

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA PARÇALARININ HASAR ANALİZİ

Ayşenur BİRCAN

Danışman: Prof. Dr. Remzi VAROL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2011**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGE DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Hasar Analizi.....	2
1.1.1. Teknolojik hatalar	2
1.1.1.1. Tasarım sırasında yapılan hatalar	3
1.1.1.2. Malzeme içindeki hatalar	3
1.1.1.3. İmalat sırasında yapılan hatalar	3
1.1.1.4. Montaj hataları	4
1.1.1.5. Uygun olmayan çalışma şartları.....	4
1.1.2. Hasar analizinin safhaları	4
1.1.2.1. Geçmişle ilgili bilgi toplamak ve numunelerin seçimi	6
1.1.2.2. Hasara uğramış elemanın ön etüdü	8
1.2. Temel Neden Analizi	23
1.2.1. Hasarın fiziksel temel nedenleri.....	24
1.2.1.1. Tasarımdaki eksiklikler.....	24
1.2.1.2. Malzeme hataları.....	26
1.2.1.3. Üretim hataları	26
1.2.1.4. Servis ömründeki bozukluklar	28
1.3. Hasar Çeşitleri.....	29
1.3.1. Hasarın sınıflandırılması	29
1.3.1.1. Distorsiyon hasarları	30
1.3.1.2. Kırılma	32
1.3.1.3. Korozyon.....	36
1.3.1.4. Yorulma	42

1.4. Malzemelere Uygulanan İşlemler	45
1.4.1. Çekme deneyi.....	45
1.4.1.1. Çekme deneyinde tanımlamalar ve teorik bilgi	47
1.4.1.2. Deneyin yapılışı	50
1.4.2. Basma deneyi	52
1.4.2.1. Deneyin amacı.....	52
1.4.2.2. Deneyin yapılışı	52
1.4.2.3. Teorik bilgi.....	54
1.4.3. Çentik darbe deneyi	55
1.4.4. Üç nokta eğme deneyi.....	56
1.4.5. Sertlik deneyi	57
1.4.5.1. Brinel sertlik deneyi	57
1.4.5.2. Vickers sertlik deneyi.....	58
1.4.5.3. Rockwell sertlik ölçme yöntemi.....	59
1.4.5.4. Knoop's sertlik ölçme yöntemi	60
1.4.6. Isıl işlemler.....	61
1.4.6.1. Tavlama işlemi	61
1.4.6.2. Yüzey sertleştirme işlemleri ve yüzey sertleştirme yöntemleri	64
1.4.6.3. Temperleme.....	68
1.5. Malzemelerde Aşınma	70
1.5.1. Aşınma çeşitleri.....	73
1.5.1.1. Adhesiv aşınma	73
1.5.1.2. Abrasiv aşınma.....	73
1.5.1.3. Yorulma aşınması	73
1.5.1.4. Korozi aşınma	74
1.5.2. Aşınma hasarlarının analizi.....	74
1.5.2.1. Aşınmış yüzey	74
1.5.2.2. Çalışma ortamı	75
1.5.2.3. Aşınma parçacıkları	75
2. KAYNAK	76
3. MATERYAL VE YÖNTEM	91
3.1. Materyal	91

3.2. Yöntem.....	94
3.2.1. Deneysel çalışmalar	94
3.2.2. Metelografik çalışmalar	94
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	95
4.1. Sertlik Deney Sonuçları	95
4.2. Metelografik Çalışma sonuçları	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
6. KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	103

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MAKİNA PARÇALARININ HASAR ANALİZİ

Ayşenur BİRCAN

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Remzi VAROL

Malzemelerde oluşan hasarın incelenip önceden saptanabilmesi, hasarları önleyebilmek için çok büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı bazı makina parçalarında meydana gelen erken hasarın önlenmesi ve kalitenin artırılması için yapılabilecek uygun tasarım düzeltmelerini yapmaktır.

Çalışmanın ilk bölümünde hasar konusunda genel bilgi verilmiştir. Daha sonra malzemelerin genel özelliklerinden ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Bu çalışmada 3 farklı malzeme seçilip, bu malzemelere sertlik deneyleri uygulanmış, parçaların kırık yüzeyleri metalografik incelemeye tabi tutulmuştur. İşlemler sonucunda malzemelerin yapılarında ve özelliklerinde oluşan değişimler incelenmiştir. Mekanik yapı incelenmiş, mikro yapının analizi yapılmıştır.

Sertlik deneyinin sonuçları malzemelerin orjinal sertliklerinin azaldığını göstermiştir. Bu durum aynı zamanda kullanılan cıvata ve somunların dayanımlarının düştüğü anlamına gelmektedir. Mekanik deney numunelerinin kırık yüzey incelemeleri yapılarak mekanik deney sonuçları ile metalografik incelemeden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir. Cıvata tarafından taşınan yükün aşırı olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: hasar analizi, kırık yüzey analizi, sertlik deneyi, sürünme

2011, 103 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

FAILURE ANALYSIS OF MACHINE PARTS

Ayşenur BİRCAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Remzi VAROL

The prediction of failure in the materials has great importance in preventing of failure. The aim of this experimental study is to prevent unexpected failures of some machine parts and increasing some parts manufactured quality by making beter design.

In the first part of this study, general information about the failure analysis is given. After general properties of materials are mentioned and the axplanation is made that where they are used. In this study three different materials were chosen. Three group of steels mechanical test were applied. Tensile tests, and fractographic investigation of fractured surfaces of specimen. The changes occured in the structure and material properties have been investigated. Mechanical features has been determined. Microstructural analysis has been determined.

The results of hardness test show that the orijinal hardness of the materials has decreased. This also means that the fallen strength of used bolts and nuts. Mechanical test results and fracture surface analysis were turned to account to decide for proper material; the load carried by the bolts proved to be excessive.

Key words: failure analysis, fracture surface, hardness test, creep

2011, 103 pages

TEŞEKKÜRLER

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmam da yardımcı olan değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Remzi Varol' a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarda katkı sağlayan; başta laboratuvar imkânlarını ve bilgilerini paylaşmaktan çekinmeyen hocalarım Yrd. Doç. Dr. Ayşe Öndürücü' ye, Yrd. Doç. Dr. Kenan Tüfekçi' ye ve Yrd. Doç. Dr. Recai Fatih Tunay'a teşekkürü bir borç bilirim.

Literatür araştırmalarımnda ve tez yazımımnda bana yardımcı olan değerli arkadaşım Makine Mühendisi Hülya Ayla Bayhan'a teşekkürü bir borç bilirim. Araştırmanın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Isparta Göлтаş Çimento Fabrikası yetkililerine teşekkür ederim.

Son olarak maddi- manevi desteklerini benden esirgemeyen babam Yakup Sever' e, annem Şafak Sever' e sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Ayşenur Bircan
ISPARTA- 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Hasar analizi safhalar	23
Şekil 1.2. Tasarım hatasına örnek	25
Şekil 1.3. Aşırı yüklemeye örnek	26
Şekil 1.4. Hasarlı çolak kolu	27
Şekil 1.5. Hasarlı çolak kolundaki kırılma bölgesi	27
Şekil 1.6. Direksiyon mafsal göbeği-çolak kol muylu bağlantılar	28
Şekil 1.7. Hasara uğramış kaymalı yatak	29
Şekil 1.8. Yatağa yapışmış yabancı maddeler	29
Şekil 1.9. Kırılma örnekleri	33
Şekil 1.10. Gevrek kırılma	34
Şekil 1.11. Çekme deneyinde çanak-koni tipi kırılma	35
Şekil 1.12. Korozyona uğramış doğal gaz borusu	37
Şekil 1.13. Mekanik zorlamasız korozyon türleri	38
Şekil 1.14. Mekanik zorlamalı korozyon türleri	39
Şekil 1.15. Korozyonun elektrokimyasal oluşum düzeni	40
Şekil 1.16. Yorulma parametreleri	42
Şekil 1.17. Yorulma	43
Şekil 1.18. AISI 4140 50 HRC sertlikteki numunenin S-N grafiği	44
Şekil 1.19. Kuvvet ve uzama diyagramı	46
Şekil 1.20. Gevrek ve sünek malzemelerin kırılma şekilleri	51
Şekil 1.21. Standartlara uygun yassı bir çekme numunesi	52
Şekil 1.22. Yumuşak çeliğe ait F- ΔL diyagramı	52
Şekil 1.23. Basma kuvveti uygulanan sünek malzemelerdeki fiçi oluşumu	54
Şekil 1.24. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları	55
Şekil 1.25. Bir darbe deneyinin şematik olarak gösterimi	56
Şekil 1.26. Charpy darbe deney numunesi şematik gösterimi	57
Şekil 1.27. Izod darbe deney numunesinin şematik gösterimi	57
Şekil 1.28. Eğme deneyi test numunesi	58
Şekil 1.29. Aşınma eğrilerinin üç örneği	70
Şekil 1.30. Aşınmanın anahtar kelimeleri ve temas tiplerinin tanımlanmaları	71

Şekil 1.31. Aşınma tipinin şematik gösterimi	72
Şekil 2.1. Yorulma kırılması hasara uğramış ve A6 takım çeliğinden yapılmış boru eğme makinesi mili ve yüzey görüntüsü.....	77
Şekil 2.2. Zıt yönlü eğilme yükü ve burulma yorulması sonucu kırılan pompa mili ve yüzeyi	78
Şekil 2.3. Kırık cıvata resimleri	82
Şekil 2.4. Kırık cıvatada kırılmış yüzeyler.....	83
Şekil 2.5. Bölge A'nın büyütülmüş görüntüleri	84
Şekil 2.6. Bölge B'nin büyütülmüş görüntüleri	84
Şekil 2.7. Bölge C'nin SEM görüntüleri	85
Şekil 2.8. Hasarlı cıvatanın metalografik yapısı	85
Şekil 3.1. Malzeme numunelerinin resimleri	93
Şekil 3.2. Rockwell sertlik ölçüm cihazı.....	94
Şekil 4.1. 100Cr6 malzeme numuneleri için kırık yüzey SEM görünüşü.....	96
Şekil 4.2. 20MnB4 malzeme numuneleri için kırık yüzey SEM görünüşü	97
Şekil 4.3. 19MnB4 malzeme numuneleri için kırık yüzey SEM görünüşü	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Hasar sebebi tablosu	24
Çizelge 1.2. Tasarım hasarı tablosu	25
Çizelge 2.1. Örneklerin kimyasal bileşimleri ve bazı fiziksel özellikleri	79
Çizelge 2.2. Kullanılan parçaların malzeme ve boyutları	82
Çizelge 2.3. Spektrum analizi (EDS)	83
Çizelge 3.1. Hasarlı malzemelerin kimyasal kompozisyonları	93
Çizelge 4.1. 20MnB4, 19MnB4 ve 100Cr6 çelik malzemelerin sertlik deneyi sonuçları	95

SİMGELER DİZİNİ

A_0	Başlangıç Kesit Alanı
A_k	Son Kesit Alanı
B	Bor
C	Karbon
CH ₄	Metan
CO	Karbon monoksit
d_0	Başlangıç Çapı
E	Elastisite Modülü
F	Yük
Fe	Demir
F_k	Kopma Kuvveti
F_{max}	Maksimum Kuvvet
h_0	Başlangıç Yüksekliği
HRC	Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi
HV	Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi
K	Kelvin
KD	Yüzde Kesit Daralması
KU	Yüzde Kopma Uzaması
L_0	İlk Boy
L_k	Son Boy
MnC	Mangan sülfür
N	Logaritmik Ölçekte Tekrar Sayısı
P	Basınç
S	Gerilme
t	Zaman
V_0	Başlangıç Kesit Alanı
V_k	Kopma Kesit Alanı
ΔL	Uzama
ε	Birim Şekil Değiştirme
σ	Normal Gerilme

σ_a	Akma Gerilmesi
σ_{ϕ}	Çekme Dayanımı
σ_g	Basma Gerilmesi
σ_k	Kopma Dayanımı
τ	Kayma Gerilmesi

1. GİRİŞ

Hasar, bir yapının veya yapı elemanının kendisinden beklenen işlevi yerine getiremez hale gelmesidir. Hasar genelde aşırı zorlanma sonucu ortaya çıkar. Aşırı zorlanma iki çeşit olabilir:

- Elemana etki eden yüklerin, elemanın taşıyabileceği yükten büyük olması
- Elemanın dayanımının gerekli dayanımdan düşük olması

Hasar analizinin amacı, teknolojik hataları ortaya çıkarmaktır. Bu iki şekilde olabilir:

- Teknolojik hatayı bularak bu hatayı engelleyici daha etkin tasarım veya kontrol yöntemleri geliştirip bu tip hasarların gelecekte tekrarını önlemek
- Hasar sonrası oluşan yasal sorunlara sorumlu tarafı tespit etmek

Böylece daha geniş kapsamda hasar analizi, hasara neden olan teknolojik hatanın cinsini ve hasarın sorumlusunu ortaya çıkarmak ve hasarın benzer yapılarda tekrarını önleyici tedbirleri önermek amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlerin tümüne verilen addır (Eryürek, 1993).

Günümüz teknolojisinde hasar analizi ve önlenmesi mühendislik dallarının tümünün ilgi alanına girmiştir. Hasar analizi bir parçanın veya cihazın nasıl ve neden kullanılamaz hale geldiğini belirleyen mühendislik yaklaşımıdır. Hasar analizinin önemi güvenlik, performans ve ekonomik açıdan iyi açıklanabilir olmasından kaynaklanmaktadır. Hasar analizi sadece hasarın önlenmesi bakımından değil aynı zamanda sistemlerin ve ürünlerin kalitesindeki ilerlemeyi anlama bakımından da önemlidir. Genelde kalite kullanıcı ve tüketicilerin beklentilerini en iyi karşılayan ve yüksek standartlarda üretilmiş sistem ve ürünlere dayanmaktadır.

Söz konusu bu beklentiler şu şekilde sıralanabilir;

1. Yüksek emniyet,
2. Geliştirilmiş güvenilirlik,
3. Yüksek performans,
4. Yüksek verimlilik,
5. Kolay bakım,
6. Düşük uzun çevrim ömür maliyeti,
7. Çevreye kötü etkisinin en aza indirilmesi.

(<http://www.engr.sjsu.edu./WofMatE/FailureAnaly.htm>).

1.1. Hasar Analizi

Hasar, yapının tasarım, imalat, montaj ve işletme safhalarının birinde yapılan teknolojik hata nedeniyle ortaya çıkar. Tasarım sırasında yapılan hatalar, tasarım hataları ve malzeme seçiminde yapılan hataları kapsar. Bu hatalardan tasarımcı sorumludur. İmalat safhasında rastlanan teknolojik hatalar ise; imalat hatalarını ve malzeme içindeki hataları kapsar. Bu hatalardan imalatçı sorumludur. Sistemin montajı sırasında yapılan hatalar montaj hataları olarak adlandırılır ve bundan montajı yapanlar sorumludur. İşletme sırasında yapılan hatalar ise, aşırı yükleme ve bakım hataları olup, bundan ise işletmeci sorumludur (Eryürek, 1993).

1.1.1.Teknolojik hatalar

- i. Tasarım sırasında oluşan hatalar,
 - ii. Malzeme içindeki hatalar,
 - iii. İmalat sırasında oluşan hatalar,
 - iv. Montaj hataları,
 - v. Uygun olmayan çalışma şartları,
- olmak üzere birkaç başlık altında toplanabilir.

1.1.1.1.Tasarım sırasında yapılan hatalar

Bu gruba, tasarlanan parça geometrisinde çok şiddetli gerilme yığılmalarına neden olan süreksizliklerin mevcut olması, karmaşık parçalarda rasyonel gerilme hesaplarının mümkün olmayışı ve yetersiz gerilme analizi, oluşması muhtemel hasar tipinin her biri için, malzemenin bu hasara karşı direncinin bir ölçüsü olan, etkin malzeme parametrelerini kullanmak yerine daha başka özellikleri göz önüne alarak tasarım yapmak, çalışma şartlarına veya öngörülen imal usulüne uygun olmayan malzeme seçmek gibi hatalar girer (Eryürek, 1993).

1.1.1.2. Malzeme içindeki hatalar

Metalsel olmayan kalıntılar ve yapıyı gevrekleştirici fazlar oluşturan kimyasal bileşim ile malzemenin yarı mamul hale getirilme safhasındaki döküm ve plastik şekil verme sırasında oluşan segregasyon, gözeneklilik, kendini çekme boşluk ve çatlakları, katmerler, homojen olmayan içyapı, kalan gerilmeler, aşırı yerel plastik deformasyonlar bu sınıfa girer (Eryürek, 1993).

1.1.1.3.İmalat sırasında yapılan hatalar

Malzemeye tasarımda öngörülen son şeklinin verilmesi sırasında kullanılan imal usullerinin uygulanması sırasında ortaya çıkan hatalarla ısıl işlem ve yüzey işlemleri sırasında ortaya çıkan hataları kapsar. Bunlara örnek olarak; talaşlı imalat sırasında ortaya çıkan yırtılma ve çatlama; kaynak sırasında ortaya çıkan gözeneklilik, yanma olukları, erime azlığı, çatlaklar, kalan gerilmeler, ısı etkisi altındaki bölge; ısıl işlem sırasında ortaya çıkan yanma, çatlama, distorsiyon, tane büyümesi, taneler arası gevrek faz oluşumu; yüzey işlemleri nedeniyle ortaya çıkan hidrojen gevrekleşmesi verilebilir (Eryürek, 1993).

