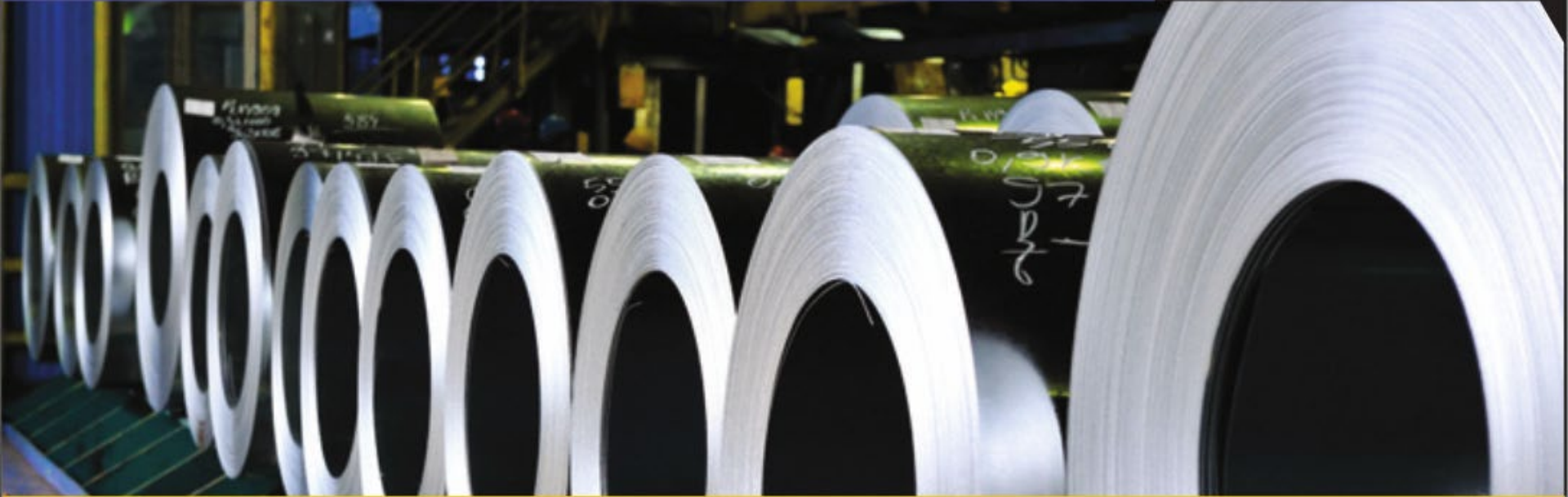


MIKELL P. GROOVER

Çeviri Editörleri: Mustafa Yurdakul, Yusuf Tansel İç

4th EDITION
4. BASIMDAN ÇEVİRİ



MODERN İMALATIN PRENSİPLERİ

PRINCIPLES of MODERN MANUFACTURING



Aşındırıcı ve Geleneksel Olmayan Talaşlı İşleme

Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ

Bölümün İçeriği

23.1 Taşlama

23.1.1 Taşlama Taşı

23.1.2 Taşlama İşleminin Analizi

23.1.3 Taşlama Uygulamaları

23.1.4 Taşlama Operasyonları ve Taşlama Makinaları

23.2 İlgili Aşındırma İşlemleri

23.2.1 Honlama

23.2.2 Lepleme

23.2.3 Hassas Bitirme

23.2.4 Polisaj (Parlatma) ve Hassas Parlatma

23.1 TAŞLAMA

23.1.1 TAŞLAMA TAŞLARI

Aşındırıcı Malzeme

Tane Büyüklüğü

Bağlayıcı Malzemeler

Taş yapısı ve Taş kalitesi

Taşlama Taşı Spesifikasyonları

Aşındırmalı(Taşlama ile) işleme

- Tekerlek biçimli taş denen takımların yapısında bağlanmış olarak bulunan, genellikle sert, aşındırıcı parçacıkların hareketi ile aşındırarak malzeme kaldırma;
- Genellikle parçanın geometrisi geleneksel işleme yöntemleriyle işlendikten sonra taşlama bitirme operasyonlarında kullanılır,
- Taşlama taşı genellikle disk şeklindedir ve yüksek dönme hızları için olarak hassas dengelenmiştir (balance)
- Taşlama en önemli aşındırıcı yöntemdir.
- Diğer aşındırıcı yöntemler: honlama, lepleme, çok hassas(superfinish), parlatma ve polisaj

Aşındırmalı İşleme Yöntemleri niçin önemlidir?

- Her türlü malzemede kullanılabilir
- Bazen son derece ince yüzey bitirme elde edilebilir $-0.025 \mu\text{m}$ (1 $\mu\text{-in}$) e kadar-
- Bazı parçalar son derece sıkı toleranslarla hassas boyutlarda işlenebilir.

Taşlama Taşı

- Yapıları aşındırıcı parçacıklar ve bağlayıcı malzemedен meydana gelir.
- Kesme aşındırıcı parçacıklar tarafından gerçekleştirilir.
- Bağlayıcı malzeme parçacıkları tutar ve taşın şekli ve yapısını oluşturur



Taşlama Taşı Parametreleri

- Aşındıcı malzeme
- Tane boyutu
- Bağlayıcı malzeme
- Taş sınıfı
- Taşın yapısı



Aşındırıcı Malzeme Özellikleri

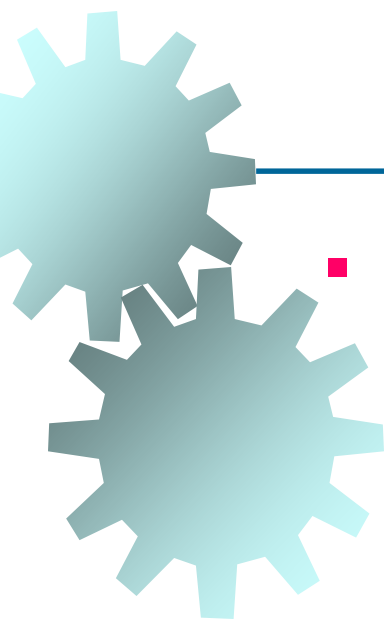
- Yüksek Sertlik
- Aşınma direnci
- Tokluk
- Kırılganlık – kesme kenarı körleştğinde, kolay kırılma kapasitesi, böylece yeni bir keskin kenar açığa çıkar



Geleneksel Aşındırıcı Malzemeler

- Alumina(Al_2O_3) - en yaygın aşındırıcı
 - Çelik ve diğer demir esaslı yüksek mukavemetli alaşımları taşlamak için kullanılır. **Knoop Sertliği:2100**
- Silisyum karbür (SiC) - Al_2O_3) dan daha sert ama onun kadar tok değil
 - Alüminyum, pirinç, paslanmaz çelik, bazı dökme demirler ve seramiklerde kullanılır
 - **Knoop Sertliği:2500**

Yeni Aşındırıcılar

- 
- **Kübik bor nitrür (cBN)** - çok sert, çok pahalı
 - Çelikler için uygundur.
 - Sertleştirilmiş takım çelikleri ve uzay ve havacılık alaşımları gibi sert malzemeler için kullanılır. **Knoop Sertliği:5000**
 - **Elmas** -da çok sert, ve çok pahalı
 - Doğal ve aynı zamanda Sentetik olarak üretilir
 - Çeliklerin taşlanması için uygun değildir.
 - Seramik, semente karbürler, cam gibi sert, aşındırıcı malzemelerin taşlanmasında kullanılır
 - **Knoop Sertliği:7000**

Tane Boyutu

- Küçük tane boyutları daha iyi bir yüzey kalitesi verir
- Büyük tane boyutları daha büyük malzeme kaldırma hızlarına izin verir
- Daha sert malzemeleri etkin bir şekilde kesmek için daha küçük tane boyutları gerekir
- Yumuşak malzemeler ise büyük tane boyutları gerektirir

Bağlayıcı Malzeme Özellikleri

- Merkezkaç kuvvetleri ve yüksek sıcaklıklara dayanması gerekir
- Taş şok yüklemeler sırasında parçalanmamalıdır.
- Katı aşındırıcı taneleri birarada tutarken verimli kesme için yeni keskin taneleri açığa çıkarmak üzere aşınmış tanelerin yerinden çıkıp gitmesine izin vermeli

TABLO 23.2 Taşlama taşlarında kullanılan bağlayıcı malzemeler

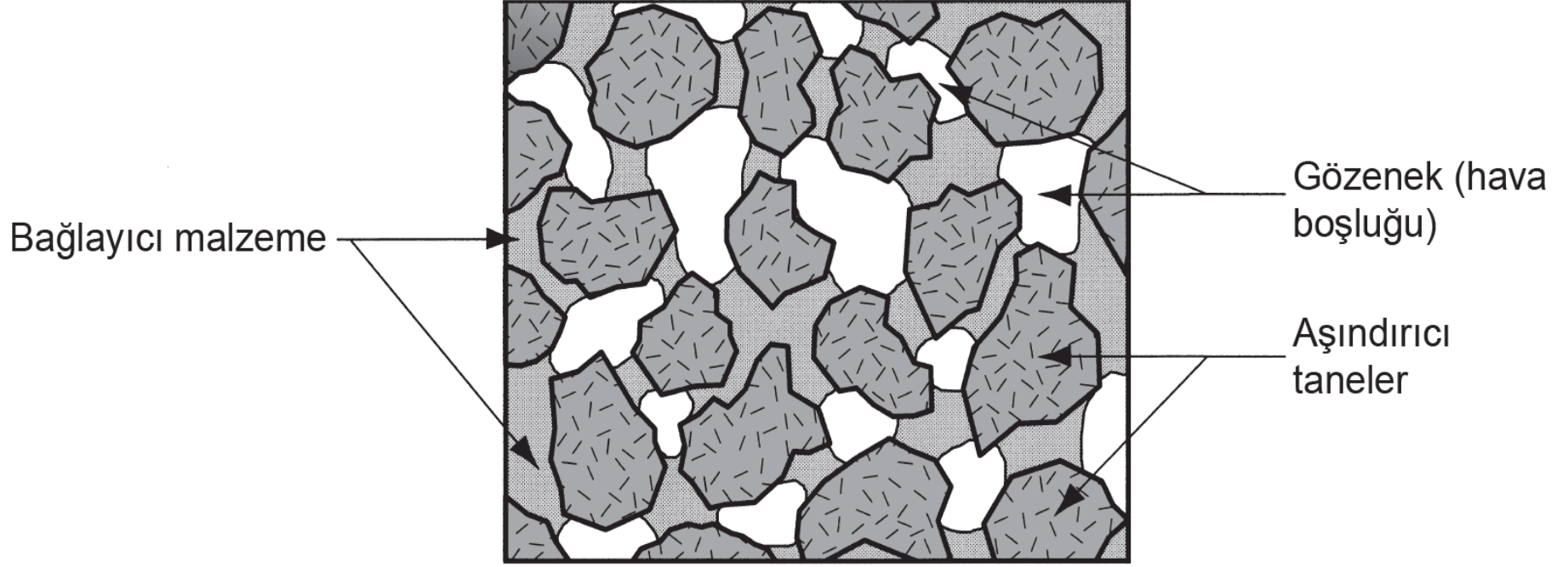
Bağlayıcı Malzeme Açıklama

Vitrifiye Bağlayıcı	Un haline getirilmiş kil ve seramik malzemeler içerir. Çoğu taşlama taşları genelde seramik bağlayıcılı taşlardır. Bu taşlar kuvvetli ve rijit, yükseltilmiş sıcaklıklara dirençli, ve göreceli olarak taşlama sıvılarında kullanılan su ve yağdan etkilenmez.
Silikat Bağlayıcı	Sodyum silikat (Na_2SiO_3) içerir. Uygulamaları genellikle kesme takımları taşlanması gibi ısı oluşumunun minimize edilmesi gereken durumlara sınırlandırılır.
Kauçuk Bağlayıcı	Çok esnek bağlayıcı malzemelerdir. Kesme taşları (spiral taşlar) da bağlayıcı malzeme olarak kullanılırlar.
Reçine Bağlayıcı	Çeşitli reçine malzemeler içerir, fenol formaldehit gibi. Çok yüksek mukavemete sahiptirler, kaba taşlamada ve taşla kesme uygulamalarında kullanılırlar.
Şellak Bağlayıcı	Göreceli olarak kuvvetli fakat rijit olmayan bir bağlayıcıdır. İyi yüzey kalitesi istenen uygulamalarda sıkça kullanılır.
Metalik Bağlayıcı	Metal, genellikle bronz, cBN ve elmas taşlama taşları için bağlayıcı malzemedir. Partikül işleme (Bölüm 14 ve 15) taşın dış çevresine metal matriks ve aşındırıcı taneleri bağlamak için kullanılır.

Taşın Yapısı

- Taştaki aşındırıcı tanelerin görelî hacmini belirtir.
- Aşındırıcı taneleri ve bağlayıcının yanı sıra, taşlama taşları, hava boşlukları ya da gözenekler içerir.
- Tanelerin, bağlayıcı malzeme ve gözeneklerin hacimsel oranları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P_g + P_b + P_p = 1.0$$



ŞEKİL 23.1 Tipik bir taşlama taşının yapısı

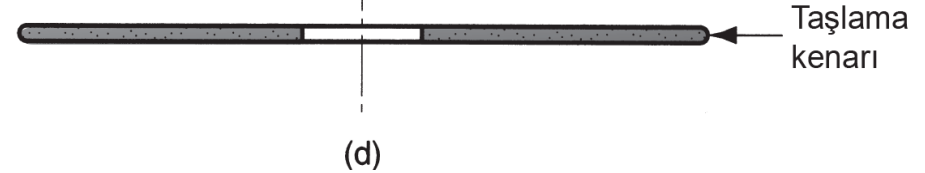
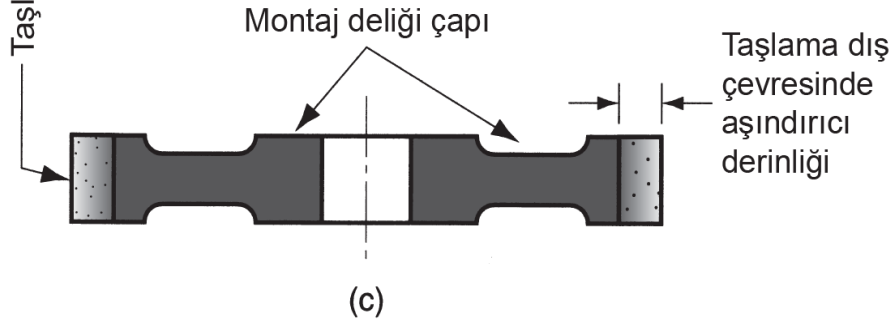
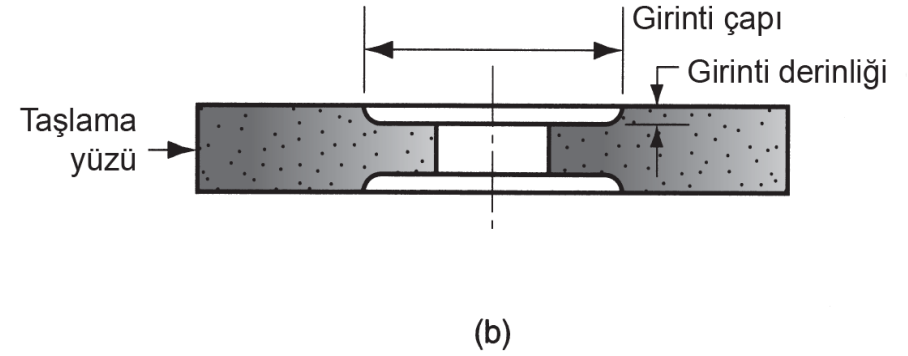
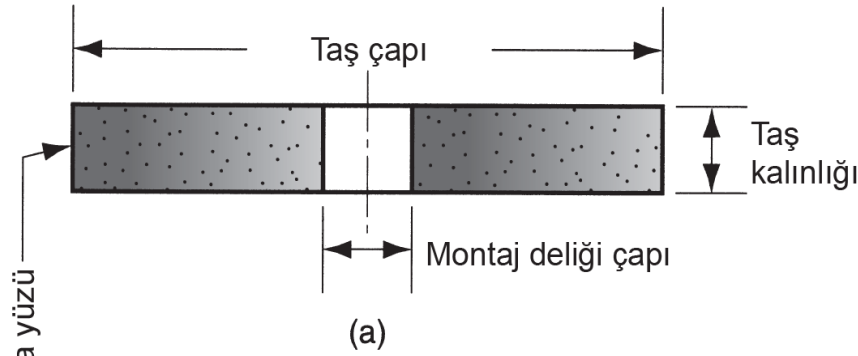
Taşın Yapısı

