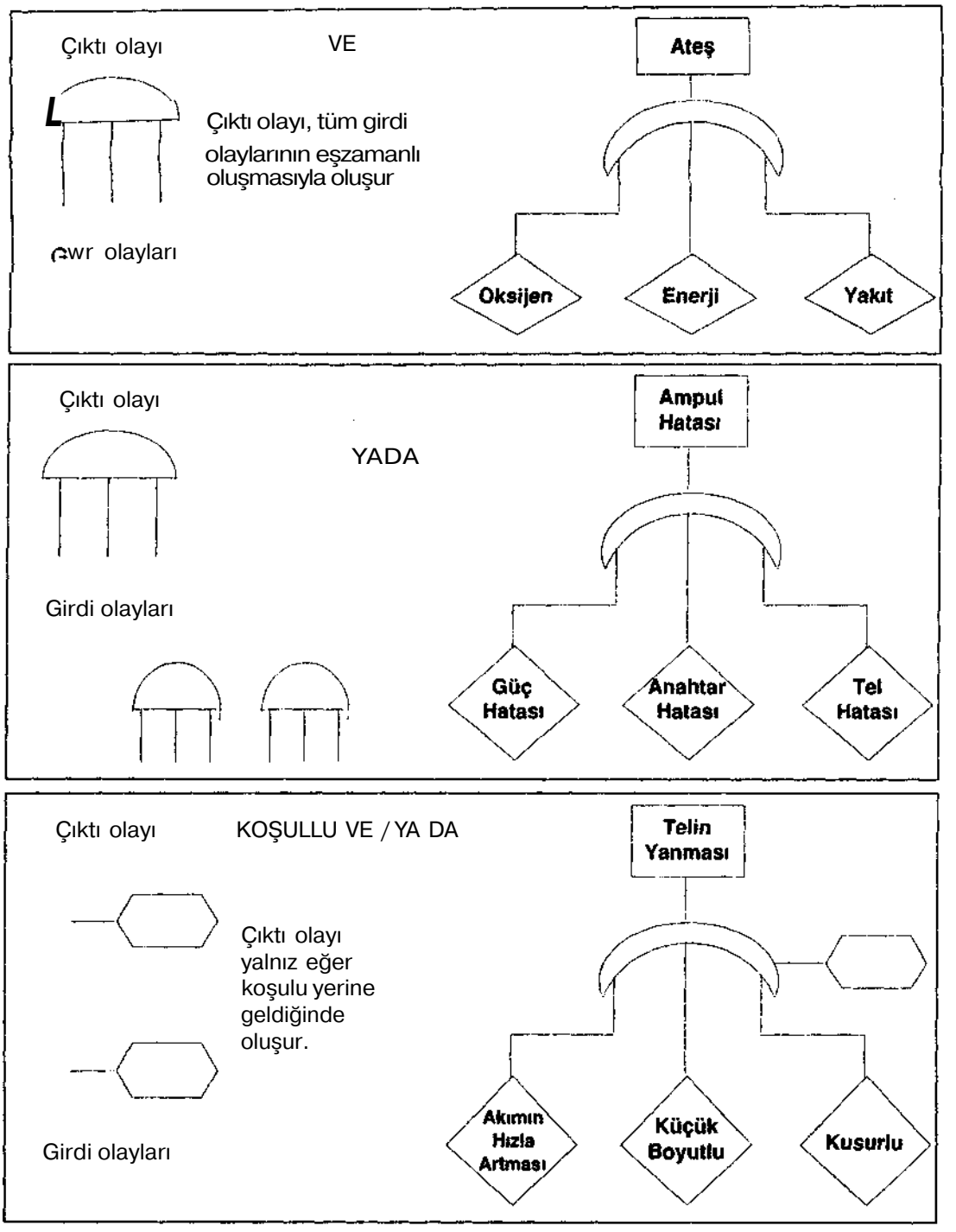
3. Sistemi Tanıma : KAA nın uygulama hazırlığı için üzerinde çalışılan ürün ya da sürecin iyi anlaşılması ile ilgili çalışmaları içerir.

4. Kusur Ağacının Oluşturulması : Kusur ağacını oluşturmak, üst olaya erişmek için sistemde vukubulan olayların çeşitli kombinasyonlarının grafiksel ve mantıksal olarak simgelenmesini içerir. Üst olaya yönelen olaylar sırası *ve, ya da* ve diğer *mantık kapılan* ile yapılır.

5. *Kusur Ağacının Analiz Edilmesi:* Kusur ağacının analizi, sayısal ve gözlemsel olarak yapılır.

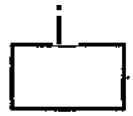
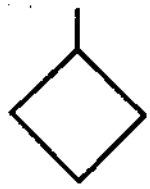
Düzeltici Eylemin Geliştirilmesi ve Uygulanması : Kusur Ağacı analiz sonuçlarına göre geliştirme eylemleri belirlenir. Düzeltici eylemlerin sonuçlan, gözden geçirme sırasında kusur ağacına işlenir.

KA ile ilgili mantık kapılan ve olay sembolleri Şekil.6 da ve Şekil.7 de verilmiştir.



Şekil.6- Mantık kapıları

OLAY SEMBOLLERİ

Sembol	Sözlük	Açıklama
	Konuşlanmış olay	İleriye doğru konuşlanacak olay
	Temel olay	Daha fazla konuşlanamayan kök nedenleri
	Konuşlanamayan olay	Daha fazla konuşlanması gereksik veya mümkün olmayan
	Anahtar	Oluşan veya oluşmayan olaylar (Dinamik koşullarda kullanılır.)
	Transfer	Başka bir yerden veya yerde sürekliliği belirtir.
		

Şekil.7- Olay sembolleri

Hata Türü Etki Analizi (HTEA)

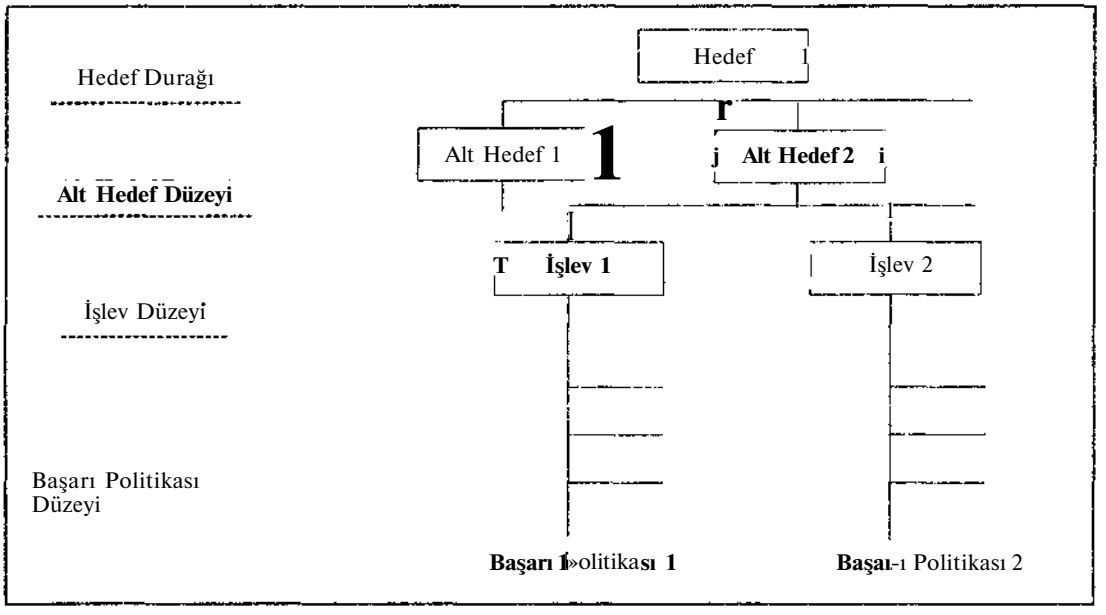
HTEA mühendisler tarafından kullanılan çok önemli bir geliştirme aracıdır. Bu geliştirme aracı, hatalara karşı öneri getirmede *aşağıdan yukarıya* giden bir süreç kullanır. HTEA, KAA ile birlikte kullanıldığında çok daha etkin bir araç olur. HTEA süreci sırasında, hataların nedenleri, türleri ve etkileri çok iyi anlaşılmalıdır. Bundan sonra karşı öneri geliştirme süreci başlayabilir. Karşı öneri geliştirme süreci, kalite geliştirme üzerinde yoğunluştığında, hataların oluşumu azalır ya da nedenleri ortadan kaldırılır. Ayrıca, test yöntemleri ve/ya da *kazadan beladan uzak (foolproofing)* yöntemlerin kullanımı ile hataların bulunması olasılığı artar. HTEA için kullanılan tipik bir çizelgenin sütun başlıkları Şekil.8 de verilmiştir.

Parça Adı ve No.su	Parça İşlevi	Hata **Türü**	Hata Etkisi	Hata Nedenleri	Oluşum **Sayısı**	**Kritikliği**	Bulunabilirliği	**Risk Sayısı OxKAB**	Karşı Öneri

Şekil.8- HTEA için araştırma çizelgesi

Hedef Ağaçları (HA)

Hedef Ağaçları, çevrim dışı Kalite Kontrolde kullanılan diğer bir hiyerarşik yaklaşımdır. Hedef ağaç, mantık dayalı başarı politikası yöntemidir ve ilk kez nükleer enerji tesisi araştırma çalışmalannda kullanılmıştır, Rush ve diğerleri. Hedef ağacı, üst düzey hedefi yerine getirmek üzere hedefler ve işlevlerin teknik araçlara (basan politikası) dökülmüş bir hiyerarşisidir. Bir basan patikası hedefin yerine getirilmesini gösteren ağaç üzerinde aşağıdan yukan giden zincire karşılık gelir. Basit bir hedef ağacının yapısı Şekil.9 da sergilenmiştir.



Şekil.9- Hedef ağacı kavramı

Burada amaç, sırayla birbirlerini oluşturan basan politikaları alt hedefler ve hedefin dökümünü sistematik bir şekilde sağlamaktır.

Hedef ağacı geliştirildikten sonra, ortaya çıkacak değişikleri, zamanın akışı içinde, ağaca işlemek mümkün olabilmektedir.

Hedef ağacı yaklaşımı, *büyük resmi* değerlendirmek ve onunla iletişim içinde bulunmada çok yardımcı olmaktadır. Ayrıca, ağaç yapısı, hedefi başarmadaki sorunları hissetmek ve sorunlararası etkileşimi anlamak için yardımcı olmaktadır.

3. TAGUCHİ DENEY TASARIM YÖNTEMİ : ORTOGONAL KOLONLAR

Taguchi Deney Tasanm Yöntemi, güçlü ve yüksek kalitede ürün ya da süreç taranırımı en düşük maliyette yaratmak içni tasarımı etkileyen kontrol edilebilir etmenlerin en iyi düzeylerini bulmak üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemin özellikleri ve getirilen aşağıda özetlenmiştir :

i) Ürün ya da sürecin işlevsel karakteristikleri ile seçilen hedef değerleri arasındaki değişmeleri enazlayarak ürünün neden olduğu kayıplan enazlayan bir felsefedir.
ii) Az istatistik bilgisi ile uygulanabilen bir deney tasanm yaklaşımıdır.
iii) Disiplinler arası bir iletişim aracıdır.
iv) Sistemin iyi bir şekilde anlaşılmasını sağlayan bir araçdır.

Taguchi yöntemi, ürün ve teknoloji geliştirme sürecine önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Ürün ve süreç tasanmına sistematik bir yaklaşım getirmiştir.

Taguchi Parametre tasanmında, en iyi parametre düzeylerini belirlemek üzere kendine özgü deney tasanm yaklaşımını kuUanımıştır. Öte yandan, Taguchi tolerans tasanmında kritik toleranslann ve tolerans aralıklannın bulunmasında daha çok kayıp işlevi yaklaşımından yararlanmıştır.

Taguchi Deney Tasarım Yaklaşımı

Taguchi, geliştirdiği deney tasanm yaklaşımı ile geleneksel deney tasanm yaklaşımının uygulama zorluklannı asgari düzeye indirmiştir. Yöntem, her ne kadar bazı istatistikçiler tarafından eleştiriliyorsa da, pratikte geniş ölçüde kullanılır hale gelmiştir. Özellikle Japonya'da başlayan bu akım, şimdi diğer endüstrileşmiş ülkelere de geçmiştir.

Taguchi deney tasarımı, Euler'in Greco-Latin Kareler deney tasarımında tanımladığı ortogonal kolonlar temeüne dayanmaktadır. Taguchi, ortogonal kolonlar kavramından yararlanarak, çeşitli standart deney tasarrnlan yaratmıştır. Bu deney tasanmlan ile geleneksel tasanm yöntemleri için gerekli çok sayıda deney yerine, daha mütevazi sayıda deneyler marifetiyle ürün ve süreç tasanm problemine yaklaşılmıştır.

Örneğin, herbirinde 2 düzey olan 7 etmenli bir deney tasanmında gerekli deney sayısı, $2^7 = 128$ iken *Taguchi nin Ortogonal Kolon (OK)* deney tasarımında 8 dir. Taguchi yönteminde, etmenlerin kendi etkilerinin analizine ağırlık vermiştir.

Etmenler arası etkileşim gerekli durumlarda deney tasanmına alınmıştır. Taguchi, deney tasanmlanni $L_a (b^c)$ ile simgelemiştir. Bu sembolde kullanılan harflerin tanımlan aşağıda verilmiştir.

L : Ortogonal kolonlar sembolü
a : Gerekli deney sayısı
b : Herbir etmenin test düzey sayısı
c : Analiz edilecek etmenlerin sayısı

Örneğin, $L_8 (2^7)$, 8 deneyli, 7 etmenli ve herbir etmenin 2 düzeyinin bulunduğu bir deney tasanmını simgelemektedir.

Şekil. 10, Ls deney tasarımını göstermektedir.

Deney Sayısı	Kontrol Edilebilir Jütmen Düzeyleri							Deney Verileri
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	y>
2	1	1	1	2	2	2	2	y_2
3	1	2	2	1	1	2	2	y_3
4	1	2	2	2	2	1	1	y<1
5	2	1	2	1	2	!	2	ys
6	2	1	2	2	1	2	1	yfi
7	2	2	1	1	2	2	1	yv
8	2	2	1	2	1	1	2	y«

Şekil. 10- Lg deney tasarımı

Şekil.10 da, matrisin içindeki 1 ve 2 ler etmen düzeylerini simgelemektedir. Bu deney tasarımında kolonlar çifter çifter ortogonaldir. Her bir çift kolonun ortogonal olması için, aşağıdaki iki ölçütün karşılanması gerekir. Bunlar:

i) Bütün test düzey kominezonları kolon çitflerinde bulunmalı,
ii) Herbir kombinezon eşit sayıda olmalı.

Tasarımı etkileyen etmen sayısı ve herbir etmenin test düzey sayısı arttıkça doğal olarak deney sayısı da artacaktır. Örneğin, 13 etmen ve herbiri için 3 test düzeyi durumunda 27 deneye ihtiyaç bulunmaktadır. Oysa bu durum, geleneksel tüm etmenler deney tasarımında ele alınsaydı, 1594323 deneye ihtiyaç duyulacaktı.

Taguchi deney tasarımında, gerekli deney sayısını saptamak için, incelemeye alınan etmen, düzey ve etmenlerarası etkileşimi ile düzeltme etmeninin serbestlik derecelerinin toplamı değerlendirilmektedir. Bu toplam, seçilen AK deneyindeki toplam serbestlik derecesinden küçük ya da eşit olmak zorundadır. Örneğin, bir deney tasarımcı 5 etmen ve üç etmenin 2 etkileşimi ile ilgileniyorsa bu tasarım için gerekli asgari deney sayısı Çizelge. 1 de gösterildiği gibi hesaplanabilir.

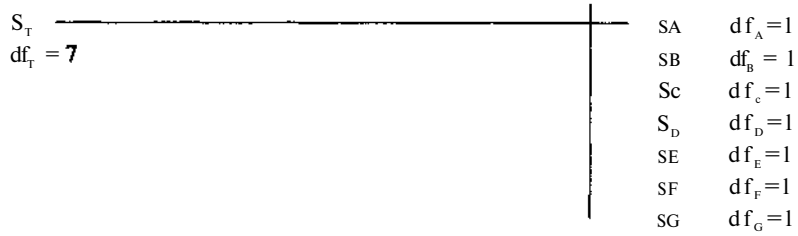
Çizelge.l- Etmenler ve Test Düzeyleri

Etmenler	Düzeyler		İhtiyaç Duyulan Serbestlik Derecesi
A	Al	A2	1
B	Bl	B2	1
C	Cl	C2	1
D	Dİ	D2	1
E	El	E2	1
AxB			1
BxC			1
Toplam			7
Düzeltme etmeni			1
En az deney sayısı			8

Böyle bir deney tasarımı için en küçük **OK,** Ls (2^7) dir.

Ls in Değişim Analizi (ANOVA)

Şekil. 10 da verilen Lg in tasarım matrisi incelendiğinde toplam değişimin 8 veri tarafından sergilendiği anlaşılmaktadır. Bu matrisin ortogonal olması nedeniyle kontrol edilebilir etmenlerin temel etkileri de mevcut verilerden belirlenebilir. Toplam değişikliğin etmen değişiklikleri bakımından dağılımı aşağıdaki aynşım ağacında gösterilmiştir.



Toplam ve etmen değişiklikleri aşağıdaki formüllerden hesaplanabilir :

$$S_T = \sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \frac{T^2}{n} \quad ; \quad df_T = n - 1 = 8 - 1 = 7$$

$$S_j = \frac{i^2}{n;1} + \frac{i_2^2}{n_{i2}} + \frac{}{n} \quad ; \quad df_j = 2 - 1 = 1 \text{ her i için (V i)}$$

Burada;

df : serbestlik derecesini
T : toplamı
yi : örnek içindeki veri noktalarını
n : örnek büyüklüğünü
ST : toplam değişikliğini
SI : i etmeninin değişikliğini
i : etmen türlerini göstermektedir.

Toplam temel değişim ile hata değişikliği ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$S_{T_i} = \sum_{n=1}^{c} S_i \; \forall_i$$

$$S_e = ST - S_{T_i}$$

Değişiklik ve serbestlik dereceleri bilgilerinden yararlanarak etmen ve hata değişimleri aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$v_i = \frac{S_i}{df_i} \quad ; \quad v_e = \frac{S_e}{dfe}$$

Burada; VI : etmen değişimi; v_e: hata değişimidir.

Ancak, bu özel durumda df_e = dfr - dfrı = 7 - 7 = 0 olduğu için hata değişimini hesaplayacak bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle v_e sıfır olacaktır. Bu durumu aşmak için, etmen değişimleri önemli mertebede olmayan

etmen ya da etmenlerin değişimleri bir araya getirilip hata değişimi oluşturulur. Bu durumda, ANOVA için gerekli F- test, an-değişiklik ve katkı yüzdesi değerleri hesaplanabilir.

F-test değeri: Etmen değişimini hata değişimine karşı karşılaştırmak üzere kullanılır ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$F = v: / v_e$$

Kuramsal F değerleri hazır tablolardan dfi, df_e serbestlik dereceleri ve önemlilik değerlerine (a) göre bulunur ve şu şekilde simgelenir:

$$F^{df_i}_{df_{e(\alpha)}}$$

Karşılaştırma aşağıdaki kurala göre yapılır :

$$\text{Eğer } F_i > F^{df_i}_{df_{e(\alpha)}}$$

ise i etmeni ot değerine göre önemlidir, aksi taktirde i etmeni önemsiz olarak yorumlanır ve ilgili değişim Vj' ile gösterilir.

An-değişiklik (S') : Kaynakların etkilerini daha sağlıklı hesaplayabilmek için aşağıdaki formüller ile i etmeninin ve hata değişiminin yansız kestirimleri hesaplanabilir :

$$S'_i = S_i - [df_i\, v_e]$$

$$S'e = S_e - [(df_T - df_E)Ve]$$

Katkı yüzdesi (S): Etmenlerin önemini oransal olarak belirlemek üzere katkı yüzdeleri aşağıdaki formülle hesaplanabilir :

$$pi = [S'i / S_T] x 10O$$

Bu bilgiler ışığında Çizelge.2 deki örnek ANOVA çizelgesi elde edilir.

Çizelge.2- ANOVA Çizelgesi

Kaynak	**df**	S	V	F	S^1	P(%)
A	1	SA	V_A	F_A	S'A	PA
B	1	Birleştirildi				
C	1	Sc	**Ve**	Fc	**S'c**	PD
D	1	S_D	$\mathbf{V_D}$	F_D	**S'D**	PD
E	1	SE	V_E	FE	**S'E**	PE
F	1	Birleştirildi				
G	1	**SG**	V_G	Fo	**S'G**	Po
(e)	2	**(Se)**	**(Ve)**			
Toplam	7	ST	—		S_T	100

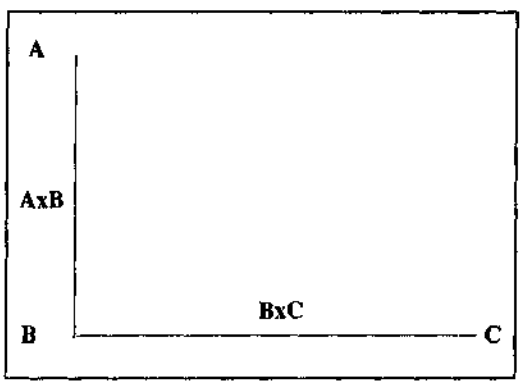
Etmenler arası etkileşimin bulunduğu durumlarda, ANOVA nın oluşturulmasında etkileşimler ile ilgili değişikliklerin, değişimlerin ve diğer parametrelerin hesaplanması ve etkileşim kolonlarının OK lara atanması gerekir. Bunların nasıl yapıldığını açıklayabilmek için Çizelge. 1 de gösterilen 5 etmenli ve 2 etkileşimli bir deney tasarımı ele alınmış ve izlenecek yaklaşım adımlar itibariyle aşağıda verilmiştir.

Adım. 1: Gerekli serbestlik derecesini belirle.
Çizelge. 1 den de görüldüğü gibi gerekli serbestlik derecesi 7 dir.

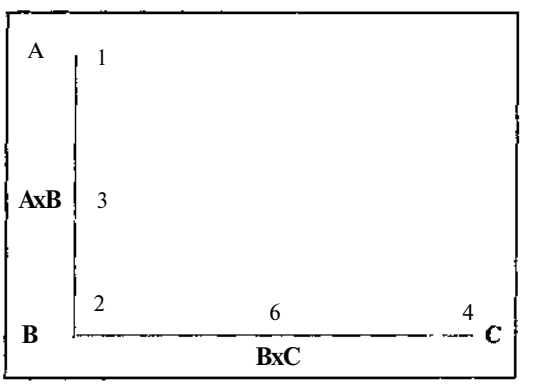
Adım.2 : Asgari deney sayısını belirle.
Gerekli serbestlik derecesine düzeltme etmeni için 1 ekleyerek bulunur. Bu örnekte asgari deney sayısı 7 + 1 = 8 dir.

Adım.3 : Ekonomik ortogonal kolonu seç.
Bu örnekte asgari deney sayısı 8 olduğuna ve her etmenin iki düzeyi bulunduğuna göre Ls (2^7) ekonomik olan OK dur.

Adım.4 : Özel ihtiyaçlara uyan gerekli doğrusal grafikler çizilir. Örnekte, iki etkileşim (A x B ve B x C) öngörülmüştür. Bu etkileşimlerin etkilerini hesaplamak için hangi kolonlara atanacağının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için ilk önce Şekil. 11 deki grafik çizilir.



Şekil.ll- Örnek için doğrusal grafikler



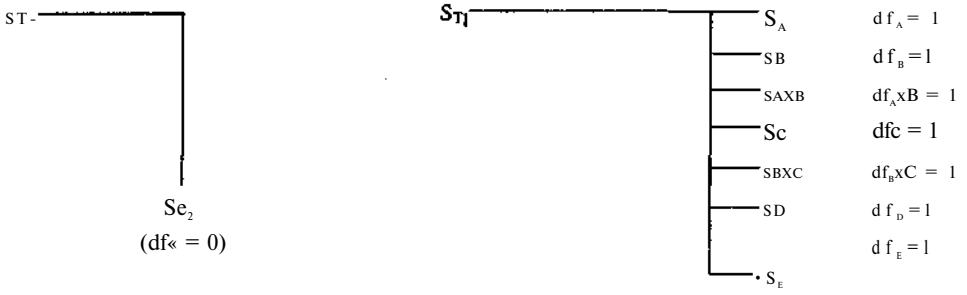
Şekil. 12- Doğrusal grafikler ve kolon ataması

Sonra kolon ataması için seçilen OK unun doğrusal grafiklerinden ve/ya da etkileşim tablosundan yararlanılır. Şekil. 12, mümkün olan bir kolon atama düzeninin göstermektedir. Örneğin A, B ve C etmenleri 1, 2 ve 4., A x B etkileşimi ise 3 üncü kolona atanacaktır.

Adım.5 : Diğer etmenler kullanılmayan ortogonal kolonlara atanır. Örnek atama düzeni aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Ls Kolonları		(D	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Etmen Atama Seçenekleri	1	A	B	AxB	C	D*	BxC	E*
	2	A	B	AxB	C	E*	BxC	D*

Adım.6 : Standard değişim analizi yapılır. Bunun için ilk önce aşağıdaki ayrışım ağacı hazırlanır.



Sonra değişiklik ve değişim parametreleri hesaplanır :

$$S_T = (y_1^2 + y_2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + y_8^2) - \frac{T^2}{n}$$

$$S_I = \frac{I_1^2}{4} + \frac{I_2^2}{4} - \frac{T^2}{8} \qquad I = A, B, C, D, E$$

$$S_{A \times B} = \frac{(A_1 B_1 + A_2 B_2)^2}{4} + \frac{(A_2 B_1 + A_1 B_2)^2}{4} - \frac{T^2}{8}$$

$$S_{BXA} = \frac{(B_1 C_1 + B_2 C_2)^2}{4} + \frac{(B_2 C_1 + B_1 C_2)^2}{4} - \frac{T^2}{8}$$

Bu bilgiler ışığında değişim parametreleri hesaplanır ve ANOVA çizelgesi oluşturulur. Değişim değerlerine bakarak önemli olmayan etmenler saptanır ve birleştirme işlemi yerine getirilir. Ortaya çıkan yeni ANOVA çizelgesinde F-test değerlerine göre önemli etmenler ve etkileşimler belirlenir.

Adım.7 : Önemli etmen ve etkileşimlerin deney yanıtlarının incelenmesi ve en iyi koşullardaki yanıtın hesaplanması.

Bunun için ilk önce önemli etmen ve etkileşimler düzey toplam ve düzey ortalama çizelgeleri hazırlanır ve yanıt (respons) grafikleri çizilir. Kullanılan en iyi sonuç ölçütüne göre en iyi düzeyler belirlenir. Örnek deney tasarım probleminde değişim analizi sonucunda, A, C etmenleri ile AxB etkileşiminin önemli oldukları saptanmış ve yanıt grafikleri çizilip en iyi etmen düzeylerinin A_1, C_2 ve A_1xB_1 olduğu gözlenmişse en iyi respons., aşağıdaki süreç kestirimi denkleminden hesaplanabilir :

$$\hat{L}_{yi} = [\bar{T} + (\hat{A}_1 - f) + (\bar{C}_2 - f) + (\overline{A,xB}, - f)] \pm Cl$$

Denkleminin sağ tarafındaki üstü çizgili harfler ilgili etmen ve etkileşimlerin düzey ortalamalarını, Cl de emniyet aralığını göstermektedir. Denklemde,

$$\overline{A,xB_1} = \overline{A,B,} - (\overline{A,} - \bar{T}) + (\overline{B_1} - \bar{T})$$

olduğu için ve gerekli kısaltamalar yapıldıktan sonra elde edilen denklem, aşağıdaki gibi olacaktır :

$$\hat{M}_{eniyi} = (\overline{C_2} + \overline{A|B,} - \overline{B_1}) \pm C1$$

Üç Deneyli Standart Ortogonal Kolonlar

Düzey sayısının 3 olduğu durumlarda üç düzeyli standart OK lar kullanılır. Bu tür OK lardan tipik olanları aşağıda verilmiştir.

OK	Kombinezon Sayısı
L_6 (3^4)	81
L,8 (2×3^7)	4374
L27 (3^{13})	1594323
$L_3$6(3"x3^{12})	1.09 x1O^9
L54 $(2^1 \times 3^{35})$	1.69 x1O^{12}
L_{S1} P^4»)	1.22x1O$^{u)}$

Üç düzeyli OK larda herbir kolonun serbestlik derecesi 2 dir.

L_g (3^4) OK nun Uygulaması

En küçük 3 düzeyli Standard OK L_g (3^4) dür. 9 deneye ihtiyacı bulunan L9 OK nun yerleşim matrisi Çizelge.3 de verilmiştir.

Çizelge.3- L_g OK

Etmen	A	B	C	D	
Kolon / Deney #	1	2	3	4	Veri
1	1	1	1	1	yi
2	1	2	2	2	y₂
3	1	3	3	3	ys
4	2	1	2	3	yi
5	2	2	3	1	ys
6	2	3	1	2	ys
7	3	1	3	2	yv
8	3	2	1	3	y«
9	3	3	2	1	ys

Çizelge.3 de görüldüğü gibi L_g un kolonları çifter çifter ortogonaldir.

Veri Analizi:

Toplam değişim aşağıdaki denklemden bulunur.

$$S_T = y_1^2 + y\S + \ldots\ldots\ldots + y_9^2 - OF$$

Burada; $OF = \frac{T^2}{n}$ yada $OF = \frac{(y1 + y2 + \ldots\ldots + y9)^2}{n}$ dir.

Etmenlerin üç düzey için etkileri aşağıdaki genel denklemden hesaplanır.

$$S_I = \frac{;^2}{ni,} + \frac{I^2}{r>i_2} + \frac{I^3}{nj_3} - OF$$

Örneğin A etmeni için;

$$S_A = \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} - OF$$

Burada; Aı = Aı koşuluna rastlayan deneysel verilerin toplamı

= Deney # 1 + Deney # 2 + Deney # 3

$= y_1 + y_2 + y_3$

AŢ = A2 koşulana rastlayan deneysel verilerin toplamı

= Deney # 4 + Deney # 5 + Deney # 6

= y4 + *ys* + y6

A3 = A3 koşulana rastlayan deneysel verilerin toplamı

= Deney # 7 + Deney # 8 + Deney # 9

= *yi* + ys + y9

9 deneyin toplam değşiminin ayrışımı aşağıda verilmiştir.

ST — STI — SA ($df_A = 2$)
SB ($df_B = 2$)
Sc (dfc = 2)
SD ($df_D = 2$)

Bu uygulamada boş kolon ve deney tekrarı olmadığı için, deneysel ve tekrardan kaynaklanan hatalar hesaplanamaz.

Bu durumda ANOVA Çizelgesi aşağıdaki görünümünü alır.

Kaynak	**df**	S	V	F
A	2	SA	V_A	
B	2	SB	V_B	
C	2	Sc	V_c	
D	2	SD	V_D	
e	O	O		
T	8	ST		

Bu çizelge ile istatistiksel önem testi yapmak olanaklı değildir. Bu testi yapabilmek için önemsiz etmenler hata terimi ile birleştirilmelidir.

İçsel ve Dışsal Ortogonal Kolonlar

Rassallaşhrma ve Deney Tekrarlan : Deneyler tasarımında üzerinde durulması gerekli konulardan biri de veri analizinde *rassal* ya da bilinmeyen değişkenlerin etkilerinin tutarlı ve önemli miktarda olmasını önlemektir. Bunun için bazı teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler içinde şimdiye dek en çok kullamlanlan, *rassallaştırtna* ve *deney tekrarları* dır.

Rassallaştırma, deney içerilmemiş fakat deney verisini etkileyen değişkenlerin önemini azaltmak amacıyla kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte, deneyler, söz konusu değişkenlerin etkileri rassal olarak deneysel değişkenler arasında dağıtımı sağlayacak şekilde gerçekleştirilir. Burada amaç, deneysel etmenlerin yansız hesaplamasını yapmaktır.

Deney tekrarları tekniği ile aynı deney koşullarında birden fazla örnek alınır ve elde edilen sonuçların analizi yapılır. Bu tekniğin amacı, kalite karakteristiğinin ortalama değerini yansız hesaplamaktır. Burada önemli olan, gerek duyulan tekrar sayısını en iyi şekilde belirlemektir. Taguchi bu konuda aşağıdaki parmak kuralını geliştirmiştir :

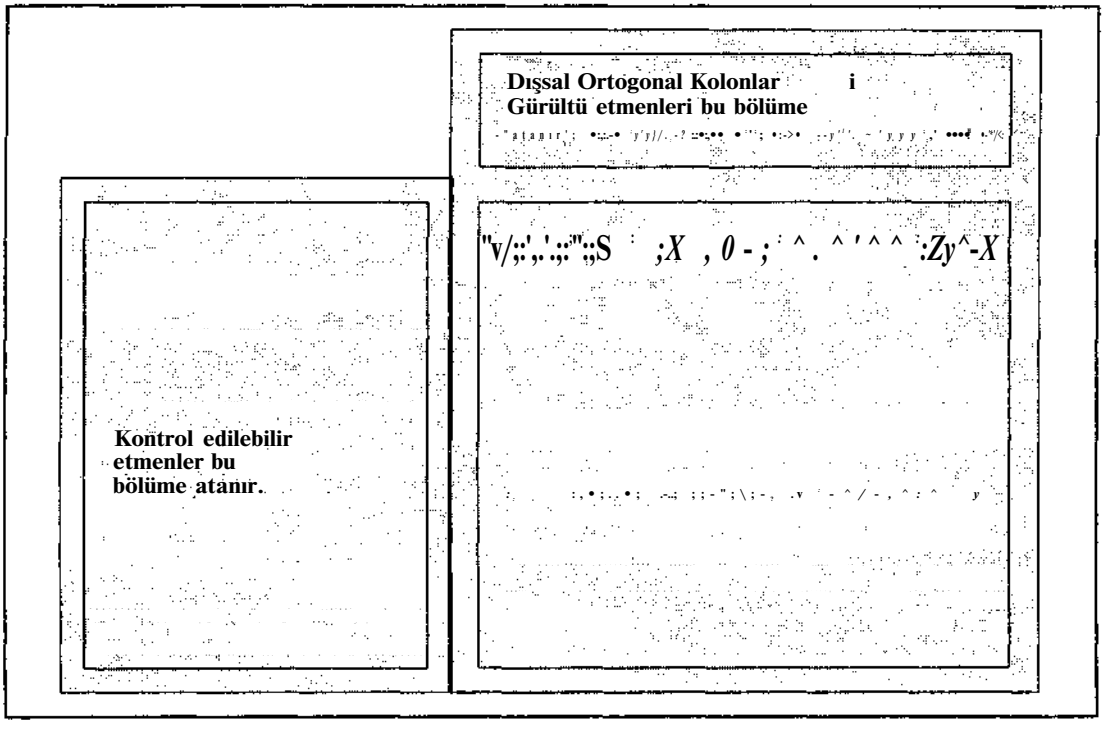
$$r = \sqrt{\frac{\sigma_2^2 \times c_1}{\sigma_1^2 \times c_2}}$$

Burada;

r : en iyi tekrar sayısını
er] : deneyler arası hata değşikliğini
oi : tekrarlar arası hata değişikliğini
c1: deneyin bir fazla yapılmasının maliyetini
C2: tekrarlan bir attırmanın maliyetini göstermektedir.