1.1.1.4. Montaj hataları

İmalatçı ve alıcının muayenesi sırasında tespit edilememiş montaj hataları, yapının başlangıçtaki çalışmasının görünür biçimde engellemese de daha sonra yapıda hasara neden olur. Montaj hataları, tasarımda göz önüne alınmamış ilave gerilmeler ve değişik yükleme şekilleri oluşturarak aşınma, yorulma ömrünün azalması, distorsiyon ve benzeri hasarlara neden olur. Montaj hataları yanlış, yetersiz veya net olmayan montaj talimatnamelerinden doğduğu gibi montaj operatörünün hata ve kayıtsızlığından kaynaklanabilir. Montaj hatalarına örnek olarak perçin deliklerindeki eksen kaçıklıkları, şaft, dişli, yatak ve kaplinlerdeki eksen kaçıklıkları, somunların uygun torkta ve üniform biçimde sıkılmaması verilebilir. Ayrıca bir montaj aracı olan kaynakta da daha önce açıklanan hatalar ortaya çıkabilir (Eryürek, 1993).

1.1.1.5. Uygun olmayan çalışma şartları

Yapının tasarımda öngörülen çalışma şartlarından farklı şartlarda çalışması sonucu da hasar meydana gelir. Bunlara örnek olarak aşırı yükleme, çalışma ve ortam koşullarındaki ani ve beklenmedik değişimler, uygun olmayan işletme ve bakım koşulları, kasıtlı hareket verilebilir (Eryürek, 1993).

1.1.2. Hasar analizinin safhaları

Hasardan sonra hiç vakit kaybetmeden hasara uğrayan sistemin bulunduğu yere giderek aşağıda sıralanan faaliyetlere girişilir. Bu faaliyetlerin sırası, göz önüne alınan hasarın doğasına bağlı olarak değişmekle birlikte, bunlar bir hasar analizinde takip edilecek temel safhalardır (Eryürek, 1993).

1. Geçmişle ilgili bilgi toplamak ve numunelerin seçimi

- a) Elemanın çalışma geçmişi
- b) Fotoğraf kayıtları
- c) Numunelerin seçimi

- d) Anormal şartlar
 - 2. Hasara uğramış elemanın ön etüdü
 - a) Gözle muayene
 - b) Fotoğrafların çekilmesi
 - 3. Tahribatsız deneyler
 - a) Manyetik parçacık ile muayene
 - b) Penetran sıvı ile muayene
 - c) Girdap akımıyla muayene
 - d) Ultrasonik muayene
 - e) Radyografi
 - f) Akustik yayınımla muayene
 - g) Deneysel gerilme analizi
 - 4. Mekanik deneyler
 - 5. Kırılma yüzeylerinin seçimi, muhafazası ve temizlenmesi
 - a) Temizleme
 - b) Kesme
 - c) Sekonder çatlakların açılması
 - 6. Kırılma yüzeylerinin makroskopik etüdü
 - 7. Kırılma yüzeylerinin mikroskopik etüdü
 - a) Optik mikroskop
 - b) Transmisyon elektron mikroskobu
 - c) Tarayıcı elektron mikroskobu
 - 8. Metalografik kesitlerin seçimi ve hazırlanması
 - 9. Metalografik kesitlerin etüdü ve analizi
 - 10. Kırılma tipinin saptanması
 - 11. Kimyasal analiz
 - 12. Kırılma mekaniğinin uygulanması
 - 13. Benzer çalışma koşulları altında deney
 - 14. Delillerin analizi, sonuçları ve hasar raporu
- olmak üzere özetlenebilir (Eryürek, 1993).

1.1.2.1. Geçmişle ilgili Bilgi toplamak ve numunelerin seçimi

Başlangıçta hasar araştırması hasarla ilgili tüm detayların öğrenilmesine, hasara uğramış elemanın veya yapının imalatı ve işletme geçmişiyle ilgili mevcut bilgilerin toplanmasına ve hasara neden olan olaylar sırasının mümkün olduğunca yeniden inşa edilmesine yönelik olmalıdır.

Geçmişle ilgili bilgiler şifahen alınan bilgiler ve belgelere dayalı bilgiler olmak üzere iki ana grupta toplanabilir.

Belgelere dayalı bilgiler çok daha güvenlidir. Bunlar, hasarın tarihi ve zamanı, hava durumu, raporlar, kayıtlar ve olay yerinde çekilmiş fotoğraflar gibi gerçek bilgilerdir. Bir elemanın makine imalat geçmişiyle ilgili bilgi toplama, şartnameler ve teknik resimlerin elde edilmesiyle başlanmalı ve elemanın tüm tasarım hususlarını kapsamalıdır. İmalatla ilgili bilgiler aşağıdaki gruplar içinde toplanabilir (Eryürek, 1993).

- i. Mekanik işlemler: Soğuk şekil verme, çekme, eğme, talaş kaldırma, taşlama ve parlatma
- ii. Termal işlemler: Sıcak şekil verme, ısı işlemler, kaynak, sert ve yumuşak lehimleme
- iii. Kimyasal işlemler: Temizleme, elektro-kaplama, difüzyonla kaplama

Elemanın çalışma geçmişi:

Elemanın çalışma geçmişiyle ilgili olarak elde edilebilecek bilgiler hasardan önce ne kadar detaylı ve tatmin edici kayıt tutulduğuna bağlıdır. Yeterli çalışma kayıtlarının mevcut oluşu hasar analizi ile ilgili kararların verilmesini büyük ölçüde kolaylaştırır. Buna karşılık birçok halde doyurucu işletme kayıtları mevcut değildir. Bu durumda hasar analizci eksik ve yetersiz işletme bilgisiyle çalışmak zorunda kalır. Sonuçta birçok şey hasar analizcinin tecrübe ve yorum kabiliyetine bağlı olup, yanlış bir karar

bilginin hiç mevcut olmadığı hale nazaran çok daha zararlı doğurabilir (Eryürek, 1993).

Fotoğraf kayıtları:

Hasar analizi hasara uğramış yapının veya elemanın fotoğraflarının gerekli olup olmadığına karar vermelidir. Bir ön araştırmada önemsiz gibi görünen bir hasarın daha sonra çok önemli olduğu ortaya çıkabilir. Bu nedenle hasarın tam bir fotoğraf kaydının yapılması gerekebilir. Bu iş için çeşitli merceklerle, uzatma körüğü ve pille çalışan flaşla donatılmış 35 mm' lik bir kamera mükemmel sonuçlar verir (Eryürek, 1993).

Numunelerin seçimi:

Özellikle araştırma uzun sürecekse numuneler esas etüdlere başlamadan önce seçilmelidir. Hasar analizi, fotoğraflarda da olduğu gibi, numunelerin amaca uygun olmasını ve hasarın özelliklerini temsil etmesini sağlamaktan sorumludur. Hemen belirgin olmayan ilave hasar delillerinin araştırılması yerinde olur. Genellikle, hasara uğramış elemanın, benzer fakat hasara uğramamış elemanla mukayese edilmesi gerekir. Bunun nedeni, hasarın çalışma şartları nedeniyle mi yoksa elemanın imalatı sırasında yapılan bir hata sonucu mu ortaya çıktığını araştırmaktır.

Anormal şartlar:

Hasara uğramış parçanın hasar analizi yapılırken parçanın geçmişiyle ilgili şu bilgilere de ihtiyaç duyulur.

- i. Hasar öncesinde herhangi bir anormal durum ortaya çıktı mı?
- ii. Çalışma esnasında hasara katkıda bulunacak herhangi bir olay oluşmuş mu?
- iii. Hasardan kısa süre önce herhangi bir bakım veya tamir yapıldı mı? Yapıldı ise neden yapıldı?

- iv. İncelenen olay tek bir olay mıdır? Yoksa analizi yapılan parçada veya benzer tasarımıdaki başka bir parçada daha önce meydana gelmiş mi?

Bazı parçaların hasar analizi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken faktörler standarttır. Örneğin hasar sonucunda gevrek kırılma oluştuysa öncelikle hasarın oluştuğu zamanda sıcaklığın düşük olup olmadığı ve darbeli yüklemenin olup olmadığı araştırılmalıdır (Eryürek, 1993).

1.1.2.2. Hasara uğramış elemanın ön etüdü

Hasara uğramış eleman, bu elemandan kırılarak ayrılmış tüm parçalarda dahil olmak üzere, herhangi bir temizleme işlemi uygulamadan önce derinlemesine gözle etüd edilmelidir. Eleman üzerinde bulunan kir ve kalıntılar hasarın nedenini veya hasarı doğuran olaylar sırasını saptamada yararlı bir delil olabilir (Eryürek, 1993).

Gözle muayene:

Muayene çıplak gözle yapılan inceleme ile başlar. Çıplak göz mükemmel bir odak derinliğine ve geniş alanları hızlı bir şekilde etüd etme, renk ve dokudaki değişimleri tespit etme yeteneğine sahiptir. Bu avantajların bazıları herhangi bir optik veya elektro-optik cihaz kullanıldığında kaybolur. Etüd sırasında kırık yüzeylerine ve çatlakların takip ettiği yollara özellikle dikkat edilmelidir. Anormal şartların veya çalışma sırasındaki kötü kullanım belirtilerinin etkisi üzerinde durulmalı ve elemanın tasarım ve işçiliği konusunda genel değerlendirme yapılmalıdır. Tüm önemli hususlar, elemanın boyutları da dahil olmak üzere, yazıyla, kroki veya fotoğraf yoluyla kaydedilmelidir. Etüd mümkün olduğunca etkin bir şekilde yerine getirilmelidir. Çünkü hasar nedeniyle ilgili ipuçları daima mevcuttur ve analizi yapan kişi bu ipuçlarını ortaya çıkaracak kadar dikkatli ve hazırlıklı değilse bunlar gözden kaçabilir (Eryürek, 1993).

Fotoğrafların çekilmesi:

Hasarda kırılma mevcutsa ön araştırmadaki ikinci adım kırılmış elemanın, kırılarak ayrılmış parçaları da dahil olmak üzere, genel fotoğrafının çekilmesi, bunların boyutlarının ve şartlarının kaydedilmesidir. Bunu kırılma yüzeyinin çeşitli açılarda ve büyütmelerde dikkatli bir şekilde etüd edilmesi takip eder. Etüd direkt aydınlatma ile başlamalı ve çeşitli açılardaki eğik aydınlatma ile devam etmelidir. Böylece kırık yüzeyinin özelliklerinin hangi eğimdeki aydınlatma ile ortaya çıktığı tespit edilebilir. Bu aynı zamanda kırık yüzeyinin hangi alanlarının birinci derecede öneme sahip olduğunu ve ince detayların ortaya çıkarılmasında hangi büyütmenin kullanılması gerektiğinin saptanmasında da yardımcı olmalıdır.

Değerlendirme tamamlandıktan sonra fotoğraflar çekilmeye başlanmalı ve her fotoğraf çekiminde, bu fotoğrafın neyi gösterdiği, büyütmesinin ne olduğu ve diğer fotoğraflarla ilişkisinin ne olduğu kaydedilmelidir (Eryürek, 1993).

Manyetik tozla muayene:

Bu yöntem ferromanyetik malzemelerde yüzeydeki veya yüzey altındaki süreksizlikleri manyetik alan kullanarak belirleme esasına dayanır. Muayene edilecek parça manyetiklendiğinde manyetik alan doğrultusuna dik doğrultuda yatan süreksizler parça yüzeyi üzerinde bir sızıntı alanı oluşturur. Bu sızıntı alanı ve bu nedenle de süreksizliğin mevcudiyeti yüzey üzerine uygulanan ferromanyetik tozlar yardımıyla tespit edilir. Bu tozların bazıları sızıntı alanı tarafından bir araya getirilerek süreksizliğin uç noktaları arasında bir köprü oluştururlar. Manyetik olarak toplanmış bu tozlar süreksizliğin profilini çıkararak bunun şekil ve boyutunu belirtirler. Genellikle tozla bir floresan malzeme karıştırılarak hatanın mor ötesi ışık altında gözle kolaylıkla görülebilmesi sağlanır. Manyetik kuvvet çizgileri etüd edilen parçadan büyük elektrik akımı geçirilerek, mıknatıs ve manyetikleştirici sargı kullanarak oluşturulabilir. Muayeneden sonra eleman demanyetize edilmelidir. Manyetik tozla muayenenin aşağıdaki avantajları vardır (Eryürek, 1993).

- Özellikle çok küçük, sığ ve yabancı madde ile dolmuş çatlaklar da dahil olmak üzere yüzey çatlaklarının araştırılmasında kullanılabilen en iyi ve en uygun yöntemdir.
- Uygulama tekniğinin öğrenilmesi çok kolaydır. İşlem basit ve hızlı olup, gerçekleştirilmesi pahalı değildir.
- İzler doğrudan parça üzerinde meydana getirilir ve bunlar gerçek süreksizliğin manyetik bir resmidir. Kalibre edilecek veya uygun çalışma şartlarında tutulacak bir elektrik devresi veya elektronik okumaya ihtiyaç yoktur.
- Denenecek parçanın şekli ve boyutları üzerinde herhangi bir sınırlama yoktur.
- Genelde hassas bir ön temizliğe ihtiyaç yoktur. İşlem ince bir boya kaplaması veya diğer metalsel olmayan kaplamalar mevcut olsa bile kolaylıkla çalışır.

Manyetik tozla muayenenin sınırlamaları şu şekildedir:

- Tamamen yüzey altında kalan süreksizliklerin yerini belirlemede kullanılmaya uygun değildir
- Manyetik alanın doğrultusu süreksizliğin esas düzlemini kesecek şekilde olmalıdır.
- Yüzeyde elektriksel temasın olduğu noktalarda yerel ısınmadan ve yanmadan kaçınmak için özel dikkat gerekir.

Penetran sıvıyla muayene:

Bu yöntem parçadaki yüzey hatalarının araştırılması amacıyla manyetik olmayan ve bu nedenle de manyetik tozla muayene edilmesi mümkün olmayan malzemelerin muayenesinde kullanılır. Bu yöntemde penetran sıvı parça üzerine püskürtülür. Penetran sıvı yüzey üzerinde 1 mikron'a kadar aralığa sahip çatlak ve hataların içine kapiler etkiyle girer. Yüzeyde kalan fazla sıvı silinerek temizlenir. Daha sonra yüzeye bir geliştirici uygulanarak yüzeye açık olan çatlak ve hataların içindeki sıvı yüzeye çekilir. Sıvının kendisi genellikle parlak renklidir veya floresan parçacıklar içerir. Böylece mor ötesi ışığın altında malzeme yüzeyindeki süreksizlikler kolayca görülür (Eryürek, 1993).

Penetran sıvıyla muayenenin aşağıdaki avantajları vardır:

- Metal olmayan malzemelerde de kullanılabilirler.
- Maliyeti düşüktür ve kolayca taşınabilir.
- Muayene sonuçları kolaylıkla değerlendirilebilir.

Penetran sıvı yönteminin sınırlamaları ise şunlardır:

- Muayene edilecek süreksizlikler yüzeye açık olmalıdır.
- Penetran sıvı metali korozyona uğratabileceğinden parça muayeneden sonra temizlenmelidir.
- Yüzey filmleri süreksizliklerin tespitini güçleştirir.
- Bu yöntem genel olarak, toz metalürjisiyle üretilmiş düşük yoğunluğa sahip parçaların ve diğer gözenekli malzemelerin muayenesine uygun değildir.

Girdap akımıyla muayene:

Bu yöntem elektriği ileten tüm malzemelerde kullanılabilir. Eğer alternatif akım ileten bir sargı parçanın etrafına veya parça yüzeyinin yakınına yerleştirilecek olursa parça içinde elektromanyetik indüksiyon yoluyla girdap akımları ortaya çıkar. Bu akımlar uyarıcı sargıdaki veya yakındaki diğer bir sargıdaki empedansı etkiler. Parça içindeki çatlak ve hatalar girdap akımlarında distorsiyonlara neden olur. Bu ise sargı empedansının distorsiyonuna neden olur.

Bu nedenle ortaya çıkan empedans değişimi uygun bir elektrik devresi ve bir ölçü aleti yoluyla tespit edilebilir. Hata ve çatlaklar ölçü aleti üzerindeki sapmalar ve titreşimlerle kendini gösterir (Eryürek, 1993).

Girdap akımıyla muayenenin avantajları şunlardır:

- Hem yüzey ve hem de yüzey altı hataları tespit edilebilir.
- Özel bir operatör hünere gerekmez.
- Sürekli muayene uygun bir işlemdir.

- Otomatik hale getirilebilir ve yüksek hızlarda kullanılabilir.
- Herhangi bir prob temasına gerek yoktur.

Girdap akımıyla muayenenin sınırlamaları şunlardır:

- Nüfuziyet derinliği azdır.
- Muayene edilecek malzeme elektriği iletmelidir.
- Referans standartlar gereklidir.

Ultrasonik muayene:

Bu yöntemde, parça yüzeyindeki ve yüzey altındaki hataları tespit etmek, parçanın kalınlığını veya hatanın uzaklığını ölçmek için parçaya yüksek frekanslı akustik enerjiye sahip dalgalar gönderilir. Bir ultrasonik dalga parça içindeki bir ara yüzeye veya bir süreksizliğe çarpıncaya kadar hareket eder. Ara yüzeyler ve hatalar gelen akustik enerjinin bir kısmını geri yansıtır. Yansıtılan akustik enerji miktarı, ara yüzeyin veya hatanın özelliklerinin ve oryantasyonunun bir fonksiyonu olduğu gibi, yansıtıcının akustik empedansının da bir fonksiyonudur. Çeşitli ara yüzeylerden ve hatalardan yansıtılan enerji, hataların mevcudiyetini ve yerini, malzemenin kalınlığını veya hatanın yüzeyden uzaklığını belirlemede kullanılır (Eryürek, 1993).

Ultrasonik muayenenin avantajları şunlardır:

- Çok küçük çatlakların tespitine dahi imkan veren çok yüksek hassasiyet.
- Çok büyük kalınlıkların muayenesinde dahi imkân veren büyük nüfuziyet gücü
- Hatanın yerini ve boyutlarını tahmin etmedeki hassasiyeti.

Ultrasonik muayenenin aşağıdaki sınırlamaları mevcuttur:

- Parçanın boyut ve şeklinin karmaşık oluşu ve süreksizliğin uygun yönde olmayışı, alınan sinyallerin değerlendirilmesinde güçlük çıkarır.
- İstenmeyen içyapı değerlendirmeyi benzer şekilde zorlaştırır.
- Referans standartlar gereklidir.

