



**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK DEŞARJ YÖNTEMİ İLE ELDE EDİLEN YÜZEYİN
YORULMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

İSMAİL MESUT BAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA – 2006

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK DEŞARJ YÖNTEMİ İLE ELDE EDİLEN YÜZEYİN
YORULMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

İSMAİL MESUT BAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 26.09.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Nurettin YAVUZ
(Danışman)

Prof.Dr. Ali BAYRAM
(Üye)

Prof.Dr. Recep EREN
(Üye)

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ile malzeme özellikleri de gelişme göstermiştir. Gelişen bu teknoloji ile imalatta kullanılan tezgâhlarda ürünler daha hassas, ekonomik ve güvenli olarak işlenmektedir. Bu çalışmada modern imalat yöntemlerinden olan EDM (Electrical Discharge Machining) ile tornalama işleminden geçirilen 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 %34 daha fazla ömre sahip olduğu tespit edilmiştir.

Elektro erezyon ile işleme sonrası oluşan sert film tabakasının (recast layer) alternatif işleme yöntemleri ile kaldırılması halinde ömür artışı beklenmelidir.

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

ABSTRACT

In today's world, with developing technology material features are also developing. With this developing technology, the product is machined more precisely, economically and secure. 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 comparison of machining techniques affect on material fatigue mechanism and fatigue life time is aimed.

After the test, the result is machined specimen has 34% more life time than parts processed with EDM.

When recast layer has been removed with alternative techniques which happened after electro erosion process, more life time is expected.

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

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM	4
3.1. EDM YÖNTEMİ	4
3.1.1. Elektriksel Aşındırma ile İşleme	4
3.1.2. EDM’de Kullanılan Elektrodlar	7
3.1.3. Kullanılan Elektrodların Eskimesi	8
3.1.4. EDM’de Kullanılan Dielektrik Sıvısı	10
3.1.5. EDM’in İş Parçası Üzerine Etkileri	14
3.1.5.1. Yüzey Kalitesi	14
3.1.5.2. Metalürjik Değişiklikler	15
3.1.5.3. Mekanik Değişiklikler	16
3.1.6. EDM’nin Kullanım Alanları	17
3.1.7. EDM Uygulamasının Avantajları	17
3.1.8. EDM Uygulamasının Dezavantajları	18
3.2. YORULMA	19
3.2.1. Yorulmanın Mekanizması	20
3.2.1.1. Yorulma Çatlağının Başlaması	20
3.2.1.2. Yorulma Çatlağının Yayılması	22
3.2.2. Çevrimli Yükleme	22
3.2.3. Yorulma Mukavemetinin Smith Diyagramı İle Gösterilişi	27
3.2.4. Yorulma Çatlağının İlerleme Hızı	29
3.2.5. Yorulma Mukavemetini Etkileyen Faktörler	31
3.3. DENEYSEL ÇALIŞMA	32
3.3.1. Deney Prensibi	32
3.3.2. Deney Numuneleri	34

3.3.2.1. Torna Numuneleri	35
3.3.2.2. EDM Numuneleri	35
3.3.3. Deneyin Yapılışı	37
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	40
4.1. Tortalama Numunelerinin Sonuçları	40
4.2. EDM Numunelerinin Sonuçları	42
4.3. Sonuçlar ve Tartışma	46
KAYNAKLAR	48
TEŞEKKÜR	50
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. EDM ile işleme sırasında oluşan plazma şekli	5
Şekil 3.2. EDM ile işlenmiş yüzeyde oluşan kraterler	5
Şekil 3.3. EDM Tezgahı	6
Şekil 3.4. EDM’de elektrot eskimesi	9
Şekil 3.5. EDM’de di elektrik sıvının dolaşım şeması	11
Şekil 3.6. Normal akış sistemi	12
Şekil 3.7. Normal akış sisteminde istenilmeyen aşınma	12
Şekil 3.8. Normal akışın iş parçası içerisinden sağlanması	12
Şekil 3.9. Rezerve akış	13
Şekil 3.10. Püskürtme akış	13
Şekil 3.11. Elektrot titreşimli sistem	14
Şekil 3.12. Çatlağın başlangıç, yayılma ve ani kırılma bölgeleri	20
Şekil 3.13. Kayma bantlarında yorulma çatlağının başlaması	21
Şekil 3.14. Yorulma çatlağını başlattırان bazı mekanizmalar	21
Şekil 3.15. Gevrek malzemelerde gerilme uzama değişimi	23
Şekil 3.16. Yorulma kopmasında kesitin görünüşü	24
Şekil 3.17. Çekme ve basma şeklinde uygulanan değişken zorlanma	25
Şekil 3.18. Tam değişken zorlanma şekli	25
Şekil 3.19. Gerilme genliği σ_g ile yük tekrar sayısı n 'in değişimi	26
Şekil 3.20. Ortalama gerilme ile genlik gerilmesinin değişimi	27
Şekil 3.21. Çeki-Bası zorlamaları için Smith yorulma mukavemeti diyagramı	28
Şekil 3.22. Çatlak uzunluğu —Çevrim sayısı grafiği	30
Şekil 3.23. Konik deney parçası – Tek nokta yükleme	33
Şekil 3.24. Nihai deney numunesi	34
Şekil 3.25. EDM öncesi deney numunesi	35
Şekil 3.26. EDM için tutucu aparat	36
Şekil 3.27. EDM metodu ile işleme yönteminden bir görüntü	37
Şekil 3.28. Dönen eğilmeli ankastre giriş türü yorulma test cihazı – (I)	38
Şekil 3.29. Dönen eğilmeli ankastre giriş türü yorulma test cihazı – (II)	39
Şekil 4.1. Deney numunesinde bulunan önemli ölçüler	40

Şekil 4.2. Tornalama operasyonu sonuçları	41
Şekil 4.3. Tornalanmış numunenin mikroskopik yapısı	42
Şekil 4.4. EDM operasyonu sonuçları	43
Şekil 4.5. EDM ile işlenmiş numune	44
Şekil 4.6. Kırılan numunenin görüntü fotoğrafı	44
Şekil 4.7. Kırılan numunenin kesit görüntüsü	44
Şekil 4.8. EDM ile işlenmiş numunenin mikroskopik yapısı	45
Şekil 4.9. Tornalama ve EDM ile işlenminden geçen numuneler arasında oluşan çevrim sayısı fark grafiği	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. EDM tezgahında işe göre akım ve frekans seçilmesi	10
Çizelge 3.2. EDM'de yüzey kalitesi	15
Çizelge 3.3. Numune malzemelerin kimyasal kompozisyonu	34
Çizelge 3.4. Numune malzemelerin özellikleri	34
Çizelge 3.5. EDM çalışma parametreleri	36
Çizelge 4.1. Tornalama operasyonu sonuç tablosu	41
Çizelge 4.2. EDM operasyonu sonuç tablosu	43
Çizelge 4.3. Tornalama ve EDM operasyonu mukayese tablosu	46

GİRİŞ

Konstrüktörler tasarımlarında malzemelerin ekonomik olarak kullanımını göz önünde bulundurmaya zorundadırlar. Mukavemet ve elastisite bilgisinin gelişmesi, giderek daha düşük güvenlik katsayılarının seçimi ve yüklerin daha kesin olarak tahmin edilebilmesi ile, malzeme değişikliğine gitmeden de makine ve yapı elemanlarının daha küçük kesitli olarak boyutlandırılabilmesi mümkün olmuştur. Ancak bu durumda gerilmelerin akma sınırını aşmamasına özen gösterildiği halde, işletme sırasında makine parçalarında kırılmalar gözlenmeye başlanmıştır. Herhangi bir şekil değiştirme yaratmadan ortaya çıkan bu kırıkların, yüksek yüklerin bir kez ve tek yönde uygulanması ile oluşan kırılma yüzeylerinden, görünüşleri bakımından tamamıyla farklı oldukları saptanmıştır. Bu gözlemlere dayanarak kısa bir süre sonra yüklerin veya momentlerin büyüklüğü ve yönünde zamanla değişmelerin söz konusu olduğu durumlarda, statik deneylerle saptanan mukavemet değerlerinin malzemenin davranışını belirlemede yetersiz kaldığı anlaşılmıştır. Böylece bütün bu deneyimler "yorulma dayanımı" kavramının doğmasına neden olmuş ve deneysel olarak yorulma dayanımının, statik dayanım değerinden çok daha düşük düzeyde olduğu saptanmıştır. Yapılan deneylerde, şekil, yüzey durumu, kuvvet iletimi, makine parçasının bulunduğu ortam ve malzemenin iç yapısı gibi değişik iç ve dış etkenlerin yorulma dayanımını değiştirdiği gözlenmiştir. (Avner, 1986)

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

Sırasıyla bu çalışmada 2 tip numune hazırlanacaktır. Bunlardan ilki EDM metodu ile işlenecek, bir diğeri tornalama operasyonuna tabi tutularak talaş kaldırılacaktır. Bu iki farklı işleme yöntemi ile üretilen 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 elemanlarında yorulma, bir makine elemanının, değişken yüklerde, taşıması gereken yük altında kırılması şeklinde tarif edilmektedir (Tauscher, 1974). 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), (Yeşildal, Şen, 2003)

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 arttırır 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 arttırır (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 mm³/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 mm³/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

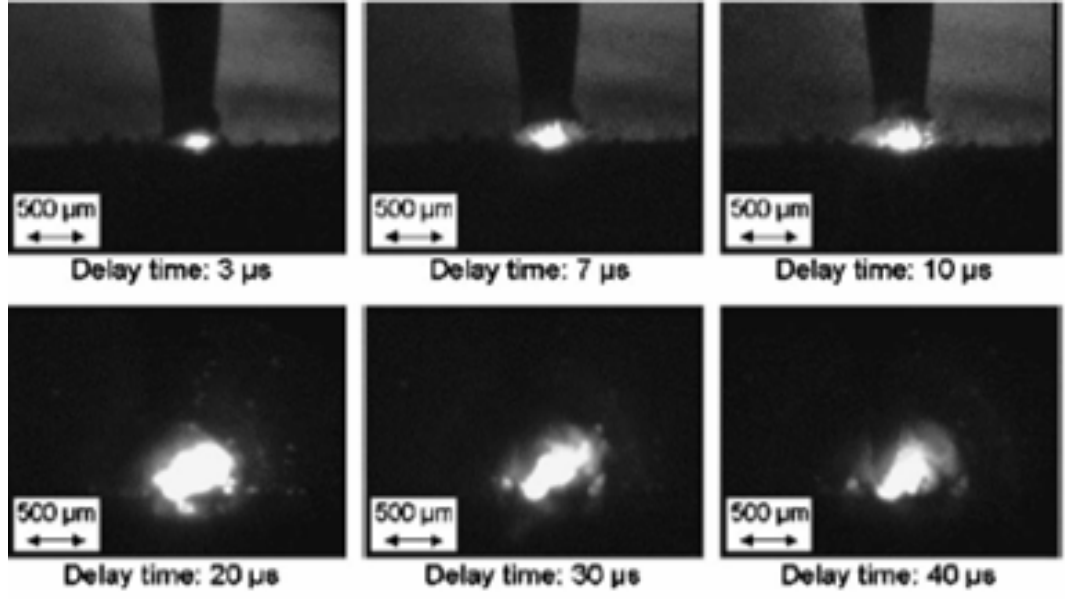
3.1 EDM YÖNTEMİ

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.