Taguchi, ortalama ve a_c nin yansız hesaplanmasını tekrarlar yoluyla inkişaf ettirmek için gürültü etmeni kavramını geliştirmiştir. Bu kavrama göre, gürültü etmenini kontrol edilebilir etmenlerle birlikte analiz etmek olanaklı olmuştur. Taguchi, gürültü etmenlerini dışsal kolonlara atayarak içsel ve dışsal ortogonal kolonlar yöntemini geliştirmiştir.

içsel ve dışsal ortogonal kolonların yerleşimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Bu deneysel yerleşimi ile veri içindeki toplam değişimin (ST) aşağıdaki kaynaklara ayrıştırılması ile ilgili veri analizini yapmak olanaklıdır.

(1) içsel kolonlardaki etmenlerin ortalama etkileri
(2) Dışsal kolonlardaki etmenlerin ortalama etkileri
(3) tçsel ve dışsal kolonlardaki etmenlerin aralarındaki etkileşimler

Veri Analizi Prosedürü: içsel ve dışsal kolonların veri analizi, bir örnek üzerinde açıklanmıştır.

Örnek: Bir döküm sürecinde, ürün değişkenleri için A, B, C ve D kontrol edilebilir etmenlerdir. Bu ürünün 0 F ile 300 F sıcaklık aralığında ve 0 Psi ile 300 Psi basınç aralığında işlevini yerine getirmesi beklenmektedir. Ürünün kalite karakteristiği boyutsal istikrardır. Döküm süreci ile ilgili bilgi aşağıda verilmiştir.

Kontrol edilebilir Etmenler	**Düzeyler**		
	1	**2**	**3**
A Enjeksiyon basıncı	500	600	700
B Kanal sıcaklığı	500	550	600
C Vida derinliği	2	**2,5**	**3,0**
D iyileştirme zamanı	5	**7**	**9**
Gürültü Etmenleri	**Düzeyler**		
	1		2
H Sıcaklık test koşulları	0 F		300 F
I Yük test koşullan	Opsi		300 psi

Bu deneyin amacı, ürünün işletim ortamı içinde boyutsal istikran sağlanacak şekilde üretilebilmesi için döküm sürecinin nasıl işletilebilmesi gerektiğinin bulunmasıdır. Başka bir anlatımla, gürültü etmenlerinin etkisini minimize edecek en iyi kontrol edilebilir etmenler almaşığını bulmaktır. Bunun için içsel ve dışsal ortogonal kolonlar kullanılabilir.

i) Ortogonal Kolonların Seçimi

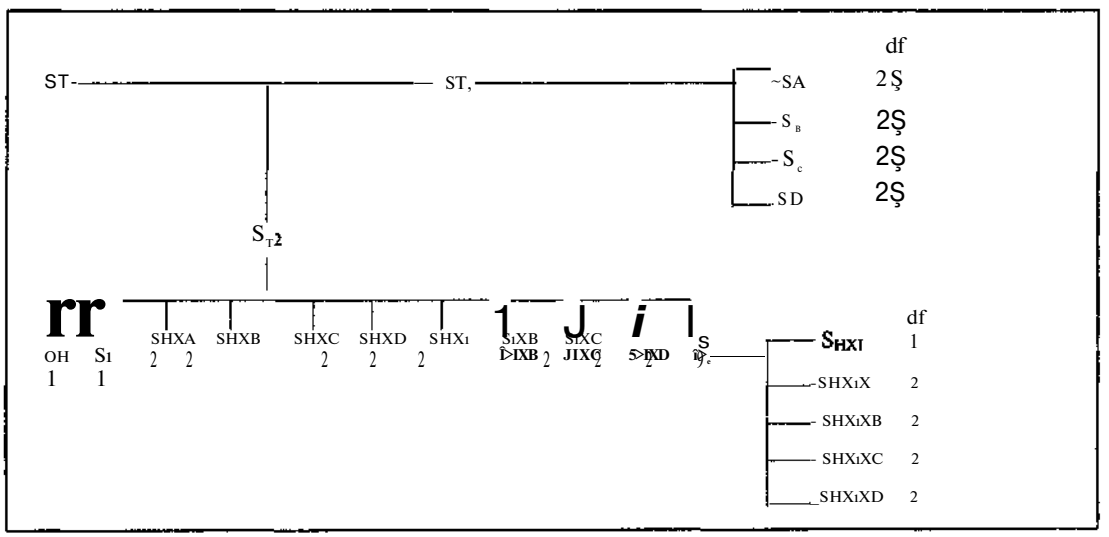
Örnekte kontrol edilebilir etmenlerin serbestlik derecesi 2 dir ve araştıncılar etmenlerin ortalamaları ile ilgilidir. Bu durumda asgari 8 serbestlik derecesi olan bir ortogonal kolon seçmek gerekir. Bu yüzden L_g (3^4) içsel kolonlar için seçilebilir. Öte yandan her iki gürültü etmeninin de iki düzeyi vardır ve bu duruma en uygun OK, *U* (2^3) dür.

tki **OK** nu birleştiren içsel ve dışsal OK nm yerleşimi aşağıda verilmiştir.

İçsel O.K. Kontrol Etmenleri					Dışsal O.K.- Gürültü Etmenleri					
					Etmen	Kolon				
					e	3	1	2	2	1
					I	2	1	2	1	1
					H	1	1	1	2	2
No	A 1	B 2	C 3	D 4	Deney No		1	2	3	4	Toplam
1	1	1	1	1			Y1.1	Y1,2	Y,,3	Y1.4	Y,
2	1	2	2	2			Y_{2}..	Y_{2},2	Y2.3	Y2.4	Y_2
3	1	3	3	3			Y3.1	Y_{3},2	Y3.3	Y3.4	Y_3
4	2	1	2	3			Y4.1	Y_{4},2	Y^,4	Y4.4	Y_4
5	2	2	3	1			Ys.1	Y_{5}.2	Y_{5},3	Y_{5},4	Y_5
6	2	3	1	2			Y_{6},.	Y«,2	Y6.3	Y_{6},4	Y,
7	3	1	3	2			Y7.1	Y7.2	Y_{7},3	Y_{7},4	Y_7
8	3	2	1	3			Y_{8}.1	Y_{8},2	Y_{8}.3	Y_{8},4	Y_K
9	3	3	2	1			Y9.1	Y9,2	Y_{9}.3	Y_{9},4	Ye

ii) Toplam Değişimin Ayrışımı

Yukandaki deney yerleşiminden de görüldüğü gibi bu deneyde 36 ölçüm yapılmıştır. Bu demektir ki, 35 birimlik bilgi, birincil ve ikincil etkiler olarak aynştınlabilir. Sözkonusu ayrışım aşağıda verilmiştir.



«ii) *Değişikliğin Hesaplanması*

$$0\,F = -\,\hat{}\,_\,\frac{+ y_2 + \ldots\ldots\ldots + y_2)^2}{36} \qquad (df = 1)$$

Birincil etmenlerin etkileri :

$$S_A = \frac{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2}{n_A} - OF$$

Burada;

$A_1 = y_i + y_2 + y_{.1}$
$A_2 = y_4 + y_s + y_6$
$A_3 = y_7 + y_« + y_9$

Diğer etkiler, aşağıdaki düzey ortalama çizelgesi kullanılarak benzer şekilde hesaplanabilir.

Düzeyler	Etmen	Düzey Toplamları A	B	C	D
Düzey 1		$A_,$	B_1	C_1	$D_,$
Düzey 2		A_2	B_2	C_2	D_2
Düzey 3		A_3	B3	C_3	D_3

ikincil ortalama etkiler (Gürültü etmenleri için)

$$S_H = \frac{H_1^2 + H_2^2}{n_H} - CF \quad (df=1)$$

Burada;

H_1 : $y_{j.1} + y_{2,1} + y_{3,1} \ldots\ldots\ldots\ldots + y_{»,2} + y_{9.2}$

H_2 : $y_{1.3} + y_{2,3} + y_{3,3} \ldots\ldots\ldots\ldots + y_{s,4} + y_{9,4}$

ve

$$S_I = \frac{\cdot^2 \quad ,2}{n_I} - CF$$

Burada;

i_1 : $y_{1.1} + y_{2,1} + \ldots\ldots\ldots + y_{s,1} + y_{su} + y_{1.3} + y_{2.3} + \ldots\ldots\ldots + y_{o.3}$

h : $y_{1,2} + y_{2.2} + _ + y_{s,2} + y_w + y_{1,4} + y_{2,4} + \ldots\ldots\ldots + y_{9,4}$

Birincil ve ikincil etmenler arası etkileşim etkilerini hesap etmek için iki yönlü düzey toplam çizelgelerine ihtiyaç vardır. Bu çizelgelerden biri aşağıda verilmiştir.

Çizelge.4- H ve A, B, C, D Arasındaki İki Yönlü Düzey Toplam Çizelgesi

	A,	A_2	A_3	B,	B_2	B_3	C_1	C_2	C_3	D,	D_2	D_3
H,	A1H1	A_2H,	A_3H,	B,H,	B_2H,	B_3H,	C_1H,	C_2H,	C3H,	D,H,	D_2H,	D_3H,
H_2	A,H_2	A2H2	A3H3	B1H2	B2H2	B3H3	C,H_2	C2H2	C3H2	D,H_2	D2H2	D3H2

Benzer bir çizelge de I ve A, B, C, D arasındaki iki yönlü düzey toplam çizelgesi için hazırlanabilir. Örnek olarak, AH değişimi aşağıdaki formülden hesaplanır.:

$$S_{AH} = \frac{(A_1H_1)^2 + ... + (A_3H_2)^2}{n_{AH}} - CF \qquad (df = (5))$$

AxH etkileşiminin değişimi ise aşağıdaki formülden hesaplanır :

$$SAXH = SAH - SA - SH$$

Burada, örneğin

$$A_1H_1 = y_{1.1} + y_{2,1} + y_{3,2} \text{ dir.}$$

Aynı şekilde aşağıdaki terimler hesaplanır :

SBH, SBXH, SCH, SCXH, SDH, SDXH,
SAI, SAXI, SBI, SBXı, Scı, SCXI,SDI, SDXI,

Birincil toplam değişim:

$$ST, = SA+SB+SC+SD \qquad (df=8)$$

Toplam değişim:

$$S_T = ST, + S_{T2} = \sum_{i=1}^{n} y\backslash - CF \ (df = 35)$$

İkincil toplam değişim:

$$ST_2+ST+ST, \qquad (df=27)$$

Tekrardan kaynaklanan hatanın değişimi:

$$Se_2 = ST_2 - (SH + S_1 + SAXH + SBXH + ScxH + SDXH + SAXI + SBXI + Scxi + SDXI)$$

Bu bilgiler ışığında ANOVA Çizelgesi hazırlanır.

Kaynak	df	S	V	S^1	p(%)
A	2	S_A	SA/2		
B	2	SB	SB/2		
C	2	Sc	Sc/2		
D	2	SD	S_D/2		
Tl	8	ST1			
S	1	SH			
I	1	S1			
AXH	2	SAXH			
BXH	2	SBXH			
CXH	2	ScXH			
DXH	2	SDXH			
AXI	2	SAX1			
BXI	2	SBX1			
CXI	2	SCX1			
DXI	2	SDX1			
e,1	9	Se_2	Se_2/9		
T_2	27	S_{T_2}			
T	35	ST			

KALİTE GELİŞTİRME KONTROLÜ

4. ÇEVRİM İÇİ KALİTE KONTROL

Kalite Kontrol Problemi

Çevrim içi kalite kontrol problemi, ürünün arzu edilen kalitede üretilebilmesi için belirlenen spesifikasyonlardan sapmaları izleyen bir süreçtir diye tanımlanabilir. Kalite muayenesi, üretimin ara aşamalarında ve hammadde ile nihai ürün üzerinde yapılır. Üretimin ara aşamalarında yapılan muayeneye süreç kontrolü denir. Süreç kontrolünde, sürecin devam edip etmeyeceğine dair karar verilir ve spesifikasyonlardan ayrılmanın nedenleri araştırılır. Nihai ürün ve hammadde üzerinde yapılan muayenelerde, sisteme giren hammadde ile nihai ürünün istenilen kalite düzeyinde olup olmadığı kontrol edilir. Bu tür muayenede, kalite ölçümü yapılan bir grup üründen elde edilen sonuçlara göre tüm girdiler ve çıktılar için kabul ve red kararı alınır.

Her iki muayene şeklinde de kalite ölçümü istatistiki yöntemlerle saptanmış örnek ya da örnekler üzerinde gerçekleştirilir. Çok nadir durumlarda, parçaların tümü muayene edilir. Kuşkusuz parçaların tümünün muayene edilmesi oldukça masraflı bir yoldur, üstelik parçaların tümü muayene edilmesine rağmen, çıktıların hepsi hatasız anlamına da gelmez. Muayene ve diğer hatalardan dolayı ürünlerin küçük bir oranında istenilen kalite tutturulamaz.

Kalite ölçümlerinin hangi büyüklükteki örnek parça grupları üzerinde yapılacağı, kalite kontrol sürecinin en önemli problemidir. Örnek muayenesinden elde edilecek sonuca göre üretim sürecinin istenilen düzeyde çalıştığına dair hipotezi kabul ya da reddedebiliriz.

Örnek bulgularına dayanarak alınan kararlar yöntemi, genellikle etkili ve güvenilir olmakla birlikte, eksik bilgi üzerinde alınan bu kararlarda hata yapmak olanaklıdır.

Üretim süreci gerçekte istenilen düzeyde işlediği halde, muayene edilen örnekden, sürecin tatminkar olmadığı karan çıkabilir. Bu kararla, gerçekte doğru olan hipotezi reddetmiş oluyoruz. Burada ortaya çıkan hataya, I. tip hata denir. Böyle bir hatanın doğal olarak bir maliyeti vardır. Alınan yanlış kararla, üretim süreci durdurulmuştur ve üretim hatalarının araştırılması için muayene yapılacaktır ve süreç yeniden başlatılacaktır. Bu bakımdan I. tip hatadan ötürü, üretim durdurma, muayene ve sistemi yeniden devreye sokma masrafları ortaya çıkacaktır.

Öte yandan, örnek muayenesinden elde edilen bulgulara göre gerçekte taminkar olmayan üretim süreci hakkında istenilen düzeyde işlediği karan alınabilir. Başka bir deyişle, yanlış hipotez doğru kabul edilebilir. Bu karar sürecinde oluşan hatayada, II. tip hata denir. Bu tip hatanın neden olduğu masraflar arasında, reddedilen ya da yeniden işlenilen parça maliyetindeki artışlar, montaj maliyetindeki artışlar, yüksek bakım ya da onanm maliyeti ve prestij kaybetme maliyeti sayılabilir. Hatalar ve sonuçlan Çizelge.5 de verilmiştir.

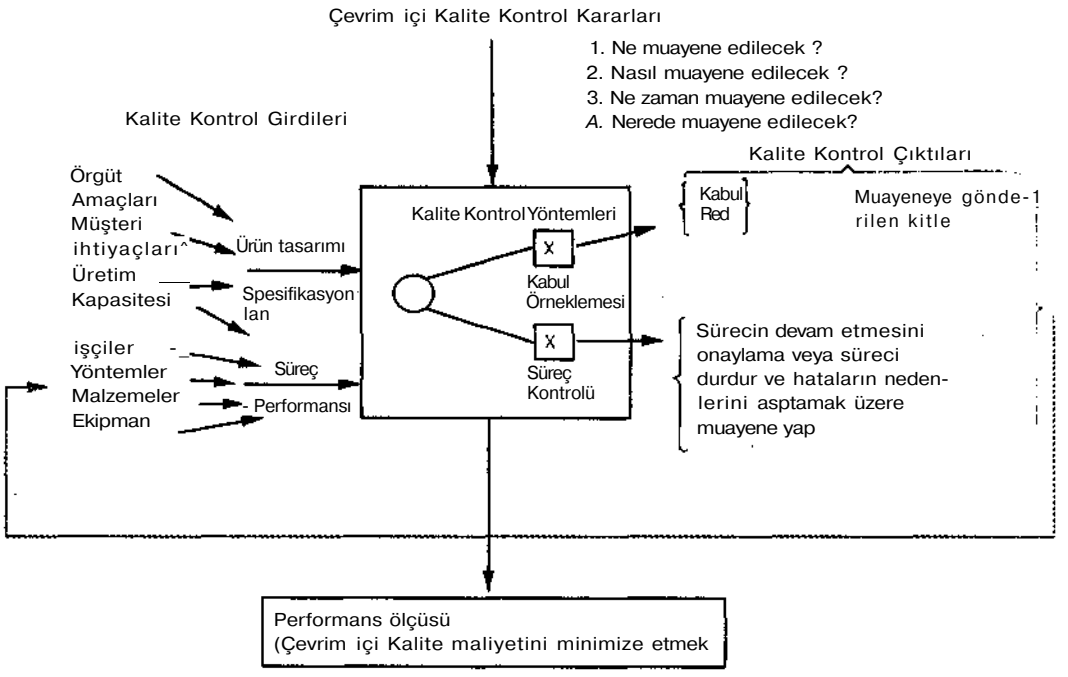
Çizelge.S- Çevrim İçi Kalite Kontrolünde Hata Tipleri ve Riskler

Kalite Kontrol Karan	Üretim Sürecinin Gerçek Durumu	
	Kontrol dışında (Tatminkar)	Kontrol dışında (Tatminkar değil)
Red	I.Tip Hata (Üretici riski) Masraflar: . süreci durdurma . muayene . süreci başlatma	Doğru Karar
Kabul	Doğru Karar	II. Tip Hata (Müşteri riski) Masraflar: . redler . yeniden işleme . tamirler . prestij

Çevrim İçi Kalite Kontrol Sistemi

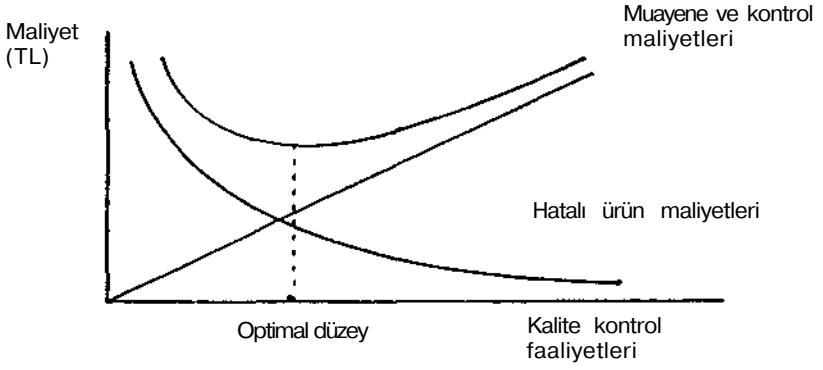
Çevrim içi Kalite Kontrol sisteminin genel yapısı Şekil. 13 de verilmiştir. Sistem, girdi-çıktı ve geri iletim semasıyla tanımlanmıştır. Bu tanımlamada, kalite kontrol yöntemlerinin uygulanma aşaması, kontrol sürecini oluş-

turmuştur. Girdiler, ürün spesifikasyonlan ile üretim sürecinin performansı, çıktılar ise, kalite kontrol yöntemlerinin uygulanma aşaması, Kontrol sürecini oluşturmuştur. Girdiler, ürün spesifikasyonları ile üretim sürecinin performansı, çıktılar ise, kalite kontrol yöntemlerinin uygulanması sonunda elde edilen kararlardır. Şekilde, neyin nasıl, ne zaman ve nerede muayene edileceğine ilişkin kalite kontrol kararlan sistemin bir başka girdisi olarak belirtilmiştir.



Şekil. 13- Çevrim içi kalite konrol sisteminin elemanları

Kalite kontrol sisteminin amacı, toplam kalite maliyetini minimize etmektir. Toplam kalite maliyeti, iki temel maliyet unsurundan oluşmaktadır. Bunlar, muayene ve kontrol maliyeti ile hatalı ürün maliyetidir. Muayene ve kontrol maliyeti artarken hatalı ürün maliyeti düşer. Toplam kalite maliyetinin minimize edildiği noktada optimal kalite kontrol faaliyeti tanımlanır. Bu kavram, Şekil. 14 de gösterilmiştir.



Şekil.14- Çevrim içi kalite konrol maliyeti ve faaliyetleri ilişkisi

Kalite Kontrol Karar Değişkenleri

İstenilen kalite düzeyini, toplam kalite maliyetinin minimum noktasında elde edebilmek için, aşağıdaki değişkenler kontrol edilebilir:

i) Ne muayene edilecek ?

ii) Nasıl muayene edilecek ?

iii) Ne zaman muayene edilecek ?

iv) Nerede muayene edilecek ?

Esasında bu sorulara verilecek cevaplar çevrim-içi kalite kontrol sisteminin muayene politikasını belirler.

i) Ne muayene edilmeli ?

Bir ürün ya da hizmetin çok sayıda özelliği olabilir. Ancak bunlardan, kalite kontrol açısından kritik olanlar muayene sırasında ele alınmalıdır. Kritik olan özelliklerin belli sınırlar içinde olması durumunda ürün ya da hizmet kaliteli olarak nitelenir. Tersi durumda, ürün ya da hizmetin kalitesi reddedilir. Bazı ürün ve hizmetlerin kritik özellikleri Çizelge.6 da verilmiştir.

Çizelge.6- Örnek Kritik Özellikleri

Ürün ya da hizmet	Kritik özellikler
Rulman	İç ve/ya da dış çap
Otomobil	Benzin ekonomisi, güç oranı, fren güvenilirliği.
Banka hizmeti	Bekleme ve hizmet süresi, işletmelerdeki hata miktarı
Lokanta hizmeti	Hizmet kalitesi ve zamanı, yemek kalitesi, ortam

ii) Muayene nasıl yapılır ?

Kalite kontrolunda muayene sürecini ilgilendiren iki etken vardır. Bunlar; muayenede kullanılacak ölçüm tipi ve ölçüm yöntemidir.

Ölçüm tipi, ürünün kritik özelliklerine göre iki grupda toplanabilir :

a) Niceliksel (değişkenler aracılığıyla) ölçüm ve
b) Niteliksel ölçüm.

Niceliksel ölçüm, ürünün özelliklerinin sürekli ölçekte tanımlanması durumunda yapılır. Örneğin, üretilecek bir şaftın çapı mikrometreyle milimetrenin onda birine kadar ölçülebilir ya da bir ilacın, içindeki kimyasal maddelerin miktarı miligram bazında, keza uçağın uçuş süresi saat ve dakika bazında ölçülebilir. Bu tür ölçümlerde süreklilik söz konusu olduğu için bunlara değişkenler aracılığıyla (niceliksel) ölçüm denir.

Öte yandan ürünün kalite kontrolü için kritik sayılan özelliklerine göre çıktılar iki durumda olabiliyorsa bu tür ölçümlere niteliksel ölçüm denir.

Örneğin bir lamba ya yanıyordur ya da yanmıyordur, bir işçi ya işinin başındadır ya da yoktur, bir makina ya çalışır ya da çalışmıyor durumdadır.

Muayenede kullanılacak ölçüm yöntemi, ölçümün niteliğine göre değşir. Eğer hassa ve tutarlı bir ölçüm isteniyorsa, ölçüm için kullanılacak ölçü aletlerinin de kaliteli olması gerekir. Hangi ölçüm yönteminin seçileceği doğal olarak bir ekonomik değerlendirmeyi gerektirir.

iii) Muayene ne zaman yapılmalı ?

Muayene, üretim sürecinin girdi ve çıktıları üzerinde ve süreç sırasında olmak üzere üç farklı aşamada yapılır. Muayenin hangi aşamalarda yapılacağı karan ekonomik ve teknolojik etkenlere bağlıdır.

Genellikle, süreç kontrolü, aşağıdaki koşulların var olması durumunda yapılır:

a. Birim muayene maliyeti küçük.

b. Hatalı çıktıya geçiş sonuçlan, maliyetler, müşteri prestiji ve diğer nedenlerden ötürü yüksek.

c. Muayene tahrip edici ve kusur bırakıcı nitelikte değil.

d. Süreç makul bir masrafla ayarlanabilir, durdurulabilir, muayene edilir ve tekrar başlatılabilir.

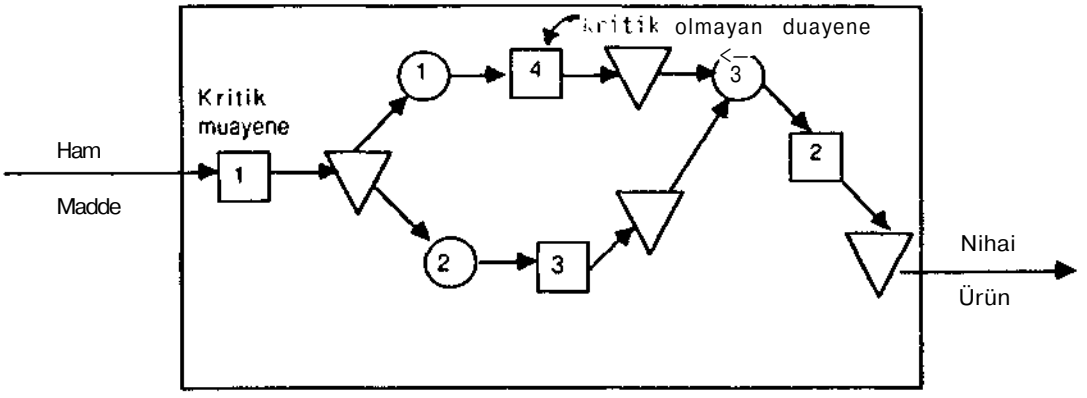
Yukarıdaki koşullardan biri ya da daha fazlası geçerli değilse girdi ve çıktılar üzerinde muayene yapılır. Bazı ürünlerin üretiminde yukardaki koşullara bağımsız olarak muayene, her üç aşamada da yapılır.

iv) Muayene nerede yapılır ?

Muayene, girdilerin çıktı haline dönüşmesi için gerekli işlemlerden önce, sonra ve işlemler sırasında olmak üzere geniş bir alanda yapılabilir.

Hammadde ve parçalar gibi girdilerin muayenesi, teslimatın yapıldığı yerde ya da özel laboratuvarlarda yapılır. Girdiler üretim sistemine girdikten sonra muayene istasyonunun yeri, üretim süreci, yerleşme düzenine ve muayeninin teknik gereksinime bağımlıdır.

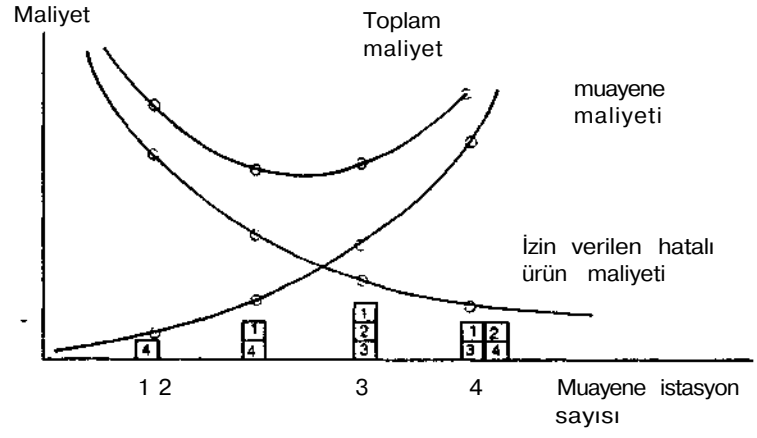
Akışık üretim düzeyinde, muayene istasyonları üretim hattı boyunca yerleştirilir. Halbuki atölye tipi yerleşim düzenlerinde muayene, işlemlerden sonra yapılır. Şekil. 15 de üç işlemli bir üretim sisteminde, muhtemel muayene istasyonlannın yerleri gösterilmektedir.



Şekil.15- Üç işlendi üretimde olası muayene yerleri

Büyük projelerdeki sabit yerleşme düzenlerinde, muayene donatımı ve personeli ürün ya da hizmetin başına getirilip muayene yapılır.

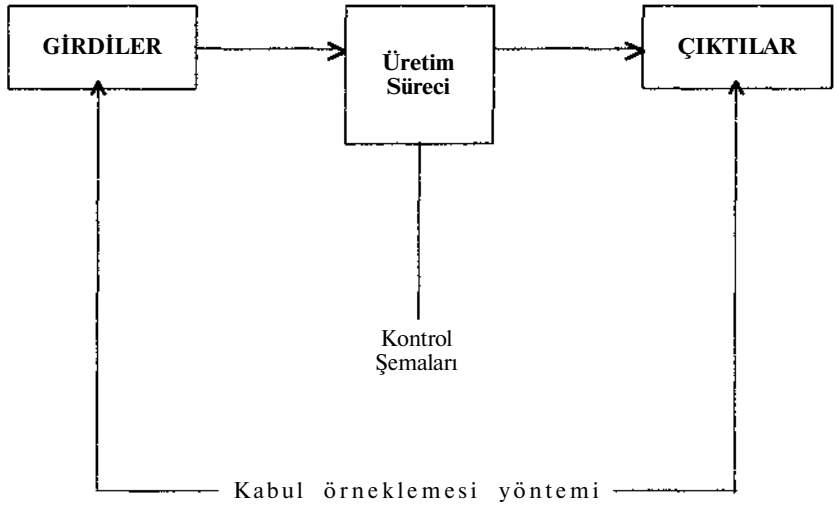
Muayenin nerede yapılacağı karan, gösterilen yerdeki muayene maliyeti ile hatalı ürünün, üretimin diğer aşamalanna geçmesine izin verme maliyetlerine bağımlıdır. Şekil. 16, her iki maliyet unsurunun Şekil.15 de verilen örnek üzerinde irdelenmesini göstermektedir.



Şekil.Kv Farklı muayene düzenlerindeki maliyetler

Çevrim İçi Kalite Kontrol Yöntemleri

Çevrim içi Kalite Kontrol yöntemleri, muayenenin yapılacağı zamana ve ölçüm tipine göre farklılık gösterirler. Muayene, süreç sırasında yapılırsa kontrol şemaları yöntemi, girdi ve çıktılar üzerinde yapılıyorsa kabul örneklemesi yöntemi kullanılır. Şekil. 17 her iki yöntemin üretim sisteminde kullanıldığı yerleri göstermektedir. Her iki yöntem de istatistiksel örnekleme tekniklerini içerirler. Kabul örneklemesi yönteminde, girdi ya da çıktılardan alınan Örnek üzerinde yapılan hatalı ürün oranı hesaplamasına göre, örneğin alındığı kafile hakkında karar verilir. Kontrol şemalarında ise, üretim süreci sırasındaki hatalı ürün oranlarının kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmadığı kontrol edilir.



Şekil. 17- Çevrim içi kalite kontrol yöntemlerinin kullanım yerleri

Kalite kontrol yöntemleri, ürün özelliklerinin ölçüm tiplerine göre de sınıflandırılabilir. Eğer ölçüm niceliksel olarak yapılırsa, kontrol edilen yığın özellikleri hakkında çıkarım (inference) yapmak için normal olasılık dağılımı kullanılır. Öte yandan niteliksel ölçümden elde edilen veriler için kesikli olasılık dağılımı kullanılır. Çizelge.7, kalite kontrol yöntemlerinin, muayenenin zamanına ve muayenede kullanılan ölçüm tiplerine göre sınıflandırmasını vermektedir.

