

## ÖZET

Malzeme özellikleri; gelişen teknoloji ile değişim göstermiştir. Teknolojinin ilerlemesi ile malzemelerin işlenmesi daha hassas, ekonomik ve güvenli olarak işlenmektedir. Bu çalışmada modern imalat yöntemlerinden olan EDM (Electrical Discharge Machining) ile işlenmiş parçalar, EDM ve kimyasal aşındırma ile işlenmiş parçalar, EDM ve kumlama ile işlenmiş parçaların; Dönen Eğilmeli Ankastre Kiriş türü yorulma test cihazı yardımı ile kırılmaları sağlanmıştır. Yapılan bu test ile işleme yöntemlerinin, parçaların yorulma mekanizmaları ve ömürlerine etkileri karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Yapılan ölçümler neticesinde tornalama ile elde edilen parçaların EDM ile işlenen parçalardan %33 ömür artışı, kimyasal aşındırma ile elde edilen parçaların EDM ile işlenen parçalardan %60 ömür azalması, kumlama ile işlenen parçaların EDM ile işlenen parçalardan %42 daha fazla ömre sahip olduğu tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Metallerin Yorulması, EDM, Ömür, Dönen Çubuk Eğme Yorulma Deneyi

**ABSTRACT**

Material features are developing with developing technology. The products can be machined more precisely, economically and securely. In this work, specimens have been machined with EDM (Electrical Discharge Machining) process and break or destruction has been achieved with rotating bar bending fatigue testing type device. With this test, a comparison of machining techniques' effect on material fatigue mechanism and fatigue life time is aimed.

After the test, the result is that machined specimens have 33% more life time than parts processed with EDM. EDM parts have 60% more life than ECM parts, shot peening parts have 42% more life than EDM parts.

**KEYWORDS:** Fatigue of Metals, EDM, Rotating Bar Bending Fatigue Testing

## 1.GİRİŞ

Mühendislik malzemelerinin bir çoğu zamanla değişen yukler altında çalışırlar. (Kayalı ve Ark. 1990). Makinelara ve dolayısı ile makına parçalarına, genellikle büyüklüğü ve yönü düzenli veya düzensiz olarak sürekli değişen kuvvetler ile eğme ve burma momentleri etki ederler. Değişen zorlanmalardan dolayı kırılma, söz konusu malzemelerin akma sınırının çok altındaki gerilmelerde oluşabilir. Bu tür kırılmalara yorulma kırılması adı verilir.

ASTM standartları yorulmayı, bir malzemede bazı bölge ve bölgelerdeki değişken gerilme (stres) ve şekil değişimi (strain)'in meydana getirdiği ve belirli bir sayıda yuklemeden sonra çatlak veya kırılma ile sonuçlanan işlem şekline tarif etmektedir. (Anonim 1967).

Klasik elastise teorisine göre, akma gerilmesi altındaki yuklemeye maruz malzemelerde sadece elastik deformasyonun meydana geleceği kabul edildiği gibi, yukleme hızının tesirli olmadığı hallerde, gerilmenin değeri maksimum çekme gerilmesini aşmadığı müddetçe malzemede tahribat beklenmez. Buna rağmen, maksimum çekme gerilmesinin, hatta akma gerilmesinin, hatta akma gerilmesinin altında değişken ve tekrarlı yükler altında çalışılan malzemelerin bir süre sonra tahrip olduğu mühendislik uygulamalarında çok sık bir şekilde rastlanmaktadır. (Anonim 1984).

Yorulma mukavemetini etkileyen yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatta kullanılan tezgâhlarda imalat sırasında oluşmaktadır. Modern imalat yöntemlerinden olan Elektroerezyon (EDM) ile işlenen parçaların yorulma ömürlerinin diğer konvansiyonel ve kimyasal işlemlere göre nasıl bir etki gösterdiği incelenecektir.

Sırasıyla bu çalışmada 3 tip numune hazırlanacaktır. Bunlardan ilki EDM metodu ile işlenecek, bir diğeri EDM ve kimyasal aşındırma ile, ve üçüncü tip numune ise EDM ve kumlama ile talaş kaldırarak elde edilecektir. Bu üç farklı işleme yöntemi ile üretilecek deney numuneleri ise TS ISO 1143 standartları doğrultusunda yorulma testine tabi tutularak birbirleri arasındaki yorulma mekanizmaları ve ömrüne etkileri incelenmeye çalışılacaktır.

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Makine ve dolayısı ile makine parçalarına, genellikle Makine elemanlarında büyüklüğü ve yönü düzenli yada düzensiz olarak sürekli değişen kuvvetler ile eğme ve burma momentleri etki eder. Değişen zorlamalardan dolayı kırılma, söz konusu malzemenin söz konusu malzemenin akma sınırının çok altındaki gerilmelerde oluşabilir. Bu tür kırılmalara yorulma kırılması adı verilir.

Bir çok makine parçaları ve yapı elemanları kullanılırken esnasında gerilmeler ve titreşimler altında çalışmaktadırlar. Tekrarlanan gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmalarına rağmen, belirli bir tekrarlanma sayısı sonunda genellikle yüzeyde bir çatlama ve bunu takip eden bir kopma olayına neden olurlar. Yorulma adı verilen bu olay ilk defa 1850 – 1860 yılları arasında Wöhler tarafından incelenmiş ve teknoloji ilerledikçe mühendislik uygulamalarında daha fazla önem kazanmıştır. Otomotiv ve uçak endüstrisindeki parçalar ile kompresör, pompa türbin gibi makinelerin parçalarında görülen mekanik hasarların yaklaşık %90'ı yorulma sonucunda olmaktadır (Kayalı ve Ark. 1990).

Klasik hesap yöntemlerinde tasarım, kullanım şartları ve diğer etkenler dikkate alınarak mukavemet ve elastisite teorisine göre yapılır. Fakat yorulmada ki zamana bağlı tekrarlı yükler altında kırılmalar, bu hesaplamaların yeterli olmadığı gerçeğini ortaya çıkarmaktadır (Collins, 1981). Çünkü tekrarlı dinamik yüklemelerdeki hesaplamalarda yorulmanın dikkate alınması zorunluluğu vardır (Shigley, 1986). Yorulmaya sebep olan etkenlerin sayısı oldukça fazla olup ki bunlar; şekil, yüzey durumu, kuvvet iletimi, makine parçasının bulunduğu ortam ve malzemenin iç yapısı gibi değişik iç ve dış etkenler sayılmakla beraber, bu araştırmalar henüz tamamlanmamıştır (Avner, 1986)

Yorulma kırılmasında sıcaklığın önemli bir yeri olduğu yapılan çalışmalarla ortaya çıkmıştır (Brown, 1981; Dobrzansk, 2001). Diğer yandan elektriksel deşarj ile işleme yönteminde de iş parçası yüzeyinden kaldırılan talaşlar, malzemenin yüksek sıcaklık altında eritilip buharlaştırılması esasına dayanır. Ve bu işlem parça yüzeyinde küçük çukurcukların oluşarak yüzey pürüzlülüğünün artmasına, işleme maruz kalan üst tabakanın ani ısınıp soğuması sonucunda yüksek sertlik değerlerine çıkmasına sebebiyet vermektedir (Guu, Hocheng, 2001). Yorulmaya sebep olan faktörlerden bir diğeri de malzemenin yüzey koşullarıdır ve bunlar yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği,

yüzeyde meydana gelen artan streslerdir. EDM ile işleme sonrası ise, malzeme üzerinde artan yüksek stres, mikro çatlak oluşmasını ve bu da yorulma direkt etki eden ve tetikleyen faktörlerin başında gelir.

EDM yöntemi kullanımı sert metallerin, alaşımlı çeliklerin uzay ve havacılık, otomotiv sektöründe, kalıp imalatında ve benzeri birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Dolayısı ile ilgili yöntemin kullanıldığı makine elemanlarının ömürleri önem kazanmaktadır. EDM yöntemi, talaşlı imalata önemli işleme avantajları getirdiğinden malzeme üzerinde oluşacak potansiyel yorulma göz ardı edilebilmekle beraber, potansiyel yorulmanın bertaraf edilmesi önem kazanmaktadır.

EDM yönteminin oluşturduğu dezavantajların ortadan kaldırılmasına yönelik bazı çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalardan biri de, bilye bombardımanı ile kalıcı gerilmelerin yok edilmesi yöntemidir. Temel olarak bilyeli dövme, kontrollü şartlarda iş parçası yüzeyine fırlatılan bilye tanelerinin, yüzeyde plastik deformasyon yaparak basma kalıcı gerilmeleri oluşturmak ve bu tabaka sayesinde malzeme yorulma ömründe artışlar sağlamaktır (Dülek, Sarıtaş, 2003)

Yapılan çalışmalardan bir diğeri ise EDM işleme yapılmış bölgelerin titanyum nitrid (TiN ) ile kaplanmasıdır. Bu kaplama yönteminde TiN yüzeye mükemmel bir nüfuziyet ve yapışma sağladığından uygulandığı yüzeyin sertliğini artırır ve artak gerilmeleri modifiye eder. Ayrıca kaplama uygulaması bir miktar yüzey pürüzlülüğünü azaltır ve oluşan sert film tabakası yorulma direncini yaklaşık %10,9 ila %29,4 oranında artırır (Guu, Hocheng, 2001)

EDM yönteminin oluşturduğu dezavantajların kaldırılmasına yönelik yapılan bir başka çalışmada ise, işlenmiş yüzeydeki metalurjik değişikliğin azaltılması amacıyla işlenecek talaş payının azaltılması ve talaş kaldırma hızının düşürülmesidir. Yapılan deneyde; 6A'lık bir akım, 50Hzlik bir kıvılcım frekansı uygulanarak ortalama 11,20 mm<sup>3</sup>/dk lık bir talaş kaldırma oranı sağlanırken, deney numunelerinin kırılma mukavemeti 225 Mpa ve akma mukavemeti 139Mpa olarak bulunmuştur. Diğer yandan 0,35A, 600Hz ve buna karşılık 1,20 mm<sup>3</sup>/dk lık bir talaş kaldırma oranı sağlanarak, numunelerin kırılma mukavemeti 233 Mpa ve akma mukavemeti 144Mpa olarak bulunmuştur. Bu da gösterir ki yorulma ömrü veya direnci %3,5 oranında iyileşmektedir (Ramulu, Paul, Patel, 2001).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

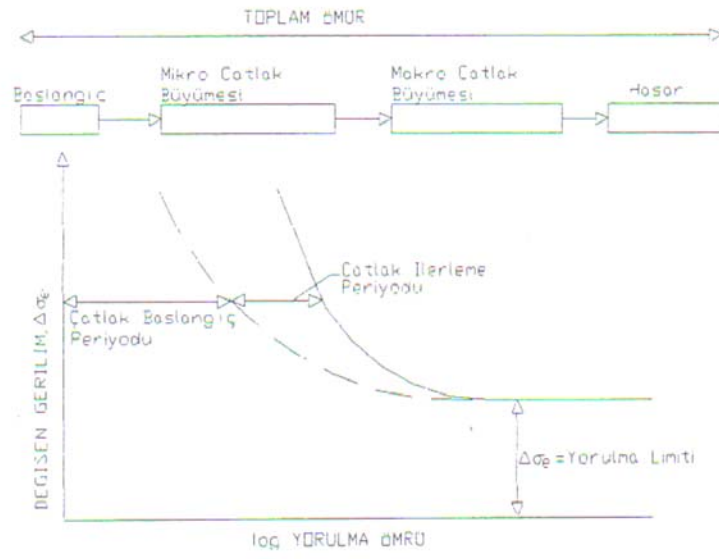
#### 3.1 Malzemelerde Yorulma

1850'li yıllarda Wöhler tarafından esasları ortaya konulan yorulma olayı ile malzemelerin tekrarlanan veya değişen gerilmelere maruz kalması sonucunda önemli mekanik kusurların meydana geleceği bilinmektedir. Yorulma sonucunda meydana gelen kusurların – camlar hariç – malzemelerde mekanik kusurların yaklaşık %90'ını meydana getirdiği düşünüldüğünde yorulma olayının önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

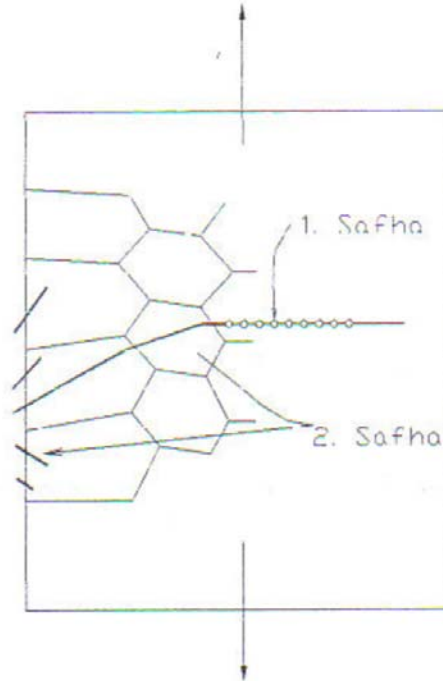
Köprüler, uçak parçaları ve bir çok makina parçalarının bu şekilde tekrarlanan dinamik veya değişken gerilmelere maruz kalmaları ve önemli ölçüde bu gerilmelerden etkilenmeleri yorulma olayını mühendislik açısından sürekli gündemde tutmaktadır. Yorulmanın sinsi ve tehlikeli oluşu, çok ani ve uyarısız ortaya çıkması felaket ile neticenebilecek sonuçlar çıkarması ayrıca yorulmayı önemli bir mekanik kusur kabul etmeyi gerektirmektedir (Callister 1996).

##### 3.1.1 Yorulmada Çatlak Oluşumu ve Büyümesi

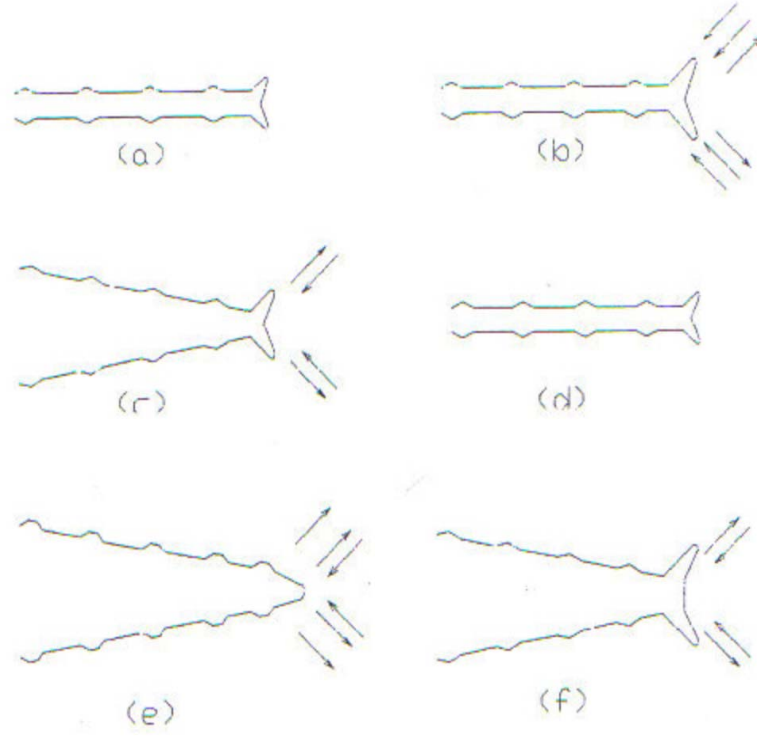
Malzemelerde yorulma, iki safhada gelişerek kırılmaya yol açar. (Ewing ve Humfrey 1902). Bu Şekil 3.1.'de gösterilmiştir (Ewalds ve Wanhil 1985). i) Çatlak oluşumu, ii) Mikroskobik ebattaki çatlağın büyüyerek makroskobik boyuta ulaşması. Muayyen tekerrür sayısından sonra meydana gelen kayma bantları, çatlak teşekkülüne yol açar. 1903 senesinden sonra yapılan çalışmalar çatlağın kayma bantlarının üzerinde meydana geldiğini göstermiştir (Thomson 1962 ve Hull 1958). Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de çatlak ilerleme mekanizmaları gösterilmiştir. (Callister 1996). Yüzeyde görülen kayma bantları, zamanla numune yüzeyinden içeriye nüfus etmektedirler. Tekrarlı yüklemenin başlangıcında meydana gelen kayma bantları, yükleme süresince artmaktadır. Çok hafif bir elektrolitik parlatma yüzeyindeki kayma bantlarını kaldırarak, kalıcı kayma bantlarını ortaya çıkarmaktadır. Parker (1961) ve Grosskreutz (1964)'e göre Malzeme ömrünün yaklaşık %5'inden sonra görülen, kalıcı kayma bantlarında çatlak meydana gelmektedir.



Şekil 3.1. Yorulma Ömrünün ve Bunun Gerileme Seviyelerine Bağlı Oluşunun Şematik Gösterimi



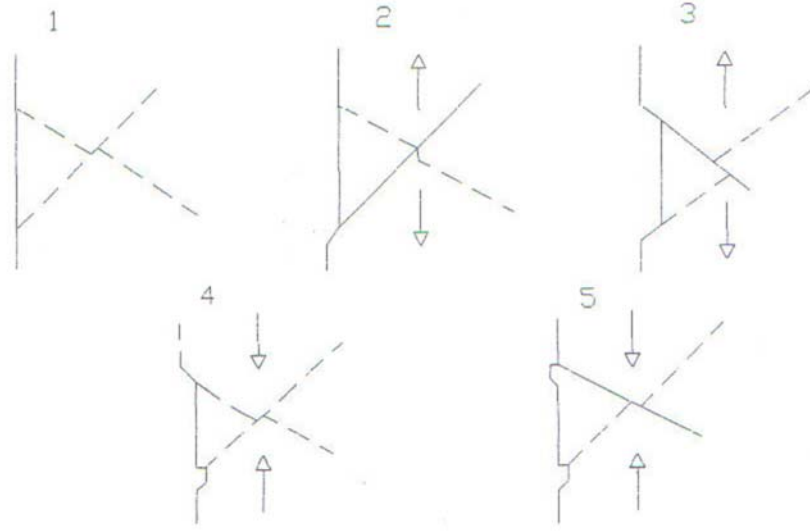
Şekil 3.2 Çok Kristalli Metallerde Yorulma Çatlağı İlerlemesinin Birinci ve İkinci Safhalarının Şematik Gösterimi.



Şekil 3.3. Yorulma Çatlak ilerlemesi Mekanizması (İkinci Safha) a) 0 veya maksimum basma yükü b) Küçük çekme yükü c) Maksimum çekme yükü d) Küçük basma yükü e) 0 veya maksimum basma yükü f) Küçük çekme yükü. Yükleme eksenidir.

Yorulma olayında yüzeyde görülen en önemli değişiklik kayma bandlarının hareketine bağlı olarak ortaya çıkan “extrusion” ve “intrusion” adı verilen girinti ve çıkıntılarının meydana gelmesidir. Şekil 3.4. (Cotrell ve Hull 1957) 'de ilk defa %4 bakırlı alüminyum alaşımlarında tesbit edilen extrusion ile intrusion'larda yorulma çatlaklarının başlaması gösterilmektedir (Parker 1961).





Şekil 3.4. Bir extrusion ve bir intrusion meydana getiren kayma hareketi

### 3.1.2 Yorulma Kırılmaları

İşletme koşullarındaki zorlamalar sonucu ortaya çıkan gerilmeler mukavemet bilgisinin temel denklemlerine her zaman uymaz; dolayısıyla çekme veya basma gerilmeleri parça kesitinde eşit olarak dağılma, eğme ve burma gerilmeleri de yüzeyden ortaya doğru doğrusal bir azalma göstermeyebilirler. Uygulamada bu kurumsal gerilme dağılımlarında az veya çok sapmalar görülür. Parçanın şekli, yüzey kalitesi, ortamın korozif etkisi, kuvvet iletiminin türü, ön gerilme, malzeme hatası, mikro yapının büyük ölçüde heterojen olması gibi yerel gerilme yığılmaları oluşur. Yorulma çatlakları gerilme yığılmalarının bulunduğu bölgelerde başlar. Ayrıca bir makine ya da yapı elemanının ön titreşim frekansına yakın bölgelerde zorlanması sonucu oluşan rezonans titreşimlerine veya her zaman önlenmesi mümkün olmayan aşırı yüklere dayanacak şekilde tasarlanmış olmaması da yorulma çatlaklarına yol açabilir.

Yorulma hasarının diğer bir nedeni de montaj hatalarıdır. Örneğin balansı bozulmuş bir milde, hesaplarda ön görülenden daha yüksek gerilmeler oluşabilir. Ayrıca zorlanan bölgelerde dolgu kaynağı işlemlerinin uygun olarak yapılmaması halinde de yorulma çatlakları görülebilir. Aşırı zorlanan bir bölgede bir çatlakın başlaması durumunda yorulma kırılmasının önlenmesine çoğunlukla olanak yoktur. Çatlakın ilerleyerek kırılmanın oluşması ise çevrim sayısı yani belirli bir zaman sorunudur. Bir

yorulma çatlağının görülmesi kullanılan malzeme veya malzeme durumu için yerel bir gerilme yükselmesinin bulunduğu işaretlerdir. Yorulma sonucu oluşan keskin çatlak ek bir çentik etkisi ortaya çıkaracağından, gerilmeler bakımından durum daha kötüleşecek bu şekilde ortaya çıkan çok yüksek gerilme yığılmaları çatlağın hızla ilerlemesi ve büyümesine neden olacaktır. Ayrıca yük taşıyan kesit sürekli küçüldüğünden, bu kesitte gerilmenin sınır değerleri giderek daha da yükselecektir. Gözlemler yorulma çatlağı ilerleme hızının çatlak derinliğinin karesiyle arttığını göstermektedir. Parçanın ikiye ayrılması çoğunlukla uzunca bir süreyi gerektirdiği ve zorlama sürekli değiştiği için olay yorulma kırılması olarak adlandırılır. Bazı hallerde ise yorulma çatlakları kesitin tam olarak ayrılması ile sonuçlanmaz; çatlak oluşması ile parça daha az zorlanır ve dolayısıyla gerilmenin üst sınırı malzemenin yorulma dayanımı değerinin altında kalırsa veya çatlağın çevresinde gerilme durumunun değişmesi ile yerel malzeme pekleşmesi olursa çatlak ilerlemesi durabilir (Tauscher 1971).

Yüke maruz kalan yapı veya parçalarda mukavemet gerilme hataları akma veya kırılma baskın tiplerde olabilir. Çizelge 3.1.'de yapısal hata tipleri görülmektedir (Ewalds ve Wahnhill 1985)

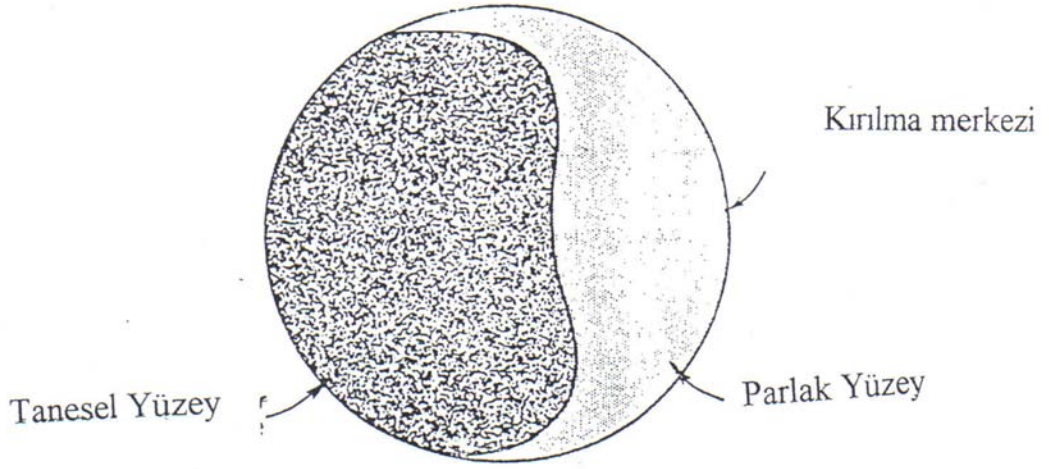
Çizelge 3.1. Yapısal Hata Tipleri

<b>YAPISAL HATALAR</b>	
<b>AKMA-BASKIN</b>	<b>KIRILMA BASKIN</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genel plastisite</li> <li>- Plastik akmaya direnci kontrol eden önemli kusurlar</li> <li>- Tane sınırları</li> <li>- Çökeltiler</li> <li>- Dislokasyonlar</li> <li>- çatlakları</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yüksek lokalize plastisite</li> <li>- Önemli makroskobik kusurlar</li> <li>- Kaynak çatlakları</li> <li>- Porozite</li> <li>- Dövme katmanları</li> <li>- Yorulma ve gerilmeli korozyon</li> </ul>

Daha önce belirtildiği gibi yorulma kusurları makinalar ve yapılarda kırılmanın yaklaşık %90'ına karşılık gelmektedir. Bu tip kırılmalar çok sayıda yüklemeler sonucu ve genel olarak malzemenin

“ akma mukavemetinin” altındaki gerilmelerde meydana gelmektedir. (Avner 1974).

Yorulma kırılması, tekrarlanan gerilmeler neticesinde daima yüzeyde oluşan bir çatlak ve bu çatlak boyutunun büyümesi sonucu malzemenin kopma veya kırılmayla neticelenmesidir. Çatlak büyüdükçe yükü taşıyan kesit alanı azalır, bu bölgedeki gerilme artar. Son kesit uygulanan gerilmeyi taşıyamaz hale gelince kırılma kaçınılmaz hale gelir. Çünkü kırılmanın gelişiminde yorulma çatlak yüzeyleri iki çok keskin farklı görüntü sergiler (Şekil 3.5.) (Reed ve Abbaschian 1992).

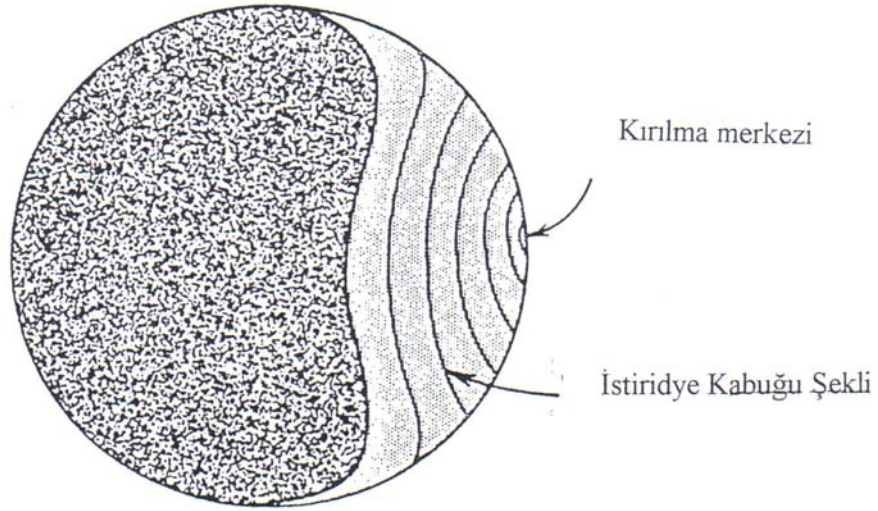


Şekil 3.5. Yorulma Kırılması Yüzeyi

Bir çok durumda, çatlağın yavaşça büyüdüğü bölgede yüzey cilalı veya parlak bir görüntü verecektir. Bu yapının oluşmasının nedeni çatlak metal yüzeylerinin, örneğin deformasyonu sırasında her gerilim çevriminde birbirlerine sürtünmesidir. Son aşamada parça kırıldığında sürtünme olayı olmaz ve bu sırada oluşan yüzeyler kaba ve düzensizdir. Çünkü sonraki alanın genellikle taneli bir görüntüsü oluşur. Bu çatlakların metallerin kullanımı sırasında kristalleştiği ve kırıldığı yorulma çatlaklarına bağlı yapılan yanlış bir yorumdur.

Makina parçalarında gerilme çevrimlerinin genlikleri çoğunlukla aynı değildir. Örneğin bir otomobil şaftında gerilme çevrimleri otomobil yüksek hızdayken daha fazla, düşük hızdayken daha azdır. Değişken gerilim genliklerinde çatlak gerilimi

düşükken ilerlemeyi durdurabilir, arttığında büyümeye devam edebilir. Bu periyotların değişimi çatlak yüzeylerinin sürtünme değiştirir ve yüzey istiridye kabuğu şeklinde bir görünüm verir. (Şekil 3.6.). (Reed ve Abbaschian1992).



Şekil 3.6. Yorulma Kırılmalarında İstiridye Kabuğu Şekli Çizgilerin Oluşumu

Kırılma yüzeyindeki bu dairesel şekilli çizgiler kırılma merkeziyle eş merkezlidir. Bunların kırılma yüzeyindeki varlığı kırılmanın yorulma mekanizması sonucu olduğunu gösterir. Diğer bir ipucu ise parlak ve düzgün alanların kırılma yüzeyindeki varlığıdır (Reed ve Abbaschian 1992)

### 3.1.3 Yorulma Ömrüne Etki Eden Faktörler

Daha önce belirtildiği gibi yorulma olayı tekrarlanan gerilme altında malzemede mikroskobik bir boyutta bir çatlak oluşumuyla başlayan ve malzemenin kopmasıyla neticelenen bir olay olması, yorulma olayında en önemli faktör olarak tekrarlanan gerilmeleri karşımıza çıkartmaktadır.

Yorulma kusurları başlıca üç faktörden etkilenirler (Kayalı ve ark. 1990). Bunlar;

- 1- Yüksek derecede bir maksimum çekme gerilmesi
- 2- Uygulanan gerilmenin oldukça geniş değişimi veya dalgalanması
- 3- Uygulanan gerilmenin yeteri kadar çok tekrarlama sayısı

Bunların dışında gerilme konsantrasyonu, korozyon, sıcaklık, aşırı yükleme, metalurjik yapı ve kombine gerilmeler yorulma olayını etkileyen önemli faktörlerdir. (Dieter 1961)

### 3.1.3.1 Metalurjik Faktörler

Metalurjik faktörler; döküm şekli, sıcak ve soğuk şekil verme usulleri, katı hal reaksiyonları, fazların dağılımı gibi malzemenin ısı ve mekanik tarihçesi ile ilgili özelliklerdir. Gerçek ısıl ve gerek mekanik işlemler, malzemedeki iç gerilmelerin dağılımı, kristal yapısı, dislokasyonların hareketi gibi üzerinde etki ederek mekanik özelliklerde değişmelere sebep olmaktadır (Sinclair 1964)

Metalurjik faktörleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür (Tauscher 1971)

- 1.Çizgi halinde cüfurular, cüruf kalıntılarının yoğunlaştığı bölgeler veya tek tek iri cüruf kalıntıları.
- 2.Segregasyonlar.
- 3.Yüzey kabarcıkları
- 4.Mikrolunkerler veya soğuk şekil değiştirme sırasında sert kalıntılar içinde ve çevresinde oluşan mikroboşluklar.
- 5.Tane sınırlarında oksitlenme veya tanelerin içinde oksijen miktarının artması.
- 6.İç çatlak kümeleri.
- 7.Normalize edilmiş çelikte aşırı hetorejen yapı.
- 8.Sertleştirilmiş çeliklerde yapı farklılıkları
- 9.Aşırı ısıtılmış yapı.
- 10.Bant veya ağ şeklinde veya bölge bölge yoğunlaşmış serbest karbürler.
- 11.Sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş çelik parçalarının yüzeyinde karbon azalması.
- 12.Yayınma tabakaları ile ana malzeme arasında keskin geçişler.
- 13.Bölgesel yüzey sertleştirilmesi yapılmış malzemelerin yük taşıyan bölgelerinde veya çentiklerinde sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş kısımlar arasındaki keskin geçişler.