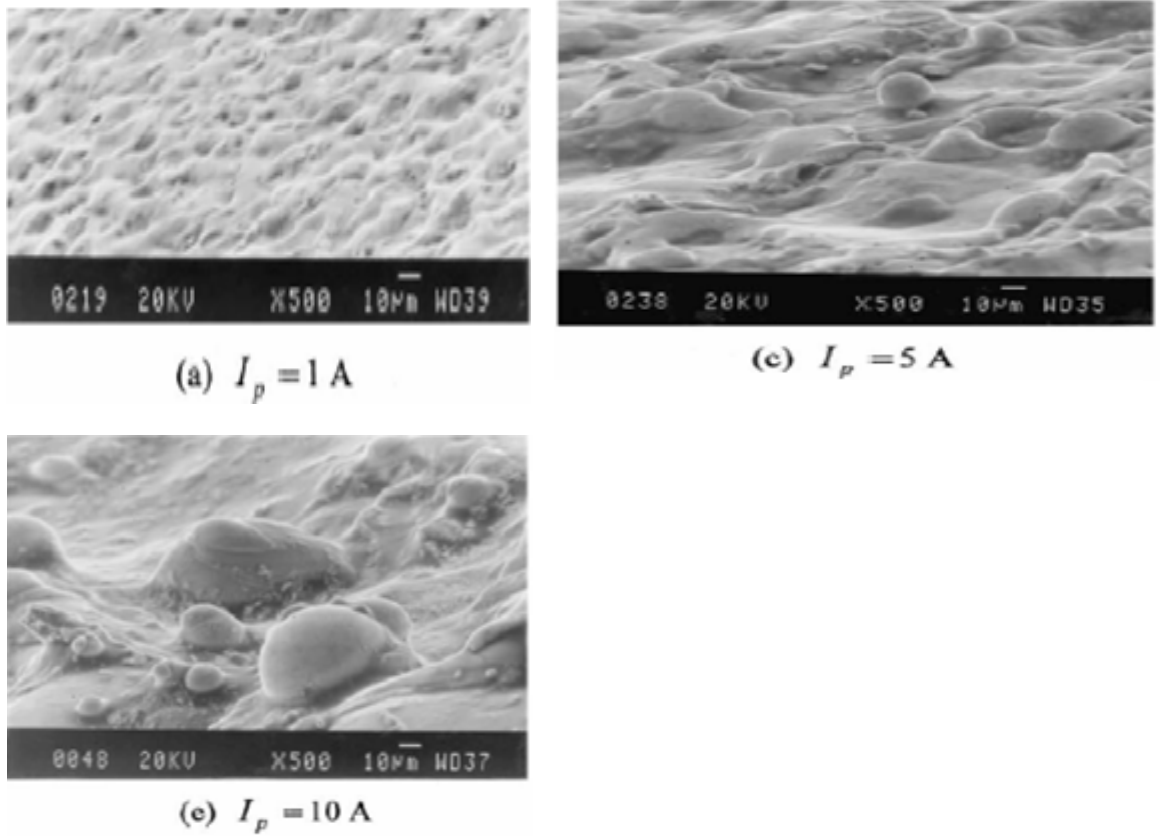
3.1.1 Elektriksel Aşındırma ile İşleme

EDM ile işleme bazen kıvılcımla işleme olarak isimlendirilir. Di elektrik sıvı içerisine 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 3.1'de EDM ile işleme esnasında oluşan plazma arkının şekli yer almaktadır.



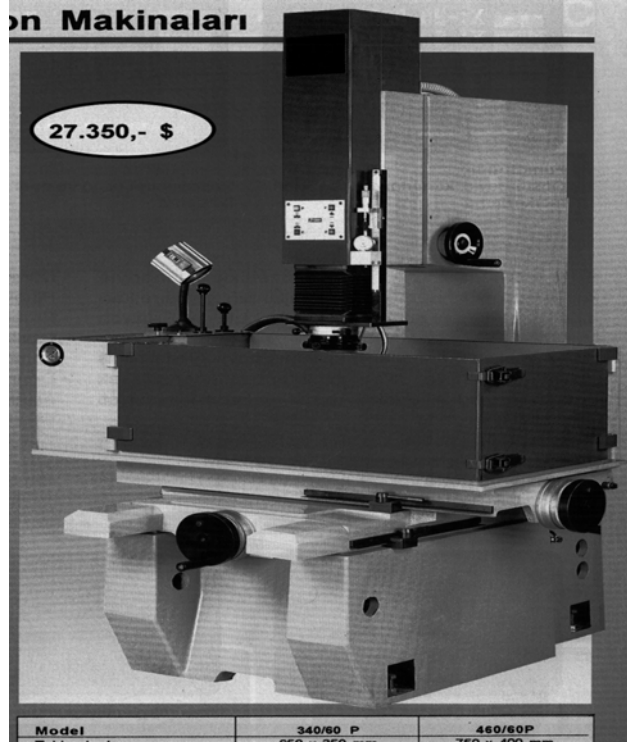
Şekil 3.1. EDM ile işleme sırasında oluşan plazma şekli

Farklı amperaj değerlerinde işleme sonucu oluşan yüzey fotoğrafları ise şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. EDM ile işlenmiş yüzeyde oluşan kraterler (Guu, Hocheng, 2001)

EDM ile malzeme işleme ünitesi freze tezgahına benzetilebilir ve şekil 3.3 de bir EDM fotoğrafı yer almaktadır. İş parçası elektrik iletmeyen bir sıvı içerisine 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 3.3. 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)

3.1.2 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.

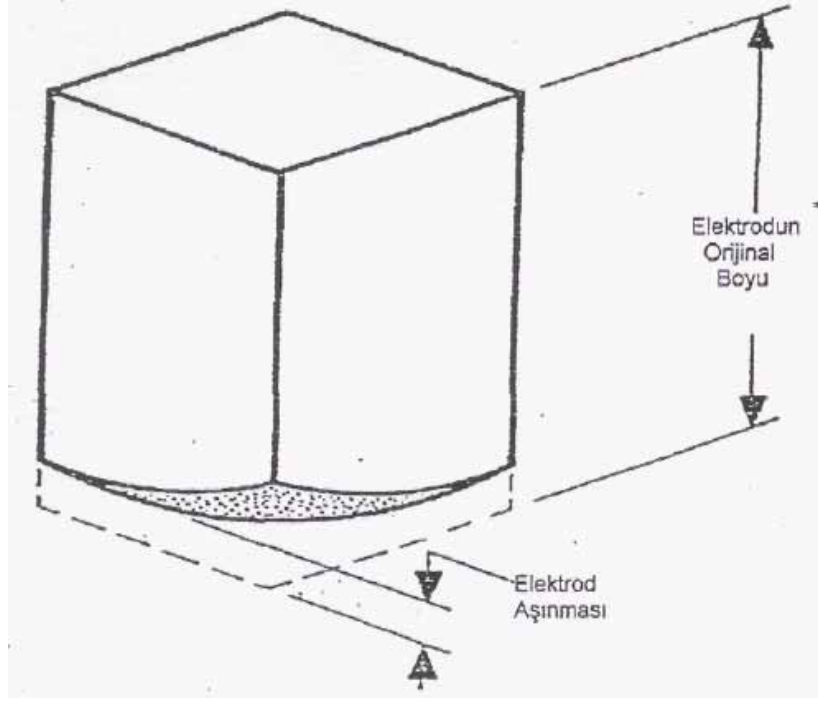
Çinko Alaşımı Elektrodlar

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.

3.1.3 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 3.4'de 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 3.4. 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 üretcin özellikleridir.

R-C devresi ile, vurum 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 İşlenmesi, 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 İstenen 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

Çizelge 3.1. EDM tezgahında işe göre akım ve frekans seçilmesi (Elar Erezyon, 2005)

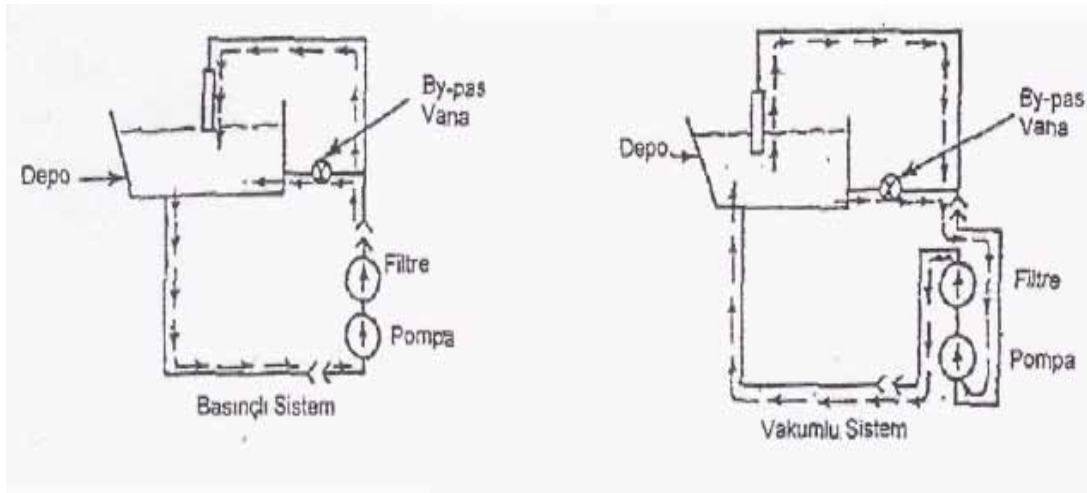
KABA İŞLEME	FREKANS 1 – 15	AKIM 1 – 99	GAP 1 – 16	PWM (%) 5 – 95
ELEKTROD AŞINMASI : EN AZ YÜZEY TEMİZLİĞİ : PÜRÜZLÜ KESME HIZI : AKIM VE PWM YÜKSELDİKÇE ARTAR				
ORTA İŞLEME	FREKANS 16 – 40	AKIM 1 – 22	GAP 1 – 16	PWM (%) 5 – 95
ELEKTROD AŞINMASI : KABA İŞLEMeye GÖRE FAZLA YÜZEY TEMİZLİĞİ : AZ PÜRÜZLÜ 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				

doğrulanmış ve genel bir uygulama olanağı veren kuramsal yada yan kuramsal yayınlar henüz yayınlanmamıştır.

3.1.4 EDM de Kullanılan Dielektrik Sıvı Devresi

Şekil 3.5’de 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. Basınçlı sıvı göndermek yada kirli sıvının vakum ile emilmesi işleme özelliğini geliştirir. Basınçlı, 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 3.5. 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;

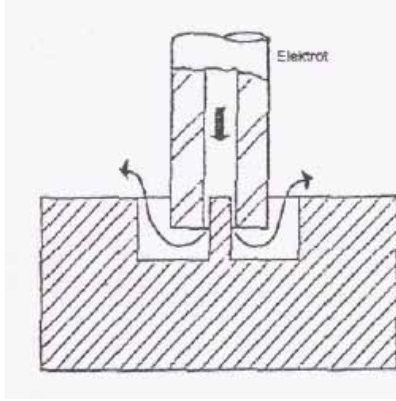
- Normal akış sistemi
- Rezerve akış sistemi
- Püskürtme akış sistemi
- Daldırma sistemi
- Titreşim sistemli

olanlarıdır. (Yavuz, 2003)

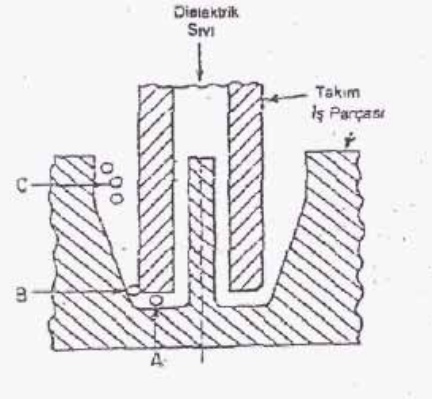
Normal Akış

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.

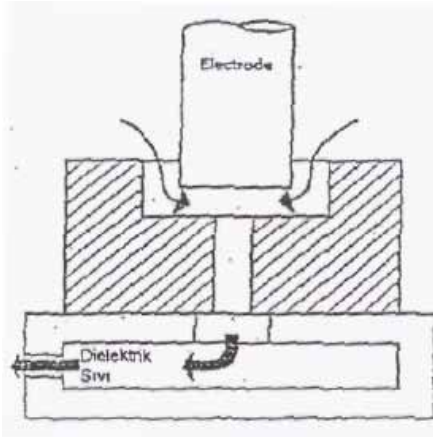
İşlenecek parçada delik açmak mümkün ise, parça altında bir di elektrik sıvı deposu yerleştirilerek, di elektrik sıvı buradan dışa doğru gönderilir. Takımı delmenin zor olduğu durumlarda, (takımın uzun ve küçük kesitli olması durumunda) avantajlı olur.