Çizelge.7- **Kalite Kontrol Yöntemlerinin Sınıflandırması**

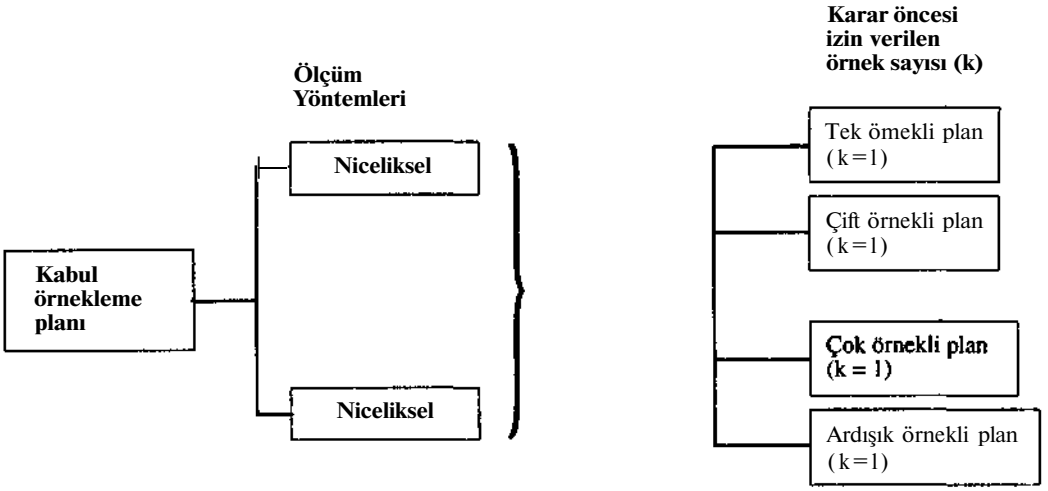
	Muayene Zamanı	
Ölçüm Tipi	**Kabul Örneklemesi**	**Kontrol Şeması**
Niceliksel	Örnekleme Planı • tek aşamalı • çift aşamalı R Şeması • ardışık	$\bar{X}$
Niteliksel	Örnekleme Planı • tek aşamalı • çift aşamalı • ardışık	P Şeması C Şeması

5. KABUL ÖRNEKLEMESİ YÖNTEMİ

Kabul örneklemesi yöntemi, %100 muayenenin tahripkar ve irrasyonel olduğu durumlarda, girdiler ve çıktılarla ilgili kafilenin kabul edilip edilmemesi karan için kullanılan bir örnekleme yöntemidir. Bu yönteme göre, belli bir girdi ya da çıktı yığınından alınan örnek ya da örneklerde hatalı ürün oranı hesaplanır ve bu oran önceden belirlenmiş kıstaslara göre karşılaştırılarak yığının kabul ya da reddedilmesi hakkında çıkanm yapılır. Reddedilen yığın %100 muayeneye tabi tutulabilir ve giderek hatalı ürünler, hatasızlarla değiştirilir.

Kabul örneklemesi yöntemine dayanarak alınan kararlarda, örnekleme hatalarından kaynaklanan hatalar olabilir. Bu yöntemle iyi kalitede bir yığın reddedilebildiği gibi (I. tip hata), kötü kalitede bir yığın kabul edilebilir (II. tip hata). Bu yöntemin amacı, örnekleme hatalanndan ortaya çıkan toplam maliyeti minimize edecek bir politika gütmektir. Buna göre, üretici ile müşteri arasında "iyi" ve "kötü" kalite kavramları ile her iki taraf için oluşacak riskler konusunda bir anlaşma yapılır ve her iki taraf için en iyi karar mekanizması geliştirilir.

Bu amacı gerçekleştirmek için, yönetim, örnek büyüklüğünü, karar vermeden önce alınacak en yüksek örnek sayısını ve kaliteyi değerlendirmek için kullanılacak ölçüm tipi üzerinde kontrol sağlayabilir. Böylece, önceden belirlenen kalite düzeyi ve risklere göre her iki ve daha fazla örnekden oluşan örnekleme planı kullanarak, kafilenin kabul ya da reddedileceğine karar verilir. Pratikte kullanılan örnekleme planlan Şekil. 18 de verilmiştir.



Şekil.18- Kabul örnekleme planlan

Tek Örnekli Plan

Tek örnekli plan, örnek büyüklüğünü (n) ve tolerans gösterilebilecek hatalı ürün sayısını (c) ya da yüzdesini belirleyen basit bir karar kuralıdır. Ölçümler niteliksel olarak yapılırsa, hatalı ürün olasılıkları, kesikli olasılık dağılımlarından hesaplanır ve bir örnekleme planı şöyle formüle edilebilir : *n = 50 büyüklüğünde bir rassal örnek alın ve hatalı ürünleri sayın, x. Eğer hatalı ürün sayısı, x<4 ise kafileyi kabul edin, aksi takdirde reddedin.*

Ölçümler niceliksel olarak yapılırsa kitle parametreleri normal olasılık dağılımı fonksiyonlarından hesaplanır. Bu durumda, bir örnekleme planı şöyle formüle edilir : n = 50 büyüklüğünde bir rassal örnek seçin ve ortalama mukavemeti hesaplayın. Eğer $\bar{x} > 100$ kN / cm^2 ise kitleyi kabul edin, aksi durumda reddedin.

Örneklerden de anlaşılacağı üzere, tek örnekli bir planın tasarımlanması için örnek büyüklüğü, n, ile izin verilen hata miktarı, c nin belirlenmesi gerekmektedir, n ve c ise, üretici ve müşteri amaçlarını yansıtan dört niceliksel etkenin ilişkisinden belirlenir. Bu etkenlerin tanımlan aşağıda verilmiştir:

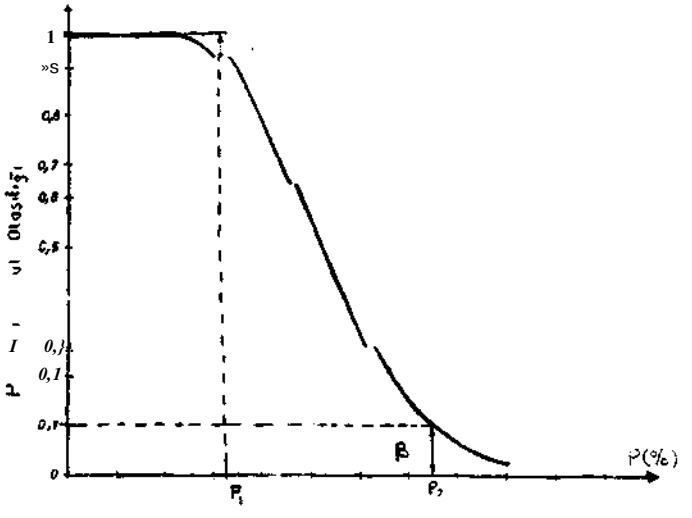
i) Kabul edilebilir kalite düzeyi (KKD) = P1 = iyi kaliteyi simgeleyen kalite düzeyi. Üreticinin kabul edebileceği hata yüzdesi. Eğer hata yüzdesi KKD ye eşit ya da azsa kafilenin kalitesi iyi olarak nitelenir.

ii) Üretici riski = **a** = iyi kalitede kafilenin reddedilme olasılığı. Bir başka ifadeyle, kafiledeki hata yüzdesinin KKD ye eşit ya da az olma olasılığı. Bu aynı zamanda 1. tip örnekleme hata riskidir.

iii) Kitle hata oranı toleransı (KHOT) = P2 = kötü kaliteli kitleyi kabul etme olasılığı. Bu olasılık ölçüsü aynı zamanda II. tip örnekleme riskidir.

iv) Müşteri riski = p = kötü kalitedeki kitleyi kabul etme olasılığı. Bu olasılık ölçüsü aynı zamanda II. tip örnekleme riskidir.

P1, a, P2 ve P arasındaki ilişki Şekil.19 da verilen kabul olasılığı eğrisinde verilmiştir.



Şekil.19- Kabul olasılık eğrisi

Eğri üzerinde **a** ve KKD ile P ve KHOT un oluşturduğu iki noktadan örnekleme planının tasarımı için gerekli örnek büyüklüğü (n) ve izin verilen hata miktarı (c) bulunur. Gerçekte a, KKD, P ve KHOT için özel değerlerin seçimi, maliyet ödünleşimine bağlı bir karar problemidir. Üretici, iyi kalitedeki kafilenin reddedilme olasılığının minimize edecek bir örnekleme planı isterken, müşteri kötü kalitedeki mallan kabul etme olasılığını minimize eden bir plan tasarımı isteyecektir. Üretici ve müşteri bu amaçlarına erişmek isterken bazı maliyet etkenleri üzerinde ödünlenmek durumunda kalırlar. Üretici kötü kalitede bir ürün üretme maliyeti ile istenilen kaliteyi sağlayacak muayene maliyetini karşılaştırır. Müşteri ise kötü kalitedeki mallan kabul etme maliyeti ile alınacak mallarda istenilen kaliteyi sağlayacak muayene maliyetini ödünleştirir. Şekil.20 de söz konusu ödünleşme ile tek örnekleme planının tasanmı için alınan kararların özeti verilmektedir.

Üretici ve müşteri ödünleşmesine uygun KKD, a, KHOT ve P belirlendikten sonra, bunların kabul eğrisi üzerinde oluşturdukları iki noktaya rastlayan n ve c değerleri bulunur. Ölçümler niteliksel olduğundan, n ve c yi bulmak üzere iki terimli (binom) dağılım ya da büyük n ve küçük olasılıklar içni Poisson dağılımı kullanılır.

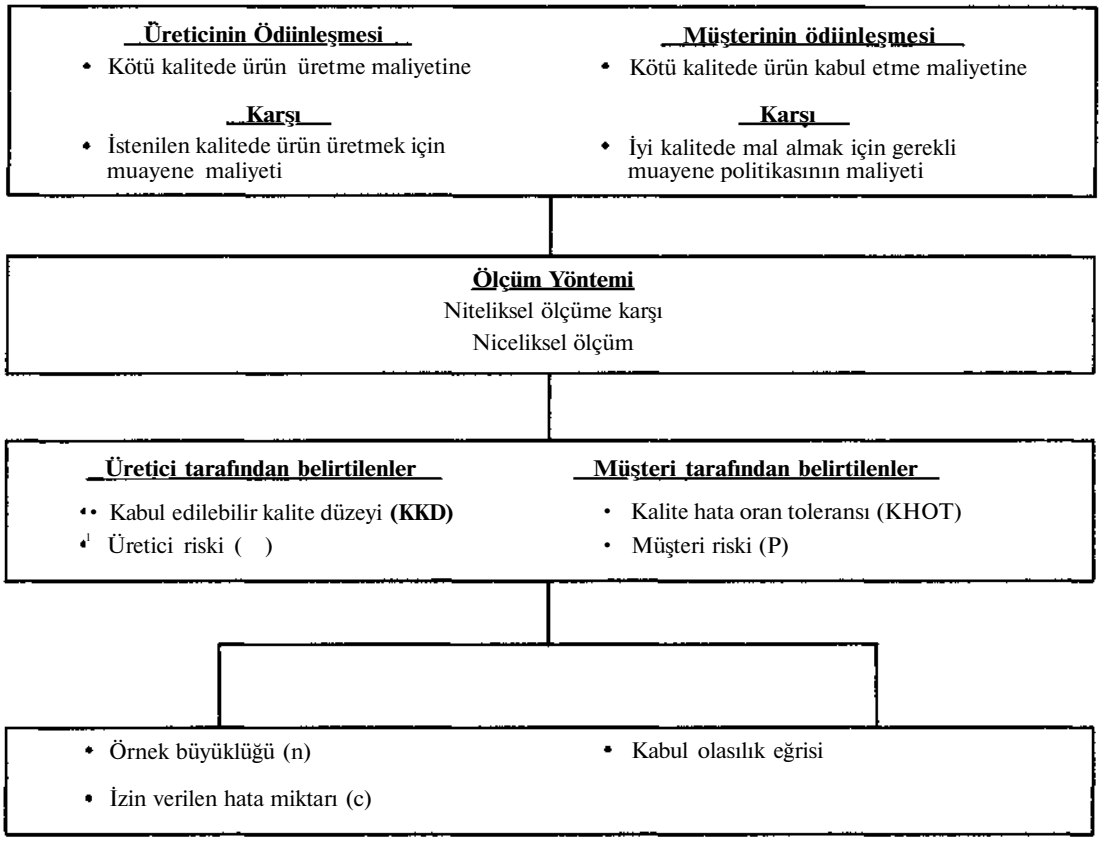
iki terimli dağılım fonksiyonu, çıktıların öyle ya da böyle olduğu durumlarda tanımlanır. Kabul örneklemesinde de muayene edilen ürünlerin kalitesi iyi ya da kötü olarak nitelendiğinden, iki terimli dağılım fonksiyonu aşağıda verilmiştir:

$$O(X = k/p) = \frac{n!}{k\,(n-k)!} p^{k}(1-p)^{n-k}$$

Burada k hatalı ürün sayısını, n örnek büyüklüğünü, p kafile kalitesini belirleyen olasılıkdır. Bu fonsiyonda, eğer kafilenin kalite düzeyi, p verilirse, n büyüklükteki bir örnekte, k kadar hatalı ürün bulma olasılığını hesaplayabiliriz, "n" nin büyük "p" nin küçük olması durumunda ($np < 5$, $n > 20$, $p < 10$) aynı olayın olasılığı bu kez aşağıda verilen Poisson dağılım fonksiyonundan hesaplanır.

$$O(X = k/p) = \frac{(np)^{k} e^{-np}}{k!}$$

Her iki formülden de yararlanarak, istenilen örnek büyüklüğü n ve hata kabul sayısı c için aşağıdaki ilişkiler sağlanmalıdır.



Şekil.20- Örnekleme planının geliştirilmesinde ödünleşme ve kararlar

i) p = p, = KKD kalitesindeki kafileler için :
Olasılık (P[hatayla kafileyi kabul etmek) = 1 - α_1

$$O(X \leq C/P) = £\ O(X=i/P_1) = 1 - a,$$

ii) $P = P_2$ = KHOT kalitesindeki kafileler için :
Olasılık (P_2 hatayla kafileyi kabul etmek) = P

$$O(X \leq C/P_2) = \sum_{i=0}^{C} O(X = i/P_2) = \beta$$

Yukarıdaki denklemler, deneme yanılma yöntemleriyle çözülerek istenilen n ve c değerleri bulunur. Gerçekte bu denklemler farklı KKD, a, KHOT ve p için çözülmüş ve bir çizelge geliştirmiştir. Bunlardan bir tanesi çok kullanılan a ve p değerleri olan 0.05 ve 0.1 için Çizelge.8 de verilmiştir.

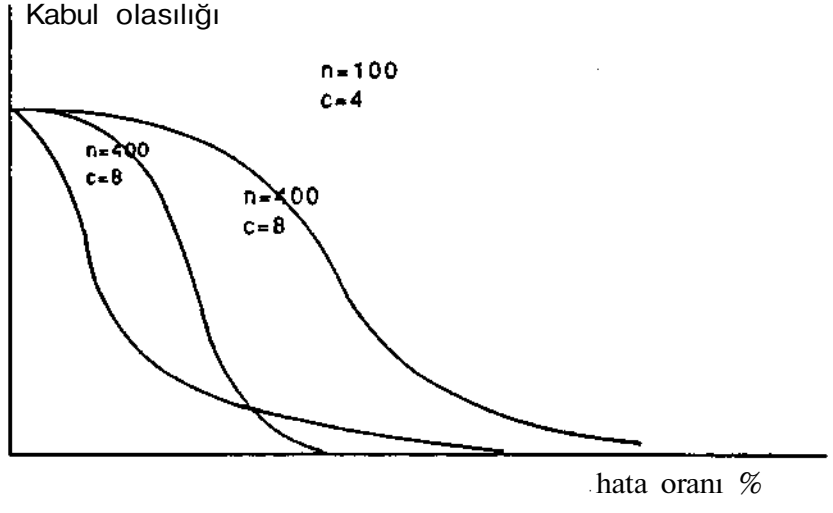
Örnek : 1000 tane televizyon tüpü kafilesi örnekleme yoluyla muayene edilecektir. Üretici müşterinin %1 hatalı ürünü kabul edebileceğini ve %5 riskle hata miktarı %1 ya da altında olan kafileleri reddedilebileceğini düşünüyor. Öte yandan müşteri, hata payının %5 ve daha fazla olması durumunda kafileyi reddebileceğini düşünüyor ve %10 riskle bu kalitedeki tüpleri kabul etmek istiyor. Bu kafilenin kalitesini belirlemek üzere hangi büyüklükte örnek seçmeli ve kabul edilebilir hatalı tüp sayısı ne olmalıdır ?

Bu örnekte KKD = 0.1, a = 0.05, KHOT = 0.05 ve P = 0.10 dur.

a = 0.05 ve B = 0.10 olduğundan, n ve c yi seçmek için Çizelge.8 e başvurabiliriz. Çizelgede KKD = 0.1, 4. satırdaki aralığa düşmekte, KHOT ise, 1. sütundaki aralığa düşmektedir. Böylece, 4. satır ve 1. sütunun kesiştiği hücreden, n = 120, c = 3 dür.

Tek örnekli planın tasarımlanmasında, kabul olasılık eğrisinin önemli bir rol oynadığını gördük. Gerçekte tek örnekli planda, kabul olasılık eğrisi üzerinde yalnız iki uç nokta olan KKD ve KHOT ile ilgilenildi. Aslında kabul olasılık eğrisi bir iki uç noktanın dışındaki hatalı ürün yüzdeleri için kabul olasılıklarını verir. Kabul olasılık eğrisi, belli bir n, c çifti için çizilmektedir. Farklı n ve c değerleri için kabul olasılık eğrileri çizilerek, üretici ve müşteri riskleri konusunda farklı senaryolar yaratılabilir. Bunu örneklemek üzere Şekil.21 de üç n, c çifti için kabul olasılık eğrisi çizilmiştir.

Kabul olasılık eğrisi çizilmiştir.

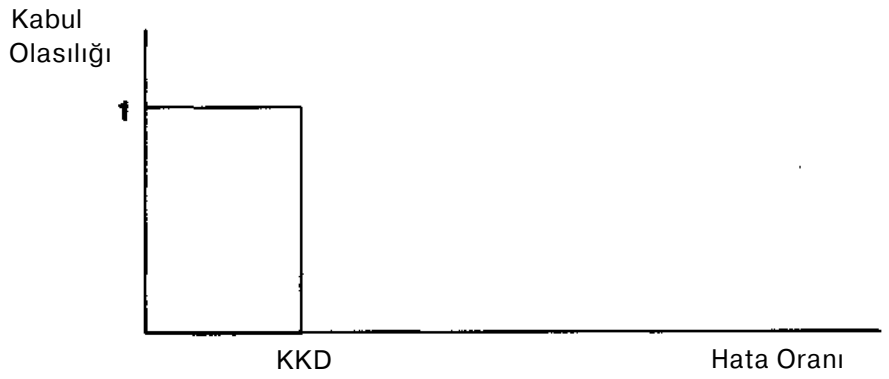


Şekil.21- n ve c nin kabul olasılık eğrisine etkisi

Çizelge.8- **a = 0.05** ve p = **0.1 İçin Sözkonusu Örnekleme Planlarından Bir Bölümü**

	KHOT						
KKD	4.51-5.60	5.61-7.10	7.11-9.00	9.01-11.2	11.3-14.0	14.1-18.0	18.1 22.4
.451-.560	80 1	60 1	60 1	50 1	15 0	15 0	10 0
.561-.710	100 2	80 2	50 1	50 1	40 1	10 1	10 0
.711-.900	100 2	80 2	50 1	40 1	40 1	30 1	7 0
.900-1.12	120 3	80 2	60 2	40 1	30 1	30 1	25 1
1.13-1.40	150 4	100 3	60 2	50 2	30 1	25 1	25 1
1.41-1.80	200 6	120 4	80 3	50 2	40 1	25 1	20 1
1.81-2.14	300 10	150 6	100 4	60 3	40 2	30 2	20 1
2.25-2.80	n c	250 10	120 6	70 4	50 3	30 2	25 2
2.81-3.55	n c	n c	200 10	100 6	60 4	40 3	25 2
3.56 4.50	n c	n c	n c	150 10	80 6	50 4	30 3

c sabit tutulup, n aıttınldığında eğri dikleşir. Öte yandan, n sabit tutulup c azaltıldığında eğri referans noktalarına doğru yatar. Tüm kafile muayene edildiğinde n, kafile sayısına eşit olur ve ideal kabul olasılık eğrisi elde edilir. Şekil.22 de bu durum gösterilmiştir.



Şekil.22- İdeal kabul olasılık eğrisi

Ortalama Çıktı Kalitesi

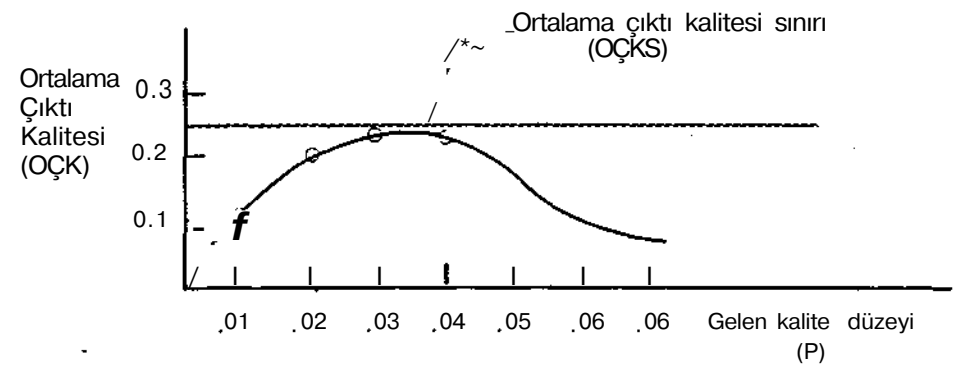
Ürün ya da ortalama çıktı kalitesi, örnekleme yoluyla muayene sonucu reddedilen kafilelerin %100 muayene edilmesi ve hataların ayıklanması durumunda, bütün kafilelerdeki ortalama çıktı kalitesini belirtir.

Ortalama çıktı kalitesi eğrisi, aynı kabul örnekleme planının defalarca uygulanması sonunda elde edilen bilgiler çerçevesinde çizilir. Eğer örnekleme yoluyla muayenelerde hatalı ürünler hatasızlarla değiştirilirse, ortalama çıktı kalitesi aşağıdaki formülden hesaplanır :

$$OÇK = \frac{P_a P(N-n)}{n}$$

Burada; P_a = Kabul olasalığı
P = Gelen kafilede hata oranı
n = Örnek büyüklüğü
N = Kafile büyüklüğü

Eğer her gelen kafiledeki hata oranına göre OÇK değerlerini bulup, eğrisini çizersek Şekil.23 deki örnek eğri ortaya çıkar.



Şekil.23- Örnek OÇK eğrisi

Ortalama çıktı kalitesi sının, pazara sürülen çıktıların kalite düzeyinin en fazla bu kadar düşebileceğini belirtir. Eğriden de görüldüğü gibi, gelen kafile kalite düzeyi (P) iyiyse ve örnekleme yoluyla yapılan muayenede kafile kabul ediliyorsa, pazara yollanan kafilelerin kalitesi gelen kafilenin kalitesiyle aynı düzeydedir. Eğer gelen kafilelerin kalitesi kötüyse, örnekleme yoluyla yapılan muayene sonucunda kafileler reddedilip %100 muayeneye sevk edildiklerinden pazara sürülecek kafilenin kalitesi iyileşecektir. Bir bakıma, gelen kalite düştükçe çıkan malların kalitesi iyileşmektedir.

Bazen reddedilen hatalı ürünlerin yerine hatasızlarını koymak olanaklı olmayabilir ve gönderilen kafile büyüklüğünde azalma olabilir. Böyle durumlarda, OÇK eğrisi aşağıdaki formülden yararlanılarak çizilir :

$$OÇK = \frac{Pa \,.\, P\,(N-n)}{N - Pn - P\,(1-P_a)\,(N-n)}$$

Örnek: Radyo üreten bir kuruluş, üretmekte olduğu 4 dalgalı radyoların 1000 er radyoluk kafilelerini muayene etmek üzere, örnek büyüklüğü 99 ve kabul edilebilir hatalı ürün sayısı 4 olan bir örnekleme planı kullanmaktadır ve hatalı ürünleri hatasızlarla değiştirmektedir. Bu ürün için ortalama çıktı kalitesi eğrisini çizelim.

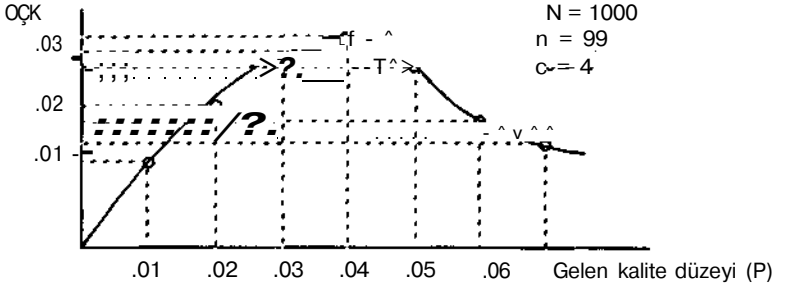
Bunun için ilk önce, kalite düzeyine (P) rastlayan kabul olasılıkları (P_a) Poisson çizelgelerinden bulunur ve

$$OÇK = \frac{Pa\,P(N-n)}{N}$$

formülü kullanılarak OÇK değerleri hesaplanır ve giderek eğri çizilir. Çizelge.9 OÇK değerlerinin bulunuşunu göstermektedir.

Tablo.9- Ortalama Çıktı Kalitesi Değerleri

Kalite düzeyi (P)	Örnek büyüklüğü (n)	Possion ortalaması (Pn)	Kabul olasılığı (P.)	OÇK
.01	99	.99	.996	.0090
.02	99	1.98	.947	.0171
.03	99	2.97	.815	.0220
.04	99	3.96	.629	.0227 (OÇKL)
.05	99	4.95	.440	.0198
.06	99	5.94	.285	.0154
.07	99	6.93	.173	.0109
.08	99	7.92	.105	.0076
.09	99	8.91	.055	.0045
.10	99	9.90	.029	.0026



5.3 Çok ve Ardışık Ömekli Planlar

Şekil.24- OÇK eğrisi

Çok ve Ardışık Örnekli Planlar

Ekonomik ve psikolojik nedenlerle, kaliteyi kabul ya da reddetmeden önce birden fazla örnek kullanılabilir.

Çift örnekli planda, örneklerin büyüklükleri, nı ve n2 ile kabul edilebilir hatalı ürün sayıları, cı ve C2 belirlendikten sonra, Şekil.25 deki mantık akışına göre, kabul ya da red karan alınır.

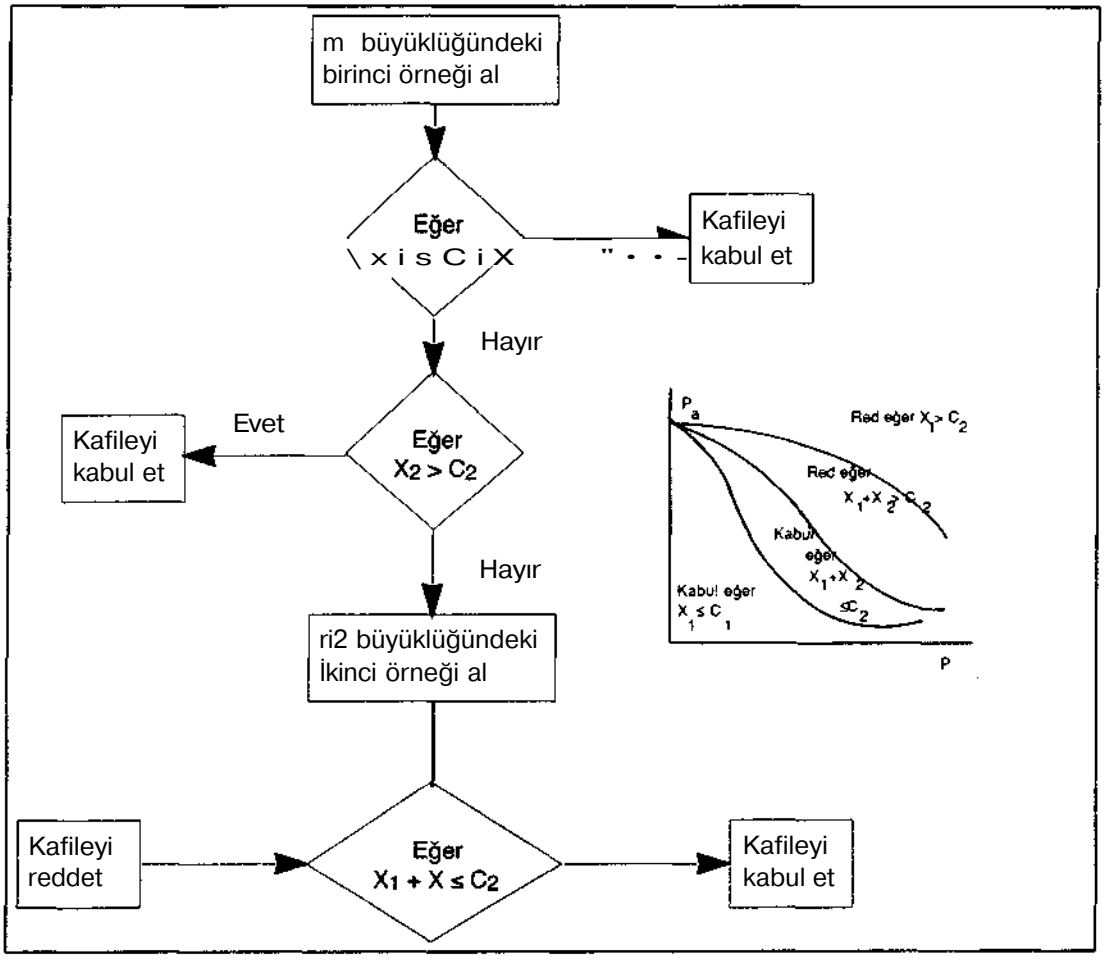
Çift örnekli plan mantığı, ikiden fazla Örnek için uygulandığında çok örnekli veya ardışık örnekli planlar elde edilir. Bu planlarda her örnek alındıktan sonra gözlenen toplam hatalı ürün miktarına göre aşağıdaki kararlardan birisi alınır:

i) Kafileyi kabul et

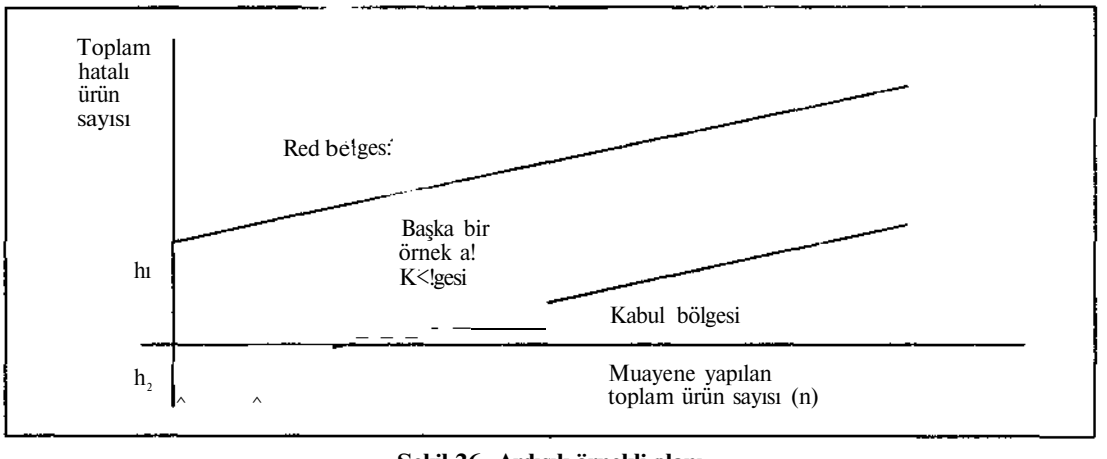
ii) Kafileyi reddet

iii) Başka bir örnek al.

Çok örnekli planda önceden belirlenmiş örnek sayısı çerçevesinde karar türetilirken ardışık örnekli planda gözlenen toplam hatalı ürünlerin nihai karan oluşturmasına kadar örnek alma süreci devam eder. Her iki tip planda, bir örnekde bir ya da daha fazla ürün bulunur ve genellikle ortalama örnek büyüklüğü tek örnekli planın örnek büyüklüğünün yansı kadardır. Şekil.26 ardışık örnekli planın grafiksel yapısını göstermektedir.



Şekil.25- Çift örnekli planın uygulama yolu



Şekil.26- Ardışık örnekli planı

xı ve x_2 sınır çizgileri aşağıdaki denklemlerle tanımlanmıştır.

$$x_1 = sn + h_1$$

$$x_2 = sn + h_2$$

Burada,

$$s = \frac{\log \frac{1 - P_1}{1 - P_2}}{\log \frac{P_2 (1 - P_1)}{P_1 (1 - P_2)}}$$

$$h_1 = \frac{\log \frac{1 - \alpha}{\beta}}{\log \frac{P_2 (1 - P_1)}{P_1 (1 - P_2)}}$$

$$h_2 = \frac{\log \frac{1 - \beta}{\alpha}}{\log \frac{P_2 (1 - P_1)}{P_1 (1 - P_2)}}$$

s, hı ve h_2 değerleri yukandaki formüllerden hesaplanabildiği gibi, bu amaçla hazırlanmış çizelgelerden de elde edilebilir. Böyle bir çizelge a ve p nin özel değerleri için bu bölümün sonunda ek olarak verilmiştir.