- "Açık" ve "yoğun" arasında değişen bir ölçekle ölçülür
 - Açık yapıda P_p nispeten büyük ve P_g nispeten küçük anlamına gelir-talaşların temizlenmesi yeterli açıklık sağlanması önerilir
 - Yoğun yapıda P_p nispeten küçük ve P_g büyük anlamına gelir, Daha iyi bir yüzey bitirme ve boyutsal kontrol elde etmek için tavsiye edilir

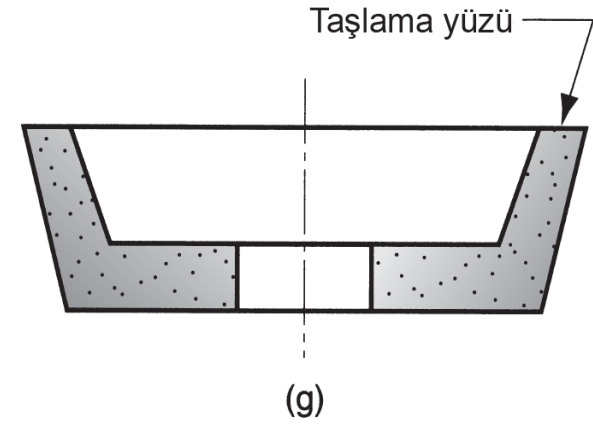
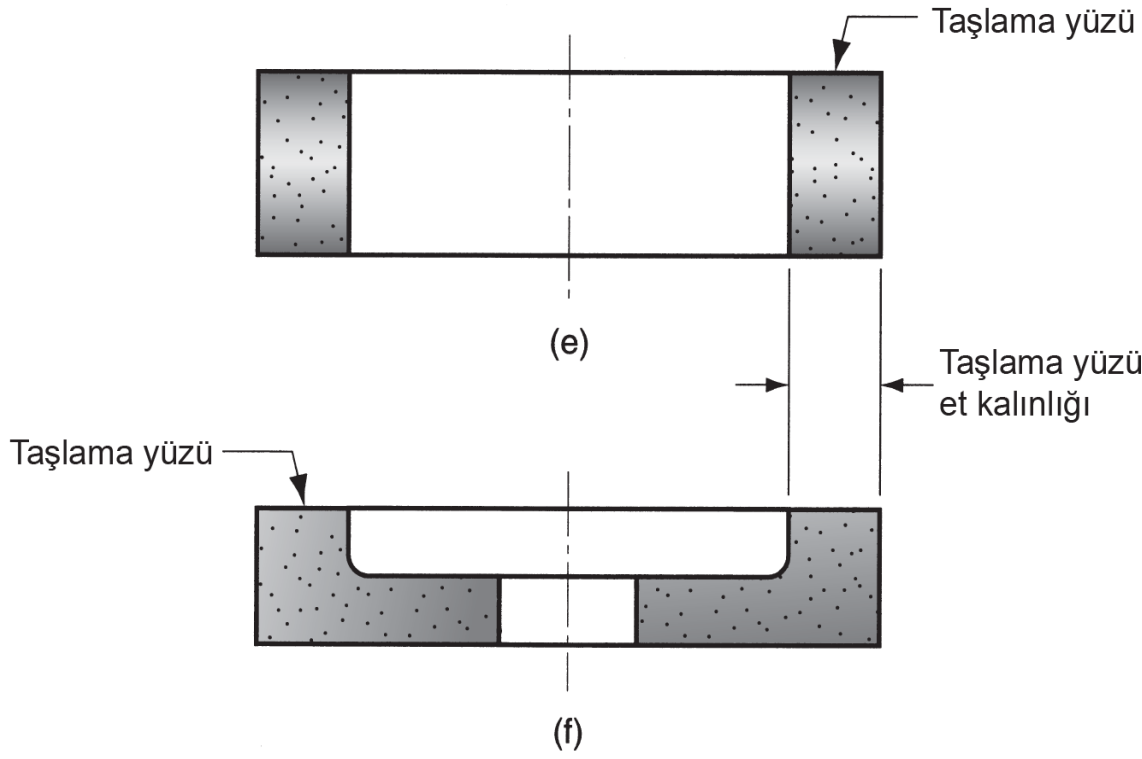
Taş sınıfı

- Kesme sırasında aşındırıcı tanelerin taşa için bağlayınma gücünü gösterir.
- Taşın yapısındaki bağlayıcı malzeme miktarına (P_b) bağlıdır
- Sert ve yumuşak arasında değişen bir ölçekte ölçülür
 - Yumuşak taş taneleri kolayca kaybeder, düşük malzeme kaldırma oranları ve sert malzemeler için kullanılır
 - Sert taşlar taneleri daha uzun korur- yüksek talaş kaldırma hızlarında ve yumuşak malzemeler için kullanılır

ŞEKİL 23.2 Bazı standart taşlama taş şekilleri



Şeklin Devamı Var...



23.1.2 TAŞLAMA İŞLEMİNİN ANALİZİ

Yüzey Kalitesi

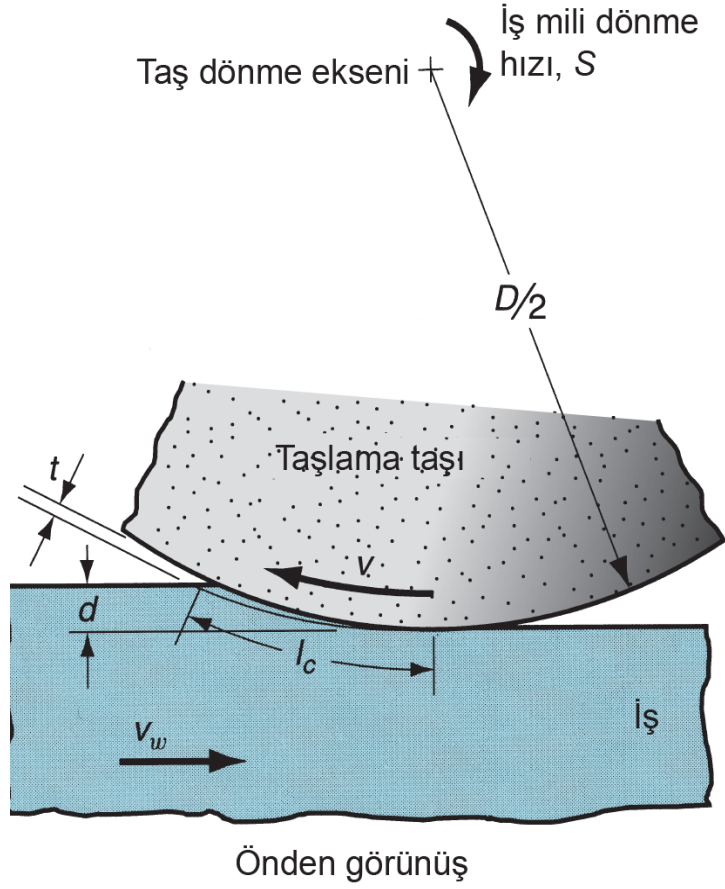
Kuvvet ve Enerji

İş yüzeyinde sıcaklıklar

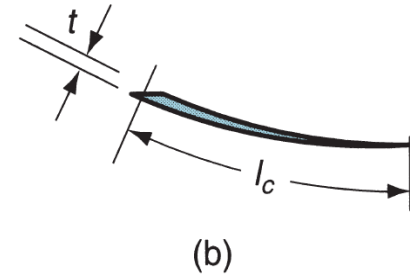
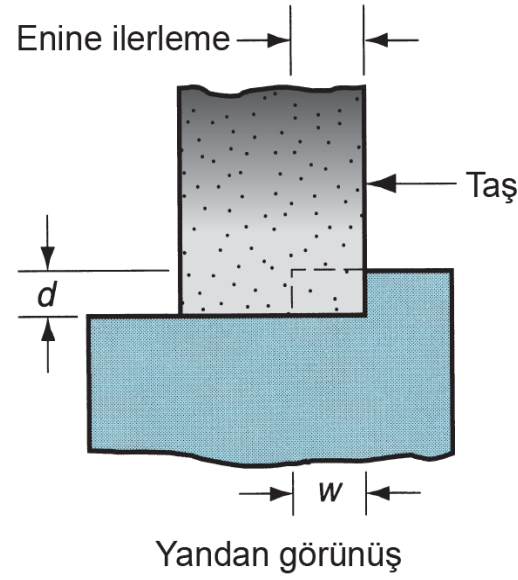
Taş Aşınması

ŞEKİL 23.3

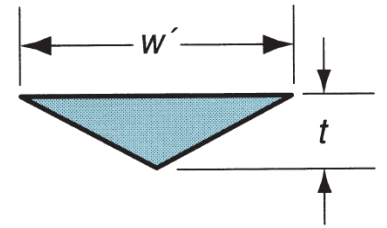
(a) Yüzey taşlama geometrisi, kesme koşullarını gösteren; (b) kabul edilen uzunlamasına şekil ve (c) tek bir talaşın enine kesiti



(a)



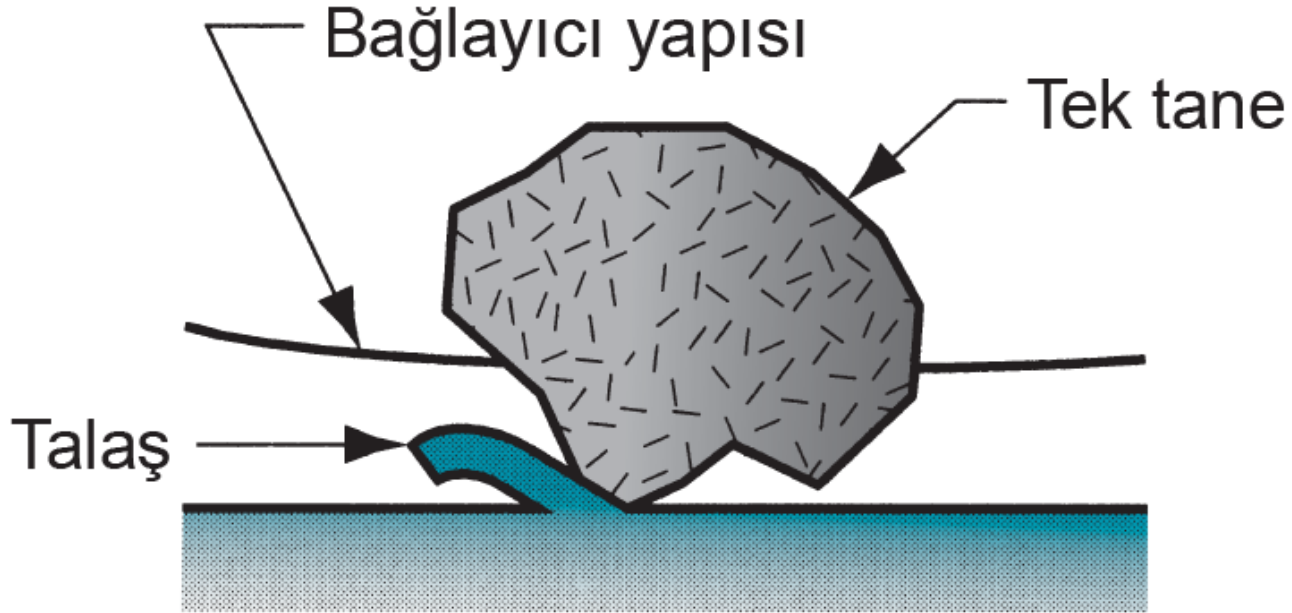
(b)



(c)

ŞEKİL 23.4

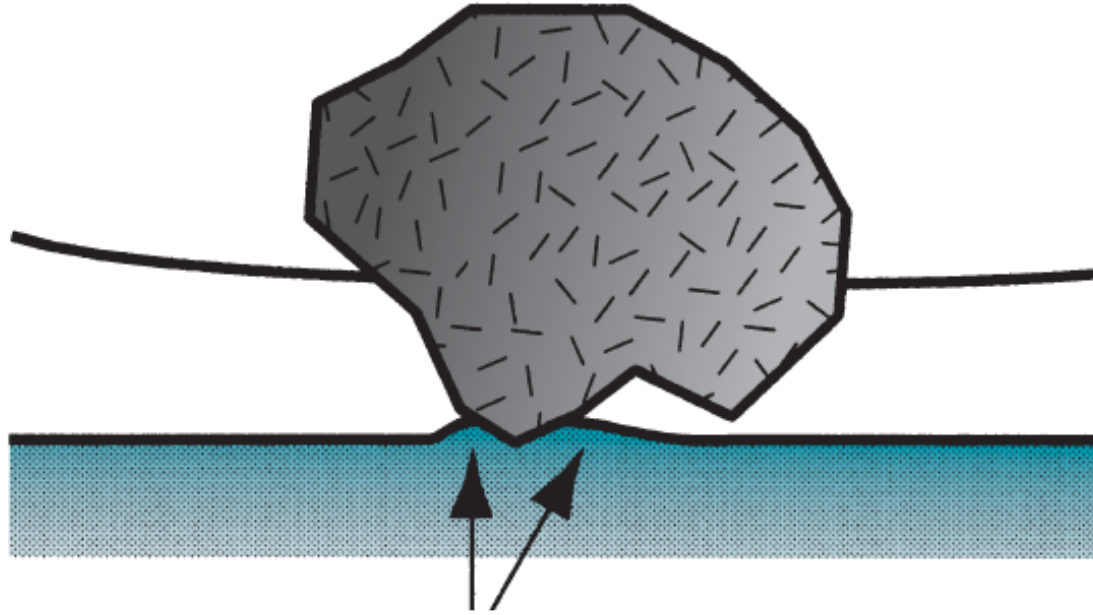
Taşlamada üç tip tane işlevi: (a) Kesme, (b) Ezme-(Kazıma) , (c) Ovalama



İş

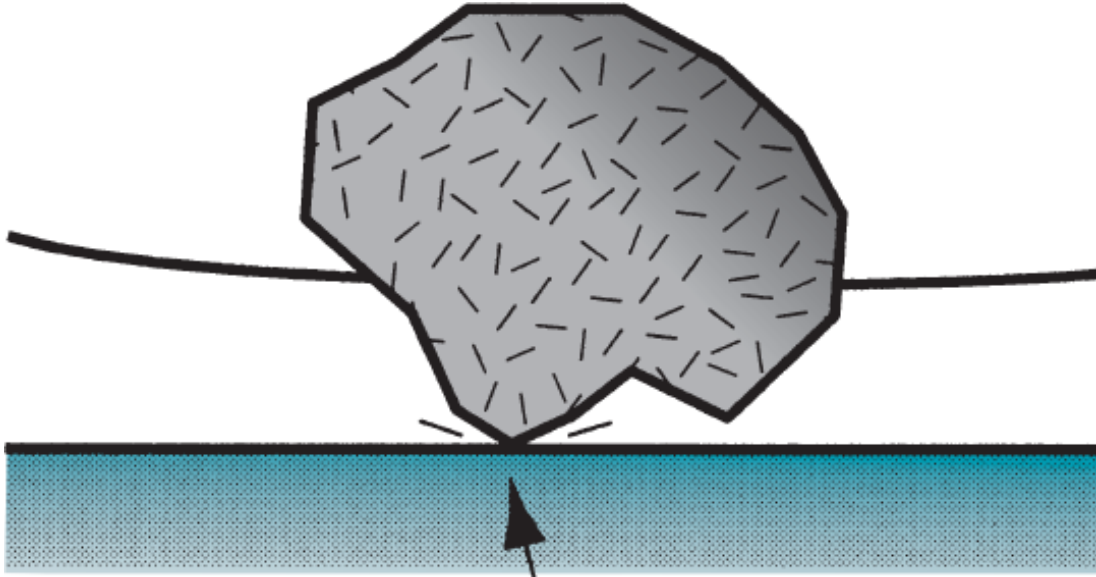
(a)

Şeklin Devamı Var...