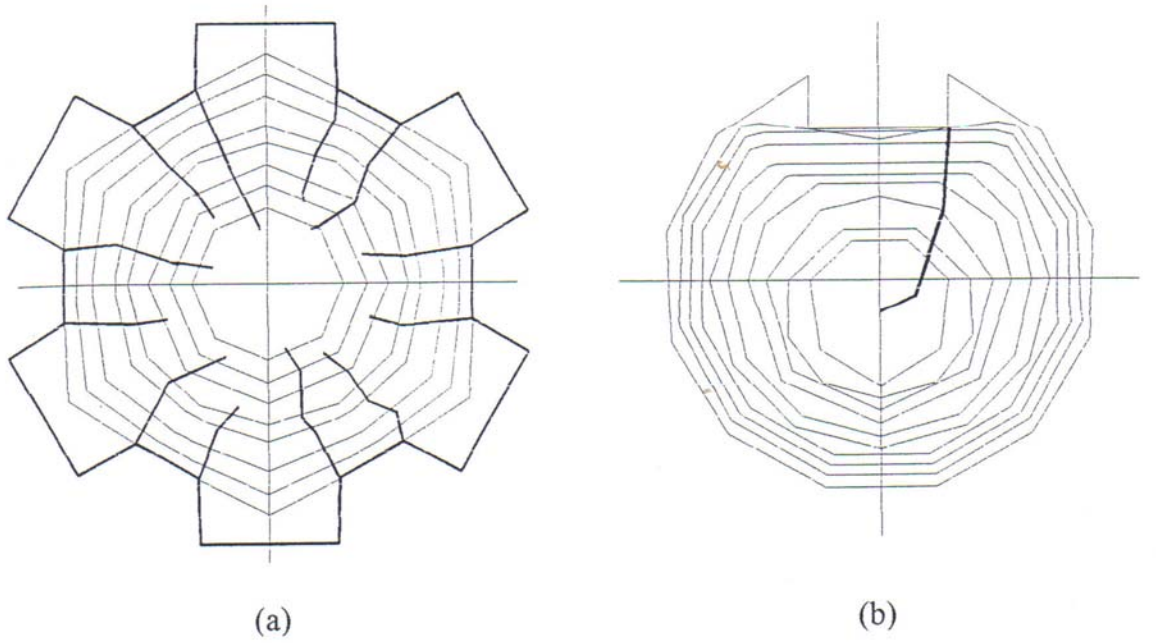
- 14.Sementasyon ile sertleştirilmiş çelik malzemenin yüzeyinde artık ostenit bulunması.
- 15.Sertleştirilmiş çeliklerde çeşitli nedenlerle yumuşak kalan bölgeler.
- 16.Çelik parçalarda yüzeyde veya yüzeyin hemen altında bulunan sertleşmiş küçük bölgeler.
- 17.Yük taşıyan kısımlarda yapılan dolgu kaynakları
- 18.Kaynak dikişlerinde gaz boşlukları, gözenekler, cüruf kalıntıları, çatlaklar, erime oyukları bulunması.
- 19.Kaynak dikişleri dışındaki elektrot ateşleme izleri.
- 20.Soğuk şekil değiştirmiş bölgeler.
- 21.Talaşlı veya talaşsız şekil verme veya ısıl işlemlerinden kaynaklanan iç gerilimler, özellikle bunların çekme gerilmesi olması durumunda.

### 3.1.3.2 Gerilim Konsantrasyonu

Yorulma mukavemeti bir çentik veya delik mevcudiyeti ile önemli ölçüde düşer. Makina elemanlarının çoğunda benzeri gerilim yükselticiler söz konusu olduğundan yorulma çatlaklarının bu tür geometrik düzensizliklerinden başlaması kaçınılmaz olmaktadır. Öyleyse yorulma hatalarını en aza indirmek için en iyi yollardan bir tanesi tasarımda gerilim yükselticileri en aza indirmek ve imalat sırasında istenmeyen gerilim yükselticilerin önüne geçmektedir (Dieter 1961).

Çentik, delik ve ani değişimler malzemenin yorulma ömrünü önemli ölçüde azaltır. Parça kesiminde meydana gelen bu tür süreksizlikler gerilme konsantrasyonuna neden olurlar. Ayrıca çentik etkisi, çentiğin şekil ve boyutlarına bağlıdır. (Kayalı ve ark. 1990). Yorulma çatlakları maksimum gerilim konsantrasyonu yolunu takip etme eğilimi gösterirler. Şekil 3.7'de bu durum gösterilmiştir. (Wulpi 1966).

Gerilim konsantrasyonları yüzey pürüzlüğünden, porozite, inklüzyon ve dekarbürizasyon gibi faktörlerden dolayı yükselir (Dieter 1961).



Şekil 3.7. Yorulma Çatlaklarının Maksimum Gerilme Konsantrasyonu Yolunu Takibi.

(a) ve (b) de Gerilmeler İç Köşelerde Yoğunlaşırlar. Dairesel Çizgiler Gerilmeleri Gösterir.

### 3.1.3.3 Yüzey Etkileri

Pratikte tüm yorulma hataları malzeme yüzeyinden başlar. Bir çok yüklemde maksimum gerilme yüzeyde oluşur. Aksenal gerilme halinde gerilmenin tüm kesitte üniform olarak dağılması beklenirken rastgele yönlendirilmiş çok taneli malzemelerde gerilme üniform olarak dağılmayıp, yüzeyde maksimum değerler alabilir (Kayalı ve ark. 1990).

Bir malzemenin yorulması sırasında yüzeyini etkileyebilecek faktörler üç başlık altında toplanabilir;

- 1)Yüzey pürüzlüğü veya yüzeydeki gerilim yükselticiler
- 2)Malzeme yüzeyinin yorulma mukavemetinin değişimi
- 3)Yüzey kalıntı gerilmelerinin değişimi

Bunlara ek olarak yüzeyin oksidasyona ve korozyona maruz kalması da etkili olmaktadır (Dieter 1961).

### 3.1.3.4 Boyut Etkisi

Pratikteki önemli problemlerden bir tanesi büyük makina parçalarının yorulma performanslarının laboratuvar testlerindeki numunelerden elde edilememesidir. Deneyimler boyut faktörünün önemini ortaya koymaktadır. Örneğin büyük bir numunenin yorulma mukavemeti, küçük malzemelerin yorulma mukavemetinden daha düşüktür. Büyük boyutlu malzemelerin yorulma testlerini yapabilecek çok az sayıda yorulma test cihazı vardır. Yorulma numunenin boyutunu değiştirmek iki faktörün varyasyonu ile sonuçlanır. Birincisi; çapı artırmak numunenin hacmini ve yüzey alanını artırır. Yüzeydeki değişim yorulma hatalarının çoğunlukla yüzeyden başlaması açısından önemlidir. İkincisi; düzgün veya çentikli numunelerin eğmeli veya bükmeli yüklemelerinde çaptaki artış, çap boyunca gerilme gradyenini düşürür ve yüksek gerilmeli malzemenin hacmini artırır.

Yorulmada boyut etkisi üzerine elde deneysel veriler tutarsızdır ve net değildir. Tersinir eğme ve bükme testlerinde bazı araştırmacılar numune çaplarının yorulma limitinde hiçbir değişiklik bulamamışlardır. Ancak çoğu araştırmacı artan çap ile yorulma limitinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Numunede çentik mevcudiyetinde gerilme limitinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Numunede çentik mevcudiyetinde gerilme gradyeni oluşur ve kesin bir boyut etkisi gözlemlenir. Bu önemli deneyler gerilme gradyeni oluşumuna bağlı olarak yorulmada boyut etkisini ortaya koyan görüşlerdir. Sığ yüzeysel gerilme gradyenli büyük numuneler düşük yorulma limitlerine sahiptirler ki bu görüş malzemedeki kusur oluşması için malzemenin belirli bir sonlu derinliğine kadar kritik bir gerilme değerinin uygulanması gerekliliği görüşüyle uyum sağlamaktadır.

Gerilim gradyenlerinin boyuta etkisinin önemi laboratuvar sonuçları ve servis hataları arasındaki karşılıklı ilişkinin zayıf olduğunu ortaya koymaktadır. Büyük parçalardaki güncel hatalar doğrudan gerilim konsantrasyonlarına dayandırılabilir.



Isteyerek veya istemeyerek ve küçük boyutlu bir labaratuvar numunesinde aynı gerilim konsantrasyonu ve gerilim gradyeni elde etmek mümkün değildir. (Dieter 1961)

### 3.1.3.5 Korozif Ortamın Etkisi

Korozyonlu yorulma korozif bir ortamda yorulma direncinin azalması olarak tarif edilebilir. (Şengil 1992) Bir diğer ifadeyle korozyonun kimyasal etkisiyle yorulmanın mekanik etkisinin aynı anda meydana gelmesi olarak tarif edilebilir. (Kayalı ve ark. 1990). Yorulma çatlaklarının olduğu kısımlarda korozyon ürünlerinin olması korozyonlu yorulmanın olduğu anlamına gelmez. Yüzeydeki paslar normal yorulma kırılması koşullarında meydana gelmiş olabilir. Dolayısıyla pas veya diğer korozyon ürünlerinin olması yorulma ömrünün etkileneceği anlamına gelmez. Korozyonlu yorulmanın varlığı ancak korozyon yorulma testleriyle anlaşılabilir.

Çevre faktörleri korozyonlu yorulmayı büyük ölçüde etkiler. Adi bir yorulmada, gerilim devir sıklığı yorulma direnci üzerinde ihmal edilebilir bir etki yapar. Bu faktör, testler, gerilim devrinin yüksek hızlarında kolaylıkla yapabildiğinden, yorulma testlerine büyük kolaylık sağlar. Dolayısıyla korozyonlu yorulma direnci, gerilim devir frekansından önemli derecede etkilenir. Korozyonlu yorulma düşük gerilim frekanslarında daha çok meydana gelir. Bunu nedeni düşük frekanslı devirlerde, metale korozif ortam arasındaki temas süresinin daha fazla olmasındandır.

Oksijen içeriği, sıcaklık, pH ve çözelti bileşimi korozyonlu yorulmayı etkiler. Örneğin; demir, çelik paslanmaz çelik ve alüminyum bronzlarının korozyonlu yorulma dirençleri su içinde iyidir. Deniz suyunda alüminyum bronzları ve ostenitik paslanmaz çelikler normal yorulma dirençlerinin %70-80'i kadar direnç gösterirler. Yüksek kromlu alaşımlarda bu değer sadece %30-40 civarındadır. (Şengil 1992).

Korozyonlu yorulmanın mekanizması detaylı bir şekilde incelenmemiştir. Fakat bu bozulma türü kalitatif olarak anlaşılır. Demir ve demir esaslı malzemelerin korozyonlu yorulma testlerinden, bunların yorulma ömrü eğrilerinin demir dışı malzemelerinkine benzediği anlaşılmıştır. Ayrıca korozyonlu yorulma oyuklu korozyona neden olan ortamlarda daha çok meydana gelir. Çünkü korozyon oyukları gerilimi yükseltici ve çatlakları başlatıcı bir rol oynadığından yorulma direnci bu korozif ortamlarda azaltılır. Korozyonun çatlak ucunda olması ancak bir ihtimaldir.

Stabil bir oyuk çapından da söz edilemez. Mekanik ve elektrokimyasal etkilerden dolayı çaplar sürekli olarak azaldığından, bir bir korozif ortama maruz kalan demir esaslı malzemelerin yorulma eğrisi demir dışı metallere benzer. Korozyonlu yorulma hatası genellikle taneler ötesi bir olaydır ve gerilmeli korozyonda olduğu gibi bir dallanma ortaya çıkmaz.

Korozyonlu yorulma bir çok methodla önlenir. Bir metal veya alaşımın gerilme mukavemetinin artması yorulma direncini artırır. Ancak korozyonlu yorulma üzerinde zararlıdır. Korozyonlu yorulmada bir çatlak, korozif etkisiyle kolaylıkla başlatılır. Malzeme üzerindeki gerilmeyi azaltmakla korozyonlu yorulma elimine edilebilir veya ortadan kaldırılabilir. Gerilmenin azaltılması dizaynı uygun şekilde yaparak veya ısıl işlemlerle sağlanabilir. Korozyon inhibitörleri de kullanılabilir. Korozyonlu yorulma direnci çinko, krom, nikel, bakır kaplamalarla artırılabilir. Korozyonlu yorulma bu şekilde önlenirse, kaplamada gerilme olmayacak şekilde kaplama yapmaya dikkat etmek gerekir. (Şengil 1992).

### 3.1.3.6 Sıcaklığın Etkisi

Oda sıcaklığının altında yapılan deneylerde, sıcaklık düştükçe yorulma dayanımı artmaktadır. Ancak sıcaklığın oda sıcaklığının altına inmesi malzeminin çentik hassasiyetini artırmaktadır.

Oda sıcaklığının üstünde yapılan deneylerde genellikle sıcaklık yükseldikçe, yorulma dayanımı düşmektedir. Sadece düşük karbonlu çeliklerde 200 ile 300 °C arasında yorulma dayanımında artış görülür. Bu olay 200-300 °C arasında düşük karbonlu çeliklerin deformasyon yaşanmasına uğrayarak çekme dayanımlarının artmasına bağlıdır.

Deney sıcaklığı belirli bir sıcaklığa çıktığında sürünme olayı daha etkili olur. Kopma yorulmadan çok sürünme sonucunda gerçekleşir. Bu iki olayı birbirinden ayıran kırılma türüdür. Yorulmada kırılma tane içinde (transgranüler), sürünmede tane sınırında (intergranüler) olmaktadır.

Makina parçalarının kullanılma anında sıcaklık değişimlerine uğratmaları, ısıl gerilmelere yol açarak yorulmalara neden olabilirler.

Sıcaklığın  $\Delta T$  kadar değişmesiyle malzemede oluşan gerilme;

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta.T'dir.$$

$\alpha$  = lineer ısı genleşme katsayısı

E = elastisite modülü

Şayet bir defalık ani sıcaklık değişimi malzemenin çatlamasına yol açmışsa bu olaya “Isıl (Termal) Şok” adı verilir. Şayet çatlama çok sayıda tekrarlanan ısıl gerilmeler sonucunda oluşmuşsa bu olaya “Isısal (Termal) Yorulma” adı verilir.

Ostenitik paslanmaz çeliklerde ısı iletim katsayısı küçük, ısı genleşme katsayısı büyük olduğundan, bu malzeme termal yorulma olayına çok hassastır. (Kayalı ve ark.1990)

### 3.2 Yorulma Deneyleri

Küçük bir yorulma deneyi numunesi üzerinde yapılan deney sonuçlarını karmaşık bir parça veya konstrüksiyon dizaynında kullanmak oldukça güçtür. Laboratuvarda, standart boyut ve belirli yüzey özelliğindeki numuneye, belirli türde sabit gerilmeler uygulanarak deney yapılır. Endüstride kullanılan parçada ise koşulların hepsi değişiklik gösterirler. Karmaşık olmalarından dolayı bu koşulların analizi de güçtür. Bu nedenle yorulma deneyi sonuçları, mühendislik uygulamalarında çekme deneyi sonuçları gibi kesin ve tam güvenilir şekilde kullanılamazlar. Yorulma deney sonuçları belirli koşullar için fikir verir ve benzer koşulların bulunabileceği parça dizaynında gerekli önlemlerin alınmasında yardımcı olur.

Faktörlerin çok sayıda olmaları ve karmaşık etkilerde bulunmaları, uzun yıllar yorulma deneyi ile ilgili standartların hazırlanamamasına neden olmuştur. Değişik araştırma merkezleri özel cihazlar özel numuneler kullanarak konuyla ilgili çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Son yıllarda bazı ülkelerde hazırlanan standartlar da yine belirli koşullar için sınırlandırılmıştır. (Kayalı ve ark. 1990).

Statik haller için yapılan dizaynda, elastisite teorisi ve malzeme ile ilgili deneylerde bulunabilen bazı kabuller kullanılır. Yorulma ile ilgili dizayn yapılırken, kabullerde çok dikkatli davranmak icab eder. Malzemede bulunan lokal gerilme

konsantrasyonu veya malzemenin belirli bir bölgesinin zayıf olması, tekrarlı yüklemelerde çok etkili olur. Ayrıca yorulmada gerilme ve şekil değiştirme değişkenleri, tek bir değer değildir. Gerilme genliği, ortalama gerilme, yükleme sayısı gözönünde tutulmalıdır. Malzeme yorulma mukavemeti değerindeki değişimler ile yük dağılımındaki değişiklikler, yorulma hasarına karşı dizayn yapılırken olasılık analizlerini zorunlu kılar.

Malzeme yorulma özelliğinin, lokal gerileme ve lokal zayıflığa hassasiyetinin fazla olması, kompleks yapılar için, dizayn yapılırken laboratuvar deney sonuçlarının direkt kullanılmasını zolaştırır, hatta bazen imkansız hale getirir. Buna rağmen laboratuvarda yorulma deneylerinin yapılması, malzemelerin relatif özelliklerinin çıkarılmasına, ısıl işlem, fabrikasyon ve çevre etkisinin rolünün bulunmasına yardımcı olduğu gibi, dizayn için gerekli ampirik bağlantıların bulunmasını sağlar (Anonim 1984).

### 3.2.1 Yorulma Deney Türleri

Çalışma esnasında bir parçaya gelecek gerilme değişik tür ve şiddete olabilir. Ancak yorulma deneylerinde, malzemelerin tekrarlanan dinamik zorlamalar karşısında göstereceği direnç hakkında kantitatif bilgiler edinebilmek için, uygulamada en sık rastlanan belirli gerileme türleri ele alınmıştır. Bu tür gerilmelerin düzgün periyotlarla uygulanması halinde elde edilen sonuçlar kriter kabul edilerek teknik yorumlar yapılabilmektedir.

Deneyde kullanılan gerileme türü, yorulma deneyimine de adını vermektedir. Gerilme türüne göre başlıca yorulma deneyi türleri şunlardır:

- Eksenel gerilmeli yorulma deneyi: En basit sistem olan bu sistemde numuneye uzunluğu boyunca değişen çekme ve basma gerilmeleri uygulanır. Uygulanan gerilme numune enince de üniform olarak dağılır.

Eksenel gerilmelerin söz konusu olduğu bir örnek, içten yanmalı motorların bağlantı rotlarıdır. Ancak burada eksenel gerilme yanında eğme kuvvetleri de oldukça etkilidir.

- Eğme gerilmeli yorulma deneyleri: Bu deney türü kendi arasında ikiye ayrılır;

a) Düzlemsel eğme gerilmeli yorulma deneyi: Bu deney türünde numune, nötr bir düzleme göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Bu tür gerilmelerin oluştuğu en güzel örnek taşıtların yaprak yaylarıdır.

b) Dönen eğme gerilmeli yorulma deneyi: Bu deney türünde, numune devamlı dönen bir nötr eksene göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Bu tür gerilmelere örnek olarak, hareket halindeki taşıtların akslarında meydana gelen gerilmeler gösterilebilir. Aks başlıklarına gelen yükün etkisi ve tekerindeki tepkiden dolayı aktra eğilme gerilmeleri oluşur. Ancak aks devamlı döndüğünden, aksın herhangi bir ekseni her turda bir çekme bir basma gerilmesine uğrar.

- Burma gerilmeli yorulma deneyi: Burada deney numunesine sabit bir eksene göre tekrarlanan burma işlemi uygulanmaktadır. Araçların süspansiyon yaylarında ve çekme-basma kuvvetlerinin uygulandığı tüm helisel yaylarda bu tür burma gerilmeleri oluşur.

- Bileşik gerilmeli yorulma deneyi: Yukarıda sayılan farklı gerilme türlerinden ikisinin veya daha fazlasının bir arada bulunabileceği durumlarda bileşik gerilmeler söz konusudur. Uygulama en çok rastlanan bileşik gerilme durumu eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu durum ile aksenel ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu durumdur. Motorların krank mili başlıklarındaki gerilme, eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu gerilme türüne ait en güzel örnektir. (Kayalı ve ark.1990).

### 3.2.2 Yorulma Deneyi İle İlgili Terimler

Yorulma konusunun incelenmesinde özel terimler kullanılmaktadır. Bu terimlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

**Çevrim:** Bir çok deney cihazında zamanla sinüsodial bir değişme gösteren gerilme uygulanır.

**Maksimum Gerilme:** ( $\sigma_{maks}$ ) ( $S_{maks}$ ) : Uygulanan gerilmeler arasında en büyük cebirsel değeri olan gerilmedir. Diğerlerinde olduğu gibi çekme gerilmeleri pozitif (+), basma gerilmeleri negatif (-) işaretleriyle gösterilmektedir.

**Minimum Gerilme** ( $\sigma_{min}$ ) ( $S_{min}$ ) : Uygulanan gerilmeler arasında en küçük cebirsel değeri olan gerilmedir.

**Ortalama Gerilme** ( $\sigma_m$ ) ( $S_m$ ) : Maks ve Min. gerilmelerin cebirsel ortalamasıdır.

$$\sigma_m = (\sigma_{maks} + \sigma_{min}) / 2$$

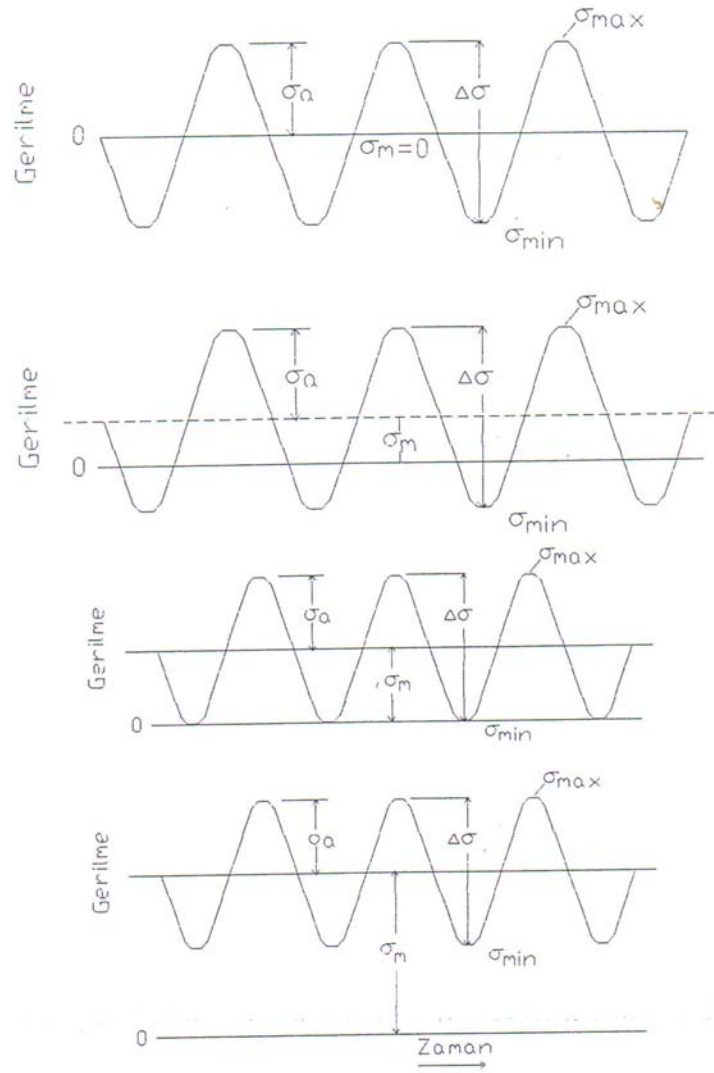
**Gerilme Aralığı (Stress Range) :** Şekil 3.8'de görüleceği gibi, gerilme aralığı maksimum gerilme ile minimum gerilme arasındaki cebirsel farktır.

$$\sigma_r = \sigma_{maks} - S_{maks}$$

**Gerilme Genliği (Stress amplitude) :** Şekil 3.8'de görüleceği gibi, gerilme genliği gerilme aralığının yarısına eşittir. Başka bir deyimle maksimum veya minimum gerilme ile ortalama gerilme arasındaki farktır.

$$\sigma_a = \sigma_r / 2 = (\sigma_{maks} - \sigma_{min}) / 2$$

Yorulma deneyinde uygulanan periyodik gerilme değişen basma gerilmeleri veya değişen çekme gerilmeleri olabileceği gibi değişen basma ve çekme gerilmeleri şeklinde de olabilir. Değişen çekme ve basma gerilmeleri halinde değişimler simetrik olabileceği gibi asimetric de olabilir. (Kayalı ve ark.1990) Farklı gerilme hallerini gösteren tipik örnekler Şekil 3.8.'de görülmektedir. (Reed ve Abbaschian 1992)

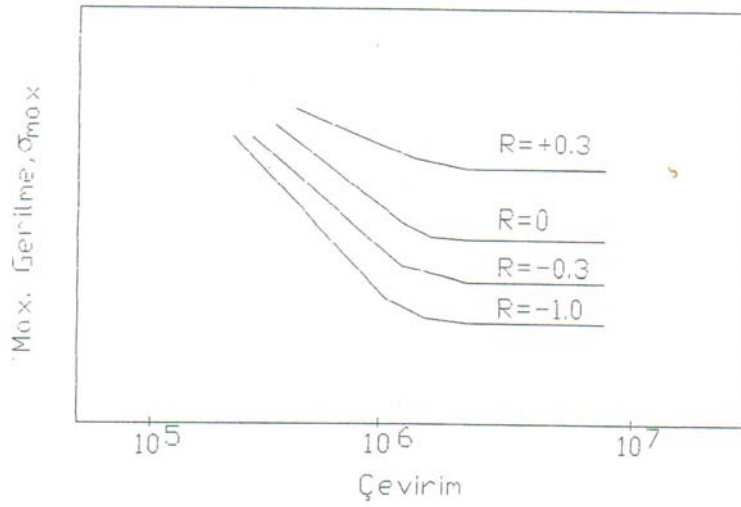


Şekil 3.8.  $\sigma_m$ ' nin Bazı Değerlerinin Gerilme Aralığının Sabit Değeri İçin Çevrimsel Gerilim Üzerindeki Etkisi

**Gerilme Oranı :** Genellikle iki türlü gerilme oranı tanımlanır. En çok kullanılan R ile gösterilip minimum gerilmenin maksimum gerilmeye oranıdır.

$$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$$

R'nin Wöhler eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. (Dieter 1961)



Şekil 3.9. R'nin S-N Eğrileri Üzerindeki Etkisi

İkincisi ise A ile gösterilip gerilme genliğinin ortalama gerilmeye bölünmesiyle elde edilir. (Kayalı ve ark. 1990).

$$A = \sigma_a / \sigma_m$$

### 3.2.3 Sinüzoidal Yükleme ve Wöhler Eğrisi

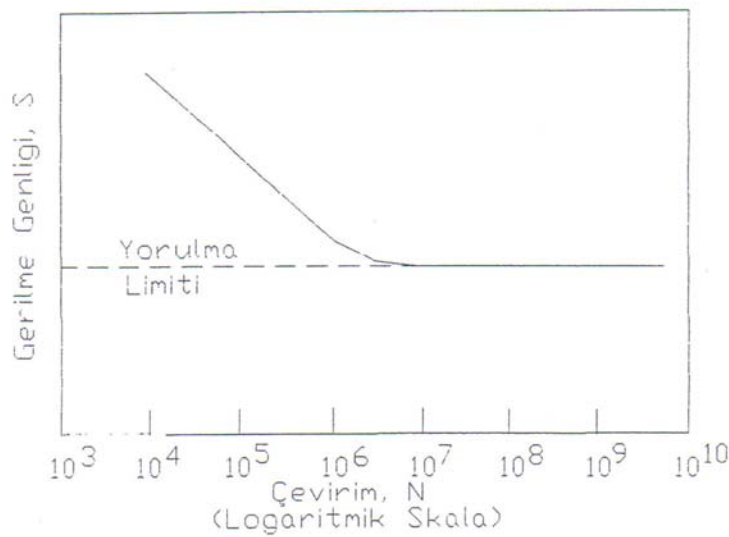
Alışılmış, klasik, yorumlama deneyleri, gerilmenin veya şekil değişiminin zamanla sinüzoidal bir fonksiyona uyacak tarzda değiştirilmesi ile yapılmaktadır. (Şekil 3.8.). Yükleme frekansını sabit alarak, Şekil 3.8'de görülen, 5 adet gerilme parametresinden 2 tanesi seçilerek yorulma deneyi yapılacağı gibi, 5 adet gerilme parametresinden sadece biri ve bir gerilme oranı seçilerek deneye başlanabilir. Pratikte aşağıda belirtilen metodlardan biri kullanılarak laboratuvarında yorulma deneyi yapılır.

1 - Minimum gerilmenin maksimum gerilmeye oranı, R'yi sabit alarak her bir sabit R değeri için farklı numunelerde,  $\sigma_{maks}$ , maksimum gerilme değiştirilerek kırılmaya kadar geçen N, yükleme sayısı kaydedilir.

2-  $\sigma_m$ , ortalama gerilmeyi sabit alarak, her bir  $\sigma_m$  değeri için,  $\sigma_a$ , gerilme amplitüdü değiştirilir. Kırılmaya kadar geçen, N, yükleme sayısı kaydedilir.



Kırılmaya kadar geçen yükleme sayısı,  $N$ , absizde, gerilme değeri,  $\sigma$ , olmak üzere çizilen diyagramlara “Wöhler” eğrisi ismi verilir. Wöhler eğrisindeki gerilme,  $\sigma_{max}$ , maksimum gerilme olabileceği gibi,  $\sigma_a$  gerilme amplitüdü de olabilir. Her iki halde de ordinattaki gerilmenin hangi gerilme olduğu açıkça belirtilmektedir. Wöhler eğrisi üzerinde bulunan her nokta deney şartları altında verilen bir gerilme için malzeme ömrünü verir veya belirli bir yükleme sayısında malzemeyi kırarak gerilme değeri Wöhler eğrisi kullanılmak suretiyle bulunabilir. Böylece Wöhler eğrisi altındaki bölge, deney şartları altında malzemenin tahrip olmadan çalışabileceği, gerilme ve yükleme sayısı değerleri için de bulunur. Diğer bir deyişle Wöhler eğrisi altında malzeme tahrip olmaz, Wöhler eğrisinin üzerindeki bölgede çalışıldığında malzemenin tahribi kaçınılmaz olur. Bazı malzemelerde özellikle demir-çelik alaşımında muayyen bir, “gerilme-yükleme sayısı” noktasından sonra eğri, yatay eksene paralel hale gelir. Böylece Wöhler eğrisinde asimptot olan gerilme değerinin altında kaldıkça sonsuz sayıda yüklemeye dahi malzemenin tahrip olmayacağı kabul olunabilir. Bu gerilme değerine “Yorulma Limiti” adı verilir. (Grouer 1973). Bu şekil 3.10'da gösterilmiştir. (Callister 1996). Yorulma limiti değerinin sadece deney şartları dışında çalıştırıldığında yorulma limiti değerinin tam olarak geçerli kabul edilmesi gerektiği gözden çıkarılmamaktadır. Kaldı ki aynı deney şartlarında malzemenin geometrisindeki ufak bir değişiklik yorulma limiti değerini değiştireceği gibi, bazı malzemelerde, Wöhler eğrisi apsis eksenine paralel hale gelmez. (Anonim 1984).