Radyografi:

Bu yöntem analizi yapılan parçanın farklı miktarlardaki radyasyonun absorpsiyonu ilkesine dayanmaktadır. Parçaların farklı bölgelerinde farklı miktarda radyasyon absorbe edilir. Bunun nedeni parça kalınlığındaki değişiklikler ve belli yoğunluktaki parça boyunca yol alan ve absorbe edilmemiş radyasyon bir film üzerine kaydedilir (Eryürek, 1993).

Bu muayene yöntemi döküm ve kaynaklı parçaların kontrolünde kullanılır. Bu yöntem diğer yöntemlere göre daha pahalıdır. Bunun nedeni ilk yatırımın yüksek olması ve daha büyük çalışma alanı gerektirmesidir.

Akustik yayınımla muayene:

Akustik yayınımla, malzeme içinde çatlak ilerlemesi, plastik deformasyon ve faz dönüşümleri sırasında oluşan hızlı şekil değiştirme enerjisi boşalması nedeniyle üretilen yüksek frekanslı gerilme dalgalarıdır. Bu enerji çatlak ilerlemesi halinde depo edilen elastik enerjiden, faz dönüşümü halinde ise depo edilmiş kimyasal serbest enerjiden kaynaklanır. Malzeme içinde gerilme dalgaları üreten diğer akustik yayınımla kaynakları içine aşağıdaki yerel dinamik hareketler de girer.

Çatlağın oluşumu ve ilerlemesi, ikizlenme, kayma ve martenzitik faz dönüşümü. Akustik yayınımla muayenede dış gerilmeler altındaki malzeme içindeki süreksizliklerden üretilen akustik yayınımla sinyalleri tespit ve analiz edilir. Bu sinyallerin analizi, tespit edilen süreksizliğin yapısal önemi ve yeri ile ilgili bilgiler sağlar.

Akustik yayınımla muayenenin önemli uygulama alanlarından bazıları şunlardır:

- Malzemelerin kırılma mekanizmalarının araştırılması ve yük altındaki davranışlarının incelenmesinde araştırma yapmada kullanılır;
- Uçaklarda meydana gelen yorulma çatlaklarının tespitinin belirlenmesi;

- Hassas yapılarda oluşan hidrojen hasarı ve gerilmeli korozyonun belirlenmesi sayılabilir.

Deneysel gerilme analizi:

Deneysel gerilme analizi çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Bunların tümü hasarlara neden olabilen makine yüklerini ve elemandaki gerilmeleri saptamada kullanılabilen yöntemlerdir. Kaplama yöntemi yüksek şekil değiştirmelere sahip alanların belirlenmesinde, asal şekil değiştirme doğrultularının tayininde, çekme ve basma birim şekil değiştirmelerinin şiddetini yaklaşık olarak ölçmede kullanılabilir. Daha sonra, yüksek şekil değiştirmelerin mevcut olduğu alanlara veya asal şekil değiştirme doğrultularına geyçler yerleştirilerek 0,5 mm' den 150 mm' ye kadar ölçme uzunluklarında şekil değiştirmeler hassas olarak ölçülebilir (Eryürek, 1993).

Mekanik deneyler:

Mekanik deneyler içinde en basit olanı sertlik deneyidir ve bu deney hasar analizinde çok değişik amaçlarla kullanılabilir. Sertlik deneyi birçok uygulamaların yanı sıra parçaya uygulanan ısı işlemin değerlendirilmesinde çeliğin çekme dayanımını yaklaşık olarak tahmin etmede, pekleşmeyi tespit etmede veya aşırı ısınma, karbon kaybı yoluyla oluşan yumuşamayı saptamada kullanılabilir. Sertlik deneyi, mikrosertlik deneyinde olduğu gibi özel deney parçası hazırlığı gerektiren haller dışında temelde tahribatsız bir deneydir.

Diğer mekanik deneyler hasara uğramış elemanın şartnamelere uygunluğunu onaylamada veya parçanın yüzey şartlarının mekanik özelliklere etkisini değerlendirmede yararlıdır. Deney parçalarının imalatı için yeterli malzemenin olması şartıyla, gerekli olduğunda çekme, yorulma ve darbe deneyleri yapılmalıdır. Ayrıca kırılma tokluğunun deneysel olarak saptanması gerekebilir.

Mekanik deney sonuçlarının değerlendirilmesinde çok dikkatli olmak gerekmektedir. Örneğin küçük numuneler kullanılarak yapılan deney sonuçları çok daha büyük

parçaların özelliklerini temsil etmesi istenir. Bu durumda değerlendirme hatalarının ortaya çıkması olasıdır.

Önemli mekanik deneylerden olan çekme deneyi hasar analizi yapılırken çok fazla tercih edilmemelidir. Bunun nedeni; çekme deneyi numunesinin hazırlığı zaman alıcı ve maliyetinin yüksek olmasıdır. Ayrıca numunelerin alındığı yerler ve doğrultular dikkatle belirtilip numune alım esnasında talaş kaldırma ve kesme sırasında oluşan ısının numuneyi etkilememesine dikkat edilmelidir (Eryürek, 1993).

Kırık yüzeylerinin seçimi, muhafazası ve temizlenmesi:

Kırılma yüzeylerinin seçimi, muhafazası ve temizlenmesi önemli delillerin tahribini önleme açısından çok önemlidir. Kırılma yüzeyleri mekanik veya kimyasal tahribe maruz kalabilir. Mekanik tahripler, diğer bir cismin kırılma yüzeyine çarpması da dahil olmak üzere çeşitli nedenlerle ortaya çıkar. Bu çarpma kırılma meydana gelirken olabileceği gibi, kırılmış parçanın analiz için çıkarılması ve taşınması sırasında da olabilir. Kırılma yüzeyi taşıma sırasında pamuk veya örtüyle örtülebilir. Fakat bu, yüzey üzerinde bulunan ve kırılma nedenini ortaya çıkarmada yardımcı olabilecek bazı malzemelerin uzaklaşmasına da neden olabilir. Bu kırılma yüzeyine asla parmakla dokunulmamalı ve yüzey parmakla silinmemelidir. Kırılmış parçanın iki yüzeyi birbiriyle temas haline getirilmemelidir. Bu, kırık yüzeylerinin tahribine neden olur. Kırılma yüzeylerinin kimyasal yolla tahribi çeşitli şekillerde engellenebilir. Ancak, kırılma nedeninin genel değerlendirilmesi sırasında kırılma yüzeyi üzerinde mevcut yabancı malzemelerin ne olduğunun saptanması önemli olduğundan, birçok laboratuvar kırık parçalar üzerinde korozyon önleyici kaplamalar kullanmak istemez. Mümkün olan hallerde kırılmış parçayı sıkıştırılmış kuru hava jetiyle kurutma tercih edilmelidir. Bu aynı zamanda yüzeyin en dışındaki yabancı maddelerin uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Parça bundan sonra bir desikatöre yerleştirilmeli veya uygun bir desikantla paketlenmelidir. Mümkün olan her halde kırık yüzeylerinin suyla yıkanmasından kaçınılmalıdır. Ancak, deniz suyuna veya yangın söndürme sıvılarına maruz kalmış parçaların desikatöre yerleştirilmesinden önce su ile ve daha sonra da aseton veya alkolle yıkanması gerekir (Eryürek, 1993).

Temizleme:

Kırılma yüzeyleri muhakkak gerekliyse temizlenmelidir. Temizleme, yüzeyde incelemeyi imkânsız kılan kirler varken veya elektron mikroskobunda muayeneye hazırlık sırasında yapılır. Temizleme sırasında kuru hava akımı veya yumuşak kıllı ressam fırçası kullanılabilir. Parça inorganik çözeltilere daldırılır veya inorganik çözelti jetine, yumuşak asitlere veya alkali çözeltilere maruz bırakılır. Bu çözeltiler yüzey üzerindeki yabancı maddelere saldırırken esas metale karşı pasiftirler. Bunlara ek olarak ultrasonik temizleme ve plastik replika ile temizleme, özellikle kırılma yüzeyi korozyondan etkilenmişse en yararlı yöntemlerden biridir. 1 mm kalınlığında ve uygun boyuttaki asetat tabaka asetona daldırılarak yumuşatılır ve kırılma yüzeyine yerleştirilir. Bu tabaka yumuşatılmamış bir parça asetat tabaka tarafından desteklenir ve bir mengene veya uygun sıkıştırıcılar kullanılarak replika kırılma yüzeyine bastırılır. Kuruma zamanı replikasyon malzemesinin yumuşama derecesine bağlıdır ve bunu belirleyen faktör de kırılma yüzeyinin yapısıdır. Kurumuş replika kırık yüzeyinden neşter veya cımbız kullanılarak kaldırılır. Kırık yüzeyi çok kirli ise replikasyon yöntemi birkaç kez tekrarlanabilir. Temiz bir replika elde edildiğinde işlem tamamlanmış demektir (Eryürek, 1993).

Kesme:

Kesme öncesi, kırılma yüzeyi dikkatle korunmalıdır. Kesme sırasında kırık yüzeyinin ve buna yakın bölgelerin tahribata veya değişime maruz kalmamasına dikkat edilmelidir. Büyük parçalarda deney parçası çıkarmanın en yaygın yolu alevle kesmedir. Kesme kırılma bölgesinden yeteri derecede uzakta yapılmalıdır. Böylece kırık yüzeyi altındaki malzemenin mikroyapısı alev ısısı ile değişmez, kırık yüzeyine erimiş metal parçacıkları sıçramaz. Çeşitli boyuttaki parçalar için kesme taşları ve testereler kullanılabilir. Kuru kesme tercih edilmelidir. Çünkü sıvı soğutucular kırılma bölgesini korozyona uğratırlar veya kırık yüzeyi üzerindeki yabancı maddeleri yüzeyden uzaklaştırırlar. Eğer kesme kırılma bölgesinden yeteri derecede uzakta bir bölgede yapılamıyorsa, kırılma bölgesini ısı ile tahrip etmemek için bir soğutucu gerekebilir (Eryürek, 1993).

Sekonder çatlakların açılması:

Primer kırık yüzeyi tahrip olduğunda veya kırılma nedenini ortaya çıkaracak bilgilerin çoğunun korozyon nedeniyle yok olması halinde sekonder çatlakların muayenesi için yüzeylerin açılması gerekir. Bu durumlarda sekonder çatlaklar, primer kırılma yüzeyinden çok daha fazla bilgi sağlarlar. Eğer çatlaklar sıkıca kapalıysa korozif etkilerden korunmuş olabilirler veya bunlar primer çatlama başlangıcından daha sonra oluşmuşlarsa daha az korozyona maruz kalırlar. Diğer taraftan tam kırılmaya neden olmamış primer çatlakların da açılması gerekebilir. Çatlakların muayene için açılması sırasında yüzeylerin tahrip olmamasına dikkat etmek gerekir. Açma işlemi, kırık yüzeyleri birbirinden uzaklaşacak şekilde yapılırsa yüzeyler tahrip olmaz. Genellikle kırılmış parçanın arka kısmı çatlak ucuna yakın bir noktaya kadar testere ile kesilir. Böylece kırılması gerekli metal miktarı azaltılmış olur. Deney parçasının nihai kırılması aşağıdaki yollardan biri yapılabilir:

- Eğer parça şekli müsaade ediyorsa parçanın iki tarafını çekme makinesine bağlayarak çekmek.
- Parçayı bir mengeneyle bağlayıp, çekiçleyerek eğme yoluyla bir yarımını diğerinden ayırmak.

Çatlağın açılması sırasında meydana gelen kırılma yüzeyi ile daha önce çatlama sırasında meydana gelen yüzeyin birbirinden ayırt edilmesi gerekir. Bu ise açma sırasında farklı bir kırılma mekanizması sağlayarak gerçekleştirilebilir. Bunun için de bu kırılma çok düşük sıcaklıkta oluşturulur (Eryürek, 1993).

Kırılma yüzeylerinin makroskobik incelenmesi:

Kırılma yüzeylerinin 1'den 100'e kadar büyütmelelerdeki detaylı etüdü çıplak gözle, bir el büyüteciyle veya düşük büyütmele optik mikroskopla yapılabilir. Bazen düşük büyütmede tarayıcı elektron mikroskobu kullanmak da yararlı olabilir. Deney parçalarının fotoğraflarının çekilmesi için 20 büyütmele kadar yüksek kaliteli kamera ve 20–50 büyütmele arasında makro objektiflere ve aydınlatma sistemine

sahip metalograf gereklidir. 50- 100 büyütme için standart metalografide kullanılan aydınlatma sistemi ve objektifler yeterlidir.

Deney parçaları metalografi safhası için çok ağır ve çok büyük olabilir, deney parçasının kesilmesi zor olabilir veya istenmeyebilir. Bu hallerde kırılma yüzeylerinin temizlenmesinde kullanılan replikaları muayene ederek ve gerekiyorsa fotoğraflarını çekerek mükemmel sonuçlar elde edilir. Bu replikalar vakumda buharlaştırılmış altın veya alüminyumdan ince bir tabaka ile kaplanarak ışık yansıtma kabiliyetleri iyileştirilebilir. Replikalar metal mikroskobunda veya biyolojik mikroskopta incelenebilir, elektriksel iletken olduklarından tarayıcı mikroskobunda da muayene edilebilirler.

Kırık yüzeyinin geometrisinin incelenmesiyle hasara neden olan gerilme sistemi hakkında bilgi edinilebilir. Örneğin statik çekme altında oluşan hasarlar düzlem şekil değiştirme şartlarında dik kırılma olarak adlandırılan bir kırık yüzeyi, düzlem gerileme şartlarında ise maksimum çekme gerilmesi ile 45° açı yapan eğik kırılma yüzeyi oluşur. Parçaların makroskobik etüdüyle çatlakın ilerleme yönü ve hasarın orijini saptanabilir (Eryürek, 1993).

Metalografik kesitlerin seçimi ve hazırlanması:

Parlatılmış ve dağlanmış kesitlerin optik mikroskop ve elektro-optik tekniklerle etüdü hasar araştırmasının en önemli kısmıdır. Metalografik muayene, göz önüne alınan malzemenin sınıfı ve yapısı hakkında bilgi sağlar. Eğer anormallikler mevcutsa, bunlar erken hasara neden olan faktörlerle her zaman ilişkili değildir. Mikroskop, etüt edilen parçanın imalat yöntemi ve maruz kaldığı ısıl işlemlerle ilgili bilgi de sağlar.

Çalışma şartlarından doğan, korozyon, oksidasyon ve yüzeylerin aşırı pekleşmesi gibi diğer etkiler de ortaya çıkarılabilir ve bunların derecesi araştırılabilir. Aynı zamanda mevcut herhangi bir çatlakın özellikleri, ilerleme tipi ve bunun oluşması ve gelişmesinden sorumlu faktörlerle ilgili bilgi sağlanır. Birçok muayenede kırılma

yüzeyine yakın bir bölgeden alınmış deney parçası yapısının, elemanın bir bütün olarak yapısını temsil edip etmediği etüt edilmelidir. Bu, elemanın başka bölgelerinden çıkarılmış deney parçalarının yapıları da etüt edilerek gerçekleştirilir. Yorulma çatlaklarının etüdünde çatlak orijininin deney parçası alınması yararlıdır. Bu şekilde çatlamanın bir kaynak hatasından, karbon kaybetmiş bir yüzeyden, metelsel olmayan kalıntılarca zengin bir bölgeden veya döküm bir parçada aşırı boşluk içeren bir bölgeden oluşup oluşmadığı anlaşılabilir. Ancak çok sayıda çatlak orijini mevcutsa bu yöntem pratik değildir. Böyle bir durumda çatlağın yerel hatlardan başlama olasılığı çok düşüktür. Bazı hallerde kırılma yüzeyinin, kesme ve kalıplamalardan önce, nikel ile kaplanması gerekir. Böylece kırık yüzeyindeki tepeler ve vadiler bu işlemler sırasında tahripten korunmuş olur (Eryürek, 1993).

Metalografik kesitlerin incelenmesi ve analizi:

Metalografik kesitlerin mikroskobik muayenesiyle metelsel olmayan kalıntılar, mikro yapısal segregasyonlar, karbon kaybı, karbon kazanımı, hatalı ısıl işlem, temperlenmemiş beyaz martenzit, taneler arası korozyon ve benzeri birçok metalürjik hatalar ortaya çıkarılabilir. Belirli bir metalürjik hatanın mevcut olmadığı hallerde bile metalürjik kesitlerin etüdü araştırmacıya örneğin, sertleşmiş tabaka derinliğinin, kaplama kalınlığının, tane büyüklüğünün ve ısı etkisi altında kalan bölge genişliğinin ölçülmesinde yarar sağlar. Tüm bunlar hasar nedeniyle ilişkili olabilir (Eryürek, 1993).

Kırılma tipinin saptanması:

Hasara uğramış parçanın kırılma yüzeyinin ve metalografik kesit incelenmesinden elde edilen bilgilerin kırılma nedenini belirlemede kullanmak için kırılma tipinin saptanması gerekir.

Bazı kırılma tipleri şunlardır; Sünek Kırılma, Yorulma Kırılması, Sıvı Metal Gevrekleşmesi, Hidrojen Gevrekleşmesi, Tane İçi Gevrek Kırılma, Gerilmeli

Korozyon Çatlaması, Sünme ve Sünme Kopması, Kompleks Hasarlar (Eryürek, 1993).