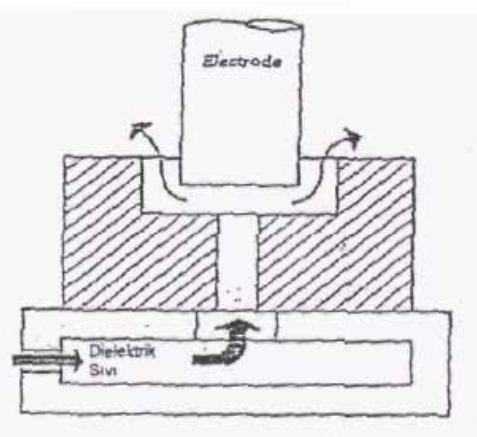
Şekil 3.6. Normal akış sistemi



Şekil 3.7. Normal akış sisteminde istenilmeyen aşınma.



a-Basma ile



b-Emme ile

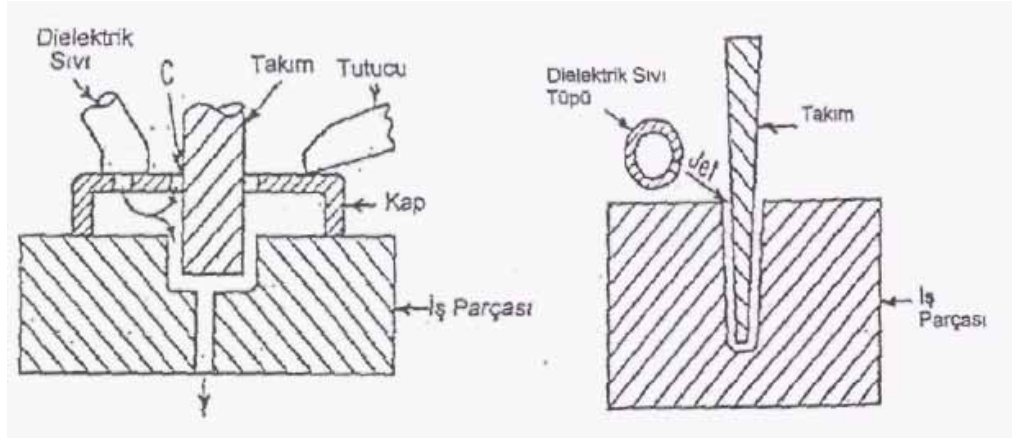
Şekil 3.8. Normal akışın iş parçası içerisinde sağlanması.

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 3.9’da verilmiştir.

Püskürtme Akış

Ark bölgesine di elektrik sıvı püskürtme ile sağlanır. (Şekil 3.10) 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 3.9. Rezerve akış.

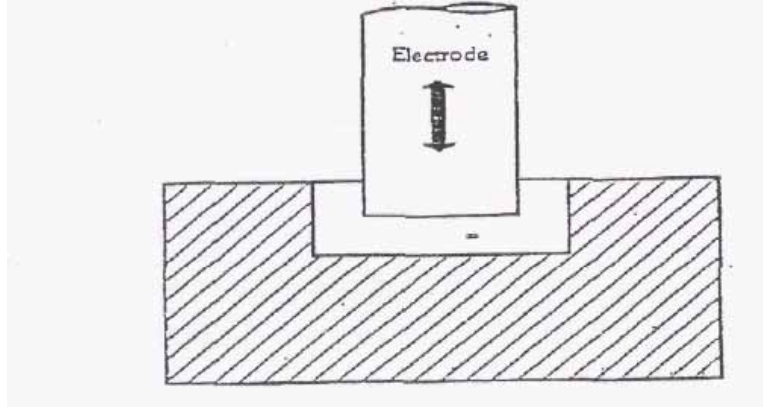
Şekil 3.10. Püskürtme akış

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 3.11’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 3.11. Elektrot titreşimli sistem.

3.1.5 EDM' in İş Parçası Üzerine Etkileri

Elektriği ileten tüm malzemeler sertlik, kırılgnlık, çekme ve akma dayanımı vb. mekanik, fiziksel ve metalurjik özelliklerine bağlı 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 işlemden geçirilmesi önerilir.

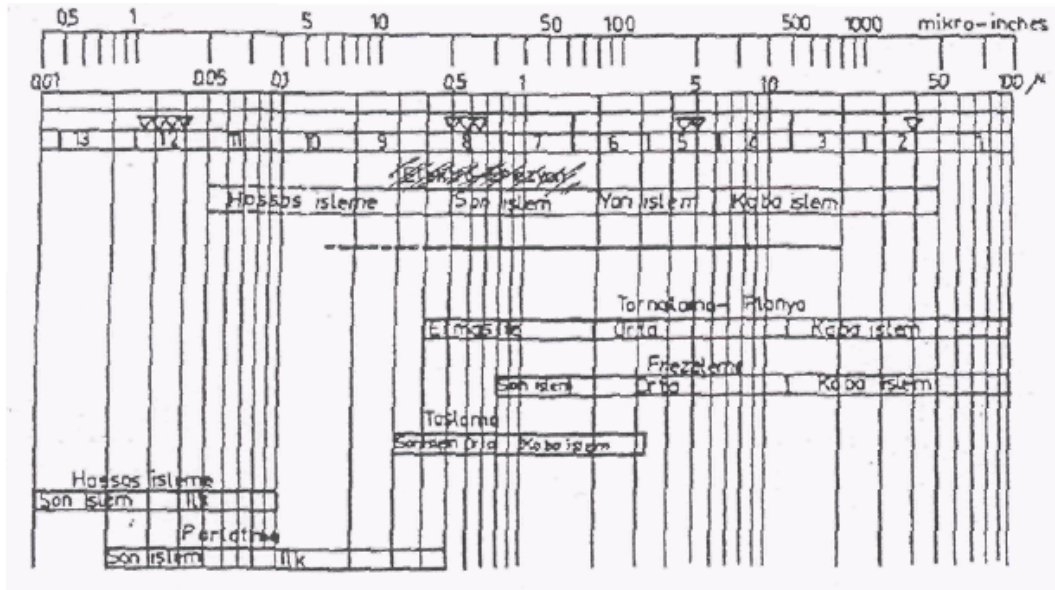
- 1) İş parçasının kendisinde özellikle freze yada olanaklı ise kopya freze ile, kaldırılabilir tüm talaşın kaldırılması ve EDM ile işlemeye en az talaş payı bırakılması sağlanmalıdır. Bunun nedeni alışılmış yöntemlerin her zaman için daha ucuz ve hızlı işleme sağlamalarıdır.
- 2) EDM ile işlemeye önce, 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);

3.1.5.1 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 3.2. EDM'de yüzey kalitesi



3.1.5.2 Metalürjik Değişiklikler

Elektriksel aşındırmada, kıvılcım içinde çok kısa süreler içinde çok yüksek sıcaklıklara çıkıldığından, 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 görünümlü 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. Metalürjik 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

boşalimler ile de elektrot malzemeleri(karbon olabilir) iş parçasına taşınarak alayım 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 bîr başka tabaka gelmektedir. Bu bölgenin sertlik değeri ise ana malzemenin sertlik değeriinden birkaç değeri daha düşük olmaktadır. Bu tabaka temperlenmiş ana malzemenin özelliklerini göstermektedir.

3.1.5.3 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 metalürjik 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 aşığıdaki 3 öneri izlenmelidir;

- İşlenmiş yüzeydeki metalürjik değişikliğe uğramış malzeme kalınlığını en aza indirmek için, son işlemdede 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 artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmektedir.

3.1.6 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 tezgaha tamamlanması her zaman için daha ekonomik görünmektedir. Bunlardan başka;

- Dairesel veya dairesele 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.

3.1.7 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" ısıtma işlemi, doğrultma, yumuşatma, kıymık alma, taşlama, bitirme gibi bazı işlemlerin maliyetlerini indirebilir.
- Elektroerozyonla; ısıtma işlemi görmüş sert parçaları ham malzeme gibi işleyebiliriz. Böylece sertleştirilmiş iş parçalarını işlemek ve ısıtma işlemi 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 elektrodun 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)

3.1.8 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 ısıl işlemle 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).

3.2. YORULMA

Yorulma kırılması, yapısal metallerde en sık rastlanılan hasardır. Ayrıca, yapısal metallerin yanı sıra polimerik katılarda da sık sık yorulma kırılmasıyla karşılaşılır. Akma sınırı aşılmadan uygulanan tekrarlanan yükler altında malzemelerin tahrip olmasına yorulma denir. Yorulma kusurlarının oluşması için sürekli olarak tekrarlanan yükler altında belli bir süre çalışılması gerekmektedir.

Hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri yorulmaya eğilimlidirler. Özellikle uçaklarda, her parça ayrı ayrı akmaya ve geleneksel kırılmalara karşı özel olarak dizayn edilirler. Otomobil aksları ve türbin kanatları gibi güç ileten döner cisimlerde de yorulma önemlidir. Bunların yanı sıra yorulma çevrimsel (tekrarlanan) gerilme etkisi altında kalmayan parçalarda da görülebilir. Örneğin; vinçlerin bomlarında ve köprülerde yorulma meydana gelebilir. İlk önceleri, köprü sadece kendi üzerine gelen ağırlığı taşıdığı için yorulmadan etkilenmediği düşünülüyordu. Köprülerde meydana gelen hasarların kendi ağırlığından kaynaklandığı düşünülüyordu. Seneler süren araştırmalardan sonra trafik yoğunluğunun yarattığı titreşimlerin çevrimsel gerilmelere neden olarak köprülerin yorulmasına neden olduğu ortaya çıkmıştır (Aydın, 1999)

Metalik parçaların işletme durumundaki hasarlarının 90%'ının yorulmadan kaynaklandığı kabaca hesaplanmıştır. Bir yorulma kırığı, çoğunlukla kolaylıkla görülebilecek çizgisel bir yüzey (kumsala benzer) sergiler.



Şekil 3.12. Çatlağın başlangıç, yayılma ve ani kırılma bölgeleri (Meyers, Chawla, 1999).

Örneğin Şekil 3.12'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).

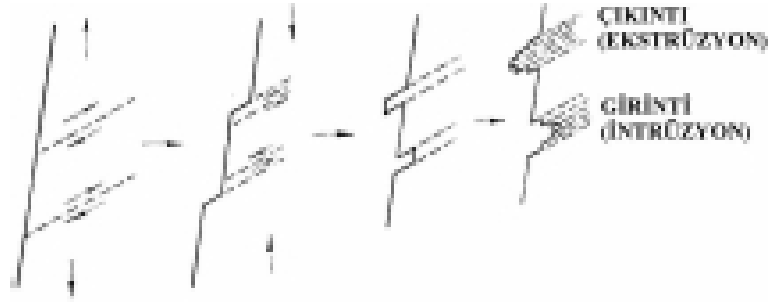
3.2.1 Yorulmanın Mekanizması

Bu bölümde, yorulmayı oluşturan temel mekanizmalar olan yorulma çatlak oluşum (çekirdeklenme) ve yayılma mekanizmaları tanıtılacaktır (Saatçı, Tahralı, 2003).