Şekil 3.10. S-N Eğrisi

Wöhler eğrilerinin kırılmaya kadar geçen yüklemeyi gösteren apsis eksenini genellikle logaritmiktir. Eğri üzerinde bazı deney noktalarında ok bulunması numunelerin gösterilen, N yükleme sayısında kırılmadığını gösterir.

Bazen ordinat ekseninde maksimum gerilme veya gerilme amplitüdünün maksimum çekme gerilmesine oranında yazılabilir. Bu taktirde ordinat eksenindeki en büyük rakam birden fazla büyük olamaz. Bu tür bir çizim yorulma mukavemetiyle çekme deneyiyle bulunan maksimum çekme gerilmesinin kolayca yapılmasını sağlar.

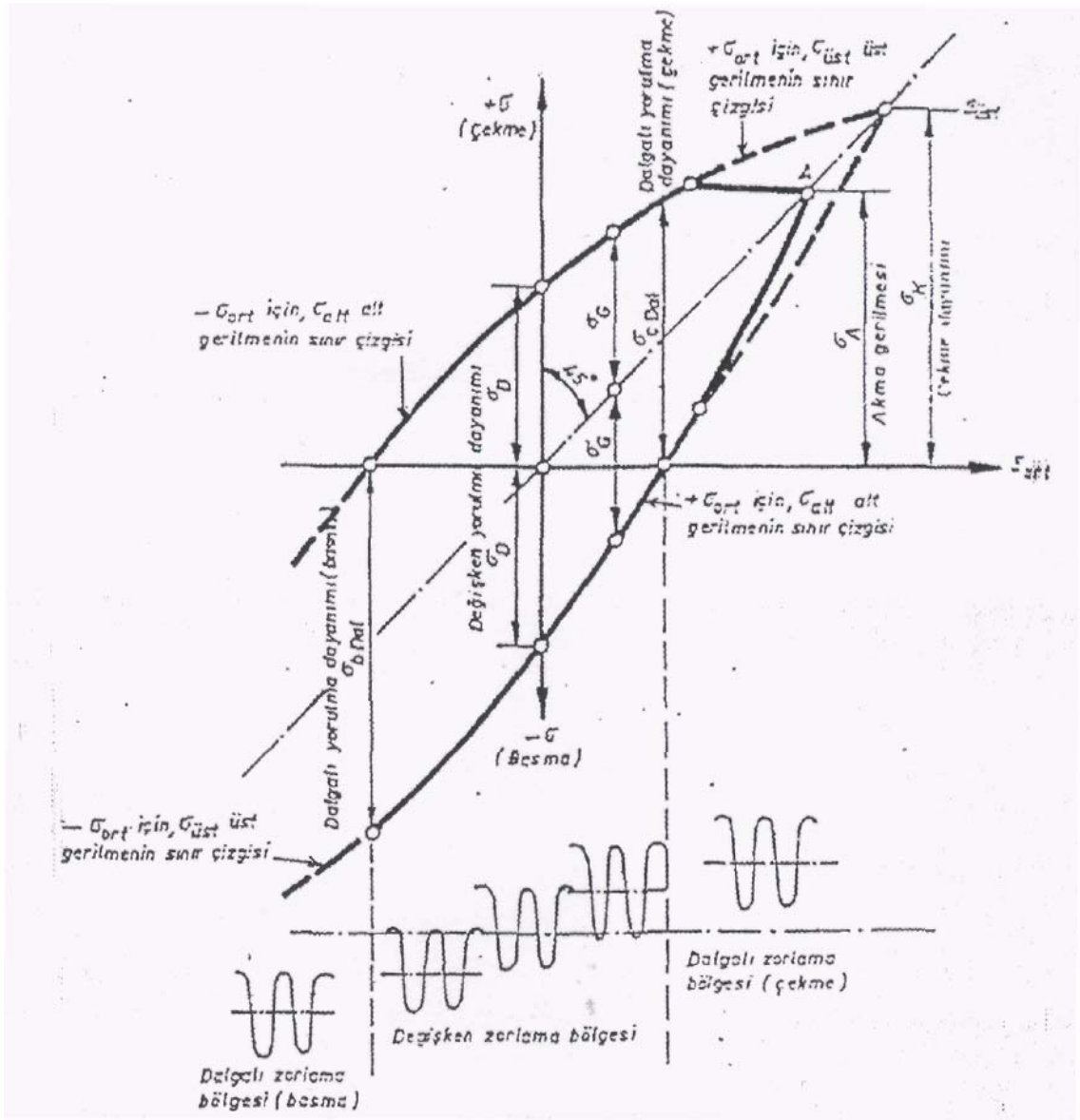
Wöhler eğrilerinin elde edilmesi için uygulanan yükleme alternatif çekme ve basma şeklinde olabileceği gibi, torsiyon, eğme ve diğer bir yükleme tarzında da olabilir. Yükleme şekli ne olursa olsun, deney sonuçları gayet bariz olarak a- gerilmenin artışıyla malzeme ömrünün düştüğünü b- bir çok malzeme için yorulma limiti veya yorulma mukavemeti adı verilen bir gerilme değeri elde edilir; bu gerilmenin altındaki yüklemelerde malzeme tahrip olmaz (Anonim 1984)

### **Smith Diyagramı**

Alternatif yüklemede sabit bir ortalama gerilme değeri için, iki adet yorulma limiti elde edilir, birinci değer maksimum yorulma limiti, ikinci değer ise minimum yorulma limitidir. Bu iki yorulma limit değerini kullanarak veya belirli bir yükleme sayısında malzemeyi kırarak, maksimum ve minimum gerilme değerleriyle ortalama gerilme arasında bir diyagramda çizmek mümkündür. Apsis ekseninde ortalama gerilme ordinat ekseninde de maksimum ve minimum yorulma limit değeri veya belirli bir yükleme sayısında malzemeyi kırarak maksimum ve minimum gerilme çiftinin yerleştirilmesiyle elde edilen diyağrama Smith diyagramı veya sürekli mukavemet eğrisi denir. Smith eğrisi kapalı bir egridir. (Anonim 1984). Bu eğri Şekil 3.11' de görülmektedir. (Kayalı ve ark. 1990) Eğrinin içerisi emniyetli bölgedir. Gerilme değerleri kapalı eğrinin dışında kalırsa malzeme tahrip olur. Bu tip diyagram da dizayn yapımında faydalı olabilir. (Anonim 1984)

Kesitlerinde bazı değişiklikler yapmadan makinenin tasarımını yapmak oldukça zordur. Dönen miller yataklar üzerine düzgün bir şekilde oturtulmalıdır. Bu şekilde ortaya çıkan yükleri yataklar almalıdır. Böylece dişliler ve makaraların emniyeti sağlanır. Civatanın bir ucunda da diş açılmış kısım bulunur. Bunların herbiri kesitte

meydana gelen ani değişikliklerdir. Diğer makine elemanları delikler, yağlama kanalları ve çeşitli şekillerde çentikler ihtiva ederler. Makine parçasındaki süreksizlikler, süreksizliğin komşu bölgelerinde gerilme değişimleri ortaya çıkarır. Bu tip süreksizlik bölgelerinde gerilmeler artar ki bu da yorulma mukavemetini etkileyen faktörlerden bir diğeridir (Gencer, 1994)



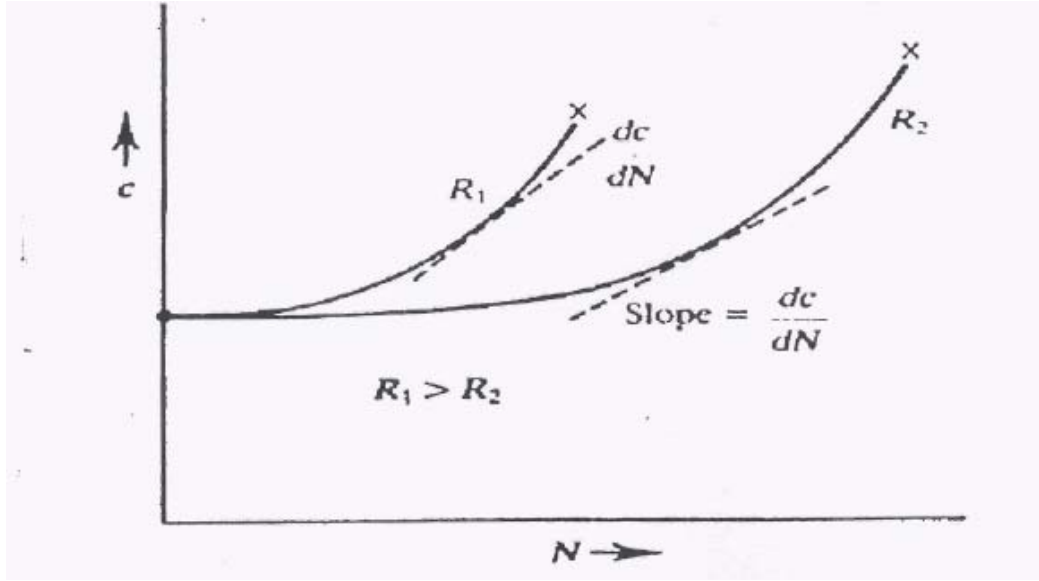
Şekil 3.11. Çeki-Bası zorlamaları için Smith yorulma mukavemeti diyagramı

### 3.2.4 Yorulma Çatlaklarının İlerleme Hızı

Evredeki, çatlak ilerleme hızı ölçümleri mühendislik tasarımları için çok kullanışlıdır ve yorulma prosesini anlamamıza yardımcı olur. Örneğin; çatlak ilerleme hızının ve malzeme kırılma tokluğunun bilinmesi; II. Evredeki yıkıcı ani kırılmanın oluşacağı çevrim sayısının tahmin edilmesine olanak sağlar. Böylece düşük çevrimsel zorlanan bir malzeme için, II. Evre, malzeme ömrü için önemli bir yer teşkil eder. Daha önce de bahsedildiği gibi birçok yapısal eleman, yüzey kusurları ve yüzey çatlaklarına önceden sahip olabilir, bu kusurlar da yorulmaya neden olabilir. Bütün bunlar çatlak çekirdeği oluşumunun önemini azaltır. Bu yüzden yüzey kusurlarının boyutlarının ve geometrisinin bilinmesi yorulma ömrünün tahminine olanak verir.

II. Evre çatlak büyüme hızının ölçümleri, bugün genel olarak birçok laboratuarda gerçekleştirilmektedir. Çatlak mekanizma testleri için kullanılan kırılmış malzeme numuneleri, aynı zamanda yorulma çatlakları ilerleme hızının ölçülmesine de elverişlidir. Numuneler tipik olarak sabit bir gerilme kuvveti etkisi altındadır. Bu da gerilme veya şekil değiştirme hızı anlamına gelir. Çatlak uzunluğu çevrim sayısının bir fonksiyonu olarak elde edilir. Çatlak boyu arttıkça ilerleme hızı da artar. Çatlak ilerleme hızı eğrilerin eğiminden hesaplanır. R'nin büyümesi çatlak ilerleme hızını artırır.

Direkt olarak optik bir mikroskopla ölçülebilir veya uygun bir kalibrasyon yöntemiyle çatlak bölgesinden geçirilen elektrik dirençleriyle ölçülebilir. Bu tip testlerden elde edilen sonuçlar şematik olarak Şekil 12 'de gösterilmiştir. Burada c, yorulma çatlağının ölçülen uzunluğudur ve çevrim sayısı N'e karşı çizilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi çatlak ilerleme hızı (c-N eğrisinin eğimi) çevrim sayısının artmasıyla artmaktadır. Ayrıca şunu da söyleyebiliriz ki, çatlak ilerleme hızı çatlak boyutlarının



Şekil 3.12. Çatlak uzunluğu —Çevrim sayısı grafiği

büyümesiyle artar. II. Evredeki çatlak ilerleme hızı, aynı çekme çatlakları eğilim temayülünde olduğu gibi, gerilme şiddetiyle alakalıdır. Sabit bir gerilme oranı için, daha yüksek gerilme oranı (R) ile çatlak ilerleme hızı artar. Bu noktada gerilmenin ve özellikle de maksimum gerilme kuvvetinin yorulma çatlağı oluşumundaki önemli etkisi gösterilmiştir.

Şekil 3.12'de gösterilen eğrinin eğimi, direkt olarak yorulma çatlağı büyüme oranını gösterir. Bazı durumlarda  $dc/dN$  eğimi, yüksek sıcaklıklarda meydana gelen sürünme çatlaklarına karşı yapılan tasarımlara yol gösterir. Modern karşılaştırmalı ve temel çalışmalar göstermiştir ki, II. Evre çatlak büyümesi, prensip olarak çekme çatlaklarında olduğu gibi aynı çeşit yüklerin etkisinde ilerler. Burada asıl amaç, çatlağın hedeflenen ömür sırasında yıkıcı uzunluğa ulaşmasını engellemektir. Bahsedildiği gibi, gerilme genliğindeki artış çatlak büyüme hızını artırır.

Şüphesiz, yorulma çatlakları büyüme hızında, yapısal ve şekil özellikleri arasındaki ilişki eksikliği şudur ki, malzemeler, çevrimsel gerilme tarafından uygulanan kuvvetlere karşı farklı davranışlar sergilerler (Aydın, 1999).

### 3.2.5 Yorulma Mukavemetini Etkileyen Faktörler

Malzemelerin mukavemet sınırları, boyutları ve geometrik şekilleri, (çapı ortalama 10mm) yüzeyleri çentiksiz ve parlatılmış deney çubukları üzerinde, laboratuvar koşullarında yapılan deneylerle tayin edilir. Ancak malzemelerin mukavemet sınırları; çentik, yüzey pürüzlülük (kalitesi) boyutu, imalat, ısıtım işlemi, kaplama, çevre etkisi (korozyon) gibi faktörler tarafından etkilenmektedir.

Yüksek derecede iyileştirilmiş küçük çaplı laboratuvar parçaları ile mühendislik parçaları arasında çevresel şartlardaki, boyut ve yüzeydeki farklılıklar yüzünden mühendislik parçalarından, yorulma mukavemeti  $S_e$  genellikle daha düşüktür. Zira tüm boyutsal, yüzey ve çevresel şartlarını göz önünde bulundurduğumuz yorulma testlerinde kullanılan numuneler en iyisi olacaktır.

Yorulma mukavemetine etki eden faktörler sırası ile; “ $k_s$ ” yüzey faktörünü, “ $k_z$ ” boyut faktörünü, “ $k_t$ ” sıcaklık faktörünü, “ $k_r$ ” emniyet faktörünü, “ $k_m$ ” ise kaplama, sertleştirme, iç hatalar direkt direnç ve kalıntı gerilmeleri gibi çeşitli etkiler içeren faktördür.

$k_t$  faktörü: Sıcaklık etkileri malzemeye bağlı olarak değişmekle beraber,  $S_e$  yani yorulma mukavemet değerleri çoğu durumda  $k_t$  faktörüne bağlı olarak değil de partiküler sıcaklıklar altında yapılan testler vasıtasıyla belirlenmiştir. Önemli çelikler için 70°F ile 200°F arasında  $k_t = 1$  olarak kabul edilir.

$k_s$  faktörü: Yorulma mukavemeti yüzey kondüsyonu açısından hassastır, çünkü eğilme ve burulmada ortaya çıkan max gerilmeler, takım izleri ve direkt gerilmelerde dikey çizgiler gibi yüzey düzensizlikler yorulma çatlaklarını başlatan gerilme arttırıcılarıdır. Oluşuma başlamış bir çatlak uzayabilir, çünkü çatlağın asıl nedeni tek başına bir gerilme arttırıcısıdır. Yüzey pürüzlülük faktörü, kopma mukavemeti arttıkça, düşer. Isıtım işlemlerin ve alaşım çeliklerinin kullanılması daha yüksek mukavemet sağlamada alternatif olarak değerlendirilebilir.

$k_z$  faktörü: Daha büyük bir parçada artan boyut ile birlikte dayanım limitinde düşme olabilir. Bu düşüşün başlayacak yorulma çatlağında metalürjik hatadan ya da ihtiva edilen zayıflatıcı bir tanecikten kaynaklanması daha olasıdır. Artan boyutla birlikte bu düşüş, eğilme ve burulmada daha küçük gerilme gradyanından da beklenebilir.

Çentik faktörü: Çeki, bası, eğilme ve burulma için verilen temel gerilme denklemlerinde ele alınan elemanda hiçbir düzgünsüzlüğün olmadığı kabul edilir (malzeme homojen, kesit değişimi yok, yani çentik etkisi yok). Ele alınan elemanın kesitlerinde bazı değişiklikler yapmadan makinenin tasarımını yapmak oldukça zordur. Dönen miller yataklar üzerine düzgün bir şekilde oturtulmalıdır. Bu şekilde ortaya çıkan yükleri yataklar almalıdır. Böylece dişliler ve makaraların emniyeti sağlanır. Cıvatanın bir ucunda da diş açılmış kısım bulunur. Bunların herbiri kesitte meydana gelen ani değişikliklerdir. Diğer makine elemanları delikler, yağlama kanalları ve çeşitli şekillerde çentikler ihtiva ederler. Makine parçasındaki süreksizlikler, süreksizliğin komşu bölgelerinde gerilme değişimleri ortaya çıkartır. Bu tip süreksizlik bölgelerinde gerilmeler artar ki bu da yorulma mukavemetini etkileyen faktörlerden bir diğeridir (Gencer, 1994)

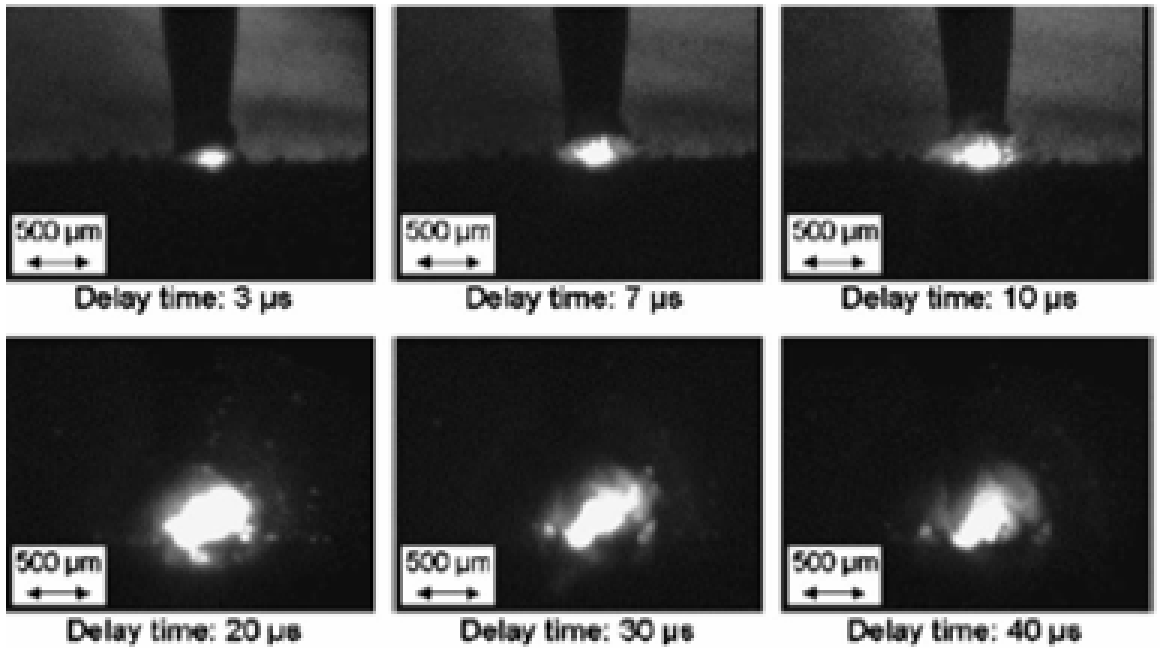
### 3.3 EDM YÖNTEMİ

Alışılmamış yöntemler olarak isimlendirilen yöntemler içinde, kuşkusuz EDM en yaygın bilinen ve kullanılan yöntemdir. Hem kalıp yapımında uzmanlaşmış kuruluşlarca, hem de daha genel bir üretim zincirindeki kalıp yapım biriminde, EDM nin tartışılmaz bir yeri vardır. Isıl işlem yapılmış yada yapılmamış sert metalleri, alüminyum, bakır, pirinç alaşımlarını ve hard metalleri diğer işleme tekniklerine oranla daha kolay bir şekilde işleyebilirsiniz. Bazı işlerin yapılabilme ve bazı malzemelerinde işlenebilme koşullarını, yalnızca EDM sağlamaktadır. Bu nedenle EDM'nin tüm yapım yöntemleri içinde, kalıp yapımı için ayrıcalıklı bir yeri vardır.

Elektriksel aşındırma ile İşleme, elektriksel arkların malzemeleri aşındırmasını azaltmak için araştırmalar yapan B.R. ve L. I. LAZERANKO tarafından 1943 yılında geliştirilmiştir. Önceleri, basit fakat sınırlı bir kıvılcım üretici olan direnç - kapasitör devreli üreteçler kullanılmıştır. 1960'lı yıllarda transistörlü devrelerin yaygınlaştırılması ile, gerilim denetimli üreteçler geliştirilmiş ve EDM'ye uygulanmıştır. 1970 li yıllarda ise EDM'de çok önemli gelişmeler sağlanarak akım denetimli üreteçler ve son olarak da sayısal denetimli tezgahların geliştirilmesi ve servo sistemlerde sağlanan gelişmeler sonucu EDM bugünkü gelişmiş durumuna ulaşmıştır.

### 3.3.1 Elektriksel Aşındırma ile İşleme

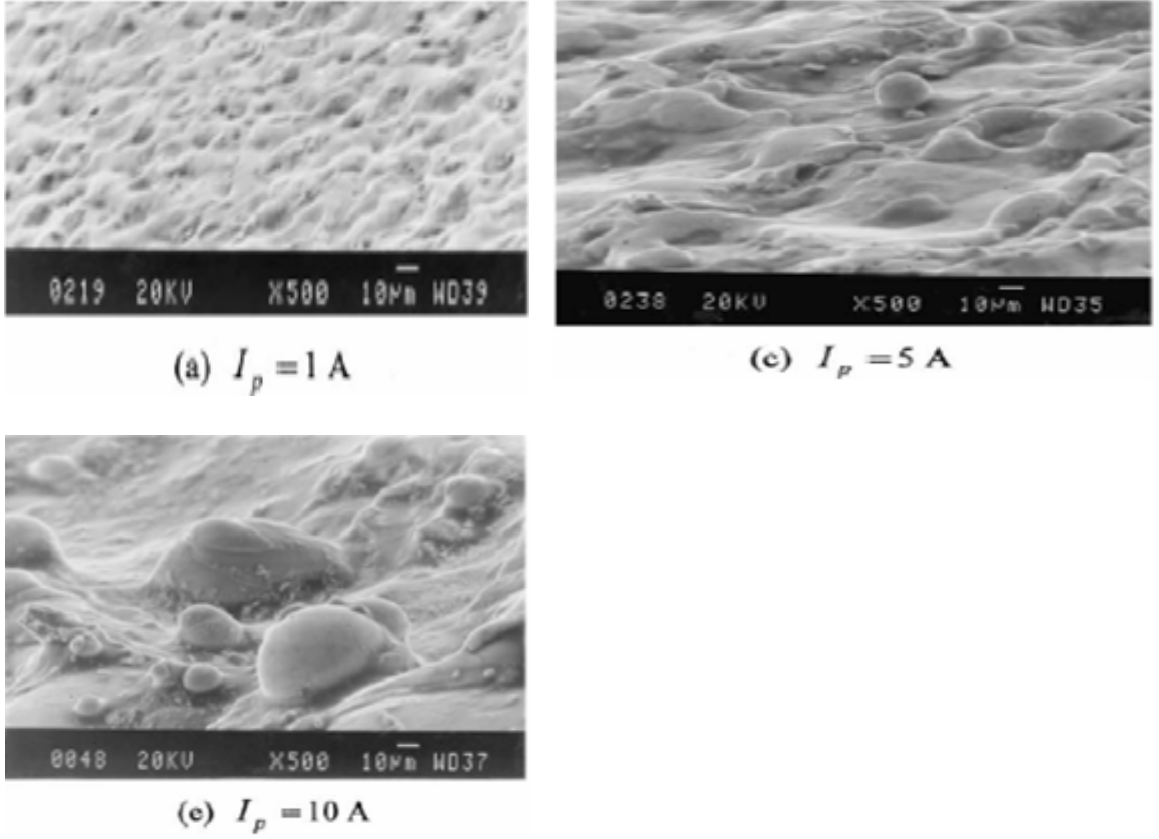
EDM ile işleme bazen kıvılcımla işleme olarak isimlendirilir. Di elektrik sıvı içerisinde gömülmüş iki iletken (elektrot-iş parçası) arasında ardı ardına oluşan çok sayıdaki kıvılcımların (200-560000 kıvılcım/sn) malzemeyi aşındırması ilkesine dayanır. Aşındırma olayı yüksek kıvılcım sıcaklıklarında (100000°K) elektrot iş parçası malzemelerinin buharlaşması ve böylece yüzeylerin küçük çukurcuklar ile kaplanmasıdır. Gerekli kıvılcım enerjisi, elektrotlar ile paralel bağlantılı bir elektrik devresi ile sağlanır. Genellikle iş parçası (+) kutba elektrot ise (-) kutba bağlanır. Farklı uygulamalarda mevcuttur. Şekil 3.13’de EDM ile işleme esnasında oluşan plazma arkının şekli yer almaktadır.



Şekil 3.13. EDM ile işleme sırasında oluşan plazma şekli

Farklı amperaj değerlerinde işleme sonucu oluşan yüzey fotoğrafları ise şekil 3.14’de gösterilmiştir.

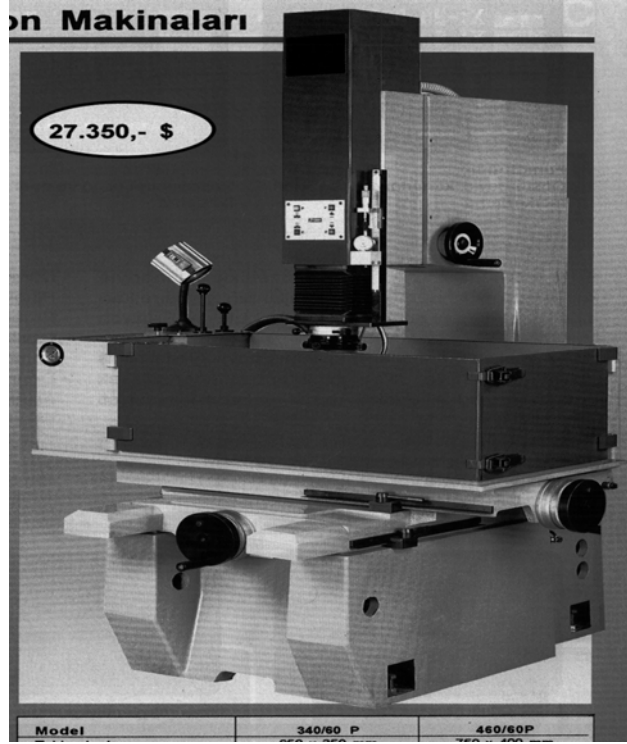




Şekil 3.14. EDM ile işlenmiş yüzeyde oluşan kraterler (Guu, Hocheng, 2001)

EDM ile malzeme işleme ünitesi freze tezgahına benzetilebilir ve şekil 3.15 de bir EDM fotoğrafı yer almaktadır. İş parçası elektrik iletmeyen bir sıvı içerisinde gömülmüş olan hareketli bir tabla üzerine sabitlenir. Elektrot ise mekanik veya genellikle hidrolik bir sistemle iş parçasına doğru beslenir. İş parçası ile elektrot arasında çok az bir mesafe (0,025mm) muhafaza edilir.

Bu mesafe modern makinalarda servo sistem ile otomatik olarak sağlanır. Servo sistemde elektrot ile iş parçası arasındaki voltaj, referans voltajı ile karşılaştırılarak sağlanır. Böylece servo sistem, elektrotu referans voltajını buluncaya kadar besler. Şayet iş parçası ile kesici takım arasında meydana gelen kısa devre, voltajın düşmesine sebep olur.



Şekil 3.15. EDM Tezgahı.

Elektrik ark bölgesinde genellikle hidrokarbon di elektrik bir sıvıya ihtiyaç duyulur. Bu sıvının temel fonksiyonları, elektrik akımını kesmek, bölgeden metal partiküllerini uzaklaştırmak ve takım iş parçasını soğutmaktır. Di elektrik sıvı, basınçla ( 4 atü) bu bölgeye gönderilerek fonksiyonlarını daha iyi yapar. Dielektrik sıvı bir tankta toplanır. Elektrik kıvılcımları ile iş parçası yüzeylerinde oluşturulan krater büyüklüğü boşaltıları enerji miktarına, boşaltılan enerji gerilim, akım ve süreye bağlıdır. Yüksek frekanslar iyi yüzey kalitesi verir. Boşaltılan enerji akımın artmasıyla artar. (Yavuz, 2003)

### 3.3.2 EDM' de Kullanılan Elektrodlar

EDM'de elektrot giderleri, toplam giderlerin yaklaşık % 80'ini oluşturur. Bu nedenle hem tasarım, hem de malzeme seçimi, bu konudaki en önemli sorun olarak belirmektedir.

### **Bakır**

En yaygın kullanılan malzemedir. Aşınmasız oyma ve pürüzsüz yüzey elde etmek için idealdir. Dövme bakır denilen, dövülerek dokusu sıklaştırılmış bakır, özellikle çok gözlü kalıpların işlenmesi için uygundur. Dökme bakır, dokusunun kabalığı yüzünden verimli değildir.

### **Tellür-bakır**

Elektrot imalinde işleme önemli yer tutuyorsa, saf bakır yerine tellür bakır malzemesi kullanılır. Bu alaşım pirinç kadar rahat işlenebilir. EDM ile işlemede bu alaşım saf bakır ile işlemeye eşdeğerdir.

### **Grafit**

Her türlü işlem için uygun dokuda ve özellikle grafit bulunabildiğinden çok iyi malzemedir. Bazı düşük yoğunluklarda partikül çapı 0,2mm iken, yüksek yoğunluktaki grafit partikül çapları 0.013mm boyutuna sahiptir. Düşük yoğunluklar ucuz, yüksek yoğunluklar ise pahalıdır. Düşük yoğunluklar kaba yüzey işlemlerde, yüksek yoğunluklar ince yüzey elde etmede kullanılır. Ayrıca ebat sınırlaması olmayışı ve yoğunluğunun bakıra göre 3-4 misli düşük olması ciddi bir avantajdır. Kesme ve ekstrüzyon kalıplan için kaba dokulu grafit bulunabildiği gibi, temiz yüzey elde etmek ve aşınmaya mukavim sık dokulu grafitlerde bulmak mümkündür. Sık dokulu grafitlerin aşınma mukavemeti bakırdan iyidir.