Örnek : Bir ürünün muayenesi sırasında tahribat fazla olduğundan ardışık örnekleme yöntemi ile muayene şekli benimsenmiştir. Kafilelerde *%2* ve daha az hatalı ürün bulunması durumunda kafilenin kabul olasılığı %95 ve hata oranı *%6* ve daha fazla olduğunda kafilelerin reddedilme olasılığı %90 olması durumunda bu ürün için bir ardışık örnekleme planı tasarımlayalım.

a = .05 P_1 = .02

P = .10 P_2 = .06

Ekteki çizelge kullanılarak planın sınır çizgilerinin katsayıları bulunabilir. Buna göre

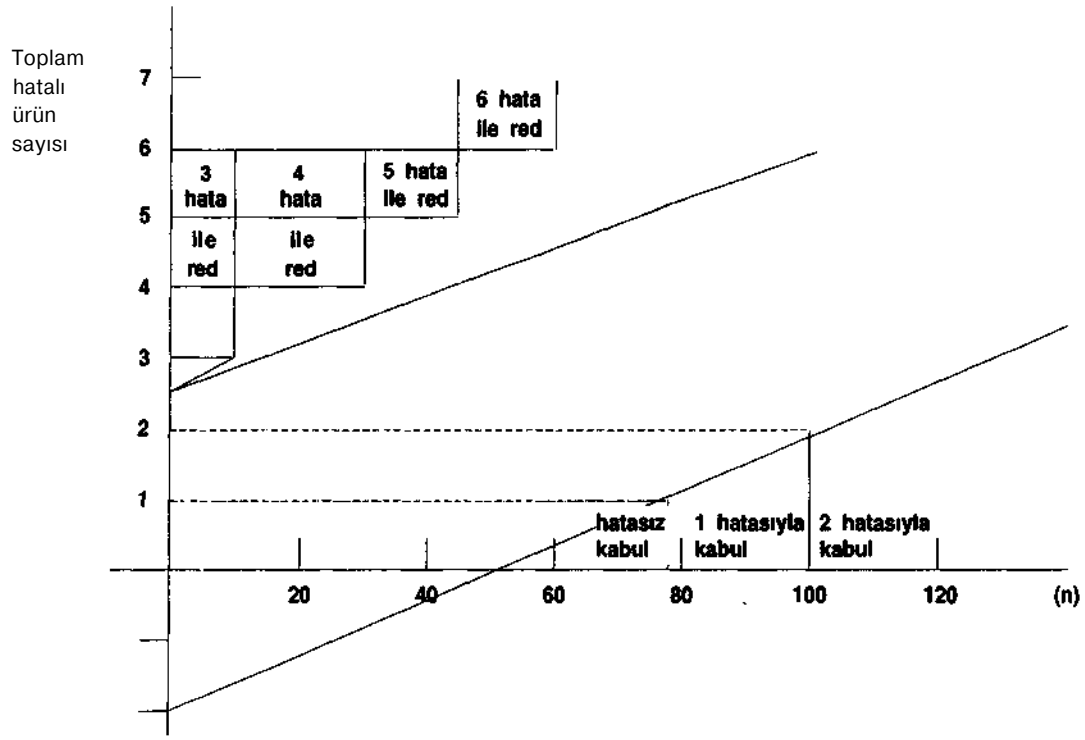
s = 0.03655 hı = 1.9743 h_2 = 2.5348

Böylece aşağıdaki ardışık örnekleme planı yazılabilir:

x_1 = .03655 n + 2.5348

x_2 = .03655 n- 1.9743

Her iki çizgi ve plan kararlarıyla ilgili bölgeler Şekil.27 de gösterilmiştir.



Şekil.27- Örnek problemdeki ardışık örnekleme planı

Şekilden de görüldüğü gibi, kafilenin kabul edilmesi için en aşağı 55 çıktı muayene edilmelidir. Öte yandan, kafilenin reddedilebilmesi için asgari 3 çıktı muayene edilmelidir.

6. SÜREÇ KONTROLÜ

Süreç kontrolü, yukanda da belirtildiği gibi ürün ya da hizmetin kalitesinin üretim süreci sırasındaki kontrolü ile ilgilidir. Süreç kontrolünün iki amacı vardır :

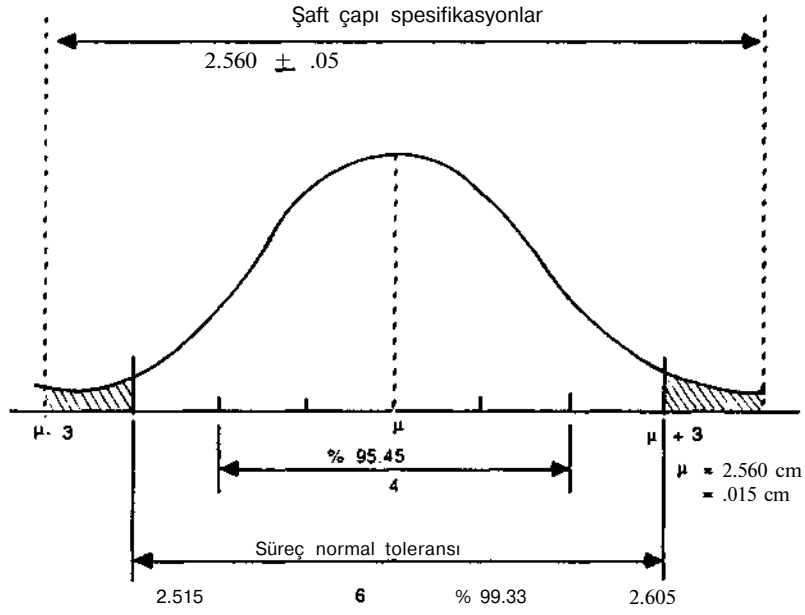
i) Üretilen ürünün tasarım spesifikasyonlanna uygunluğu hakkında zamanında bilgi sağlamak,
ii) Süreçteki sapmaları teşhis ederek, gelecekteki üretim sürecini kontrol altına almak.

Üretim süreci sırasında kalite kontrolü, süreç çıktılarında gözlenen değişiklik ile ürün spesifikasyonlannda izin verilen değişiklik arasındaki karşılaştırma şeklinde ortaya çıkar. Her üretim süreci, üretim etkenlerindeki rassal değişikliklerden etkilenir. Üretim etkenlerini oluşturan insan ve uyguladığı yöntemler, kullanılan malzeme, ekipman, iş ortamı sürekli bir rassal değişim içindedir. Giderek bu durum, üretim sürecinde rassal değişikliklere neden olur.

Kısaca, kontrol altında olmayan bu tür rassal değişiklikler çıktılara yansır ve ürünün tasarım spesifikasyonlannda değişikliklere neden olur. Bu değişiklikler bir istatistiksel dağılım fonksiyonu ile tanımlanabilirler. Genellikle bu tür değişikliklerin dağılımı normal dağılım niteliğindedir. Örneğin bir şaftın çapı ile normal dağılım Şekil.28 de verilmiştir.

6 standard sapma (o), süreç kapasitesini ölçmek için kabul edilmiş bir ölçüdür. Buna göre, üretilen ürünlerin yüzde 99.73 ü bu aralığa düşecek demektir. Keza, ürünlerin yüzde 95.45 i 4 **o** aralığına düşer. Şaftın çapı 6 **o** aralığında olduğu sürece, değişiklikler rassal niteliktedir. Eğer bu aralığın dışında bir durumla karşılaşılırsa, değişiklik nedeni rassal olmaktan çıkar ve nedeni kontrol altına alınabilecek bir değişiklik söz konusu olur. Örneğin, makinanın kesme takımlan aşınmış olabilir ya da malzeme hatalıdır. Yönetim bu tür nedenleri giderip üretim sürecini kontrol altına almalıdır.

Süreç kontrolü, istatistiksel bir yöntem olan kontrol şemalarıyla yapılır. Kontrol şemaları yine kullanılan ölçüm yöntemine göre farklılıklar arz eder.



Şekil.28- Şaft çapının normal dağılımı

Niceliksel Ölçüm İçin Kontrol Şemaları

Ölçüm niceliksel olarak yapıldığında, süreç kontrolü, ürün özelliği ile ilgili ortalama ve aralıklar değerlendirilerek yapılır. Ürün özelliği sürekli ölçekte, uzunluk, ağırlık, hacim, zaman gibi özelliklerdir. Bu gibi özelliklerin ortalamalar ya da alacakları en küçük ve en büyük değer arasındaki aralıkların ortalamaları, alınan örneklerde gözlenir ve önceden hesaplanmış istatistiksel sınırlar içinde olup olmadıkları kontrol edilir. Eğer gözlenen değerler sınırlar arasındaysa süreç kontrol altında denebilir, tersi durumda, süreç kontrol dışına çıkmış sayılır ve nedenleri araştırılır.

Ortalama ya da $\bar{X}$ Şeması

X şeması, üretim sürecinin fonksiyonunu doğru olarak sürdürmesi amacıyla, devresel olarak alınan örneklerden hesaplanan ortalamalann önceden belirlenen sınırlar içinde olup olmadığınının gözlenmesini sağlayan bir tekniktir. Buna göre, alınan her örnekte ölçümlerin ortalaması ile gözlenen maksimum ve minimum değerlerin farkı olan aralık hesaplanır. Giderek kontrol şemasının orta noktasını oluşturacak olan örnek ortalamalarının ortalaması alınır ve üst ile alt kontrol sınırlan (ÜKS, AKS) hesaplanır. Genellikle, üst ve alt kontrol sınırlan kontrol şemasının orta noktasından 3 standard sapma uzaklıktadır. Ancak pratikte kontrol sınırlannın hesaplanması, standard sapma yerine aralık değerlerinden yararlanılarak yapılır. Orta nokta ile kontrol sınırlannın nasıl hesaplandığı aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Orta nokta} = \bar{\bar{x}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \cdots + \bar{x}_m}{N} \qquad \frac{\sum_{j=1}^{N} \bar{X}_j}{N}$$

$$\text{Kontrol sınırları: ÜKS} = \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A\bar{R}$$

$$\text{AKS} = \bar{\bar{x}} + 3a_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A\bar{R}$$

Burada $\bar{X}_j$ = n büyüklüğündeki J örneğinin ortalaması

(J=1, 2,.....,N)

N = Örnek sayısı

$$\bar{\bar{R}} = \frac{R_1 + R_2 + ... + R_N}{N} = \frac{\sum_{j=1}^{N} R_j}{N}$$

A = değişmez. Küçük örnek büyüklükleri, n için AR üç Standard sapmaya eşittir. (AR - 3 S;,)

SÎ = Örneklerden hesaplanmış standard sapma.

Kontrol sınırlannın hesaplanmasında kullanılan A değerleri Çizelge.6 da verilmiştir.

Çizelge.6- A Değişmezinin Değerleri

Örnek Büyüklüğü	A değeri
2	1.880
3	1.023
4	.729
5	.577
6	.483
7	.419
8	.373
9	.337
10	.308
11	.266
12	.235
13	.212

Örnek : Baharat üretimiyle uğraşan bir kuruluş, karabiberi 8 g lık paketler içinde pazarlamaktadır. Yönetim paketlerin ağırlığının 8 .15 g arasında olmasını istemektedir. Paket doldurma makinasının fonksiyonunu kontrol etmek üzere, 12 gün süreyle her gün rassal olarak 5 paket alınıp, ağırlık ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerle ilgi bilgi aşağıda verilmiştir.

	Gözlem					**Ortalama Aralık**	
Örnek numarası	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**x**	**R**
1	8.02	8.00	8.14	**8.15**	8.13	8.088	.15
2	8.13	**7.91**	8.04	**7.84**	7.95	7.974	.29
.							
.							
12	7.88	7.96	7.90	**8.00**	7.90	7.928	.12
Toplam						**96.026**	**2.46**

Doldurma sürecini kontrol etmek için gerekli kontrol şemasını tasarımlayalım.

$$\text{Orta nokta} = \frac{8.088 + 7.974 + \ldots + 7.928}{12} = \frac{96.026}{12} = 8.002$$

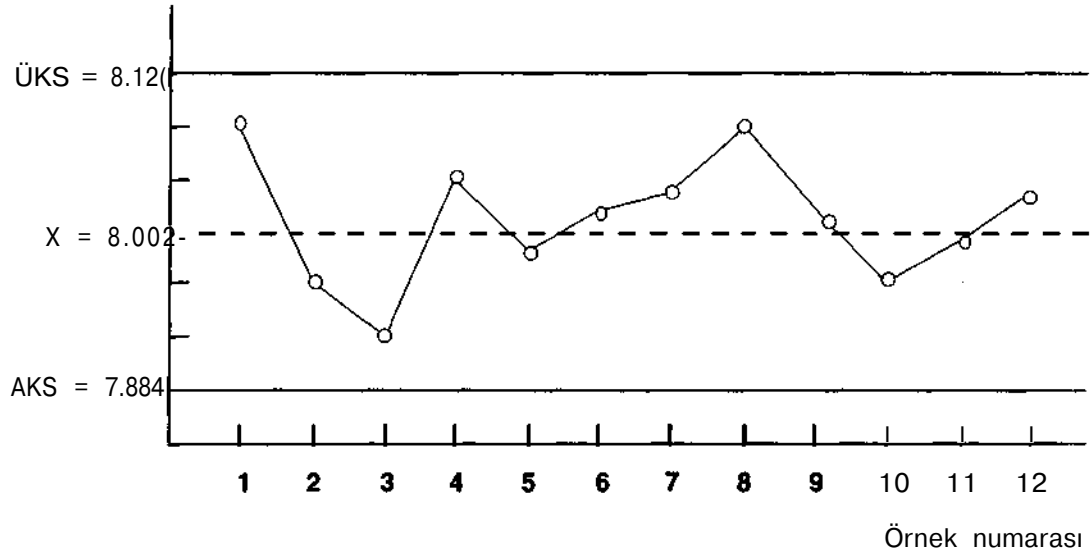
$$\text{Ortalama aralık} = \frac{.15 + .29 + \ldots + .12}{12} = \frac{2.46}{12} = .205$$

Bu bilgilerden kontrol sınırlan aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır:

ÜstKontroBınıra ÜKS = x + AR = 8.002+ (.577) (205)
= 8.120g

AltKontroBınıra AKS= X + AR = 8.002+ (.577) (205)
= 7.884 g

Şekil.29 orta nokta ile kontrol sınırlarım ve örnek ortalamalarını göstermektedir.



Şekil.29- Örnek problem için $\bar{x}$ şeması

Örnek ortalamalarının hepsi kontrol limitlerinin içinde olduğundan, doldurma süreci doğru olarak fonksiyonunu sürdürüyor denebilir.

Aralık yada R Şeması

Aralık Şeması R, üretim sürecinin hassasiyetini kontrol etmek üzere, devresel olarak alınan örneklerde hesaplanan aralıkların, önceden belirlenen sınırlar içinde olup olmadığını gösteren bir kontrol semasıdır.

Aralık şemasını tasarımlamak için aralıklann ortalaması, $\bar{R}$ ve üç standart sapma uzaklığındaki gibi hesaplanır.

Orta çizgi : $\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \ldots + R_n}{N}$

Kontrol sınırlan : ÜKS = $\overline{BR}$, AKS = $\overline{CR}$

Burda B ve C değişmezlerdir ve küçük örnek büyüklüklerinde, $\overline{BR} = 3\ S_R$ ve $\overline{CR} = 3\ S_R$ dir. B ve C değerleri Çizelge. 10 da belirtilmiştir.

Çizelge.10 - B ve C Değerleri

Örnek Büyüklüğü (n)	B	C
2	3.268	.000
3	2.574	.000
4	2.282	.000
5	2.114	.000
6	2.004	.000
7	1.924	.076
8	1.864	.136
9	1.816	.184
10	1.777	.223
12	1.716	.284
14	1.671	.329
16	1.636	.364

Eğer bir örnek aralığı, kontrol sınırlarının dışına düşerse, söz konusu üretim süreci hassasiyetini yitirmiş sayılabilir.

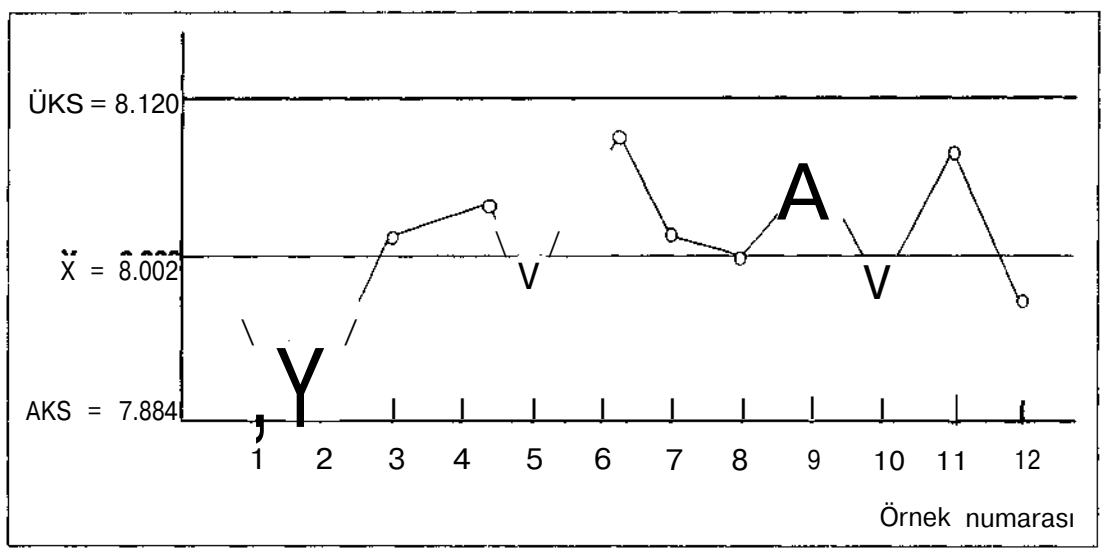
Örnek: Karabiber doldurma örneğinde verilen bilgiler çerçevesinde, R şemasını çizelim.

Orta Çizgi: $\bar{R} = .205$ g

Üst Kontrol Sınır : ÜKS = $\overline{BR}$ = (2.114) (.205) = .433 g

Alt Kontrol Sınırı : AKS = $\overline{CR}$ = (.000) (.205) = .00

Bulunan değerler ve örnek aralıkları Şekil.30 da gösterilmiştir.



Şekil.30- örnek problem için R -şeması

Örnek aralıklan kontrol sınırlan içinde olduğu için, doldurma süresi hassaslığını sürdürüyor denebilir.

Dinamik Kontrol Şeması: Dinamik kontrol şeması, zaman içinde süreç çıktılannda bir eğilimin tahmin edilmesi durumunda kullanılır. Kullanılan ekipmanın takım aşınması ya da sistem içindeki diğer değişiklikler nedeniyle, çıktıları üzerinde yapılan ölçümlerde sistematik bir değişme olması, üretim sistemlerinde sık sık karşılaşılan bir durumdur. Dinamik kontrol şeması, bu durumdaki üretim sürecini kontrol etmek üzere, sürecin ya da makinamn ilk hazırlık pozisyonu ve ne zaman doldurulup gerekli ayarlamalann yapılacağını beliriu.

Dinamik kontrol için, önceki bölümlerde ele alınan kontrol şemalarındalc şeması ya da ardışık örneklemede kullanılan şema kullanılır. Burada yalnız, çizim ve kullanılım kolaylığı bakımından, ardışık örneklemeli kontrol şeması, bir örnek üzerinde açıklanmıştır.

Örnek : Tasarım spesifikasyonu 2.000 0.020 cm çaplı olan bir ürünün üretilmesinde özel bir makina kullanıldığını ve çıktıların **a** = 0.001 cm ile bir normal dağılım gösterdiğini varsayalım. Üretilen parçaların tasarım spesifikasyonlannın %99.73 nün tanımlanan kontrol limitleri içinde kaldığını düşündüğümüzde ve her 25 çıktıdan sonra süreç ortalamasında 0.001 cm lik artış olduğunda, ardışık tek örnekli dinamik kontrol şeması, aşağıda gösterilen yolla çizilir:

i) Ürünün ilk hazırlık aşamasındaki çapı ile alt ve üst sınırlar hesaplanır.

Ürünün çapı $X_i = (2.000 - .020) + 3\,(.002) = 1.986$

Alt ve üst sınırlar :

ÜKS= 1.986+ 3 (0.002) =1.992

AKS = 1.986 - 3 (0.002) = 1.980

ii) Ürünün son hazırlık aşamasındaki çapı bulunur.

Ürünün çapı: $X_s = (2.000 + .020) - 3\,(0.002) = 2.014$

iii) Takım değiştirmeden üretilecek ürün miktan hesaplanır.

$$\frac{X_s - X_i}{0.001} \times 25 = \frac{2.014 - 1.986}{0.001} \times 25 = 700$$

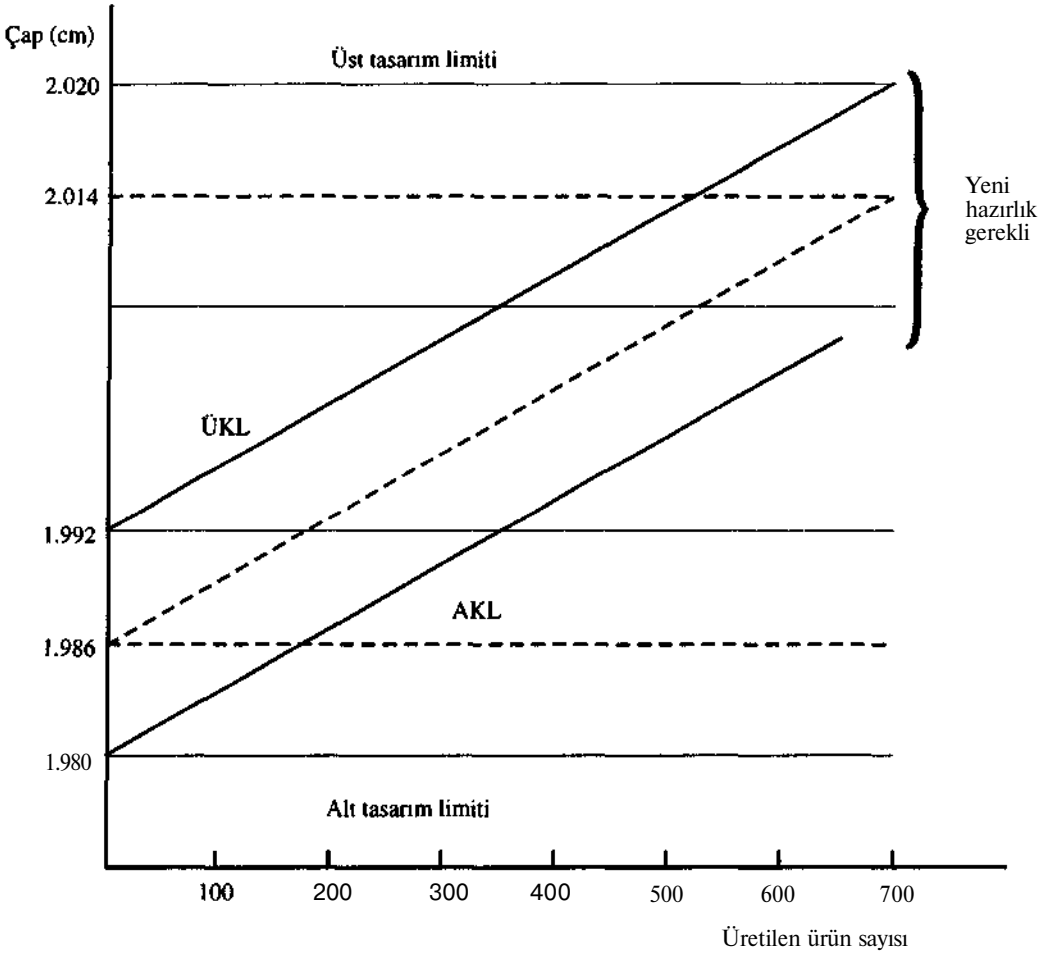
iv) Elde edilen bilgiler çerçevesinde dinamik kontrol şeması çizilir (Şekil.31).

Eğer üretilen ürünlerin çaplan ortadaki bantın içine düşmezse, donatım ciddi olarak incelenmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Niteliksel Ölçümler için Süreç Kontrol Şemaları

Niteliksel ölçümler için süreç kontrol şemalan, ürün kalitesinin hatalı ya da hatasız olarak tanımlanması durumunda geçerlidir. Örneğin, bir ampulün ışık verir ya da yanmış olması gibi. Bu tür kontrol şemaları ya hatalı ürünler oranına ya da bir bir birim çıktıdaki hatalı ürünlerin sayısına göre tasanmlanırlar. Bunlardan birincisine P-şeması, diğerine de C-şeması denir.

P-Şeması : P-Şeması ya da hatalı ürünler oranı şeması, dönemsel olarak alınan örneklerdeki hatalı ürün oranlannı gözleyerek üretim sürecini kontrol etmek üzere kullanılır. P-şeması, alınan nj büyüklüğündeki örnekde gözlenen Xj tane hatalı ürünün N tane örnek için kaydedilmesiyle oluşturulur. Gözlem yapılan ürünler, yalnız iki sınıfda olduklanndan, P şemasında, binom dağılım kullanılır. Uygulamada, binom dağılım normal dağılımla yaklaştırılır.



Şekil.31- Örnek problem için dinamik kontrol şeması

P-şemasının çiziminde aşağıdaki yol izlenir.

i) Her bir örnek için hata oranlan (Pj) hesaplanır :

$$P_{1} = \frac{\text{ÜL}}{n_1}, \quad p_{2} = \frac{M}{n2}, \ldots\ldots, P_{N} = \frac{M}{nN}$$

Orta çizgi ve kontrol sınırları hesaplanır:

Orta çizgi : $\bar{P} = \frac{P_1 + P_* + \ldots + P_n}{N} = \frac{\sum_{1}^{N} p_i}{N} = tL \pm$

$$ÜKS_p: \bar{P} = 3SP = \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$$

$$AKS_p: \bar{P} = 3SP = \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$$

Burada $\bar{P}$: gerçek hata oranının (P) kestirimi

Sp : binom dağılımının Standard sapmasıdır.

Kontrol şeması çizildikten sonra, Pı, P2....., PN değerleri şema üzerinde gösterilir ve limitler arasında olup olmadıkları gözlenir. Eğer bir ya da daha fazlası sınırların dışına düşerse, üretim süreci kontrol dışına çıktı denebilir.

Örnek: Otomatik üretim süreciyle kazak üreten bir kuruluş, sürecin kontrol altında olup olmadığını anlamak üzere, üretimin birinci haftasında büyüklüğü 50 olan 20 örneği rassal olarak almaktadır. Saptanan hatalı kazaklarla ilgili sayısal bilgi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

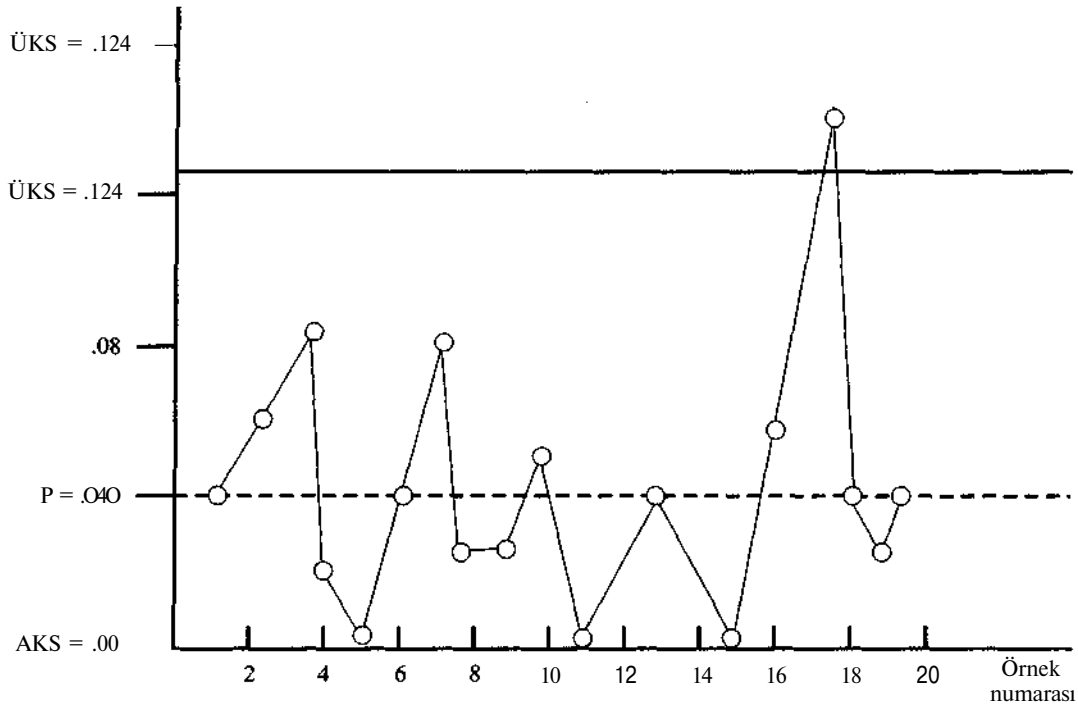
Örnek numarası	Hatalı Kazak Miktarı	Hatalı Kazak Yüzdesi
1	2	.04
2	3	.06
3	4	.08
4	1	.02
5	0	.00
6	2	.04
7	4	.08
8	1	.02
9	1	.02
10	3	.06
11	0	.00
12	1	.02
13	2	.04
14	1	.02
15	0	.00
16	3	.06
17	7	.14
18	2	.04
19	1	.02
20	2	.04

Üretim süreci için P- şemasının kontrol sınırları aşağıda hesaplanmıştır.

$$\bar{p} = \frac{P_1 + P_1 + \cdots + P_1}{N} = \frac{.04 + .06 + \ldots + .04}{20}$$

$$ÜKS_p = \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0.40 + 3\sqrt{\frac{.040\ (.960)}{50}} = .124$$

$$AKS_p = \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0.40 - 3\sqrt{\frac{.040\ (.960)}{50}} = .uuu$$



Şemadan da görüldüğü gibi, noktalardan birisi üst kontrol sınırının dışına çıkmıştır. Bu durum, makinanın bakımcı tarafından gerekli ayarının yapılmamasından kaynaklanabilir. Bunun için bu nokta atılarak yeniden kontrol sınırlan hesaplanır ve diğer noktaların durumu değerlendirilir. Eğer noktalar yeni sınırların arasında ise, süreç kontrol altında denebilir.

C- *Şeması*

Bazı ürünler, karmaşık yapılarından ötürü, kaliteleri niteliksel olarak ölçüldüklerinde, hatalı ya da hatasız sınıflarına sokulmazlar. Örneğin otomobiller, daktilo makinalan, sterio parçalan. Aynı durum, restoran ya da banka hizmetleri için de geçerlidir. Bu durumlarda, ürün ya da hizmetin performansı, herbir üründe ortaya çıkacak hatalı durum sayısına ya da örneğin, 100 müşteriden hizmet bakımından hoşnutsuz olanların sayılanna göre değerlendirilir.

Her bir üründe ya da hizmette ortaya çıkacak çeşitli hatalı durumlann olma olasılıklan çok küçük olduğu için, örnekleme sürecinin çıktılan Poisson dağılımı ile tanımlanır.

C- Şeması, üretim sürecinin, örneklerdeki birim çıktılann hatalı ya da hoşnutsuz durumlannı sayma yoluyla kontrol için kullanılır. C- şeması, hatalı ya da hoşnutsuz durumlann ortalama oranlan, C ve kontrol sınırlannı hesaplayarak tasarımlanır. Kontrol sınırlarının hesaplanmasında Poisson dağılımının standard sapması, S_c kullanılır. Şemayla ilgili ortalama oranlar ve kontrol sınırlannın hesaplanma şekli aşağıda gösterilmiştir:

$$\text{Orta çizgi} : \bar{C} = \frac{C_1 + C_2 + \cdots}{N} = \frac{\sum_{j=1}^{N} C_j}{N}$$

$$\text{Üst Kontrol Sınır} : \text{ÜKS} = \bar{C} + 3\,S_C = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}}$$

$$\text{Alt Kontrol Sınır} : \text{AKS} = \bar{C} - 3\,S_c = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}}$$

C- şeması çizildikten sonra, C değerleri şema üzerinde gösterilir. Eğer tüm C değerleri kontrol limitleri içine düşerse, söz konusu üretim süreci kontrol altındadır denebilir.

Örnek: Ankara Belediyesi, otobüs yolcularının günlük şikayetlerini otobüs hizmetinin kalite ölçüsü olarak tanımlamaktadır. 10 gün içinde alman şikayetlerle ilgili sayısal bilgi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Örnek no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Toplam
Günlük şikayet miktarı	4	8	2	0	3	9	10	0	6	4	40

Bu bilgiler ışığında, kontrol sınırlan aşağıda hesaplanmıştır :

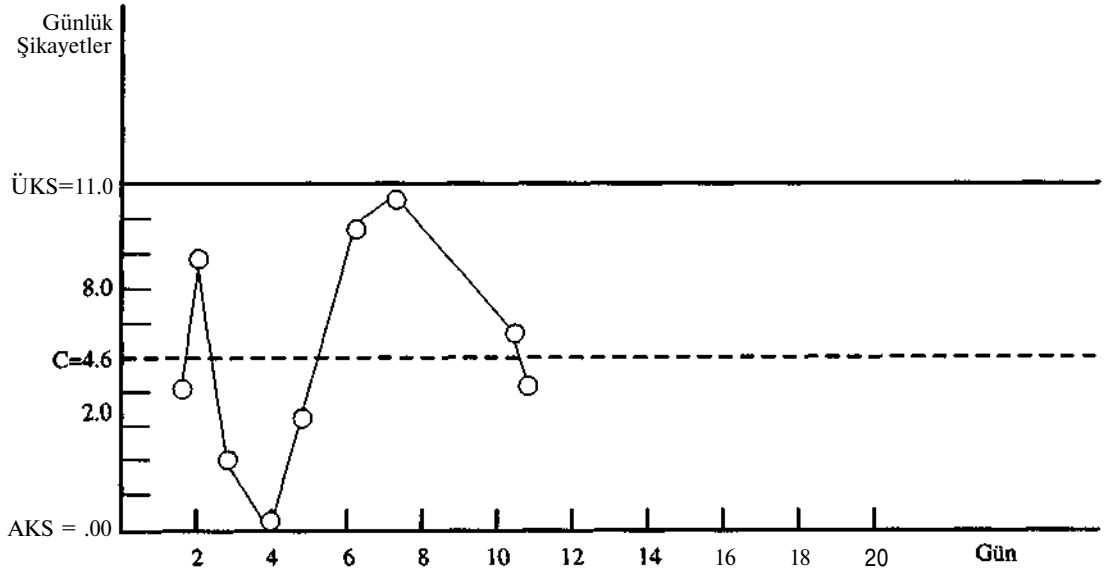
$$\bar{C} = \frac{C_1 + C_2 + \ldots + C_N}{N} = \frac{4 + 8 + \ldots + 4}{10} = 46$$

$\bar{C} = 4.6$ şikayet/gün

$S_C = \sqrt{\bar{C}} = \sqrt{4.6} = 2.14$

$ÜKS_c = \bar{C} + 3\,S_c = 4.6 + 3\,(2.14) = 11.0$

$AKS_C = \bar{C} - 3\,S_c = 4.6 - 3\,(2.14) = 0$

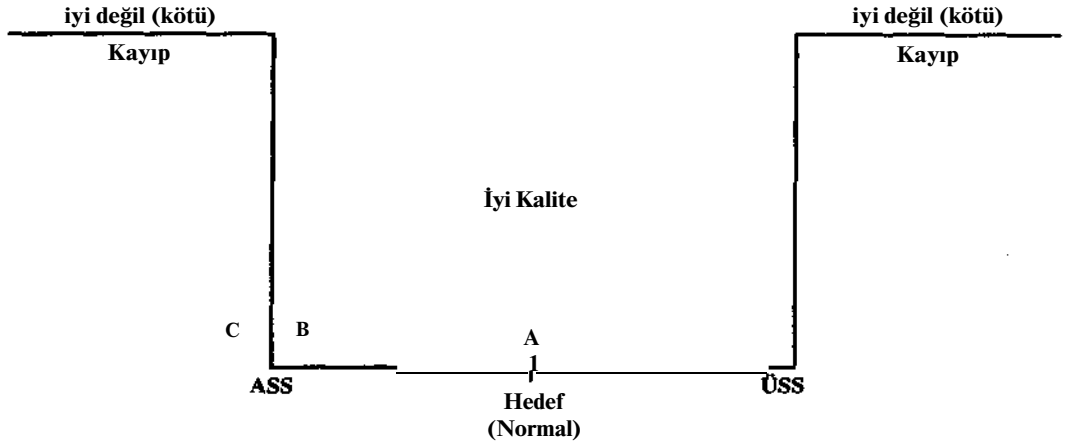


C değerleri kontrol sınırlan içinde olduğundan üretim süreci kontrol altındadır denebilir.