Kimyasal analiz:

Malzemenin öngörülen malzeme olup olmadığını saptamak amacıyla, kimyasal analiz yapmak gerekir. Belirtilen kimyasal bileşimden hafif sapmalar hasar analizinde pek önemli değildir. Gerçekte hasarların çok az bir kısmı uygun olmayan veya hatalı malzeme nedeniyle oluştuğundan, kimyasal analiz sonuçları nadiren hasar nedenini ortaya çıkarır. Özellikle korozyon ve gerilmeli korozyonun mevcut olduğu bazı hallerde, hasarın esas nedenini saptarken yüzey üzerindeki çöküntülerin, tufal veya diğer korozyon ürünleri ile malzemenin temas halinde olduğu ortamın kimyasal analizinin yapılması gerekir. Analiz sonucunda belirli bir element şartnamede belirtilen değerden daha fazla bulunursa, hasarın bu sapmadan kaynaklandığı sonucuna varılmamalıdır. Genellikle böyle bir sapmanın en ufak bir katkısı yoktur. Belirli sınırlar içinde, mikroyapısal bileşenlerin malzeme içindeki dağılımı, bunların malzeme içindeki oranlarından çok daha önemlidir (Eryürek, 1993).

Kırılma mekaniğinin uygulanması:

Kırılma nedeniyle oluşan hasarların araştırılmasında ve benzer hasarları önleyici tedbirlerin tasarlanmasında yük altındaki metallerde oluşan kırılmanın mekaniği, kırılma mekaniği kavramlarının tasarıma uygulanması ve elemanların çalışma ömürlerinin önceden tahmin edilmesi giderek önem kazanmaktadır. Kırılma mekaniği kavramları yorulma, gerilmeli korozyon çatlaması ve hidrojen gevrekleşmesinde de kullanılmaktadır. Kırılma, çatlağın başlaması ve çatlağın ilerlemesi olarak iki aşamadan oluşur. Ayrıca kırılma gevrek ve Sünek kırılma olarak ikiye ayrılır (Eryürek, 1993).

Delillerin analizi, sonuçlar ve hasar raporu:

Her araştırmanın belirli bir safhasında deneylerden elde edilen bilgiler analiz edilir, düzenlenir ve ön sonuçlar ortaya çıkarılır. Birçok araştırma ard arda gelen çok sayıda safhayı içermez. Hasarın muhtemel nedeni araştırmanın başlangıç safhasında ortaya çıkmışsa, araştırmanın bundan sonraki kısmı, bu muhtemel nedenin doğrulanmasına ve diğer ihtimallerin elenmesine doğru yönelecektir.

Hasar nedeninin kolaylıkla saptanamadığı araştırmalarda hasar nedeni ile ilgili bir çıkış yolu bulmak için benzer hasarların yayımlanmış raporlarının taranması gerekebilir.

Hasar analizi yapılırken aşağıdaki şu sorulara cevap aranmalıdır;

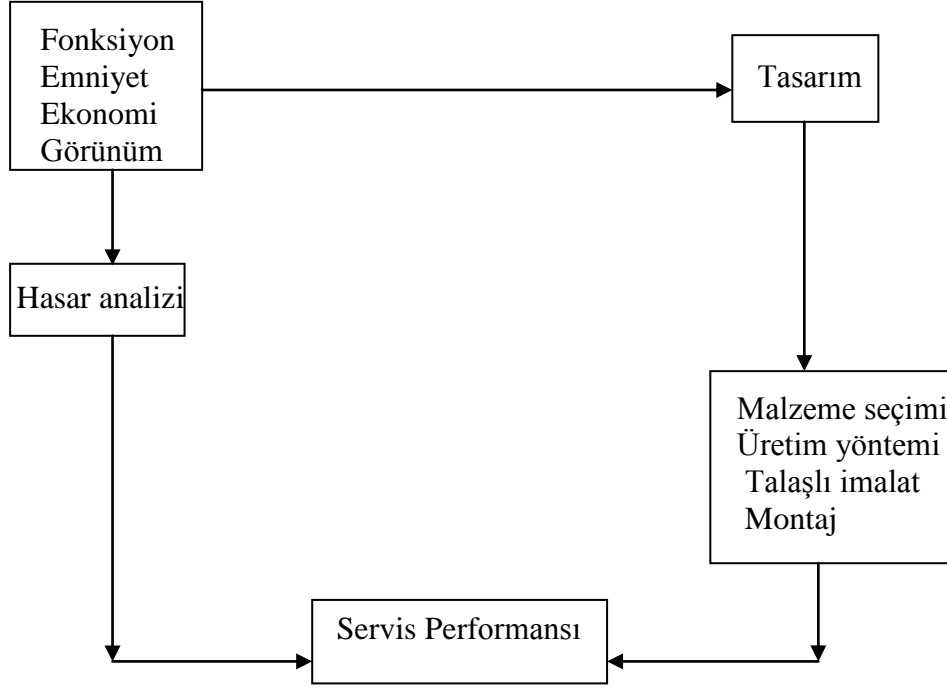
- Karmaşık parçalar tek parça yerine birçok parçanın montajından mı oluşuyor?
 - Parçalar nasıl yüklenmiş ve anizotropinin varlığı düşünülmüş mü?
 - Malzeme kullanıldığı formda kendinden beklenen özellikleri sağlıyor mu?
 - Malzeme istenilen teknik özelliklere uygun seçilmiş mi?
 - Sertlik veya korozyon direnci için gerekli kuvvet sağlanıyor mu?
 - Düşük maliyetli malzeme veya yöntem kullanılarak istenilen özellikler sağlanabilmiş mi?
 - Kullanılan malzemeler ve yöntem uygulanan kod ve standartlara uygun mu?
- Ürün tek çeşit malzeme ve işlemde mi oluşuyor?
- Kullanılan yöntem ve malzeme özel bir yöntem mi yoksa alışılmış bir yöntem mi?
 - Isıl işlem veya kaynaktan önce herhangi bir ön ısıtma yapılmış mı?
 - Üretim metoduyla yeterli miktarda üretim yapılabilir mi?
 - Servis koşulları beklenen rahatlığı sağlıyor mu?
 - Serviste onarım ve bakım kararı almaya parçanın değeri nasıl etki ediyor?
 - Bundan başka hasar analizi yapılırken;
 - Hasarın oluşum sırası,
 - Hasarda çatlak veya kırılma mevcutsa başladığı yerlerin saptanması,

- Çatlağın yüzeye olan uzaklığının saptanması,
- Çatlağın ne kadar süredir mevcut olduğunun saptanması,
- Yüklemenin tipi ve şiddetinin saptanması,
- Hasara sıcaklığın, aşınmanın, korozyonun etkisinin saptanması,
- Elemanın çalışma esnasında tamirine gerek olup olmadığı ve tamir gerekli ise yapılan tamirin doğru bir şekilde yapılıp yapılmadığının saptanması,
- Elemanın doğru şekilde çalıştırılıp çalıştırılmadığının saptanması,
- Benzer hasarların önüne geçmek için tasarımda yapılması gereken iyileştirmelerin saptanmasına özen gösterilmelidir.

Hasar analizinin en son aşamasını raporun yazılması oluşturmaktadır. Rapor açık, öz ve tutarlı olmalıdır. Rapor şu temel bölümlerden oluşmalıdır;

- Hasara uğrayan elemanın tanımı,
- Hasar sırasındaki çalışma şartları,
- Hasar öncesi çalışma geçmişi,
- Elemanın imalat ve işlem geçmişi,
- Hasarın mekanik ve metalürjik etüdü,
- Kalitenin metalürjik değerlendirilmesi,
- Hasara neden olan mekanizmaların önlenmesi,
- Benzer hasarların önlenmesi ve halen çalışmakta olan benzer elemanların düzeltilmesi için tavsiyeler (Eryürek, 1993).

Hasar analizi Şekil 1.1.' de verilen safhalar göz önüne alınarak yapılır.



Şekil 1.1. Hasar analizi safhaları

<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ha/lecture1.pdf>

1.2. Temel Neden Analizi

Hasar analizi, teknolojik hataların cinsini ve sorumlusunu ortaya çıkarmak ve gelecekte tekrarını önleyici tedbirleri önermek amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlerin tümüne denir. Hasar analizinin kapsamını hasarın temel nedenleri ve bunların düzeltilmesi oluşturur. Temel neden analizi üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar fiziksel nedenler, insandan kaynaklanan nedenler ile gizli nedenlerdir. Çizelge 1.1.' de makine elemanlarında görülen yerel hasar sebepleri verilmektedir. (Anonim, 2004 (1)).

Çizelge 1.1. Hasar sebebi tablosu (Anonim, 2004 (1))

Hasar Sebebi	%
Yanlış malzeme seçimi	38
Üretim (fabrikasyon hatası)	15
Hatalı ısıl işlem	15
Tasarım hatası	11
Beklenmeyen çalışma koşulları	8
Uygun olmayan ortam koşulları	6
Kalite kontrol eksikliği	5
Malzeme karışması	2

1.2.1. Hasarın fiziksel temel nedenleri

Bu nedenler dört ana grupta toplanabilir (Anonim, 2004 (1)) ;

- Tasarımdaki eksiklikler,
- Malzeme hataları,
- Üretim/tesisteki hatalar,
- Servis ömründeki bozukluklar

1.2.1.1. Tasarımdaki eksiklikler

Bir ürün veya sistemin tasarım aşamasından kaynaklanan kabul edilemez özellikleri hasarın temel nedenini oluşturur. Tasarım aşaması, orijinal fikrin gelişimi, genel konfigürasyonun tanımı ve detaylı tasarım, malzeme seçimi ve üretim aşamalarını içerir. Tasarımdaki eksikliklere; son derece keskin çentiğe bağlı olarak gerilmelerin artması, karmaşık geometriyle tasarlanmış ısıl işlem konfigürasyonlarının neden olduğu yüksek gerilmeler, istenmeyen engeller içeren konfigürasyonlardan kaynaklanan bağlantı gerilmeleri örnek verilebilir (Eryürek, 1993).

a) σ_{em} değerinden büyük gerilmelerde görülen kusurlar Çizelge 1.2.' de verilmektedir (Anonim, 2004 (1));

Çizelge 1.2. Tasarım hasarı tablosu (Anonim, 2004 (1))

Tasarım Hasarı	Sebebi
Sünek hasar: Aşırı elastik- plastik deformasyon, yırtılma veya sünek kırılma	Hata
Gevrek kırılma: yüzey veya iç çatlaklar	Aşırı yükleme
Yorulma	Hata/Aşırı yükleme
Yüksek sıcaklık hasarı: sürtünme, oksitlenme, Deformasyon	Hata
Statik kırılma: hidrojen gevrekliği, ortam koşulları nedeniyle çatlağın ilerlemesi	Aşırı yükleme
Aşırı gerilme yoğunlaşması içeren tasarım (sert köşe, kompleks şekil ve çentik)	Aşırı yükleme
Kompleks bir parçada gerilme analizinin doğru yapılmaması	Hata
Statik çekme mekanik özelliklerinden yapılan tasarım (parçanın çalışma ortamı düşünülmemesi)	Hata

b) σ_{em} değerinden küçük gerilmelerde görülen kusurlar şekil 1.2.' de verilmektedir (Anonim, 2004 (1));

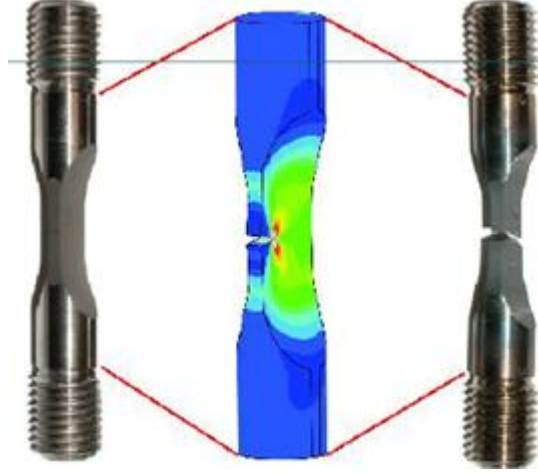
- Mikro veya makro çatlaklar
- Mekanik, ısıl, kimyasal işlemler mikro, makro hatalar doğurur.



Şekil 1.2. Tasarım hatasına örnek (Anonim, 2004 (1))

Yapı hataları

- 1) Anizotropi
- 2) Bölgesel yapı değişiklikleri



Şekil 1.3. Aşırı yüklemeye örnek (Anonim, 2004 (1))

1.2.1.2. Malzeme hataları

Ürünün performansını olumsuz yönde etkileyen süreksizlikler malzeme hatalarıdır. Üretimde gerekli ölçüm ve analizler yapılsa da hataların oluşumu engellenemez. İmalathane, dökümhane veya ısıl işlem fırınlarında üretilen birçok hatalı ürün kalite sistemlerine takılır ve böylelikle hatalı ürünlerin piyasaya sürülmesi önlenir.

1.2.1.3. Üretim hataları

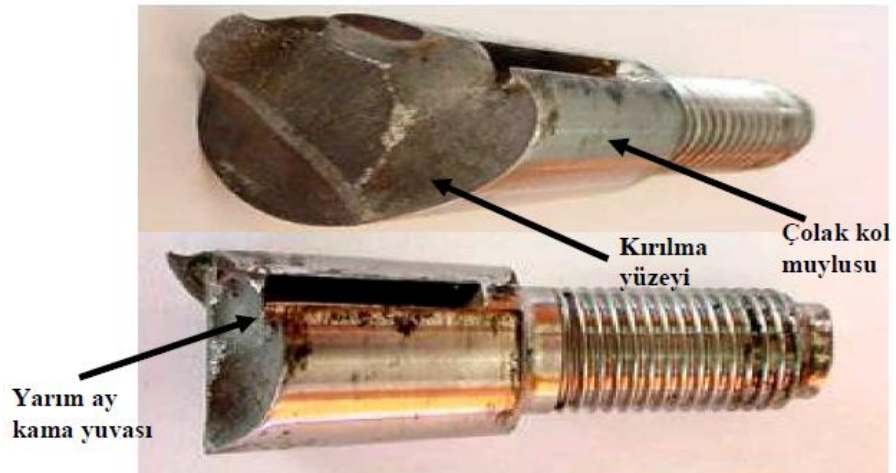
Üretim; teknik bilgilerde ve ham malzemeyle yeni bir ürün oluşturma aşamalarına verilen isimdir. Tesis ise üretimin yapıldığı fabrika veya kuruluştur. Tüketiciden hatalı olduğu için iade edilen ürünün analizi yapılırken üretim işlemleri veya tesiste kurulumu yanlış yapılan cihazlar dikkate alınmalıdır. Kontrol limitlerini çok aşan sapmalara izin verildiği takdirde hatalı ürün çıkar (Gökşenli vd., 2007).

Şekil 1.4. de hasarlı bir çolak kolunun incelenmesi verilmektedir.



Şekil 1.4. Hasarlı çolak kolu (Gökşenli vd., 2007)

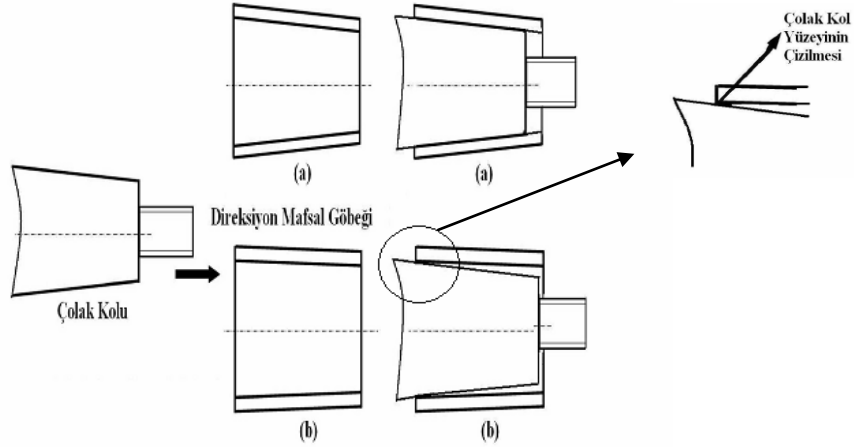
Hasarlı çolak kolu üzerinde gerçekleştirilen ilk incelemelerde hasarın çolak kolunun direksiyon mafsalına bağlandığı göbek bölgesinden kırılması ile gerçekleştiği tespit edilmiştir. Hasara neden olan kırılma bölgesinin çolak kolu muylusunun direksiyon mafsalına dayandığı faturadan başladığı ve çolak kol muylusu üzerinde bulunan yarım ay kama yuvasında son bulduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1.5. Hasarlı çolak kolundaki kırılma bölgesi (Gökşenli vd., 2007)

Hasar çolak kolunun (Şekil 1.5.) direksiyon mafsalına bağlandığı göbek bölgesinden kırılması sonucu oluşmuştur. Hasarlı çolak kolu, hasar bölgesi ve kırılma yüzeyi analiz edilmiş ve hasarın zıt yönlü eğilme ve burulma gerilmelerinin etkisiyle oluştuğu tespit edilmiştir. Direksiyon mafsalına gelen kuvvet ve momentler yardımıyla gerilme analizi ve yorulma emniyet katsayısı tespit edilmiştir. Sayısal, fraktografik analizler ve montaj aşamaların ışığı altında hasarın malzeme veya

tasarım kusurundan dolayı oluşmadığı, direksiyon mafsal göbek geometrisinin (Şekil 1.6.) hatalı olmasından dolayı bir üretim hatası sonucu oluştuğu kanaatine varılmıştır (Gökşenli vd., 2007).