### **Pirinç**

Bakıra göre düşük iletkenlik ve ergime noktasına sahip olduğu için iyi bir elektrot malzemesi değildir. Titanyumun düşük hızlarda işlenmesinde çok iyi bir elektrot malzemesi olduğu görülür. Ucuz olması ayrı bir tercih nedenidir. Mecbur kalınan durumlarda tercih edilir.

### **Alüminyum**

Kolay işlenebilir. EDM ile işlemede çinko kalay elektrod özelliklerine sahiptirler. Ergime derecesinin düşük olması nedeniyle tercih edilmez.

### **Bakır - Tungsten**

Yüksek ergime derecesi nedeniyle aşınmaya çok dayanıklıdır. EDM ile karmaşık parçaların işlenmesinde bu elektrod malzemesi kullanılır. İyi bir mukavemete sahip olup, ince detaylar elde edilebilir. Toz metal tekniği ile üretilirler. Normal işleme hızlarında hassas ve kaliteli yüzeyler elde edilir. Derin işleme özelliğine sahiptir. Ancak oldukça pahalıdır. Çok gerekli durumlarda tercih edilir. Bakıra göre daha az iletken olduğu için işlem zamanı biraz uzar.

### **Çelik**

Oyma hızı çok düşüktür, pek tercih edilmez. Ucuzdur ve kolay temin edilir. EDM ile işlemede yüksek güçte özellikleri zayıflar.

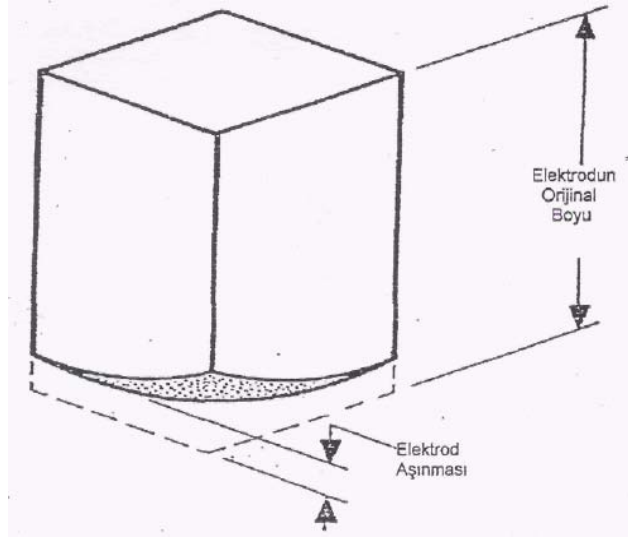
### **Çinko Alaşımı Elektrodlar**

Döküm yoluyla elde edilebilirler ve ergime noktaları düşüktür. Grafit ile mukayese edildiğinde elektrot aşınması çok yüksektir. Dökümü kolaydır, preslenerek şekillendirilebilir ve karışık şekiller hassas bir şekilde işlenebilir. % 70 çinko , %30 kalay ihtiva ederler. EDM ile işleme hızı düşük ve köşelerde aşınmalar problem oluşturur.

### **3.3.3 Kullanılan Elektrodların Eskimesi**

Elektrot eskimesi işleme başlangıcındaki elektrot şekli işleme süresince değişir ve giderek istenen şekil bozulmaya uğrar. Elektrotun bu aşınma ile şekil değiştirmesi elektrot eskimesi olarak tanımlanır. Elektrot eskimesine örnek Şekil 3.16 da gösterilmiştir.

Elektrot eskimesinin bağlı olduğu bir çok etmen arasında, elektrot malzemesi seçimi en önemlisi olmaktadır. Bazı elektrot malzemeleri, eskimeye karşı dirençli olmakta ve çok az yada bazı firmalarca öne sürüldüğü gibi hiç aşınmamaktadırlar.



Şekil 3.16. EDM’de elektrot eskimesi

Grafit ve bakır ile alaşımları az aşınan elektrotlardır. Pirinç ve diğer malzemelerde ise aşınma çok fazladır. Eskimeyi etkileyen bir diğer etmen üretecin özellikleridir.

R-C devresi ile, vuruş denetimli üreteçler için, aynı elektrot malzemeleri değişik eskime oranları vermektedir. Ayrıca iş parçası, özel işleme koşulları ve kutupsal bağlantı yönü elektrot eskimesini belirleyen diğer etmenler olmaktadır. Tüm EDM işlemlerinde, alışılmış yöntemlerle işlenmesi olanaklı tüm malzemenin işlenmesi, geri kalan en az malzemenin ise EDM ile alınması en uygun işleme koşullarını vermektedir. EDM ile işlemede, kullanılan ilk elektrot işlenecek malzemenin (birden fazla elektrot kullanıldığında) %80 ini işleyecek şekilde seçilmesi ve tasarlanması gerekmektedir. Son elektrot ise istenen yüzey kalitesini verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Son elektrot üçüncü elektrot ise, EDM ile istenen malzemenin %2 si oranında aşınma sağlayacak şekilde olmalıdır. Elektrot malzemesi ve özellikle yapımından tasarruf sağlamak için üçüncü olarak kullanılan bir elektrot, bir sonraki işlemede ikinci elektrot olarak, ikincisi ise, ilk elektrot olarak kullanılır. Elektrot eskimesi ve elektrotun şeklinin bozulması, EDM de henüz çözümlenememiş sorunlardandır. Günümüzde uygulanan yöntemler daha çok pratik ve deneysel bilgi birikimleridir. Deneysel verilerle doğrulanmış ve genel bir uygulama olanağı veren kuramsal yada yan kuramsal yayınlar henüz yayınlanmamıştır.

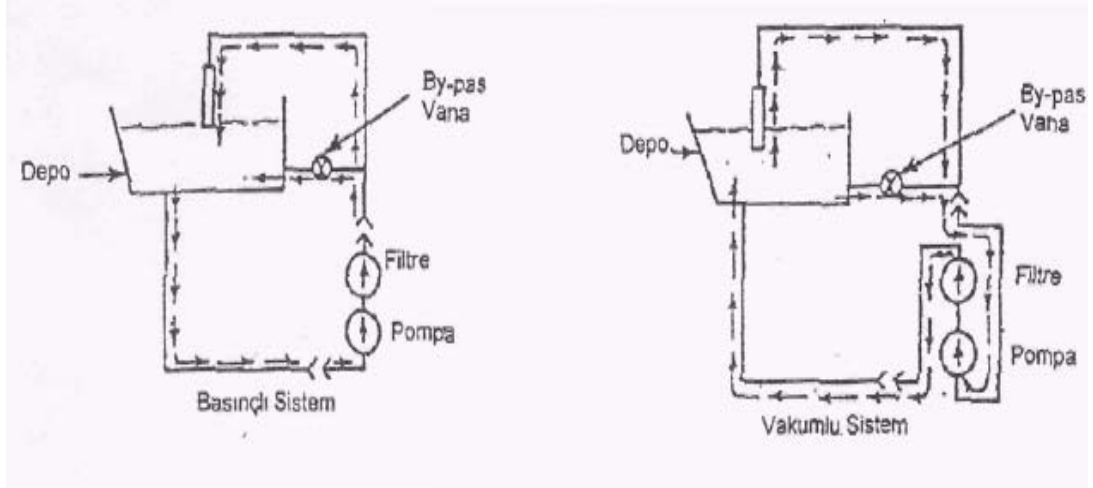
Çizelge 3.2. EDM tezgahında işe göre akım ve frekans seçilmesi (Elar Erezyon, 2005)

KABA İŞLEME	FREKANS 1 – 15	AKIM 1 – 99	GAP 1 – 16	PWM (%) 5 – 95
ELEKTROD AŞINMASI : EN AZ YÜZEY TEMİZLİĞİ : PÜRÜZLÜ KESME HIZI : AKIM VE PWM YÜKSELDİKÇE ARTAR				
ORTA İŞLEME	FREKANS 16 – 40	AKIM 1 – 22	GAP 1 – 16	PWM (%) 5 – 95
ELEKTROD AŞINMASI : KABA İŞLEMeye GÖRE FAZLA YÜZEY TEMİZLİĞİ : AZ PÜRÜZLÜ KESME HIZI : AKIM VE PWM YÜKSELDİKÇE ARTAR				
İNCE İŞLEME	FREKANS 41 – 55	AKIM 1 – 8	GAP 1 – 16	PWM (%) 5 – 95
ELEKTROD AŞINMASI : FAZLA YÜZEY TEMİZLİĞİ : TEMİZ KESME HIZI : AKIM VE PWM YÜKSELDİKÇE ARTAR				
SÜPER FİNİŞ	FREKANS 55 – 64	AKIM 1 – 7	GAP 1 – 16	PWM (%) 5 – 23
ELEKTROD AŞINMASI : EN FAZLA YÜZEY TEMİZLİĞİ : EN TEMİZ KESME HIZI : AKIM VE PWM YÜKSELDİKÇE ARTAR				

### 3.3.4 EDM de Kullanılan Dielektrik Sıvı Devresi

Şekil 3.16'da EDM tezgahında kullanılan dielektrik sıvının dolaşım şeması verilmiştir. EDM'de elektrot ve iş parçası di elektrik sıvı içerisinde bulunur ve bu di elektrik sıvı gövde içerisinde depo edilir. Di elektrik sıvının sirkülasyonu ile, elektrot ve iş parçası arasındaki aşınmış partiküller, ark bölgesinden uzaklaştırılırken diğer yandan da elektrot yüzeylerinin soğutulması sağlanır. Basıncılı sıvı göndermek yada kirli sıvının vakum ile emilmesi işleme özelliğini geliştirir. Basıncılı, sistemde sıvı

santrifüj pompa ile depodan ark bölgesine gönderilir ve kap altındaki delik ile yer çekimi vasıtasıyla akışkan depoya döner. Vakum sisteminde de aynı elemanlar pompa, by\_pass vana, filtre vs. kullanılır. Pompa ile akışkan ark bölgesinden emilir. Böylece ark bölgesi temizlenir. By\_pass vana ark bölgesine giden akışkanın debisini ayarlar. Basınçlı sisteme göre pompanın filtre ile yeri değiştirilmiştir ve filtre pompanın



Şekil 3.17. EDM'de di elektrik sıvının dolaşım şeması

önünde yer alır. Akışkan ark bölgesine temizlenerek gönderilir. Burada kullanılan pompa elemanı aşınmaya karşı dirençli olmalıdır. Filtreler 2 veya 5 mikrometrelik partikülleri tutabilmelidir.

Di elektrik sıvının ark bölgesindeki sirkülasyonunda birçok sistem kullanılır ki kısaca bunlar;

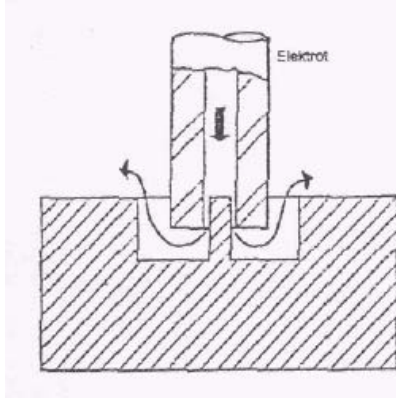
- Normal akış sistemi
- Rezerve akış sistemi
- Püskürtme akış sistemi
- Daldırma sistemi
- Titreşim sistemli

olanlarıdır. (Yavuz, 2003)

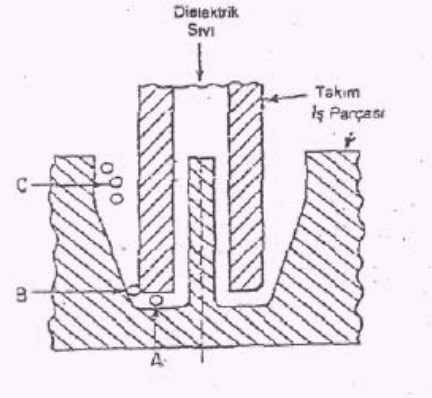
### Normal Akış

EDM de yaygın olarak kullanılır. Takım içerisinde geçen akışkan, takım iş parçası arasından geçerek depoya döner. Normal akış açılan delikte çıkıntı oluşturduğundan istenmez. Aynı zamanda A'da üretilen talaş B bölgesini geçer. C bölgesinde de kıvılcım oluşmasına sebep olması nedeni ile, ölçülerde C bölgesine doğru bir büyüme olur.

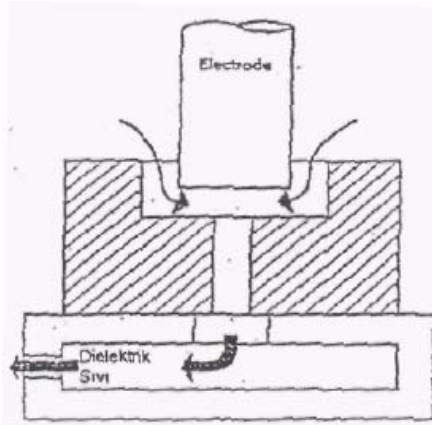
İşlenecek parçada delik açmak mümkün ise, parça altında bir di elektrik sıvı deposu yerleştirilerek, di elektrik sıvı buradan dışa doğru gönderilir. Takımı delmenin zor olduğu durumlarda, (takımın uzun ve küçük kesitli olması durumunda ) avantajlı olur.



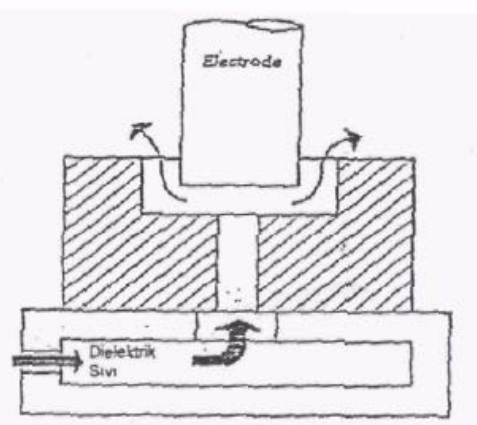
Şekil 3.18. Normal akış sistemi



Şekil 3.19. Normal akış sisteminde istenilmeyen aşınma.



a-Basma ile



b-Emme ile

Şekil 3.20. Normal akışın iş parçası içerisinden sağlanması.

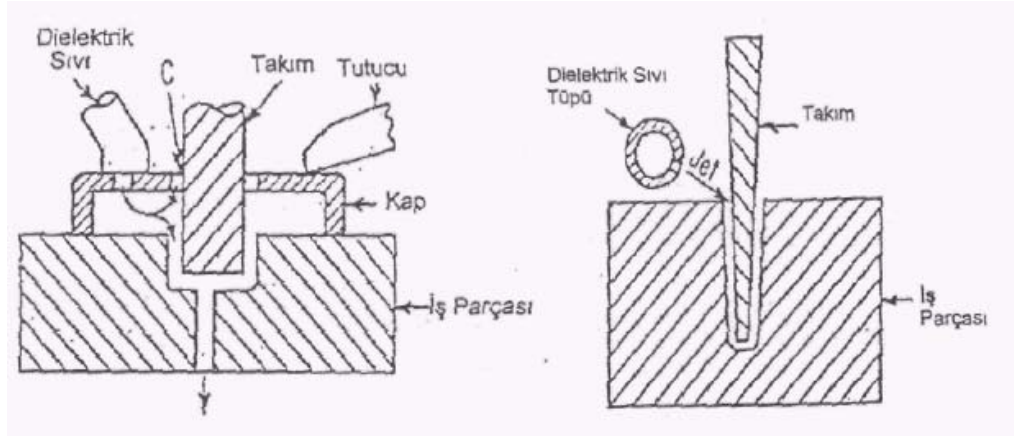


### Rezerve Akış

Elektrot etrafında sınırlandırılmış bir alandaki di elektrik sıvı ark bölgesine gelir ve iş parçasındaki delikten geçerek depoya gider . Kenarlarda aşınma olmaz ölçüler muhafaza edilir. Rezerve akış ile şematik bilgi şekil 3.21’da verilmiştir.

### Püskürtme Akış

Ark bölgesine di elektrik sıvı püskürtme ile sağlanır. (Şekil 3.22) Dar uzun bölgelerde verimlidir. Bir tüp üzerindeki delikten aşınma bölgesine hızlı bir şekilde di elektrik sıvı gönderilir. İşleme zamanı normal veya rezerve akış durumlarına göre daha iyidir.



Şekil 3.21. Rezerve akış.

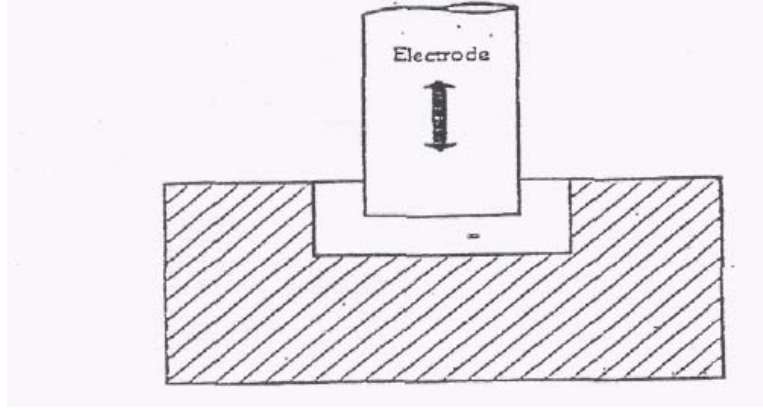
Şekil 3.22. Püskürtme akış

### Daldırma Sistemi

Kesme derinliğinin çok az olduğu veya çok ince kesitli malzemelerin işlenmesinde durgun di elektrik sıvı yeterlidir.

### Titreşim Sistemi

Durgun sıvının, veya elektrotun titreştirilmesi ile durgun sisteme göre daha iyi sonuç alınır. Titreşim sistemli di elektrik sıvı sirkülasyonu şekil 3.23’de gösterilmiştir. EDM tezgahında işleme sırasında en nitelikli sıvı kullanımı iş parçası üzerine uygulanan dalgalı akış sistemidir. Bu yöntemle hem iş parçası üzerinden talaşların uzaklaştırılması hem de iş parçası yüzeyine basınçlı su gönderme yönteminde oluşan çizikler bu yöntemle oluşmamış olacaktır.



Şekil 3.23. Elektrot titreşimli sistem.

### 3.3.5 EDM' in İş Parçası Üzerine Etkileri

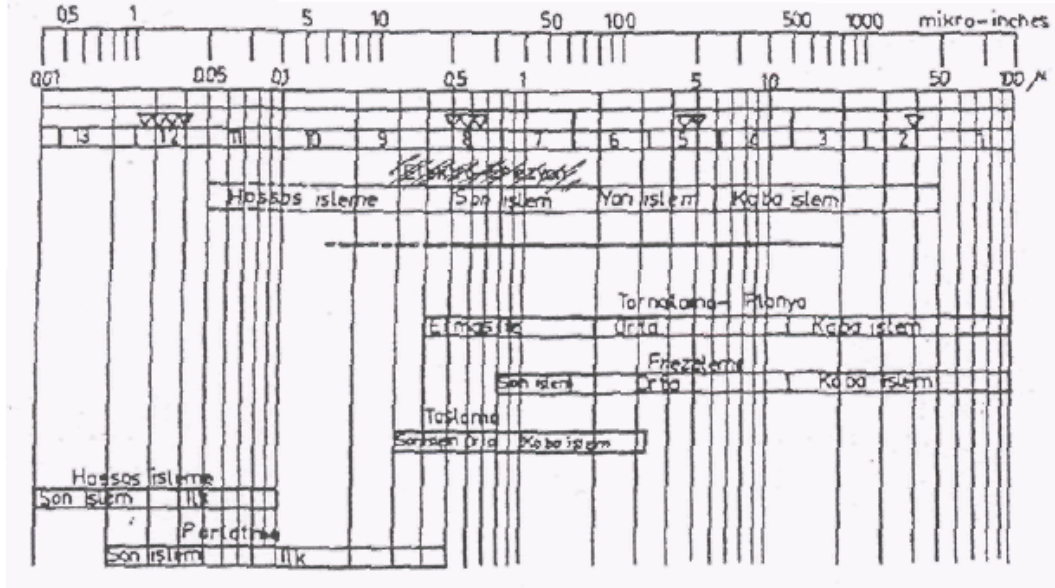
Elektriği ileten tüm malzemeler sertlik, kırılmalık, çekme ve akma dayanımı vb. mekanik, fiziksel ve metalurjik özelliklerine bağı olmaksızın EDM ile işlenebilir. Yalnızca pik dökümde işleme stabilitesi (sürekliliği) iyi değildir. Fakat kalıp yapımında kullanılan tüm çelik türleri, EDM ile işlemede iş parçası olarak çok iyi işlenebilme özellikleri gösterir. İş parçasının EDM ile işlenmeye hazırlanması için 2 işlemde geçirilmesi önerilir.

- 1) İş parçasının kendisinde özellikle freze yada olanaklı ise kopya freze ile, kaldırılabilir tüm talaşın kaldırılması ve EDM ile işlemeye en az talaş payı bırakılması sağlanmalıdır. Bunun nedeni alışılmış yöntemlerin her zaman için daha ucuz ve hızlı işleme sağlamalarıdır.
- 2) EDM ile işlemeye önce, kalıp malzemesinin en son ısıl ve sertleştirme işlemi yapılmalıdır. Böylece ısıl işlem sonunda görülen boyutsal bozulmalar, EDM ile işlemeye önce olacak ve EDM ile işlendikten sonra, iş parçası kesin son boyutlarına ve işlenen hassasiyete getirilecektir. Elektriksel aşındırma ile işlenmiş malzeme özellikleri de alışılmış yöntemlere göre farklılıklar gösterir ki bu farklılıklar üç grupta toplanabilir (Çiğdem, 1996);

### 3.3.5.1 Yüzey kalitesi

EDM ile işlenmiş yüzeylerin geometrik yapısı alışılmış yöntemlere göre tamamen değişiktir. Yüzey tamamen çukurcuklarla kaplanmıştır. Alışılmış yöntemlerin aksine, yöne bağlı bir özellik göstermezler. Bu nedenle mat görünümlüdürler. Fakat kolayca parlatılabilirler. Yüzey pürüzlülüğünü ölçme aygıtıyla ölçülebilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini, alışılmış yöntemlerin değerleriyle doğrudan karşılaştırmak sakıncalı olabilir. EDM ile işlenmiş yüzeylerdeki çukurcuklar, bir çok uygulamalarda yağlama maddesi deposu görevi yapar. Bu çukurcuklarda biriken sıvı yağ, sürtünme ve aşınmayı azaltır.

Çizelge 3.3. EDM'de yüzey kalitesi



### 3.3.5.2 Metalürjik Değişiklikler

Elektriksel aşındırmada, kıvılcım içinde çok kısa süreler içinde çok yüksek sıcaklıklara çıktığından, çukurcuk çevresinde metalürjik yapı değişiklikleri kaçınılmaz olmaktadır. İstenen tüm yüzey bu çukurcuklarla kaplandığında, işlenmiş yüzeyde malzeme derinliğine doğru giderek değişen bir yapı görülmektedir.

Elektriksel aşınma ile işlenmiş yüzeylerden alınan kesitlerde, yüzeysel ve beyaz görünüşlü ince bir tabaka gözlenmiştir. Bu tabakanın kalınlığı işleme koşullarına bağlı olmakla birlikte 0,002-0,01mm ve hatta bazen 0.1mm dolaylarındadır. Bu bölgedeki malzeme, sertliği ana malzemenin sertliğinden oldukça yüksektir. Genellikle Rockwell-C ölçeğinde 65-70 dolaylarında sertlik değerleri ölçülmüştür. Metalurjik analizler bu tabakanın ana malzeme ile karbon ve elektrot malzemesinin alaşımından oluştuğunu göstermiştir. Burada alaşım karbonunun bir kısmı, ana malzeme içinden difüzyon ile önemli bir kısmı ise ayrışan di elektrik sıvıdan sağlanmaktadır. Oluşan elektriksel boşalmalar ile de elektrot malzemeleri( karbon olabilir) iş parçasına taşınarak alaşım yapmaktadır. Diğer yandan çok kısa sürede eriyerek tekrar donan bu malzeme metalürjik olarak olağanüstü bir yapıya bürünmekte, ince beyaz tabakanın hemen altında 0.05-0.2 mm kalınlıklarında koyu renkli bir başka tabaka gelmektedir. Bu bölgenin sertlik değeri ise ana malzemenin sertlik değerinden birkaç değer daha düşük olmaktadır. Bu tabaka temperlenmiş ana malzemenin özelliklerini göstermektedir.

### **3.3.5.3 Mekanik Değişiklikler**

Kalıp uygulamasında yukarıda bahsedilen yüzeysel sert bir tabakanın varlığı yararlı olabilir. Böylece aşınma azaltılabilir. Ancak boşalma sırasındaki yüksek sıcaklıklar nedeniyle, artık gerilmeler ve yüzeysel çatlaklarda görülür, özellikle yüzeysel çatlaklar istenmeyen bir olaydır. Malzeme dayanım ve ömrünü önemli ölçüde etkiler. Yapılan mikroskobik gözlemler, bu çatlakların yüzeyde artık gerilmeler nedeniyle oluştuğunu ve malzeme derinliğine doğru ilerlediğini göstermiştir. Kalıp çelikleri üzerinde yapılan yorulma deneylerinde, bazı uygulamalarda yorulma ömrünü artırdığı saptanmışsa da, çoğunlukla EDM ile işlenmiş iş parçalarında yorulma ömrünü azaltmaktadır. Bunun açıklanabilir tek nedeni, yüzeysel çatlaklardır. Darbe deneylerinde, malzeme dayanımında çatlaklarında etkilerini ortaya koymaktadır. Yorulma ömrünün arttığı uygulamalar genellikle basma ile çalışan kalıplarda olmaktadır. Diğer kalıplarda ise yorulma ömrünün % 20 dolaylarında azaldığı saptanmıştır. Yukarıda verilen metalurjik değişiklikler ve buna bağlı görülen yorulma ömründeki azalma EDM için önemli bir sakınca yaratmamaktadır. İşlem olarak sağladığı önemli kolaylıklar yanında bu sakıncalar önemszenmeyecek kadar küçüktür.

Kaldı ki tüm diğer kalıp yapım yöntemlerinde de benzer değişimler vardır. EDM nin kalıplar üzerindeki bu etkisini azaltmak için aşağıdaki 3 öneri izlenmelidir;

- İşlenmiş yüzeydeki metalürjik değişikliğe uğramış malzeme kalınlığını en aza indirmek için, son işlemde çok az malzeme işlenmelidir. Böylece metalürjik olarak etkilenmiş tabaka işlenerek alınır ve çok ince bir tabaka kalır.
- EDM sonrası lepleme yada olanaklı ise ince taşlama yöntemleri ile bu tabaka kaldırılır.
- Artık gerilmeleri gidermek içinde EDM ile işlenmiş kalıplara yüzeysel temperleme işlemi uygulanır. Bundan başka EDM ile işleme sırasında düşük di elektrik sıvı basınçlarında yüzey pürüzlülüğünün vurum süresinden daha az etkilendiği tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü artan di elektrik sıvı basıncıyla artmaktadır.Boşalım akımının arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmektedir.

### 3.3.6 EDM' nin Kullanım Alanları

Elektriksel aşındırma ile işleme uygulamaya başlandığı ilk yıllardan beri, kalıp yapımında kullanılmaktadır. Bugün için tüm EDM uygulamasının %80'i kalıp yapımı ve takım endüstrisi oluşturmaktadır. Bunun yanında alışılmış yöntemlerle işleme olanağı bulunmayan şekiller ve malzemelerinde EDM ile işlenmesinde çok başarılı uygulamalar görülmüştür. EDM uygulama alanı sınırlarını, işlemin özellikleri belirlemektedir. İşleme hızının yavaş olması, EDM'in seri üretimde kullanılmasını engellediği kadar, alışılmış yöntemlerle birden çok tezgahın yapabileceği bir işi, bir tek EDM tezgahında bitirebilme olanağının olması da, kalıp yapımı için çok önemli bir üstünlüktür. Günümüzde gelişmiş ülkelerde, yalnızca EDM tezgahlarının ve elektrot yapım olanaklarının bulunduğu kalıp yapımında tüm işlemlerin bir tek tezgahta tamamlanması her zaman için daha ekonomik görünmektedir. Bunlardan başka;

- Dairesel veya dairesel olmayan küçük çaplı delikler
- Derinliği genişliğine göre çok fazla olan kanallar, konik delikler muhtelif şekillerde boşluklar
- Dairesel simetri eksenli delikler

- Konvansiyonel tezgahlara bağlanması zor olan parçaların veya gevrek malzemelerin işlenmesinde
- Çapak oluşumu istenmeyen yüzeylerin elde edilmesinde
- Sağlık açısından zararlı olan (radyoaktif gibi) malzemelerin işlenmesi
- Sert malzemeler üzerine iç veya dış dişli açılmasında
- Elektronik sanayinde mikro oyma işlemlerinde
- Ekseni kaymış deliklerin düzeltilmesinde kullanılır.

### 3.3.7 EDM Uygulamasının Avantajları

- Fiziksel özelliklerine bakılmaksızın herhangi elektrik iletken malzeme "EDM ile işlenebilir. Ayrıca "EDM" sertleştirmeden sonra da nihai bir işlem olarak uygulanabilir.
- EDM" de kesme kuvvetler yoktur, çünkü takımla iş parçası arasında temas yoktur. Çok kırılğan ve kompleks parçalar işlenebilir.
- Dövme, enjeksiyon - kalıplama, kalıpta döküm (die –casting), soğuk şişirme ve vurma kalıplarında muazzam tasarruflar sağlanmıştır.
- Belli bir yönü olmadan işleme (lif akış çizgileri) ile elde edilen parçalarda yağı tutan tabii bir hazne teşekkül etmektedir. Birçok araştırmalar göstermiştir ki, EDM ile elde edilen kalıpların ömürlerindeki artıştan bu faktör sorumlu olabilir.
- Kraterli tip yüzey tipleri önemli derecede daha kolay ve ekonomik olarak parlatılmaktadır. Normal olarak, taşlama kabalığı, ilave polisaj veya kaplama gerektiren ve bir yüksek ve alçak dalgalı yüzeyler bütününden meydana gelen lineer yüzey düzgünlükleriyle karakterize edilir.
- "EDM" ısı işlem, doğrultma, yumuşatma, kıymık alma, taşlama, bitirme gibi bazı işlemlerin maliyetlerini indirebilir.
- Elektroerozyonla; ısı işlem görmüş sert parçaları ham malzeme gibi işleyebiliriz. Böylece sertleştirilmiş iş parçalarını işlemek ve ısı işlem sırasında meydana gelebilecek deformasyonlar ve boyut bozulmalarını engellemek mümkün olur.