7. KAYIP FONKSİYONU VE İŞARET / GÜRÜLTÜ ORANLARI

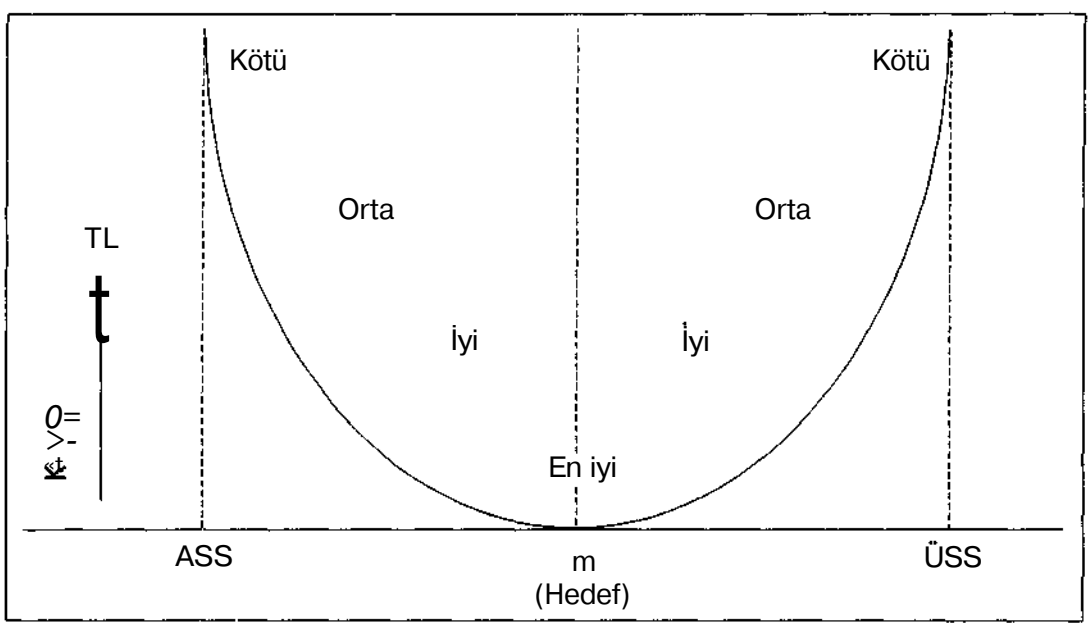
Kayıp Fonksiyonu

"iyi kalite düzeyinde üriin"ün geleneksel tanımı, öngörülen spesifikasyonlara uygunluk olarak bilinmektedir. Bu tanıma göre, spesifikasyon sınırlarının içine düşen ürünler iyi kalite düzeyinde kabul edilir, sınır dışına çıkanlarda kötü kalite düzeyinde diye reddedilir. Tanımın, şekilsel olarak görüntüsü aşağıda verilmiştir.



A : Hedef değerindeki ürün,
B : ASS a çok yakın fakat sınırlar içindeki ürün,
C : ASS a çok yakın fakat sınırlar dışındaki ürün

Bu şekilde, geleneksel *iyi kalite düzeyinde ürün* tanımına göre A ve B eşit kalite düzeyinde, B ve C farklı kalite düzeyinde varsayılmaktadır. Gerçekte B ve C nin kalite düzeyleri birbirine çok yakındır. Bu durumda, B ürünü kabul edilebilir bir ürün olarak düşünülebilirken C ürünü reddedilebilmektedir. Olaya tasarımcı gözüyle baktığımızda, B nin de C kadar kötü kalitede olduğu söylenebilir. Öyleyse bu probleme doğru yaklaşabilmek için, ürünün hedef değerinden sapma (değişim) maliyetinin sözkonusu değişimi azaltma maliyeti ile nasıl dengelenebileceğine bakmak gerekir. Burada önemli olan değişim maliyetinin hesaplanmasıdır. Dr. Taguchi, ürünün kalite düzeyinin step değil sürekli fonksiyonla simgelenebileceğinden hareketle, ürün kalite düzeyinin hedef düzeyden ayrılmasının maliyetinin hesaplanması için *Kayıp Fonksiyonu* yönetimini önermiştir. Taguchi'ye göre kalite düzeyi olgusu sürekli uzayda oluşur ve kalite kaybı, müşterinin kalite düzeyi ile algılanmasındaki düşüşün fonksiyonudur. Başka bir anlatımla, ürün kalite düzeyi hedef düzeyden uzaklaştıkça müşterinin kalite algılamasında düşüş olur ve buna karşı kalite düzeyinin düşmesinden kaynaklanan kayıplarda artış olur. Bu olguyu, şekilsel olarak göstermek istersek Şekil.32 deki görüntüyü elde ediriz.



Şekil.32- Kayıp fonksiyonu

Şekilden de görüldüğü gibi ürünün kalite düzeyi hedef düzeyinin civarında ise müşterinin algılaması en iyi iken, kalite düzeyi spesifikasyon sınırına yaklaştıkça, iyi, orta ve kötü olarak algılanmaktadır. Öte yandan müşterilerin algılamasına paralel olarak değişimin kayıp değerleri kuadratik fonksiyonla simgelenmektedir.

Kayıp fonksiyonunun kuadratik oluşunu destekleyen kuramlardan ve yaklaşımlardan biri kitlenin (population) gerçek değerini (hedef) simgeleyecek değerin hesaplanmasında kullanılan yöntemdir. Bu yönteme göre, öyle bir gerçek değer bulmalıyız ki bu değerin gözlenen değerlerden farkının karelerinin toplamı en küçük olsun.

$$S_{ra} = (y\,1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + _ + (y_n - m)^2$$

Burada,

y = kestirilmiş değer
m = gerçek değer (hedef)

Bu fonksiyonu enazlayacak m değeri, ki bu durumda aritmetik ortalama olacaktır, gerçekte kestirim hatalarını ve dolayısıyla kestirilen değeri kullanmanın yarattığı kayıpları enazlamaktadır.

Bu yaklaşımdan esinlenerek, toplumun kayıplarını enazlayacak bir teknik olarak kayıp fonksiyonu [L (y)] tekniği seçilebilir. L (y) yi, m dolayında Taylor serisiyle açacak olursak aşağıdaki seri elde edilir:

$$L(y) = L(m + y - m)$$

$$= L(m) + \frac{L'(m)}{1!}(y - m) + \frac{L''(m)}{2!}(y - m)^2 + \ldots\ldots$$

Eğer y = m ise kayıp enaz düzeyde olacaktır. Bu durumda L (y) = 0 varsayarsak L (m) = 0 ve L' (m) = 0 olacaktır.

Bu koşullarda Taylor Serisi aşağıdaki duruma indirgenmiş olacaktır.

$$L'(\dot{y}) \quad \frac{L''(m)}{2!}(y' - m)^2$$

Dr. Taguchi, 3. kuvvetteki terimin gerçekçi olmadığı ve 4., 5. ve diğer yüksek kuvvetlerdeki terimlerin çok küçük olmaları nedeniyle kayda değer olmadıklarını düşünerek kayıp fonksiyonu formülünü aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

$$L(y) = k(y - m)^2$$

Burada k = kuadratik değişmez

Eğer A simetrik spesifikasyon genişliğinin yarısını, (A = m . ASS = ÜSS - m) ve A, m nin A kadar sapmasının maliyetini simgelerse, k değeri aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

A

y lerin kesikli olması durumunda

$L(yi) = k(y_{(} - m)^2$ olur.

Öte yandan, mademki bir referans noktasından sapmaların karelerinin toplamı değişiklik (o^2) dir, kayıp fonksiyonu kitleden alınmış bir örnek için aşağıdaki formülle tanımlanabilir:

$L = k\,o^2$ (Bir ürünün ortalama kaybı)

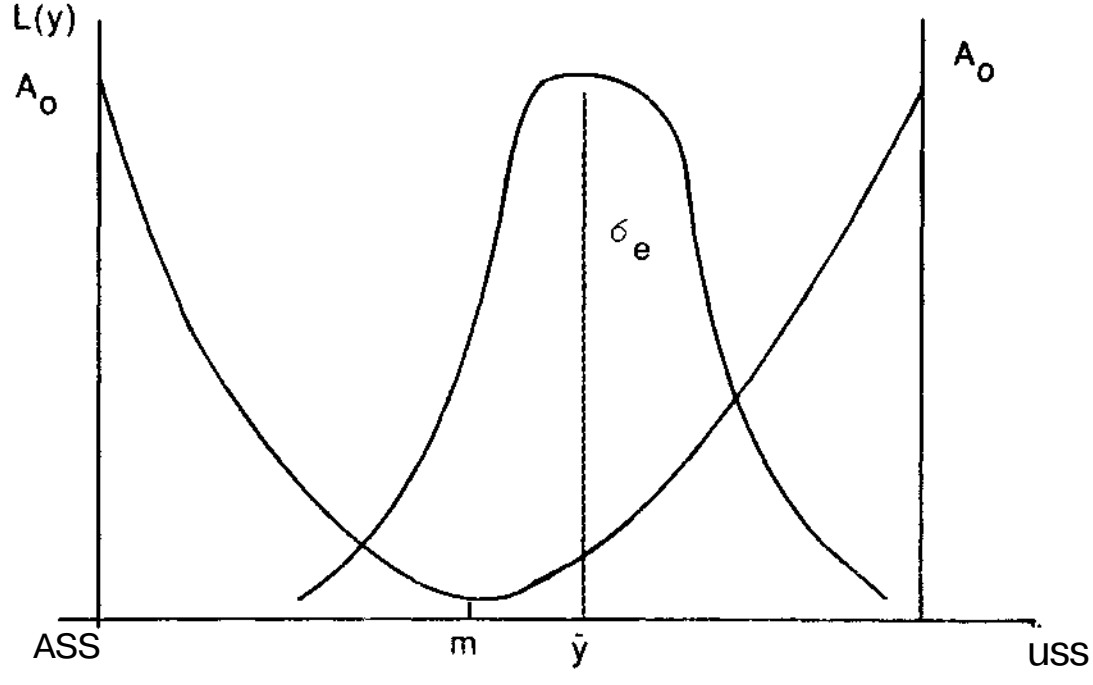
En Çok Kullanılan Kayıp Fonksiyonları : Kayıp fonksiyonunun Standard şekli olan $L = k\ddot{o}^2$, değişmemekle birlikte, çeşitli denklemlerle hesaplanabilen şekillerini tanımlamak olanaklıdır. Kayıp fonksiyonlarının farklı oluşunun temelinde, değişikliğin a^2 tasarım amaçlarına göre farklı şekillerde hesaplanması vardır. Taguchi, statik kalite karakteristikleri için üç amaç kategorisi belirlenmiştir. Bunlar:

i) Hedef değeri (nominal) en iyisi
ii) Küçük değer en iyisi
iii) Büyük değer en iyisi.

Hedef değer en iyisi amacı aşağıdaki iki durum söz konusu olduğu zaman geçerlidir:

- Ortalama değer ȳ(y) hedef değerle çakıştığı zaman kayıp en küçük değeri alırsa
- Ortalamadan sapmalar iki yönlü olursa

Şekil.33 bu durumları göstermektedir.



Şekil.33- Hedef değer en iyisi için kayıp fonksiyonu

Toplanı değişiklik aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\sigma_T^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_i - m)^2$$

$$= \frac{1}{n-1}\left[\sum (y_i - \bar{y})^2\right] + (\bar{y} - m)^2$$

$$= \sigma_e^2 + (\bar{y} - m)^2$$

Bu durumda toplam değişiklik aşağıdaki şekli alır:

$$L = k\sigma_e^2 + (\bar{y} - m)^2$$

Küçük değer en iyisi amacı aşağıdaki durumlar için geçerlidir:

- Ortalama değer sıfır olduğu zaman kayıp en küçük değerini alırsa
- Ortalamadan sapma yalnız pozitif yönde olursa.

Bu amacın uygulandığı durumda toplam değişiklik aşağıdaki gibi olur:

$$\sigma_T^2 = \sigma_e^2 + \bar{y}^2$$

$$= 1 \quad y_i^2$$

n

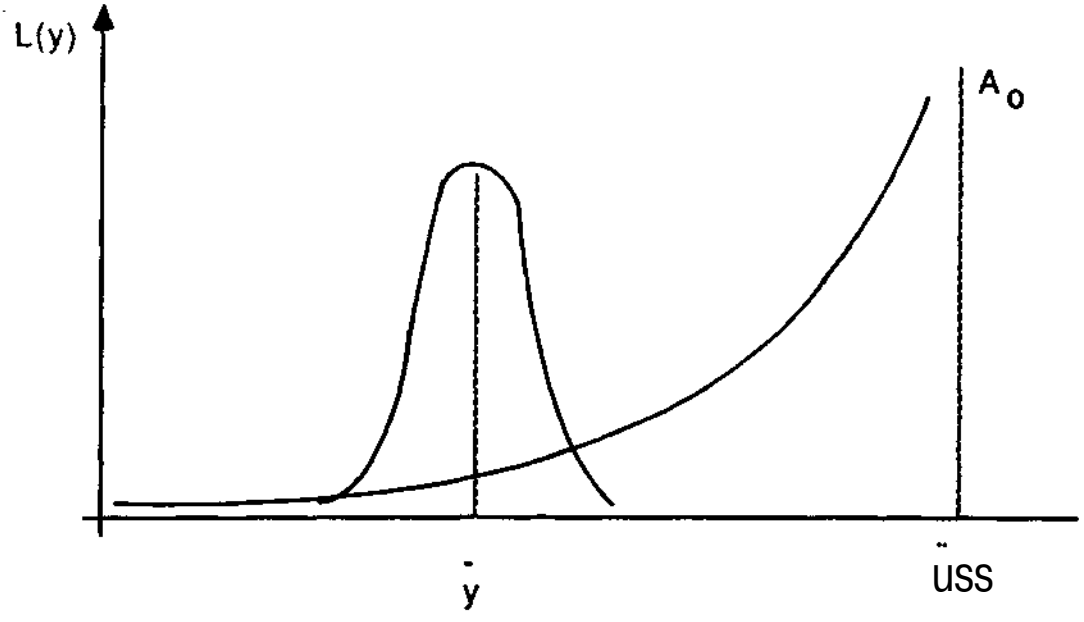
Kayıp fonksiyonu aşağıdaki formülle tanımlanır:

$$L = \frac{n}{} \quad y_?$$

Şekil.34 bu amaçla ilgili kayıp fonksiyonunun dağılımını ve gözlemlerin dağılımını göstermektedir.

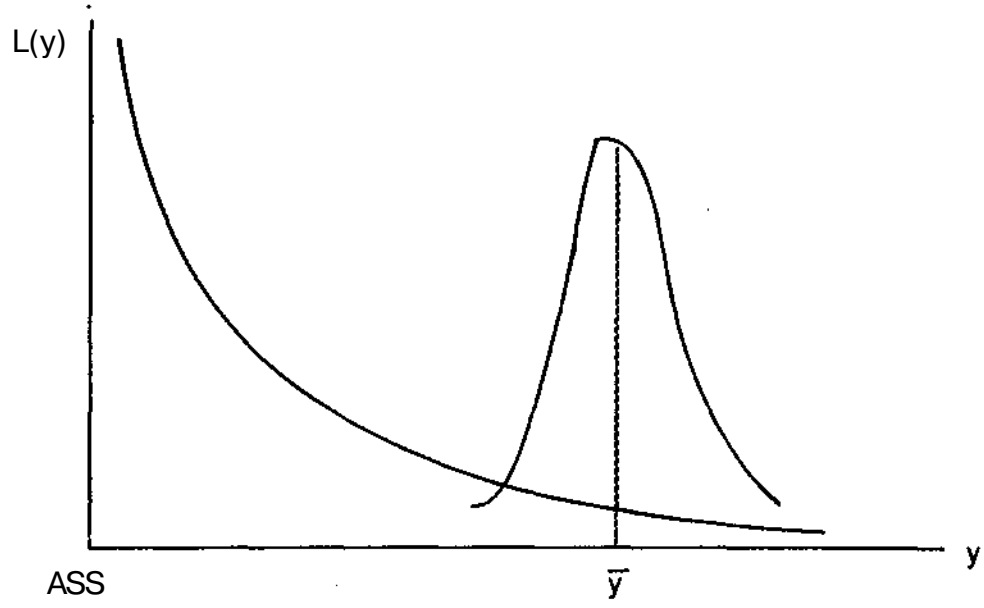
Büyük değer en iyisi amacı, ortalama değerin + da olması durumunda kayıp fonksiyonu en küçük değeri alıyorsa ve ortalamadan bir sapma olmuyorsa uygulanabilir. Bu amaç için kayıp fonksiyonu aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$L = \frac{\&}{n} \quad -L$$



Şekil.34-Küçük değer en iyisi için kayıp fonksiyonu

Şekil.35 büyük değer en iyisi amacı için kayıp fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil.35 Büyük değer en iyisi için kayıp fonksiyonu

İşaret ve Gürültü Oranları (S / N)

işaret ve Gürültü Oranlan, incelenmekte olan kalite karakteristiklerinin gürültü etmenlerine olan duyarlılığı ölçmek için kullanılan oranlardır. Taguchi, bu kavramı etkin bir şekilde kullanarak deneylerden en iyi parametre düzeylerini bulmuştur.

Gözlemlerden elde edilen sonuçlan S / N oranlarına çevirmek için iki aşamadan geçmek gerekir, ilk önce sapmalann karelerinin ortalaması (SKO) bulunur, sonradan S / N oranı SKO dan hesaplanır,

$$S/N = -10\log_{10}(SKO)$$

SKO, kalite karakteristiğinin amaç katagorisine göre farklı formüllerle hesaplanır.

tşaret Gürültü Oranının Deney Tasarımında Kullanımı : S / N oranı her bir deney koşulunda tekrarlı gözlemlerin yapıldığı deney tasanmlannda etkin kullanılan bir araçtır. Taguchi S / N oranı ile yığın ortalamasının hedef değerinden sapmasını ve ortalama çevresindeki sapmalan pratik bir şekilde ölçmenin olanaklı olduğunu göstermiştir. S / N oranının parametre tasanmndaki uygulama yordamı, aşağıdaki adımlar olarak belirtilmiştir. Uygulama *hedef değeri en iyisidir* amacı üzerinde gösterilmiştir.

Adım 1. Her bir deney için elde edilen veriler S / N oranına çevrilir.

Adım 2. S / N değerlerini kullanarak aşağıda gösterilen ANOVA çizelgesi oluşturulur.

Kaynak	df	s	v
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
T			

Adım 3. Önemsiz etmenlerin birleştirilmesi ve yeni ANOVA nın oluşturulması

Yeni ANOVA da içerilen bilgiler aşağıda gösterilmiştir.

Kaynak	df	S	V	S'	%

Adım 4. Önemli etmenler için en iyi düzeylerin seçimi. Bunu gerçekleştirmek üzere önemli etmenlerin farklı düzeyleri için ortalama S / N oranları çizelgesi oluşturulur ve yanıt (respons) grafikleri çizilir. Yanıt grafiklerinin eksenleri etmen düzeyleri ve ortalama S / N oranlandır. Grafiklerden en yüksek S / N oranına karşı gelen düzey en iyi düzey olarak kabul edilir.

Adım 5. *Hedef değeri en iyisidir* amacı ile parametre tasarımında duyarlılık analizi yapılır. Duyarlılık analizi, ortalama yanıt hedefe yaklaştırmak için ayarlamada hangi parametrenin işaret etmeni olarak kullanılabileceğine karar vermede katkısı olan bir yaklaşımdır. Duyarlılık analizi için ham veri aşağıdaki formülle S / N oranına dönüştürülür.

$$S/N = 10 \log_{10} S_m$$

Burada;

S / N değerleri ile yeni bir ANOVA çizelgesi oluşturulur ve ortalama duyarlılık değerlerinden yararlanılarak respons eğrileri çizilir. Bu eğrilerden en önemli işaret etmenleri belirlenir ve hedef değerine karşı gelen duyarlılık değeri hesaplanır. Bu aşamada aynca süreç tahmin denklemi önemli işaret etmeni cinsinden ($n<j_{uy}$) hesaplanır ve bu değer ile duyarlılık değerinin farkı alınarak önemli işaret etmeninin değeri bulunur. Bu değer, Ha_{uy} denkleminde yerine konarak (iduy değeri bulunur. Bu bilgiler ışığında beklenen ortalama yanıt değeri hesaplanır. Duyarlılık analizi, *büyük değer en iyisidir* ve *küçük değer en iyisidir* amaçlan için yapılmaz.

Adım 6. S / N için süreç tahmin denkleminin yazılması ve güçlü tasanm için beklenen *fazilet değeri* (figüre of merit) belirlenir. Bu değer tasanmcının S / N oranlarının deney için yeterli olup olmadığı kararını etkiler.

KAYNAKÇA

(1) CHASE, R.B. ve N.J. Aquilano, **Production and Operations Management,** Richard D. Irwin, Inc. 1981.
(2) DERVÎTStOTİS, K.N., **Operations Management McGraw-Hill,** 1981
(3) GAİTNER, N., **Production and Operations Maagement,** The Dryden Press, 1980.
(4) MONKS, J.G., **Operations Management Theory and Problems,** McGraw-Hill, 1982
(5) JURAN, J.M ve G.M. Frank, **Quality Planning and Analysis,** McGraw-Hill, 1993.
(6) ROY, R., **A Primer On The Taguchi Tethod,** Van Nostrand Reinhold, 1990.
(7) TAGUCHİ, G., ELSAYED, T. HSIANG, T., **Quality Engineering in Production Systems,** McGraw-Hill, 1989.
(8) PHADKE, M.S., **Quality Engineering Using Robust Design,** Prentice Hail, 1989.

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ EL KİTABI

ÜRETİM ve TASARIM
Cilt 2

Baskıya Hazırlayan
A. **Münir CERİT**
Makina Yük. Mühendisi

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

YAYIN NO.: 170

2. BASIM

SUAT SEZAİ GÜRÜ'nün anısına

Koordinasyon

MMO Kitap Komisyonu
Ali Münir CERİT
Prof. Dr. Alp ESİN
Doç. Dr. Kahraman ALBAYRAK
Bilal BAYRAM

BÖLÜM 19

İŞÇİ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

Hazırlayan

Hikmet YAŞAR, Kimya Yk. Mühendisi, Danışman

Sayfa

1. Tanımlama ve Önemi 02
2. Kısa Tarihçe ve Yasal Yayınlar 02
3. ilgili Kuruluşlar 05
4. İşçi Sağlığı ve iş Güvenliğiyle ilgili Olaylar 05
5. işçi Sağlığı ve iş Güvenliğiyle ilgili Önlemler 09

KAYNAKÇA 12

EKLER

No.

Kazaların Sıklık ve Ağırlık Oranlan 1

ÇSG Bakanlığı Teşkilat Şeması 2

Yan Sınu Çsem 3

Kaza ön Rapor Örneği 4

tş Güvenliği Sloganları Slaytları 6

ÎŞÇÎ SAĞLIĞI VE ÎŞ GÜVENLİĞİ

1. TANIMLAMA VE ÖNEMİ

îşçi Sağlığı ve İş Güvenliği iş Kanunu kapsamına giren işyerlerinde bulunması gerekli sağlık koşullarının yerine getirilmesi ile kişi çevre ilişkilerinde mekanik, kimyasal, elektriksel ya da başka etkenlerle üretim ve uyumluluğun kesintiye uğraması ya da bozulup tahrip olmasına karşı gerekli önlemlerin alınmasıdır.

Kısaca İşçi Sağlığı ve iş Güvenliği çalışanları, iş yerini ve üretimi korumaya yönelik önlemlerin tümüdür.

Günümüzün gelişen teknolojisi beraberinde işçi Sağlığı ve iş Güvenliği sorunlarını da getirmektedir. Bu sorunlar toplumun sosyal ve ekonomik yapısıyla doğrudan ilgili olarak sağlık ve sosyal konuların ayrılmaz bir bölümü oluştururlar.

Bugün bütün dünyada iş kazaları ve meslek hastalıkları nedeniyle çok sayıda insan yaşamını yitirmekte ya da sakat kalmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) saptamalarına göre dünyada her üç dakikada bir işçi iş kazası ya da meslek hastalığından ölmektedir. Aynı kaynağa göre 10 milyon işçi iş kazası geçirmekte ve 180000 kişi yaşamını yitirmektedir. Yurdumuzda da SSK istatistiklerine göre 1989 yılında 159463 iş kazası sonucu 1459 kişi ölmüş, 26340 kişi de ömür boyu özürlü kalmıştır. Bu kazalarla 300 milyarlık üretim kaybına uğranılmıştır. Bu ölüm ya da özürlü kalma olayları ailenin sosyal ve ekonomik yapısında büyük yaralar açtığı gibi ulusal ekonomiyi de olumsuz yönde etkilemektedir.

Bir işyeri kurma ve işletme durumunda olanlar işçi Sağlığı ve İş Güvenliği konusundaki yasal yayınlan bilmek, bunları uygulamak ve uygulatmak zorundadırlar. Önlemenin ödemeden herzaman daha ucuza geldiği gerçeği gözardı edilmeden sağlık ve güvenlik konularında gerekli her türlü çalışmaların yapılarak önlemlerin alınarak sosyal ve ekonomik sarsıntılara yer verilmemesi ile işyeri veriminin arttırılmasını sağlamak uygarca bir çaba olacaktır.

2. KISA TARİHÇE VE YASAL YAYINLAR

İnsanların yaptıktan işler ile sağlıktan arasındaki ilişkinin Milattan önceki yıllarda dahi var olduğu bilinmektedir. Ancak bu konudaki gerçek uğraşılar sanayileşme hareketinden hemen sonra gündeme gelmiştir, ingiltere'de 1819-1891 yıllannda çıkarılan yasalarda iş güvenliği konulan da yer almaktadır. Sanayileşme paralelinde Almanyada 1839 da, Isviçrede 1840 ta, Fransada 1841 de ve Amerikada 1877 de çıkanlan yasalarla beraber işçi sağlığı ve iş güvenliği konulan gündeme gelerek yürürlüğe girmiştir. Bugün ABD ülkesinde "National Safety Council" Bakanlık düzeyinde bir kuruluş olarak yurt çapında bütün teknik güvenlik konalannın yapımcısı, yöneticisi ve başvuru kaynağı olma niteliğindedir.

1919 yılında "Uluslararası Çalışma Örgütü, ILO" kurulmuş, bu kuruluş 1944 yılında reorganizasyonla tüm dünya ülkelerini kapsayacak biçimde çalışma statüsüne kavuşturulmuştur. Bu kuruluşa ülkemiz de üye olmuş bulunmaktadır.

Yurdumuzda ilk defa 1865 yılında kömür ve maden işçilerini kapsayan, "Dilaver Paşa Nizamnamesi" diye anılan bir yasal yayın çıkarılmıştır. Ancak bugün için geçerli yayınlar aşağıda verilmiştir :

Kanunlar

Kanun No	Kanun Adı	Resmi Gazete Tarih ve Sayısı
151	Ereğli Havzai Fahmiyesi Maden Amelesinin Hukukuna Müteallik Kanın	10.9.1337/1927
818	Borçlar Kanunu	8.5.1926/1748
1580	Belediyeler Kanunu	3.4.1930/1471
3153	Radyoloji, Radyum ve Elektrikle tedavi ve Diğer Fizyoterapi Müesseseleri Hakkında Kanun	28.4.1937/3591
1475	iş Kanunu (Çeşitli değişiklik ve düzeltmelerle)	1.9.1971 /13943
854	Deniz İş Kanunu (Çeşitli değişiklerle)	24.2.1967/12586
5953	Basın Mesleğinde Çalışanlarla Çalıştıranlar Arasındaki Münasebetlerin Tanzimi Hakkında Kanun	20.6.1952/8140 12.2.1954/6253 4.1.1961/212 25.6.1973/1761

(Devam)

5680	Basın İş Kanunu		27.7.1950/7564 15.5.1979/16638
1593	Umumi Hıfzıssıhha Kanunu		6.5.1930/1489 23.11.1973/14370
1479	Esnaf ve Sanatkarlar ve Diğer Bağımsız Çalışanlar Sosyal Sigortalar Kurumu Kanunu		14.9.1971/13956 4.5.1979/16629
506	Sosyal Sigortalar Kurumu Kanunu (Çeşitli değişikliklerle)		20.7.1964/11766
2822	Toplu iş Sözleşmesi, Grev ve Lokavt Kanunu (Değişiklik)		7.5.1983/18040 19.6.1986/19139 2.6.1988/19830
2872	Çevre Kanunu		11.8.1983/18132
2821	Sendikalar Kanunu	(Değişiklik)	7.5.1983/18040 29.8.1983/18150 2.6.1986/19139

Tüzükler

Tüzüğün Adı	Resmi Gazete Tarih ve Sayısı
Radyasyon Sağlığı Tüzüğü	25.3.1967/12582
Sosyal Sigorta İşlemleri Tüzüğü	14.4.1972/14159
Sosyal Sigorta Sağlık İşlemleri Tüzüğü	22.6.1972/14223
İşçi Sağlığı ve iş Güvenliği Kurulları Hakkında Tüzük	19.2.1973/14453
İşçi Ücretlerinden Kesilen Ceza Paralarını Kullanmaya Yetkili Kurulun Kuruluşu ve Çalaşma Esaslan Hakkında Tüzük	19.2.1973/ 14453
Hazırlama, Tamamlama ve Temizleme İşleri Tüzüğü	12.3.1973/ 14474
İş Süreleri Tüzüğü	12.3.1973/ 14474 6.4.1973/ 14499
Haftalık iş Sürelerine Bölünemeyen Çalışma Süreleri Tüzüğü	17.3.1973/ 14479 26.4.1973/ 14518
Postalar Halinde İşçi Çalıştırılarak Yürütülen işlerde Çalışmalara İlişkin Bazı Özel Usul ve Kurallar Hakkında Tüzük	4.4.1973/ 14497 21.4.1973/ 14544 26.4.1973/ 14518
Fazla Çalışma Tüzüğü	4.4.1973/ 14497
(Düzeltme)	26.4.1973/ 14518
Ağır ve Tehlikeli İşler Tüzüğü	9.4.1973/ 14502
İşçi Çalışma ve Kimlik Karnesi Tüzüğü	24.5.1973/ 14544
Kadın İşçilerin Sanayie Ait İşlerle Gece Postalannda Çalıştınlma Koşullan Hakkında Tüzük	22.8.1973/14633
Askeri İşyerleriyle Yurt Emniyeti İçin Gerekli Maddeler imal Olunan işyerlerinin Denetim ve Teftişi Hakkında Tüzük	10.12.1973/14738
Parlayıcı, Patlayıcı, Tehlikeli ve Zararlı Maddelerle Çalışan işyerlerinde ve işlerde Alınacak Tedbirler Hakkında Tüzük	24.12.1973/14752
işçi Sağlığı ve iş Güvenliği Tüzüğü	11.1.1977/14765
Yapı İşlerinde işçi Sağlığı ve iş Güvenliği Tüzüğü	12.9.1974/15004
iş Teftiş Tüzüğü	28.8.1979/16788
iş Kollan Tüzüğü	6.12.1983/18243
işçi ve işveren Sendika ve Konfederasyonlannm Devletçe Denetlenmesine İlişkin Tüzük	6.5.1984/18393
Sağlık Kurallan Bakımından Günde Ancak 7,5 Saat ya da Daha Az çalışılması Gereken işler Hakkında Tüzük	27.7.1984/18471

(Devam)

Maden ve Taşocakları işletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak işçi Sağlığı ve iş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük	22.10.1984/18553
Radyasyon Güvenliği Tüzüğü	7.9.1985/18861
Sakatların İstihdamı Hakkında Tüzük	16.3.1987/19402
Eski Hükümlülerin istihdamı Hakkında Tüzük	17.3.1987/19403
Gebe ve Emzikli Kadınların Çalıştırma Şartıyla Emzirme Odaları ve Çocuk Bakım Yurtlarına Dair Tüzük	10.4.1987/19427
işyerlerinde işin Durdurulmasına ya da İşyerlerinin Kapatılmasına İlişkin Tüzük	14.6.1987/19487
Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük	29.9.1987/19589

Yönetmelikler

Yönetmeliğin Adı	Resmi Gazete Tarih ve Sayısı
Askeri Işyerileri ile Yurt Eminiyeti için Gerekli Maddeler imal Olunan işyerlerinde İşin Durdurulmasına ya da İşyerlerinin Kapatılmasına Karar Vermeye Yetkili Komisyonun Yapısı, Çalışma Şekli ve Esasları Hakkında Yönetmelik	11.1.1989 / 20046
Gayrisıhhi Müesseselere Ait Yönetmelik (Çeşitli değişiklik ve düzeltmeler)	19.31968/12852
Elektrik iç Tesisat Yönetmeliği	27.3.1971/13806
Sakatların ve Eski Hükümlülerin Çalıştıramalan Hakkında Yönetmelik (Çeşitli değişiklikler)	21.1.1972/14079
Asgari Ücret Yönetmeliği	12.2.1972 / 14097
Yıllık Ücretli İzin Yönetmeliği	25.7.1972/14256
İşyerlerinde Açılacak Kantinler Hakkında Yönetmelik	19.6.1972/19220
Kaynak Sulan Yönetmeliği	17.6.1974/14918
Elektrik Kuvvetli Akım Tesisat Yönetmeliği	21.11.1978/16466
Elektrik Enerji Tesisleri Yönetmeliği	9.12.1978/16484
Nükleer Santrallann Güvenlik Uygulama Kuralları için Tanınması Yönetmeliği	23.6.1979/16675
Kuvvetli Akım Elektrik Dağıtım ve Bakım Yönetmeliği	29.6.1979/16681
Özel Nükleer Maddelerin Fiziksel Korunma Önlemleri Yönetmeliği	20.7.1979/16702
işyeri Hekiminin Çalışma Şartıyla Görev ve Yetkileri Yönetmeliği	4.7.1980/17037
Makina Koruyucuları Yönetmeliği	17.5.1983/18050
506 Sayılı S.S.K na 3279 Sayılı Kanunla Eklenen Ek 2 nci Madde Hükmüne Göre, Çocuklara Temin Edilecek Protez Araç ve Gereçlerine Dair Yönetmelik	16.9.1986/19223
Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği	2.10.1986/19269
Gürültü Kontrol Yönetmeliği	11.12.1986/19308
Aday Çırak, Çırak ve İşletmelerde Beceri Eğitimi Gören Öğrencilerin Sigorta İşlemleri Hakkında Yönetmelik	29.1.1987/19356
Çıraklık ve işletmelerde Yapılan Meslek Eğitiminin Denetimi Hakkında Yönetmelik	1.4.1987/19418
Sosyal Sigortalar işlemleri Yönetmeliği	30.10.1987/16619

(Devam)

Gemi Adamlarının İkamet Yerleri, Sağlık ve İaşelerine Dair Yönetmelik	20.12.1989/20378
Maden ve Taşocakları işletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik	14.9.1990 / 20635

3. İLGİLİ KURULUŞLAR

İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği konularıyla doğrudan ilgili Kuruluş Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Birimleridir. Bakanlığa ait organizasyon şemasında görülen "işçi Sağlığı D. Bask., İşçi Sağlığı İş Güvenliği Mrk. Md. lüğü, İş Teftiş Kurulu Bşk.'lığı, Ar. Pln. Koor. Kur. Bşk. lığı ve Hukuk Müşavirliği birimleri yurt çapında bilgi kaynağı olma yanında uygulayıcı ve denetleyici nitelik taşımaktadırlar.