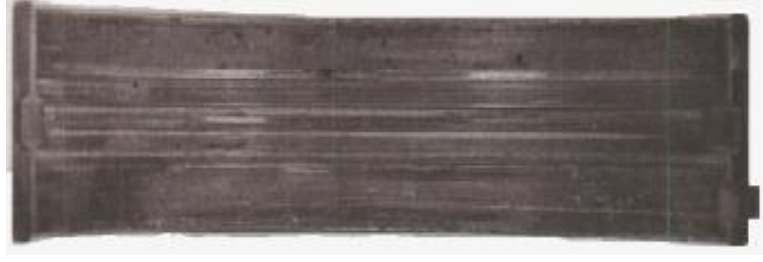


Şekil 1.6. Direksiyon mafsal göbeği-çolak kol muylu bağlantılar
(a) Olması gereken (b) Hasarlı (Gökşenli vd., 2007)

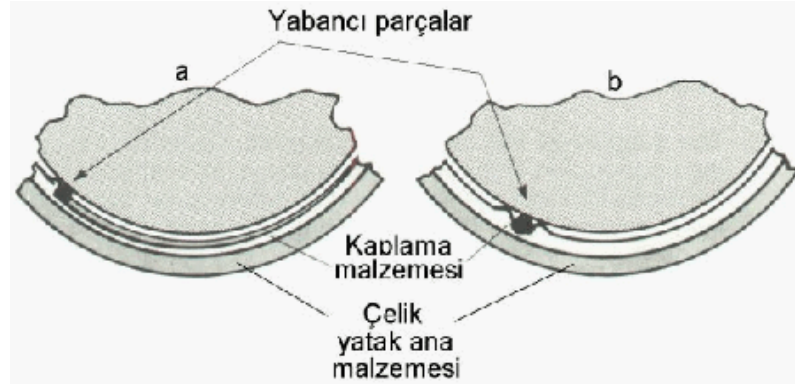
1.2.1.4. Servis ömründeki bozukluklar

Bir ürünün servis ömrü bu ürünün çalışma şekli, bakımı, muayenesi, tamiri ve modifiyesini içermektedir. Bu sayılan durumlardan herhangi birinde oluşan hasar; tasarım aşamasında, malzeme temininde ve ürünlerin imalatı esnasında meydana gelir.

Şekil 1.7.'de verilen örnekte hasara uğramış bir yatak verilmiştir. Hasarlar, yabancı parçalar, çizilme ve gömülme olarak belirtilmiştir. Bu hasarların nedenleri; servis sırasında kirli yağ kullanımı, montaj öncesi motor parçaların (motor bloğundaki yağ kanalları, krank mili kanalları, piston kolu kanalları vs.) yeterince temizlenmemesi, yağ filtre değişiminin düzensiz yapılmasıdır.



Şekil 1.7. Hasara uğramış kaymalı yatak



Şekil 1.8. Yatağa yapışmış yabancı maddeler (Yazıcı, 2004)

1.3. Hasar Çeşitleri

1.3.1. Hasarın sınıflandırılması

Hasarı sınıflandırmanın ve malzeme hasarının şekli mekanizma veya nedene dayanarak açıklamanın birçok yolu mevcuttur. Sınıflandırma sistemine bağlı olarak malzemelerin fiziksel hasarı birçok kategoriye ayrılır. Distorsiyon ve deformasyon, kırılma, korozyon, yorulma.

Yukarıda belirtilen bu dört kategori hasarın genel şeklini ifade eder ve hasarın çeşitli temel mekanizmalarını içerir. Burada iki veya daha fazla mekanizmanın bazı hasarlarda aynı anda meydana gelmesi göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür (Eryürek, 1993).

1.3.1.1. Distorsiyon hasarları

Distorsiyon hasarı, yapı veya yapı elemanındaki deformasyon sonucu oluşur ve aşağıdaki hallerden birine yol açar.

- Yapı veya eleman taşıması öngörülen yükü taşıyamaz hale gelir.
- Yapı veya eleman öngörülen işlevi yapamaz hale gelir.
- Eleman diğer bir elemanın çalışmasını engeller.

İki tip distorsiyon mevcuttur.

- Boyut distorsiyonu: Hacim değişimi anlamına gelir (büyüme veya kendini çekme).
- Şekil distorsiyonu: Geometrik şekilde değişme anlamına gelir (eğilme veya çarpılma).

Distorsiyon hasarları elastik veya plastik olabilirler, kırılmayla sonuçlanabilir veya sonuçlanmazlar. Bir yapıda ne ölçüde deformasyonun distorsiyon hasarı yaratacağı, o yapıdaki elemanlardan beklenen işleve ve elemanların geometri ve boyutlarındaki sınırlamalara ve hassasiyete bağlıdır. Örneğin kam mekanizmasında, kam'ın şekil hassasiyeti, "tij" in kesin konumunu alması bakımından çok önemlidir. Diğer taraftan bir milin aşırı sehim yapması, yataklar arasında serbestçe hareketini engeller. Bir takım tezgahının kritik parçalarının deformasyonu, talaş kaldırma işleminin hassasiyetini ortadan kaldırır. Bu örneklerden de anlaşılacağı gibi, aşırı deformasyonun oluşturduğu hasar, deformasyonun burkulma ve akma gibi büyük boyutlarda olmasını gerektirmez. Duyarlı bir makinada çok küçük bir elastik deformasyon hasara neden olurken, bir başka yapıda bir elemanın plastik deformasyonuna bile müsaade edilebilir (Eryürek, 1993).

Plastik distorsiyon hasarları:

Plastik distorsiyon hasarları, uygulanan yüklerin elemanda genel akma yaratacak düzeye yükselmesiyle oluşur. Plastik distorsiyon hasarları parça geometri ve boyutlarında kalıcı değişimler oluşturduğu için kolaylıkla teşhis edilebilir. Bunlara örnek olarak, bir otomobil gövdesinin çarpışma sonucu hasarı ve sert bir tahtaya çakılan çivinin eğilmesi verilebilir. Ancak hasar analiz uzmanı çok daha karmaşık durumlarda da karşılaşılabilir. Bazı hallerde plastik distorsiyon hasarı bir başka hasarın sonucu olarak ortaya çıkabilir, yani hasarın gerçek nedeni olmayabilir.

Plastik distorsiyon hasarına karşı tasarımda kullanılacak malzeme parametresi, malzemenin akma dayanımıdır (Eryürek, 1993).

Elastik distorsiyon hasarları:

Elastik distorsiyon hasarları burkulma ve sıkışma olmak üzere iki şekilde ortaya çıkar.

Burkulma:

Burkulma yoluyla hasar, büyük basma yüklerine maruz, uzun narin çubuklarda oluşur. Pratikte basma kuvvetlerinin ekseni ile çubuk ekseni çakışmaz ve çubuk merkezinde eğilme momenti ortaya çıkar. Küçük yüklerde, çubuk yana doğru hafif bir sehim yaparsa, çubuktaki elastik geri getirme kuvvetleri çubuğu düzelterek tekrar eski konumuna getirmeye yeterlidir. Yani sistem kararlı denge konumundadır. Uygulanan yük arttırıldığında, kritik bir yük değerinde doğal denge erişilir. Bu noktada burkulma ve elastik geri getirme kuvvetleri eşittir ve bu nedenle de çubuk sehim değerini korur. Bu kritik değerden daha büyük yükler elastik hasara neden olur. Kritik yükten daha büyük yük değerinde, çubuğun başlangıçtaki düz halinden yana doğru hafifçe sehim yapması, hızla gelişen ve çubuğun ya akması veya kırılması ya da iki ucunun birbirine değmesiyle sonuçlanan burkulmaya neden olur. Kritik yükün değeri, çubuğun elastiklik modülü ve kesit atalet momentiyle doğru,

çubuk uzunluğu ile ters orantılıdır. Ayrıca bu değer çubuğun uçtan yüklenme şekline de bağlıdır.

Burkulma hasarlarına karşı tasarımda kullanılacak malzeme parametresi, malzemenin elastiklik modülüdür (Eryürek, 1993).

Sıkışma:

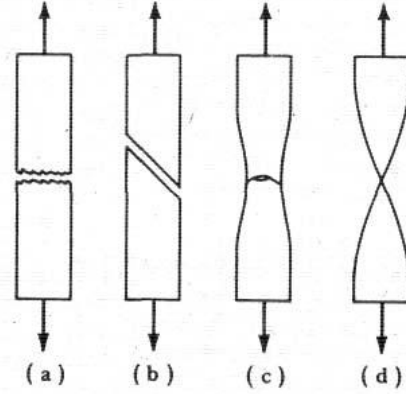
Aşırı büyüklükteki elastik deformasyonlar sıkışma yoluyla hasar oluşturur. Örneğin, rotorla stator arasındaki boşluğun küçük olduğu motorlarda yük uygulandığında oluşabilecek büyük elastik sehimler motorun tutukluk yapmasına neden olur. Bir kren köprüsünün yük altında aşırı sehim yapması, arabanın köprü üzerindeki raylarda ilerlemesini imkânsız kılar. Bir otomobil şasisinin yolcular içeri girdikten sonraki elastik deformasyonu, otomobil kapılarının kapanmasını engelleyebilir. Bir milin aşırı sehim yapması, mil yatağını aşındırabilir.

Sıkışmaya karşı tasarımda kullanılan malzeme parametresi malzemenin elastiklik modülüdür (Eryürek, 1993).

1.3.1.2. Kırılma

Bir cisim içinde mevcut olan veya sonradan oluşan bir çatlak, cisme uygulanan gerilmelerin etkisi altında, ilerleyerek cismi iki veya daha çok parçaya ayırmasına 'kırılma' adı verilir. Kırılma olayları genellikle çatlamanın başlaması ve çatlak ilerlemesi olmak üzere iki safhada incelenir. Çatlak ilerlemesi kararlı veya kararsız olabilir. Kararlı çatlak ilerlemesinde, çatlak boyunu belirli bir miktar arttırabilmek için yükü de belirli bir miktar arttırmak gerekir. Kararsız çatlak ilerlemesinde yükleme sistemi öyledir ki, çatlak yükün arttırılmasına gerek kalmaksızın hızla ilerler. Kararlı olarak ilerleyen çatlak belirli bir uzunluğa ulaştıktan sonra kararsız hale gelebilir.

Kırılma gevrek ve sünek kırılma olmak üzere ikiye ayrılır. Çatlağın bulunduğu kesidin tamamı plastik şekil değiştirdikten sonra kararsız çatlak ilerlemesi oluşuyorsa, bu tip kırılmaya 'sünek kırılma' adı verilir. Aksi takdirde kırılma 'gevrek kırılma' dır (Eryürek, 1993).



Şekil 1.9. Kırılma örnekleri

<http://www.gyte.edu.tr/mak612-ders-notlari-02.pdf>

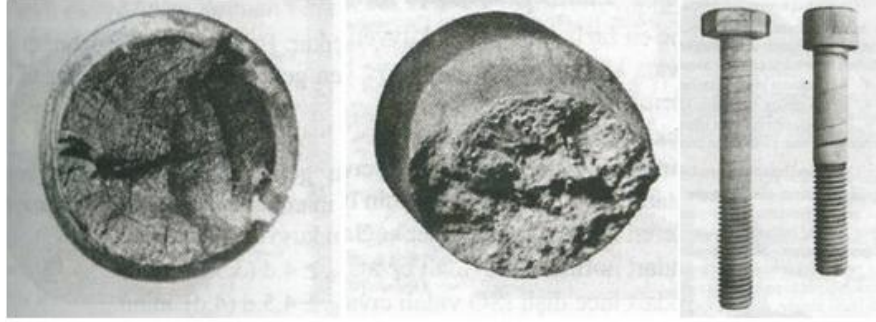
Şekil 1.9.' da verilen şekilde (a) şekli çok kristalli metallere gevrek kırılmaya, (b) şekli sünek tek kristallerde kayma kırılmasına, (c) şekli çok kristalli metallere sünek çanak-koni tipi kırılma tipine, (d) şekli ise çok kristalli metallere tam sünek kırılma (kesit daralması %100) tipine örnektir

Gevrek kırılma:

Gevrek kırılmada malzeme, çok az plastik şekil değiştirdikten sonra veya hiç şekil değiştirmeden iki veya daha çok parçaya ayrılır. Çekme deneyinden bu ayrılma genellikle ayrılma düzlemleri boyunca oluşur. Ayrılma, normal gerilmenin maksimum olduğu kristal düzlemleri boyunca meydana gelir.

Çekmeye zorlanan çok kristalli bir metalde, gevrek kırılma makroskopik olarak çekme gerilmesine diktir ve çatlağın taneden yayılması sırasında ayrılma düzlemlerinin doğrultusu değiştiği için de parlak taneli bir görünüme sahiptir.

Genel olarak düşük sıcaklık ve yüksek şekil değiştirme hızı, özellikle bazı sıkı düzen hegzagonal ve birçok hacim merkezli kübik metalde, gevrek kırılmayı teşvik eden faktörlerdir (<http://www.gyte.edu.tr/mak612-ders-notlari-02.pdf>). Gerilme hali de kırılma tipine etki eder.

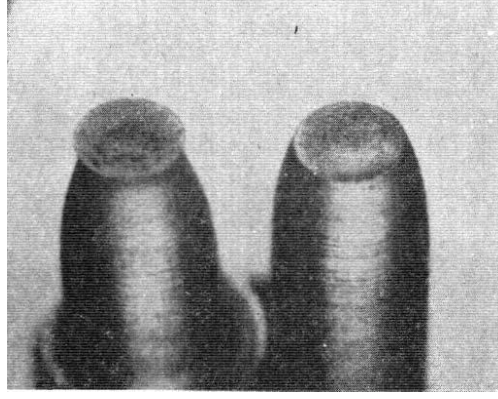


Şekil 1.10. Gevrek kırılma (<http://www.gyte.edu.tr/mak612-ders-notlari-02.pdf>)

Sünek kırılma:

Sünek kırılma belli bir miktar plastik şekil değişiminden sonra oluşur. Sünek malzemelerin gerilme-gerinim eğrileri altındaki alan büyüktür yani sünek kırılma gevrek kırılmaya kıyasla oldukça büyük enerji yutar. Altın ve kurşun gibi çok sünek malzemelerin çekme deneyinde, kopmadan önce, büzülen kesitin çok küçülmesine ve hemen hemen bir noktaya dönüşmesine karşılık çoğunlukla kesit belirli bir değere düşünce kopma olur. Sünek kırılma genellikle kayma gerilmesinin maksimum olduğu düzlemler boyunca oluşur.

Sünek kırılmalarda oluşan kırılmaya şeklinden dolayı çanak-koni tipi kırılma denir. Kırılma yüzeyinin kenarlarındaki ve çekme doğrultusuyla 45^0 açı yapan yüzeye de kayma yanakları adı verilir (Reed-Hill, 1964).



Şekil 1.11. Çekme deneyinde sünek kırılma (çanak-koni tipi kırılma)
(Reed-Hill, 1964)

Önemli kırılma mekanizmaları:

Kırılma aşamalarından biri olan çatlak ilerlemesi üç değişik mikro mekanizmayla meydana gelmektedir. Bunlar; Mikro Boşluk Birleşmesiyle Çatlak İlerlemesi; Ayrılma (Cleavage) ile Çatlak İlerlemesi; Taneler-arası Çatlak İlerlemesi (Eryürek, 1993).

Mikro boşluk birleşmesiyle çatlak ilerlemesi:

Bu kırılma tipi 'lifli kırılma' veya 'yırılma' olarak da adlandırılır. Bu tip çatlak ilerlemesinde, maksimum kayma gerilmesi düzlemlerindeki plastik deformasyon sonucunda, metalsel olmayan kalıntılarla metal arasındaki bağlar koparak buralarda çukurcuklar (mikro boşluklar) oluşur. Daha sonra, bu boşluklar yine plastik deformasyonla birleşerek çatlağın ilerlemesini sağlar. Bu şekilde kırılmış parçaların yüzeyine elektron mikroskobu ile bakıldığında ay yüzeyine benzer çukurcuklu (kraterli) bir kırılma yüzeyi gözlenir. Bu tip kırılmada çukurcukların etrafında yerel plastik deformasyon olduğundan kırılma yüzeyi ışığı çeşitli yönlerde yansıtır ve bu nedenle mat (lifli) bir görüntü verir (Eryürek, 1993).

Ayrılma (cleavage) ile çatlak ilerlemesi:

Hacim merkezli kübik yapıya sahip metallerde, özellikle çeliklerde ortaya çıkar. Çatlak tane içinde düşük miller endisli düzlemleri takip ederek ilerler. Ayrılma kırılmasının başlaması için yerel plastik deformasyon gerekirse de tane içinde ilerlemesi sırasında plastik deformasyon oluşmaz. Bu nedenle; ayrılma yüzeylerine gelen ışık aynen geri yansır ve yüzeye parlak bir görüntü verir. Ayrılma yüzeyleri her bir tanede farklı doğrultuda olduğundan çatlak taneden taneye geçerken her bir tane içinde farklı doğrultuda hareket eder. Böylece, ayrılma yoluyla kırılmış bir malzemenin kırılma yüzeyi taneli bir görüntü verir. Bu yüzeyden malzemenin tane büyüklüğü hakkında da bir fikir edinmek mümkün olur (Eryürek, 1993).

Taneler-arası çatlak ilerlemesi:

Genelde tane sınırları tane içinden daha yüksek dayanıma sahiptir. Bu yüzden çoğunlukla tane-içi çatlak ilerlemesi (yırılma veya ayrılma) oluşur. Ancak tane sınırlarında, sınırları gevrekleştirici bir faz bulunuyorsa veya malzeme, tane sınırlarının tane içinden daha zayıf hale geldiği eş-kohezyon sıcaklığı üzerinde ise, çatlama tane sınırları boyunca oluşur (Eryürek, 1993).

1.3.1.3. Korozyon

Korozyon metallerin ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonu sonucu malzeme özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesidir. Kimyasal korozyon, metalin (<http://www.saritas.com.tr/pdf>) içinde bulunduğu ortamdaki diğer bir elementle doğrudan elektron alışverişinin söz konusu olduğu bir reaksiyondur. Metal genellikle ortamdaki oksijene elektron verir ve reaksiyon sonucu metal oksit oluşur. Oksidasyon özellikle yüksek sıcaklıklarda belirgindir ve bu durumda oluşan korozyon ürününe teknik dilde 'tufal' denir. Elektrokimyasal korozyonda konum olarak çoğunlukla farklı yerlerde oluşan iki kısmi reaksiyon vardır. Genel olarak bütün metallerde ve özellikle paslanmaz çeliklerde elektrokimyasal korozyon hasarlarına daha çok rastlanır.



Şekil 1.12. Korozyona uğramış doğal gaz borusu (<http://www.igdas.com.tr>)

Korozyon biçimleri:

Malzemede korozyona bağlı hasar başlıca üç biçimde gerçekleşir: Genel korozyon, Noktasal korozyon ve Korozyon çatlakları.