- Talaşlı imalat tezgahları ile yapımı çok güç olan üç boyutlu, özellikle dışı formunda kalıpların yapımını çok kolaylaştırır.
- İşleme sırasında size, özel yapılmış elektrodan başka kesici takım gerektirmez.
- Ölçü kontrolleri elektrod üzerinde işin başlangıcında yapılabilir. Böylece pahalı bir iş parçasının bozulması ihtimali yok olur.
- Yapılan işin özelliğine göre, genellikle sürekli bir operatör gerektirmez. (Yavuz, 2003)

### 3.3.8 EDM Uygulamasının Dezavantajları

EDM birçok üstünlüklere sahip ise de kendine özgü bazı sınırlamaları vardır. Şöyle ki;

- Bir kitle - imalat prosesi değildir, çünkü talaş kaldırma hızları çok yavaştır. Umumiyetle klasik metotlarda geniş malzeme hacimleri kaldırılır ve "EDM" bitirme için kullanılır.
- İşlenecek malzeme mutlaka elektrik iletken olmalıdır.
- Normal çalışmada, elde edilen delikler koniktir. Bununla birlikte bu konik işleme tesiri ve bitirme çalışmasında düşük amperajlı akımla 6mm'den 0.025mm'ye kadar düşürülebilir. Mamafih bu, metal talaş alma hızını düşürür.
- Bazı halde hızlı takım aşınması "EDM" kullanılıp kullanılmayacağına karar verirken bir faktör olabilir.
- Elektrik boşalma işlemesi ısı ile sertleşebilir çelikler üzerinde yüksek iç gerilmeli sert bir tabaka meydana getirir ve "EDM" ile yapılmış takımlar bazen çalışmaz. Bununla birlikte bu tesir sertleşme tabakası derinliğini azaltmakla veya sertleştirilmiş bölgeye lepleme veya taşlama uygulayarak kaldırmakla asgariye indirilebilir. Sonuç olarak, ekipman için yatırım yapmak gereklidir (Yavuz, 2003).



Şekil 3.24. Çatlak başlangıcı, yayılma ve ani kırılma bölgeleri (Meyers, Chawla, 1999).

Örneğin Şekil 3.24’de yorulma hasarına uğramış çelik bir milin kırılma yüzeyini resmetmektedir. Bu tip bir hasarın ana bölümleri yorulma çatlak başlangıcı, çatlak yayılması (kumsal benzeri) ve çatlak boyu kritik bir değere ulaştığında yaşanan ani kırılma bölgesinden oluşur. Tipik olarak dinamik zorlanmada hasar, statik zorlanmada taşınabilecek gerilme değerlerinden çok daha düşük seviyelerde gerçekleşir (Saatçı, Tahralı, 2003).

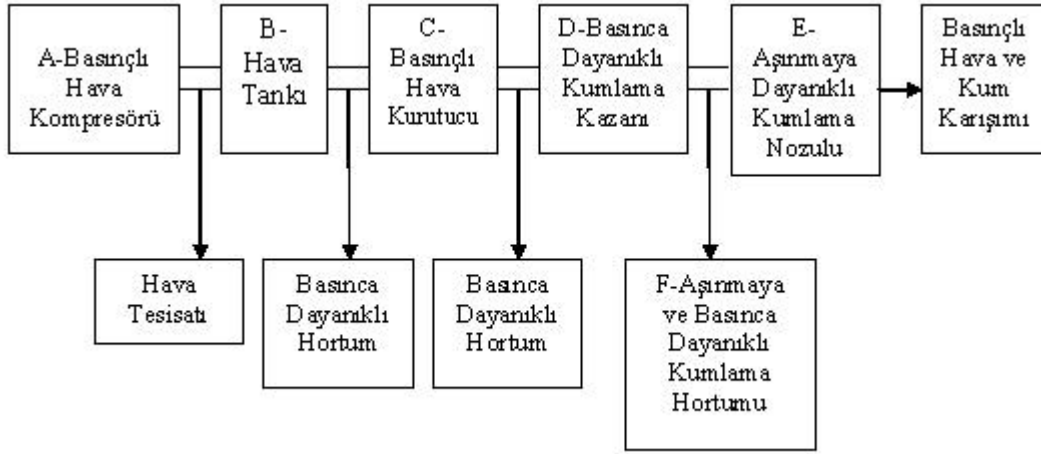
### 3.4 KUMLAMA YÖNTEMİ

#### 3.4.1 Basınçlı Kumlama Hakkında

Basınçlı kumlama işleminin ülkemizdeki geçmişi çok kısadır. Önceleri sadece deniz kumunun paslı yüzeye püskürtülmesi olarak bilinen kumlama işlemi, sanayimizin gelişmesiyle daha hassas malzemelere daha özel yöntemlerle uygulanmaya başlanmıştır.

Günümüzde kaplama öncesi pürüzlendirme veya yüzey sonlandırma amacıyla yoğun şekilde uygulanan kumlama işlemi, basınçlı hava ile yüzeye, kum olarak tabir edilen ve mikron boyutlarında olan malzemelerin püskürtülmesi olarak tanımlanabilir. Hava sayesinde yüksek bir hıza ve dolayısıyla momentuma sahip olan bu kumlar yüzeye çarptıklarında mikron mertebesinde izler bırakırlar. Oluşan bu izlerin derinliği ve şekilleri yüzeyin parlaklığına birebir etki ederler.

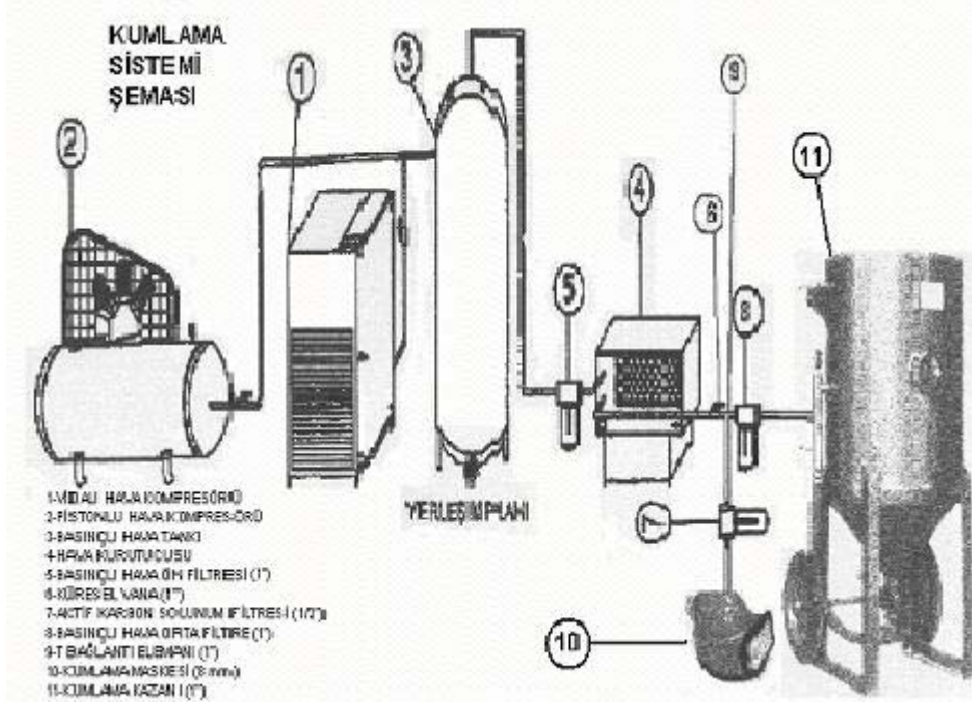




Şekil 3.25. Basınçlı Kumlama Düzenegi

Yüzeyin kumlanarak işlenmesinde rol oynayan başlıca elemanlar, basınçlı hava, çeşitli özellikteki kumlar, hava ve kum tankları, kum püskürtme memeleridir. Ancak yüzey morfolojisini en çok etkileyen elemanlar, havanın basıncı ve kullanılan sarf malzemesinin cinsidir. Basınçlı hava bu işlemden itici güç olarak kullanılmakta ve yüzeye gönderilen sarf malzemelerinin etkisini belirlemektedir. Yüzeyin şeklini belirleyen eleman ise kullanılan sarf malzemesidir. Sarf malzemelerini şekil itibariyle küresel ve köşeli olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Köşeli taneciklerin oluşturduğu sarf malzemelerine grit adı verilmektedir. (Örneğin çelik grit, cam griti, dere kumu, alüminyum oksitler vb.) Bu malzemeler daha çok kaplama işlemleri öncesinde yüzeyin pürüzlendirilmesi amacıyla püskürtülürler. Köşeli malzemelerin çarpması ile pürüzlendirilen yüzey sonradan uygulanacak kaplayıcı elemanın yüzeye daha iyi tutunmasına olanak sağlar. Köşeli malzemeler kullanılırken dikkat edilmesi gereken birkaç önemli nokta çok iyi bilinmelidir. Öncelikle bu tip yıpratıcı malzemeler aynı bölgeye uzun süre uygulandıkları takdirde malzemenin toleranslarında değişikliğe neden olurlar. Bunun nedeni, yüzeye çarpan taneciklerin köşeli yapısından dolayı kesme etkisi yapmalarıdır. Yüzeyden çok küçük parçalar koparak pürüzlendirme yaptığından dolayı bu işlem sırasında aynı bölge üzerinde gereğinden fazla uygulama yapılmasından kaçınılmalıdır.



Şekil 3.26. Basınçlı Kumlama Sistemi Şeması

Diğer bir önemli konu ise seçilen sarf malzemesinin boyutlarıdır. Daha sonradan uygulanacak olan kaplayıcı elemanlar genelde çok pahalı kaplama elemanları olduğundan, yüzeyin gereğinden fazla derinlikte pürüzlendirilmesi kaplayıcı elemanın tüketimini arttırmaktadır. Bu da maliyetleri olumsuz yönde etkilemektedir.

Küresel malzemelerle kumlanan yüzey ise, köşeli malzemelerle kumlanan yüzeyden oldukça farklıdır. Küresel sarf malzemeleri daha çok sonlandırma amacıyla kullanılmaktadır ve kumlama işleminden sonra ürün başka bir işleme sokulmadan satışa sunulmaktadır. Küresel malzemelerle yapılan kumlamanın amacı ise, üretim sırasında ürün yüzeyinde oluşan izleri ve lekeleri ortadan kaldırmak ve ürün yüzeyine homojen bir görünüm vermektir. Daha sonradan bir boyama veya kaplama işlemi uygulanmayacaksa, yüzeylerin parlak olabilmesi ve kir tutmaması için mutlaka kumlama işleminin küresel şekilli sarf malzemeleri ile yapılması gerekmektedir. Sarf malzemesinin taneciklerinin şekilleri eğer köşeli olursa yüzeye çarptıklarında derin yarıklar oluşturacaktır. Bu derin yarıklar ışığın yoğun miktarda kırılmasına ve doğal olarak yüzeyin mat görünmesine neden olacaktır. Ayrıca oluşan bu derin yarıklara

çeşitli kirlilikler yerleşecek ve kimyasal malzeme kullanmaksızın temizlenmesi mümkün olmayacaktır.

Kumlama işleminde önemli rol oynayan diğer bir eleman ise kum püskürtme memesidir.(Nozul) Kumun çıkış yerinde yani kumlama hortumunun en uç noktasında bulunan ve yoğun sürtünmeye maruz kalan bu ekipmanın mutlaka aşınmaya dayanıklı bir malzemedен üretilmiş olması gerekmektedir. Nozulların çaplarındaki değişim içerisinden geçen havanın debisini belirler. Çapta meydana gelen bir kat aşınma hava tüketimini tam dört kat arttırmaktadır. Bu artış maliyetleri olumsuz yönde etkiler. Ayrıca bu artis kumlama işlemleri sırasında kısa zamanda meydana geldiği takdirde kumlanan yüzeyin dengesiz kumlanmasına neden olur, bu da dalgalı bir ürün yüzeyi anlamına gelmektedir.

### 3.4.2 Vakumlu Kumlama Hakkında

Bu sistemde basınçlı havanın vakum etkisinden faydalanılmaktadır.Basınçlı hava tabanca adı verilen bir ekipmanın içinden geçirilmek suretiyle, bu tabancanın alt kısmındaki boşluktan emiş yapılması sağlanır. Belirli bir yönde akmakta olan basınçlı havanın yaptığı vakum etkisiyle emilen sarf malzemeleri yine bu tabancanın içinde hava ile karışarak yüzeye püskürtülür.Aşağıda basınçlı hava etkisiyle vakum yapması için tasarlanmış kumlama tabancaları gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Basınçlı Hava Tabancası

Bu tip sistemlerde genellikle işlem toz emiş filtre sistemini de barındıran bir kumlama kabini içerisinde gerçekleştirilmektedir. Aşağıdaki resimde bu iş için kullanılan bir kumlama kabini resmedilmiştir.



Şekil 3.28. Kumlama Kabini

Yerçekimi etkisiyle alt haznesinde biriken kum, içinden basınçlı hava geçirilen bir kumlama tabancası vasıtasıyla emilir. Operatör kabinin içine koruyucu eldivenler vasıtasıyla ellerini sokar ve bir eliyle kumlanacak malzemeyi, diğer eliyle de kumlama tabancasını tutar ve kumlama işlemini gerçekleştirir. Malzemeler kabinin içine yan taraftaki bölmelerden yerleştirilir ve havanın kontrolü ayak pedalından sağlanır. Bu tip kabinler özellikle elle tutulabilecek kadar küçük parçaların kumlanmasında oldukça pratiktir. İşlem basıncı 4-8 bar arasındadır ve emiş gücünün yetiştirilebildiği tüm sarf malzemeleri bu işlemde kullanılır.

Çizelge 3.4'te hava vasıtasıyla yapılan iki farklı kumlama yönteminin karşılaştırılması yapılmaktadır.

Çizelge 3.4. Basınçlı Kumlama ve Emişli Kumlama

	Basınçlı Kumlama Yöntemi	Emişli Kumlama Yöntemi
Çalışma Basıncı	3-8 Bar	3-8 Bar
Hava Tüketimi (6 mm Çaplı Nozul) 3-6 Bar	1,14 -2,02 m <sup>3</sup> /dak	0,38-0,62 m <sup>3</sup> /dak
Parça Büyüklüğü	Büyük Parçalar	Küçük Parçalar
Kum+Hava Çıkış Hızı	200-250 m/sn	60-100 m/sn
Kontrollü Kumlama İmkanı	Düşük	Yüksek
Yatırım Maliyeti	Yüksek	Düşük
Seyyar Kumlama İmkanı	Var	Yok
Sürekli Çalışma Olanğı	Yok	Var
Kumlama Süresi	Hızlı	Yavaş

### 3.4.3 Kompresör Seçimi

Bir kumlama sistemi kurmayı düşündüğümüzde ilk akla gelen soru, kullanılacak olan kompresörün özellikleri ne olması gerektiğidir. Bu sorunun çözümü çok basit matematiksel bir hesaplamadan ibarettir. Kumlama işlemi sırasında tüketilen hava miktarı bilindiği takdirde bu havayı bize sağlayacak olan kompresör bizim için uygun kompresördür. Basınçlı kumlama sarf edilen hava doğrudan hortumun ucunda bulunan nozulun çapı ve havanın basıncı ile doğru orantılıdır. Unutulmamalıdır ki zaman içerisinde nozul aşındıkça sarf edilen hava miktarı artacak ve dolayısıyla hava tüketimi de artacaktır.

Çizelge 3.5'te basınçlı kumlama sisteminde kullanılan nozulların, basınca ve delik çaplarına göre tükettikleri hava miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 .Basınçlı Sistemdeki Kumlama Nozullarının Hava Tüketimi (lt/dak)

Hava Basıncı (Bar)	Nozul Çapı (mm)				
	4	6	7	8	9
4	900	1530	2000	2530	3600
5	1100	2000	2300	2900	4050
6	1500	2400	2850	3550	4950
7	2000	3000	3500	3900	5500

Örneğin basınçlı bir kumlama sistemi kurmak istiyor ve bu sistemde 6 bar basınçta 8 mm lik bir nozul kullanmayı düşünüyorsak o zaman ihtiyaç duyacağımız hava miktarı 3550 lt/dak olacaktır. Sürekli çalışması durumunda bu basınçta bu hava miktarını verebilen bir kompresör 22 kwh (30 hp) lik bir vidalı kompresördür.

Kompresör seçimi yaparken zamanla aşınan nozulun neden olacağı hava sarfiyatını da hesaba katarak bir kompresör seçmek en doğru hareket olacaktır. Aksi taktirde kompresörün ürettiği hava yetmeyecek ve sistemin basıncı nozul çapının genişlemesiyle düşecektir. Bunu önlemek içinde sık sık nozul değiştirme ihtiyacı duyulacaktır. Sıklıkla nozul değiştirmemek ve çalışma esnasında hava basıncının düşmemesi için ihtiyaç duyulan havadan %10 daha fazla hava üreten bir kompresör seçimi en ideal seçim olacaktır. Firmamız kompresör satışı yapmadığından ihtiyaç duyulan havayı yukarıdaki çizelge yardımıyla belirleyip bu ihtiyaca göre kompresör üreticilerinden teknik destek alınması en doğru harekettir. Çünkü üreticiden üreticiye kompresör motor gücüne göre ürettiği hava miktarı farklılıklar göstermektedir.

Aşağıdaki tabloda ise vakumlu kumlama sistemlerindeki hava sarfiyat miktarları verilmektedir. Bu sistemdeki hava sarfiyatının az olmasının nedeni, kumlama tabancası içinde bulunan hava enjekte memesinin delik çapının küçük olmasıdır.

Çizelge 3.6 .Vakumlu Kumlama Sistemindeki Hava Sarfiyat Miktarı

Hava Basıncı (Bar)	Nozul Çapı (mm)			
	6	8	9,5	11
3	380	700	950	1260
4	460	780	1130	1510
5	540	860	1230	1630
6	620	940	1510	1750

Çizelge 3.6'e göre 6 bar basınçta 8 mm lik nozulu bulunan bir tabanca ile kumlama yapmak istiyorsak minimum 940 lt/dak hava ya ihtiyacı duymaktayız. Zamanla nozulun da aşınacağını düşünürsek basıncımızın düşmemesi için minimum %10 daha fazla hava üreten bir kompresör seçmemiz en ideal seçim olacaktır. En iyi neticeyi, en ekonomik şekilde ve sürekli olarak elde edebilmek için tüm bu elemanların doğru bir şekilde, amaca uygun olarak seçilmesi ve doğru şekilde kullanılması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, kumlama işleminden iyi netice alabilmenin tek yolu sistemin sık sık kontrol edilmesidir. Ancak bu şekilde yüzey kalitesinde istenen değerlere ulaşılabilir.

### 3.5 KİMYASAL AŞINDIRMA

Şimdiye kadar incelenen talaşlı işlem metotlarının tümü malzemelerin talaş şeklinde mekanik olarak kaldırılması esasına dayanmaktadır. Bunların dışında bir çok proses mevcut olup şekillendirme sadece kimyasal veya elektriksel etki veya her ikisinin kombine etkisiyle gerçekleştirilmektedir. Bu proseslerin bazıları yeni olmasına rağmen havacılık (uçak) ve elektronik endüstrisinin gereksinimleri neticesinde geniş endüstriyel uygulama sahaları bulmuştur. Grup olarak bu prosesler iş parçanın sertliğine duyarlı değildirler ve bu yüzden kombine ısıtma işlem görmüş parçalara uygulanarak talaşlı işlemden sonra yapılan ısıtma işleminin sebep olduğu bükülmeler ve boyutsal değişimlerden de kaçınılabılır.

Teknolojide daha hafif, daha mukavemetli ve daha sert metallere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla yürütülen bilimsel ve endüstriyel bazı çalışmaların neticesinde son yıllarda yüksek teknoloji malzemelerinin geliştirilmesi ve üretimde önemli başarılar elde edilmiştir. Malzeme bilimi ve teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak metal işleme teknolojisinde de büyük ilerlemeler kaydedilmiş ve oldukça modern metotlar keşfedilmiştir. Bu yeni yöntemler teorik olarak eskiden beri bilinmesine rağmen teknolojide üretim amacıyla kullanılmalarının 15 – 20 yıllık bir geçmişi vardır.

Günümüzde sanayide kullanılan elektro ve kimyasal işleme yöntemleri şunlardır :

Kimyasal işleme

Elektro – kimyasal işleme

Elektro erozyonla işleme

Elektro – kimyasal taşlama

Yüksek enerjili ışınla işleme

### 3.5.1 Kimyasal İşleme

Metallerin çoğunluğunun ve seramiklerin bazılarının bazı asit veya alkali çözeltiler içinde çözünme gösterdikleri yıllardan beri bilinmektedir. Metal atomları birer birer ayrılarak sıvı ile çevrelenmiş bölgenin tamamı çözülebilir. Endüstriyel uygulamalarda, yüzeyin sadece bir kısmı dağlanır ve diğer kısımları balmumu, boya veya polimer film (maske) gibi maddelerle korunur. Daldırma veya püskürtme yoluyla tüm yüzeyde kalın bir film oluşturulur, dağlanarak elde edilecek olan bu model bu yüzey üzerinde bir şablon boyunca bıçakla kesilir. Değişik kalınlıktaki kısımlar elde edildikçe kaplama basamak basamak sıyrılır. Delikli kalıp kullanılarak (paslanmaz çelik veya ipek elek kaplama veya örtme işlemi) daha yüksek boyutsal hassasiyet elde edilebilir. Foto kaplama ile çok yüksek hassasiyet ( $< 1\mu\text{m}$ ) elde edilir. Bu yöntemin aşağıda belirtilen çeşitli uygulama alanları mevcuttur.



Oymacılık : Yüzyıllar boyunca önemli el sanatçıları ve matbacılar tarafından çok çeşitli amaçlarla kullanılmıştır. Günümüzde ise isimliklerin ve enstruman panolarının yapımında kullanılmaktadır.

Kimyasal Öğütme veya Tırtıl Oluşturma : Genellikle sertleştirilmiş kanat kabukları ve diğer uçak korponentlerinin inceltmesinde ve parçalar üzerinde çeşitli geometrilerde çepilerin açılmasında kullanılırlar.

Kimyasal Battaniyeleme : İnce saçların kesilmesinde kullanılır. Baskılı devre levhası ve ince saçtan yapılan parçalar bu teknikle üretilirler.

Dağlayıcılar, malzemeyi her yönde çözebilirler, bu sebeple düşey kesme derinliğine eşdeğer ölçülerde yana doğru radyal işlemler de gerçekleştirilebilir.

(Şekil 4.63 a)

### 3.5.2. Elektro-Kimyasal İşleme

Elektrokimyasal işleme prensip olarak elektrolitik metal kaplama işleminin tam tersidir. Elektrokimyasal işlemden iş parçası yüzeyinden atomları koparır ve takiben elektrolit tarafından taşınarak uzaklaştırılırlar. Elektrokimyasal bir metal erozyonu söz konusudur. İş parçası iletken olmalıdır ve anodu teşkil eder. DC akım kullanıldığı zaman malzeme çözünüm hızı büyük oranda artar. (Şekil 3.29 b) elektrokimyasal işlemin diğer adıda sıfır kuvvet ile metal işlemdir. Yani metaller üzerinde herhangi bir basınç ve gerilim oluturmadan istenilen şekli kazandıran kadar sürekli olarak metal erozyonu gerçekleştirmektedir.



(a)

(b)

Şekil 3.29 (a) Kimyasal işleme ve (b) Elektro – Kimyasal işleme yöntemlerinin şematik diyagramları

Elektrokimyasal işlemede, Faraday kanuna göre pozitif yüklü iş parçasından ayrılan elektronlar ve iyonlar elektrolite geçer. Yüksek hız ve sabit basınçtaki elektrolit bu yüklü partüküllerin katoda gitmesine mücadele etmez ve taşıyarak işlen bölgeden uzaklaştırılmasını sağlar. Böylece anot konumundaki iş parçası erozyona uğrar ve katodun (elektrot) şeklini alana kadar erozyon devam eder. Katot üretilecek şeklin bir negatiftir.

Elektrokimyasal işleme, bugün yüksek sertlik ve mukavemele sahip süper alaşımlar ve refrakter malzemelerin ekonomik, seri ve karmaşık şekillerde işlenmesinde etkin bir şekilde kullanılan birkaç yöntemden biridir. Örneğin jet motorları kompresör ve turbin kanatlarının büyük bir hassasiyet ve yüzey düzgünlüğüne sahip olacak şekilde ve malzemenin metalurjik yapısını değiştirmeden işlenerek şekillendirilmesi bu metotla gerçekleştirilebilmektedir.

#### **Çalışma Prensipleri :**

Son şekili verilmiş elektrot negatif yüklü takım tutucuya tesbit edilir ve iş parçası pozitif yüklü tablaya bağlanır. Güç kaynağı olarak düşük voltaj ve yüksek amper değerlerinde DC akım kullanılır. Elektrot ve iş parçasının tesbit edilip yükseltilmesinden sonra pompalar vasıtasıyla elektrolitin elektrot ile iş parçası arasında sirkülasyonu sağlanır. Elektrik ve kimyasal enerjinin kombine etkisi ile iş parçasının yüzeyinden atomlar ayrılmaya başlar. Ayrılan bu atomlar yüksek basınç ve yüksek hıza sahip elektrolit tarafından işlem bölgesinden uzaklaştırılırlar. Ortaya çıkan ısı enerjisi de yine akışkan elektrolit tarafından çevreye iletir.

Genel özel amaçlı olmak üzere dikey ve yatay pozisyonda işleme yapan iki tip elektrokimyasal işleme tezgahı vardır. Kullanılan doğru akım amper değerleri 50 A ile 20.00 A arasında değişir. İşlem hızı ortalama bir değer olarak 10.000 A başına 16 cm<sup>3</sup> dk'dır.

Metal işleme iyonik halde gerçekleştirildiğinden iş parçasının sertliğinin herhangi bir etkisi mevcut değildir. Yüzey bütünlüğü mükemmeldir. Hiç bir sarı bölge ısı tesiri altında kalmaz. Kalıntı gerilmeler minimum düzeydedir veya mevcut değildir. Yüzeylerde tekstür (yönlenme) gözlenmez. Süperalaşımlar, tam sertleştirilmiş çelik ve alüminyum alaşımları işlenebilir. Hidrojen kırılabilirliğine meyilli olan alaşımlar kimyasal işlemlerden sonra 200°C'ta birkaç saat tutulmalıdır.

### **Takımlar ( Elektrotlar) :**

Elektrokimyasal işlemede elektrodun (takımın) boyutsal hassasiyet ve yüzey düzgünlüğünün, işlenen parçaların yüzey düzgünlüğü ve boyutsal hassasiyeti üzerindeki etkisi diğer klasik yöntemlerden çok daha fazladır. Elektrot yüzeyindeki bir çentik veya çizik iş parçasına da transfer edilir.

Elektrot imalinde kullanılan malzemelerde yüksek elektrik iletkenliği, yüksek şekillendirilbilme kabiliyeti ve tamir edilebilme özellikleri aranır. Elektrotlar yüksek basınçlı korozif elektrolitler ile temas ettiğinde korozyon ve erozyona uğramamalı ve titreşmeyecek şekilde yerini tesbit edilmelidir.

Elektrot üretilmesi amaçlanan parçanın bir modeli veya negatiftir. Elektrot sirkülasyonu parçaların boyutsal hassasiyetini belirleyen önemli faktörlerden biri olduğundan, elektrot elektrolitin akış yolunu kontrol edebilecek şekilde dizayn edilmelidir. Takım malzemesi olarak en fazla bakır, bakır alaşımlardan pirinç ve bronz kullanılmalıdır.

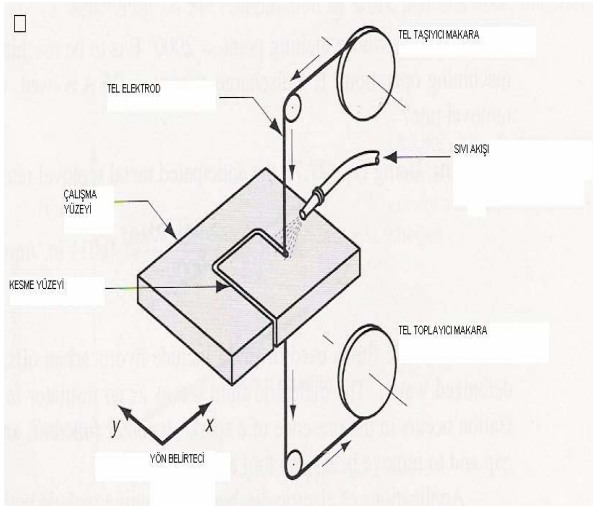
### **Elektrolit Sistemi:**

Genellikle iletken elektrolit olarak suyun tuz, mineral asitleri kostik soda ve kostik potasyum ile yaptığı çözeltiler kullanılmaktadır. Metal işleme hızı elektrolit çözeltisinin karakterine bağlıdır, kuvvetli çözeltilerde işleme hızı yüksektir.

Elektrokimyasal işlemede elektrolit metal erozyonunu gerçekleştiren bir kesici takım ve elektrolit ise bu kesmeyi yönlendiren bir eleman olarak değerlendirilebilir. İşlemin hassasiyeti elektrolitin sirkülasyon hızı, sıcaklığı ve basıncıyla direkt olarak ilgilidir. Bu nedenle elektrolit, uygun bir hızda, sabit bir basınçta ve sıcaklıkta olmalıdır. Genel olarak elektrolit sıcaklıkları 35-60 °C arasında  $\pm 1$  °C aralığında kontrol edilir. Basınç değerleri 200 – 300 psi (~ 1.4 – 2.1Mpa), hız değerleri ise 190 lt/dk – 950 lt/dk'dır. Yüzey pürüzlüğü ortalama 30 – 40  $\mu\text{m}$ 'dir

### 3.5.3. Elektro Erozyonla İşleme

Bu yöntemde işleyici takım olarak kullanılan elektrot ile iletken iş parçası arasında meydana gelen elektrikli deşarjın (spark) oluşturduğu aşırı sıcaklık ile yüzeyden çok küçük parçalar koparılarak şekillendirme gerçekleştirilir. İş parçası ve metal veya grafit kalot çoğunlukla hidrokarbondan (mineral yağı) oluşan dielektrik (iletken olmayan) bir sıvıya daldırılır. 300 volta kadar potansiyele sahip doğru akım sisteme verilir. Şekil vermek için herhangi bir mekaniksel kesme kuvveti uygulamaz. Günümüzde karmaşık parçaların işlenmesinde yaygın olarak kullanılmasının ana nedenleri klasik yöntemlere göre hızlarda, daha küçük toleranslarda, daha düzgün yüzeyler elde edecek şekilde işlemeye imkan vermesi ve daha düzgün yüzeyler elde edecek şekilde işlemeye imkan vermesi ve daha uzun takım ömrüne sahip olmasıdır. (Şekil 3.30)



Şekil 3.30 (a) Hareketli tel ile malzeme işleme

Elektro erozyonla işleme yönteminde oluşturulan elektriksel sparkın hassas bir şekilde kontrolü sayesinde, sertleştirilmiş çelikler süper alaşımlar, karpit ve refrakter metaller yumuşak metal ve alaşımlardan daha büyük bir hızla ve kolaylıkla işlenebilirler

Diğer yöntemlerle üretilmesi mümkün olmayan veya maliyeti arttıran derin deliklerin, kanalların, oyukların küçük toleranslar dahilinde işlenmesi elektrikli deşarjın (spark) kontrolüyle kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Kırılgan ve ince parçalar kesme

kuvvetleri kullanılmadığından bu metotla kolaylıkla işlenebilirler. Bu yöntem günümüzde en yaygın olarak takım ve kalıp imalatında kullanılmaktadır.