Ek-2 de Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın kurluş şeması görülmektedir. Özellikle "İşçi Sağlığı Daire Başkanlığıyla bunun alt birimleri işçi sağlığı ve iş güvenliği konularında her türlü teknik desteği sağlayabilecek uzmanbirimlerdir. Bu konuda her türlü yayın, broşür, slogan ve diğer eğitim malzemeleri sağlanabilir, sağlanamayanların da sağlanacağı referans adresler verilebilir.

Ulusalararası Çalışma Örgütü de (ILO) dış dünyaya işçi sağlığı ve iş güvenliği konularında açılabilme merkezidir. Türkiye temsilciliği bulunmaktadır.

ILO Kuruluşuna Ülekemiz de üye olmuştur, ancak bu kuruluş çalışmalarında öngörülen ve alınan kararlara ülke koşulları ve çıkarları doğrultusunda belirli oranlarda uyulmaktadır. Fakat bilgi toplama ve diğer çalışmalarının zenginliği dolayısıyla kuruluşlarımızın ILO ile temasını sürdürümesinde büyük yararlar vardır.

Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı da işyerlerinin atıkları ve gürültüleri hususlarında "Çevre Kanunu" gereklerini yerine getiren bir kuruluşu olarak referans verilebilir.

4. İŞÇİ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ İLE İLGİLİ OLAYLAR

Kişiye bağlı özellikler ve çevre etkenlerinden kaynaklanabilen işçi sağlığının bozulmasını ancak koruyucu hekimlikle önleyebiliriz. İşyerlerinde uygulanan koruyucu hekimliğe "İş Hekimliği" adı verilmektedir. İşçi sağlığı, her meslekte çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal iyilik hallerini en yüksek düzeyde tutmak, sağlıklarına gelebilecek zararları önlemek, işçiyi fizyolojik ve psikolojik yeteneklerine uygun işe yerleştirmek ve böylece işi insana ve insanı işe adapte etmeyi amaçlayan bir tıp dalıdır. Özetle amaç :

- Çalışanlara en yüksek sağlık kapasitesini sağlamak,
- Çalışma koşullarının olumsuz etkilerinden onları korumak,
- İş ve işçi arasında mümkün olan en iyi uyumu sağlamaktır.

Umumi Hıfzıssıhha Kanuna göre bir işyerinde "Devamlı olarak en az 50 işçi çalıştıran işverenler, asgari bir tabibin murakabesini temine mecburdur. Hastanesi olmayan veya şehir haricindeki yerlerde bir hasta odası ve ilk yardım vasıtaları buludurulacaktır. 100-500 daimi işçisi olan işyerlerinde bir revir, 500 den fazla işçisi olan işyerlerinde her 100 işçiye bir yatak hesabıyla hastahane yapılacaktır" (Madde 180).

Bir işyerinde gerekli sağlık ve güvenlik önlemleri alımmadığı taktirde istenmeyen ağır sonuçlu olaylar meydana gelebilmektedir. Bunların başlıcalan aşağıda görülmektedir.

Bulaşıcı Hastalıklar

İşyeri personeli işe girme sırasında hasta olabildiği gibi daha sonra da bulaşıcı hastalık mikrobu alarak hastalabilir. Böylece iş sürecinde topluma yansıyan hastalık salgın halde görülebilir. Daha fazlası da kitle ölümlerine neden olabilir.

Meslek Hastalıkları

Sosyal Sigortalar Kanunu'nun 11 inci maddesi meslek hastalıklarını şöyle tanımlar : "Meslek hastalığı, sigortalının çalıştırıldığı işin niteliğine göre tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartlan yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, sakatlık veya ruhi arıza halleridir." Meslek hastalıklarının da nedenlerine bağlı olarak çeşitlei bulunmaktadır.

Zehirlenmeler

Bazı kimyasal maddelerin ya da mikroorganizmelerden kaynaklanan toksik bileşiklerin cilt, solunum ya da

oral (ağız) yoldan vücuda girerek organizmanın işlevlerini kısmen ya da tamamen bozmasıdır. Zehirlenmelere neden olacak başlıa etkenler işyeri atmosferinin kirlenmesi, zehirli maddelerin gıda maddelerine kanşmaları, gıda maddelerinin hazırlanması sırasında mikrobik üremelere karşı önlem alınmaması yani gıda maddelerinin bozulup kokuşmasına yol açma gibi olaylardır. Aynca kırsal bölge işyerlerinde yılan, akrep, örümcek gibi hayvanlardan kaynaklanan zehirlenemeler de önemlidir.

İş Kazaları

ILO kaynaklanndan işçi sağlığı ve iş güvenliği ansiklopedisinde iş kazası şöyle tanımlanmaktadır : iş kazası belirli bir zarara ya da yaralanmaya neden olan, beklenmeyen ve önceden palanlamamış bir olaydır. Sosyl Sigortalar Kanununun 11 inci maddesi de "iş kazası, aşağıdaki hal ve durumlardan birinde meydanagelen ve sigortahyı hemen ya da sonradan bedence ya da ruhça anzaya uğratan olaydır.

- Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada,
- işveren tarafından yürütülmekte olan iş dolayısıyla,
- Sigortalanın, işveren tafından görev ile başka bir yere gönderilmesi yüzünden asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda,
- Emzikli kadın sigortalının çocuğuna süt vermek için aynlan zamanlarda,
- Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere toplu olarak götürülüp getirilmeleri sırasında" şeklinde tarif edilmektedir.

İş Kazalarının anatomisi

Başlıca 4 bölümde incelenebilir :

- Yardımcı, nedenler,
- Ani nedenler,
- Kaza,
- Kazanın sonuçlan.
- Yardımcı Nedenler.

Yöneticinin İş Güvenliği Başarısı

işyeri amirigerekli güvenlik önlemlerini yeteri düzeyde almayabilir, bunlar :

- Güvenlik talimatlan yok ya da eksik,
- Güvenlik kuralları uygulanamıyor,
- işle ilgili güvenlik planlaması yoktur,
- İşçiyle güvenlik temasları az yapılıyor,
- Daha önce görülen aksaklıklar düzeltilmemiş,
- Koruyucu önlemler alınmamış,
- Ergonomiye (insan-makina-çevre uyumu) yer verilmemiştir.

Kişisel Düşünce Tarzı

işyerinde çalışanın kişisel düşünce yapısına bağlı olarak ta iş kazalarına yeşil ışık yakılabilir. Bundan kaynaklanan nedenler:

- Güvenlik kurallarını bilmeme,
- Koordinasyon eksikliği,
- Davranış uygunsuzluğu,
- Zihnin yavaş faaliyeti,
- Dikkatsizlik,
- Dengesiz ruh hali,
- Sinirlilik ve çabuk kızma.

Gibi hususlardır.

Kişinin Fiziksel Durumu

Çalışanın aşağıdaki etkenlerden ötürü iş kazasına neden olacağını ortaya koyar :

- Fazla yorgunluk,
- Sağırlık, göz bozukluğu, kalp rahatsızlığı,
- işe uygun olmayan fiziksel yapı ve diğer fiziksel yapı kusurlan.

Ani Nedenler

Bunlar da tehlikeli hareketler ve tehlikeli durumlardan ibarettir.

Tehlikeli Hareketler

- Yetersiz güvenlik tertibatı,
- Gerekli olduğu halde güvenlik önlemi yok,
- İş yeri temiz ve düzenli değil,
- Arızalı makina, araç-gereç ve aletler,
- İşe uygun olmayan giysiler,
- Kötü aydınlatma ya da havalandırma.

Kaza

Kaza ile hem çalışan hem de işyeri makina ve malzemeleri hasar görebilir. Hatta ölüm olayı ve komple tesisin yok olması da söz konusudur. Başlıca kaza türleri :

- Düşme, kayma, bir yere çarpma,
- Kaçırma ya da kaydırma,
- Sıkışma ya da kaptırma,
- Patlama ya da parçalanma,
- Yanma.

Kazanın Sonuçları (*)

- Hafif yaralanma, ağır yaralanma ya da ölüm,
- Üretim veriminin azalması ya da üretimin tamamen durması,
- Kalite düşmesi ve mamul bozukluğu,
- Tüm personelin moral bozukluğudur.

Yapılan incelemek göstermiştir ki yurdumuzda 1989 yılındaki iş kazalarının %7,96 sı makinalardan, 7,96 sı düşmeler, 0,18 i yanmalar, 1,26 sı da motorlu araçlardan kaynaklanmaktadır, kaza KKS istatistiklerine göre kazaların %24,52 si, 1-3 işçi çalıştıran küçük işyerlerinde, %65 i ise 50 den az işçi çalıştıran işyerlerinde oluşmaktadır. Bu da küçük işletmelerde iş güvenliğine verilmesi gereken önemi belirtmektedir.

Kaza araştırmalarında iki önemli kavram vardır. Bunlar "Kazaların sıklık oranı" ile "Kazaların ağırlık derecesi" dir.

Kazaları Sıklık (tekerrür) Oranı

Bu kavramı 1000000 iş saatinde işten alıkoyan yaralanmalan gösteren oran diye açıklayabiliriz. Matematiksel olarak:

F : Sıklık oranı
N : İş görmezlikle sonuçlanan kaza sayısı,
E : Toplam iş saati (= işçi sayısı x 8 x işgünü)

olmak üzere

$$F = \frac{N \times 1000000}{E}$$ şeklinde ifade edilebilir.

İş Kazaları Ağırlık Derecesi

Bu kavram da 1000000 iş saatinde iş zamanı kaybını gün olarak gösteren oran diye tarif edilebilir. Matematiksel olarak:

S : Ağırlık derecesi
E : Toplam iş saati
K: Kayıp saat

olmak üzere

(*) : **İş kazası olduğunda işyeri yetkililerince :**

a) İş Kanunun 73 ve 76. maddelerine göre 48 saat içinde "KAZA RAPORU" düzenlenmesi,
b) SSK Kanunun 17. maddesi ne göre kazanın SSK'a bildirilmesi,
c) SSK Kanunun 27. maddesine göre de kazanın adli zabıtaya, önemlilerinin de savcılığa en kısa sürde bildirilmeleri gerekmektedir.

Ek-1 de iş kazalarının sıklık oranı ve ağırlık derecesiyle ilgili istatistiki bir grafik görülmektedir.

Yangın

Can kaybına neden olmaması ve ulusal varlıkların yok olmaması için işyerlerinde üzerinde titizlikle durulması gereken önemli konulardan biri de yangındır. Isı, oksijen ve yanıcı maddelerin olduğu heryerde oluşabilen yangınlar bir tür iş kazasıdır.

- Yangın nedenleri
- Bilgisizlik, dikkatsizlik ve ihmal gibi kişisel nedenler,
- Makina ve donanımdan kaynaklananlar (bir ölçüde kişisel),
- Doğal afetler,
- Sabotaj,
- Diğer nedenlerdir.
- Yangın oluşumu

Birarada bulunan yanıcı ve yakıcı maddeler herhangi bir şekilde ateşlenirse yangın meydana gelir. Bu üç eleman sembolik olarak yangın üçgeni biçiminde ifade edilekte olup üçgenin kollarından biri yok edilir ya da kaldırılırsa yangın oluşumu engeleenmiş olur (Bak. Ek-3).

Yanan maddenin türüne, yakıcının özelliğine ve ateşlemenin gücüne bağlı olarak yangın değişik hız ve biçimlerde seyredebilir.

Bazı kimyasal maddeler oksijen ya da havaya gerek olmadan, hatta kendi bozulmasından kaynaklandığı için de bir ateşleyiciye gerek kalmadan tutuşup yanabilirler.

Yangın Sonuçları

Bir yangın sonrasında aşağıdaki sonuçlar görülebilir.

- Bina, tesis, makina ve doğal ürünlerde hasar,
- Üretim kaybı ve maddi zarar,
- Moral bozukluğu, yaralanma ve ölümler.

Yangınların Sınıflandırılması

Yangınlar başlıca üç sınıfa ayrılır :

- Adi yangınlar

Bunlar odun, kumaş, kağıt vb. maddelerin olduğu yangınlardır. Tehlike derecesi vasat olmakla beraber geç müdahalede ağır sonuçlar verebilir.

- Kimyasal madde yangınları

Akaryakıt, yanıcı gazlar, metal tozlan, karbidler, barut ve patlayıcı maddeler, radyoaktif maddeler, korozif. zehirli ve zararlı maddelerle benzerleri bu yangın grubunun elemanlarıdır. Tehlike derecesi yüksek ya da çok yüksektir.

Kimyasal madde yangınlarında madde özellikleri dikkate alınarak söndürme çalışmaları yapılmalıdır.

Elektrik Yangınları

Bir bölgede elektrik makina ve donanımlarının yoğun olduğu yangınlardır. Önlem alındığı taktirde tehlike derecesi vasattır. (Ana akım şalterini kapama vs.)

Çevreyi Koruma

Sanayinin bize sağladığı kolaylıklarla içice yaşıyoruz ve her geçen gün hızlı sanayileşmenin getireceği olası nimetlerden daha da fazla yararlanabilmeyi düşlüyoruz. Acaba bu kolay olacak mı ? Cevabı ve önlemleri aşağıdaki kısa girişten sonra arayalım ve verelim.

18. Yüzyılda batı ülkelerinde sanayi devrimi sürecvine girildiğinde, önceleri insan ve çevre ile hiç ilgilenilmeden zararlı atıklar önemsiz bir olaymış gibi sahipleri tarafından çevreye yayılıyordu. Fakat çevre kirlenmesi ve tahribi gitgide büyük boyutlara ulaşınca duyarlı kişi ya da kuruluşlar bir çevre koruma bilinciyle zararlı atık salan fabrikalarla enerji santrali arında **"ATIK ARITIM SİSTEMLERİ"** kurulmasını haklı olarak istemeye başlamışlardır. Bunun doğal sonucu olarak ta birçok ülkelerde çevre koruma ile ilgili düzenlemeler getirilmeye baş-

lanmış, yurdumuzda da *"Çevre* Müsteşarlığı" kurularak *"Çevre* Kanunu" çıkarılmıştır.

İşyerlerinde işçi sağlığı ve iş güvenliği ile çevre koruma olayları iç içedir. Bir işletmenin hizmet ya da üretime yönelik işlevlerini sürdürmesi birçok defa zararlı atık maddelerin oluşmasına da yol açar. Hem çalışanları, hem de çevreyi etkileyecek bu zararlı atıklar bazı yatırımlarla kaynağında yok edilmeli ya da yasal yayınlarda ön görülen en az düzeylere indirilmelidir.

Bu önlemler alınmadığı durumda yasal organlar işletmeye kanunların kendilerine verdiği yetkiye dayanarak önce para cezası ile, daha sonra da işletmeyi kapatmaya kadar gidebilen cezalar uygulayabileceklerdir.

Çevre korumada önemli ilkeler aşağıda verilmiştir.

- Kirletici olmayan üretim, (enerji üretimi dahil),
- Kirletici olmayan tarım,
- Kirletici olmayan trafik,
- Kirletici olmayan atık yönetimi ve doğanın dengesinin korunmasıdır.

Sanayi süreçlerinin çevreye vereceği zararla ilgili olarak aşağıdaki hususlar analiz edilmelidir.

- Hava, su, toprak kirlenmesi ve atık üretimi ile ilgili olarak çevreyi en çok kirleten süreçler tanımlanmalıdır.
- Zarar derecesi, ölçümler, hesaplamalar ve araştırmalar ile nicelendirilmelidir. Bunlarla ilgili bir plan yapılabilir.

Tanımlanması gereken eylemler aşağıdaki konulan kapsayabilir.

- Emisyonların (her türlü atık) en azlanması,
- Enerji tüketimi ve diğer kaynak gereksinimleri ile ilgili olarak süreçlerin optimizasyonu,
- Atık en azlanmasını sağlayacak sanayi süreçlerinin optimizasyonu,
- Süreçlerin risk potansiyelinin indirgenmesi,
- İnsanların çalışma yerlerinde korunmalarının geliştirilmesi.

5. İŞÇİ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİYLE İLGİLİ ÖNLEMLER

İş Kanunu'nun 73. maddesiyle İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğünün 3. maddesine göre her işveren, işyerinde işçilerin sağlığını ve iş güvenliğini sağlamak için gerekli olanı yapmak ve bu hususlaki şartlan, araçlan noksansız bulundurmakla yükümlüdür.

Alınacak önlemler her nekadar paragraf 2 de referans kanun, tüzük ve yönetmeliklere göre olması gerekir ise de komprime bilgi olarak temel önlemler aşağıda verilmiştir.

Bir İşyerinin Kurulmasının Planlanması Sırasındaki Önlemler

Herhangibir işyeri kurulması planlanırken işçi sağlığı ve iş güvenliği konulannın önem derecesi yüksek, işyerinin vazgeçilmez bir parçası olduğu ilk başta düşünülmelidir, işyerinin büyüklük derecesi de dikkate alınarak organizasyonda İşyeri Hekimliği ile Teknik Güvenlik Müdürlüğü (ya da şefliği) birimleri öngörülmelidir. Bu birikimlerin yeteri düzeyde çalışmalarını sürdürmeleri için de araç, gereç ve teknik bilgilerin temini ile arşivleme düşünülmelidir.

Bu hususta paragraf 4 hükümleri de geçerlidir.

İşyerinin **Kurulması Sırasındaki Önlemler**

Bina inşaatı, yol ve baraj yapımı gibi işyerlerinde taşıma, depolama ve diğer çalışmalar sırasında işçilerin zarar göremesini ve maddi hasarı önleyici her türlü sağlık ve teknik güvenlik önlemleri alınmalıdır.

İşyerlerinin İşletilmesi ve İşçilerin Çalıştırılması Sırasındaki Önlemler

Bunları da şöyle sıralayabiliriz.

- işyeri hekiminin tıbbi, / tıbbi-teknik, beslenme, araştırma, periyodik sağlık kontrollan, eğitim gibi zorunlu hizmetleri yerine getirmesini sağlamak,
- İşyeri hekiminin diğer yasal görevleri yapmasını sağlamak, (Paragraf-2 de verilen yasal yayınlar).
- İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğünün bina, su, elektrik, hava, buhar ve diğer tesisatıyla ilgili teknik güvenlik önlemlerini almak,

Bu hususta makina ile ilgili koruyucular, göstergeler, kontrol sistemleriyle diğer aksesuar yeteri niteliklerde olacak, bunların tüzüğe uygunluğu sağlanacaktır.

- Bina, makina ve tesisatın gerekli olduğu şekilde bakım planlan hazırlanacak, bu plana göre bakım yapılacak, yapıldığı da ilgili dosyada ya da defterde belirtilecektir.

Makina ve tesisler normal kapasitelerinin üstünde çalıştırılmayacaktır.

- Kişisel giyim eşyası ve koruyucu donanımlar tavizsiz ve istisna gözetilmeden gereği şekilde kullandırılmalıdır.
- işyerinde makina ve tesis gürültüsü 80 desibelin altında tutulacak, zorunlu durumlarda daha yüksek gürültü düzeyinde sekiz saatin altında çalışılacaktır. Ses düzeyine göre çalışma süreleri aşağıda verilmiştir.

Ses düzeyi (desibel) :	80	92	95	97	100	102	105	110	115
Toplam günlük süre (saat) :	8	6	4	3	2	1,5	1	0,5	0,25

- işyerlerinde, işçilerin rahat çalışmalarını sağlayacak iyi bir sıcaklık ayan, havalandırma, işyeri özeliğine göre yeterli ışıklandırma yapılacak, zararlı çevre etkenleri en aza indirilecektir. Bu konuda 7/7551 karar sayılı tüzük hükümleri yerine getirilecektir.
- İşgüvenliği ekipmanı ve personeli daima hazır bulundurulacaktır.
- işyerinde yangınla ilgili bir ekip oluşturulacak, yangın yönergeleri hazırlanıp işyeri duvarlarına asılacak, yangınla görevli personelin bu hususta bilgilendirilmesiyle uygulama yapmaları sağlanacaktır.
- Teknik güvenlik ve işletme tesisi tezgahı için gerekli yönergeler de hazırlanıp asılacak, bunlara göre çalışmalar sağlanarak denetlenecektir.
- işyerlerinde çalışanların görevlerini teknik güvenlik hususulannı içerecek şekilde yapabilmelerini teminen yönergelerde bulunan operasyonları öğretmek amacıyla eğitim ve oriyantasyon programlan uygulanacaktır. Görevi öğrenmeyen işçi bir başka işte çalıştınlmayacaktır.
- İşyeri müdürü işletmede işçi sağlığı ve işgüvenliğine kendisi sahip çıkmalı, iyi bir örgüt kurmalı, bu işlerin takibinden de kendisi sorumlu olmalıdır.
- İşçi işveren koordinasyonu sağlanmalı, bu iki kuruluş teknik güvenliği sağlayıcı ve iş kazalarını önleyici eşgüdüm içinde olmalıdır.
- Gerek yazı ve gerekse şekil, resim gibi iş güvenliği sloganlarından sade ve tekili olanların seçilip işyerlerine asılması ve zamnla değiştirilmesi sağlanmalıdır.
- Kişisel monotonluğu kaldıncı, çalışanlann moralini yükseltici ve işyeriyle bütünleşmesini sağlayıcı önlemler alınmalıdır.
- Ergonominin iş kazalarının nedenlerini saptamak ve iş kazalarını önlemede teknolojik yaklaşımlar getirdiğini kabul ederek bu konuda gerekeni uygulamalıdır.
- Bilimsel yöntemlerle işyerlerinde iş tehlike çözümlememeri yaparak en uygun önlemlerin alınması, gerekli koruyucu araçlann saptanıp sağlanarak kullandırılması, işlemlerin arzettiği tehlikelere göre yeniden ve daha az tehlikeli olarak düzenlenmesi, işlemleri yürütecek olanların teknik güvenlik konulannda bilinçlendirilip bireysel yöntemlerle eğitilmeleri sağlanmalıdır.

iş tehlike çözümlemeleri tekniğini kallanarak işlemlerini düzenleyip işçilerini bu tehlikelerin varlığına göre eğiten kuruluşlarda iş kazalarının %90 oranında azaldığı gözardi edilmemelidir.

- Müfettiş raporlan ve istatistik bilgileri (SSK gibi) dikkatle incelenerek bu konuda eksikleri tamamlamak ve önlemler almak gerekmektedir.

İşçi sağlığı ve iş güvenliği çağdaş bilgilerin ve uygulamalann sürekli izlenmesini gerektirdiğinden bu hususta dışa dönük çalışmaları sürdürmek, her düzey çalışanı mesleki ve teknik güvenlik bilgisine sahip olmasını sağlayacak yeterli bir eğitim programı uygulamak, bu konularda ileri düzeydeki kuruluşların olanaklarından yararlanarak amaca ulaşmak her işyeri amirinin ilkeleri arasında bulunmalıdır.

Sağlık Bilgisi ve İlk Yardım

işyerlerinde olabilecek çeşitli iş kazaları, yangın, doğal afet, zehirlenme vb. çeşitli fizyolojik zararlarda işçiler ya da diğer personeli bedensel ve ruhsal tehlikelerle karşı karşıya getirmektedir.

İlkyardımı gerektiren böyle bir durum karşısında, herkesin kendisi ve çevresi için pratik sağlık ve ilkyardım bilgilerini öğrenmesi vu bunları uygulayabilmesi zorunlu hale gelmiştüir. Çünkü her yerde ve her zaman bu işlerde uzman olan sağlık personelini yanımızda bulmak mümkün değildir.

Bu ilk açıklamalardan sonra ilkyardımı aşağıdaki gibi tarif edebiliriz.

Kazaya uğrayan ya da aniden hastalanan kişi ya da kişilere, doktor ulaşıncaya kadar, o andaki durumun daha kötüye gitmesini önlemek için mevcut malzemelerle yapılan yanma ilkyardım denir.

ilkyardımı yapan kimse ne kadar bilgili olursa olsun, doktorun yerini tutamayacağı unutulmamalıdır.

İlkyardımda üç temel ilke vardır : Teşhis, tedavi, taşıma. Bunlara kısaca 3 T denilir.

ilkyardımı gerektiren önemli durumlar aşağıda verilmiş olup, bu ilkyardımların "ilkyardım Eğitimi" görmüş kişilerce yapılması gerekmektedir.

Ayrıca işyerleri özelliğine göre de sağlık ve ilkyardım dolapları düzenlenmiş ve her an hizmete hazır bulundurulmaktadır

Alkali (baz) zehirlenmesi: Üç kere seyreltilmiş sulu sirke içirilir, (ya da : 1 lik asetik asit), buz yutturulur.

Ağız yoluyla diğer zehirlenmeler : Derhal kusturulur, bunun için bir bardak suya 5-10 cm^3 seyreltik bakır sülfat çözeltisi katılır, damak ya da küçük dil çevresi uygun bir çubukla uyarılarak kusma sağlanır.

Asit zehirlenmesi: Magnezyum oksit bulamacı içirilir, buz yutturulur.

Baygınlık (İleri derecede) : Yüz soluk ise baş aşağı doğru, kırmızı ise mümkün olduğu kadar yukarı pozisyonda tutulur, sıkan elbiseler açılır, hasta açık havaya çıkarılarak yüzüne soğuk su serpilir.

Beyin kanaması : Başın çarpması gibi durumlarda beyin kanamasından şüphelenildiğinde başa buz ya da soğuk su kompresi koyulur, baş yüksekte tutulur.

. *Bir kimsenin tutuşma durumu :* Perde, kilim ya da benzeri bir örtü ile tutuşan kimse sarılır, (yerde yuvarlanır), vücuda yapışan elbiseler çıkarılmamamlıdır.

Boğulma : Ağız ve buruna dolan kum, çamur temizlenir. Hastanın dizleri karnına bastıracak şekilde yüzükoyun çevrilerek baş aşağı ve yan pozisyonda, sırt ve yanlan oğuşturulmak koşuluyla yutulan su çıkanlır. Sonra yapay solunum uygulanır (kalp masajı ile). (*)

Burkulma ve çıkık : Burkulmuş ayaktan ayakkabı çıkanlır, soğuk kompres koyulur. Yürütmeyi denememelidir.

Burun kanaması : Önce burun su ile temizlenir, hasta oturtulur, buruk yanlarından iki parmakla 1 dakika kadar sıkılır sonra gevşetilerek kontrol edilir. Birkaç kez böyle yapıldığında kan dinmiyor ise sargı bezinden tampon koyulur. Alın ve boyuna soğuk nemli bez koyulması yararlıdır.

Elektrik çarpması : Akım hemen kesilir, bunun için cam ya da kuru tahtadan yararlanılır. Sonra yapay solunuma (mümkünse oksiöjen cihazı kullanarak) geçilir. Bu işleme gerekirse yolda devam edilerek hastaneye sevkedilir.

Ezilme : Nemli, soğuk tampon koyulur. Vücudun yukan kısım ezikleri çok tehlikelidir, itina ile sevkedilmelidir.

Gaz zehirlenmesi: Taze hava, oksijen vermeli, yapay solunum uygulanmalı, sıkan elbiseler gevşetilerek el ayası ve ayak tabanı ovularak masaj yapmalıdır.

Kalp krizi: Hasta sırtüstü yatınlır, soluk alabilmede zorluk çekiyorsa baş ve arkasına yastık koyup göğsünü yükselterek yan oturur duruma getirilir. Varsa daha önce kullanılan ilaçlar verir, soğuktan koruyarak hareket ettirmeden ve sarsmadan doktor neaaretinde hastaneye sevk edilir.

(*) Bak. Ek-S.

Kanayan yaralar : Bütün kanayan organlar yukan poziyonda tutulur. Bol su ile yıkanmalı, üzerine emici pamuk ya da bez koymamalı, emici olmayan tampon koymalı, asla tentürdiyot ve benzeri ilaçlar sürülmemelidir. Kanı durdurmak 1-1,5 saatten fazla turnike uygulanmamalı, bu süre içinde her 15 dakikada bir gevşetilmelidir.

Kırık : Açık organa pansuman yapılmalı, pozisyonun doğruluğu sağlanacak şekilde uyğun destek kullanarak tespit edilmeli, kanamayı azaltmak için kınk yer yüksekte tutulmalıdır.

Kuduz köpek ısırması: Işınlan yer bol subanlu su ya da alkolle yıkanarak hasta acele hastaneye sevkedilir.

Mantar zehirlenmesi: Mantar yiyeli henüz 30 dakika kadar olmuş ise hasta kusturulur. Hemen hasataneye gönderilir.

Soğuktan donma : Sıcağa yaklaştırmamalı, kar ya da soğuk bezle oğuşturulmalıdır. Donmuş organlann kolayca kınlabileceği unutulmamalıdır.