3.2.1.1 Yorulma Çatlaklarının Başlaması

Yorulma çatlakları çoğu malzemede tekil ve süreksizliklerde oluşur. Süreksizlikler malzemenin içinde veya dış yüzeyinde olabilir. Tekillikler yapısal (kalıntı veya ikinci faz parçacıkları gibi) veya geometriksel (basamaklar gibi) olabilir. Yüzeydeki yorulma çatlaklarının başlangıcı, yüzeydeki plastik deformasyonun daha kolay olması ve kayma basamaklarının yüzeyi oluşturduğu gerçeğine dayandırılabilir. Kayma basamakları tek başlarına bir yorulma çatlak başlatabilecekleri gibi, yapısal veya

geometrik hatalarla etkileşime girme ile de çatlak oluşturabilirler. Yüzey tekillikleri ilk baştan beridir var olabilir veya dinamik yüklenme sırasında oluşabilir (örneğin metallerde kalıcı kayma bantları olarak adlandırılan ve bakır ile nikelde ilk kez Thompson tarafından gözlemlenmiş girinti (intrüzyon) ve çıkıntılar (ekstrüzyonların



Şekil 3.13. Kayma bantlarında yorulma çatlağının başlaması (Meyers, Chawla, 1999)

oluşumu). Dislokasyonların hareketi yüzeyde girinti ve çıkıntı oluşturur. Şekil 3.13'de yüklenmeye bağlı olarak girinti ve çıkıntıların nasıl oluştuğu görülmektedir. Bir girinti (intrüzyon) peş peşe gelen çevrimlerde devam eden plastik deformasyon ile büyüyebilir ve bir çatlak oluşturabilir.

Magnezyum, titanyum ve bunların alaşımları gibi hekzagonal kafes yapılı malzemelerde çatlak başlangıcı için ikizlenmeler önem taşırken, alüminyum, yüksek dayanımlı çelikler ve çoğu polimerler gibi ticari malzemelerde genelde kalıntı ve ikinci faz parçacıkları baskın çıkar. Büyük gerilme genliklerinde veya tane sınırını gevrekletiren yabancı maddelerin bulunması halinde (örneğin demir içinde bulunması) tane sınırları çatlak başlangıcı için O2 önem kazanmaya başlar. Çatlağı başlattıran bazı mekanizmalar Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Yorulma çatlağını başlattıran bazı mekanizmalar (Meyers, Chawla, 1999).

Yorulma hasarlarının çoğu malzemenin yüzeyinden başladığından, yüzeyin durumu çok önemlidir. Yüzeyi parlatmak malzemenin yorulma dayanımını önemli derecede arttırabilir. Yorulma ömrünü arttırmak için çok önemli teknolojik bir yöntem ise küçük metal kürelerin hızlandırılıp yüzeye çarptırılması suretiyle yüzeyin bombardımanıdır. Bu bombardıman sonucu yüzeyde kalıntı bir basma gerilmesi oluşur. Bu yöntem endüstride rutin olarak kullanılmaktadır.

3.2.1.2 Yorulma Çatlağının Yayılması

Büyük gerilme genliklerinde yorulma ömrünün çok büyük bir kısmı (yaklaşık 90%) çatlağın yayılmasında (yani büyümesinde) harcanmaktadır. Çentik içeren bir parça için bu oran daha da büyük olmaktadır. Çoğu gerçek parçada çatlak benzeri eksiklikler bulunduğundan, çatlak yayılma bölümü daha da önem kazanmaktadır.

Çatlak yayılması hakkında az bir bilgiye sahip olunmasına rağmen çoğunlukla çekirdeklenme prosesinin büyümesi şeklinde düşünülür. Çatlak yayılmasının birinci aşamasında (Aşama I) birkaç çatlak yüzeyde çekirdeklenir ve yayılmaya başlar. Örneğin yüzeydeki bir kayma bandında çatlak bir kere oluştuğu, bir tane sınırına ulaşınca kadar kayma bandı boyunca ilerler. Bu andan itibaren, gerilme eksenine dik yönde baskın bir çatlak yayılımı başlar. Buna Aşama II denir. Çatlak ucundaki gerilme birikimi bölgesel plastik deformasyona neden olur. Çatlak büyüdükçe plastik deformasyon artar ve numunenin kalınlığıyla karşılaştırılabilir büyüklüğe gelir. Bu büyüklüğe erişildiğinde kırılmanın son evresi oluşur. (Aşama III)

3.2.2 Çevrimli Yükleme

Genel olarak makine elemanları üzerine etkiyen yükleme şekilleri üç grupta toplanmıştır. Bunlar kısaca;

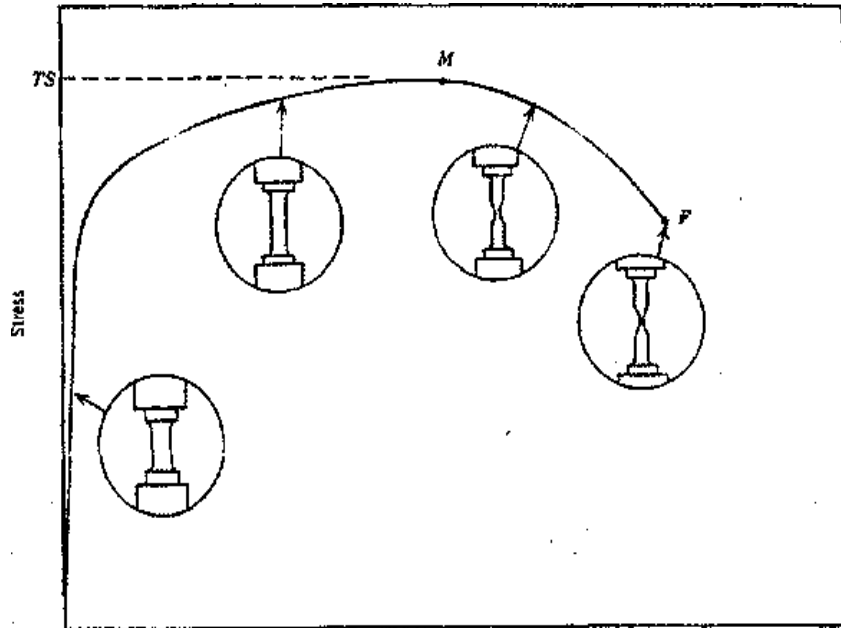
- a) Sürekli artan kuvvet: sadece malzeme muayene deneylerinde rastlanabilecek bir kuvvettir.
- b) Statik kuvvet: Değeri zamanla değişmeyip sabit kalan kuvvetlerdir. Etkiyen kuvvet statik karakterli ise oluşturduğu gerilmenin, malzemenin emniyet gerilmesinden küçük olup olmadığı kontrol edilmesi yeterli olacaktır.
- c) Dinamik kuvvet : Değeri zamanla değişen kuvvetlerdir.

Makine elemanlarına etkiyen dinamik kuvvetlerde değişme çoğunlukla periyodiktir ve Bach y¼kleme Őekillerini; Statik, Titreşimli, Tam değişken olmak kaydı ile ¼¼ grupta toplamıŐtır.

En b¼y¼k gerilme akma gerilmesinden k¼¼¼k bile olsa ¼ok sayıdaki gerilme deęiŐmelerinden dolayı kopmanın meydana gelebileceği iyi bilinen bir haldir. Buna malzemelerin yorulması olaya da yorulma kopması denir. Burada kopma ve ayrılmanın ilk nedeni, y¼k¼n Şiddetinden ¼ok, onun periyodik olarak uzun bir s¼re değişmesidir. Kırılma makro veya mikro seviyedeki bir ¼atlaktaki ¼ekme gerilmeleri ile başlar.

¼atlak u¼, gerilme y¼kseltici olarak etki eder ve b¼y¼ce uygulanan y¼k¼ taşıyamaz hale gelinceye kadar ¼atlaęın b¼y¼mesine sebep olur. Yorulma kopmasının yaŐanmadıęı durumlarda da s¼z konusudur. ¼rneęin, yumuŐak ¼elięin yorulma kırılmasının meydana gelmediği bir sınır mukavemet değerinin var olduğu bilinmek olup, al¼minyum alaŐımlarında b¼y¼ce bir sınır yoktur.

Bu farkların sonucu olarak iki tasarım metodu vardır. YumuŐak ¼elik gibi bir malzemede ger¼ek gerilme sahası sınır mukavemetin altında tutulabilir. Gerilme deęiŐiminin en zararlı Şekli gerilme sahasının 2σ olduğu $\pm\sigma$ sınırları arasında değişen tam değişken zorlanmadır. Gerilme sahası 0 ile $+\sigma$ arasında değişen titreşimli zorlama daha az zarar vericidir.



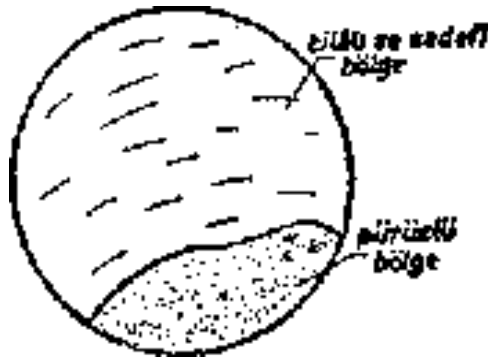
Şekil 3.15. Gevrek malzemelerde gerilme uzama değişimi.

Malzeme bir defaya mahsus yavaşça artan yükler altında denendiği zaman belirli bir sınır gerilmeye mukavemeti sona ermekte, kopmaktadır ve bu da gerecin statik mukavemetidir.

Hal böyle olmakla beraber deneyler gösteriyor ki, yükü belirli iki düzeç arasında tutarak, periyodik olarak değiştirmek ve değişimin sayısını yeter derecede yüzbinlerce arttırmakla bir malzemeyi statik sınırların çok altında da harap etmek kabildir. Yükleme ve boşaltmanın periyodik olarak çok tekrarı, cisim içinde meydana gelen termik ve mekanik olaylar yüzünden bünyede çözülme, yıpranma ve ayrılmalar doğurmaktadır. Burada kopma ve ayrılmanın ilk nedeni, yükün şiddetinden çok, onun periyodik olarak uzun bir süre değişmesidir. İç mekanizması çok karışık olan bu olaya kısaca malzemenin yorulması denir.

Yorulmada kopma, çok defa, yüksek gerilmeli veya iç bünyede hata bulunan bir noktadan başlar, yükleme ve boşaltmanın tekrarlanmasıyla bu gevşek yerde ilerler, yıpranma yavaş yavaş bütün kesite yayılır. Cisimde, statik denemede olduğu gibi, büyük ve haber verici bir uzama ve büzülme görülmez. Yıpranarak ayrılma yeter derecede ilerledikten sonra, kesitin geri kalan kısmı yükü taşıyamaz hale gelir ve birden bire kopma olur.

Periyodik değişen yüklerden ileri gelen kopmalarda kopma kesiti ilgi çekicidir. Şekil 3.16' da böyle bir kesit şematik olarak görülmektedir.

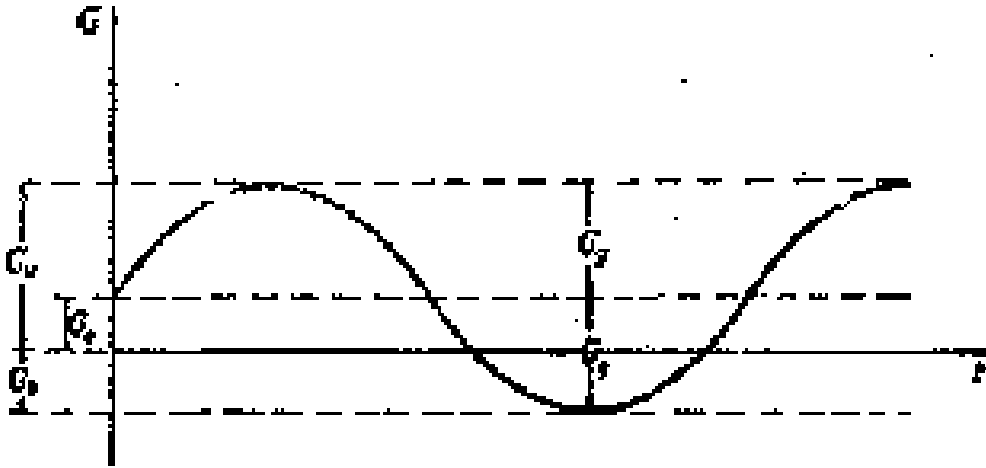


Şekil 3.16. Yorulma kopmasında kesitin görünüşü.