Elektro erozyonla şekillendirme teorik olarak, işlenecek malzemenin küçük partüküller halinde ergitilmesi ve kısmen buharlaştırılması esasına dayanan kontrollü bir metal erozyonunu prosesidir. Oluşturulan elektrikli spark ile iş parçasından küçük partüküller ergitilip koparılır. Dielektrik akışkan vasıtasıyla soğutulup işleme bölgesinden uzaklaştırılırlar. Ergitme ve buharlaştırma için gerekli olan sıcaklık, saniyede 10 000 ila 30 000 defa oluşan spark içerisinde akan milyarca elektronun enerjilerini serbest bırakmaları nedeniyle sağlanır. Bu sıcaklık değeri 5500 °C'a kadar ulaşabilmektedir.

Parça işleme hızı, yani metal erozyon oranı, işlenebilecek malzeme ve elektrot takım malzemesine, kullanılan elektrikli gücün amperaj değerine ve elektrikli gücün darbe (pals) frekansına bağlıdır. Genel olarak kullanılan elektrikli gücün amperaj değeri 0.5 – 300 A arasında, darbe frekansı da 200 - 300 pals/saniye değerleri arasındadır.

Elektrot takım ile iş parçası arasındaki aralığın genişliği 0.025 mm'dir. Sisteme akım verildiğinde bu aralıkta bulunan dielektrik akışkan önce iyonlaşır daha sonra buhar haline geçerek ayrışır ve elektrikli spark için gerekli olan iletken ortamı oluşturur.

Genelde yüksek metal işleme hızları için yüksek amperajda, düşük pals (darbe) frekanslı ve düşük voltajlı elektrik gücü kullanılır. Düşük işlem hızlarında ise, küçük amper değerlerinde, yüksek pals frekansına ve yüksek voltaj değerine sahip elektrikli güç kullanılır. Böylece son işlem safnasında düşük hızlarda işleme yapılarak düzgün düzeyler elde edilir. (Şekil 3.31)



- Yüksek amper
- Düşük amper
- Düşük pals frekansı
- Yüksek pals frekansı

Şekil 3.31 Amper ve pals frekansı değerlerinin yüzey kalitesine ve işleme hızına etkisi

**Güç Kaynakları :**

Elektro erozyonda güç kaynağı olarak

- Boşalmalı (kondansatörü) güç kaynağı
- Dönen impals (dürtü) jeneratörü
- Katı hal darbe güç kaynağı kullanılır.

Bu üç tipten 3. tip güç kaynağı işlemede tam bir kontrol ve ayarlama imkanı vermesi, elektrot aşınmasının kontrol edilebilmesi gibi avantajlarından dolayı daha fazla kullanılır.

**Takımlar**

Elektrot seçimi işlenecek malzemeye ve gerçekleştirilecek işleme göre yapılır. Genelde seçilerek takım malzemesinin yüksek ergitme noktalı, mükemmel bir elektrik iletkenli ve yüksek aşınma direncine sahip olması istenir. Bu faktörlerin yanında fiyat ve işlenebilirlikte dikkate alınmalıdır.

Standart takım malzemesi olarak en fazla pirinç kullanılır. Paslanmaz çelik, bakır, tungsten karbür, gümüş tungsten krom kaplı metaller, grafit ve sert çinko alaşımları da elektrot malzemesi olarak kullanılmaktadır.

**Yalıtkan Akışkan :**

Elektro erozyonla işlemede kullanılan dielektrik akışkan i) voltaj uygulandığında iyonize olarak spark oluşumunun sağlaması. ii) parça ve elektrodu soğutma ve iii) koparılmış küçük parçaları işlem bölgesinden uzaklaştırma gibi birkaç fonksiyona sahiptir. Akışkan olarak genellikle belirli bir vizkoziteye sahip hidrokarbonlar kullanılır. Özel işlemler için kullanılan diğer akışkanlar kerosin silikon yağları ve etilen glikozun sulu çözeltisidir. Dielektrik akışkan elektrot içerisinden ya da iş parçası içerisinde açılan bir kanallardan ortalama sevk edilebilir.

Uygun bir akışkanda aşağıdaki özellikler aranır.

- Uygun bir dielektrik katsayısına sahip olmalı 40 – 400 V aralığında iyonize olabilmeli
- Düşük vizkoziteye sahip olmalı
- Yüksek alev alma sıcaklığı
- Düşük maliyet

- Korozyon etkiye sahip olmamalı
- Çalışanlara ve çevreye zarar vermemelidir.

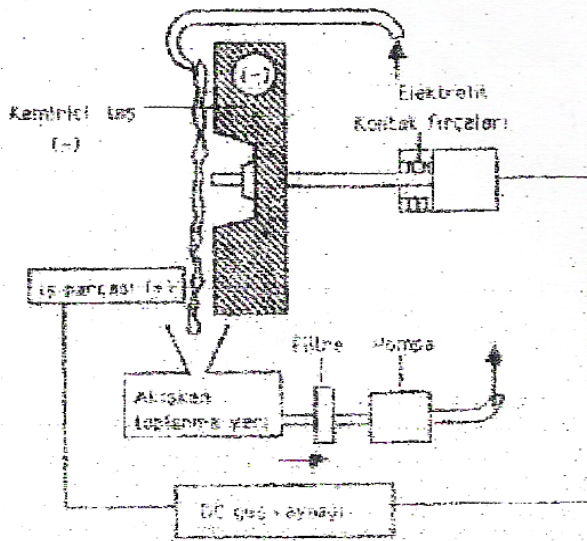
### 3.5.3. Elektro Kimyasal Taşlama

Elektrolitik taşlama olarak adlandırılan bu yöntem klasik taşlama ve elektrokimyasal işlemin birleşmesinden meydana gelir. Şekillendirmenin %10'u kemirici takım (dönen taş) ve %90'ında elektrokimyasal anodik çözünme ile gerçekleştirilir.

Elektrolitik taşlama, düşük voltajlı (6-20 V ve 80-190 A/cm<sup>2</sup>) doğru akımın kemirici takım ve iş parçasına uygulanmasıyla oluşturulan elektrokimyasal reaksiyonun sonunda, elektrolitin iyonlaşması ve bu iyonların metal yüzeyinde oluşturdukları metal oksit filminin koparılıp elektrolit, iletken bir ortam oluşturma yanı sıra koparılan parçaları uzaklaştırma ve soğutma işlevlerine görmektedir.

Optimum şartlarda işleme takım ile iş parçası arasında minimum düzeyde bir spark oluşturarak sağlanır. DC. akımın voltaj ve amper değerleri iş parçası malzemesi, boyutları, elektrolit çeşidi ve kemirici taşın tipi gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir ve işlem esnasında otomatik olarak kontrol edilir. Elektrokimyasal taşlama ile silindirik taşlama, yüzey taşlama, şekilsel taşlama, dalma taşlama ve çapraz taşlama işlemleri yapılabilir. (Şekil 3.32)

Optimum şartlarda işleme takım ile iş parçası arasında minimum düzeyde bir spark oluşturarak sağlanır. DC. akımın voltaj ve amper değerleri iş parçası malzemesi, boyutları, elektrolit çeşidi ve kemirici taşın tipi gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir ve işlem esnasında otomatik olarak kontrol edilir. Elektrokimyasal taşlama ile silindirik taşlama, yüzey taşlama, şekilsel taşlama, dalma taşlama ve çapraz taşlama işlemleri yapılabilir. (Şekil 3.32)



Şekil 3.32- Elektrokimyasal taşlama yönteminin şematik görünüşü

### 3.5.4. Yüksek Enerjili Işınla İşleme

Bu yöntemle kontrollü bir şekilde ergitme ve kısmi buharlaştırma ile malzemeler üzerinde kesme ve delme işlemleri gerçekleştirilebilir. Bu proses elektron ışını ve plazma ark gibi kaynak proseslerinin bir alt dalıdır. Yüksek enerjili ışınla kesme operasyonu metalik malzemelerin yanı sıra özellikle seramik ve plastikler gibi işlenmesi güç olan malzemelerin şekillendirilmesinde de çok kullanışlıdır. Kimyasal ve elektriksel malzeme işlemleriyle ilişkili proses parametreleri çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Kimyasal ve elektriksel malzeme işlemleriyle ilişkili proses parametreleri

Proses	Kimyasal İşleme	Elektro – Kimyasal İşleme	Elektro Erozyonla İşleme
Malzeme İşleme hızı (MIH)	0.0012-0.07mm/dk	1.5 cm <sup>3</sup> /1000A. Dk	0.15-400 cm <sup>3</sup> /saat
Yüzey bitirme 2 (Alüminyum)		0.1-1.4	0.25cm <sup>3</sup> /saat MIH'te 0.75
1.5 (Çelik)			8 cm <sup>3</sup> /saat MIH'te 5
0,6 (Titanyum)			50 cm <sup>3</sup> / saat MIH'te 10
Elektrik akımı			
Volt		4-24	< 300
Amper		50-40000	0.1 – 500
Frekans		dc	500000-200 Hz



### 3.5.5 Korozyon

Korozyon en genel anlamda malzemelerin çevre etkisiyle bozularak kullanılmaz hale gelmesidir. Ancak bu terim daha çok, metallerin çevresiyle tepkimeye girerek metalik özelliklerini kaybetmesi olayını, ifade etmek için kullanılmaktadır. Korozyon ülke ekonomisi için çok önemlidir. Her yıl, yıllık çelik üretiminin dörtte biri kadar bir kayba sebep olmaktadır. Bunun bir ulusa verdiği zarar, yıllık ulusal gelirin %3-4'ü kadar olabilir. Kentlerin havası, yağmur suları (sülfürik asit ya da nitrik asitleri) ve deniz suyu korozyonun başlıca etkenleridir. Metallerin korozyon mekanizmaları çok karışıktır ve hala birçok araştırmanın konusunu oluşturur.

Korozyon metalin aktiflik derecesine de bağlıdır. Bazı metallerin aktiflik derecesi küçükten büyüğe doğru; Altın, platin, civa, gümüş, paslanmaz çelik, bakır, antimon, hidrojen, kurşun, kalay, nikel, demir(karbonlu çelik), krom, çinko, alüminyum ve magnezyum şeklindedir. Sağa doğru gidildikçe metalin aktifliği artar. Bu listede daha sağda bulunan bir metal, kendine göre solda olan metalin anodu olur. Sözelimi, demirden daha sağda bulunan magnezyum, alüminyum ve çinko metalleri demiri, katodik olarak korumak üzere anot olarak kullanılabilir.

#### 3.5.5.1..Korozyon Çeşitleri

Korozyon olayları genel olarak sekiz grupta incelenebilir.

##### Üniform korozyonu

Metal yüzeyinin her tarafında oluşan bir korozyon çeşididir. Diğer korozyon çeşitlerine göre daha az tehlikelidir. Açık havada bırakılan bir metal genellikle üniform korozyonuna uğrar. Metalin her tarafı korozyona uğrar ve kalınlığı her noktada aynı miktarda azalır.

##### Galvanik korozyonu

Farklı potansiyelde olan iki metal, bir elektrolit içine daldırılır ve bunlar birbiriyle temas ederse galvanik bir pil oluşur. Bu pilin anodu, yani daha negatif potansiyelde olan metal korozyona uğrar. Korozyon hızı, anot ve katot bölgeleri arasındaki potansiyel farkına ve devrenin toplam direncine bağlıdır. Galvanik korozyonun etkili olabilmesi üç faktöre bağlıdır. Bunlardan birincisi metallerin içinde bulunduğu çevre ne derece koroziv özellikteyse galvanik etki daha şiddetle kendini

gösterir. İkinci olarak metaller arasındaki uzaklıktır. Galvanik korozyon genellikle iki metali birbirine bağlayan nokta yakınında en şiddetli olarak kendini gösterir. Uzaklığın etkisi çözeltinin iletkenliğine bağlıdır.

Elektrolit direnç fazlaysa korozyon hemen bağlantı yakınında oyuk şeklinde kendini gösterir. Eğer çözelti iletkenliği yüksekse korozyon olayı daha geniş bir alana dağılır. Üçüncü olarak katot/anot yüzey oranıdır. Büyük bir katotla küçük bir anottan oluşan bir galvanik hücrede anot kısa sürede yıpranır, katot/anot oranının büyük oluşu anot akım yoğunluğunun büyümesine ve küçük bir bölgeden fazla miktarda madde kaybına neden olur. Sözelimi bakır plakalar çelik perçinle tutturulursa, çelik perçinler kısa sürede parçalanır. Kaplama yapılmış bir boru hattında, eğer kaplama küçük bir bölgede bozulursa, yine büyük bir katotla küçük bir anodun etkisi kendini gösterir. Kaplamanın bozulmuş olduğu bölgede yüksek bir akım yoğunluğuna erişilerek boru bu noktadan delinebilir(Yalçın ve Koç, 1995).

#### Çatlak Korozyonu

Metal yüzeyindeki çatlaklarda, iki metalin birleşme yeri olan dar bir aralıkta ve kabuk altında oluşabilir. Bu gibi yerler, havanın girmesine engel olduğu için, çatlak içiyle çevre elektrolit arasında oksijen derişimi veya metal iyonu derişiminin farklı olması bu korozyonun başlaması için yeterlidir. İki yapı parçası arasındaki uyuşma çatlağında, geçme deliğiyle civata arasındaki boşlukta veya birbirinin üstünde bulunan nokta kaynağı bulunan saclarda çatlak korozyonu oluşabilir.

#### Çukur Korozyonu

Metal yüzeyindeki bazı noktalarda başlayan korozyon olayının, o noktalarda oyuk ve delik oluşturarak çukurlar haline dönüşmesi ve gittikçe büyümesi olayıdır. Çukur korozyonu delinmeye neden olduğu için en tehlikeli korozyon çeşitlerinden biridir. Metal yapısında bulunan değişik maddeler, yüzeyde oluşan kirlilik bu korozyonu başlatabilir. Klor iyonlarına değen paslanmaz çeliklerde, basınç altında depo duvarı bulunan iletim hatlarında ve depolarda çok tehlikelidir.

#### Tanelerarası Korozyon

Metal atomları daima geometrik bir düzen içinde kristalleşir. İki veya daha fazla metalden oluşan homojen yapıdaki alaşımlarda belli bir düzen içinde kristalleşir. Bunlara katı çözelti denebilir. Heterojen yapıdaki alaşımlarda ise, iki veya daha fazla

katı fazlı karışım söz konusudur. Böyle bir alışımda kristaller üniform yapıda değildir. Taneler arası korozyon, taneler arasındaki sınır çizgilerinde meydana gelir. Bu bölgelerde metallere biri diğerine göre daha küçük derişimlerde bulunur. Bu nedenle sınır çizgileri korozyon için uygun bir ortam oluşturur (Yalçın ve Koç,1995)

#### Seçimli Korozyon

Bir alışımda bulunan metallere birinin diğerinden önce korozyona uğraması durumudur. Sözelimi %70 bakır+%30 çinkodan oluşan pirinç içinde bulunan çinko kolayca korozyona uğrayabilir. Korozyon sonucu oluşum yüzeyinde çinko derişimi azalır ve normal sarı renk, bakır kırmızısına dönüşür (Yalçın ve Koç,1995)

#### Erozyonlu Korozyon

Sıvı akışının sürtünme etkisiyle oluşan erozyon korozyon olayını artırır. Metal yüzeyinde oluşan korozyon ürünleri suyla sürüklenerek uzaklaşır ise yüzeyde koruyucu bir kabuk oluşması mümkün olmaz. Eğer su içerisinde katı tanecikler varsa erozyon olayı daha şiddetle ortaya çıkar. Demir, alüminyum, kurşun gibi korozyon ürünlerinin metal yüzeyinde birikerek kalıntı oluşturduğu metallere erozyonlu korozyondan daha hızlı zarar görür. Erozyonlu korozyon sonucu akış yönünde gelişen oyuklar meydana gelir (Yalçın ve Koç,1995)

#### Gerilmeli Korozyon

En tehlikeli korozyon türüdür. Korozyonla kopmanın en kötü etkilerini birleştirir. Mekanik gerilmelerin etkisi altındaki bir cisim, aşındırıcı bir ortama sokulduğunda ortaya çıkar. Gittikçe daha çok sayıdaki ve daha çok mekanik iç kuvvetin etkisi altındaki yapının, korozyona yol açan bir ortamda çalışması zorunluluğu nedeniyle, bu olayın önemi günümüzde giderek artmaktadır. Gerilmeli korozyon hemen her tip malzemeyi (metaller, seramikler, camlar, polimerler) etkileyebilmektedir. Malzemenin yüzeyinde çatlakların oluşumuyla ortaya çıkar. Bu çatlaklar bir başlangıç aşamasından sonra, ani kopma oluşana kadar sürekli bir biçimde yayılır.

#### **3.5.5.2 Korozyonu Engelleme Yöntemleri**

İdeal ortam koşulları sağlandığında korozyon tamamen önenebilir. Ancak ideal koşulları sağlamak olanaksızdır. Buna karşın korozyonu çok yavaşlatmak ve

malzemenin ömrünü uzatmak olanaklıdır. Korozyondan korunma yöntemlerinden en önemlileri şunlardır.

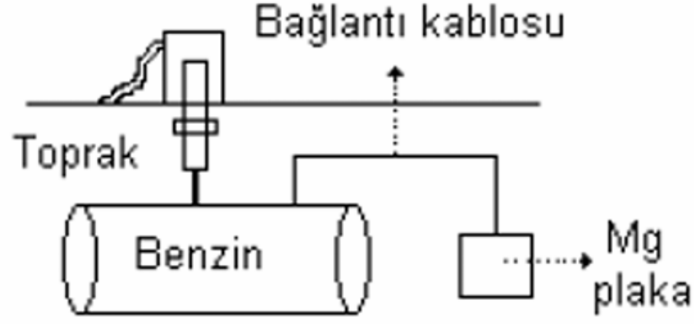
**Saf metal kullanmak:** Korozyon oluşumunda metallerdeki yerel safsızlıklar önemli bir etken olduğu için önlenmelidir. Elde edilmeleri sırasında metal içinde kalan değişik maddeler nemli bir ortamda akım oluşmasına neden olarak, metalin kimyasal yolla korozyonuna neden olur. Bu yüzden % 100'e yakın saf metal kullanmak gerekir.

**Metallerin bulunduğu yerlerde çözelti oluşturmamak:** Başka bir deyişle nemi önlemek. Yani metallerin çok kuru bir ortamda kullanılması gerekir. Ortamdan kaynaklanan korozyon maddelerinin engellenmesi de korozyonu büyük ölçüde azaltabilir veya tamamıyla ortadan kaldırılabilir.

**Boya ve kaplamalar:** En şiddetli korozyon ortamında bile 15-20 yıl dayanabilen boyalar geliştirilmiştir. Korozyondan koruyucu boyanın dayanıklılığı, kullanılan boyanın yanında, her şeyden önce kaplanması gereken yüzeylerin temizliğine de bağlıdır. Korozyona karşı mücadelede en etkin yöntemlerden biri de kaplama uygulamasıdır. Kaplayıcı olarak demir için birçok metal kullanılmaktadır. Fakat en iyileri alüminyum, çinko ve kromdur. Konservecilikte kullanılan teneke kutuların yapıldığı çelik levhaların üzerinde ince bir kalay tabakası vardır.

Demirden yapılmış bir cismin çinkoyle kaplanmasına galvanizleme denir. Sıcak galvanizleme, yüzeyi kimyasal yolla hazırlanmış demir içeren bir alaşımı, özellikle çeliği, 440 ° C-460 ° C arasında erimiş çinkoya daldırılarak kaplama işlemidir. Çelik, çinkoyle yüzeysel bir yayılım tepkimesine girerek demir-çinko alaşımı katmanları oluşturur. Banyodan çekildiğinde bir çinko katmanının bu alaşımın üstünü örttüğü görülür. Çinko kaplama çeliği fiziksel ve elektrokimyasal olmak üzere iki yönden korur.

**Katodik koruma:** Son yıllarda bu konuda çok büyük gelişmeler olmuştur. Boru hatları, gemiler, iskeleler, köprü ayakları, tanklar, kimyasal madde taşıyan kaplar, betonarme demirleri, su boruları, rafineriler ve petrol boru hatları katodik korumayla korozyondan korunabilir. Özellikle yüksek basınçlı gaz ve petrol boru hatlarının güvenle işletilebilmesi ancak katodik korumayla olanaklıdır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33 Katodik koruma

**Alaşım yapmak:** İki ya da daha çok metalin, bazen de bir metalle karbon gibi ametalin birleştirilmesiyle elde edilen metal niteliğindeki maddelere alaşım denir. Sade karbonlu çeliklere alaşım elementlerinin eklenmesiyle çeliğin korozyon direnci gelişmektedir. Alüminyum, silisyum, molibden, bakır, krom, nikel, vanadyum, titan gibi elementler yeterli miktarlarda eklenerek alaşım elementinin yüzeyinde korozyona dirençli tabaka oluşur.

### 3.5.5.3. Atmosferik Korozyon

Bütün malzemeler atmosferin etkisi altında kaldığı için çok sık karşılaşılan bir korozyon çeşididir. Eğer malzemenin bulunduğu atmosfer çeşitli yollarla kirletilmiş ise malzeme çok daha kısa sürede korozyona uğrar. Tasarım sırasında, malzeme seçiminde, yüzey temizliğinde ve boya cinsinde isabetli kararlar alınarak malzemenin ömrü atmosferik korozyona karşı uzatılabilir.

### 3.5.5.4. Atmosferik Korozyonun Nedenleri

Demir ve çelik, atmosfer içinde bulunan oksijen ve nemin etkisiyle korozyona uğrayarak pası oluşturur. Fiziksel olarak yumuşak ve geçirgen bir yapıda olan pas, diğer metallerde olduğu gibi demiri korozyondan koruyucu bir kabuk özelliği göstermez.

Atmosferik korozyon hızı çevresel faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerden başlıcaları havanın nemi, havanın kirlenme derecesi, yıllık yağış, hava sıcaklığı ve rüzgârın hızıdır.

Doğal halde bulunan temiz atmosfer bileşiminde su buharı dışında korozyon yapacak başka bir bileşen yoktur. Havadaki su buharı doymun halden daha az olduğu zaman bile korozyona neden olabilir. Bağıl nemin %70'den yukarı olması halinde, gece gündüz sıcaklık farkı nedeniyle metal yüzeyinde yoğunlaşma sonucu ince bir sıvı filmi oluşur. Metal yüzeyinde sıvı filminin oluşmasına neden olan minimum bağıl neme ‘‘Kritik bağıl nem’’ denir. Nemin bu değerden daha düşük olduğu zamanlarda metal yüzeyinde sıvı tabakası görülmez.

Atmosferik korozyon açısından en etkili faktör endüstriyel kirlenmedir. Başta yanma olayları olmak üzere endüstriyel işlemlerden atmosfere birçok kimyasal gaz, buhar ve katı tanecikler karışır. Bunlardan en yaygın ve en etkili olanı kükürt oksitlerdir. Bu oksitler havada bulunan su buharıyla birleşerek asitleri oluştururlar.

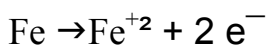
Bunun dışında diğer asitler, amonyak ve klorürler de atmosfer içine karışabilir. Özellikle denize açık atmosferlerde rüzgârla taşınan mikroskobik tuz parçacıkları bulunur. Bunlar atmosfere açık metal yüzeylerinde çökerek birikir.

Atmosferik korozyon hızı metal yüzeyinde oluşan sıvı filminin yüzeyde kalış süresine bağlı olduğundan korozyon olayına sıcaklığın etkisi çok büyüktür. Sıcaklık düşük olduğu sürece metal yüzeyinde kuruma gecikecek ve korozyon devam edecektir. Bu nedenle atmosferik korozyon hızı sıcaklığın düşük olduğu kuzey bölgelerde, güney bölgelere göre daha fazladır.

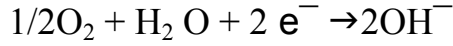
Atmosferik korozyonun yürümesi için mutlaka suya gereksinim vardır. Bu nedenle yıllık yağış miktarıyla korozyon hızı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Ancak yağış miktarı kadar sıklığı ve kuruma süresi de önemlidir. Bu nedenle bölgedeki rüzgâr hızı ve yönü de önemli rol oynamaktadır. Rüzgar kurumayı çabuklaştırdığı gibi yüzeyde toplanan kir ve tozların sürüklenerek uzaklaşmasına da neden olur (Yalçın ve Koç,1995).

### **3.5.5.5.Atmosferik Korozyonun Elektrokimyasal Mekanizması**

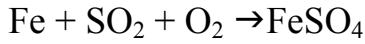
Korozyon tepkimesinin meydana gelmesi için önce metal yüzeyinde yeteri kalınlıkta bir sıvı filminin bulunması gerekir. Bu film yağışlardan veya atmosfer içinde bulunan su buharının yoğunlaşmasından meydana gelir. Demir ve çelik yüzeyinde oluşan anot ve katot tepkimeleri şöyledir; anotta demir elektron vererek yükseltgenir.



Katot tepkimesi metal yüzeyinde bulunan sıvı filmi içinde çözülmüş olan oksijenin, hidroksit haline indirgenmesi şeklinde olur.



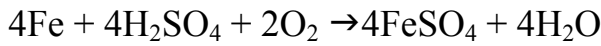
Bu iki tepkimenin aynı anda yürümesi gerekir. Katot tepkimesi için mutlaka oksijene gereksinim vardır. Hava içinde bulunan hareketsiz katı tanecikler metal yüzeyine yapışarak, yüzeyde sıvı filminin oluşması için uygun bir ortam yaratırlar. Kükürtdioksit gibi korozyon bakımından aktif bileşenler ise doğrudan tepkimeye girerler. Kükürt oksitleri aşağıdaki tepkime gereğince tepkimeye girebilirler.



Bu tepkime için suya gereksinim yoktur. Metal yüzeyinde oluşan demir sülfat, su buharını absorbe etmek için uygun bir ortam oluşturur. Böylece ikinci bir tepkimenin meydana gelmesine olanak hazırlamış olur.



Tepkime sonunda pas oluşurken, sülfürik asit açığa çıkar. Bu asitle demir yeniden tepkimeye girerek demir sülfat meydana getirir.



Böylece yürüyen zincirleme tepkime sonucu demir sürekli olarak pasa çevrilir.(Yalçın ve Koç,1995).

### 3.5.5.6 Atmosferik Korozyondan Korunma

Metalleri atmosferik korozyondan korumanın temel ilkesi tepkimelerin oluşmasını önlemek, eğer tepkime başlamışsa bu tepkimeleri yavaşlatmaktır. Diğer önlemler ise; ortam koşullarına daha dayanıklı metal seçmek, metalin yüzeyini boya ve benzeri organik maddelerle örtmek ve metali başka bir metalle kaplamaktır.

Atmosferik korozyondan korunmak için malzeme seçimi de büyük önem taşır. Malzeme seçerken; çevre koşulları, yapının işletme ömrü, kullanılması uygun malzeme maliyeti, iki farklı metalin bir arada kullanılması durumunda oluşacak galvanik etki göz

önüne alınmalıdır. Malzemeleri atmosferik korozyondan korumak için tasarım sırasında da önlemler alınmalıdır.

#### **3.5.5.7. Boyayla Atmosferik Korozyondan Korunma**

Boyalar, metal yüzeyinin ortama (su ve oksijen) değmesini önler. Kolay uygulanabilmeleri ve ekonomik olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılırlar. Tam korumanın oluşabilmesi için, boya yüzeye çok iyi yapışmalı, geçirgenliği az olmalı, ortam koşullarına çok dayanıklı olmalıdır. Bir boyanın ömrü metalin yüzey temizliğine bağlıdır. Boya metale sürülmeden önce, metal yüzeyinde bulunan yağ, toz, kir, oksit ve pas tabakalarının tamamen uzaklaştırılması gerekir.

#### **3.5.5.8 Metalik Kaplamalarla Atmosferik Korozyondan Korunma**

Endüstride en çok kullanılan malzeme olan çelik, başka bir metalle kaplanarak atmosferik korozyondan korunabilir. Kaplama metali ortama karşı daha dayanıklıdır ve çeliği katodik olarak korur. Bunun için kullanılan metaller; çinko, kadmiyum, alüminyum, kalay, nikel, bakır, krom, kurşun ve bunların alaşımlarıdır. Bunların içinde en çok kullanılanı çinko ve alüminyumdur.

Metal kaplama yöntemlerinden biri sıcak daldırma yöntemidir. Bu yöntem çok yaygın, ekonomik ve çok dayanıklı bir korozyon koruyucusudur. Özellikle sıcak çinko kaplama atmosferik korozyona karşı çelik yapı parçaları için, uygun fiyatta ve çok dayanıklı olan bir korozyon koruyucusudur. İkinci olarak kullanılan yöntem sıcak püskürtme yöntemidir. Bu yöntemde erimiş durumdaki metal çelik üzerine püskürtülür. Üçüncü olarak kullanılan yöntem elektrolitik kaplama yöntemidir. Yüzeyi metal kaplanacak malzeme katot yapılır. Uygun çözeltilerdeki iyonlar element halinde katotda toplanır. Tercih edilen kaplama metalleri, nikel ve kromdur.

#### **3.5.5.9. Elektrolitik Korozyon**

Elektrolit içine daldırılmış bir metalin korozyonu metal-elektrolit ara yüzeyinde elektron transferiyle birlikte yürür. Çeşitli nedenlerle metal yüzeyinde değişik potansiyellere sahip alanlar meydana gelir. Elektronlar metal bünyesi içinden katot bölgesine doğru akar. Pozitif potansiyele sahip bölgeler anot, negatif potansiyele sahip bölgeler katot olarak rol oynar. Katota gelen elektronlar indirgenme tepkimesi



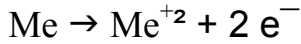
sonucunda harcanırlar. Anotda ise yükseltgenme tepkimesi sonucu elektron açığa çıkar. Anot ve katotda bu iki tepkime birlikte yürür. Kısacası elektrolitik korozyon indirgenme-yükseltgenme tepkimelerinden oluşur.

Bir korozyon hücresinin oluşması için 3 unsurun bir arada bulunması gerekir. Bunlar;

- 1-) Elektrolit,
- 2-)Yeteri kadar negatif potansiyelli bir anot,
- 3-)Anottan daha pozitif potansiyelli bir katottur.

### 3.5.5.10. Korozyonun Elektrokimyasal Yapısı

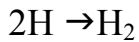
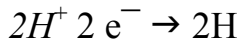
Korozyon olayı anotta meydana gelir. Anotta yükseltgenme tepkimesiyle metal iyon haline geçer. Açığa çıkan elektron metal üzerinde toplanır. Bunlar metal gövdesi üzerinden katot bölgesine gider. Korozyon olayının devam edebilmesi için açığa çıkan elektronların dış bağlantı yoluyla katoda taşınması gerekir. Eğer anotta toplanan elektronlar taşınmıyorsa, anot tepkimesi kısa bir süre sonra dengeye erişerek durur.



Anot tepkimesi sonucu oluşan metal iyonları çözeltiliye geçer. Ancak bazı halde çözünmeyen bileşikler halinde anot yüzeyinde toplanabilir. Bu durumda anodun çözünmesi gittikçe güçleşir. Buna anot polarizasyonu denir.

Katotda daima indirgenme tepkimesi meydana gelir. Doğal sular ve zeminler içinde katodik olay için iki temel tepkime vardır.