Yukandaki önlemlerin tedavi olmayıp sadece ilkyardım olduğu asla unutulmamalıdır. Son ve geçerli işlemler doktor ve hastane olanaklarıyla yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

(1) SÜZEK, S., **İş Güvenliği Mevzuatı.**

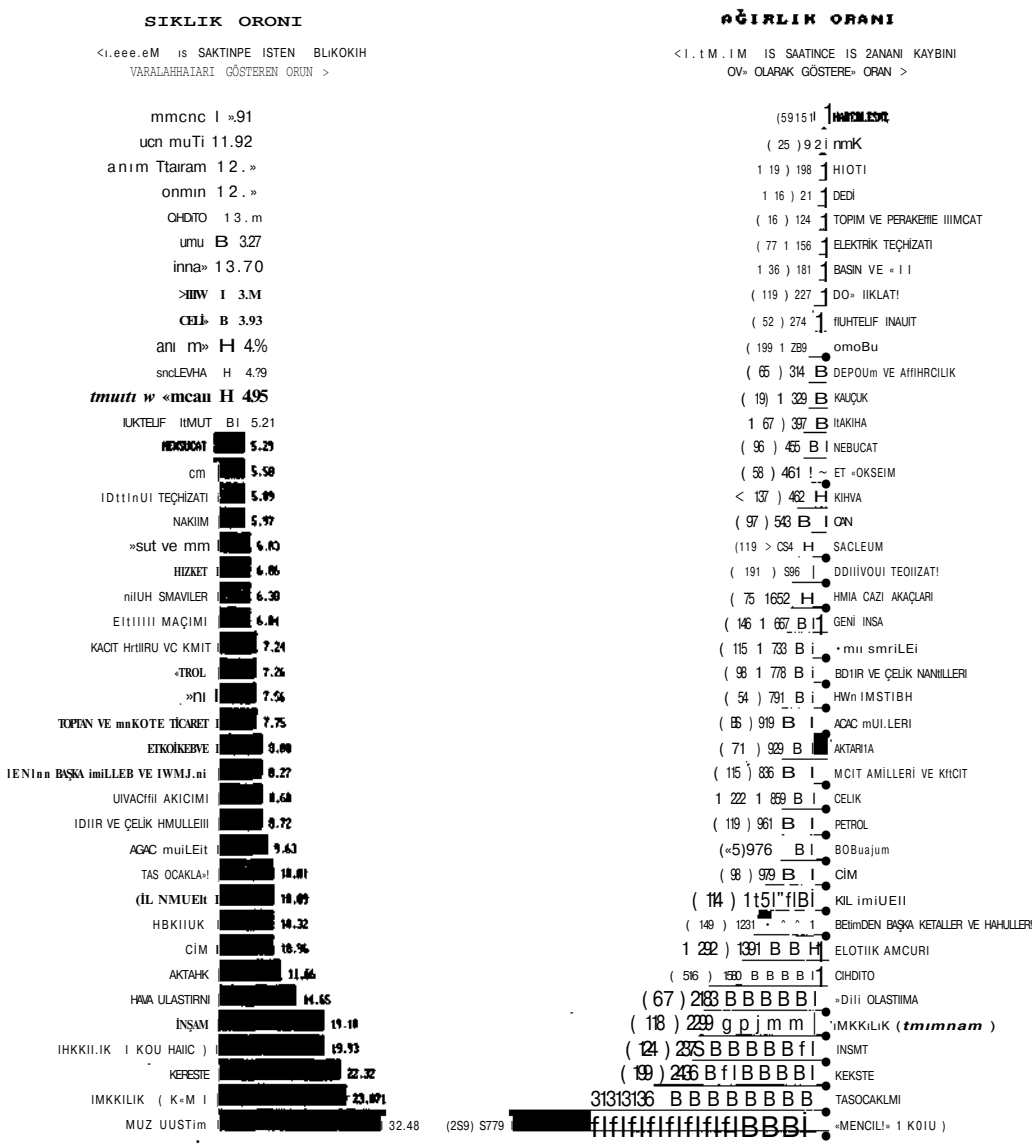
(2) **İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği ile İlgili Genel Bilgiler;** Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, işçi Sağlığı Daire Başkanlığı.

(3) **İşçi Sağlığı ve iş Güvenliği Tüzüğü,** Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

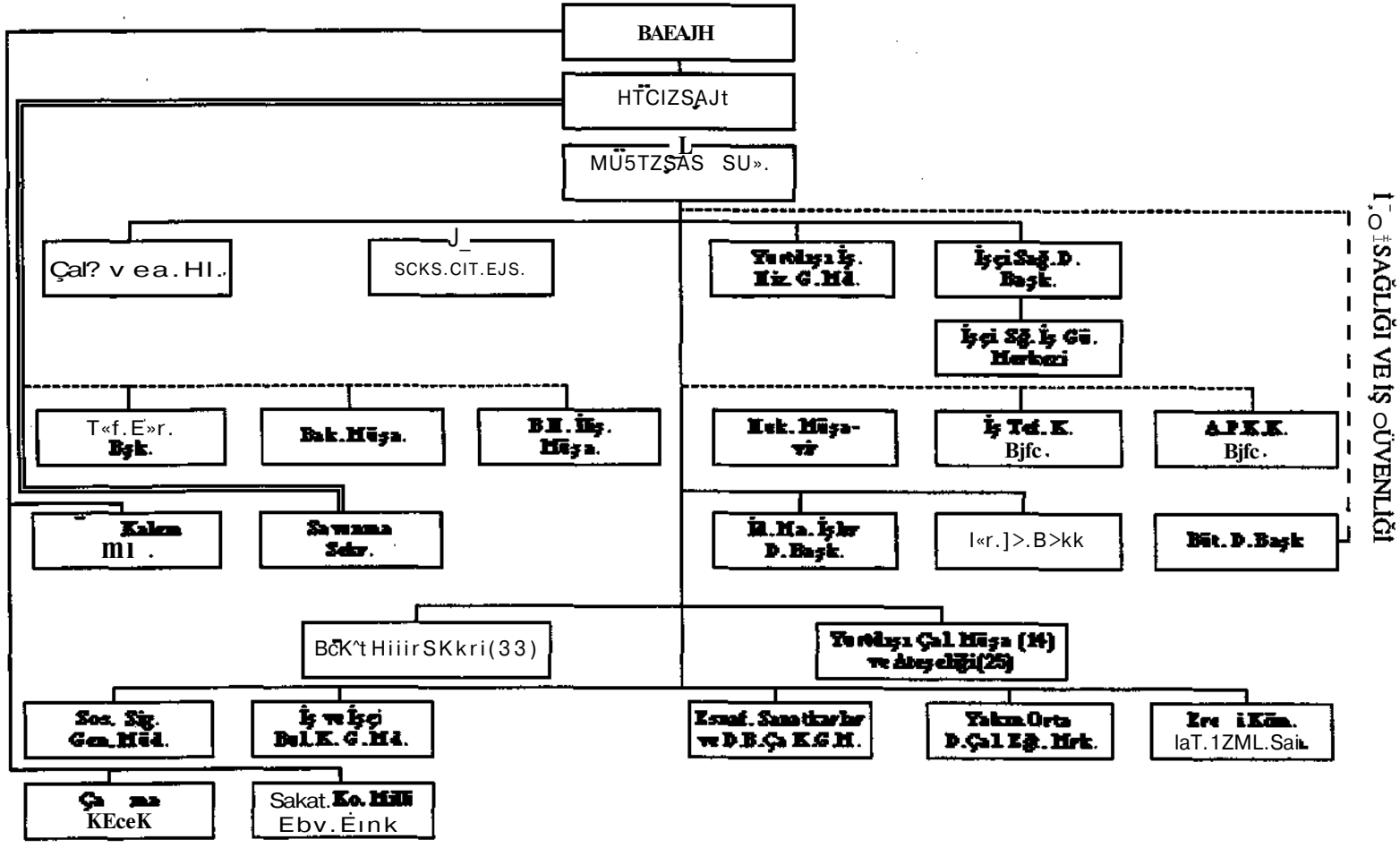
(4) **Patlayıcı, Parlayıcı, Tehlikeli ve Zararlı Maddelrle Çalışan İş Yerlerinde Alınacak Güvenlik Tedbirleri Hakkında Tüzük,** Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

Ek-1

K A Z A L A R I N

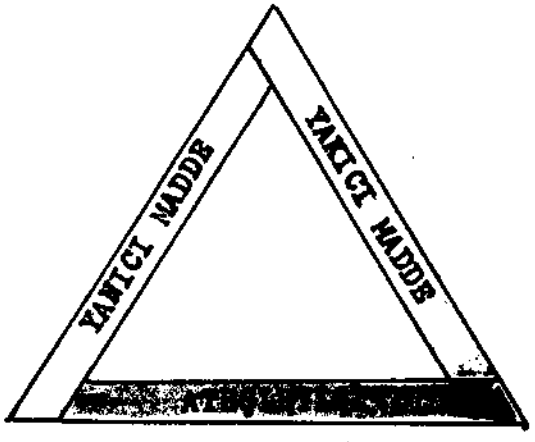


ÇALIŞMA Tl SOSTU. CÜVIHIİK BAEAHLİİ TEŞKİL Al ŞKUAS1



Ek-3

YANCIN UÇOENÎ



NOT»

Kollar dem biri ayrılınca yangın söner.

Ek-4

MKE KURUMU

.....MÜDÜRLÜĞÜ

KAZA ÖN RAPORU

KAZALININ		KAZANIN	
Fb. No.		Tarihi	
Sig. Sicil No.		Saati	
Adı, Soyadı		Olduğu yer	
Baba adı		Olucuna sebep olan Tezgah/Tesis Adı, Demirba} No.	
Doğum tarihî			
Ijc girij tarihi			

KAZANIN OLUŞ ŞEKLİ

GÖRGÜ TANIKLARI

Adı, Soyadı	Fb. No.	Tarih	İmza
Ati. Şefi			
Ati. Müh.			

İLGİLİ KISIM MÜDÜRÜNÜN GÖRÜŞÜ (Kaza nedenlerini belirterek)	Adı, Soyadı Sic. No. Tarih ..... İmza
İŞYERİ HEKİMİNİN GÖRÜŞÜ	Adı, Soyadı Sic. No. Tarih ...../...../19-.... İmza
İŞÇİ SAĞ. VE İŞ GÜVEN. KUR. BŞK. GÖRÜŞÜ (Kaza nedenini belirterek)	Adı, Soyadı Sic. No. Tarih ...../...../ 19-.... îmza MÜES./İŞL. MD. KAŞESt

O-M/F-19-0001

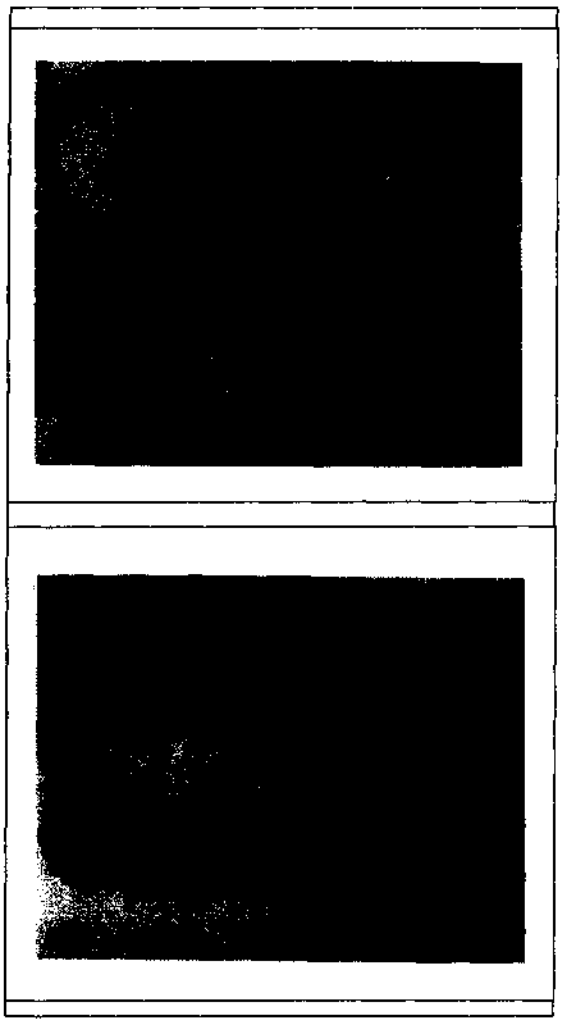
Ek-5

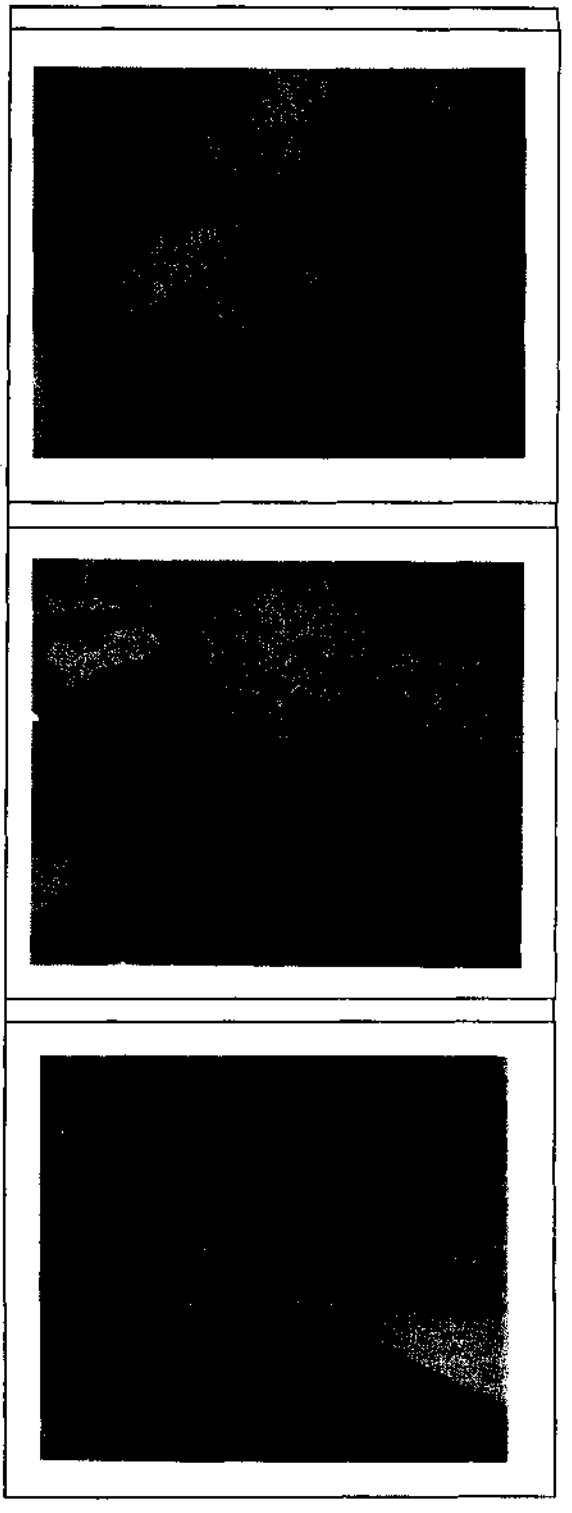
KALP-AKCİĞER CANLANDIRILMASI

Hastanın biyolojik ölüme girmeden, "Klinik Ölüm" safhasında yapılan yapay solunum ve kalp masajı ile hayatı kurtarılabilir. ABD istatistiklarına göre buyöntemle hastanın yeniden yaşama kavuşturulması %60 oranındadır. Aşağıda kalp akciğer canlandırılmasının resimli ayrıntıları görülmektedir.

(1) Kalp akciğer canlandırmasna geçmeden önce hastanın şuurunun olup olmadığına bakılır. Bunun için hastanın omuzlarından tutup hafifçe silkmek gerekir. Hastanın bu durumda cevap verdiği görülebilir. Bu yarı baygınlığa işarettir. Daha sonra solunum kontrol edilir. Bunun için yardımda bulunacak kişinin kulağını, hastanın burnuna ya da ağzına getirmesi gerekir. Bir yandan da göğsün inip kalkması gözle kontrol edilir.

(2) Tıp otoriteleri "Bütün bu işlemlerden sonra hastada hiçbir reaksiyon görülmüyorsa, yapay solunum yapılacak ilk müdahaledir" demektedir.





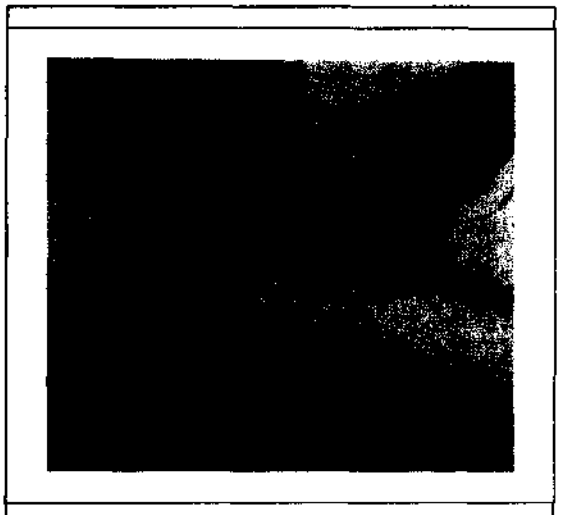
(3) Bunun için yapılacak ilk iş hastanın solunum (nefes) yolunu açmaktır. Hastanın nefes yolu, bir elle ensesininin tutulup kaldırılması, diğer elle de alnının geriye doğru itilmesiyle açılır.

(4) Daha sonra alnını tuttuğunuz elle, hastanın burnunu kapamanız gerekir. Seri olarak hastaya dört kez nefes verilir, işte yapay solunum bu işlemlerden ibarettir.

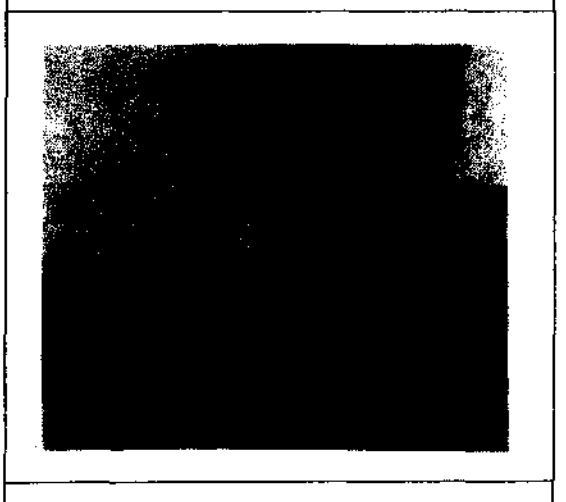
Not : Hasta suyla ya da çamurlu su ile boğulma geçirmişse ilkyardım "BOĞULMA" bölümündeki işlemlerin önce yapılması gerekmektedir.

(5) Üçüncü işlem kan dolaşımının olup olmadığına bakmaktır. Bunun için boynun her iki tarafındaki arter damarlar kontrol edilir. Kontrole göre hastanın nabzının atıp atmadığı anlaşılır. Nabız atışı yoksa kalp çalışmıyor demektir. Bu durumda hastaya kalp masajı gerekir.

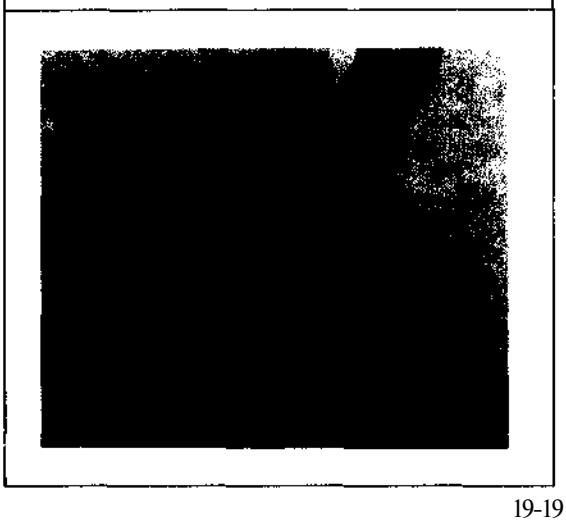
(6) Kalp masajı için önce göğüs tahtasının ortası (sternum) bulunur. Daha sonra sternumun uç kısmı elle hissedilir. Bu uç kısımdan 4-5 cm yukarı çıkılır. İşte, masaj yeri böylece tesbit edilmiş olur.



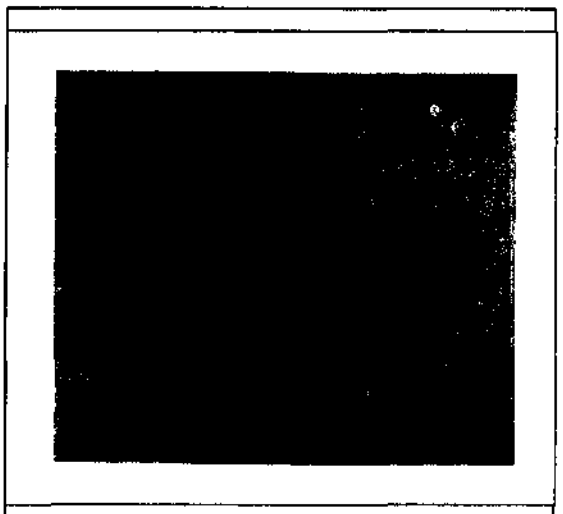
(7) Bu işlemde üst el ayası, alt el ayasına yüklenir. Üst elin parmakları alt elin parmakları arasına sokulur ve bükülür.



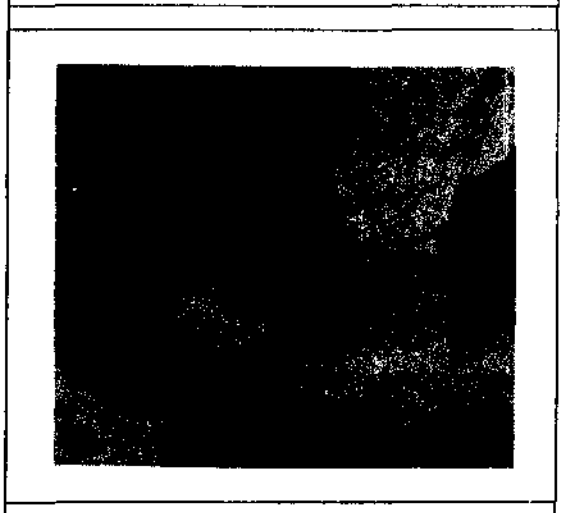
(8) Dirsekler kırılmadan göğüs kafesini 4-5 cm aşağıya indirecek şekilde yapılan bu işlem, 15 kez tekrarlanır.



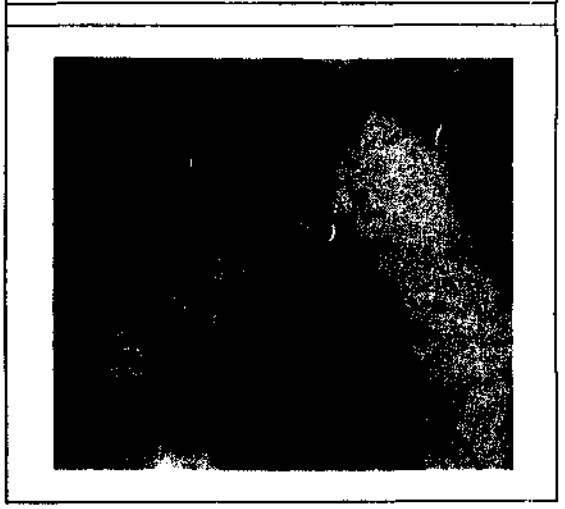
(9) Bu uygulamadan sonra 2 kere yapay solunum, 15 kere kalp masajı birbirini takip eder. Her iki işlemin de dörder kez tekrarlanması gerekir.



(10) Tüm bu işlemler bittikten sonra nabız yeniden kontrol edilir. Hasta canlandırılamadıysa işleme en başından başlanır. Hastanın yaşama yeniden döndürülmesi bazan yarım saat, bazan da 45 dakikayı bulur.

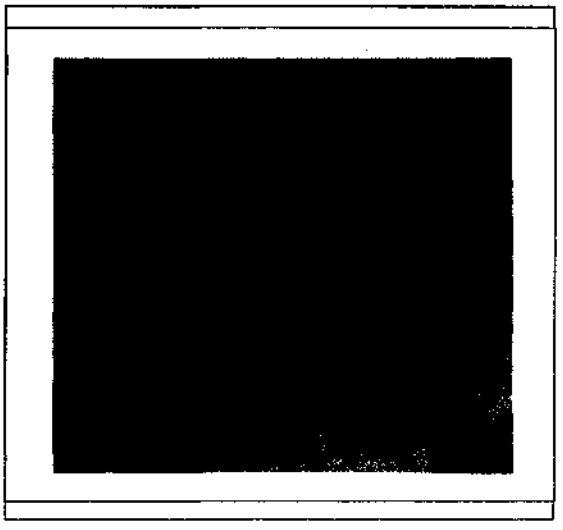


(11) Otoriteler, çok önemli olan zaman kaybını önlemek için bu işlemlerin iki kişi tarafından yapılmasının uygun olacağını belirtmektedirler. Bu tür ilkyardımların gerektiği durumlarda, önce bir yapay solunum, sonra 5 kez kalp masajı yapılır. Bu işlemlerle bir dakika dolduktan sonra hastanın nabzı yeniden kontrol edilir. Sonuca göre yapay solunum ve kalp masajına devam edilir. Hasta canlandırıldıysa işleme son verilir.



(12) Kalp, kalp masajı ve yapay solunumla çahştırılamadıysa, hastanın en kısa zamanda monütöre bağlanması gerekir. Şokun gerekip gerekmediği, monitördeki alette izlenilen düzensiz dalgalanmalarla anlaşılır. Şok, hastaya belli dereclerde elektrik akamı verilerek uyğulanır.

Not : Şekilde görülen plastik mankenin yapılan işlemlerin doğruluğunu gösterir geçiş sinyal lambaları olduğundan eğitim için çok yararlıdır.



ALFABETIK DIZIN

ALFABETİK DİZİN

A

Absorbent, 14-09
Absorber, 14-08
Açı(lı), kesme, 14-446
Açi(sı), arka eğim, 14-307, 14-357
Açı(sı), boşluk, 14-216, 14-271, 14-446
Açı(sı), Açı(ları), eğim, 14-53, 14-308
Açı(sı), helis, 14-382
Açı(sı), kesme, 14-214, 14-216, 14-217, 14-222, 14-228
Açı(sı), kırılma, 14-68
Açı(sı), matris, 14-64
Açı(sı), uç, 14-385
Açı(sı), uç başlık, 14-308
Açı(sı), uç boşluk, 14-333, 14-359
Açı(sı), uç eğim, 14-308
Açı(sı), uç kesme, 14-308
Açı(sı), açı(ları), uç kesme kenarı, 14-308, 14-309
Açı(sı), üst eğim, 14-228
Açı(sı), uç boşluk-zırh, 14-308
Açi(sı), yan boşluk, 14-308
Açı(sı), yan kesme kenarı, 14-308, 14-356
Açı(sı), yan zırh, 14-308
Açma, ağız,
Açma, diş, 14-
Açma, havsa, 14-402
Açma, helezon, 14-
Açma, kanal, 14-268, 14-293, 14-303, 14-336, 14-436, 14-438, 14-442
Açma, pah, 14-405
Açma, vida, 14-256, 14-262, 14-268, 14-292
Açma, yarık, 14-262, 14-263
Açma, delik, 15-13
Adezyon, 14-
Adaptif(uyarlamalı), 15-36
Ağaç(ları), hedef, 18-13, 18-14
Ağız(ağzı), kesme 14-378, 14-380
Ağız(ları), kaynak, 14-171, 14-172, 14-184, 14-191
Akım, 14-17
Akım, alternatif, 14-168, 15-10
Akım, doğru, 14-168, 16-14
Akım, vurumlu, 15-30
Akım(ı), dış yüzeyde hava, 14-20
Akım(ı), elektrik, 16-16
Akım(ı), elektron-iyon, 15-38
Akımı(ı), gaz, 15-14
Akım(ı), kaynak, 14-156
Akım(ı), sıvı, 15-32, 15-34
Akustik, 15-10
Alan, elektro-manyetik, 15-37
Alan(ı), ayarlama, 14-156
Alan(ı), kesme, 14-215
Alan(ı), stoklama, 17-09
Alaşım, 14-08, 14-12, 14-18, 14-19, 14-29, 14-30
Alaşım(ı), alüminyum, 14-02, 14-11, 14-13, 14-15, 14-24
Alaşım(ı), bakır, 14-02, 14-11, 14-13, 14-15, 14-27, 14-28, 14-29, 14-30
Alaşım(ı), çelik, 14-02
Alaşım(ı), çinko, 14-H, 14.57
Alaşım(ı), kalay, 14-11, 15-27
Alaşım(ı), magnezyum, 14-27, 14-28, 14-29
Alaşım(ı), metal döküm, 14-27
Alaşım(sız), alüminyum, 14-29
Algoritma(lar), 17-34
Alev(i), kaynak, 14-162
Alev, oksitleyici, 14-163
Alev, nötr, 14-163
Alev, redükleyici, 14-163
Alma, çapak, 14-43, 15-13, 15-18
Alma, buharla yağ, 16-11
Alma, tufal, 16-04
Amplifikatör, 15-10
Analiz, ekonomik, 14-243
Analiz(i), ANOVA, 18-16, 18-17, 18-19
Analiz(i), bakılabilirlik, 18-04
Analiz(i), duyarlık, 18-56
Analiz(i), güvenirlik, 18-04
Analiz(i), emniyet, 18-06
Analiz(i), hata, 18-10
Analiz(i), hata türü etki, 18-13
Analiz(i), kusur ağacı, 18-10
Analiz(i), rekabet, 18-08
Analiz(i), titreşim, 14-228
Analiz(i), veri, 18-20
Analiz(i), yenileme, 15-16
Aparat(ları), ezme, 14-08
Arahk(ğı), bileşim, 14-257
Arahk(ğı), işleme, 15-06, 15-11
Arahk(ğı), kesme, 15-21
Ark(ı), kaynak, 15-35, 15-165, 15-166
Ark(ı), üfleme, 15-167
Artık(lar-ları), asit, 16-02
Asit, inorganik, 16-06
Asit, organik, 16-06
Asbest, 15-21
Aşındırıcı, 15-07
Aşındırıcı eriyik, 15-24
Aşındırıcı parçacık, 15-07
Aşındırma, 15-06, 15-07, 15-16, 15-17, 15-24, 15-36
Aşındırma ve buzlanma, 15-24
Aşınma(sı), takım, 14-240, 15-02
Ausforming, 14-32
Ayna, prizmatik, 15-46
Azlık(ğı), yapışma gücü, 16-21

ALFABETİK DİZİN

B

Bağlayıcı(lar), 14-05
Bara, 16-12
Baryum titanat, 15-22
Boya(lar), 16-12

C, Ç

Çapak, 15-24
Çapak alma, 15-18
Çekişleme, 15-08
Çevrim içi muayene, 17-21
Çizelgeleme, 17-31
Çok ürünlü üretim planlama modeli, 17-19

D

Daldırma, 15-15
Debi, 15-15
Dielektrik devresi, 15-37
Dislokasyon, 14-33
Dispersiyon, 16-12
Doğrusal karar kuralı tekniği (DKK), 17-19
Doğrusal planlama, 17-09
Duralinin, tungsten, 15-08
Dönüşüm,. kimyasal, 16-02
Düplikasyon, 17-26

E

ECS, 15-35
ECD, 15-35
EDM, elektrotlarının uygulamadaki özellikleri, 15-34
EDM de elektrot eskimesi, 15-40
EDM de iş parçası, 15-41
EDM özellikleri, 15-42
EDM uygulaması, 15-42
Eğim, 15-38
Elektriksel parlama (ELP), 15-25
Elektroforez boya, 16-24
Elektrokimyasal çapak temizleme (ECDG), 15-34
Elektrokimyasal honlama (ECH), 15-34
Ekstrüzyon kalıbı, 15-34
Elektrokimyasal parlama (ECP), 15-34
Elektrokimyasal sıvı jeti (ES), 15-34
Elektrokimyasal tornalama (ECT), 15-34
Elektron huzmesi, 15-36
Eloksal, 16-07, 16-10
Elektrolitik sıvı türleri, 15-30, 15-31
Emdirme, 15-44
Emniyet stoku yöntemleri, 17-03
Endüksiyon, 15-13
Endüstriyel uygulama, 15-12
En kısa süreli iş, 17-35
Envanter, 17-02
Erim, 16-04
Esnek imalat sistemleri (EİŞ), 17-21
Esneklik parametresi, 17-21
Eşdeğer birim, 17-07
Etkileşimli çizelgeleme, 17-36

F

Ferrit, 15-11
Ferromanyetik, 15-22
Fırçalama, 16-04
Fluoroborat, 16-25
Fulyo, 15-19
Formel yapı, 17-07
Fosfatlama, 16-07
Fotoelektrik, 16-02
Fototermik, 16-02

G

Galyum, 15-18
Garnet, 15-21
Gecikme, 17-32
Germanyum, 15-18
Grafit blok, 15-22
Güç(ü), birikim, 16-16
Gümüş kaplama, 16-28
Güvenlik stokları, 17-30

H

Haddeleme, 14-33, 14-38, 14-43, 14-48, 14-52, 14-53, 14-76
Haddeleme, çapraz, 14-45
Haddeleme, sıcak, 14-47, 14-50, 14-54, 14-66, 14-67
Hat(tı), üretim, 17-09
Hata(ları), kaynak, 14-173
Hızı, aşınma, 15-18
Hızı, işleme, 15-03, 15-06, 15-07
Hızı, kaynak, 14-162
Hızı, kesme, 14-228, 14-230, 14-231
Hızı, kristal büyüme, 14-19
Hızı, üretim, 14-15, 14-244, 14-245

I

1BIP, 15-47
IBSM, 15-47
Isıl, kimyasal, 15-13
Işın(ı), elektron, 14-144, 14-192, 14-193
Işın(ı), iyon, 15-47
Işın(ı), laser, 14-144, 14-199, 15-45, 15-46
Işın(ları), elektrokimyasal/laser, 15-45
İlk pozitif net ihtiyaç, 17-30
îndikatör, 16-22
İnhibitör (yasaklayıcı), 16-06
İşlem ilkeleri, 15-34
İşlem parametreleri, 15-06
İşleme, aşındırıcı akış ile (AFM), 15-19
İşleme, aşındırıcı su jeti ile (AWJM), 15-22
İşleme, aşındırıcı toz jeti ile (AJM), 15-14

İşleme, basınçlı su ile WJM (HDM), 15-19
İşleme, dönel ultrasonik (RUM ya da RUSM), 15-07
İşleme, elastik emisyon ile (EEM), 15-24
İşleme, elektroerozyonla (EDM), 15-37
İşleme, elektron ışını ile (EBM), 15-37
İşleme, foto kimyasal (PCM), 15-26
İşleme hızı, 15-41
İşleme, ısıl kimyasal (TCM), 15-26
İşleme, ısıl yardımlı (TAM), 15-13, 15-14
İşleme İlkeleri, 15-14
İşleme, iyon ışını ile (IBM), 15-48
İşleme, ısıl yardımlı (TAM), 15-13, 15-14
İşleme, kimyasal (CHM), 15-23
İşleme, laser ışını ile (LBM), 15-46
İşleme, laser yüklemdi kimyasal (LCP), 15-26
İşleme, plasma ile (PAM), 15-47
İşleme, şekilli boru ile elektrokimyasal (STEM), 15-34
İşleme, ultrasonik (USM), 15-07
İşleme, ultrasonik aşındırma ile (UAM), 15-07
İşleme, deişkenleri, 15-11
İşleme koşulları, 15-11
İşleme sıvısı ve aşındırıcı parça yoğunluğu, 15-08
İşleme yöntemleri, ilektro-kimyasal, 15-25
İşleme, tel elektro-erozyonla (WEDM), 15-44
İşleme, toz parçacıkları ile 15-24
İşleme, tümden şekil ile (TEM), 15-22