Kesitte birbirinden çok farklı iki bölge göze çarpar; biri zamanla yıpranmadan doğan ayrılmaya ait cilalı ve sedefli olan bölge, diğeri ise sonunda zorla kopmanın

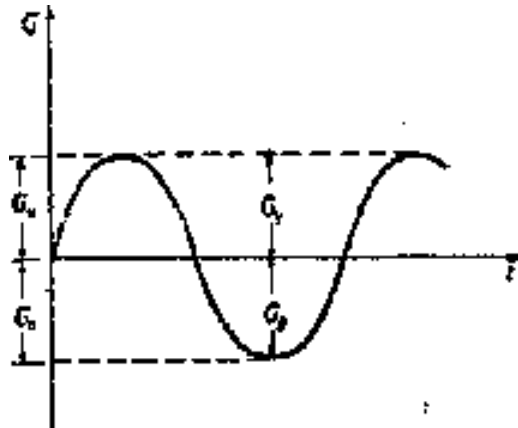
meydana getirdiği pürüzlü bölgedir. Statik denemelerdeki kopma kesitinin başka karakterler gösterdiği unutulmamalıdır.

Yorulmayı yapan sınır yükler azaltıldığı zaman cismin kopması için gerekli yük değişim sayısı artmaktadır. Değişim sayısı ne kadar çok olursa olsun, hiçbir zaman kopma oluşturmeyen yükün ekstrem değerlerine, cismin sürekli mukavemet sınırları denir. Uygulama yönünden bu mukavemet sınırları çok önemlidir. Periyodik yükler altında gerecin özelliklerini en doğru, denemeler gösterebilir.



Şekil 3.17. Çekme ve basma şeklinde uygulanan değişken zorlanma.

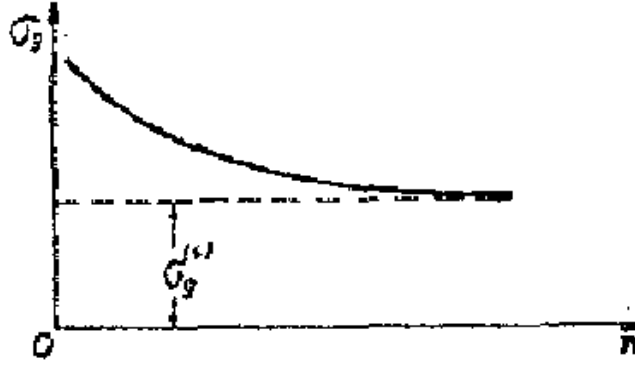
Periyodik olarak değişen yükler altında yapılan denemede σ_u ve σ_a sınırlarının aynı veya farklı işarete olmaları malzemenin mukavemeti üzerine çok tesir eder, diğer bir deyimle malzeme sırasıyla çekme ve basma tipinden zorlamalara maruz kalmaktadır. Bu hal cismin iç yıpranmasını kolaylaştırır. Şekil 3.18'de ortalama gerilmesi sıfır olan $\sigma_u = -\sigma_a$ tam harmonik titreşim hali gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Tam değişken zorlanma şekli.

Her hangi $\sigma = \sigma(t)$ fonksiyonu ile verilen periyodik bir yükleme, daima sabit olan bir ortalama gerilmenin üzerine, harmonik gerilme değişiminin bindirilmesinden meydana geldiği düşünülebilir, yani $\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_g \sin(\omega t)$ ifadesi yazılabilir. Periyodik olarak değişen yükler altında denemede řu yoldan hareket edilebilir; önce bir σ_0 ortalama gerilmesi seçilir ve bir deneme grubunda bu değer sabit tutulur. Bunun üzerine, genlik gerilmesi farklı şiddette olmak üzere, birçok harmonik titreşimler bindirilerek deneme yapılır ve malzemenin bu tip bir zorlamadan kaç adet değişimi (cycle) kaldırdığı araştırılır. Malzeme kopuncaya kadar geçen yük değişim sayısı n değeri, pülzator üzerindeki sayıcıdan okunur.

Deneyler, σ_g genlik gerilmesi azaldıkça cismin kaldıracabileceği n yük değişim sayısının artacağını gösteriyor. Şekil 3.19'da σ_g , n bağıntısı grafik olarak verilmiştir.



Şekil 3.19. Gerilme genliği σ_g ile yük tekrar sayısı n 'in değişimi.

Wöhler eğrisi adını alan ve bir seri denemeden elde edilen bu eğrinin en önemli karakterlerinden biri de n eksenine paralel bir asimptota sahip olmasıdır. Uygulamada, çelik için asimptotik değer olarak $n=10 \cdot 10^6$ değişim sayısına karşı gelen gerilme kabul edilir. Hafif madenlerde ise $n = 30 \cdot 10^6$ kadar değişime dayanıklılık gösteren gerilme asimptotik değer sayılır, $\sigma_g^{(s)}$ ile gösterilen bu asimptotik değer, ortalama gerilme ile $\sigma_0 = \text{sabit}$ için: $\sigma_u^{(s)} = \sigma_0 + \sigma_g^{(s)}$ ve $\sigma_a^{(s)} = \sigma_0 - \sigma_g^{(s)}$ gibi iki sınır gerilme elde edilir. Bunlara malzemenin sürekli mukavemet sınırları denir. Malzemeyi bu iki sınır arasında değişen yüklerle, değişme sayısı ne kadar çok olursa olsun, koparmak mümkün olmaz. Sürekli mukavemet sınırlarının dışındaki hallerde cisim sonlu bir n sayısından sonra, mutlaka harap olur, diğer bir deyişle cismin kuvvetlere karşı gösterdiği dayanıklılık belirli bir zaman içindir.

Yukarıdaki açıklamadan anlaşıldığına göre sürekli mukavemet sınırları belirli bir ortalama gerilme için bulunmuştur. Bu ortalama gerilme değiştirilecek olursa asemptotik genlik gerilmesi değişir ve dolayısıyla cismin sürekli mukavemet sınırları da değişir.



Şekil 3.20. Ortalama gerilme ile genlik gerilmesinin değişimi.

Bu ilişkide görülen en karakteristik taraf, ortalama gerilme arttıkça asemptotik genlik gerilmesinin azaldığı, diğer bir deyimle sürekli mukavemet sınırlarının birbirlerine yaklaştığıdır. İstatistik ilkelerine göre yapılan deneyler malzemelerin sürekli mukavemet sınırının, kopma mukavemet sınırına bağlı olduğunu göstermiştir. Buna göre, ortalama olarak yani %50 bir güvenilirlik için malzemelerin sürekli mukavemet sınırları aşağıda verilen bağıntılarla tayin edilebilir (Babalık, 1997).

Çelikler –Eğilme :

$$\sigma_K \leq 140 \text{ daN/mm}^2 \text{ olan çelikler : } \sigma_D = 0,5 \sigma_K$$

$$\sigma_K > 140 \text{ daN/mm}^2 \text{ olan çelikler : } \sigma_D = 70 \text{ daN/mm}^2$$

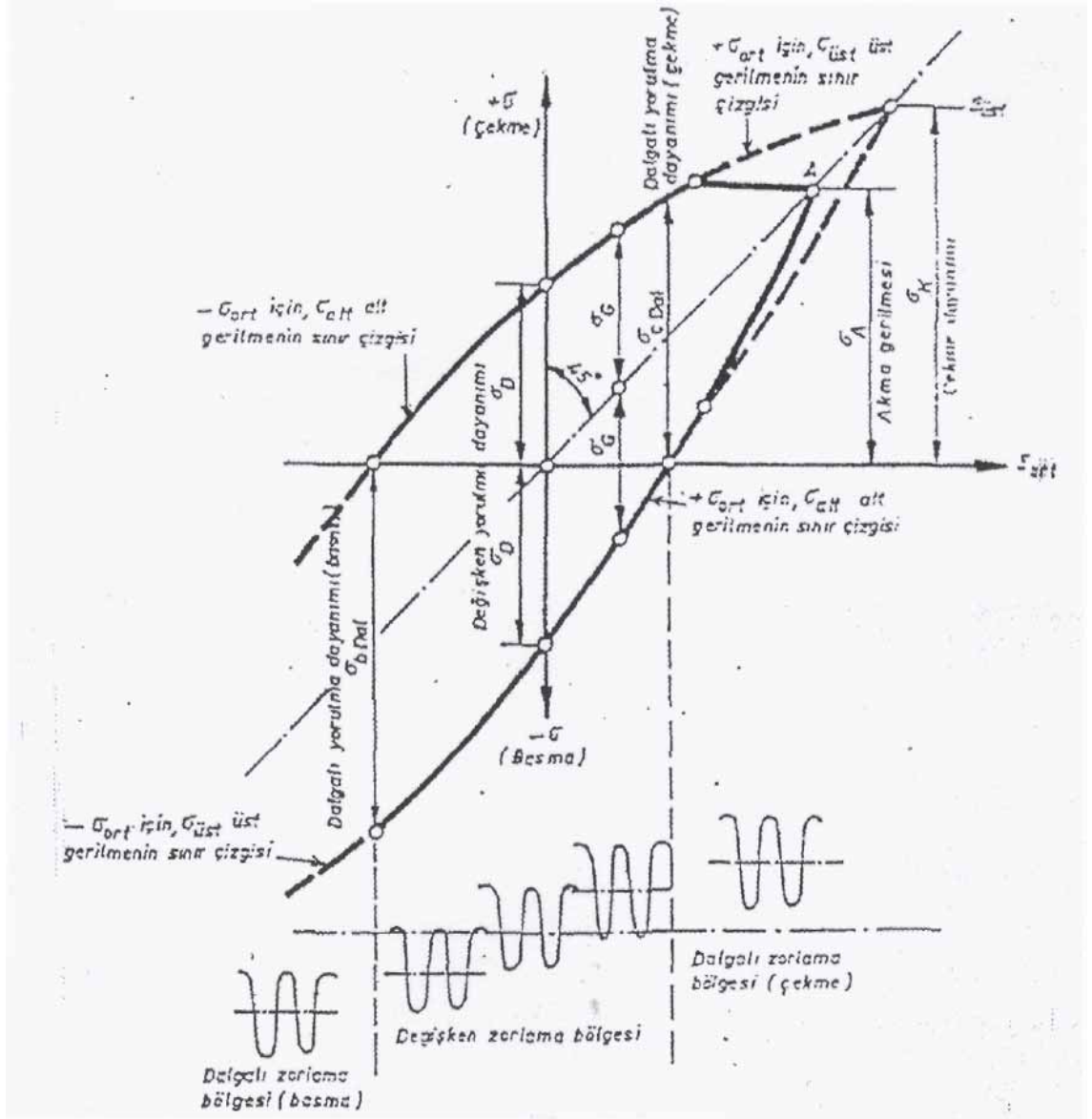
$$\text{Dökme demir ve dökme çelik- Eğilme: } \sigma_D = 0,4 \sigma_K$$

Bu değerler tam değişken zorlanma için geçerlidir. σ_D = Sürekli Mukavemet sınırı

3.2.3 Yorulma Mukavemetinin Smith Diyagramı ile Gösterilişi

Değişken ve dalgalı bölgeler için saptanmış bir sıra Wöhler eğrisinden elde edilen sonuçlar yorulma dayanımı diyagramlarında toplu olarak verilebilir. Bu diyagramlar her zorlama şekli için ortalama gerilme, gerilme genliği, alt gerilme ve üst gerilme arasındaki bağıntıları grafik olarak gösterir.

Yorulma dayanımına etki eden zorlama değerleri arasındaki bağıntıları en açık şekilde belirttiği için makine mühendisliğinde genellikle Smith Yorulma Dayanımı



Şekil 3.21. Çeki-Bası zorlamaları için Smith yorulma mukavemeti diyagramı

Diyagramı kullanılır ve diyagram şekil 3.21’de verilmiştir. Birbirine dik iki eksen den apsise ortalama gerilmeler, ordinata ise herbir ortalama gerilmeye ait yorulma dayanımının alt ve üst gerilmeleri taşınır. Değişik ortalama gerilmeler için bulunan noktaların birleştirilmesi ile alt ve üst gerilmelerin sınır çizgileri elde edilir. Ordinat ekseninin sağında üst sınır çizgisi üst gerilmeleri, alt sınır çizgisi alt gerilmeleri belirler. Ordinat ekseninin solunda ise alt sınır çizgisi üst gerilmeleri, üst sınır çizgisi alt gerilmeleri gösterir. Alt ve üst sınır çizgileri doğrudan çok az saptıklarından çizim kolaylığı bakımından birer doğru ile gösterilebilirler. Apsis ve ordinatta aynı ölçek kullanıldığından 45° açı ile çizilen açıortayı da ortalama gerilmelerin değerini verir ve

gerilme alanı (2 σ_0)'yi ortadan böler. σ_Y - σ_0 olduğuna göre her aort değerine karşılık olan σ_0 diyagramdan okunabilir. Böylece sıfır noktasında malzemenin değişken yorulma dayanımı; alt gerilme sınır çizgilerinin apsisi kestiği noktalarda da çekme ve basma dalgalı yorulma dayanım değerleri bulunur.