Hidrojen çıkışı yoluyla yürüyen katot tepkimesi: Sulu çözeltiler içinde daima  $[\text{H}^+]$  iyonu vardır.  $[\text{H}^+]$  iyonu derişimi çözeltilinin pH değerine bağlıdır. pH ne kadar küçükse hidrojen çıkışı da o kadar kolaylaşır. Hidrojen çıkışıyla yürüyen katot tepkimesi iki basamaklı yürür.

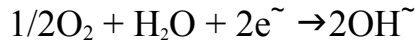


Çözelti içinde bulunan  $[\text{H}^+]$  iyonları katotdan elektron alarak önce (H) atomu haline geçer. Bu hidrojen atomları metal yüzeyine yapışır. Hidrojenin gaz halinde uzaklaşabilmesi için, iki hidrojen atomunun birleşerek hidrojen molekülü haline dönüşmesi gerekir. Bu olay katot yüzeyinde yeteri miktarda hidrojen atomunun

toplanmasıyla meydana gelebilir. Bu durum metal yüzeyinde bir aşırı gerilimin doğmasına neden olur. Buna katodik polarizasyon denir.

Hidrojen çıkışı katot bölgesinde hidroksil iyonları ( $\text{HO}^-$ ) birikmesine neden olur. Bu iyonlar anotta oluşan metal iyonlarıyla birleşerek metal hidroksitleri oluşturur. Böylece korozyon için gerekli olan oksijen sudan sağlanmış olur.

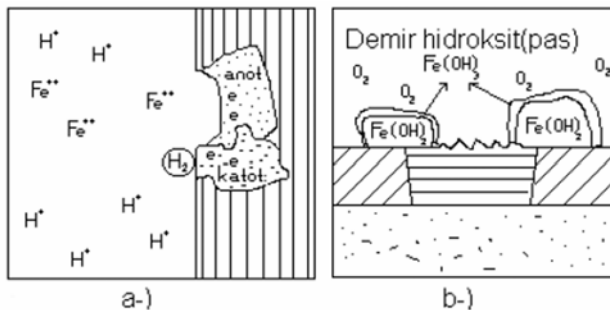
Oksijen indirgenmesi yoluyla yürüyen katot tepkimesi: Doğal sular içinde daima bir miktar çözülmüş oksijen bulunur. Bu oksijen katotdan elektron alarak aşağıdaki tepkimeyle hidroksit haline dönüşür.



Doğal su ve zeminler içinde katot tepkimesi genellikle bu yolla yürür. Bu tepkime sonunda da katot bölgesinde yine hidroksil iyonları oluşur.

Katot bölgesine oksijen difüzyonu genellikle atmosferden olur. Eğer katot bölgesi yeterli oksijen alamazsa, bu tepkime bir süre sonra durur. Bu nedenle yeraltı ve sualtı korozyonunda korozyon hızı çoğu zaman katot bölgesine oksijen difüzyon hızına bağlı kalır.

Anot ve katot bölgeleri çoğu zaman birbirine çok yakın, mikro korozyon hücreleri şeklinde olabilir. Bu durumda anot ve katot tepkimeleri yan yana yürür. Bu tip korozyon metal yüzeyinin her noktasında üniform bir dağılım gösterir. Korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturur. Demirin korozyonunda oluşan  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  çevrede bulunan oksijenle yeniden tepkimeye girerek demir *III* hidroksit [ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ] haline dönüşür(Yalçın ve Koç,1995).



Şekil 3.34 Metal yüzeyinde oluşan mikro korozyon hücresi ve demirin korozyonu sonucu pasın oluşumu.(Yalçın ve Koç,1995)

### 3.5.6 Asitler

Asitler kimyada önemli bir bileşik sınıfını oluştururlar. Asit-latince anlamına gelen asidus kelimesinden alınmıştır. Günlük gıda maddelerinin bir çoğunda asit vardır. Canlı organizmaların hayatsal faaliyetlerinde asitlerin önemi büyüktür. Mide özsuyu besinlerin sindirimi için %0,4 oranında hidroklorik asit içerir. Proteinlerin oluşumunda amino asitlerin önemi tartışılmaz bir gerçektir. Genel olarak asitler; inorganik ve organik asitler olarak iki gruba ayrılırlar. Yapısında karbon elementi bulunmayan asitlere inorganik asitler, karbon elementi kullanılarak oluşturulan asitlere ise organik asitler denir.

#### 3.5.6.1 Asitlerin Genel Özellikleri

-Asitlerin tadları ekşidir. Örnek olarak; sirkedeki asetik asit ekşi elmada ki malik asit, limondaki sitrik asit ve askorbik asit (C Vitamini), yoğurt suyundaki laktik asit, meşrubat ve kolalardaki karbonik asit sayılabilir. Ancak her asitin tadına bakamayız. Çünkü asitlerden bazıları parçalayıcı bazıları da zehirlidir.

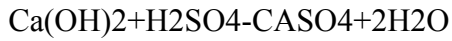
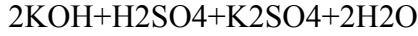
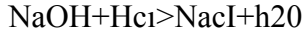
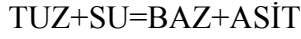
-Asitler yakıcı özelliğe sahiptir. Asitlerin bu özelliği her asitte aynı şekilde olmaz. Örneğin  $HNO_3$  deriyi döküldüğünde proteinlerle tepkimeye girer.  $H_2SO_4$  ise hücre suyunu çekerek yakma etkisi gösterir.

-Asit suda çözüldüğünde ne kadar fazla iyon oluşuyorsa, iletkenlik o kadar fazla olur. Kuvvetli asitlerde iletkenlik fazla zayıf asitlerde ise azdır.

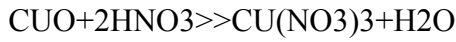
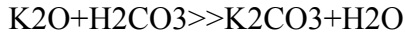
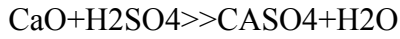
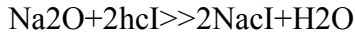
-Asitler mavi turnusol kağıdını kırmızıya çevirir. Turnusol kağıtları indikatör boyası emdirilmiş kağıtlardır. İndikatör boyaları ise ortamın asidik veya bazik olmasına göre renk değiştiren maddelerdir. Örneğin bir indikatör olan metil oranj asitler kırmızı renge döner.

-Asitlerin genel olarak yapılarında proton bulunur. Ancak yapılarında hidrojen bulunan tüm maddeler asit değildir.  $MC_1$  kuvvetli bir asit olmasına karşın  $NH_3$  baz özelliği gösterir.  $CH_4$  ise asit ve baz karakteri göstermez.

-Bazlarda birleşerek tuz ve su oluştururlar.Kimyada bu tepkimelere nötrleşme tepkimesi denir.



Metaloksitlerde(Bazikoksitlerle) birleşerek tuzları yaparlar.



Asitlerin metaller ile olan tepkimeleri , metallerin aktifliğine göre değerlendirilir.

Metallerin aktiflik sırası;

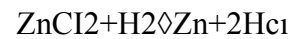
K , Na , Ca , Mg , Al , Zn , Fe

Aktifliği hidrojenden fazla olan metaller;

Cu , Ag , Hg, Au, Pt

Aktifliği hidrojenden az olan metaller şeklindedir.

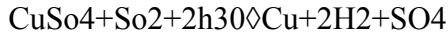
Aktifliği hidrojenden fazla olan metaller seyreltik asitler ile H<sub>2</sub> gazı oluşturacak şekilde tepkime verirler.



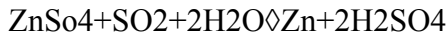
Aktifliği hidrojenden az olan metallere HCl ve seyreltik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> etki etmez.

$\diamond \text{Cu} + \text{HCl}$  Tepkime gerçekleşmez.  
 Tepkime gerçekleşmez.  $\diamond \text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4$   
 Tepkime  $\diamond \text{Ag} + \text{HCl}$  gerçekleşmez.

Aktifliği hidrojen den az olan metallere HCl ve seyreltik  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tepkime verir. Bu tür tepkimelerden  $\text{H}_2$  yerine  $\text{SO}_2$  oluşur.

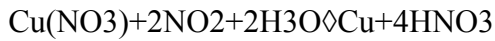


Derişik



Derişik

Aktifliği hidrojen den az olan metallere  $\text{HNO}_3$ 'ün etkisi ise seyreltik ve derişik olmasına bağılı olarak değişir.  $\text{HNO}_3$ ; Cu Hg ve Ag' e etki eder. Pt ve Au 'a etki etmez.



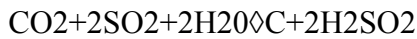
Derişik



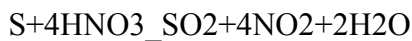
Asitlerin ametallere etkisi ise genellikle derişik durumunda olabilir.



(Derişik)



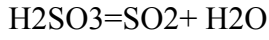
(Derişik)



(Derişik)



Ametal oksitlerin ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  gibi) sulu çözeltileri asit özelliği gösterir. Ametal oksitlere asit oksitlerde denir.

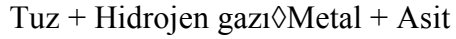


### 3.5.6.2. Diğer Reaksiyonlar

Üç tür genel reaksiyondan başka sık karşılaşılan bir takım özel reaksiyonlar da vardır. Bunlar yukarıdaki reaksiyon türlerinden birine benzese de özel hali ile bilinirler.

#### Metallerin Asitlerle Reaksiyonu ;

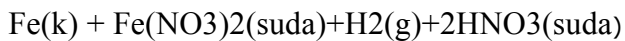
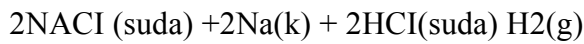
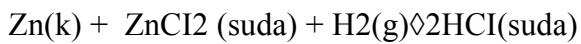
Metallerin asitlerle reaksiyonundan tuz oluşur, hidrojen gazı açığa çıkar. Mesela , Al metalinin HCl ile reaksiyonundan AlCl<sub>3</sub> tuzu oluşurken , hidrojen gazı açığa çıkar.



Soy metallerin dışında ki metaller hidrojenden daha aktiftir. Bu yüzden burada Al metali Al<sup>+3</sup>

Yükseltirken bileşik haline geçerken asit katyonu olan H<sup>+</sup> iyonu H<sub>2</sub>'ye indirgenmektedir.

Metallerin asitlerle reaksiyonlarına aşağıdaki örnekler verilebilir.



Soy ve yarı soy metallere (Cu- Hg- Ag- Pt- Au) oksijensiz asitler etki etmezler.

Cu+HCl

Ag+HCl Reaksiyon vermez

Yarı soy metallere (Cu-Hg-Ag) yükseltgen özellik gösteren asitler etki ederler.H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub> yükseltgen özellik gösteren iki önemli asittir.Bunların yarı soy metallere etkisinden tuz, oksit ve su oluşur.

Yarı Tuz + oksit + su=soy metal + Yükseltgen asit

Asit olarak derişik HNO<sub>3</sub> asidi kullanıldığında NO<sub>2</sub> gazı açığa çıkar , tuz ve su oluşur.HNO<sub>3</sub> deki azot indirgenirken , metal yükseltgenir.

Ag(k)+2HNO<sub>3</sub>(suda)DerişikAgNO<sub>3</sub>(Suda)+NO<sub>2</sub>(g)+H<sub>2</sub>O(s)

Cu(k)+4HNO<sub>3</sub>(SUDA)DerişikCu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(suda)+2NO<sub>2</sub>(g)+2H<sub>2</sub>O(s)

Seyreltik HNO<sub>3</sub> asidi kullanıldığında ise NO gazı açığa çıkar.Gümüş ve bakırın seyreltik nitrik asitle reaksiyonları aşağıda verilmiştir.

3AgNO<sub>3</sub>+NO(g)→Ag(k)+4hno<sub>3</sub>(suda)+2H<sub>2</sub>O(s)

3 Cu (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + 2NO(g) + 4h<sub>2</sub>O(s)→3cu(k)+HNO<sub>3</sub>(suda)

Altın (Au) be platin (Pt) tam soy metaldir.Bunlar asitlerle hidrojen çıkışı ile reaksiyona girmediği gibi yükseltgen özellik gösteren asitler de reaksiyon vermez.

Altına yalnızca kral suyu denilen (3HCl+HNO<sub>2</sub>) karışımı etki eder.

AuCl<sub>3</sub>+NO(g)+2HO(s)→Au(k)+HCl(suda)+HNO<sub>3</sub>

### 3.5.6.3. Bazlar

Baz kavramı, her zaman, asit kavramına bağlı kalmıştır. Baz, asidin karşıtıdır; ama baz olmadan hiçbir asit tepkimesi gerçekleşemez. Bazların asitlerle tepkimeye girmesiyle, gene önemli bir bileşik sınıfı olan tuzlar ve su oluşur. Bu bir nötrleşme (yansızlaşma) tepkimesidir; çünkü tepkime ürünü olan tuz artık ne asit, ne de baz özelliği taşıyan nötr yada yansız bir bileşiktir.

1887'de Svante Arrhenius, sulu bir çözeltilerde iyonun var olduğu kuramını açıklarken, asit çözeltilerinin  $H^+$  iyonları, baz çözeltilerinin de  $OH^-$  iyonları içerdiğini belirtmişti. 1923'te Brønsted ve Lowry birbirlerinden bağımsız olarak, ama, aynı zamanda, daha genel bir tanım önerdiler: Asit, kimyasal tepkime sırasında, her zaman, bir proton vermeye elverişliyse, baz da bu protonun alıcısıdır. Bir maddenin baz olabilmesi için protonu "bağlayacak", her hangi bir kimyasal bağda kullanılmamış bir elektron çifti taşıması gerekmektedir. Ama, yitirilecek protonu olduğu sürece asit olan madde, bu protonu yitirdiği an baza dönüşür. Gerçekten, protonunu yitiren asitte bir elektron çifti kalır. Asit – baz tepkimesi kavramına, "asit- baz çifti" ya da "asit-eşlenik baz kavramı" eklenir. Böylece asetik asit ( $CH_3 - COOH$ ), asetat iyonunu ( $CH_3 - COO^-$ ) ya da eşlenik bazlarını karşılar. Amonyak ( $NH_3$ ) da,  $NH_4^+$  asidinin karşıladığı bazdır.



Baz bir molekül ( $CH_3 - NH_2$  ya da metilamin ), ya da  $OH^-$ ,  $CH_3 - COO^-$  gibi bir anyon olabilir. Bu asit- baz tepkimeleri, proton aktarımlarına dönüşürler. 1938'te, Lewis bu kuramı, asidin, bazın verdiği elektron çiftinin alıcısı olduğunu belirterek geliştirmiştir. Bu durumda bir kovalans bağ oluşur. Ama bu sonuncu tanım, Brønsted'in baz tanımına yeni bir şey eklemeyiz.

#### ASİT–BAZTEPKİMESİ(BRÖNSTED)



Bazlar genel olarak molekülünde bir hidroksil grubu ( $OH^-$ ) ile en az bir metal atomu bulunan bileşikler olarak tanımlar; bu nedenle kimyasal açıdan metal hidroksitleri sayılır. Bunların çoğu suda çözünmeyen katı bileşiklerdir. Oysa bazıları, örneğin metal atomları içermeyen amonyağın ( $NH_3$ ) ve sodyum, potasyum gibi alkali metallerin hidroksitleri suda kolayca çözünür. Sanayi açısından büyük bir önem taşıyan bu bazlara alkaliler denir. Alkali terimi, "kül" anlamındaki Arapça bir sözcükten türetilmiştir. Çünkü bu bileşikler eskiden odun ve bitki küllerinden elde edilirdi. Gerçekten de alkalilerin küllü suyu andıran kendine özgü, acımsı bir tadı vardır. Bu



çözeltiler deriye kaygan bir izlenim bırakır ve baz belirteci olarak kullanılan kırmızı turnusol kağıdının rengini maviye dönüştürür.

Kostik (yakıcı) alkali denen en kuvvetli bazlar, büyük bir dikkatle ve sakınılarak kullanılması gereken çok tehlikeli maddelerdir. İnsanın üzerine sıçradığında giysilerini parçalayan ve derisini ateş ve kaynar su gibi yakan bu maddelerin kazayla yutulması da yemek borusunun ve midenin delinmesiyle, hatta ölümlerle sonuçlanan ağır yanıklara yol açar. Sanayide çok önemli uygulamaları olan bu bileşikler arasında en çok kullanılanları sodyum hidroksit (sudkostik ) potasyum hidroksit (potas kostik) kalsiyum hidroksit (sönmüş kireç ) ve amonyum hidroksittir. (amonyaklı su) En önemli alkalilerden biri olan sudkostik beyaz renkli bir bileşiktir. Ya ince levha ve çubuklar halinde katı olarak ya da suda eritilerek sıvı halde satışa sunulur. Sabun yapımında ve reyon denilen yapay ipekli kumaşların üretiminde çok önemli bir ham madde olan sudkostik, ayrıca pamuk ipliklerine sağlamlık ve parlaklık kazandırmak amacıyla pamuklu amacıyla pamuklu dokuma sanayisinde de kullanılır.

Potaskostiğin sanayideki en önemli kullanım alanı arap sabunu ve öbür temizlik maddelerinin üretimidir. Sönmüş kireçten inşaat sanayisinde sıva, çimento ve badana yapımında, ayrıca asitli toprakları nötrleştirmek için tarımda yararlanılır. Yaygın ama yanlış bir adlandırmayla kısaca amonyak olarak bilinen amonyaklı su evlerde en çok kullanılan temizlik maddelerinden biridir. Bütün yağ ve kirleri çözen bu bileşik özellikle banyo küveti, lavabo ve cam temizleyicileri bileşimine katılır. Gene kısaca karbonat tozu olarak ya da karbonat olarak bilinen sodyum di karbonat oldukça zayıf bir alkalidir. Kabartma tozlarının ve bazı köpüklü içeceklerin yapımında kullanılır; midedeki fazla asidi giderdiği için mide yanmalarına ve arı sokmasından dolayı meydana gelen ağrıya karşı etkilidir.

Dünyanın bir çok yerinde, özellikle ABD'nin batısında alkali topraklar denen geniş topraklar vardır. Bu bölgelerde çok az yağmur yağdığı için, çözünebilen tuzlar yağmur suyuna karışarak akıp gitmez ve alkaliler toprakta birikir. Alkali oranı çok yüksek olan topraklarda pek az bitki ve hayvanın yaşama şansı olduğundan, sonunda bu bölgeler çorak alanlara dönüşür.

Bazlar çeşitli yollarla hazırlanır. Bu yöntemlerin başlıcaları arasında, NaOH ve KOH için alkali klorürlerin elektroliz yoluyla ayrışmaları amonyağın (NH<sub>3</sub>) doğrudan bileşimi kireç ve barit için, suyla “söndürmeyle” süren karbonatların ısıl- bozulmaları (piroliz) sayılabilir.

Bazlar çeşitli alanlarda kullanılmalarının yanı sıra bir ortamın PH'ını yükseltir ve ester hidrolizi tepkimelerini sonuçlandırır.

### **Metallerin bazlar ile reaksiyonu;**

Genelde metaller bazlarla reaksiyon vermezler. Ancak amfoter metal olarak bilinen Al, Zn, Sn, Pb, Cr gibi metaller derişik kuvvetli baz çözeltileriyle reaksiyon verirler. Reaksiyon sonucunda hidrojen gazı açığa çıkar.

Tuz + hidrojen gazı  $\diamond$  Amfoter metal + Baz

Al(K) + Na<sub>3</sub> AlO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub> (g)  $\diamond$  NaOH(suda)

Na<sub>2</sub>ZnO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> (g)  $\diamond$  Zn(k) + NaOH(suda)

Amfoter metallerin oksit ve hidroksit bileşikleri de amfoter özellik gösterirler. Bunların kuvvetli bazların derişik çözeltileri ile reaksiyonundan ise tuz ile su oluşur.

### **3.6 DENEYSEL ÇALIŞMA**

Bu çalışmada yorulma konusunda yapılmış olan literatür taramaları ve daha önceki araştırmalara dayanılarak, karbonca zengin ve piyasada yağ çeliği olarak adlandırılan soğuk iş takım çeliği EN 1.2842 kalite, (DIN 90MnCrV8 kalite veya Böhler standartında K720 olarak isimlendirilen) malzemedeki fiziksel özellikleri aynı, fakat işleme yöntemleri farklı tip numune hazırlanmış ve oda sıcaklığında dönen eğilmeli ankastre kiriş türü yorulma test cihazı yardımı ile yorulmuş kırılganlığı sağlanmış. Bunların sonucunda ortaya çıkan veriler ışığında, işleme yöntemlerinin parçaların yorulma ömürleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

İlgili deneyde kullanılacak yöntemler, deney parçasının şekli ve büyüklüğü, ilgili parçaların hazırlanış biçimleri, parçaların deney düzeneğine pozisyonlanmaları, v.b.

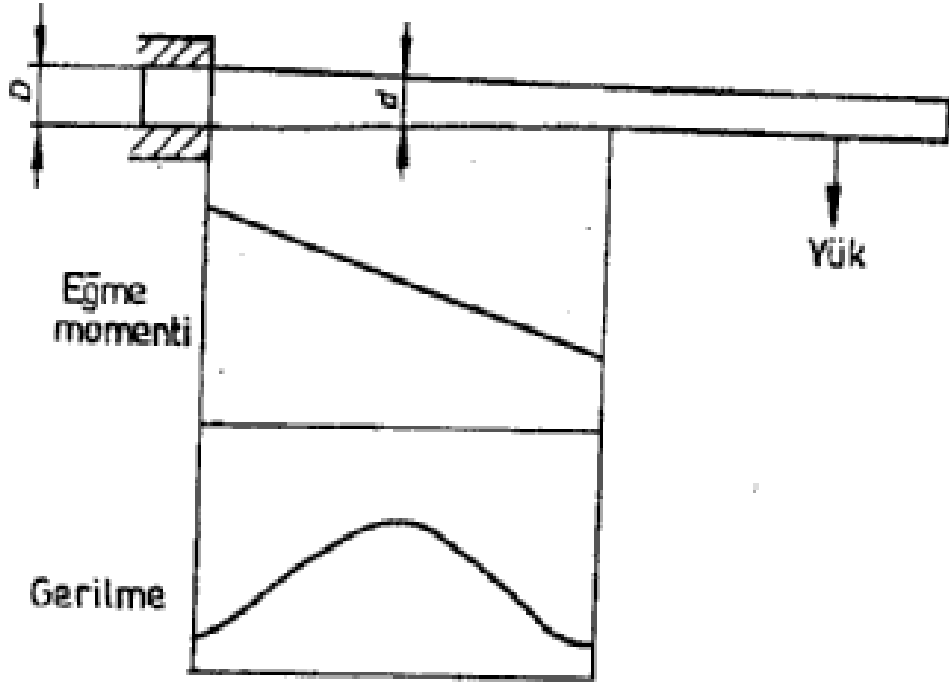
standartlar, Türk Standartları Enstitüsünün hazırlamış olduğu TS ISO 1143 METALLER – DÖNEN ÇUBUK EĞME YORULMA DENEYLERİ adlı standart baz alınarak hazırlanmıştır.

### 3.6.1 Deney Prensibi

4'er adet olarak hazırlanmış EDM, EDM+kimyasal aşındırma ve EDM+kumlama metodu ile işlenmiş deney numuneleri oda sıcaklığında -uygulanan yükün meydana getirdiği gerilmeler dışında deney parçaları üzerinde (kesitinde) meydana gelebilecek gerilmeler önlenecek şekilde- eğme momentine tabi tutulmuştur. Deney parçaları serbest giriş ve tek nokta yükleme esasına göre yorma işlemleri parça kırılana (bozulana) kadar gerçekleştirilmiştir. Deney parçalarına uygulanan yük değeri ise 200N ve seçilen numune tipi konik kesitlidir (TSE, Mart 2002)

Konik tipi deney numunesi seçilmesinin temel sebebi EDM tezgahında işlenebilme kolaylığı ve hata olasılıklarının minimize edilmesidir. Diğer yandan daha önce yapılan benzer deneylerde deney numuneleri konik yerine silindirik olarak seçilmiş (Ramulu, Paul, Patel, 2001), fakat bu seçimle beraber de numunenin 180° çevrilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

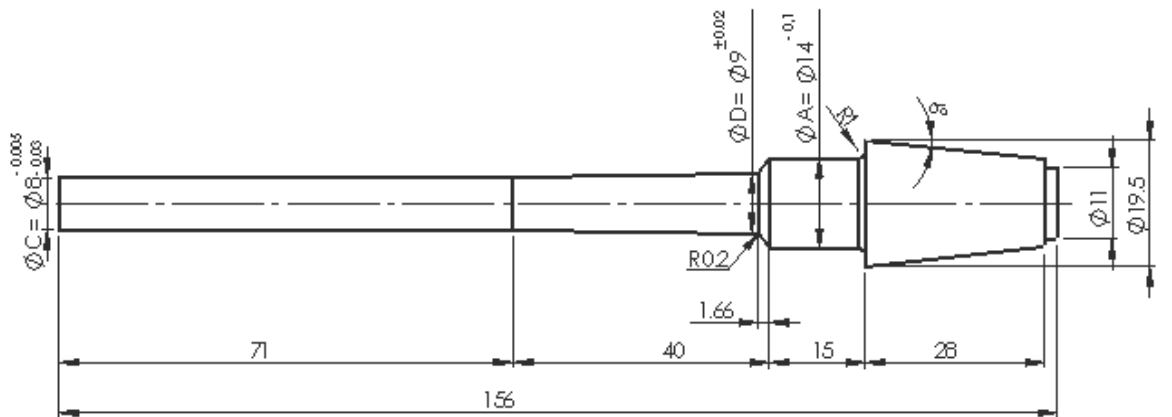
Bu işlem ise iki ayrı operasyonla kaldırılan talaş bölgelerinde, parça üzerinde kalıp birleşme yüzeyine benzer çapak oluşacağı aşıkardır. Bu kesit değişimi ise uygulayacağımız deney prensibine ters bir sonuç doğurma olasılığı yüksek olduğunda konik tip deney numunesinin seçimi yapılmıştır. Şekil 3.35'de ilgili prensip gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Konik deney parçası – Tek nokta yükleme (TSE, Mart 2002)

### 3.6.2 Deney Numuneleri

Yapılacak olan deneyin sağlam bir zemine oturması ve olağan iç, dış faktörlerin eliminasyonu için temin edilen malzemelerin aynı boy malzemeden kesilmesi sağlanmış, boyut hassasiyetlerinin yüksek tutulabilmesi için CNC torna tezgahı ve Ajan marka 983 model elektro erezyon tezgahından yararlanılmıştır



Şekil 3.36. Nihai deney numunesi

Uygulanan kuvvet ve kuvvet kolu doğrultusunda numunelerinin Ø9,00 noktasından kırılabilmesi için gerekli hesaplamalar yapılarak son fiziki boyutlar çıkartılmış ve şekil 3.36’de

Çizelge 3.8. Numune malzemelerin kimyasal kompozisyonu

1.2842 kalite malzemenin kimyasal kompozisyonu							
Element	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni
%	0,90	2,00	0,25	0,35	-	0,10	-

Çizelge 3.9. Numune malzemelerin özellikleri

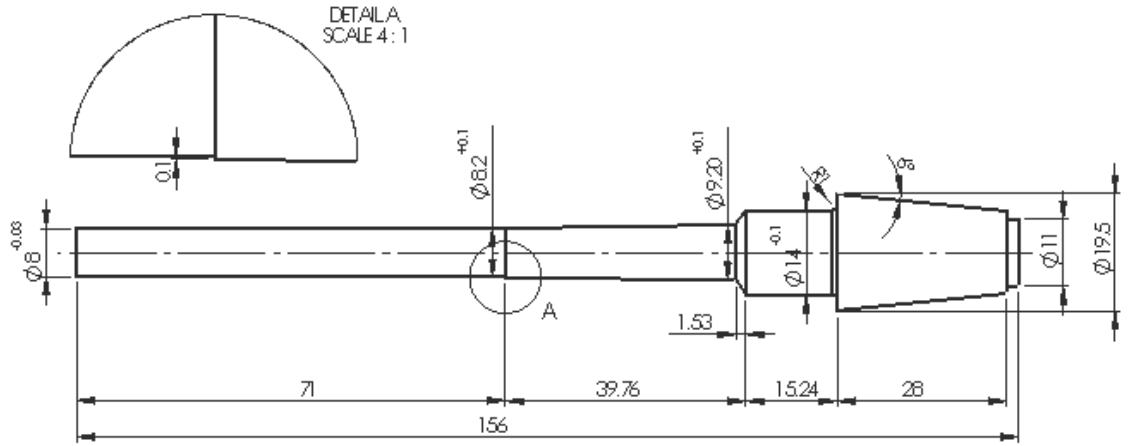
1.2842 kalite malzemenin özellikleri					
Sıcak Şekillendirme °C	Yumuşatma Tavaı °C	Gerilim Alma °C	Teslim Sertliği HB	Sertleştirme Derecesi °C	Sertleştirme sonrası sertlik HRC
1050-850	680-720	650	max.220	790-820	63-65

gösterilmiştir. Ayrıca numunelerde kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonu çizelge 3.8’de ve yine aynı malzemenin genel özellikleri ise çizelge 3.9’da verilmiştir (Sthalschlüssel, 1980).

İşleme sonrası çıkan değerler “Araştırma Sonuçları ve Tartışma” bölümünde yer alan çizelge 4.2’de verilmiştir.

### 3.6.2.1 EDM Numuneleri

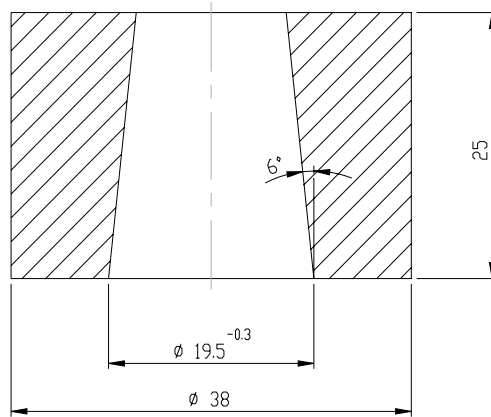
Yağ çeliği 1.2842 malzemedden tek boy halinde önceden hazırlanmış olan malzeme öncelikle tornalama operasyonuna girerek, hammadde beslemesi yapabilen otomat CNC tezgahta tek bağlamada tornalama işlemi yapılarak şekil 3.37’de belirtilen ölçülere getirilmiştir. Bu noktadan sonra ilgili numuneler ajan marka 983 model EDM tezgahına 6°’lik referans yüzeyinden düşey eksende bağlanıp işlenebilmesi ve salgılı



Şekil 3.37. EDM öncesi deney numunesi

işleme olasılığını ortadan kaldırılması için şekil 3.38’de görünen ilave bir tutucu üretilmiştir.

Dalma erezyon metodunda kullanılan bakır elektrodun dış yüzeyi ile elektrodun çalışacak yüzey formunun eş merkezliliği önemlidir. Dolayısı ile bakır elektrod, tel erezyon yöntemi ile dıştan referans alınarak hazırlanmış, böylelikle de EDM ile işleme esnasında parça-elektrod pozisyon ilişkisi basitleştirilmiştir.