Genel korozyon bütün yüzeyi etkilerken, noktasal korozyonda krater ya da iğne şeklinde yerel çukurlar oluşur veya yüzeyin altı oyulur. Genel korozyonda metal çözünmesi yavaştır ve ortaya çıkan korozyonun neden olduğu maddelerden ötürü kolaylıkla fark edilerek önlem alınabilir. Ancak ulaşılamayan iç boşluklarda görünüm bozulması izlenemeyeceğinden tehlikeli olabilir. Noktasal korozyonda ise ortaya çıkan korozyonun yarattığı maddeler fark edilmeyecek kadar azdır, bundan dolayı parça delinip sızma gibi bir belirti görülmeden fark edilmez. Bu duruma gelindiğinde ise sistemin bütününde dolaylı oluşacak hasar, korozyon hasarının kendisinden çok daha ağır sonuçlara yol açabilir.

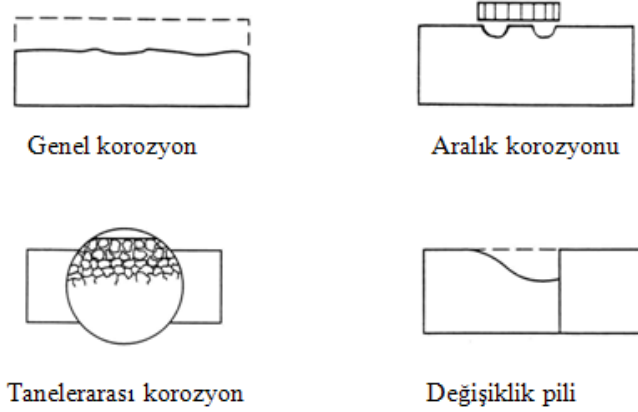
Korozyon çatlakları ise en tehlikeli korozyon biçimi olup, noktasal korozyon gibi çok zor fark edilir. Mekanik zorlama altındaki çatlak uçlarında çentik etkisiyle oluşan gerilme yığılmaları ile kesit daralması sonucu ortaya çıkan aşırı zorlama, kırılmaya yol açabilir. Korozyon çatlaklarının hem tane sınırlarından hem de tane içlerinden ilerlemesi mümkündür (<http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf>).

Korozyon türleri:

Korozyon türlerini mekanik zorlamasız ve mekanik zorlamalı olmak üzere iki ana başlıkta toplayabiliriz.

Mekanik zorlamasız korozyon türleri:

Temas korozyonu, derişiklik pili, aralık korozyonu ve ayrımlı korozyon şeklinde sıralanabilir (<http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf>) (Şekil 1.13.).



Şekil 1.13. Mekanik zorlamasız korozyon türleri

(<http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf>)

Temas korozyonu veya temas pilinde anotla katot arasındaki elektrik direnci genellikle çok küçüktür, yani kısa devre bulunmaktadır. Bu durumda anot ve katot iki ayrı parça ise makro temas pili oluşur ve üniform bir genel korozyon görülür. Anot ve katot yüzeyleri çok küçük ve yan yana ise yerel temas pili oluşur. Bu tür korozyon heterojen bir karışımın değişik içyapı bileşenleri arasında ortaya çıkabileceği gibi sıvı içindeki metal birikintiler ile sıvıyı taşıyan kap veya boru arasında ortaya çıkabilir ve her iki durum da noktasaldır. Derişiklik pili elektrolit içindeki belirli maddelerin homojen olmayan derişikliklerinden kaynaklanır. En sık rastlanan derişiklik pili elektrolite oksijen girişinin çeşitli bölgelerde farklı olmasından ileri gelen havalandırma pildir. Dar aralıklarda veya sızdırmazlık

yüzeylerinde oluşan aralık korozyonu da farklı havalandırma koşullarına bağlanabilir. Örneğin aralık içinde oksijen derişikliği az, dışarıda ise daha yüksektir

Ayrımlı korozyonda belirli içyapı bileşenleri, tane sınırına yakın bölgeler veya bazı alaşım elemanları elektrolitte öncelikle çözünürler. Tanelerarası korozyon ayrımlı korozyon için bir örnektir. Çünkü burada ya tane sınırlarının yüksek enerjisi veya farklı yapıları nedeniyle tane sınırı çökeltilerinin veya tane sınırlarının çözünmesi söz konusudur. Taneleriçi korozyon ise plastik şekil değişimi sonucu dislokasyon yoğunluğu fazla ve böylece enerji seviyesi yükselmiş olan kayma düzlemleri üstünde ilerler. Ayrımlı korozyonun özel halleri kır dökme demirdeki süngerleşme ve pirinçteki çinkosuzlaşmadır. Bu durumda parça dış biçimi korur, ancak dayanımını kaybeder (<http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf>).

Mekanik zorlamalı korozyon türleri:

Mekanik zorlamalı korozyon, hidrojen gevrekliği ve korozyon yorulması şeklinde sıralanabilir (Şekil 1.14.).



Şekil 1.14. Mekanik zorlamalı korozyon türleri

(<http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf>).

Gerilme korozyonu elektrolit içinde bulunan ve bir çatlak başlangıcı taşıyan parça üzerine çekme gerilmelerinin etkimesi ile ortaya çıkar. Çatlak başlangıçları yüzeyde ve mikroskopik ölçeğin altında büyüklükteki süreksizliklerdir. Çatlaklar mekanik gerilme ve korozyonun ortak etkimesi sonucu da ortaya çıkabilirler.

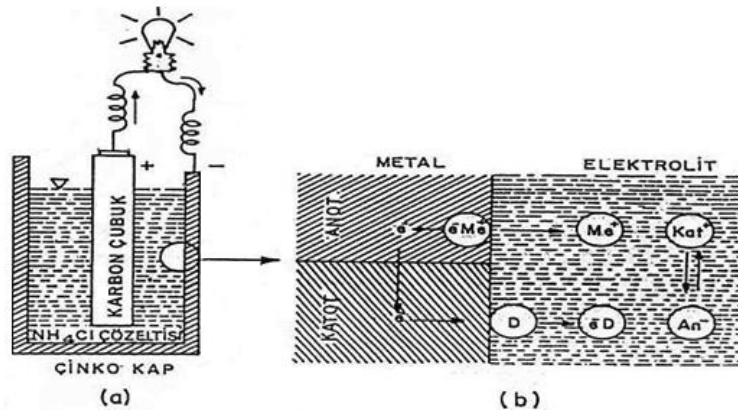
Gerilme korozyonu her türlü malzemede görülebilir, ancak paslanmaz çelik gibi korozyona dayanıklı malzemeler koruyucu tabakanın hasar görmesi ile özellikle

duyarlı hale geçebilirler. Gerilme korozyonu malzemeye ve elektrolite bağlı olarak hem tanelerarası hem de taneleriçi türden olabilir

Korozyon yorulmasında ise gerilme korozyonunu mekanizması büyük ölçüde aynen geçerlidir. Yalnız yorulma zorlamaları altında yüzeyde çıkıntı ve girintiler, yani uçlarında dislokasyon yoğunluğu yüksek olan derin çatlak başlangıçları her zaman oluştuğundan, korozyon yorulmasının görülmesi için belli bir elektrolitin bulunması gerekmez. Korozyon yorulması hemen hemen her zaman taneler içi çatlaklar şeklinde ilerler (<http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf>).

Elektro-kimyasal korozyon:

Metalin bulunduğu ortam elektriği iletmiyorsa kimyasal korozyon söz konusudur. Eğer ortam elektriği iletmiyorsa bir korozyon hücresi oluşarak elektro-kimyasal korozyon meydana gelir. Bu iki halde korozyon ürünleri de farklıdır. Örneğin, bir kimyasal korozyon olan çeliğin oksidasyonundaki korozyon ürünü Fe_xO_y yani 'tufal' iken, elektrokimyasal korozyonundaki korozyon ürünü ($Fe(OH)_3$) yani 'pas'dır. Elektrokimyasal korozyonun meydana gelmesi için gerekli olan korozyon hücresi birbirine elektriksel temas halinde bulunan anot ve katot isimindeki iki elektrot ve bu elektrotların içinde bulunduğu iletken bir sıvı ortamdan oluşmaktadır (Şekil 1.15.) (Eryürek, 1993).



Şekil 1.15. Korozyonun elektrokimyasal oluşum düzeni

(a) Pil, (b) Korozyon hücresinde yer alan olaylar

(<http://akat.net/korozyon.html>)

Korozyon hasarlarının analizi:

Korozyonun tipi, hızı ve ilerleme miktarı, ortamın ve bu ortamla temasta olan metal yüzeyinin doğası, bileşimi ve üniformluğundan etkilenir. Bu faktörler korozyon ilerledikçe sabit kalmazlar. Dışarıdan uygulanan değişmelerden veya korozyon olayının doğrudan sonucu olarak meydana gelen değişmelerden etkilenirler. Korozyon olayına etki eden diğer önemli faktörler de şunlardır: Metal-ortam ara yüzeyindeki sıcaklık ve sıcaklık gradyanı, metal parçadaki veya montajdaki aralıklar, metal parça ile ortam arasındaki izafi hareket. Yüzey taşlama, ısıl işlem, kaynak, soğuk ve sıcak şekil verme, delme ve kesme gibi işlemler metal parça üzerinde çeşitli oranlarda genel veya yerel değişmeler oluşturur ve bunlar parçanın korozyon duyarlılığını etkiler (Eryürek, 1993).

Hasara uğramış parçanın hasar sırasındaki çalışma koşulları ile geçmişteki çalışma koşulları saptanarak kıyaslanmalıdır. Varsa benzer sistemlerde çalışan aynı tip parçaların durumları hasara uğramış parçayla karşılaştırılarak farklılık nedenleri araştırılmalıdır.

Hasara uğramış parçanın maruz kaldığı ortam hakkındaki bilgiler birinci derecede önemli bilgilerdir. Parçanın korozyon özellikleri sistemdeki hem yerel hem de hacimsel ortam bileşiminden, parçanın ortama sürekli veya zaman zaman maruz kalmasından, sıcaklıktan ve bu faktörlerin parçanın çalışma ömrü sırasında değişip değişmemesinden etkilenir (Eryürek, 1993).

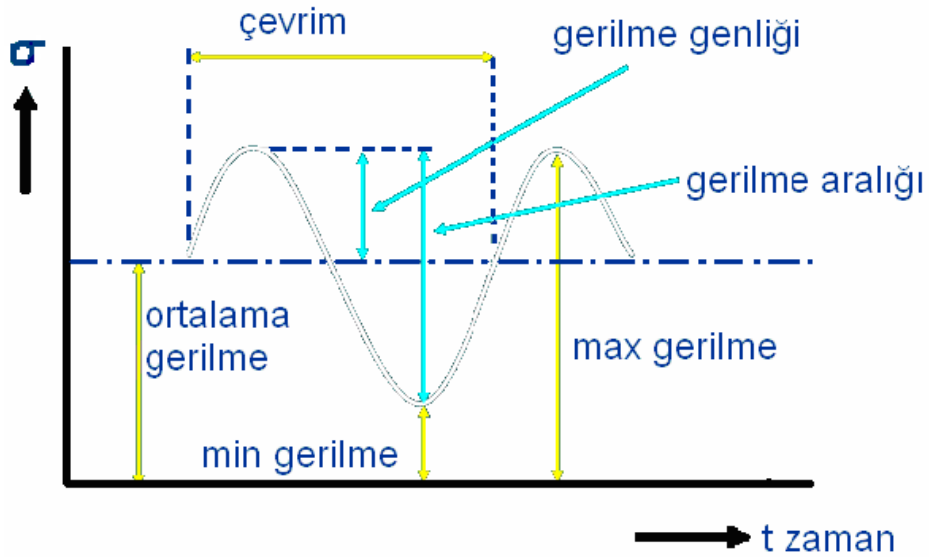
Korozyon hasarının rolünü ortaya çıkarmak için aşağıdaki faktörlerin özellikle göz önüne alınması gerekir:

- Hasara uğramış parçanın yapıldığı metal veya metallerin kimyasal bileşiminde tasarımda istenen kimyasal bileşimden önemli ölçüde sapmalar olup olmadığına bakılmalıdır.
- Hasara uğramış parçanın maruz kaldığı ortamın hem hacimsel bileşimi hem de hasar yerinde metal-ortam arayüzeyindeki yerel bileşimin bilinmesi gerekir.

- Metal yüzeyinde heterojenlik olup olmadığına bakılmalıdır. Korozyif ortamlarda kullanılan metallerin yüzeylerinin heterojenlikleri nedeniyle önemli ölçüde korozyon hasarı oluşmaktadır.
- Metal yüzeyi üzerindeki kalıntıların zararsız maddeler mi yoksa korozyon ürünlerinin kalıntısı mı olduğu veya metal yüzeyi üzerindeki tabakanın metalin kimyasal bileşiminden farklı bir bileşimde olup olmadığına araştırılması gerekir (Eryürek, 1993).

1.3.1.4. Yorulma

Malzemenin tekrarlı yüklere maruz kalması, belli bir tekrar sayısından sonra yüzeyde çatlak oluşması, bunu takip eden kopma olayı ile malzemenin son bulmasına 'yorulma' adı verilir.

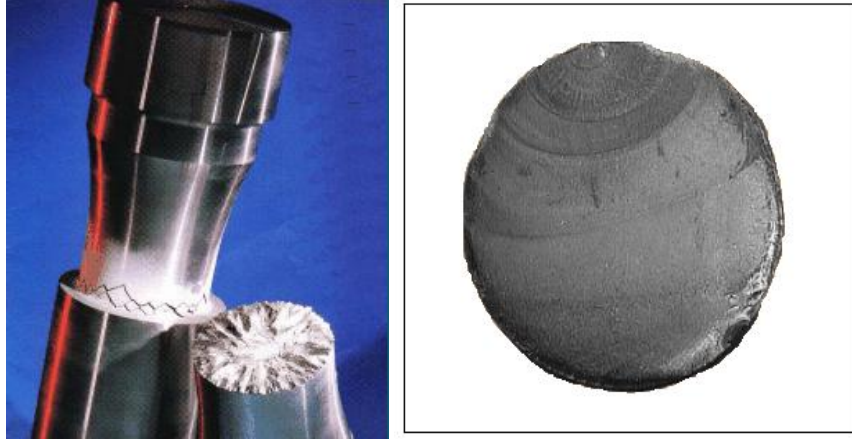


Şekil 1.16. Yorulma parametreleri

(<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ha/lecture6.pdf>).

Yorulma kırılmasında yüzeyin ilginç bir görünüşü vardır. Yüzeyde çatlağın başladığı yorulma odağı ile onu çevreleyen midye kabuğunu andıran aynı merkezli eğriler ve bunların yanında taneli bir bölge görülür. Çatlak zamanla yavaş yavaş ilerlerken karşılıklı yüzeylerin sürekli birbirine sürtünmesi sonucu yorulma kırılması yüzeyi

parlak görünür. Çatlak ilerleyip geri kalan dolu kesit normal yükü taşıyamaz hale gelince ani kırılma meydana gelir ve kırılma yüzeyi taneli görünüştedir (<http://eyupyaylaci.com/malzemelerin-yorulmasi/>).



Şekil 1.17. Yorulma

(<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ha/lecture6.pdf>).

Yorulma mukavemetini etkileyen etkenler:

- Parçanın yüzey işleme kalitesi,
- Sıcaklık,
- Çevrenin kimyasal etkisi,
- Frekans,
- Gerilme koşulları.

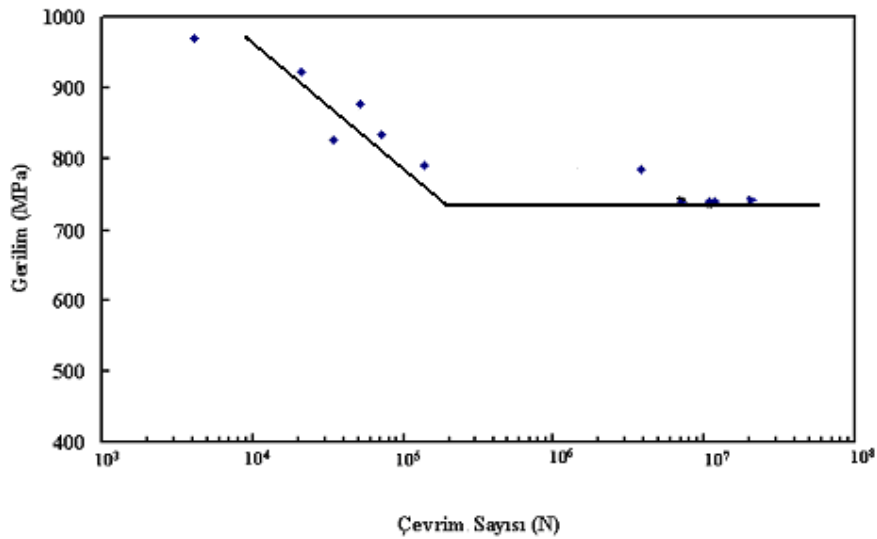
Gerilme koşulları sabit kaldığı zaman yukarıdaki ilk dört etkenin yaratacağı sonuçlar ayrı ayrı saptanabilir. Bunların yanında ayrılma gerilme koşulları da yorulma mukavemetine etkir. Özellikle çok eksenli gerilme hallerinin getireceği şekil değiştirme kısıtlamalar malzeme ömrünü arttırıcı yönde etkiler.

Yorulma çatlakları çoğu zaman yüzeyde başlayıp içeriye doğru yayıldığından yüzey işleme kalitesinin önemi büyüktür. Yüzeydeki pürüzler çentik etkisi yaparak çatlak oluşumunu kolaylaştırır. Yüzey işleme kalitesi arttıkça yorulma mukavemeti büyür.