Malzeme yüzeyinde Ezme (PŞV)

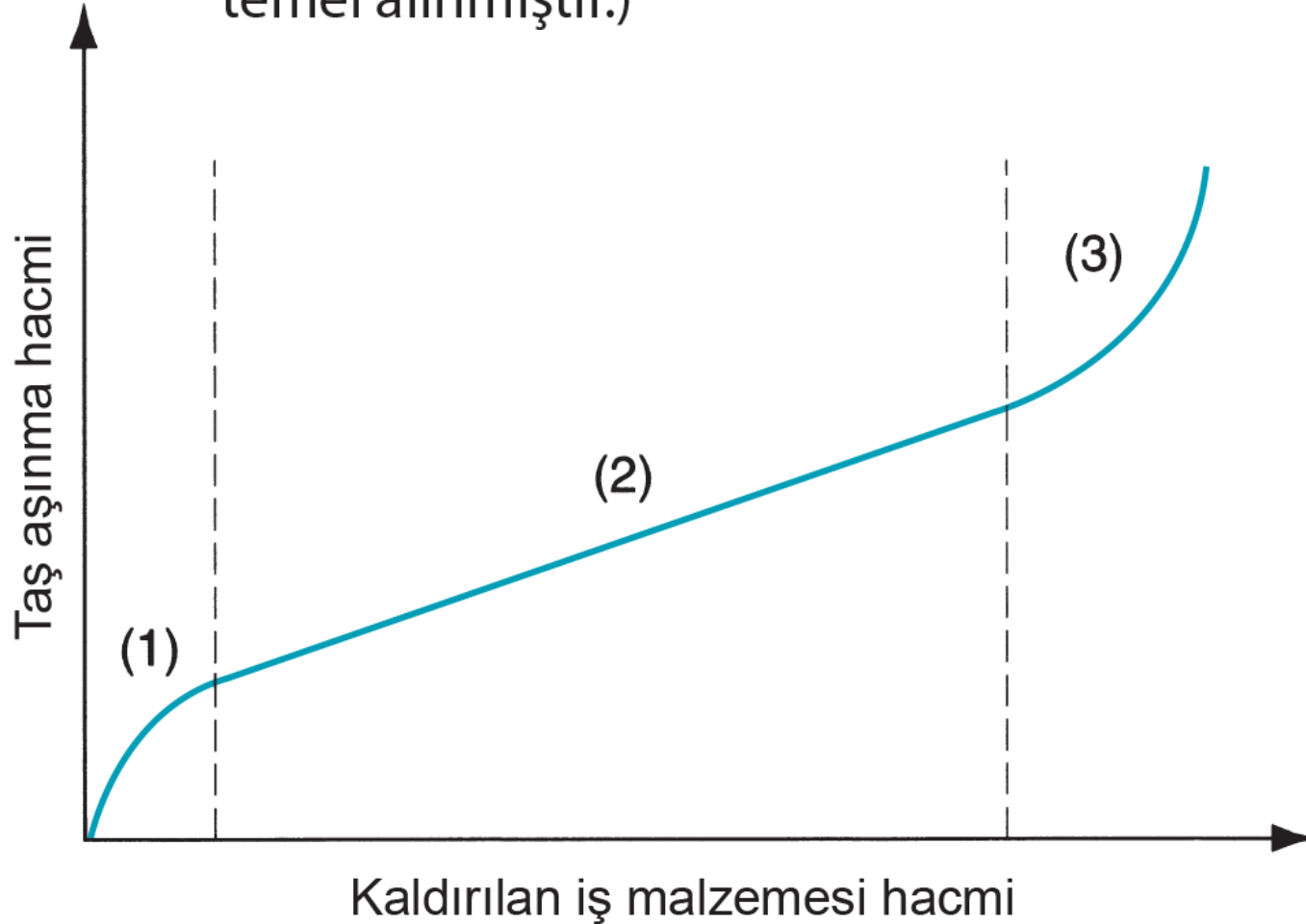
(b)



İş yüzeyine karşı
sürtünme

(c)

ŞEKİL23.5 Taşlama taşının aşınma eğrisi. Aşınma, zamanın fonksiyonu yerine kaldırılan malzeme hacminin bir fonksiyonu olarak alınır.([16] temel alınmıştır.)






Uygulama Klavuzu

- Çelik ve dökme demirler için
 - Aşındırıcı olarak **Alüminyum Oksit**,
- Çoğu demir dışı metaller için.
 - Aşındırıcı olarak **Silisyum Karbür**,
- Sertleştirilmiş takım çelikleri ve bazı havacılık alaşımları için
 - Aşındırıcı olarak **Kübik Bor Nitrür**,
- Sert aşındırıcı maddeler (örneğin, seramik, semente karbürler, cam)
 - Aşındırıcı olarak **Elmas** kullanılır

Uygulama Klavuzu

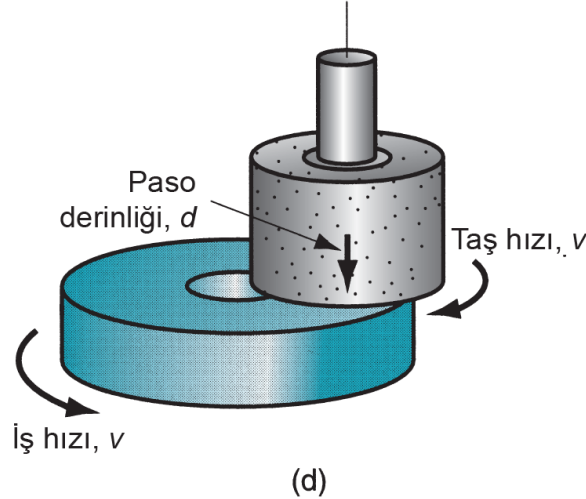
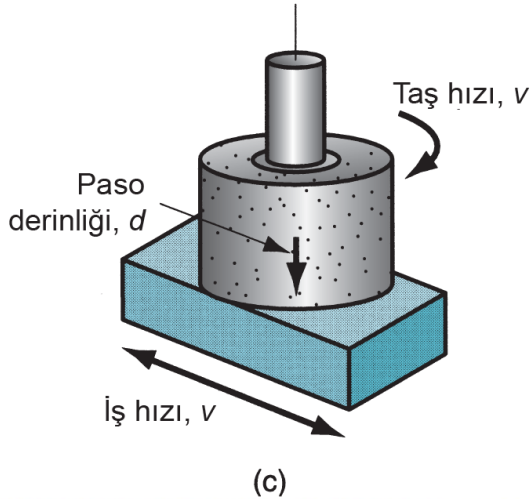
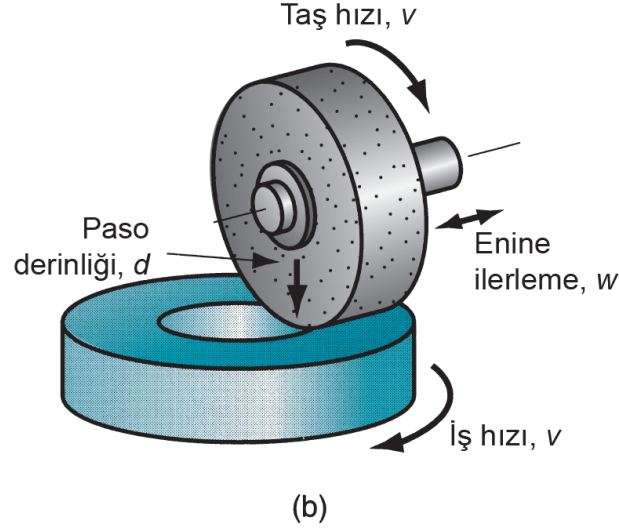
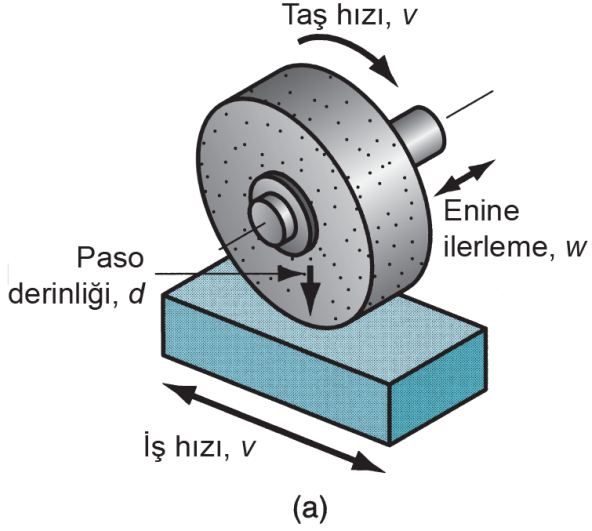
- 
- Yumuşak malzemeleri taşlamak için,
 - Büyük tane boyutu ve daha sert sınıf(grade) taş,
 - Sert Malzemeleri taşlamak için,
 - Küçük tane boyutu ve yumuşak sınıf(grade) taş kullanılır.

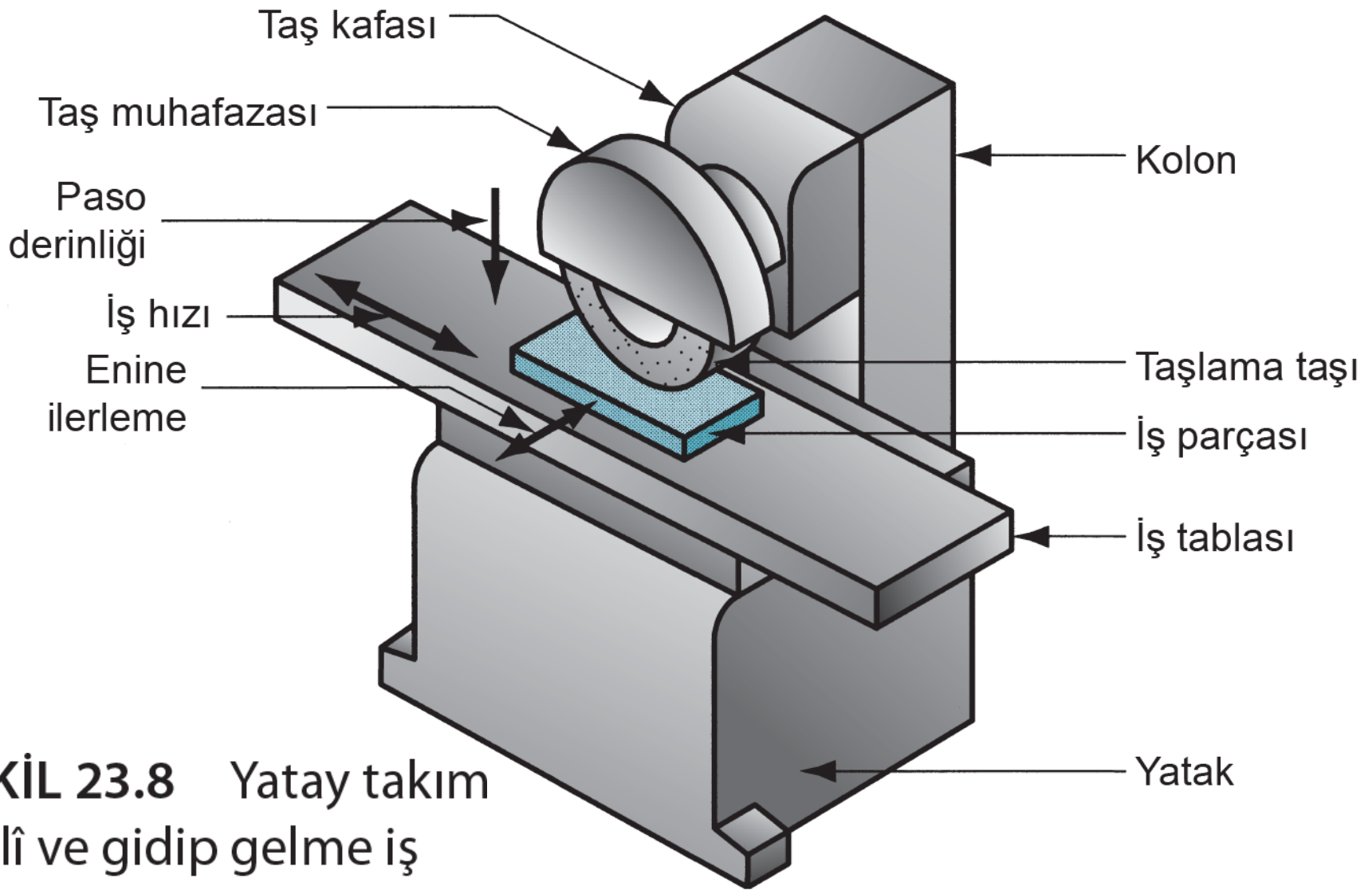
23.1.4 TAŞLAMA OPERASYONLARI VE TAŞLAMA MAKİNALARI

- Yüzey Taşlama
- Silindirik Taşlama
- Puntasız Taşlama
- Sürünme İlerlemeli Taşlaması
- Diğer Taşlama Operasyonları