Şekil 3.38. EDM için tutucu aparat

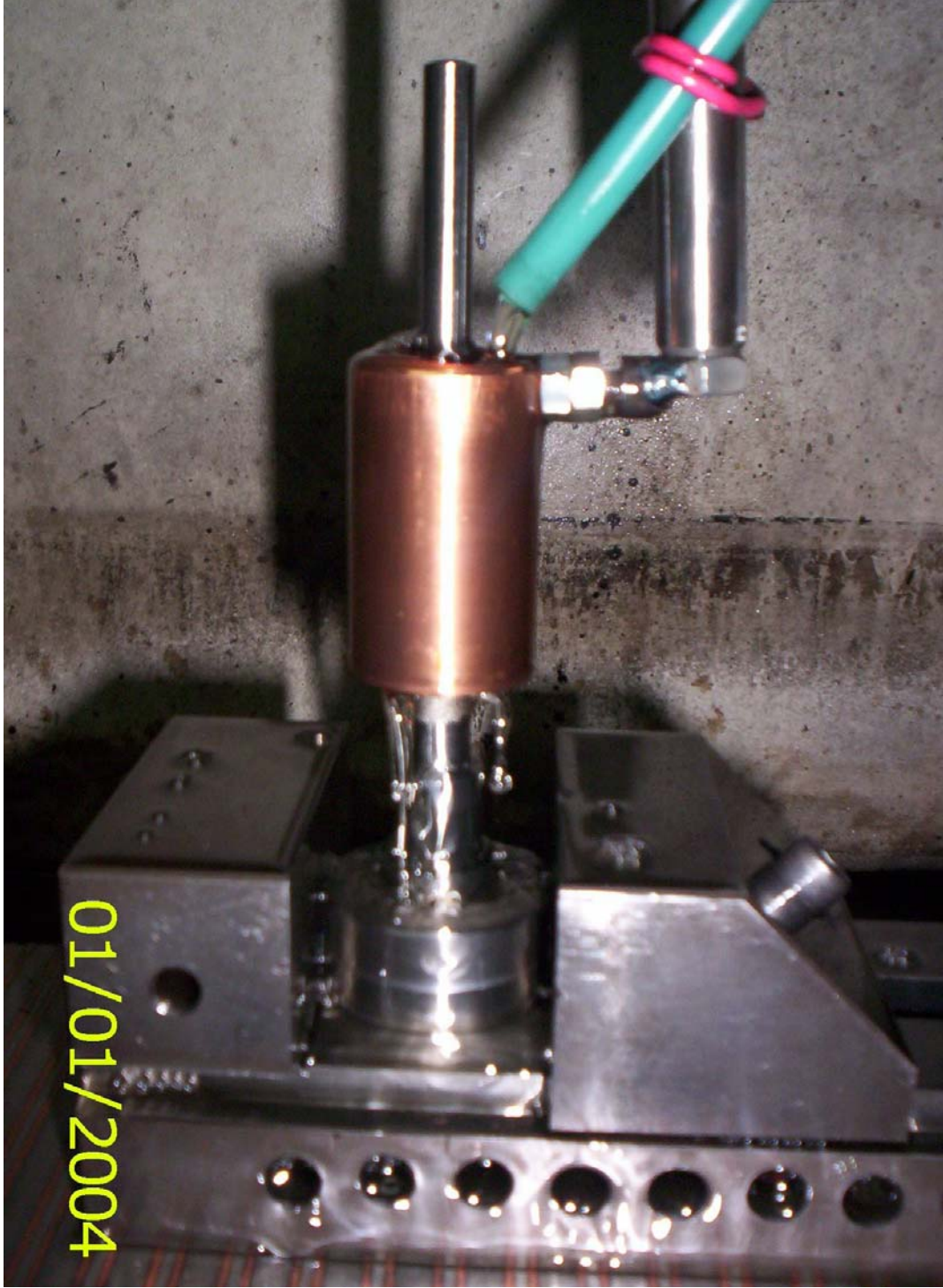
Çizelge 3.10. EDM çalışma parametreleri

<b>EDM ile işleme koşul ve parametreleri</b>				
Çalışma (güç) yüzdesi (%)	Ortalama Akım (amp)	İşlem hızı (mm <sup>3</sup> /dk)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Ortalama kıvılcım aralığı (mm)
1/4	6	27	6,10	0,19

Bu yöntemde yaklaşık 50Hz'lik bir frekans ve 6A'lık bir akım, 27 mm<sup>3</sup>/dk'lık bir talaş kaldırma hızı ile uygulanarak Ra=6,10μm'lik bir yüzey pürüzlülük değeri beklenmektedir. İşleme koşullarının detayları çizelge 3.10'da verilmiştir (Ajan Erezyon, 2001).



Şekil 3.39 Edm ile işlenmiş deney numunesi



Şekil 3.40. EDM metodu ile işleme yönteminden bir görüntü

### 3.6.2.2. Kuşlama Numuneleri

Kuşlama numuneleri hazırlanırken, 1.2842 yağ çeliği malzemeden önceden hazırlanmış olan malzeme öncelikle tornalama operasyonuna girerek, hammadde



beslemesi yapabilen otomat CNC tezgahda tek bağlamada tornalama işlemi yapılmıştır. Bu noktadan sonra ilgili numuneler ajan marka 983 model EDM tezgahına 6°'lik referans yüzeyinden düşey ekseninde bağlanıp 100 mikron talaş alınmıştır.



Şekil 3.41. Plastik kaplanmış deney numunesi

Edm tezgahında işlemi tamamlanan deney numuneleri, kumlama operasyonuna girmeden önce sadece istenilen bölgenin kumlanması için plastik kaplanır. (şekil 3.41)



Şekil 3.42. Kumlama işlemi uygulanmış deney numunesi

Plastik kaplanmış deney numunesi, tamburlu tip kumlama makinesinde 15 dakika işleme tabi tutulmuştur. (çizelge 3.11)

Çizelge 3.11 Kumlama Çalışma Parametreleri

Kumlama ile İşleme koşul ve parametreleri				
bilya standardı	bilya sertliği	püskürtme hızı	bilya püskürtme debisi	kumlama işlem süresi
S-280 çelik bilya	45-50 Hrc	65 m/sn	125 kg/dak	15 dak

Bu işlem sonunda deney numunelerinin plastik kaplı olmayan bölgelerinden 150 mikron çap daralması sağlanmıştır.

### 3.6.2.3. Kimyasal Aşındırma Numuneleri

Kimyasal aşındırma numuneleri hazırlanırken; kumlama numuneleri ile aynı şartlarda EDM işleminden geçen numunelerin, asit ile aşındırmak istenen bölgeler dışındaki tüm yüzeyleri plastik ile kaplanır.



Şekil 3.43 Kimyasal yöntem ile aşındırılmış deney numuneleri

Çizelge 3.12 Kimyasal Aşındırma Sıvısı Detayları

Kimyasal Aşındırma Karışım Detayları			
Sıvı cinsi	Hidroklorik Asit	Nitirik Asit	Su
Ölçü	200 ml	200 ml	250 ml

Plastik kaplanmış deney numuneleri Çizelge 3.12’da detayları verilen karışım içinde 40 dakika bekletilerek 150 mikron talaş kaldırılmıştır.

### 3.6.3 Deneyin Yapılışı

Deneyler, şekil 3.44’da gösterilen dönen eğilmeli ankastre kiriş türü yorulma test cihazında yapılmıştır. Deneyde kullanılan test cihazı, komparatör ve dinamometrenin olası hatalı ölçüm değerlerini ortadan kaldırmak için kalibrasyon tarihleri kontrol edilerek deneye geçilmiştir.



Şekil 3.44. Dönen eğilmeli ankastre kiriş türü yorulma test cihazı – (I)

Her bir deney numunesinde, uygulanan yükün meydana getirdiği gerilmeler dışında deney parçası kesitinde oluşabilecek olası gerilmeleri önleyecek tarzda referans yüzeyinden test cihazına yerleştirilmiş ve salgı kontrolleri yapılmıştır.



Şekil 3.45 Yorulma testine tabi tutulacak 3 tip numune

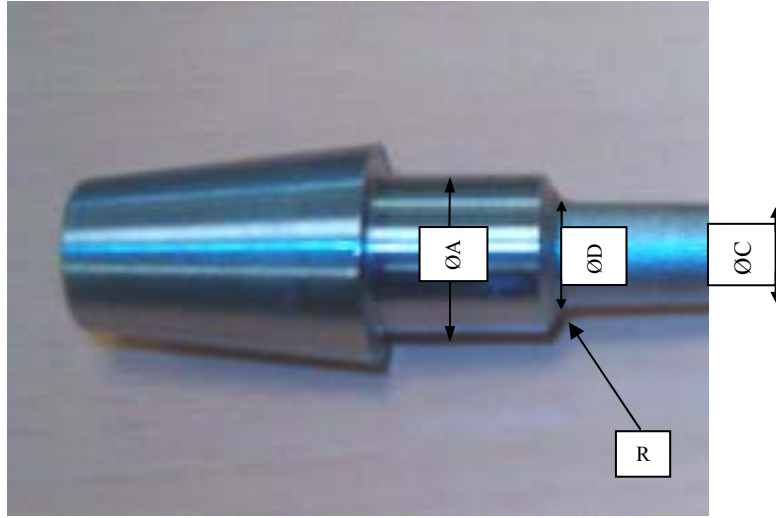
Her 3 tip numune grubuna da dinamometre yardımı ile 200N'luk yük uygulanmış ve tahrip olan numunelerin en büyük ve en küçük kırılma sayıları elemine edilmiştir.



Şekil 3.46 EDM numunelerinin test öncesi ve sonrası

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

EDM, EDM+kumlama ve EDM+kimyasal aşındırma ile hazırlanan 3 farklı grup numunelerin, dönen eğilmeli ankastre kiriş türü yorulma test cihazı yardımı ile yapılan yorma işlemlerinin sonucunda ortaya çıkan değerler, fiziksel boyutları ve kırılma değerleri aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi en küçük ve en büyük kırılma



Şekil 4.1. Deney numunesinde bulunan önemli ölçüler

değerleri dikkate alınmamış, dolayısı ile 4'er adet deneye tabii tutulan numunelerinin sonuçları çizelge 4.1, 4.2 ve çizelge 4.3'te verilmiştir. Diğer yandan deneyde önem teşkil eden ölçülerin genel görüntüsü şekil 4.1'de, daha kapsamlı ölçüler ise daha önce bahsedildiği şekliyle şekil 3.29'da belirtilmiştir.

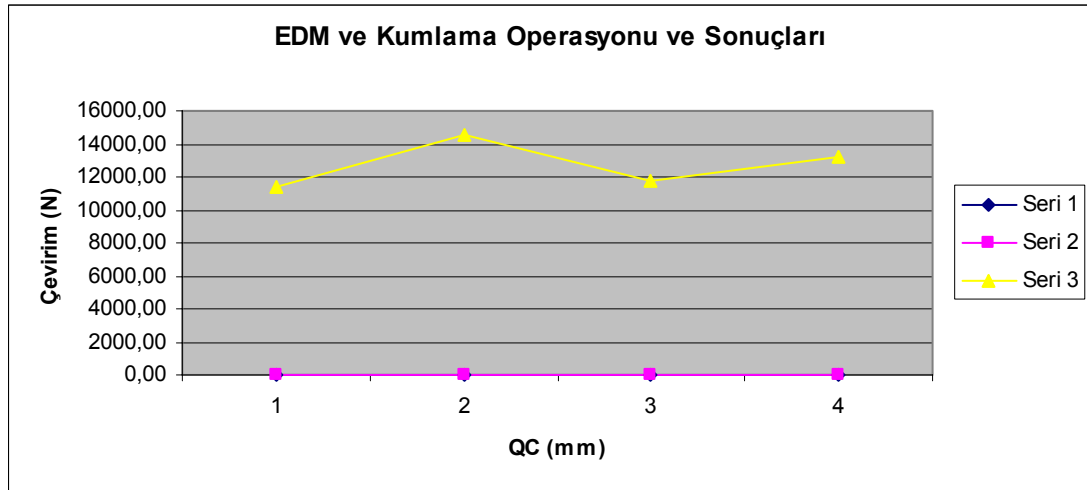
##### 4.1 EDM – Kumlama Numunelerinin Sonuçları

EDM – Kumlama metodu ile işlenmiş numunelerin testleri sonucunda, nötr eksene göre en uzak liflerin 11400 ila 14520 defa çeki ve bası gerilmesi altında tamamen koparak parçaların deforme olduğu gözlenmiştir. Diğer metodlar ile işlenen numune test sonuçlarında olduğu gibi, kırılma değerlerinin (N) numuneler arasında belirli bir dağılım göstermesi talaşlı imalat sırasında alınan önlemlerin sonuca olumlu yönde etki yaptığı söylenebilir.

4 adet numunede tekrarlanan deneylerde, kopma veya kırılma noktaları deney öncesi beklendiği şekliyle  $\varnothing D$  olarak belirlenmiş olan kesittir. EDM - Kumlama işlemi sonrası oluşan ilgili kesitin ortalama değeri  $\varnothing D_{ort}=9,00\text{mm}$  ve ortalama kırılma değerleri  $N_{ort}= 12715$  devir olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.1 EDM-Kumlama operasyonu sonuç tablosu

KUMLAMA TEST SONUÇLARI					
SIRA NO	resim değeri	ÖLÇÜ 1	ÖLÇÜ 2	ÖLÇÜ 3	ÖLÇÜ 4
1	$\varnothing A$ (mm)	13,94	13,96	13,95	13,96
2	$\varnothing C$ (mm)	7,98	8,00	7,99	8,00
3	$\varnothing D$ (mm)	8,99	9,01	9,00	9,01
4	R (mm)	0,20	0,20	0,20	0,20
KIRILMA SAYISI (N)		11400,00	14520,00	11780,00	13160,00



Şekil 4.2. EDM – Kumlama operasyonu sonuçları

Şekil 4.2’de kritik boğum çapı ile kırılma sayısı arasındaki bağıntı verilmiş ve çapa bağlı artışların çevrim sayısını arttırdığı net olarak görülmektedir.



Şekil 4.3 Kırılan Numunenin Kesit Görüntüsü

#### 4.2 EDM Numunelerinin Sonuçları

İlgili metot ile işlenmiş numunelerin testleri sonucunda, nötr eksene göre en uzak liflerin 5820 ila 6110 defa çeki ve bası gerilmesi altında tamamen koparak parçaların deforme olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan “N” yani kırılma değerlerinin numuneler arasında belirli bir dağılım göstermesi gerek malzemenin homojenitesinin gerekse işleme yöntemleri esnasında alınan önlemlerin bir sonucu olarak değerlendirilebilir.

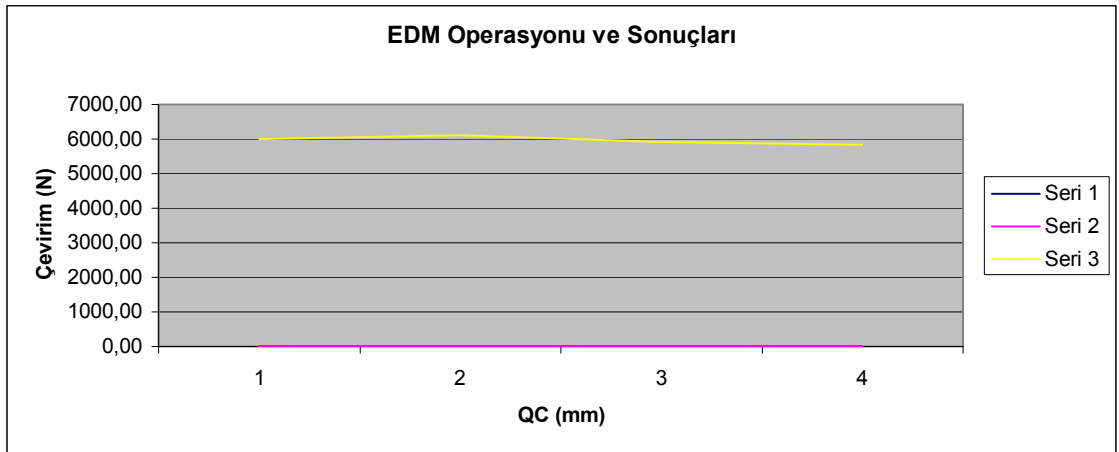
4 adet numunede tekrarlanan deneylerde, kopma veya kırılma noktaları deney öncesi beklendiği şekliyle  $\text{ØD}$  olarak belirlenmiş olan kesittir. Elektro erezyon işleme sonrası oluşan ilgili kesitin ortalama değeri  $\text{ØD}_{\text{ort}}=9,00\text{mm}$  ve ortalama kırılma değerleri  $N_{\text{ort}}= 5965$  devir olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.2 EDM operasyonu sonuç tablosu

EDM TEST SONUÇLARI					
SIRA NO	resim değeri	ÖLÇÜ 1	ÖLÇÜ 2	ÖLÇÜ 3	ÖLÇÜ 4
1	ØA (mm)	13,95	13,94	13,95	13,96
2	ØC (mm)	8,00	7,98	8,00	7,99
3	ØD (mm)	9,01	8,99	9,01	9,00
4	R (mm)	0,20	0,20	0,20	0,20
KIRILMA SAYISI (N)		6010,00	6110,00	5920,00	5820,00

EDM ile işleme esnasında takım aşınması ve/veya talaşlı imalatın kaçınılmaz metodolojisinden kaynaklanan kritik çap (ØD) değişkenliğinin, ki bu değişkenlik limitler dahilindedir, az da olsa çalışma ömrüne yansımaları şekil 4.4'de görülebilir.

Şekil 4.5 ve şekil 4.6'de ise deney sonrası tahrip olan numunelerin durumları ve kesit görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.4. EDM operasyonu sonuçları





Şekil 4.5. Kırılan numunenin kesit görüntüsü



Şekil 4.6. EDM numunelerinin test öncesi ve sonrası

### 4.3 EDM – Kimyasal Aşındırma Numunelerinin Sonuçları

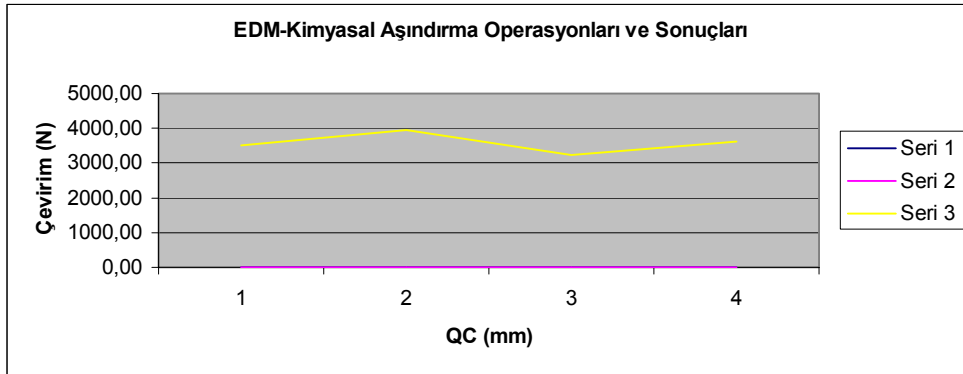
EDM – Kumlama metodu ile işlenmiş numunelerin testleri sonucunda, nötr eksene göre en uzak liflerin 3230 ila 3950 defa çeki ve bası gerilmesi altında tamamen koparak parçaların deforme olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan “N” yani kırılma değerlerinin numuneler arasında belirli bir dağılım göstermesi gerek malzemenin homojenitesinin gerekse işleme yöntemleri esnasında alınan önlemlerin bir sonucu olarak değerlendirilebilir.

4 adet numunede tekrarlanan deneylerde, kopma veya kırılma noktaları deney öncesi beklendiği şekliyle ØD olarak belirlenmiş olan kesittir. EDM – Kimyasal Aşındırma sonrası oluşan ilgili kesitin ortalama değeri  $\text{ØD}_{\text{ort}}=9,00\text{mm}$  ve ortalama kırılma değerleri  $N_{\text{ort}}= 3578$  devir olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.3 EDM – Kimyasal Aşındırma operasyonu sonuç tablosu

KİMYASAL TEST SONUÇLARI					
SIRA NO	resim değeri	ÖLÇÜ 1	ÖLÇÜ 2	ÖLÇÜ 3	ÖLÇÜ 4
1	ØA	13,95	13,96	13,93	13,94
2	ØC	7,99	8,00	7,98	8,01
3	ØD	9,00	9,01	8,99	9,01
4	R	0,20	0,20	0,20	0,20
KIRILMA SAYISI (N)		3520,00	3950,00	3230,00	3610,00

Şekil 4.7’de kritik boğum çapı ile kırılma sayısı arasındaki bağıntı verilmiş ve çapa bağlı artışların çevrim sayısını arttırdığı net olarak görünmektedir.



Şekil 4.7. EDM-Kimyasal Aşındırma Operasyonu ve Sonuçları

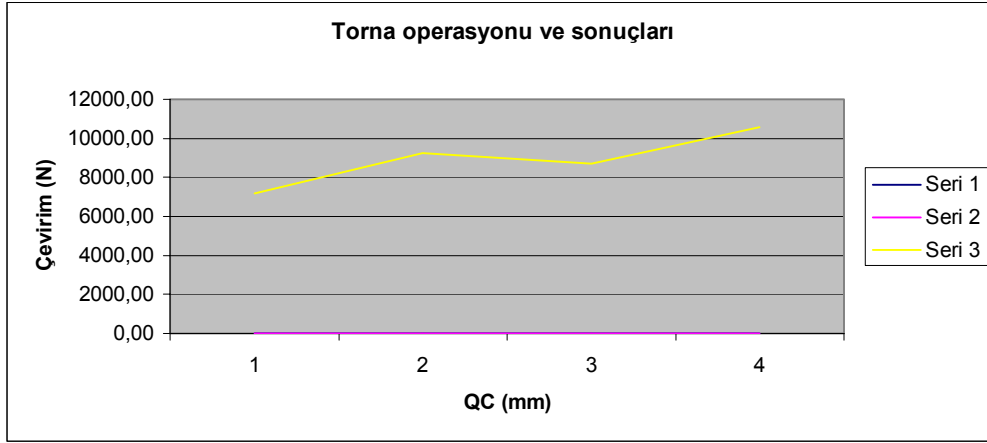
Çizelge 4.4 Torna operasyonu sonuç tablosu

TORNA TEST SONUÇLARI					
SIRA NO	resim değeri	ÖLÇÜ 1	ÖLÇÜ 2	ÖLÇÜ 3	ÖLÇÜ 4
1	ØA	13,97	13,96	13,95	13,96
2	ØC	8,01	7,98	7,99	8,00
3	ØD	9,01	9,00	8,98	8,99
4	R	0,20	0,20	0,20	0,20
KIRILMA SAYISI		7200	9260	8720	10560



Şekil 4.8 Kimyasal Aşındırmaya tabi tutulmuş numunenin kesit görüntüsü

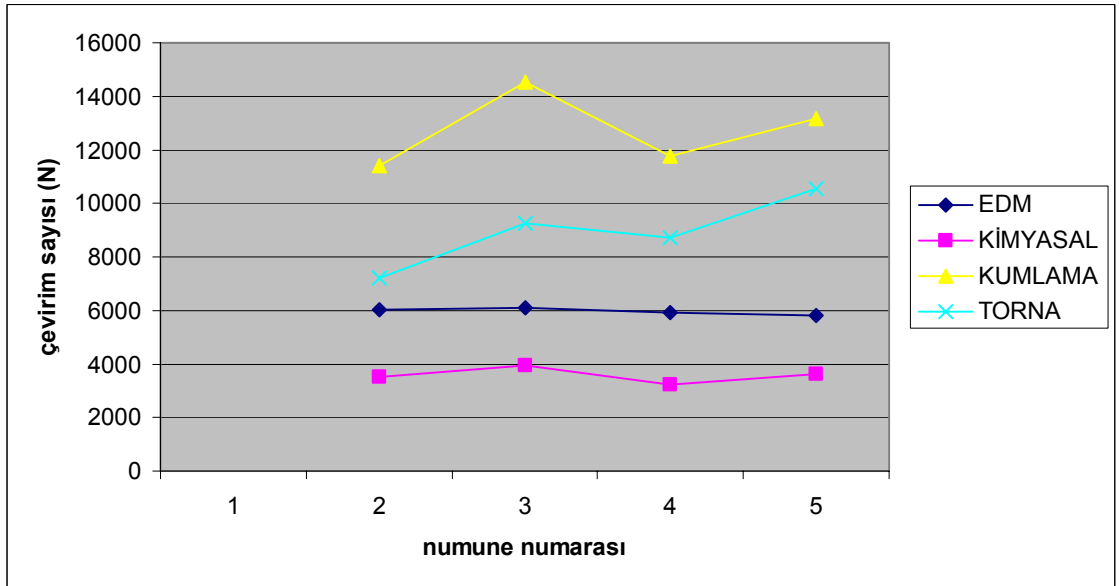
Yapılan deneylerin sonucunda EDM, EDM-kumlama ve EDM-kimyasal aşındırma ile işlenen numune grupların ömürleri (çevrim sayıları) çizelge 4.5’de verilirken, ömürlere bağlı mukayeseli grafik ise şekil 4.10’da gösterilmiştir. Bu bağlamda tornalanmış numunelerin diğer yönleme göre daha uzun süre dayandığı daha net bir biçimde görülebilmektedir.



Şekil 4.9. Torna Operasyonu ve Sonuçları

Çizelge 4.5 Mukayese tablosu

KIRILMA SAYISI (N)		numune sıra no			
numune tipi		1	2	3	4
EDM		6010	6110	5920	5820
KİMYASAL		3520	3950	3230	3610
KUMLAMA		11400	14520	11780	13160
TORNA		7200	9260	8720	10560



Şekil 4.10. Numuneler arasında oluşan çevirim sayısı fark grafiği

#### 4.4 Sonuçlar

Yapılan araştırma ve deneyler sonucunda her u tip 4'er adet numunenin; başta kritik kesit çapları  $\text{ØD}_{\text{ort}}=9,00\text{mm}$  ve boğum yarıçapı  $R=0,2\text{mm}$  olmak kaydı ile fiziksel ölçüleri sınırlar dahilinde olduğundan, deney numunelerini mukayese edilebilir kılmış ve aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır;

-Gerek tornalanmış, gerekse erezyon işleminden geçirilmiş numunelerin kritik kesitlerindeki küçük milimetrik artışlar numune ömürlerini artırarak olumlu yönde yansımıştır.

- EDM numuneleri 5965 devirlik bir ömre sahipken, EDM-Kumlama numuneleri 12715 devirlik, EDM-Kimyasal numuneleri 3578 devirlik bir ömür söz konusudur.

- Piyasada yaygın olarak kullanılan ve başta kesme kalıplarında olmak kaydı ile form ve plastik enjeksiyon kalıpların üretiminde kullanılan EDM ile işleme yönteminin, iş parçalarının çeki-bası kuvvetler etkisi altında kalması halinde kalıp ömürlerine direkt olarak olumsuz yönde etki ettiğİ bilinmelidir.

- Elektro erezyon ile işleme, malzemede %33'lük ömür azalması görölmüştür.- Elektro erezyon ile işleme sonrası oluşan sert film tabakasının (recast layer) kumlama işlemi ile kaldırılması halinde %42'lik ömür artışı sağlanmıştır.

- Elektro erezyon ile işleme sonrası oluşan sert film tabakasının (recast layer) kimyasal aşındırma işlemi ile kaldırılması halinde %60'lık ömür azalması görönmüştür..

Sonuç olarak EDM yöntemi; özellikle kalıp yapımında büyük kolaylıklar sağlaması yanında, yüzeydeki "recast layer" olarak tarif edebileceğimiz sert tabakanın varlığından dolayı kalıp ömrünü de önemli oranda azaltmaktadır. Bu sert tabakanın kimyasal aşındırma ile giderildiğinde malzeme ömründe azalma, kumlama ile giderildiğinde malzeme ömründe önemli ölçüde artma gözlemlenmiştir.

**KAYNAKLAR**

**Ank, S., A. Dikicioğlu ve M.Vural,** “İmal Usulleri”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1994

**Babalık, F.** (1997); Makine Elemanları ve Konstrüksiyon, U.Ü. Güçlendirme Vakfı Yayın No:17, Bursa

**Brown, M.W., Miller, K.J.** (1981); Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, 19(4)

**Collins, J.A.** (1981); Failure of Metal in Mechanical Design, John Wiley and Sons, New York

**Çapan, L.** (1999); Metallerde Plastik Şekil Verme

**Dülek, E., Sarıtaş, S., Karataş, Ç.** (2003); Bilyalı Dövülmüş Ç1020 Malzemede Kalıcı Gerilmelerin Katman Kaldırma Yöntemi ile İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi Cilt18 Sayı3

**Elar Erezyon,** (2005); Makine Kullanım Kitapçığı

**Kayalı, E.S, ve C.Ensari,** “Metallerde Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları” İTÜ yayımları, İstanbul, 1986

**Kıran Y.,,** “Aluminyum ve Alaşımının Yorulma Dayanımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Lisans Tezi, C. B. Ü. Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., Danışman: Enver ATİK, Manisa, 2003

**Korkmaz, S.,** “Çeliklerde Yorulma Mukavemetine Etki Eden Faktörler”, Yüksek Lisans Semineri-II, S. D. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

**Öztürk, Y.,** “Bakır ve Alaşımının Yorulma Dayanımının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Lisans Tezi, C. B. Ü. Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., Danışman: Enver ATİK, Manisa, 2003

**Sarıtaş, S.,** “Toz Metal Çeliklerin Yorulma Özellikleri”, 3. Uluslar arası Toz Metalurjisi Konferansı, S. 1207-1120, Ankara, 2002

**Saatçı, G.E., Tahralı, N.** (2003); Birikimli Hasar Teorileri ve Yorulma Çatlağına göre Ömür Değerlendirmeleri, Havacılı ve Uzay Teknolojleri Dergisi Cilt1 Sayı2

**Türk Standartları Enstitüsü,** (2002); Metaller – Dönen Çubuk Eğme Yorulma Deneyleri, TS ISO 1143, Mart 2002, Ankara

**Varol, R.** “2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyalı Dövme Parametrelerinin Etkisi” Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konya-1990

**Varol, R., Sarıtaş, S** (1996); “Bilyalı dövme işleminin demir esaslı T/M parçaların yorulma özellikleri üzerine etkisinin araştırılması”, 1. Ulusal T/M Konferansı,

**Yavuz, N. (2003);** Modern İmalat Yöntemleri Ders Notları

**Yeşildal R., Şen, S., Kaymaz, İ.** (2003); X40CrMoV 5 1 Çeliğinin 20-600 °C Arasındaki Yorulma Davranışı, DEU Müh. Mim. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt5 Sayı1

## TEŐEKKÖR

Bu çalıőmada bilgi ve tecrűbesinden yararlandığım, bana her konuda yardımcı olarak özverisini esirgemeyen danıőmanım Prof. Dr. Nurettin YAVUZ 'a, deney numunelerinin hazırlanarak, gerçekleőtirilmesinde katkıda bulunan BEYÇELİK firmasına ve çalıőmalarım sırasında bana yardımcı olan herkese teőekkűrű bir borç bilirim.



## **ÖZGEÇMİŞ**

1979 yılında İstanbul' da doğdu. Terakki Vakfı Özel Şişli Terakki Lisesi'ni bitirdi. 1996 yılında başladığı Makine mühendisliği lisans eğitimini, 2001 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olarak tamamladı.

2001 Güz Yarıyılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

Halen özel sektörde Beyçelik firmasında yönetici olarak çalışmaktadır.