Makine parçalarında çoğunlukla kalıcı şekil değişimlerine müsaade edilmediğinden, diyagram üstten akma gerilmesi ile sınırlanır. Akma gerilmesinin üzerindeki yorulma değerleri ancak çok özel durumlar için aranır ve kesikli çizgiyle gösterilen bu bölüm mukavemet hesaplarında kullanılmaz (Gencer, 1994).

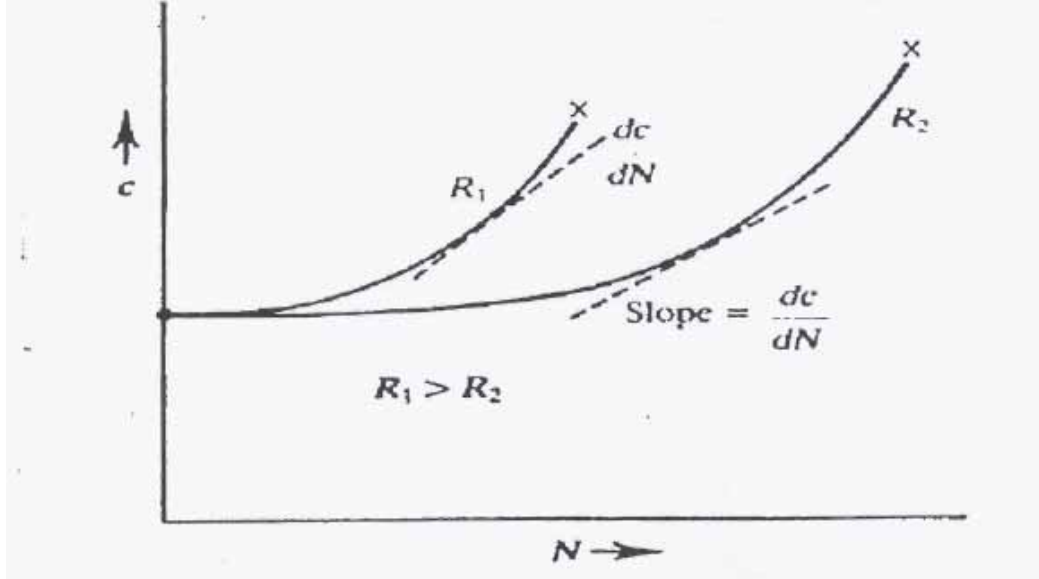
3.2.4 Yorulma Çatlaklarının İlerleme Hızı

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 22 '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 3.22. 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 çatlakları oluşumundaki önemli etkisi gösterilmiştir.

Şekil 3.22'de gösterilen eğrinin eğimi, direkt olarak yorulma çatlakları 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, çatlakların 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, ısıtma 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 bulundurduğu 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. Isıtma işlemlerinin 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 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) malzemedan fiziksel özellikleri aynı, fakat işleme yöntemleri farklı tip numune hazırlanmış ve oda sıcaklığında dönen eğilmeli ankastre kiriş türü yorulma test cihazı yardımı ile yorularak kırılması sağlanmıştır. Bunların sonucunda ortaya çıkan veriler ışığında, işleme yöntemlerinin parçaların yorulma ömürleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

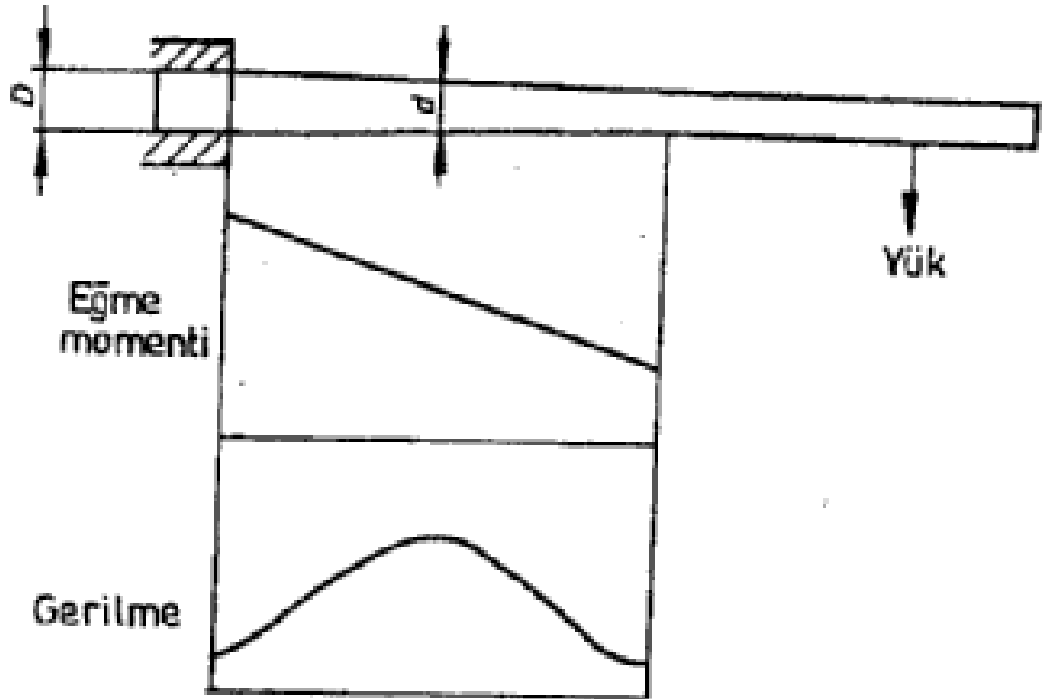
İlgili deneyde kullanılacak yöntemler, deney parçasının şekli ve büyüklüğü, ilgili parçaların hazırlanış biçimleri, parçaların deney düzeneğine pozisyonlanmaları, v.b. standartlar, Türk Standartları Enstitüsünün hazırlamış olduğu TS ISO 1143 METALLER – DÖNEN ÇUBUK EĞME YORULMA DENEYLERİ adlı standart baz alınarak hazırlanmıştır.

3.3.1 Deney Prensibi

10'ar adet olarak hazırlanan tornalanmış ve EDM 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 kiriş 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)

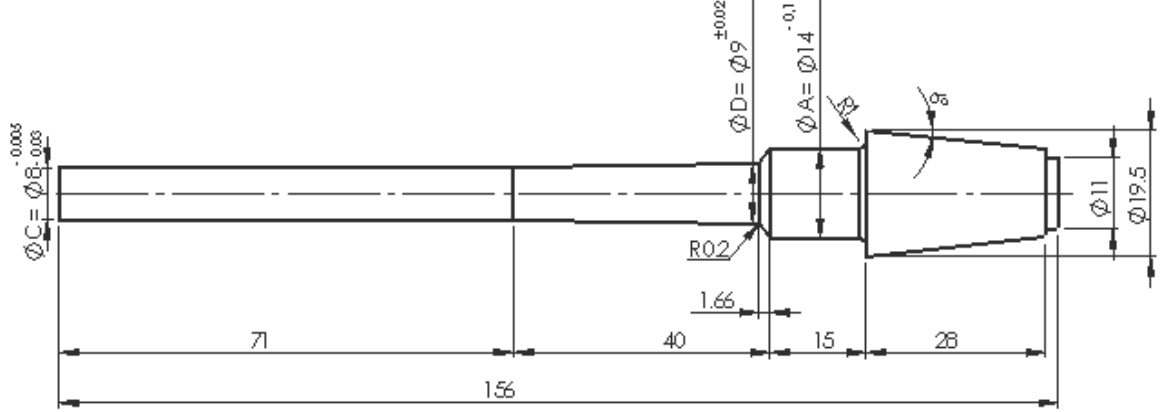
Konik tipi deney numunesi seçilmesinin temel sebebi EDM tezgahında işlenebilme kolaylığı ve hata olasılıklarının minimize edilmesidir. Diğer yandan daha önce yapılan benzer deneylerde deney numuneleri konik yerine silindirik olarak seçilmiş (Ramulu, Paul, Patel, 2001), fakat bu seçimle beraber de numunenin 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 3.23’de ilgili prensip gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Konik deney parçası – Tek nokta yükleme (TSE, Mart 2002)

3.3.2 Deney Numuneleri

Yapılacak olan deneyin sağlam bir zemine oturması ve olağan iç, dış faktörlerin



Şekil 3.24. Nihai deney numunesi

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. Uygulanan kuvvet ve kuvvet kolu doğrultusunda numunelerinin Ø9,00 noktasından kırılabilmesi için gerekli hesaplamalar yapılarak son fiziki boyutlar çıkartılmış ve şekil 3.24’de

Çizelge 3.3. 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 3.4. Numune malzemelerin özellikleri

1.2842 kalite malzemenin özellikleri					
Sıcak Şekillendirme °C	Yumuşatma Tavı °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 3.3’de ve yine aynı malzemenin genel özellikleri ise çizelge 3.4’de verilmiştir (Sthalschlüssel, 1980).

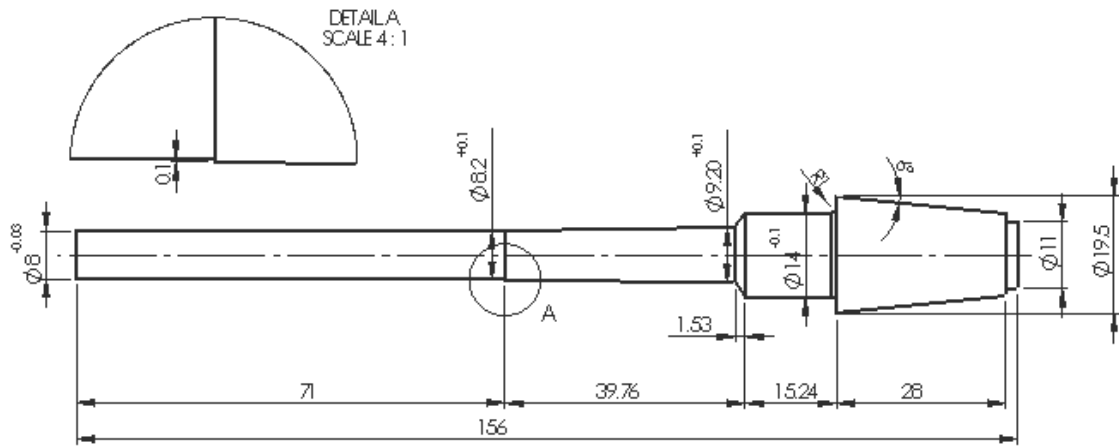
3.3.2.1 Torna Numuneleri

Yağ çeliği 1.2842 malzemeden tek boy halinde önceden hazırlanmış olan hammaddeler, direkt olarak şekil 3.24’de tariflenen nihai hallerine kadar boy halinde ham malzeme beslemesi yapabilen otomat CNC tezgahda tek bağlamada tornalama işlemi yapılmıştır. Burada beslemeli otomat tezgah seçilmesinin avantajı salgı olmaksızın tek sefer de işlenebilmesidir. Ayrıca deney parçalarından talaş kaldırılması esnasında, soğutma sıvısı kullanılarak metalurjik yapısı ve özelliklerinin bozulmamasına gayret gösterilmiştir.