Yüzey Taşlama

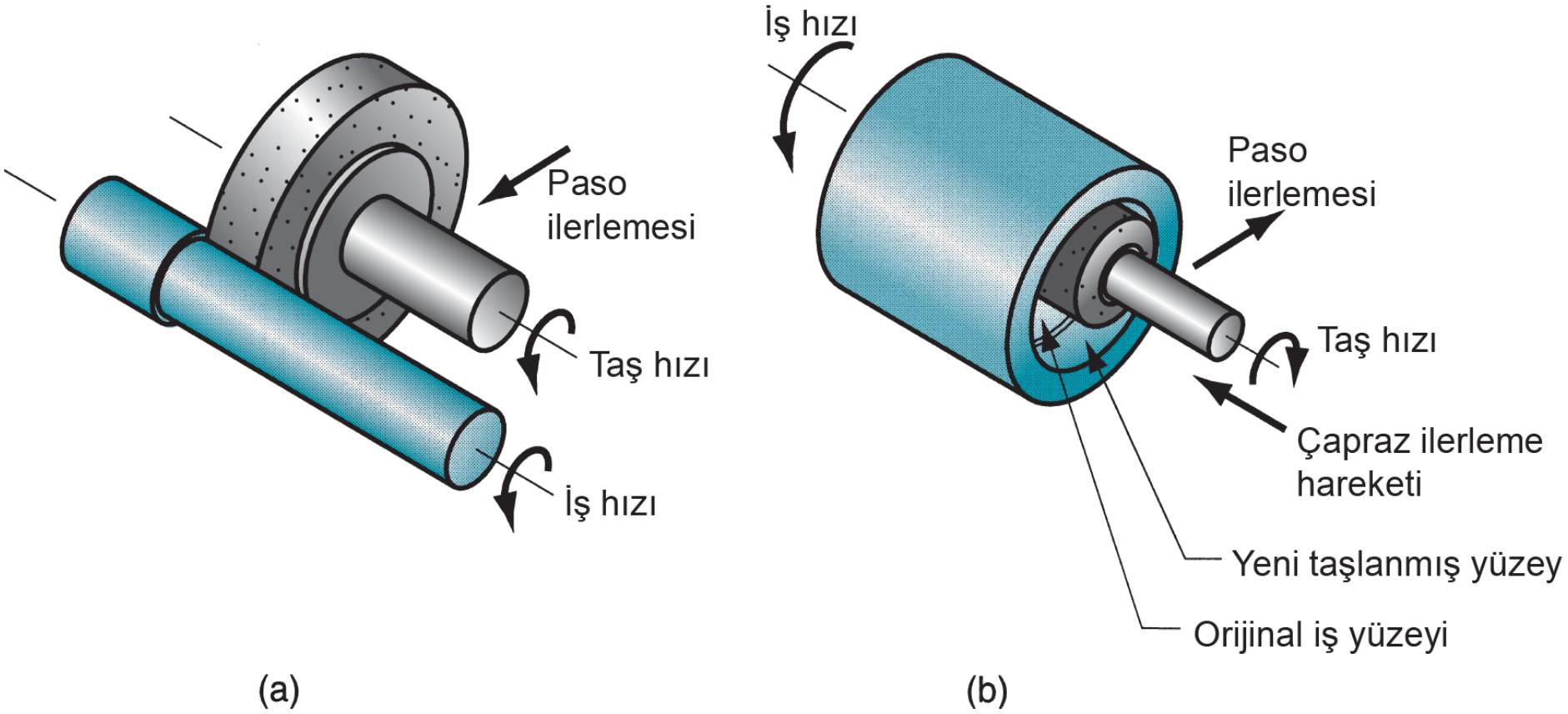
ŞEKİL 23.7 Dört tip yüzey taşlama: (a) Yatay takım mili ile gidip gelen iş (b) Döner iş tablası ile yatay takım mili (c) Gidip gelen iş tablası ile düşey iş mili (d) Döner iş tablası ile düşey iş mili





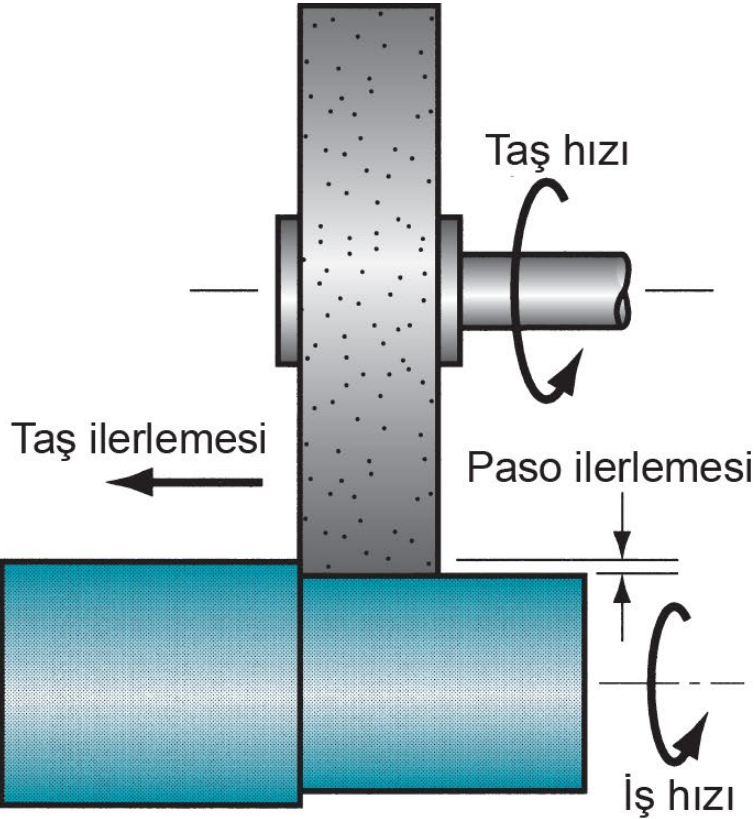
ŞEKİL 23.8 Yatay takım millî ve gidip gelme iş tablalı yüzey taşlama makinası

Silindirik Taşlama

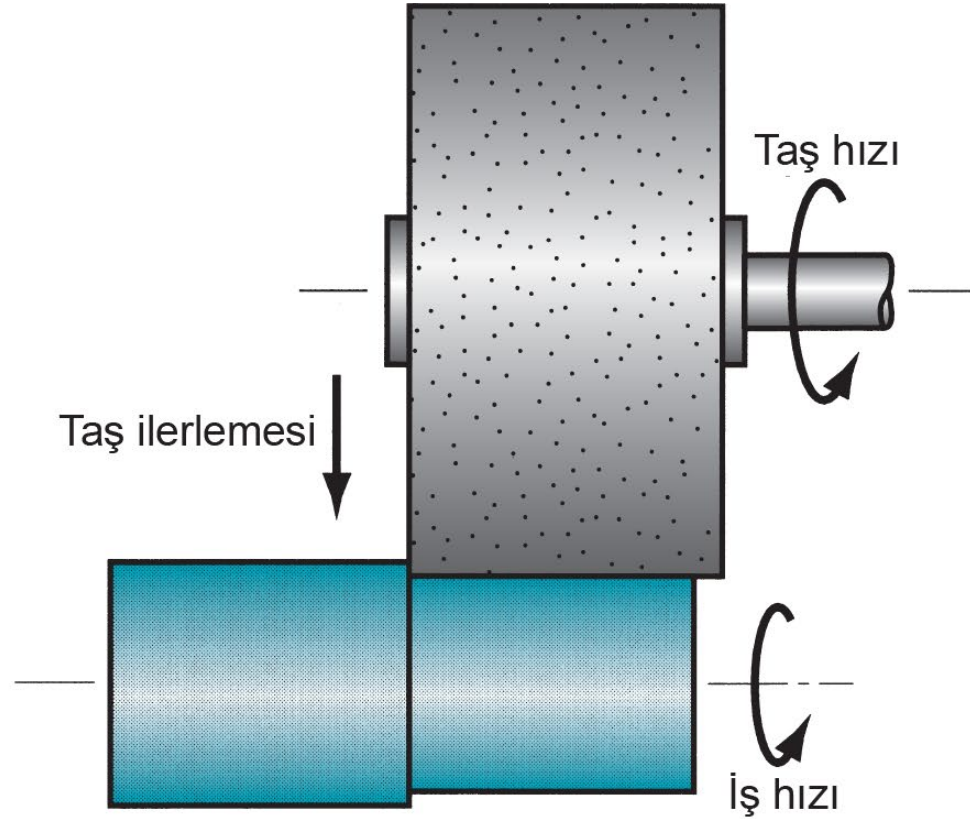


ŞEKİL 23.9 İki silindirik taşlama tipi: (a) dış ve (b) iç

ŞEKİL 23.10 Dış silindirik taşlamada iki tip ilerleme hareketi

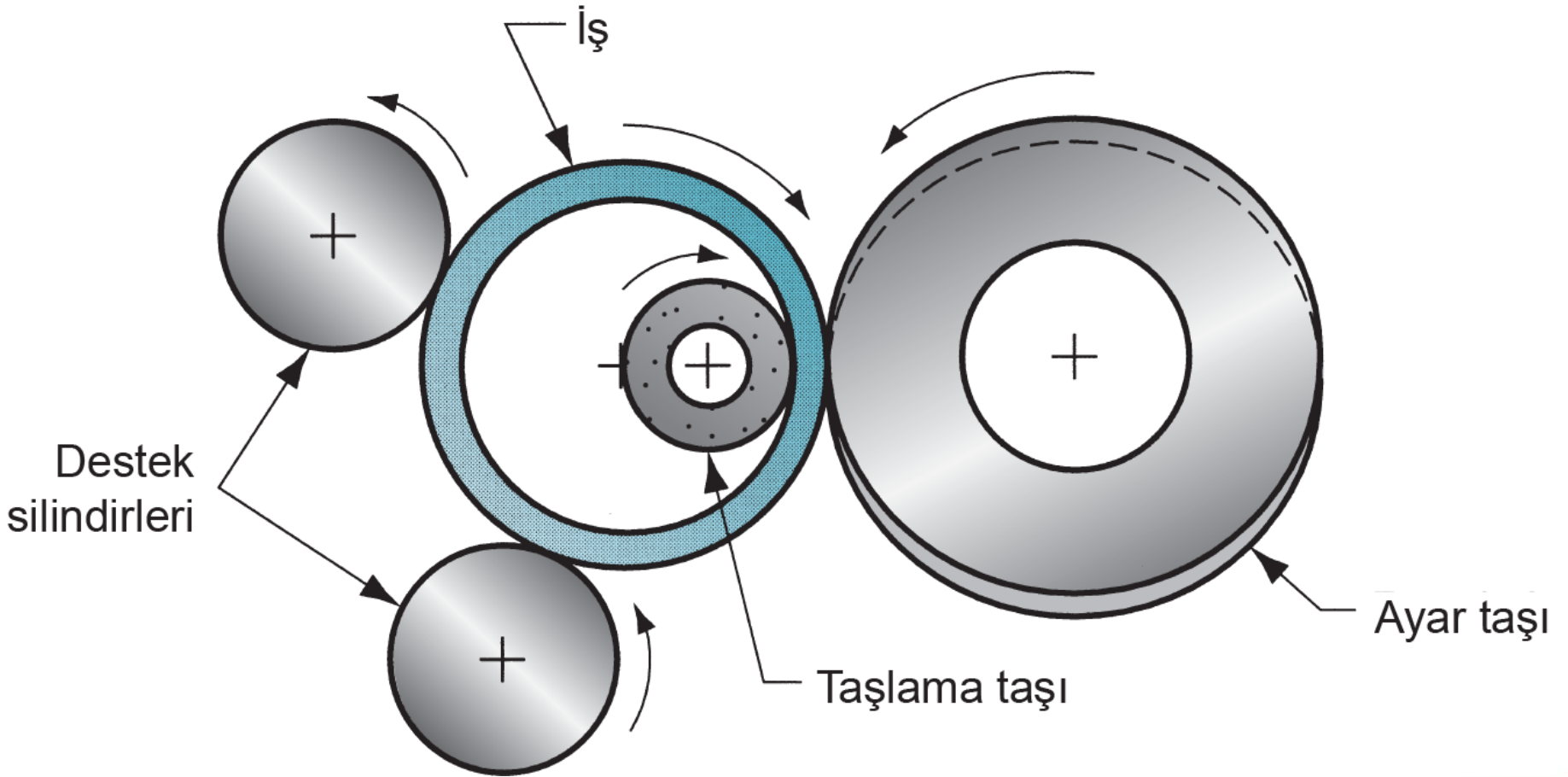


(a)

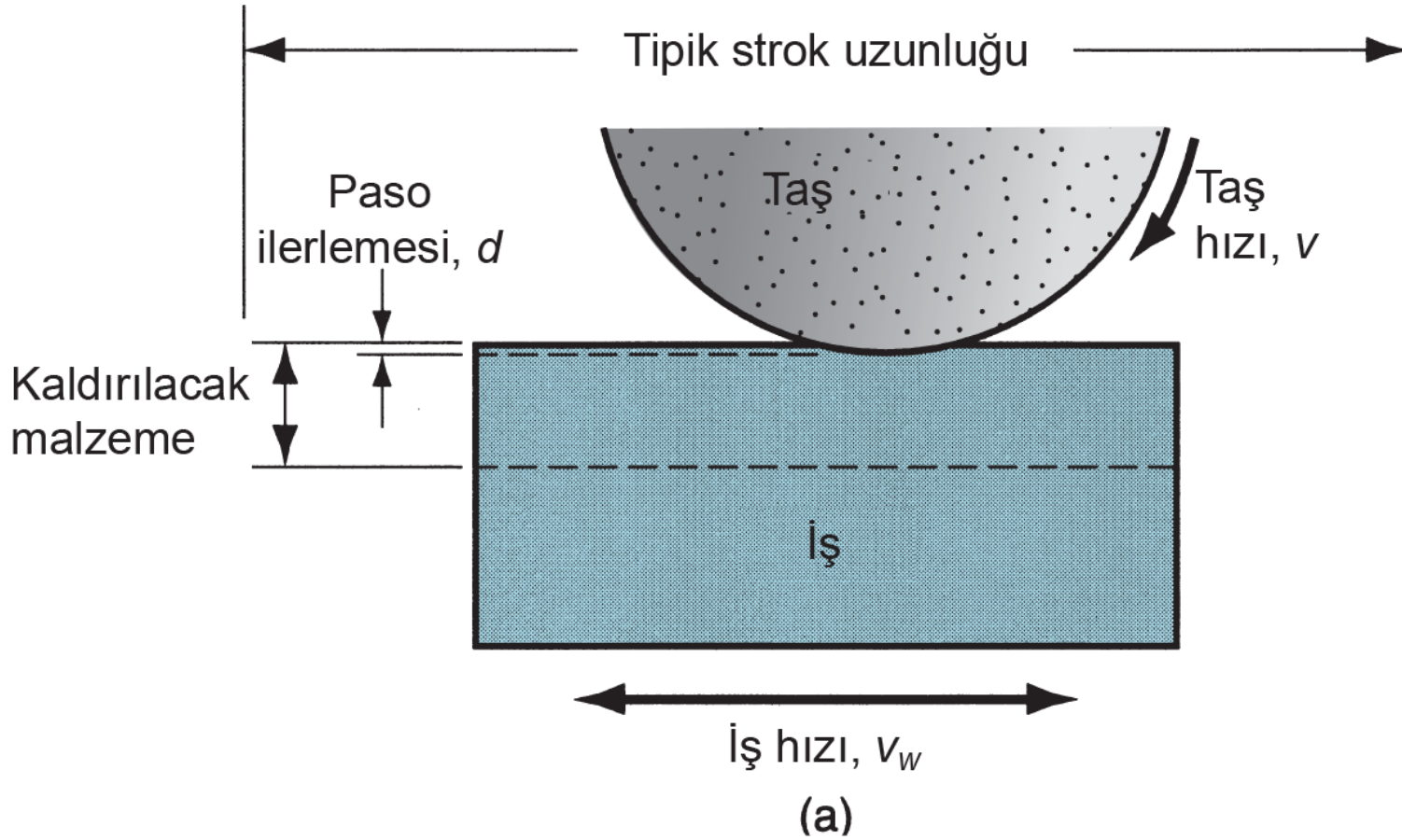


(b)