Sıcaklık genellikle mukavemeti azaltıcı yönde etkilediğinden yorulma mukavemetinin de azalması doğaldır. Normal koşullarda frekansın yorulma mukavemetine etkisi önemsizdir. Bundan dolayı yorulma deneylerinde deney süresini kısaltmak için yüksek frekanslı gerilme uygulayan deney makineleri tercih edilir. Hidrolik yorulma makineleri 50 Hz'i geçmediği halde elektromıknatıslarla kuvvet uygulayan makinelerde bu değer 400 Hz'e kadar çıkartılmıştır. Çok yüksek frekanslarda plastik şekil değiştirme için daha az zaman kaldığından genellikle yorulma mukavemeti yaklaşık % 10 kadar artar.

Değişken gerilme altında çevrenin kimyasal etkisi daha şiddetli olur, dolayısıyla yorulma ömrü kısalır (http://www.muhendisizbiz.net//malzeme_yorulmasi.pdf). Uygulamada korozyon yorulması önemli sorun yaratabilir. Ayrıca korozif bir ortamda demir esaslı alaşımların S-N diyagramlarının sürekli azaldığı ve asimptotik bir değere ulaşmadığı görülmüştür.

Tekrarlı sürünen yüzeylerde korozyon daha etkili olur. Fretting korozyonu denen bu olay da yorulma mukavemeti azalır. Özellikle asma köprülerde çelik kablo ile bağlantı kelepçelerinin temas yüzeylerinde bu tür korozyon oluşur, bu da köprü ömrünü etkileyen en önemli olaydır. Şekil 1.18.' de örnek bir S-N grafiği verilmiştir.



Şekil 1.18. AISI 4140 50 HRC sertlikteki numunenin S- N grafiği
(Subaşı ve Karataş, 2010)

Yorulma zorlamalarında kırılma olayı:

Sürekli artan zorlamalarda şekil değiştirmenin tek yönlü olmasına karşın, yorulma zorlamasında kuvvet veya moment, dolayısıyla şekil değiştirme sürekli yön değiştirerek artma-azalma gösterir. Söz konusu şekil değiştirmeler malzemenin kristal kafesi tarafından tam elastik olarak karşılanabildikleri sürece tehlikeli değildir. Küçük kalıcı şekil değiştirmeler de kırılma olmadan kristal kafesi tarafından taşınabilirler. Kalıcı şekil değiştirmeler kristal kafesin çarpılması ile değil, kafesin değişik bölümlerinin yeni bir denge durumu sağlanıncaya kadar ötelenmesi yoluyla oluşurlar (<http://eyupyaylaci.com/malzemelerin-yorulmasi>). Kafes kısımlarının birbirlerine göre ötelenmelerine kayma adı verilir ve olay kayma düzlemleri olarak adlandırılan tercihli bazı düzlemlerde olur. Kayma düzlemlerinin kristal kafesindeki konumu kristal yapısı ile ilgilidir.

Yorulma zorlamaları sonucu meydana gelen kayma, tek yönlü zorlamalardaki gibi dislokasyonların oluşumu ve ilerlemesi ile açıklanır. Bu şekil değiştirme mekanizması, parlatılmış deney parçalarının yüzeyinde yorulma sınırına yakın zorlamalar altında kayma çizgileri oluşmasıyla görünür duruma gelebilir. Yorulma zorlaması sırasında tekrarlanan kalıcı şekil değiştirmelerin yeteri kadar birikimi sonucu, malzemenin ayrılma dayanımının aşıldığı noktalarda mikroskobik boyuttan da küçük çatlaklar oluştuğu söylenebilir. Zorlama sırasında dışarıdan verilen enerjinin büyüklüğüne bağlı olarak bunlar mikro ve makro çatlaklar olarak birleşir ve sonunda bu çatlaklardan herhangi biri yorulma kırılmasına neden olur. Hasar çok küçük ve sınırlı bir bölgede başlayıp çatlak olarak ilerlediğinden dışarıdan herhangi bir kalıcı şekil değiştirme görülmez ve bu nedenle yorulma kırılmaları şekil değiştirmesiz olarak nitelenir (<http://eyupyaylaci.com/malzemelerin-yorulmasi>). Hasarın ilk oluştuğu nokta çoğunlukla yüzeyde veya yüzeyin hemen altındadır, ancak heterojenliklerin veya malzeme hatalarının durumuna göre malzemenin iç kısmında da bulunabilir.

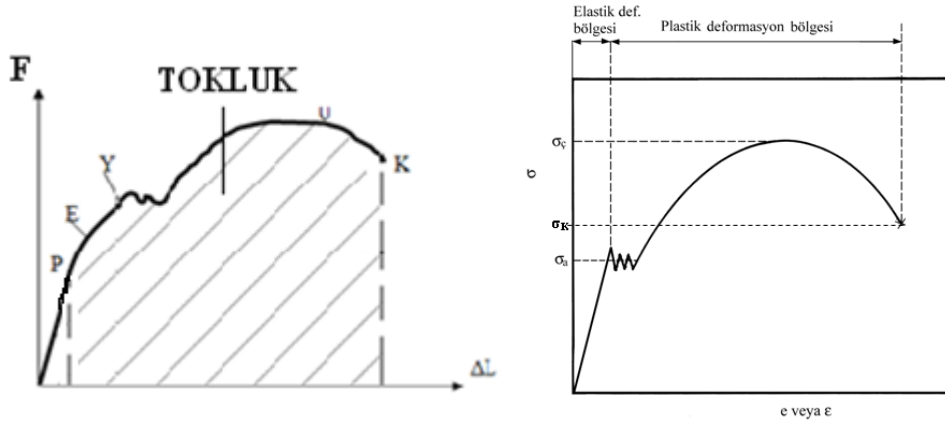
1.4. Malzemelere Uygulanan İşlemler

1.4.1. Çekme deneyi

Mühendislik malzemeleri rijit olmadığından kuvvet altında deforme olup, şekil ve boyut değişiklikleri gösterirler. Malzeme özelliklerini anlamak üzere mekanik testler yapılır. Bunlardan en önemlisi “çekme deneyi” dir.

Çekme deneyinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, eksenel ve değişken ayarlanabilir kuvvetler uygulanır.

Çekme cihazı esas olarak; birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir.



(a) Sünek malzemelerde

(b) Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı

Şekil 1.19. Kuvvet ve uzama diyagramı

<http://www.batul.deu.edu.tr/cekmedeneyi>

Küçük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış içindedir; yani kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanır. Sünek malzemelerde (Şekil 1.19. a) bu karakter P noktasına kadar devam eder. Orantı limiti P den sonra lineer fonksiyon eğimini değiştirir. Ancak elastik davranış devam eder. Elastik davranış E “Elastik Limiti” noktasında sona erer. E den sonra kalıcı; yani plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet azaltıldığında lineer fonksiyona paralel bir yol izler. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır.

Malzeme yüklenmeye devam edilirse Y noktasında akar. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akan malzeme “çalışma sertleşmesi” ne uğrar ve daha mukavim hale gelerek daha fazla kuvvet alabilir hale gelir (<http://www.batul.deu.edu.tr/cekmedeneyi>).

Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da arttırılarak U noktasına ulaşılır. U noktası “maksimum gerilme” noktası olup, burada malzeme kesitinde lokal daralmalar başlar. Buna malzemenin “ boyun vermesi ” denir. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olur ve malzeme daha fazla gerilimler alabilir; ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından taşıdığı net kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde K noktasına ilerler ve orada kopar.

Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiyi eşit olup; tokluk adı verilir.

Kuvvet-uzama eğrisi daha sonra yeniden ölçeklendirilir. Uzamalar malzemenin ilk uzunluğuna bölünerek “birim-uzama” ya çevrilir. Aynı şekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek “gerilim” hesaplanır ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilir (Şekil 1.19. b) (<http://www.batul.deu.edu.tr/cekmedeneyi>).

Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona uğradıysa “sünek”, az deforme olmuşsa “gevrek” yapıya sahiptir.

1.4.1.1. Çekme deneyinde tanımlamalar ve teorik bilgi

Gerilme (σ):

Birim alana etkiyen yük anlamına gelir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1.1)$$

Birim şekil değiştirme (ε):

Malzemeye kuvvet uygulandığı zaman oluşan boy değişiminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya oranıdır.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1.2)$$

Elastisite modülü (E):

Malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişki şöyle tanımlanabilir:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1.3)$$

Malzemeye kuvvet uygulandığında, malzemede meydana gelen uzamalar elastik sınırlar içinde gerilmelerle orantılıdır. Buna “*Hooke Kanunu*” adı verilmektedir. Elastisite modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir.

Akma dayanımı (σ_a):

Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir.

$$\sigma_0 = \frac{F_0}{A_0} \quad (1.4)$$

Çekme dayanımı (σ_c):

Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\sigma_c = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (1.5)$$

Kopma gerilmesi (σ_k):

Numunenin koptuğu andaki gerilme değeridir.

$$\sigma_k = \frac{F_k}{A_0} \quad (1.6)$$

Tokluk:

Çekme, kuvvetin sıfırdan itibaren yavaş yavaş artmasıyla malzemenin kopmaya başladığı andaki değere ulaştığında; malzemenin birim hacmi üzerinde yapılan iş olarak tanımlanır.

Tokluk malzemeyi koparmak için harcanan enerjinin bir ölçüsü olup σ - ϵ eğrisinin altında kalan alan ile bulunur.

Rezilyans:

Numunenin, kuvvet uygulandığında absorbe ettiği enerjiyi kuvvet kaldırıldığında geri verme özelliği olarak tanımlanır. Rezilyans çekme eğrisinin elastik sınırına kadar olan kısmın ϵ eksenine ile arasındaki alan ile ifade edilir.

Yüzde kopma uzaması (KU):

Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama

$$\Delta L = L_k - L_0 \quad (1.7)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada L_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu, L_k ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (1.8)$$

bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir.

Yüzde kesit daralması (KD):

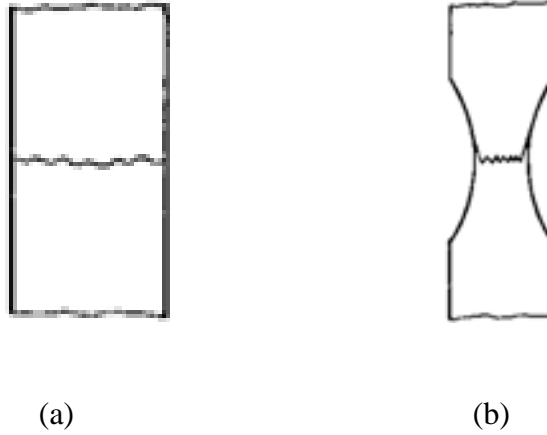
Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100 \quad (1.9)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, A_k ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. A_k 'nin hesaplanması için hacmin sabit kalacağı ifadesi kullanılır (<http://www.batul.deu.edu.tr/cekmedeneyi>).

$$V_0 = V_k \rightarrow A_0 L_0 = A_k L_k \rightarrow A_k = A_0 \frac{L_0}{L_k} \quad (1.10)$$

Kesit daralması, kopma uzaması gibi süneklığın bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. Şekil 1.20.'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.



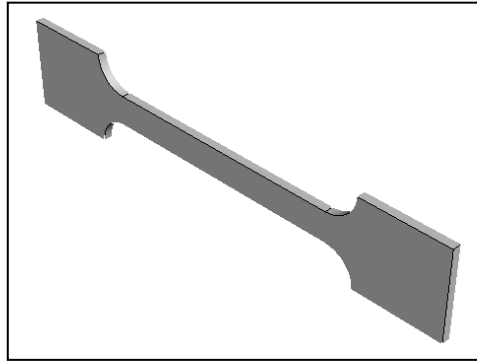
Şekil 1.20. Gevrek ve sünek malzemelerin kırılma şekilleri (<http://www.batul.deu.edu.tr/cekmedeneyi>).

Şekil 1.20.'de verilen (a) gevrek malzeme kırılmasına (büzülme yok), (b) sünek malzemenin (büzülme var) kırılmasına örnektir.

1.4.1.2. Deneyin yapılışı

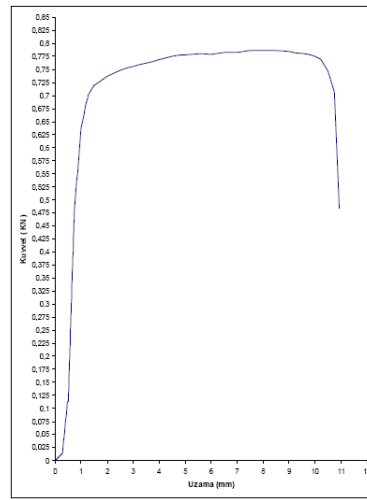
Çekme deneyi için önce test edilecek malzemeden standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanır (Şekil 1.21). Çekme deneyi makinesinin çeneleri arasında düzgün

ve ortalayacak bir şekilde sıkıştırılan bu numune iki ucundan özel çekme test cihazının çenelerine bağlanıp, gittikçe artan bir yükü kopuncaya kadar çekilir. Bu esnada uygulanan F yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzama (ΔL) ölçülür. Deneysel sonucu elde edilen yük (F) ve uzama (ΔL) değerlerinden yararlanılarak ($F - \Delta L$) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denir. Şekil 1.22.' de de yumuşak bir çeliğin çekme deneyi sonucu elde edilecek çekme diyagramı görülmektedir (<http://www.batul.deu.edu.tr/cekmedeneyi>).



Şekil 1.21. Standartlara uygun yassı bir çekme numunesi

$F - \Delta L$ diyagramındaki değerlerden yararlanılarak her nokta için hesaplanan σ ve ϵ değerleri hesaplanır ve mühendislik açısından büyük önem taşıyan gerilme uzama diyagramı çizilir.



Şekil 1.22. Yumuşak çeliğe ait $F - \Delta L$ diyagramı
(<http://www.batul.deu.edu.tr/cekmedeneyi>).

1.4.2. Basma deneyi

1.4.2.1. Deneyin amacı

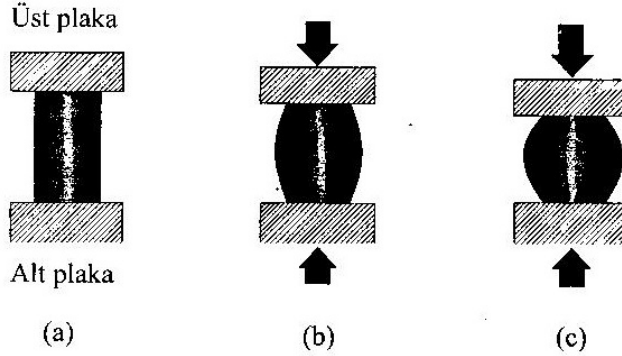
Plastik şekillendirme analizlerinde malzeme özelliği olarak malzemenin akma eğrisinden yararlanılır. Malzemelerin akma eğrileri tek eksenli çekme ve basma testlerinden elde edilir.

Özellikle levha şeklindeki metelik malzemelerin akma eğrisinin elde edilmesinde (http://www.me.sakarya.edu.tr.dosyabasma_deneyi_foyu.pdf) bu deneyden yararlanılmaktadır. Bu deneyin amacı malzemenin akma eğrisi olarak tanımladığımız eşdeğer gerilme-birikim şekil değişimi diyagramlarını elde etmek ve bu eğriyi matematiksel olarak ifade etmek olarak özetlenebilir.

1.4.2.2. Deneyin yapılışı

Basma deneyi, çekme deneyinin tersi olarak kabul edilir. Genellikle çekme-basma makinelerinde basma kuvveti uygulamak suretiyle yapılır. Basma kuvvetinin etkin olduğu uygulamalarda kullanılan gevrek malzemelerin mukavemet değerleri genelde basma deneyi ile belirlenir. Bu nedenle, basma deneyinden elde edilen sonuçlar gevrek malzemelerle yapılan tasarımda doğrudan kullanılabilirler. Genellikle, yatak malzemeleri, dökme demirleri beton, tuğla, seramik ve odun gibi malzemeler basma deneyine tabi tutulurlar. Basma deneyinde genellikle silindirik veya daire kesitli numuneler kullanılır. Ancak bazı durumlarda kare ya da dikdörtgen kesitli örnekler de kullanılabilir. Basma deneyinde kullanılan örneklerin ilgili standartlara uygun biçimde hazırlanması gerekir. Bu deney de daha çok yüksekliğinin h_0 çapına d_0 oranı 1,5 ila 10 arasında değişen $1,5 \leq h_0 / d_0 \leq 10$ olan numuneler tercih edilir. Basma makinelerinde basma plakaları aracılığı ile yük uygulanır. Yük uygulanan plakaların alt ve üst yüzeyleri, düşey eksenine dik ve birbirine paralel olmalıdır. Basma deneyinde, kesit alanı sürekli arttığından çekme deneyinde görülen boyun verme olayı meydana gelmez. Sünek malzemelerin basma deneyleri sırasında numune

uçları ile basma plakaları arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı, fiçilaşma olarak adlandırılan şişme meydana gelir (Şekil 1.23.).

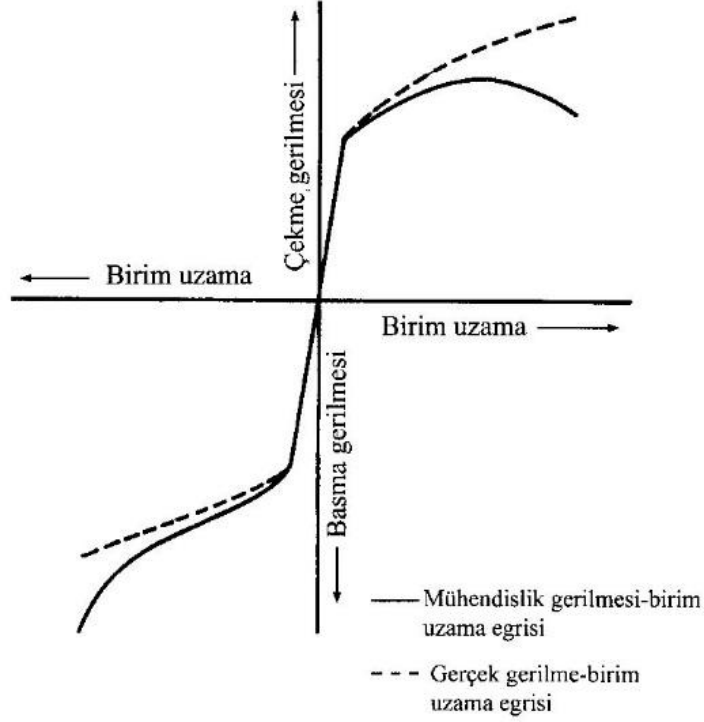


Şekil 1.23. Basma kuvveti uygulanan sünek malzemelerdeki fiçi oluşumu
(http://www.me.sakarya.edu.tr.dosyabasma_deneyi_foyu.pdf)

Şekil 1.23.' de verilen örnekte a) örneğinde basma kuvveti yoktur b) örneğinde basma kuvveti etkisiyle fiçi oluşumunun ilk aşaması verilmiştir c) örneğinde fiçi oluşumunun tamamlanması verilmiştir.