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

3.3.2.2 EDM Numuneleri

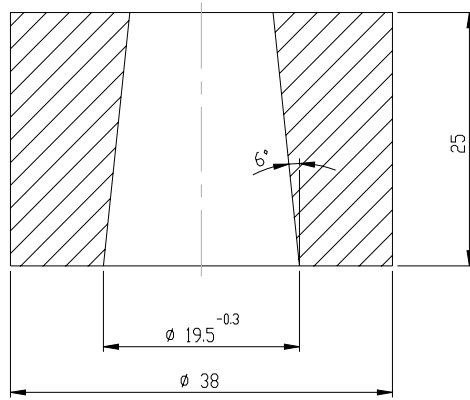
Yağ çeliği 1.2842 malzemeden tek boy halinde önceden hazırlanmış olan malzeme öncelikle tornalama operasyonuna girerek, hammadde beslemesi yapabilen otomat CNC tezgahda tek bağlamada tornalama işlemi yapılarak şekil 3.25’de belirtilen ölçülere getirilmiştir. Bu noktadan sonra ilgili numuneler ajan marka 983 model EDM tezgahına 6°’lik referans yüzeyinden düşey ekseninde bağlanıp işlenebilmesi ve salgılı



Şekil 3.25. EDM öncesi deney numunesi

işleme olasılığını ortadan kaldırılması için şekil 3.26’da 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 3.26. EDM için tutucu aparat

Bu yöntemde yaklaşık 50Hz’lik bir frekans ve 6A’lık bir akım, 27 mm³/dk’lık bir talaş kaldırma hızı ile uygulanarak Ra=6,10µm’lik bir yüzey pürüzlülük değeri beklenmektedir. İşleme koşullarının detayları çizelge 3.5’de verilmiştir (Ajan Erezyon, 2001).

Çizelge 3.5. EDM çalışma parametreleri

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

EDM metodu ile işlenen 10 adet numunenin işleme sonrası gelmesi gereken hedef ölçüler şekil.3.24’de tariflendiği şekliyle olup, işleme sonrası çıkan değerler “Araştırma Sonuçları ve Tartışma” bölümünde yer alan çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 3.27. EDM metodu ile işleme yönteminden bir görüntü

3.3.3 Deneyin Yapılışı

Deneyler, şekil 3.28 ve 3.29'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 3.28. Dönen eğilmeli ankastre kiriş türü yorulma test cihazı – (I)

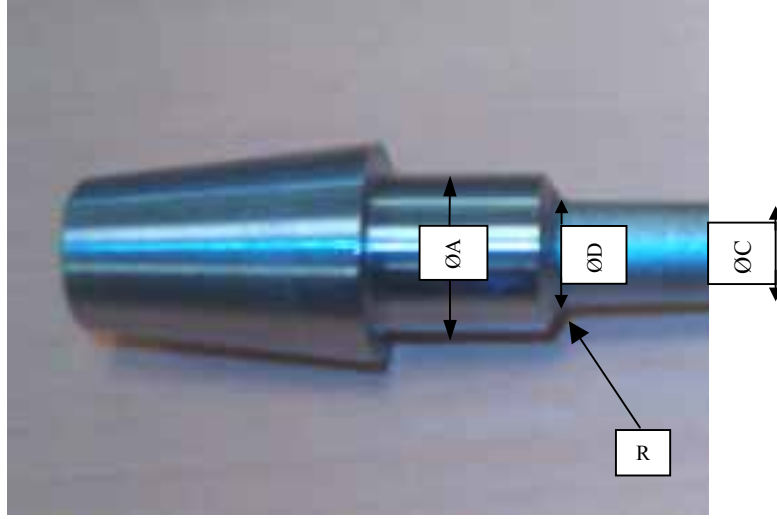
Her bir deney numunesinde, uygulanan yükün meydana getirdiği gerilmeler dışında deney parçası kesitinde oluşabilecek olası gerilmeleri önleyecek tarzda referans yüzeyinden test cihazına yerleştirilmiş ve salgı kontrolleri yapılmıştır. Her 2 tip numune grubuna da dinamometre yardımı ile 200N'luk yük uygulanmış ve tahrip olan numunelerin en büyük ve en küçük kırılma sayıları elemine edilmiştir.



Şekil 3.29. Döner eğilmeli ankastre kiriş türü yorulma test cihazı – (II)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Tornalama ve EDM ile hazırlanan 2 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 10'ar adet deneye tabii tutulan numunelerden 8'er adetinin sonuçları çizelge 4.1 ve çizelge 4.2'de verilmiştir. Diğer yandan deneyde önem teşkil eden ölçülerin genel görüntüsü şekil 4.1'de, daha kapsamlı ölçüler ise daha önce bahsedildiği şekliyle şekil 3.24'de belirtilmiştir.

4.1 Tornalama Numunelerinin Sonuçları

Tornalama metodu ile işlenmiş numunelerin testleri sonucunda, nötr eksene göre en uzak liflerin 20640 ila 32950 defa çeki ve bası gerilmesi altında tamamen koparak parçaların deforme olduğu gözlenmiştir. EDM metodu 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.

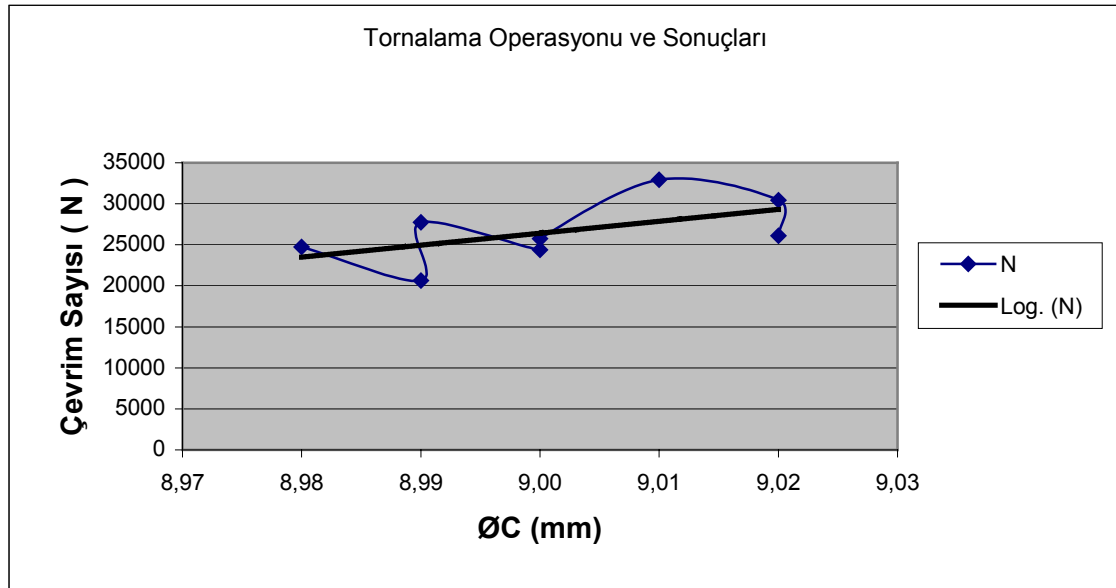
10 adet numunede tekrarlanan deneylerde, kopma veya kırılma noktaları deney öncesi beklendiği şekliyle ØD olarak belirlenmiş olan kesittir. Tornalama işlemi

sonrası oluşan ilgili kesitin ortalama değeri $\text{ØD}_{\text{ort}}=9,00\text{mm}$ ve ortalama kırılma değerleri $N_{\text{ort}}= 26592$ devir olarak saptanmıştır.

Numunelerde işleme sonrası oluşan yüzey pürüzlülük değerleri yapılan ölçümlerde, ortalama yüzey pürüzlülüğü $R_a=6,085\mu\text{m}$, 10 nokta yüzey pürüzlülüğü $R_z=24,58\mu\text{m}$ ve root-mean-square yani rms değeri $R_q=7,06\mu\text{m}$ olarak bulunmuştur.

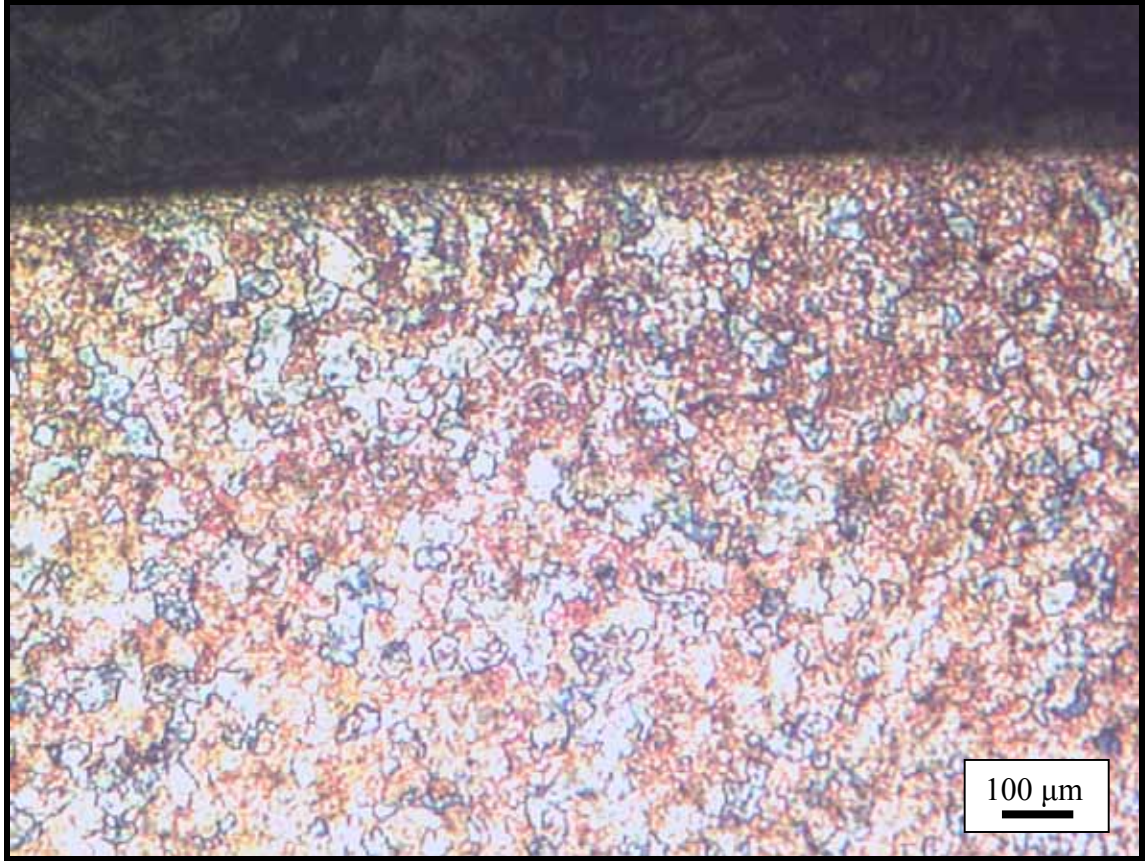
Çizelge 4.1 Tornalama operasyonu sonuç tablosu

Tornalama Sonuçları									
SIRA NO	RESİM DEĞERİ	ÖLÇÜ 1	ÖLÇÜ 2	ÖLÇÜ 3	ÖLÇÜ 4	ÖLÇÜ 5	ÖLÇÜ 6	ÖLÇÜ 7	ÖLÇÜ 8
1	ØA	13,95	13,92	13,96	13,92	13,96	13,92	13,94	13,92
2	ØC	7,98	7,99	7,99	7,98	7,98	7,98	7,99	7,99
3	ØD	8,98	8,99	8,99	9,00	9,00	9,01	9,02	9,02
4	R	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Kırılma Sayısı (N)		24720	20640	27740	24390	25750	32950	30430	26120



Şekil 4.2. Tornalama operasyonu sonuçları

Şekil 4.2’de kritik boğum çapı ile kırılma sayısı arasındaki bağıntı verilmiş ve çapa bağlı artışların çevrim sayısını arttırdığı net olarak görünmektedir. Diğer yandan şekil 4.3’de ise kırılan parçanın mikroskop altında 100 kez büyütülmüş hali görünmekte olup iç yapının genel hatları ile homojen olduğu yorumu yapılabilir.