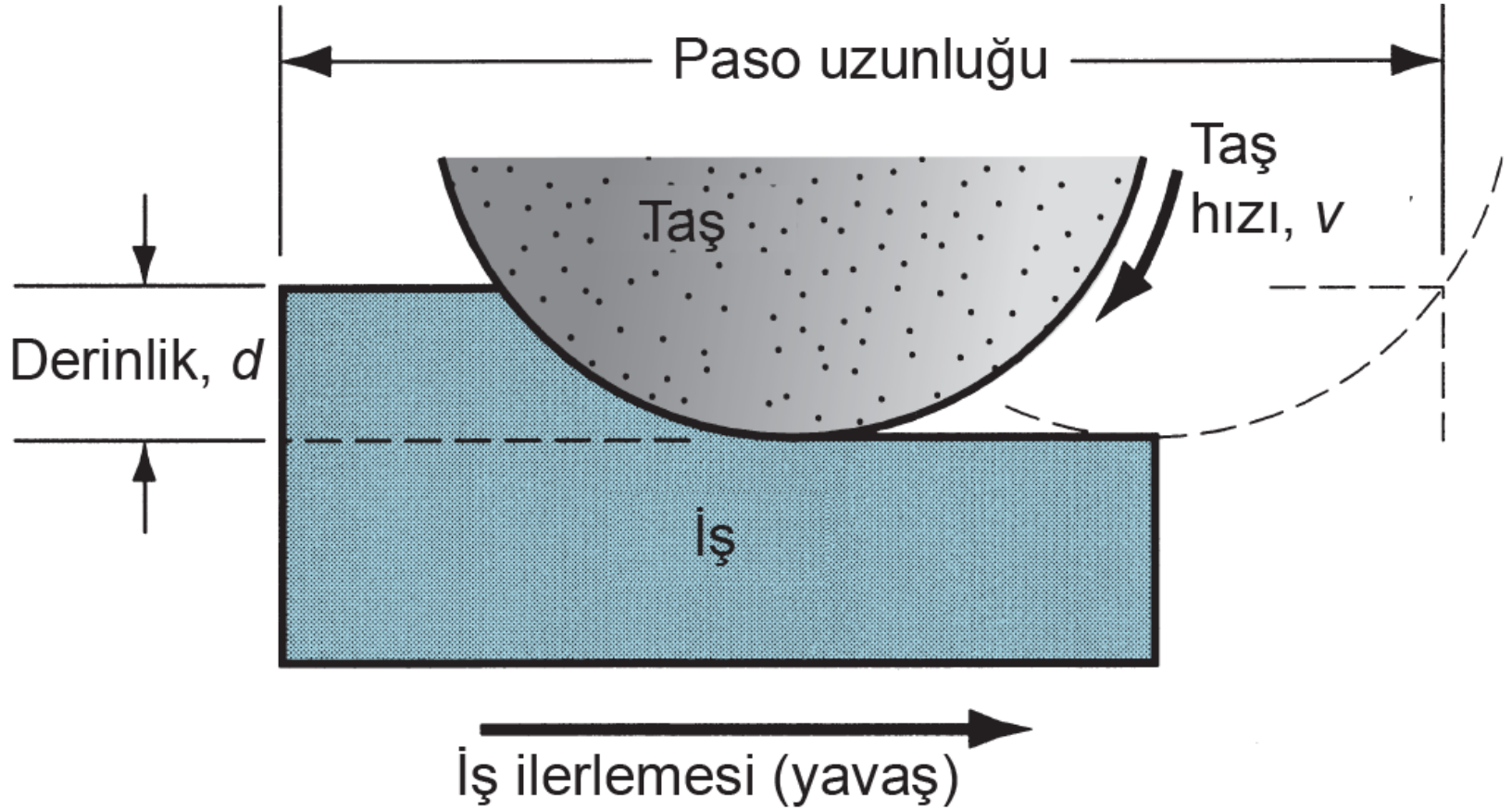
ŞEKİL 23.12 Dış silindirik taşlama



ŞEKİL 23.13

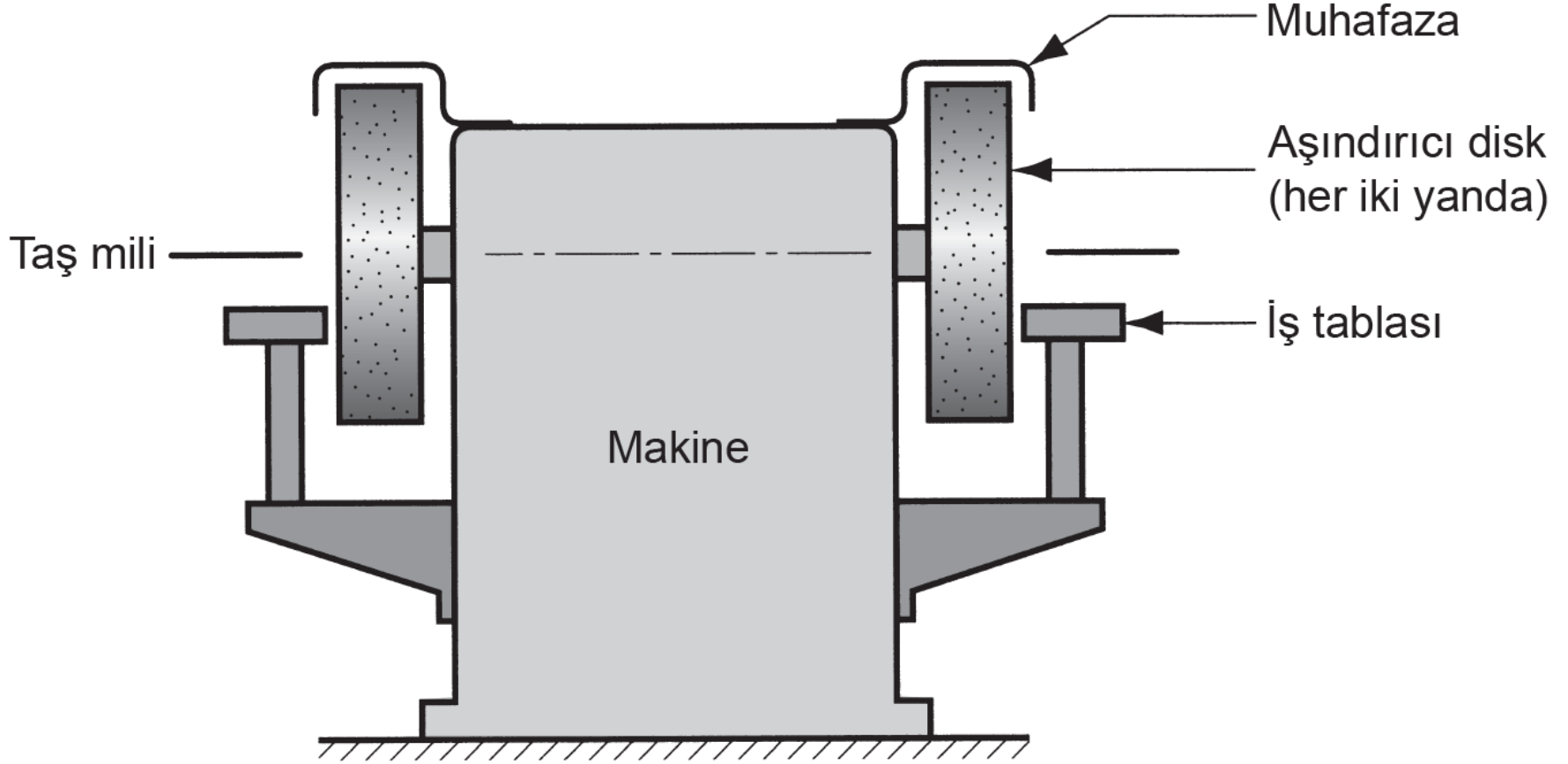


konvansiyonel yüzey taşlama

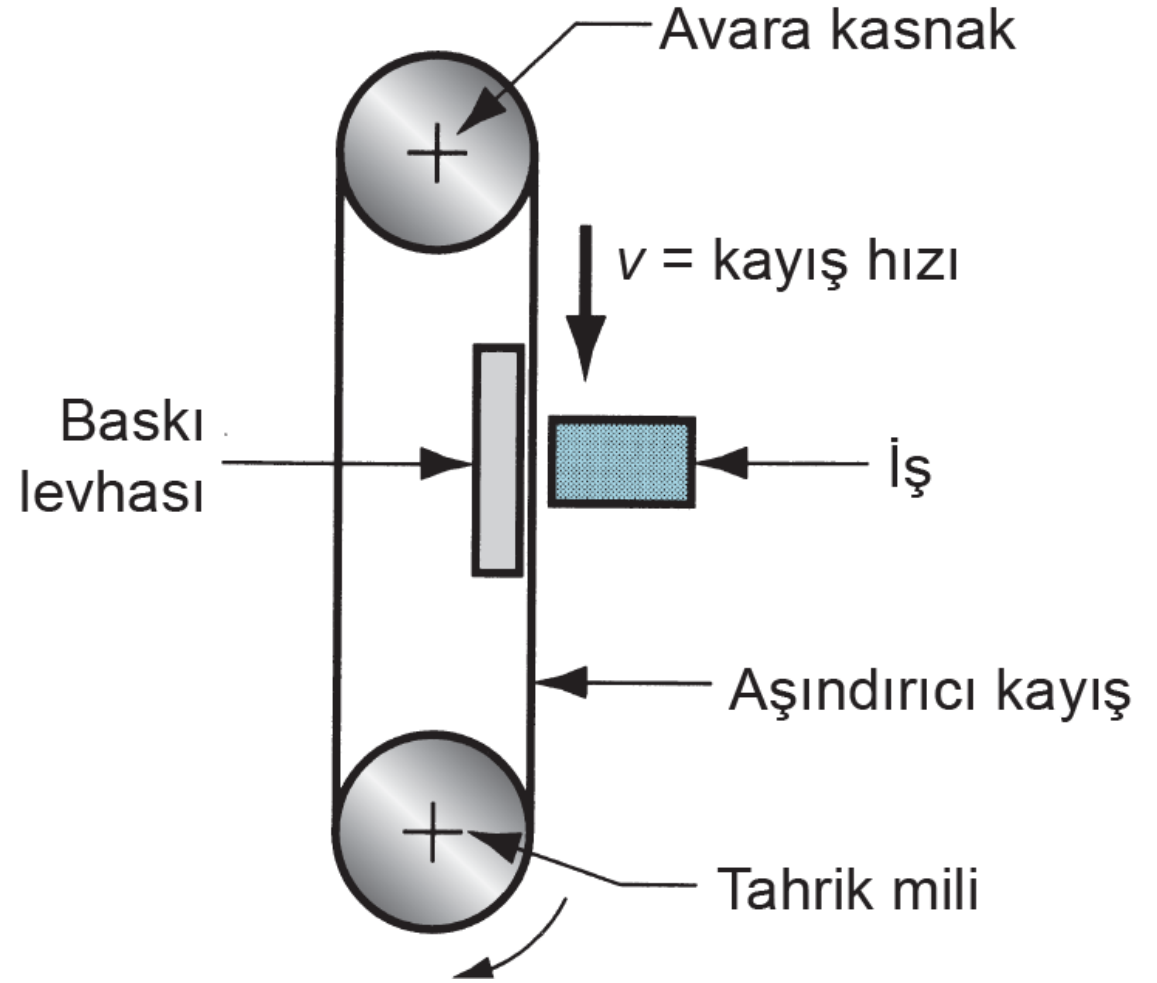


(b)

Diğer Taşlama Operasyonları



ŞEKİL 23.14 Bir disk taşlayıcı konfigürasyonu



ŞEKİL 23.15 Aşındırıcı kayışla taşlama

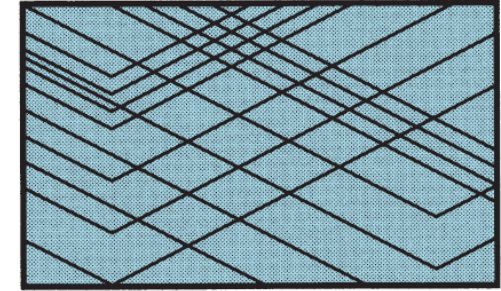
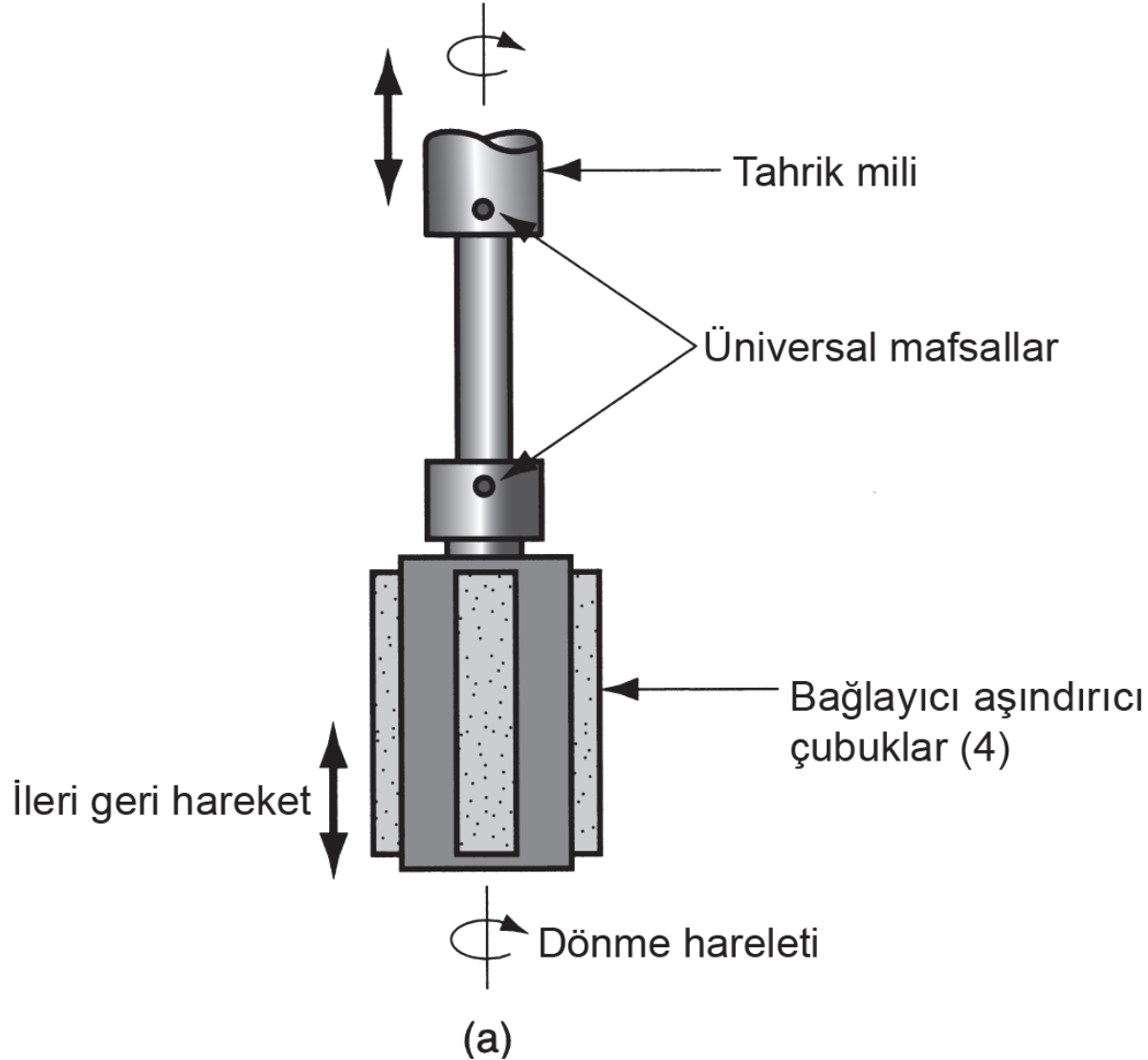
23.2 DİĞER AŞINDIRMA İŞLEMLERİ

- ❖ Diğer aşındırma işlemleri honlama, lepleme, hassas bitirme işlemi, polisaj ve hassas parlatmadır. Bu işlemler sadece bitirme (son işlem) operasyonlarıdır.