J

Jadeit, 15-11

K

Kalınhk(ğı), cidar, 14-24
Kahnlık(ğı), film, 14-38
Kalınhk(ğı), talaş, 14-216
Kalıp, 14-02, 14-03, 14-04, 14-05, 14-07, 14-08, 14-10, 14-12, 14-14, 14-16, 14-18, 14-23, 14-26, 14-29, 15-12, 15-37
Kalıp, alçı, 14-13
Kalıp, erkek, 15-12
Kalıp, kabuk, 14-09, 14-15, 14-29
Kalıp, kalıcı, 14-02
Kalıp, kokil, 14-10, 14-11, 14-29, 14-30
Kalıp, kum, 14-02, 14-05, 14-06, 14-09, 14-15, 14-26, 14-27
Kalıp, metal, 14-14
Kahp(lar), arset, 14-10
Kalıp(lar), çimentolu, 14-09
Kahp(ları), maça, 14-09, 14-15
Kalıplama, gevşek, 14-24
Kalıplama, elle, 14-05
Kahp(lar), çelik, 15-18
Kalibrasyon, 15-18
Kalite, 18-08
Kalite(si), kesme, 14-09, 14-13, 14-14, 14-26, 14-28, 14-29, 15-07, 15-08, 15-12, 15-17, 15-30
Kalite(si), ortalama çıktı, 18-37
Kanal(ları), hava, 14-10
Kanama(sı), beyin, 19-11
Kanama(si), burun, 19-11
Kanun(u), çevre, 19-05, 19-09
Kanun(u), ip, 19-05, 19-09
Kanun(u), referans, 19-09
Kapasite, normal, 19-10
Kapasite(si), ergitme, 14-17
Kapasite(si), 19-05
Kapasite(si), 17-23
Kapasite(si), depo, 17-23
Kapital maliyeti, 17-05

Kaplama, 15-13, 16-15
Kaplama, altın, 16-29
Kaplama, bakır, 16-23
Kaplama, çinko, 16-22
Kaplama, doldurma metal, 16-15
Kaplama, elektrolitik metal, 16-16
Kaplama, emaye, 16-15
Kaplama, gümüş, 16-28
Kaplama, kadmiyum, 16-21
Kaplama, koruyucu, 6-08
Kaplama, krom, 16-26
Kaplama, nikel, 16-25
Kaplama, plastik, 16-15
Kaplama, püskürtme metal, 16-15
Karakteristikler, işlevsel, 18-04
Karakteristik(leri) kalite, 18-02
Karıştırma, 16-10
Katalizör, 14-07, 14-10
Katılaşma, 14-19, 14-20, 14-21, 14-22, 14-24. 14-25, 14-28, 14-29
Katışık, 14-15
Katlı dikiş, 16-02
Kaynak(mağı), dar aralık, 14-206
Kaynak(mağı), tozaltı dar aralık, 14-206
Kaynama, konvektif, 14-85, 14-92
Kaynama(sı), çekirdek, 14-85, 14-87
Kavitasyon, 15-06
Kavram(ı), hedef ağaç, 18-13
Kayma, 14-23
Kaza(sı), iş 19-06, 19-07
Kesme yöntemi, 15-24
Kesme, çapak, 14-22
Kesim fazlalığı, 15-38
Kırılganlık(ğı), hidrojen, 16-02
Kıvılcım aralığı, 15-37
Kıvılcım oluşumu, 15-37
Kıvılcım üreteci, 15-36
Kızak, 15-13
Kimyasal aşındırma, 15-24, 15-40
Kimyasal aşınma, kontrollü, 15-23
Kolon(ları), dışsal orthogonal, 18-21, 18-22, 18-23
Kolon(lar), içsel orthogonal, 18-21, 18-22, 18-23
Kolon(lar), orthogonal, 18-24, 18-18, 18-19, 18-23
Kompasyon, 17-21

Komponent, 17-28
Kontrol, çevrim içi, 18-27
Kontrol, kalite, 14-23, 15-18, 15-20, 18-03, 18-04
Kontrol(u), boyut ve biçim, 14-23
Kontrol(u), süreç, 18-27, 18-30, 18-41
Kontrol(u), yapı süreksizlikleri, 14-23
Korelasyon, 17-23
Konvertör, 14-09, 14-18
konvertör(ü), Bessemer, 14-18
Konvertör(ü), oksijen, 14-18
Konvertör(ü), Tropenas, 14-18
kopolimez, 16-06
Korondum, 15-11
Korozif, 15-29
Kömür, pülverize, 14-18
Kromüt, 14-05
Kuarz, 14-15
Kum, kuru, 14-12
Kum, yaş, 14-08,. 14-09
Kum(u), kalıp, 14-29
Kumlama, 16-02
Kuvvet, radyal, 14-213
Kuvvet, teğetsel, 14-223
Kuvvet(i), bükme, 14-110
Kuvvet(i), ekitrüzyon, 14-62
Kuvvet(i), kaldırma, 14-08
Kuvvet(i), kesme, 15-02, 15-20, 15-70, 15-71, 15-72, 15-73, 15-76
Kuvvet(i), takım baskı, 15-07
Kümülatif üretim, 17-09

L

Lak(h), cila, 16-03
Lak(ları), epoksi, 16-11
Laklama, 16-07
Lama, 14-53
Land modeli, 17-17
Laser, 15-45
Lehim, 14-143, 14-144, 16-26
Lehimleme, blokla, 14-144
Lehimleme, daldırma, 14-144
Lehimleme, dirençle, 14-144
Lehimleme, egzoterm, 14-144
Lehimleme, endüksiyonla, 14-197
Lehimleme, fırında, 14-197
Lehimleme, kapiler, 14-144, 14-195, 14-196
Lehimleme, sert, 14-144, 14-195
Lehimleme, üfleçle, 14-197
Lehimleme, yumuşak, 14-195
Lehim(i), gümüş, 14-197
Levha(ları), şarj, 16-14
Lüle (üfleme kafası), 15-14, 15-16, 15-34
Lüle uç uzaklığı (NTD), 15-16
Lüle(si), kesme, 15-20

M

Mach, 15-25
Maça, 14-03, 15-05, 14-07, 14-08, 14-09, 14-12, 14-21, 14-22,. 14-25, 14-26
Maça, kabuk, 14-07
Maça, kuru kum, 14-07
Maça, yaş kum, 14-07
Makina(sı), basınçlı döküm, 14-11
Makina(sı), Carnot, 14-03
Makina(sı), döküm, 14-11, 14-12
Makina(sı), dövme, 14-43
Malafa(sı), 14-56
Maliyet(i), takım değiştirme, 14-239
Maliyet(i), temel üretim, 17-04
Malzeme, aşındırıcı, 15-07
Malzeme, döküm, 14-09
Malzeme, polimer, 15-18
Malzeme(si), maske, 15-23
Malzemeler, kristal, 15-16
Manyetik aşındırıcı tozla parlatma (MAP), 15-22
Masaj(ı), kalp, 19-18, 19-19, 19-20
Maskeleme, 10-17, 15-18, 15-23
Matematik programlama, 17-34
Mekanik enerjili geleneksel olmayan işleme yöntemleri, 15-06
Meme(leri), püskürtme, 14-19
Menevişleme, 14-105, 14-106
Merkez(i), kristalleşme, 14-19
Model, ahşap, 14-04
Model, köpük, 14-14
Model, levhah, 14-03
Model, metal, 14-04, 14-14
Model, köpük, 14-14

N

Nefrit, 15-11
Nihai üretim, 17-07
Nomogram, 16-19
Notasyon, 17-05
Nozul, 15-14
Nötralizasyon(u), siyanürlü ??????, 16-22

O

Oksalatlama, 16-08
Oksit, 15-18
Omiks, 15-11
Operasyonel seviye, 17-23
Optimal üretim stratejisi, 17-04
Oran(ı), üretim, 17-03
Orifis, 15-13
Osilatör (vurum üreticisi), 15-09
Otomasyon, 15-21
Örtük birerleme (Implicit enumeration), 17-23
Özel amaçlı parça yapımı, 15-43
Özellik(leri), malzemelerin LBM ile işleme, 15-46

P

Paçal, 17-25
Parametre, 15-16
Parlatma, elektrolitik, 16-12

Parlatma, manyetik aşındırıcı ile (MAP), 15-22
Pas, 15-18
Pasiflendirme, oksit kromat, 1-07, 16-09
Pasifleştirme, 15-29
Pasta (macun), 15-10
PECM, 15-35
Planlama(sı), ana üretim, 17-02
Planlama sistemi, üretim, 17-02
Plazma ark, 15-13
Potansiyometre, 15-18
Prodüktivite(si), işçi, 17-03
Proses(i), dönüşüm, 16-07, 16-11
Pusluluk, 16-12
Püskürtme metal kaplama, 16-15
Püskürtme yöntemi, 15-24

R

Regresyon denklemleri, 17-20
Relaksiyon (direnç-kapasitör), 15-36
Renklendirme, 16-10
Rezinans, 15-09
RIBE, 15-47

S

Santrifüj (Merkezkaç), 16-03
Satış, toplaşık, 17-02
Seçme kuralı, 17-35
Sedef, 15-11
Selüloz, 16-03
Seramik kaplama, 16-15
Servo sistem, 15-29
Seyrettik, 15-06
Sezgisel yöntemler, 17-35
Sinter (sertleştirme), 16-03
Soğutma yöntemi, 15-24
Stabl, 15-29
Stagnasyon, 15-19
Strain gage, 15-18
Stratejik seviye, 17-23
Su jeti, 15-19

Ş

Şalonma, 15-19
Şekillendirme, 15-24

T

Takım, boru şeklinde, 15-23
Takım, dölü, 15-13
Takım baskı kuvveti, 15-07
Takım endüstrisi, 15-42
Takım tezgahı, 15-09, 15-17
Taktik seviye, 17-23
• Talep(bi), stok, 17-04
Tamburlama, 16-04
Taşeron, 17-03
Taşlama diski, 15-33
Taşlama, düşük gerilmeli (LSG), 15-22
Taşlama, elektro-erozyonla (EDG), 15-14
Taşlama, elektrokimyasal (ECG), 15-33
Taşlama, elektrokimyasal erozyonla (ECDG), 15-34
Taşlama, sünek ilerlemeli (CFG), 15-23
Tav, 16-21
Telafi siparişi, 17-04,
Temizleme, 15-18, 15-23
Temizleme, mekanik, kimyasal, 16-02, 16-05
Temper sertlik derecesi, 16-03
Titreşim frekansı, 15-07, Titreşim genliği, 15-06
Torna(lar), 14-292
Torna(lar), el kumandalı , 14-293
Torna(ları), imalat, 14-295
Torna(ları), masa, 14-294
Torna(lar), otomatik, 14-293
Torna(lar), özel amaçlı, 14-296
Torna(ları), tikim, 14-295
Tornalama, 14-292
Tornalama, aşındırıcı, tozlu basınçlı su ile (AWJT), 15-23
Toz taşıyıcı gaz, 15-15
Tribolojik, 15-47
Tufal(h), oksit, 16-02
Tümden birerleme, 17-33
Tümden şekil işleme, 15-22

U, Ü

Üniform (değişmez şekilli), 16-08
Üritem, nihai, 17-02
Üretim, spesifik, 17-02
Üretim, toplaşık, 17-02

V

Vakum metalize kaplama, 16-16
Vernikleme, 16-15
Virratör (titreşim üretici), 15-09
Vizkozite, 15-08

W

WECDM, 15-35

Y

Yapım yöntemleri, geleneksel olmayan, 15-0.5
Yapım yöntemleri, kimyasal enerji kullanılan, 15-23
Yapışma(sı), odhezyon (adhesive), 16-13
Yarı iletkenler, 15-18
Yaşlandırma, 16-02
Yıkama, 16-05
Yorulma ömrü, 15-09
Yöntem(i), çizme, 15-25
Yüzey işlemleri, yalıtkan, 16-02

Zımba, 15-19

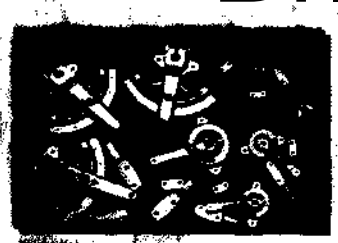

MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI
1954

İMTEK

MAKİNA İMALAT VE PAZARLAMA LTD. ŞTİ.

HAVA KANALI ÖKSESUARLARI

BİLİM İŞİMİ2



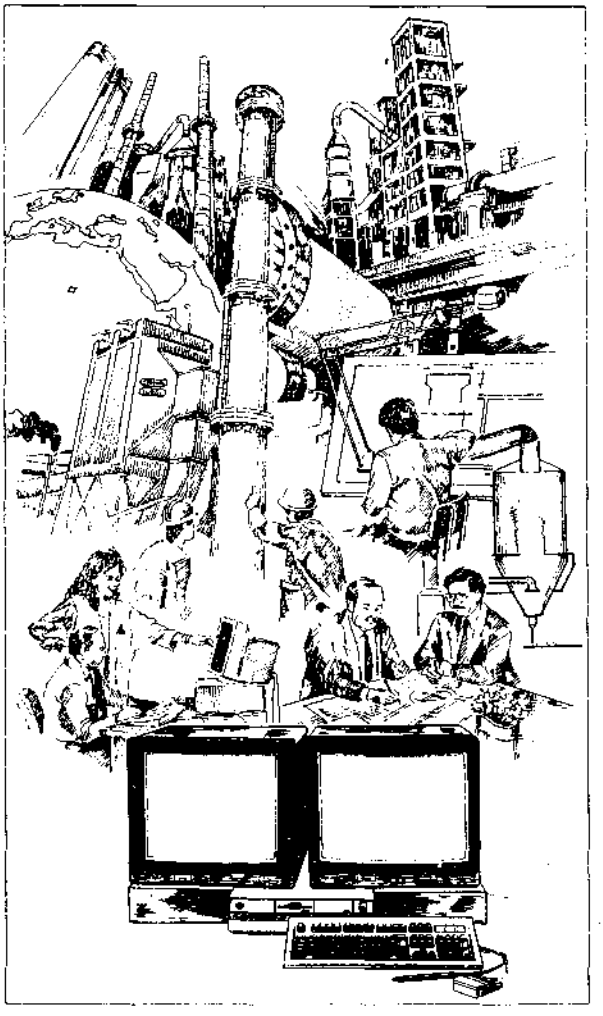




ÇIMTEK

ÇİMENTO TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİK A.Ş.

- GENEL MÜHENDİSLİK VE DANIŞMANLIK HİZMETLERİ
- HAMMADDE ARAŞTIRMASI VE FİZİBİLİTE ETÜDLERİ
- TESİS TASARIMI VE DETAY TASARIM
- ANAHTAR TESLİMİ KOMPLE TESİS MONTAJ VE İŞLETMEYE ALMA
- GENEL İMALAT MONTAJ SÜPERVİZÖRLÜĞÜ
- SANAYİ TİPİ TOZ TUTMA TESİSLERİ
- KAPALI KÖMÜR, ÇİMENTO VE KLİNKER STOKHOLLERİ
- ÖN KIRICI VE SEPERATÖRLER
- ÖĞÜTME SİSTEMLERİ VE REHABİLİTASYONU
- SJLO VE PAKETLEME SİSTEMLERİ
- BAKIM-ONARIM HİZMETLERİ
- ÇEŞİTLİ DIŞ TEMSİLCİLİKLER



Çimtek

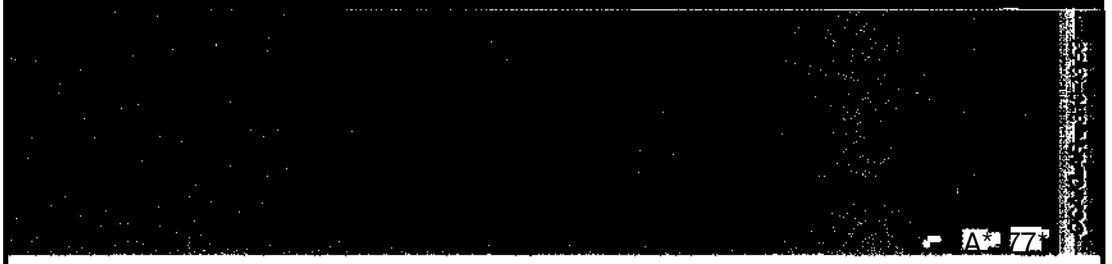
ÇIMENTO TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİK A.Ş. Kenedy Caddesi Yalım Sok. No: 3 Kavaklıdere - 06660 - Ankara -TURKEY
Tel: (312) 417 49 00 (10 Hat) - Fax : (312) 418 97 16 - Telex : 46027 Ciho-tr

TERMO-MAK

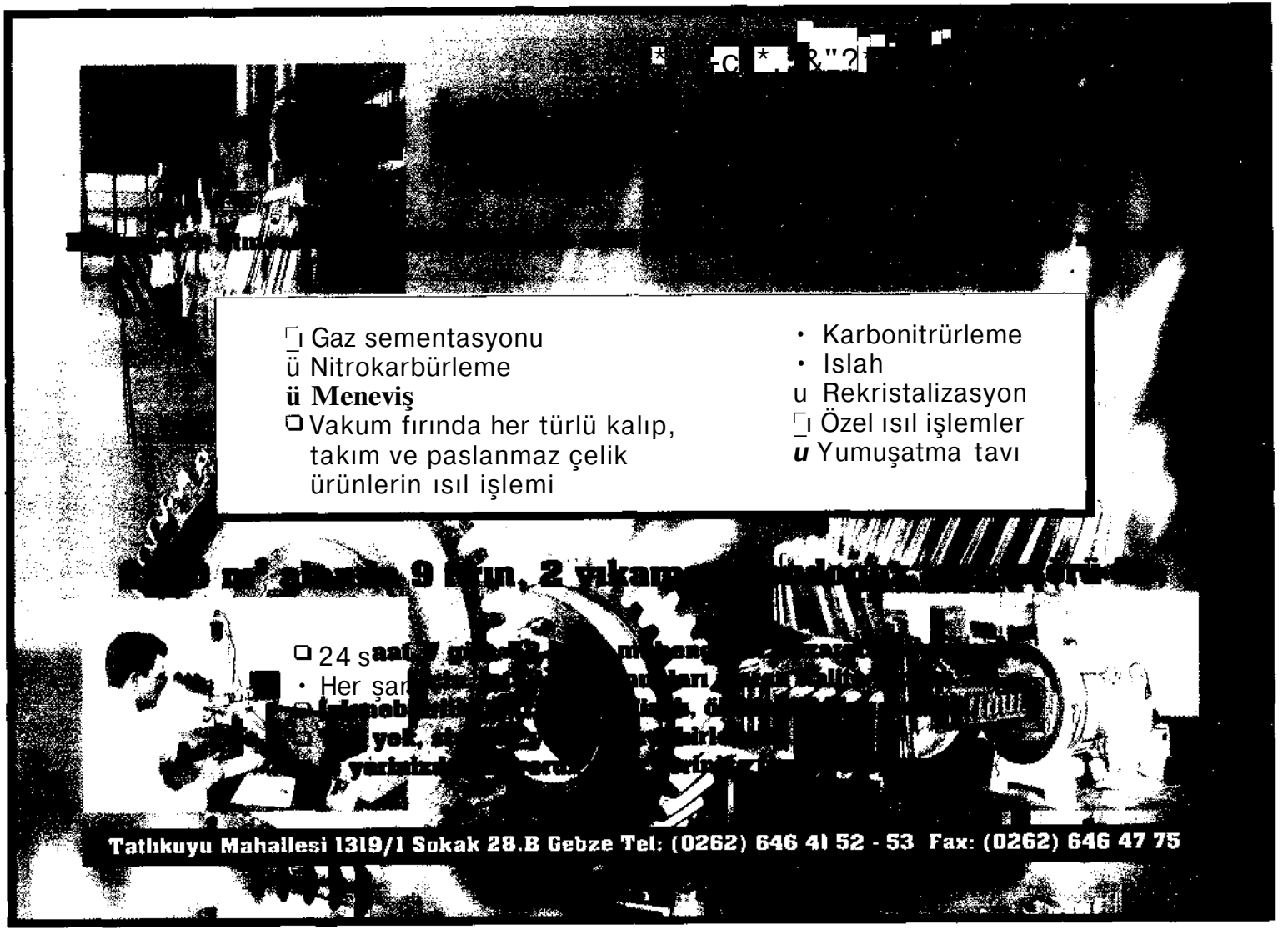
İNŞAAT ISI CİHAZLARI SAN. ve TİC. A.Ş.

- Alçak basınçlı buhar kazanları ve sıcak sulu kalorifer kazanları (Yarım Silindirik - Tam Silindirik)
- Kızgın su kazanları (Yarım Silindirik - Tam Silindirik)
- Doğalgaz kazanları (Yarım Silindirik - Tam Silindirik)
- Yüksek radyasyonlu kazanlar
- Çift cidarlı ve serpantinli boylerler
- Sıcak su, kızgın su, buhar devreli ısıtma eşanjörleri
- Buhar jeneratörleri
- Hidrofor ve basınçlı denge tankları
- Fuel-Oil, mazot, benzin, su tankları ve siloları
- Genleşme ve kondens tankları
- Su tasfiye cihazları
- Kum filtreleri
- Her türlü çelik konstrüksiyon
- Çimento siloları ve römorklar
- Sanayi ve site tesisat taahhütleri (komple)
- Asfalt tesisleri agrega yükleme bunkerleri

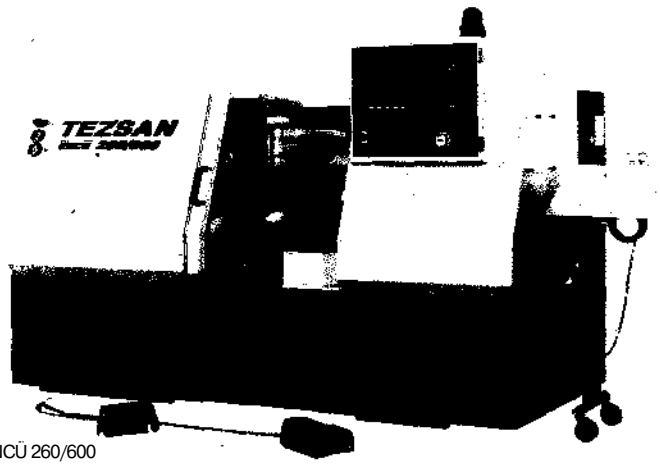
KONULARINDA 25 YILLIK TECRÜBE



Tüm imalatlarımız TSE Uygunluk, Yeterlilik, Kalite ve TSEK Belgelidir


Gaz sementasyonu
Nitrokarbürleme
Meneviş
Vakum fırında her türlü kalıp, takım ve paslanmaz çelik ürünlerin ısıl işlemi
Karbonitrürleme
Islah
Rekristalizasyon
Özel ısıl işlemler
Yumuşatma tavı
Tatlıkuyu Mahallesi 1319/1 Sokak 28.B Gebze Tel: (0262) 646 41 52 - 53 Fax: (0262) 646 47 75

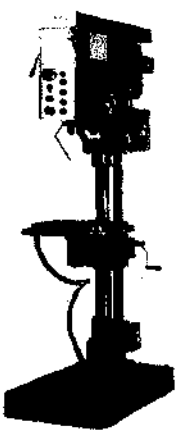
GELENEKSEL KALİTE VE İLERİ TEKNOLOJİ
ile
GÜVENİLİR VE VERİMLİ TAKIM TEZGÂHLARI



ÖNCÜ 260/600

ÖNCÜ 260-330/600-C Önemli Özellikleri

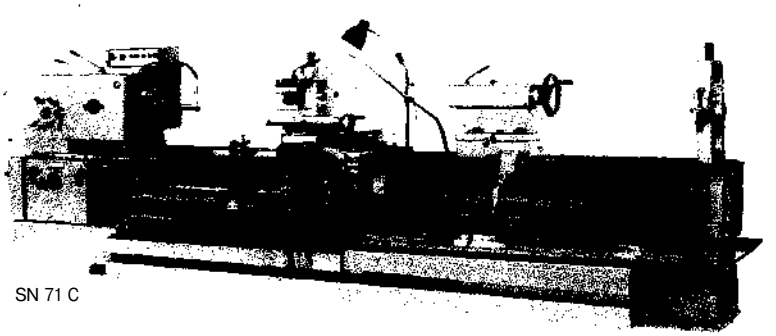
- Maks. tornalama çapı 330 mm
- Maks. tornalama boyu 600 mm
- AC 15 kW iş mili motoru (%100 işletmede)
- Hidr. ayna çapı 210 mm (özel 250 mm)
- Kontrol ünitesi: SINUMERIK 840 D
- 12 takımlı VDI tipi revolver
- 6 döner takım, motor gücü 5 kW
- Tezgâh ağırlığı 4100 kg



M 35 ES

ÜRETİM PROGRAMI

- CNC Torna Tez. ÖNCÜ 260/600, ÖNCÜ 260-330/600-C
- Ağır Hizmet Tipi CNC Torna Tez. BORA 630/1500
- Üniversal Torna Tez. SN 50 C/1000-1500-2000
- Üniversal Torna Tez. SN 71 C/1500-3000-4000
- Mekanisyen Torna Tez. T 165 M/800, T 165 MF/800
- Sütunlu Matkap Tez. M 35 ES, SM 35 A

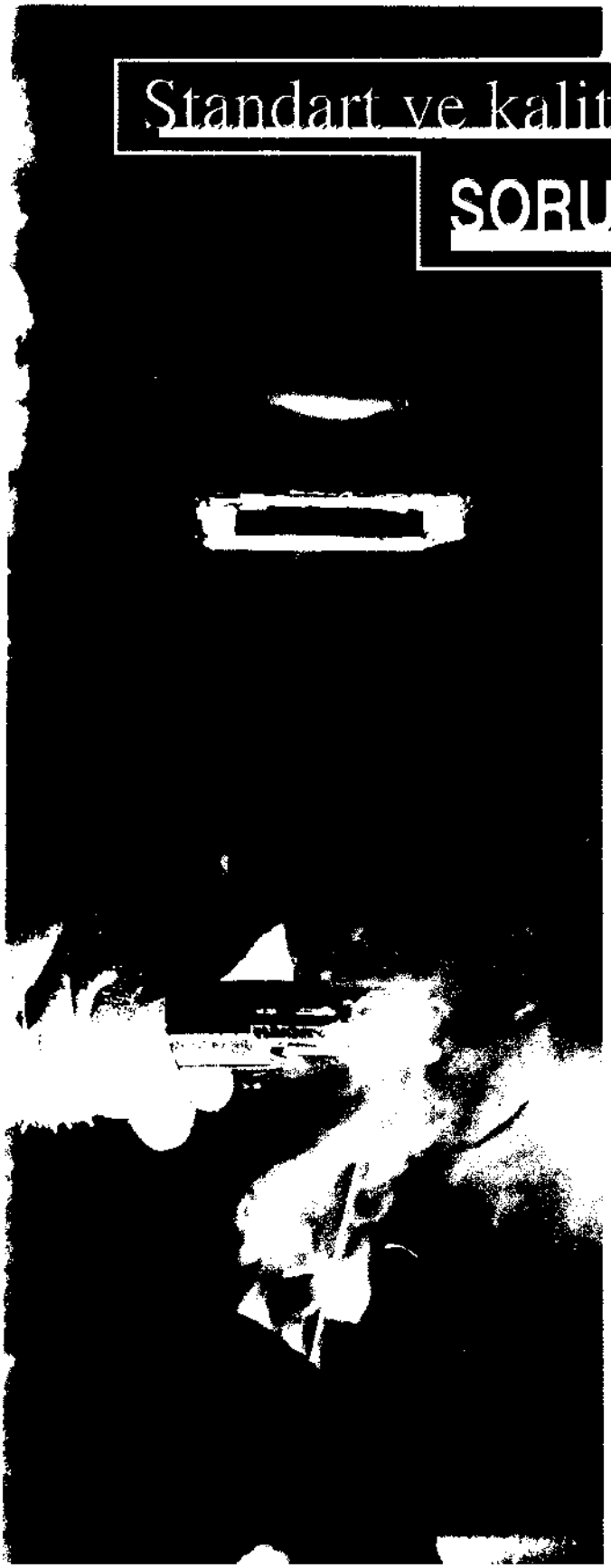


SN 71 C

TEZSAN TAKIM TEZGÂHLARI
SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
P.K. 12, 41401 Çayırova-Gebze/KOCAELİ
Tel: (0-262) 744 44 52 (3 hat) Faks: (0-262) 744 44 56

ŞİŞECAM

Standart ve kaliteli üretim bir SORUMLULUKTUR



Uluslararası rekabetin ve globalleşmenin hız kazandığı günümüzde Türkiye'de 4O.yılını kutlayan Oerlikon üstüne düşen görevi liderliğine yakışır bir şekilde yapmaktadır. Oerlikon bu mantık çerçevesinde Avrupa (Fransa, Belçika, Almanya, İtalya) Ortadoğu (Komşu Arap ülkeleri) ve hatta Japonya'ya ihracaatına devam ediyor. İhracaatta devamlılık uluslararası standart ve kalite ile mümkündür. Oerlikon iç ve dış piyasaya bu güveni **70' li yıllardan beri KALİTE SİGORTASI uygulayarak kazanmıştır.** Müşteri mutluluğunu kendine rehber edinmiş olan Oerlikon kaliteye yönelik çalışmalarını 1989 yılında TÜV den aldığı sertifikayla sürdürmüş ; standart ve kalite güvencesinin son aşaması olan ISO 9001 sertifikasının getirdiği uluslararası saygınlığı kazanmıştır.

Unutmayın

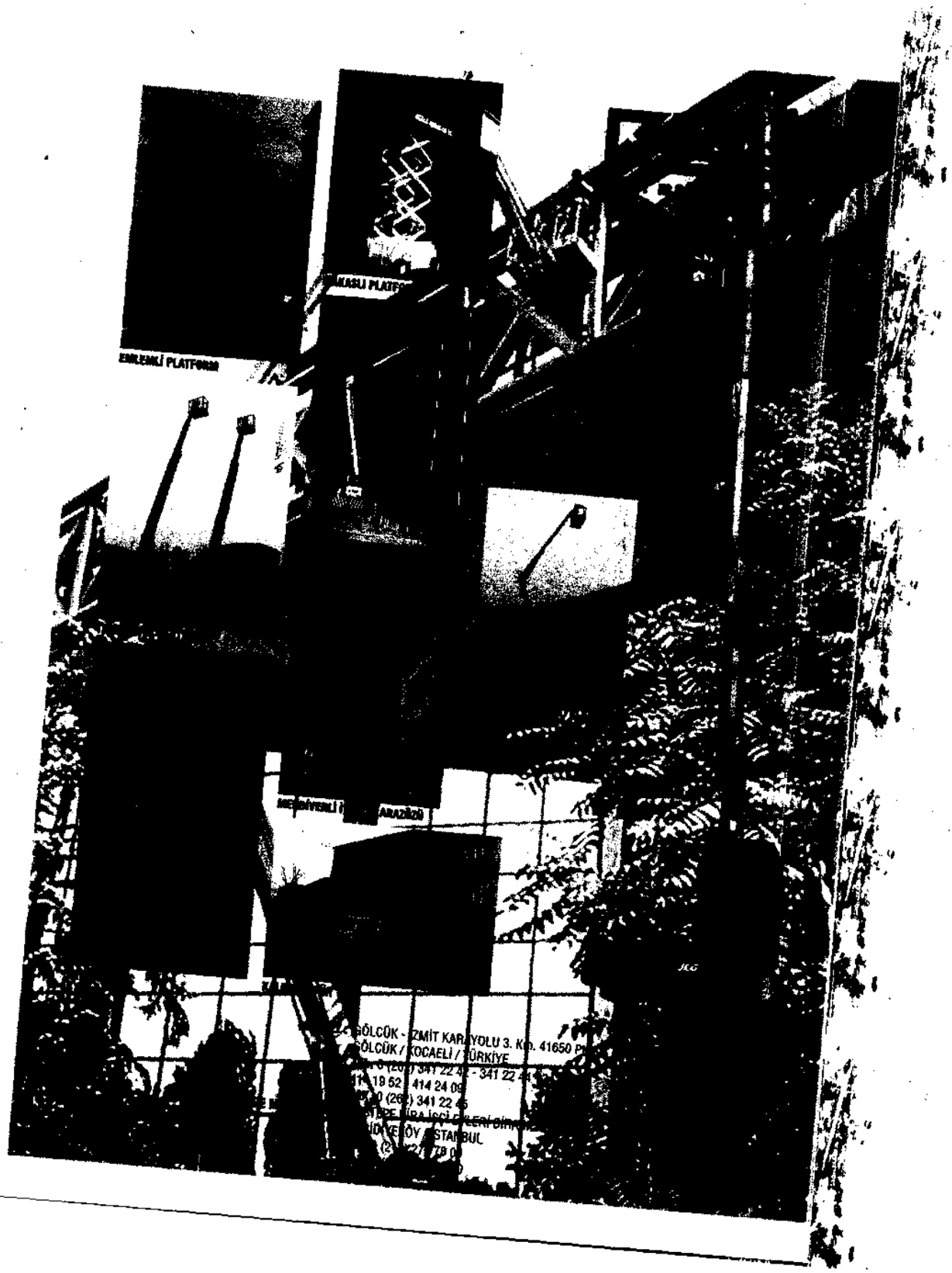
KALİTE VE STANDART

Güvencenizdir.

OERLIKON

KAYNAK ELEKTRODLARI VE SANAYİ A.Ş.

Halkalı Cad. No: 99 34630 Sefaköy/İSTANBUL
Town 91 o\ ";QQ in m/R hart


ÖLÇÜK - İZMİT KARAYOLU 3. KM. 41650 P
ÖLÇÜK / KOCAELİ / TÜRKİYE
İSTANBUL