Şekil 4.3. Tornalanmış numunenin mikroskobik yapısı

4.2 EDM Numunelerinin Sonuçları

İlgili metot ile işlenmiş numunelerin testleri sonucunda, nötr eksene göre en uzak liflerin 15580 ila 22400 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.

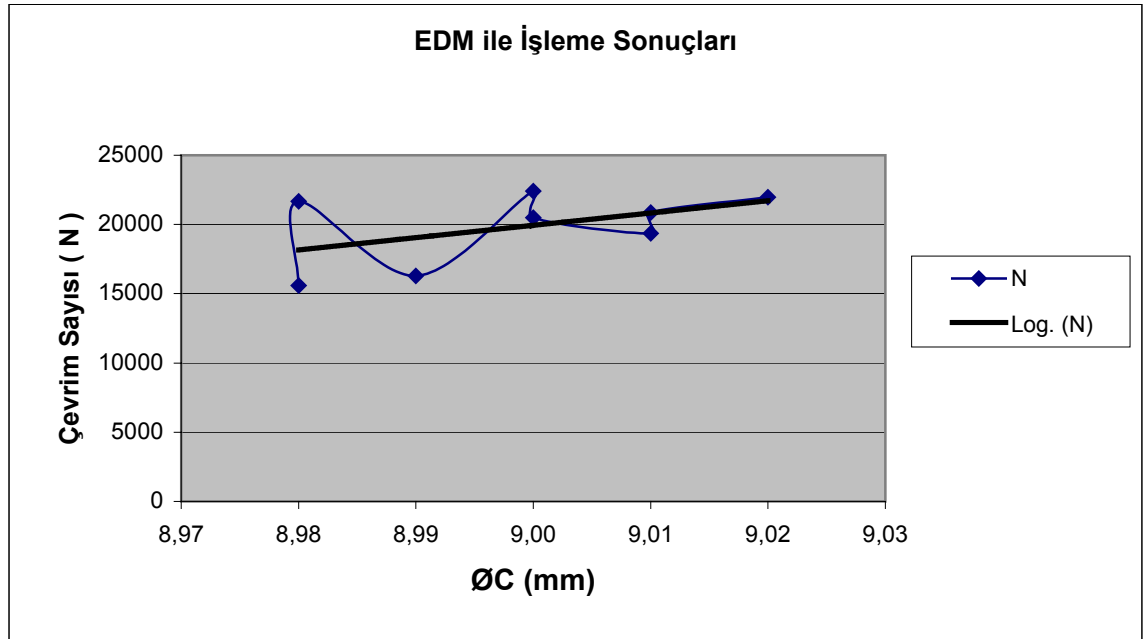
10 adet numunede tekrarlanan deneylerde, kopma veya kırılma noktaları deney öncesi beklendiği şekliyle ØD olarak belirlenmiş olan kesittir. Elektro erezyon işleme sonrası oluşan ilgili kesitin ortalama değeri $\text{ØD}_{\text{ort}}=9,00\text{mm}$ ve ortalama kırılma değerleri $N_{\text{ort}}=19826$ devir olarak saptanmıştır.

Numunelerde işleme sonrası oluşan yüzey pürüzlülük değerleri yapılan ölçümlerde, ortalama yüzey pürüzlülüğü $R_a=7,72\mu\text{m}$, 10 nokta yüzey pürüzlülüğü $R_z=38,25\mu\text{m}$ ve root-mean-square yani rms değeri $R_q=9,46\mu\text{m}$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.2 EDM operasyonu sonuç tablosu

EDM Sonuçları									
SIRA NO	RESİM DEĞERİ	Parça 1	Parça 2	Parça 3	Parça 4	Parça 5	Parça 6	Parça 7	Parça 8
1	ØA (mm)	13,95	13,92	13,96	13,92	13,96	13,92	13,94	13,92
2	ØC (mm)	7,98	7,99	7,99	7,98	7,98	7,98	7,99	7,99
3	ØD (mm)	8,98	8,98	8,99	9,00	9,00	9,01	9,01	9,02
4	R (mm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Kırılma Sayısı N (adet)		15580	21660	16290	22400	20490	19360	20850	21980

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 4.4. EDM operasyonu sonuçları

Sırası ile şekil 4.5'de elektro erezyon ile işlenmiş numunenin deney öncesi hali, şekil 4.6 ve şekil 4.7'de ise deney sonrası tahrip olan numunelerin durumları ve kesit görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.5. EDM ile işlenmiş numune



Şekil 4.6. Kırılan numunenin görüntü fotoğrafı



Şekil 4.7. Kırılan numunenin kesit görüntüsü

Elektro erezyon yöntemi ile işlenerek kırılan numunelerin 100 kez büyütülerek mikroskop altında görüntüsü şekil 4.8’de gösterilmiştir. Burada malzeme çevresinde bulunan, iç yapının farklılık gösterdiği ve yaklaşık kalınlığı 15 μ m ila 45 μ m arasında değişerek süreklilik gösteren kahverengi tonlarda bir tabakanın varlığı söz konusudur. Bu tabaka yüksek ısı altında malzemenin eriyip tekrar soğuyarak oluşturduğu bir nevi sertleştirme operasyonunu ve bununla birlikte oluşan mikro yapı değişikliklerini göstermektedir.

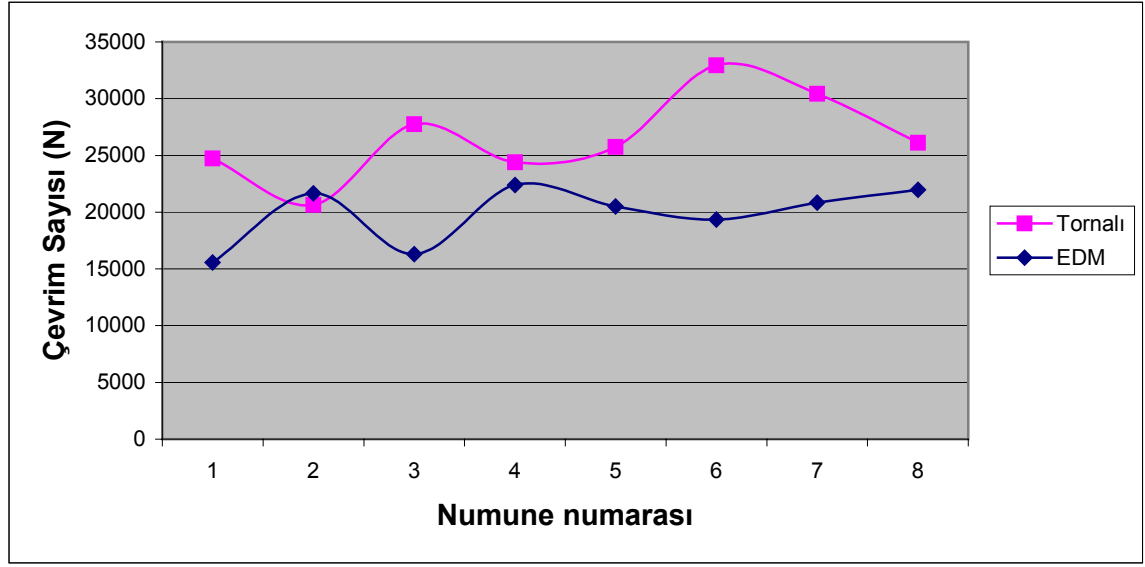


Şekil 4.8. EDM ile işlenmiş numunenin mikroskobik yapısı

Yapılan deneylerin sonucunda tornalanmış numuneler ile elektro erezyon yöntemi ile işlenen numune grupların ömürleri (çevrim sayıları) çizelge 4.3’de verilirken, ömürlere bağlı mukayeseli grafik ise şekil 4.9’da gösterilmiştir. Bu bağlamda tornalanmış numunelerin diğer yöntemlere göre daha uzun süre dayandığı daha net bir biçimde görülebilmektedir.

Çizelge 4.3 Tornalama ve EDM operasyonu mukayese tablosu

Numune tipi	Numune sıra no							
	1	2	3	4	5	6	7	8
EDM	15580	21660	16290	22400	20490	19360	20850	21980
Tornalı	24720	20640	27740	24390	25750	32950	30430	26120



Şekil 4.9. Tornalama ve EDM ile işlenminden geçen numuneler arasında oluşan çevrim sayısı fark grafiği

4.3 Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan araştırma ve deneyler sonucunda her iki tip 8'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 ile işlenmiş üst yüzeyde, yaklaşık 0,015-0,040mm derinliğinde sert bir film tabakası oluşmuş, tornalı numuneler ise doğal sertliğindedir.

-Elektro erezyon ile işleme yönteminde yüzeyin pürüzlük değeri 6A ve 50 Hz işleme parametreleri doğrultusunda, tornalama metoduna göre daha fazladır.

-Yine aynı metotda üst tabakada yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak mikro çatlak oluşmuş, bu da yük altındaki numunelerin ömürlerine olumsuz olarak yansımıştır.

-Tornalanmış numuneler 26592 devirlik bir ömre sahipken, erezyon ile işlenmiş numunelerde %34,13 lük bir ömür kısalması söz konusudur. Bu da 19826 devire karşılık gelmektedir.

-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 ettiği bilinmelidir.

-EDM operasyonunda amper ve voltaj değerlerine bağlı olarak kaba veya ince işleme sonucunda oluşan yüzey pürüzlülükleri, yüzeyden kaldırılan talaş miktarı ve hızı, v.b. parametreler farklı olacağından ömür ile ilgili değişimler beklenmeli ve bunlar ise başka bir tezin konusu olabilir.

- Elektro erezyon ile işleme sonrası oluşan ~40µm'luk sert film tabakasının (recast layer) polisaj, taşlama, kimyasal işleme v.b. ilave bir işlem ile kaldırılması halinde ömür artışı beklenmelidir.

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 diğer alternatif işleme yöntemleri ile kaldırılması sonucunda ömürdeki bu olumsuzluklar giderilebilecektir.

KAYNAKLAR

Ajan Erezyon, (2001); Makine Kullanım Kitapçığı

Avner, S.H. (1986); Introduction to Physical Metallurgy, McGraw – Hill

Aydın, N. (1999); Mühendislik Malzemelerde Yorulma, U.Ü. Bitirme Ödevi, Bursa

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

Çiğdem, M. (1996); İmal Usulleri, Çağlayan Kitabevi

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

Gencer, M. (1994); Makine Parçalarında Çentik Etkilerinin ANSYS Yoluyla Araştırılması, U.Ü. Bitirme Ödevi, Bursa

Guu, Y.H., Hocheng, H. (2001); Improvement of Fatigue Life of Electrical Discharge Machined AISI D2 Tool Steel by TiN Coating, Material Science and Engineering

Meyers, M.A., Chawla, K.K. (1999); Mechanical Behavior of Materials, Prentice Hall

Pobrzansk, L.A., Mazurkewicz, J. (2001); Journal of Material Processing Technology, Vol.113, 527

Ramulu, M., Paul, G., Patel, J. (2001); EDM Surface Effects on the Fatigue Strength of a 15 Vol% SiCp/Al Metal Matrix Composite Material, Material Science and Engineering

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

Shiple, J.E. (1987); Mechanical Engineering Design, McGraw – Hill

Sthalschlüssel, (1980); Çelik Anahtarı Kitabı

Tausher, H. (1974); Metal Fatigue, Oxford University Press, Belfast

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

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 DURMAZLAR firmasına ve çalıőmalarım sırasında bana yardımcı olan herkese teőekkűrű bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Ankara’ da doğdu. Bursa Atatürk Lisesi’ni bitirdi. 1990 yılında başladığı Makine mühendisliği lisans eğitimini, 1995 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olarak tamamladı.

2004 Bahar Yarıyılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

Özel sektörde çeşitli işletmelerde çalışmış olup, halen Durmazlar Makine San. Tic. A.Ş. firmasında yönetici olarak çalışmaktadır.