23.2.1 HONLAMA

- ❖ Honlama, set halinde bağlayıcı aşındırıcı çubuklar takımı ile bir dizi dönme ve salınım hareketleri ile yapılan aşındırma-“Zımparama işlemi “ işlemidir.
- ❖ Yaygın uygulama: içten yanmalı motorların silindirlerinin iç yüzeylerinin bitirme işlemleri için
- ❖ 0.12 μm (5 $\mu\text{-in}$) yada daha iyi yüzey bitirmeler
- ❖ Yağlayıcıları yüzeyde tutan karakteristik çapraz taralı bir yüzey oluşturur

ŞEKİL 23.16 Honlama işlemi: (a) iç delik yüzeyi için kullanılan honlama takımı, ve (b) honlama takımının hareketi ile oluşturulan çapraz izli yüzey modeli



(b)

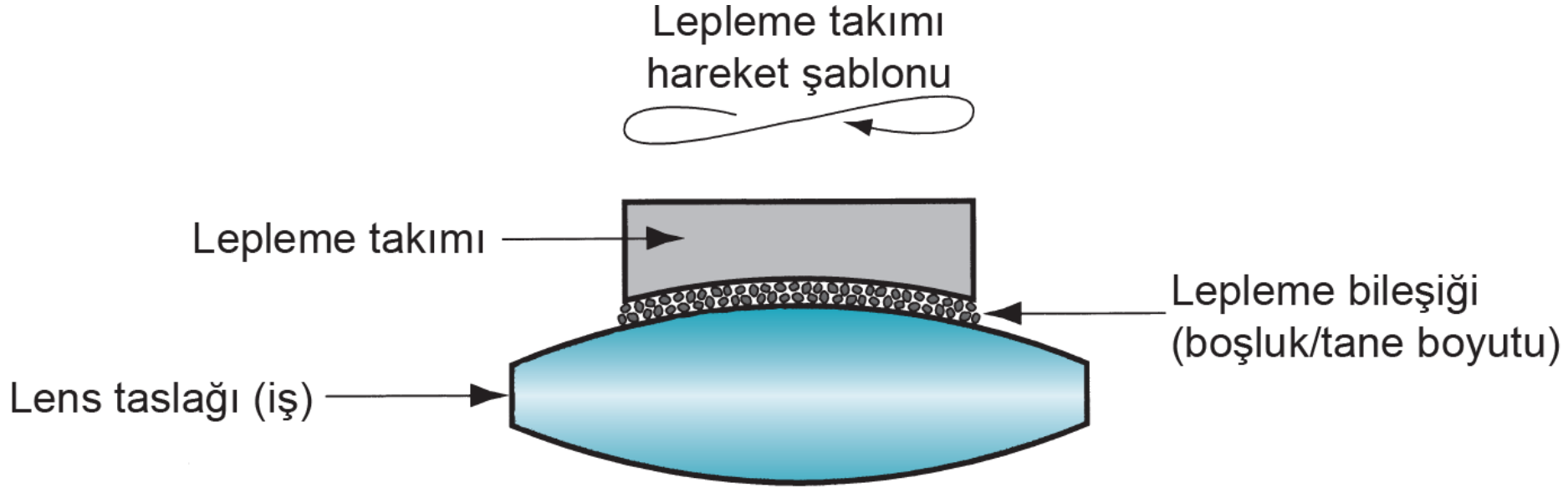
Lepleme

Leplemede iş parçası ile Lep takımı arasında çok küçük aşındırıcı parçacıkların sıvı süspansiyonu kullanılır,

- Aşındırıcılar ile sıvı bileşik, kireçli bir macun genel görünümüne sahiptir
- Uygulamalar: optik lensler, metalik yatak yüzeyleri, mastarlar

23.2.2 LEPELEME

ŞEKİL 23.17 Lens yapımında lepleme işlemi





Superfinishing-Hassas Taşlama

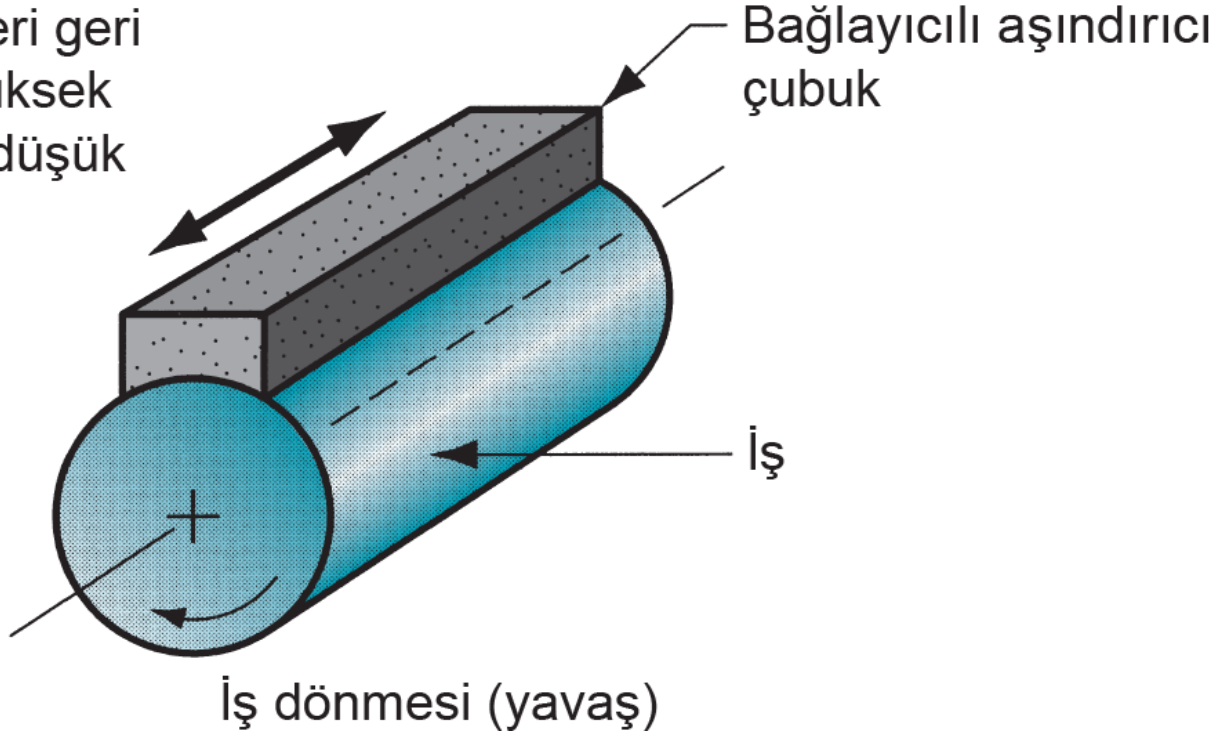
Honlamaya benzer- ileri geri hareketlerle yüzey karşı bastırılan aşındırıcı içeren çubuk şeklinde takım kullanılır

■ ***Honlamadan farkları:***

- Daha kısa strok
- Daha yüksek frekanslar
- Takım ve yüzey arasındaki basınç daha düşük
- Daha küçük tane boyutu (aşındırıcı)

23.2.3 HASSAS BİTİRME İŞLEMİ

Çubuğun ileri geri hareketi (yüksek frekans ve düşük genlik)



ŞEKİL 2318 Bir dış silindir yüzey üzerinde hassas bitirme işlemi

GELENEKSEL OLMAYAN TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİ

1. Mekanik Enerji Yöntemleri
2. Elektrokimyasal İşleme Yöntemleri
3. Isıl Enerji Yöntemleri
4. Kimyasal İşleme
5. Uygulama Yönergeleri



Geleneksel Olmayan Yöntemler

Mekanik, ısı, elektriksel ya da kimyasal enerji (ya da bu enerjilerin kombinasyonları) kullanıldığı fazla malzeme kaldırmak için geliştirilmiş bir grup teknikler/süreçler olarak tanımlanabilir

Bunlar geleneksel anlamda keskin bir kesici takımın kullanılmadığı yöntemlerdir

Geleneksel olmayan işleme yöntemlerinin sınıflandırılması

- **Mekanik** - tipik mekanik etki biçimli, yüksek hızlı aşındırıcı veya sıvı (veya her ikisi)akışı tarafından işparçası malzemesinin erozyonu
- **Elektriksel** - Malzeme kaldırmak için elektrokimyasal enerji kullanımı
- **Isıl** – İş parçası yüzeyinin küçük bir kısmına ısı enerji uygulanması sonucu genellikle bu bölümün buharlaşması ve / veya erimesi
- **Kimyasal** – Diğer bölümleri bir maske tarafından korunmakta olan işparçasının açık bölümlerinin kimyasal dağlayıcılar kullanarak seçici olarak aşındırılması/çözündürülmesi

Mekanik Enerji Yöntemleri

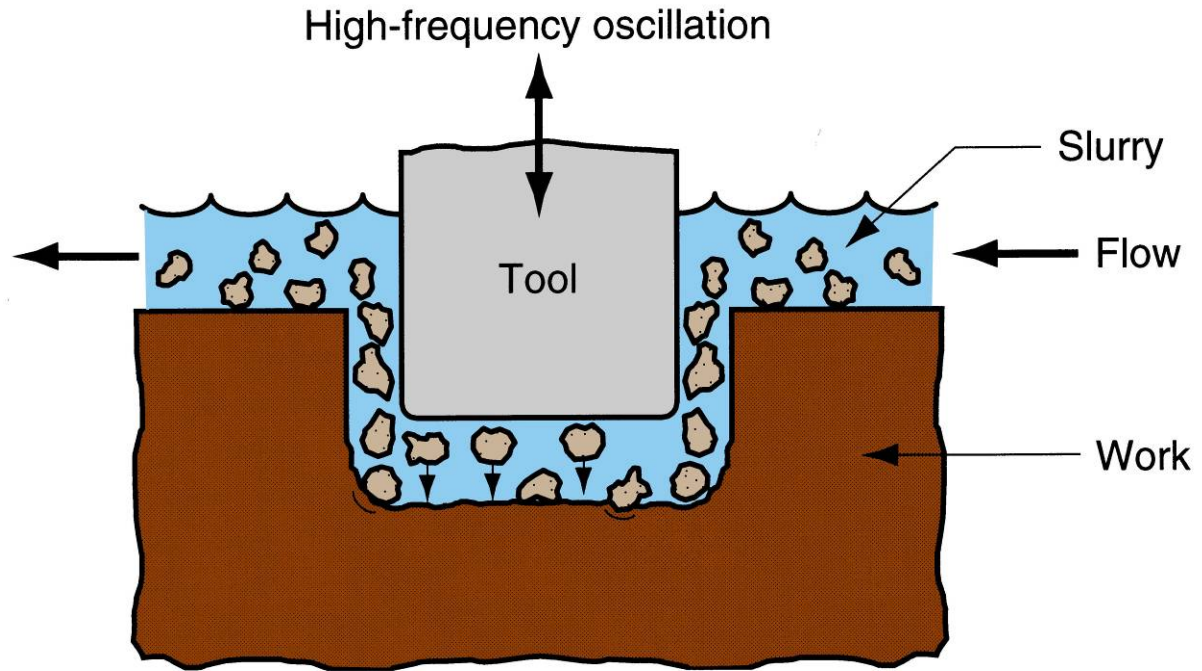
- Ultrasonik işleme
- Su jeti ile Kesme
- Aşındırıcılı Su jeti ile Kesme
- Aşındırıcılı Su jeti ile İşleme

Ultrasonik İşleme(USM)

Bir çamur içinde yer alan Aşındırıcılar, düşük genlikli ve yüksek frekansta titreşen bir takım tarafından iş parçasına doğru yüksek hızla çarptırılarak küçük mikro talaşlar kaldırılır

- Takım salınımı iş parçası yüzeyine diktir
- Aşındırıcılar malzeme kaldırma işlevini gerçekleştirmek üzere kullanılır.
- Takım yavaşça iş parçasına doğru beslenir.
- Takımın şekli iş parçasının şeklini belirler.

Ultrasonik İşleme

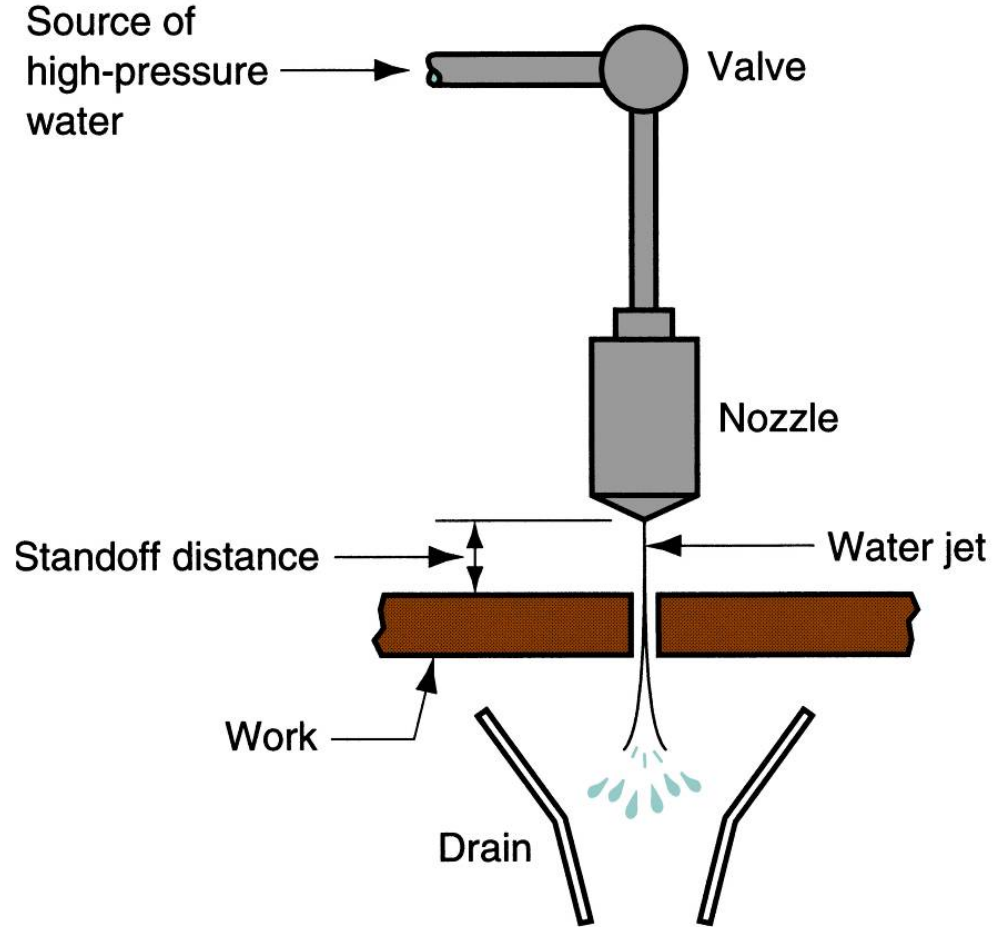


USM Uygulamaları

- Seramik, cam ve karbürler gibi sert, kırılğan iş malzemeleri,
- Ayrıca, paslanmaz çelik ve titanyum gibi bazı metallerde de başarılı
- Yuvarlak olmayan delik şekiller
- "Darp işlemleri" desen oluşturan bir takımın düz bir çalışma yüzeyine aktarılması.

Su Jeti ile Kesme(WJC)

Kesim için, yüksek basınç, yüksek akış hızındaki su işparçası yüzeyine yönlendirilir,



WJC Uygulamaları

- Genellikle memesi istenen yörünge boyunca CNC veya endüstriyel robotlar tarafından otomatik olarak yönlendirir.
- Plastik, tekstil, kompozit malzemeler, karo, halı, deri ve mukavva gibi düz stoklarda dar yarıklar kesmek için kullanılır.

WJC Avantajları

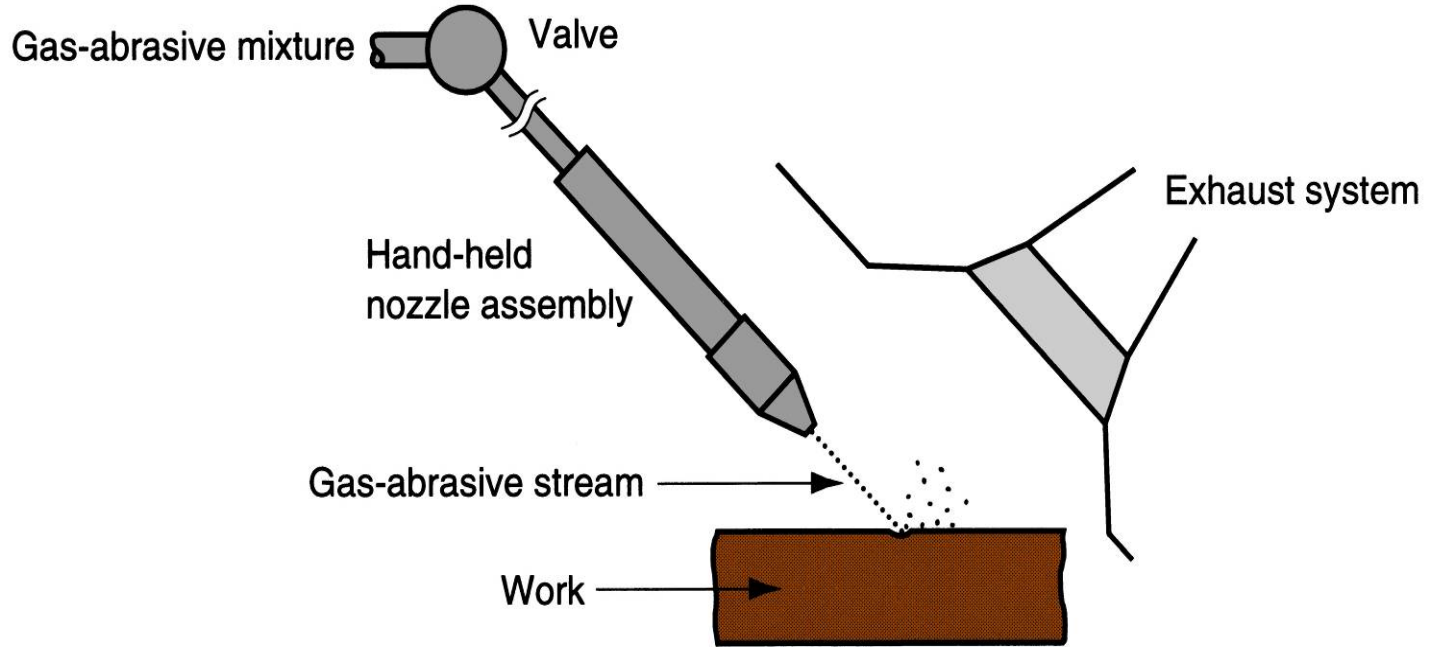
- İş parçası yüzeyinde ezilme ya da yanma olmaz
- Minimum malzeme kaybı
- Hiçbir çevre kirliliği olmaz
- Otomasyon kolaylığı

Aşındırıcılı Su Jeti ile Kesme(AWJC)

- WJC metaller üzerinde kullanılması için , genellikle aşındırıcı parçacıkların jet akımına eklenmesi gerekir.
- Ek proses parametreleri: aşındırıcı türü, tane büyüklüğü ve akış hızı
Aşındırıcılar: alüminyum oksit, silisyum dioksit ve garnet (silikat minerali)
Grit boyutları 60 ve 120 arasında değişmektedir
Aşındıcı, memeden çıktıktan sonra su akışına 0.25 kg / dk civarında eklenir.

Aşındırıcılı Su Jeti ile İşleme(AJM)

- küçük aşındırıcı partikülleri içeren Yüksek hızlı gaz akışı



AJM Uygulama Notları

- Genellikle nozzle yönlendirilmesi operatör tarafından manüel olarak gerçekleştirilir
- Normalde kesme işleminden ziyade bir bitirme işlemi olarak kullanılır
- Uygulamalar: çapak alma, kırpma ve çapak kesme, temizleme ve parlatma
- İş malzemeleri: ince, düz bir stok halindeki sert, kırılğan malzemeler (örneğin, cam, silisyum, mika, seramik)

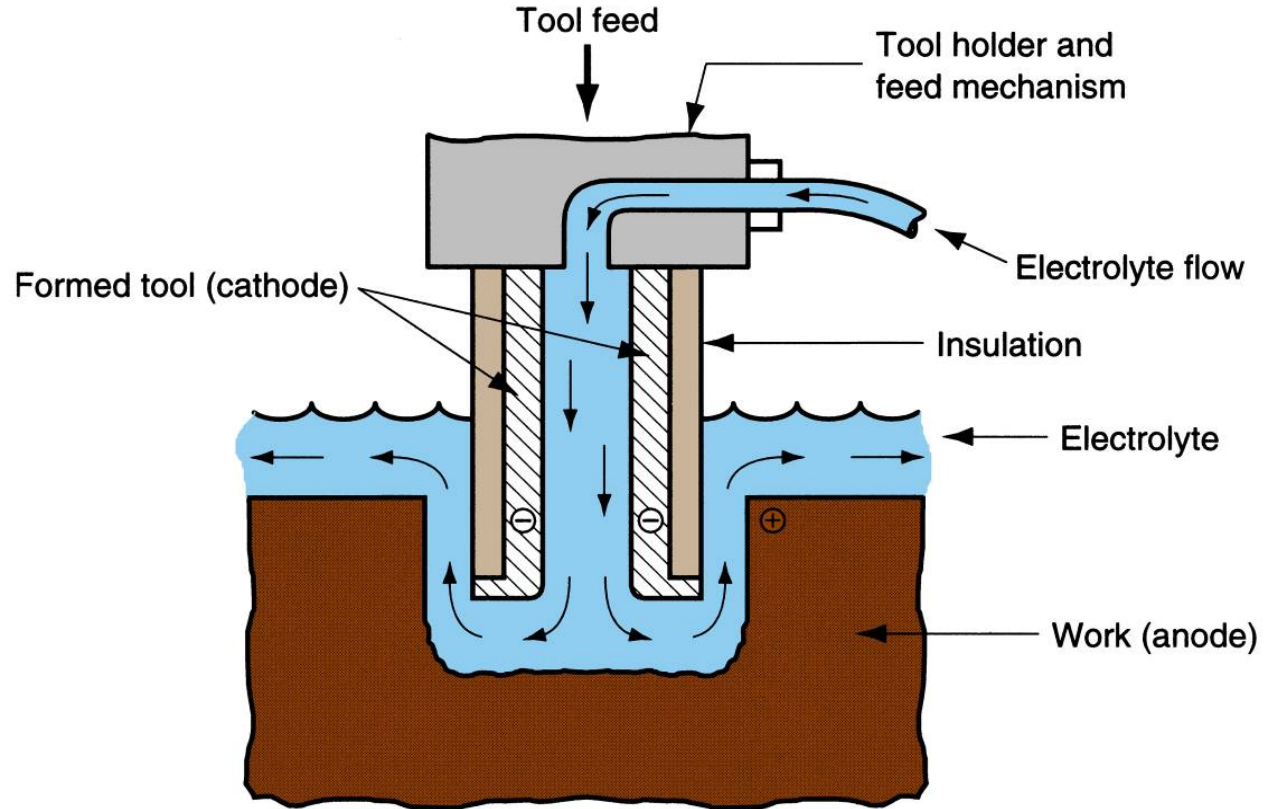


Elektrokimyasal İşleme Yöntemleri

- Elektrik enerjisi talaş kaldırmak için kimyasal reaksiyonlar ile birlikte kullanılır
- Galvanik kaplamanın tersi
- İşparçası malzemesi iletken olmalıdır
- Yöntemler:
 - Elektrokimyasal işleme (ECM)
 - Elektrokimyasal çapak alma (ECD)
 - Elektrokimyasal taşlama(ECG)

Elektrokimyasal İşleme(ECM)

Anodik çözünme ile, aralarından hızla akan elektrolitin aktığı, işparçasına yakın duran bir elektrot (takım) kullanarak gerçekleştirilen Malzeme kaldırma Yön.



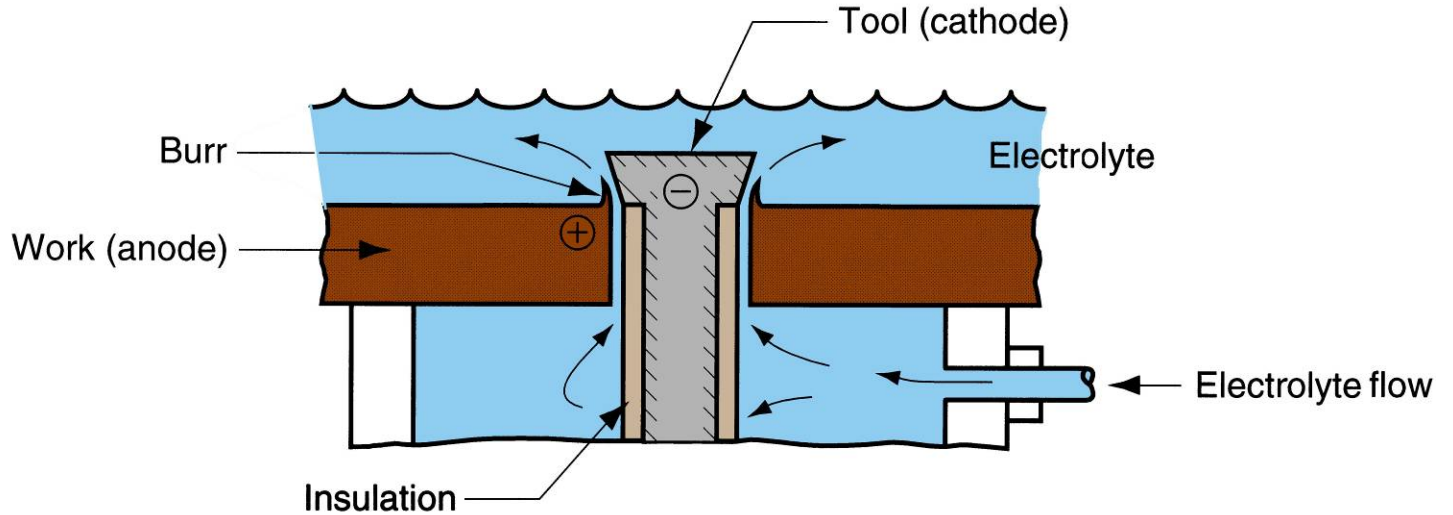
ECM İşlemi

Malzeme, anot iş parçasından (pozitif kutup) çözünerek, elektrolit banyosunda katot takıma (negatif kutup) doğru taşınır

- Elektrolit çözünen malzemeyi taşımak üzere iki kutup arasında hızla akar, bu yüzden takımın üzerine kaplama olamaz
- Elektrot malzemeleri: bakır, pirinç veya paslanmaz çelik
- Takımın şekli parçanın tersi bir şekle sahiptir
Takım boyutu ve şekli ara boşluk için izin vermelidir

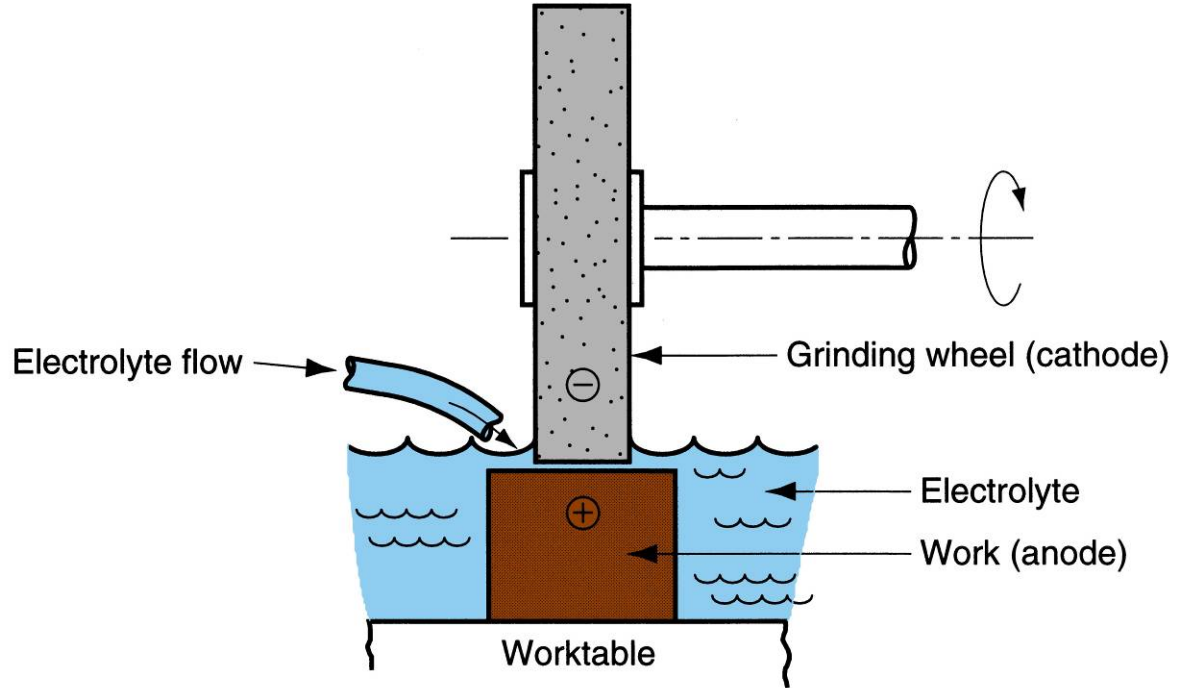
Elektrokimyasal apak Alma(ECD)

- ECM 'in geleneksel delik delme ile metal parçalarda üretilen deliklerin kenar apak veya keskin köşelerini ortadan kaldırmaya adaptasyonu



Electrokimyasal Taşlama(ECG)

- metal parçası yüzeyinin anodik çözünmesini artırmak için iletken bağlayıcılı taşlama taşı ile yapılan özel bir (ECM) şekli(taşlama)





(ECG)nin Uygulamaları ve Avantajları

■ Uygulamalar:

- Semente karbür plaklet takımların bilenmesi
- Cerrahi iğneler, diğer ince cidarlı borular ve kırılğan parçaların taşlanması

■ Avantajlar:

- Çözündürme metal kaldırmanın % 95'nden sorumlu
- İşleme çoğunlukla elektrokimyasal etkiyle olduğundan, taş çok daha uzun süre dayanır

Isıl Enerji Yöntemleri

- Çok yüksek yerel sıcaklıklar
 - Malzeme erime yada buharlaşma ile uzaklaştırılır
- Yeni oluşan yüzeyde fiziksel ve metallurjik hasar oluşur
- Bazen yüzey kalitesi düşük olur, (yeniden işleme gerekecek kadar)



Isıl Enerji Yöntemleri

- Elektro erozyonla işleme
Elektro-erozyon tel kesme
Elektron ışınlarıyla işleme işleme
Lazer ışını ile işleme
Plazma Ark ile işleme
Geleneksel termal kesme işlemleri

Elektro-Erezyonla İşleme (Dalma Erezyon)

Metali eritmek veya buharlaştırmak için yeterince yüksek lokalize sıcaklıklara neden olan) bir dizi ayırık elektrik deşarjı-ark (kıvılcımlar) ile metal kaldırma

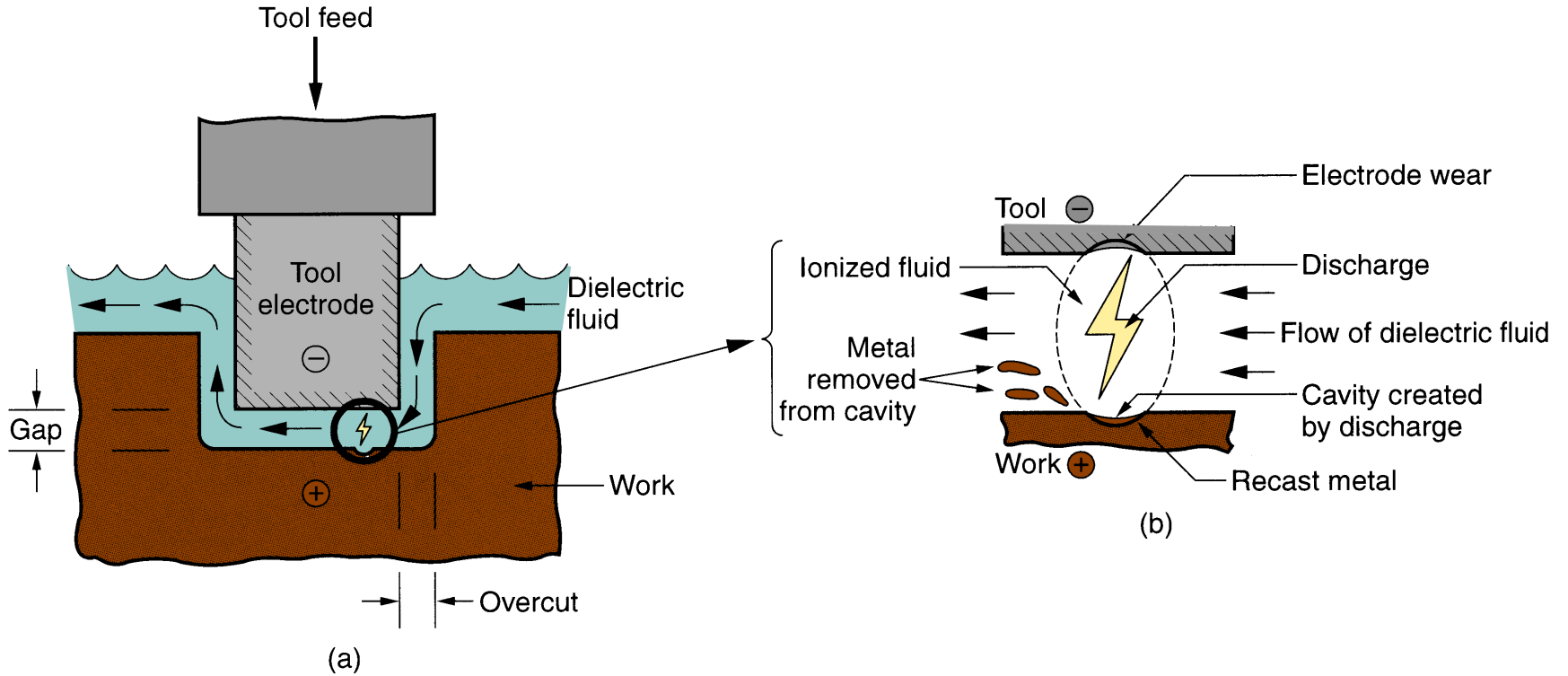
Sadece elektrik iletken malzemeler kullanılabilir

İki ana yöntem:

Elektro-erezyonla işleme

Tel elektro-erezyonla işleme

Elektro-Erezyonla İşleme(EDM)



Elektro erezyon ile işleme (EDM): (a) genel kurulum, (b) ve boşluğu, deşarj ve talaş kaldırmayı gösteren yakın plan,

EDM İşlemi

- En yaygın olarak kullanılan geleneksel olmayan yöntem
- Üretilen bitmiş işparçasının yüzeyinin şekli Elektrodun şekli tarafından belirlenir
- Takım ve iş parçası arasındaki küçük bir aralık boyunca kıvılcımlar meydana gelir
- Aralıktaki sıvının iyonize olmasıyla, her bir deşarj için bir yol oluşturan bir Dielektrik sıvı
- Kullanılmasını gerektirir



EDM de işlenebilen iş Malzemeleri

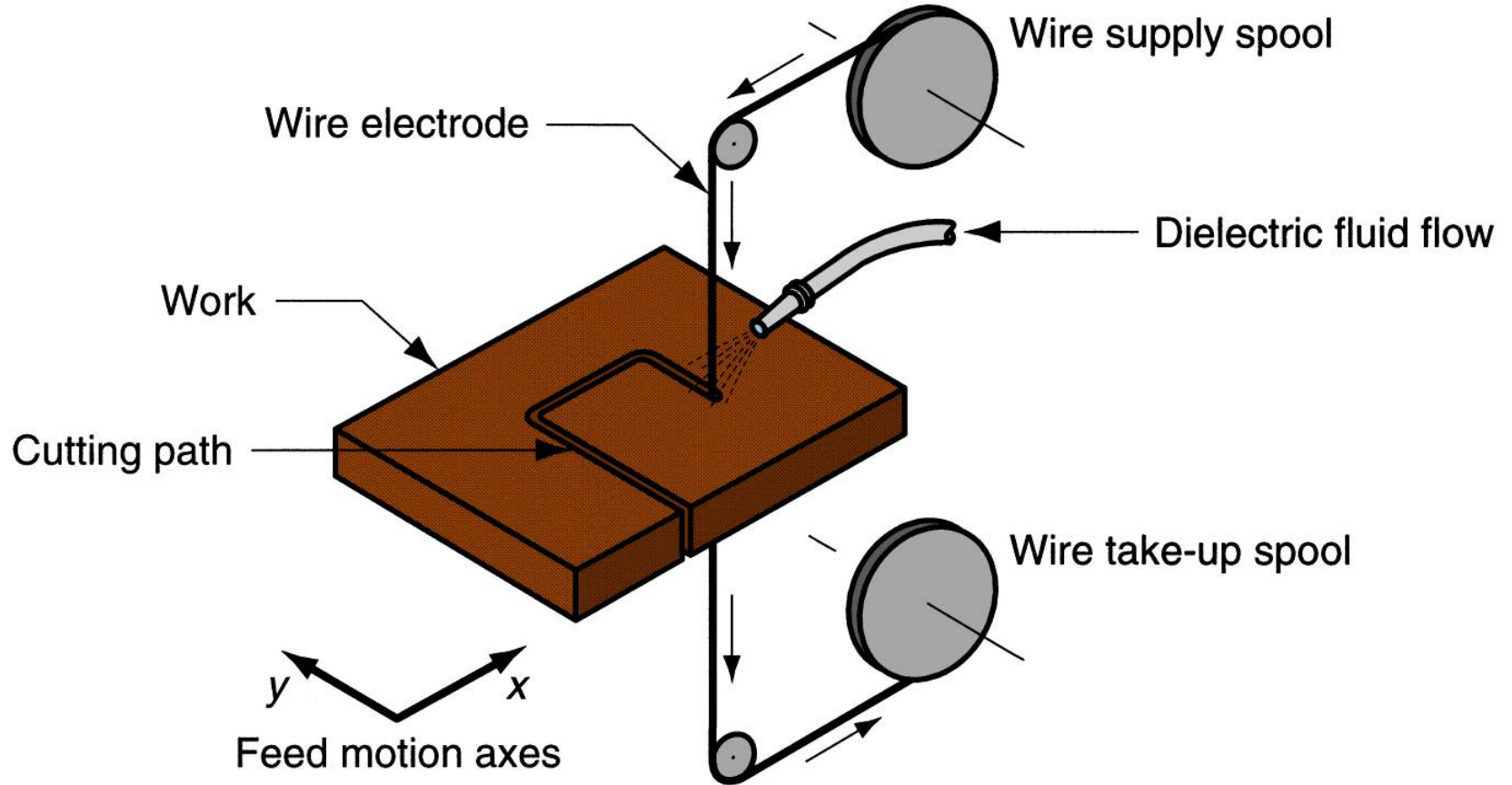
- İş malzemelerin elektriksel olarak iletken olmalıdır
iş malzemesinin Sertlik ve dayanımı EDM de bir faktör değildir
Malzeme Kaldırma Hızı, iş malzemesinin erime noktasına bağlıdır.

EDM Uygulamaları

- **Birçok mekanik işlemler için takımlar:**, plastik enjeksiyon kalıplama kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, tel çekme kalıpları, dövme ve sac kesme kalıplarının üretimi için en ekonomik çözümdür
- **Üretilen parçalar:** geleneksel kesme kuvvetleri dayanmak için yeterince rijit olmayan hassas parçalar, sert ve egzotik metallerin işlenmesi, delik eksenini 90° lik olmayan bir açıyla yüzeye, delik delme, vb

Tel EDM

- işparçası içinden geçerek hareket edebilen küçük çaplı bir tel elektrodun kullanıldığı özel bir EDM

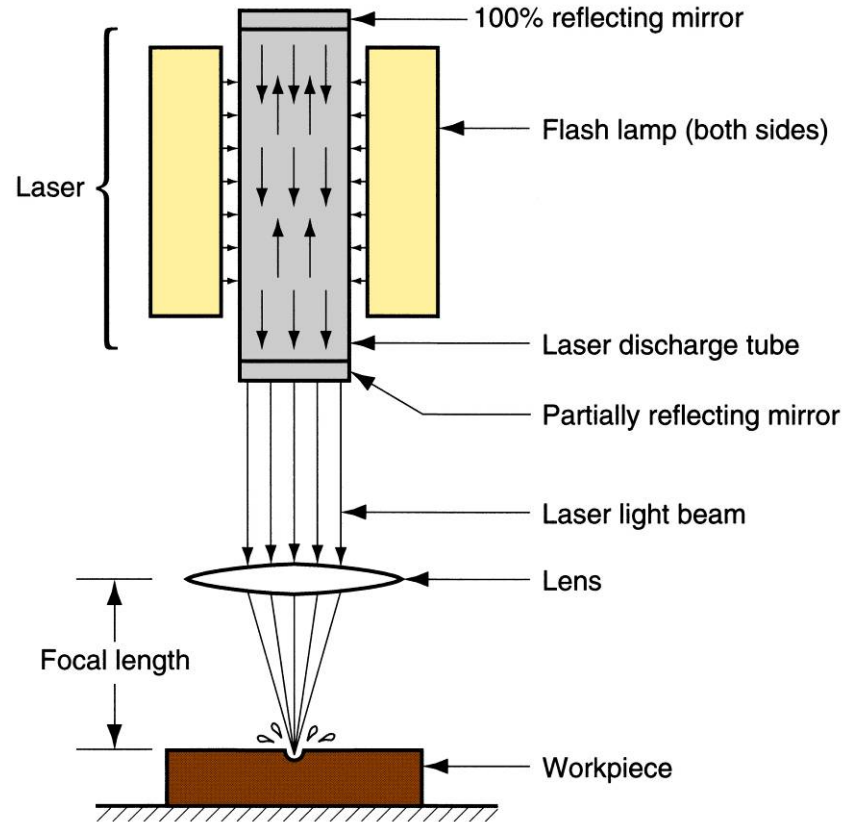


Tel EDM İşlemi

- İş, testere ile kesmedekine benzer şekilde, istenilen kesme patikası boyunca yavaş yavaş tele doğru beslenir
- Hareket kontrolü için CNC kullanılır
- Dielektrik çoğunlukla sıvı, takım-iş arayüzüne yönlendirilmiş nozullar kullanarak veya işparçasını tamamen daldırarak uygulanır

Laser Işını ile İşleme(LBM)

- Bir lazer ışığının enerjisi malzemeyi buharlaşma ve ablasyon için, kullanır.
Ablasyon -> buzulların boyutunu küçülten eroziv süreç



LBM Uygulamaları

- Delme, dilme, kanal işleme, kazıma ve işaretleme işlemleri
- Küçük çaplı delik delme - 0.025 mm e kadar
- Genellikle ince stok kalınlıkları kullanılır
- Çalışma materyalleri: yüksek sertlik ve mukavemetli metaller, yumuşak metaller, seramikler, cam ve cam epoksi, plastikler, lastik, kumaş ve ahşap



İnce bir saçta
gerçekleştirilen
Laser ışının ile
kesme