Kopma uzaması ve kopma büzülmesi değerleri sıfıra yakın gevrek malzemelerin sünekliği çekme deneyi ile ölçülemez. Bu tür malzemelerin sünekliği basma deneyi ile ölçülür. Basma deneyinde boyutları çok küçük numuneler bile kullanılabilir. Bu durum, deneye tabi tutulacak malzemelerin pahalı ve çok az olması durumunda yararlar sağlar. Basma deneyi sonucunda, malzemelerin basma diyagramı elde edilir. (http://www.me.sakarya.edu.tr.dosyabasma_deneyi_foyu.pdf) Basma diyagramı, genelde çekme diyagramına benzer. Basma diyagramının elastik deformasyonu gösteren kısmı, çekme diyagramının elastik kısmı gibidir ve akma sınırından sonra basma diyagramında da plastik deformasyon aşaması meydana gelir. Basma diyagramının plastik deformasyonu gösteren kısmının ilk aşaması, çekme diyagramının plastik deformasyonu gösteren kısmının ilk devresini andırır, ancak çekme diyagramında maksimum noktadan sonra gerilme değerinde bir azalma meydana gelirken, basma diyagramında gerilme artar. Yani, basma eğrisinin eğiminde artış meydana gelir. Bu durum, basma sırasında numunenin kesit alanının devamlı artmasından kaynaklanır. Numunenin kesit alanı, özellikle plastik

deformasyonun sonuna doğru büyük oranda arttığından basma gerilmesinde ani yükselme meydana gelir (Şekil 1.24.).



Şekil 1.24. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları
(http://www.me.sakarya.edu.tr/dosyabasma_deneyi_foyu.pdf)

1.4.2.3. Teorik bilgi

Basma gerilmesi, basma yükünün numunenin orijinal kesit alana bölünmesiyle mühendislik basma gerilmesi hesaplanır.

$$\sigma_m = \frac{F}{A_0} \quad (1.11)$$

Çekme deneyinde olduğu gibi, bariz bir şekilde akma göstermeyen malzemelerin akma dayanımı, mühendislik basma gerilmesi- % şekil değişimi diyagramı üzerinden %0.01 veya %0.02 şekil değişimi değerinden paralel çizilerek belirlenir (http://www.me.sakarya.edu.tr/dosyabasma_deneyi_foyu.pdf). Basma deneyinde

gerçek gerilmeler, herhangi bir andaki basma yükünün, o andaki numune kesitine bölünmesiyle bulunur.

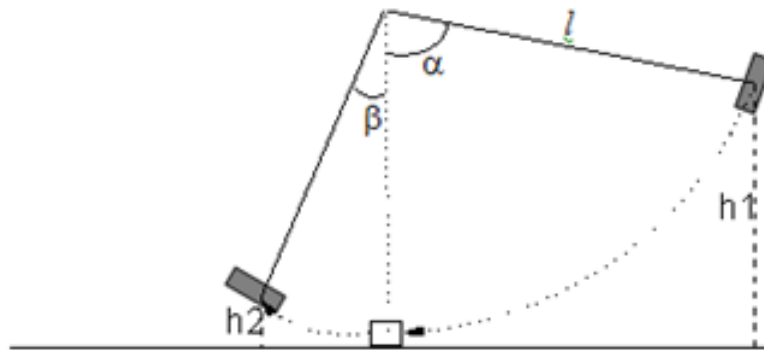
$$\sigma_g = \frac{F}{A_i} \quad (1.12)$$

1.4.3. Çentik darbe deneyi

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Bu deneyin temel prensibi Şekil 1.25’de şematik olarak gösterildiği gibi, bir l uzunluğundaki sarkacın ucundaki belli bir G ağırlığına sahip çekiç belli bir h_1 yüksekliğinden numuneyi kırması için serbest bırakılıyor. Serbest bırakılmadan önce çekicinin potansiyel enerjisi $G.h_1$ iken numune kırıldıktan sonra belli bir h_2 yüksekliğine çıkan çekicinin potansiyel enerjisi $G.h_2$ olur. Bu durumda Kırılma Enerjisi (K.E.) $=G.h_1-G.h_2$ olarak ifade edilir. Buna göre;

$$K.E.=G(h_1-h_2)=G.l.(Cos\beta-Cos\alpha) \quad (1.13)$$

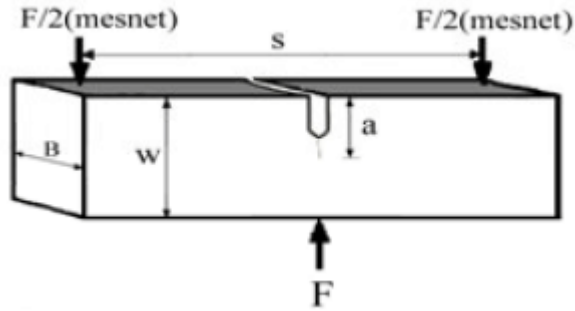
olarak ifade edilir. Burada l sarkaç boyudur. Buradan, β salınım açısı ve h_2 yüksekli ne kadar az gerçekleşirse kırılan o malzemenin ne kadar çok darbe direnci yada yüksek tokluk gösterdiğini anlarız (<http://www.gazi.edu.tr/darbedeneyi>).



Şekil 1.25. Bir darbe deneyinin şematik olarak gösterimi
(<http://www.gazi.edu.tr/darbedeneyi>).

1.4.4. Üç nokta eğme deneyi

Üç nokta eğme deneyinde, Şekil 1.28.'de boyutları verilmiş olan test numunesi ASTM standardına göre çentiği oluşturulur ve bu kenar deney düzeneğinde iki mesnet üzerine yerleştirilir ve çentiğin karşı kenarından numuneye kuvvet uygulanır, numunenin kırılması ve kuvvet- deplasman grafiğinin bulunması ile deney sonlanır (Sorucu, 2007).



Şekil 1.28. Eğme deneyi test numunesi (Sorucu, 2007)

1.4.5. Sertlik deneyi

Sertlik ölçümü, malzemeye bilinen miktardaki bir yük ile başka bir malzeme tarafından yük uygulanması, bastırılması ile ölçülebilir. Malzemelerin plastik deformasyona karşı koyabilme direnci akma dayanımı ile alakalı olduğundan, böyle (<http://hunpamukkale.edu.tr/dersnotları>) bir sertlik uygulanmasıyla sertlik göreceli olarak belirlenebilir. Batıcı uç olarak elmas gibi sert malzemelerin kullanılmasıyla deformasyon sadece kuvvetin uygulandığı malzemede (test numunesi) sınırlı tutulur.

Metal endüstrisinde genellikle 'Rockwell, Brinel ve Vickers' sertlik deneyleri kullanılmaktadır. Bu deneyler belirli bir sürede belirli bir yük altında deforme olmayan bir küre veya koninin metal içine batma derinliğinin ölçülmesiyle yapılır.

1.4.5.1. Brinell sertlik deneyi

Belli çaptaki sert bir bilye malzeme yüzeyine belli bir P yükü uygulanarak 30 saniye süre ile bastırılır. Deneyde uygulanan yükün meydana gelen izin alana bölünmesiyle Brinell sertlik değeri bulunur. 400 Brinell değerine kadar sertlik değerleri için sertleştirilmiş çelik bilyeler, daha büyük sertlikler için sinterlenmiş malzemedan yapılmış bilyeler kullanılır. Baskı ucu olarak kullanılan bilyelerde max $\pm\%1/2$ çap farklarına izin verilir. En fazla kullanılan bilye çapları: 0.625; 1.25; 2.5; 5 ve 10 mm' dir. Parça kalınlığına bağlı olarak tercih edilir. Tercih edilecek bilye çapları (http://www.mansuroglu.com/kou/deneyler/deney_brinell.pdf):

<u>Malzeme kalınlığı (mm)</u>	<u>Bilye çapı</u>
>6	2,5-5-10
3-6	2,5-5
2-3	2,5

Malzemenin üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilye çapına göre seçilmektedir. $d/D = 0.20 - 0.70$ oranı sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir. Deneyde dikkat edilecek hususlar;

- i. Sertliği ölçülecek malzemenin yüzeyi parlak ve zımparalanmış olmalı ve yüzey tabana paralel olmalı, esnemeye imkan tanınmamalıdır.
- ii. Deney izleri birbirinden ve parçanın kenarlarından en az d kadar uzak olmalıdır.
- iii. Homojen içyapıya sahip olmayan malzemelerde Brinell sertlik deneyi uygulanmalıdır. Ayrıca bu tip malzemelerde 10 mm çapında bilye tercih edilmelidir.
- iv. Bu yöntem çok sert malzemelerle, ince yüzey tabaka sertliklerinin ölçülmesinde uygun değildir.
- v. En az üç sertlik ölçümü yapıp bunların ortalaması alınmalıdır.

1.4.5.2. Vickers sertlik deneyi

Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 136° olan elmas kare piramit kullanılır. P yükü ile malzemeye bastırılan piramit ucun bıraktığı dörtgen izin köşegenleri ölçülerek hesaplanan ortalama köşegen uzunluğu formülde yerine konarak sertlik değerleri bulunur.

Vickers sertliği yüke bağlı değildir. Ölçme hatalarını azaltmak ve heterojen yapılarda ortalama değer elde edebilmek için yükü ve dolayısıyla izi büyütme faydalıdır. Ancak köşegen uzunluğu sertliği ölçülen parça veya tabaka kalınlığının en çok üçte ikisi kadar olmalıdır. Yük 1 –120 N arasında değişebilir. Normal yük olarak 30 N seçilebilir. Vickers yönteminde büyük piramit açısından dolayı az derinliklere rağmen geniş diyagoneller elde edilir. Böylelikle 5–200 gf gibi çok küçük yüklerde bile ölçülebilir izler elde edilip, çok küçük bölge veya ince tabakaların sertliğinin saptanması da mümkündür. Deneyde dikkat edilecek hususlar (http://www.mansuroglu.com/kou/deneyler/deney_brinell.pdf):

- Yük darbesiz olarak uygulanmalıdır.
- Numune yüzeyi parlak ve düzgün olmalıdır.
- Elmas uç darbeden ve çarpmadan korunmalıdır.
- Numune üzerinde kalan izin merkezinin parça kenarına veya bir diğer izin kenarına olan uzaklığı 3d kadar olmalıdır.
- Piramit uç P yükü ile deney parçasına düşey olarak batırılmalı, iz köşegenleri 0,002 mm hassaslıkla ölçülmelidir.

1.4.5.3. Rockwell sertlik ölçme yöntemi

Bu yöntemde standart bir batıcı uç genelde 10 kg gibi küçük bir yük malzeme yüzeyine bastırılır. Oluşan izin dip noktası başlangıç noktası olarak alınır. Daha sonra yük yüksek bir değere çıkartılıp tekrar önceki değerine indirilir. Uzun batma derinliğinde meydana gelen artışa göre Rockwell sertlik değeri belirlenir. Bu yöntemde ön yük ve esas yük olmak üzere iki ayrı yük uygulanır. Burada ön yükü

uygulamadaki amaç parça yüzeyindeki düzgünsüzlüklerin ve dalma bölgesinde meydana gelecek uygunsuz deformasyonun ölçüm sonuçlarına olan etkisini ortadan kaldırmaktır. Uygulanan yük sabit olup 10 N' dur. Bu yöntemde elmas koni ya da çelik bilye olmak üzere iki çeşit batıcı uç kullanılır. Bilye tipindeki batıcı uçların çapları yaklaşık 1.6 mm, 3.2 mm, 6.35 mm ve 12.7 mm olup; elmas koninin tepe açısı 120^0 ve tepe noktası yarıçapı 0.2 mm' dir. Rockwell sertlik değeri standart skalalardan birine göre ölçülür ve batma derinliğine karşı gelen birimsiz bir sayı ile gösterilir. Bir malzemenin Rockwell cinsinden ölçülen sertlik değeri 100 rakamını aşarsa batıcı uç olarak bilye kullanılmamalıdır. Benzer şekilde ölçülen sertlik değeri 20 rakamının altında ise batıcı uç olarak koni biçimindeki elmas uç tercih edilmemelidir (Savaşkan, 1999).

Rockwell sertlik ölçme yönteminin sağlıklı yapılabilmesi için şunlara dikkat edilmelidir;

- Yük parça yüzeyine dik uygulanmalıdır.
- Numune sağlam olarak temiz yüzeyli basma tepesine yerleştirilmelidir.
- Numunenin minimum kalınlığı kalıcı dalma derinliğinin 10 katı olmalıdır.
- Ölçüm bölgesinin numune kenarından uzaklığı iz çapının 2,5 katı olmalı ve izler arası mesafe 3 iz genişliğinde olmalıdır.

1.4.5.4. Knoop sertlik ölçme yöntemi

Bir malzemenin göreceli mikrosertliği Knoop batma deneyi ile belirlenebilmektedir. Bu deneyde tepe açısı 130^0 ve $173^030'$ olan piramit şekilli elmas bir uç malzeme üzerine bastırılır. Bir boyutu diğerinin yaklaşık olarak 7 katı olan bir iz oluşur. Malzemenin sertliği izin derinliği ölçülerek bulunur. Vickers sertlik ölçme deneyine göre daha düşük kuvvetler uygulanır. Knoop deneyi, cam ve seramik gibi gevrek malzemelerin sertliğinin test edilmesini sağlar. Malzeme üzerine uygulanan yük genellikle 1 N' dan daha azdır. Batıcı uç yaklaşık olarak 0.01 ile 0.1 mm arasında dört yanlı bir iz bırakır. Teknik özellikler;

<http://www.bucosev.com/istefirsat/egitimsunumlari/cnc/olcmekontrol>).

- 0,981 N (100g) dan 306,6 N (31,25 kg) a kadar yük uygulayabilme kapasitesine sahiptir
- Hem mikro hem de makro sertlik ölçümleri için uygundur.
- Tamamen otomatik olan bir ölçüm çevrimine sahiptir.
- Yeni load cell teknolojisi ile baskı gücü kontrol edilmektedir.
- Yüksek çözünürlüğe sahip CCD-kameraya sahiptir.

1.4.6. Isıl işlemler

Bütün ısıl işlem usullerinin gayesi, malzemenin özelliklerini istenilen şekilde değiştirmektir. Hazırlanmış parçalar da, ısıl işlem gördüğü için, işlem sonunda parçaların dış şekli değişmemelidir. Bütün özellik değişmelerine içyapı değişmeleri neticesinde varılır (Weissbach, 1998).

1.4.6.1. Tavlama işlemi

Tavlama, malzemenin solidus eğrisi altındaki belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmasına, bu sıcaklıkta bekletilmesine ve sonradan da soğutulmasına denir. Tavlamanın gayesine göre kesin belirlenmiş sıcaklıklar ve süreler tespit edilmiştir (Weissbach, 1998).

Yumuşatma tava:

Hem ötektoitaltı hem de ötektoitüstü çelikler için öncelikle ve sıklıkla başvuru olan, özellikle talaşlı imalatta ve plastik şekil vermeye uygun içyapı kazandırmak için uygulanan bir tavlama çeşididir (Demirci, 2004). Ferritik temel yapı içerisinde yuvarlatılmış zementit tanelerinin yer aldığı bir içyapı amaçlanır. Bunun için parça, ötektoitaltı çeliklerde A_1 sıcaklığının altında, ince sementit lamellerinin pelit içi ferrit lamelleri içerisinde kısmen çözülmesine fırsat verecek şekilde uzun bir süre tutulur, kısmi difüzyona fırsat verilir. İnce, lamel yapılı sementitler parçalı bir şekil alır, bölünür, yuvarlatılır. Sementitler yüzey enerjisi yüksek lamelli yapıdan, daha düşük

yüzey enerjili yapıya meylederler. Isıtmak suretiyle bu geçiş meyli teşvik edilmiş olur.

Ötektoitüstü çeliklerde ise tavlama, A_1 etrafında ısıtma salınımlarıyla gerçekleştirilir; sıcaklığın A_1 etrafında değişken tutulması ile tane sınırı sementitlerinin bölünüp yuvarlatılması teşvik edilip tav süresi kısaltılmaya çalışılır. Uzun süren tavlama işleminden sonra parça yavaşça soğutulur. Yapı, sıvanma olmadan talaşlı imalata uygunluk yanında, hatta gerektiğinde, plastik şekil verme yeteneği kazanmış olur.

Bu tavlama işleminde verilen mekanizmalar gereği parça malzemesinin C-oranı düşük olmalıdır. Daha düşük karbonlu çeliklerde ise talaşlı işlemeye uygunluk için, tane irileştirme tavlama tercih edilmelidir (Demirci, 2004).

Normalizasyon (Normalleştirme) tava:

Bu tavlamanın amacı, göz önüne alınan çeliğe, her türlü muhtemel ön işlemlerden sonra normal içyapı diye tarif edebileceğimiz ince, yuvarlak taneli, homojen dağılımlı içyapısını tekrar kazandırmaktır. Normalleştirme tavlama sadece $\gamma \rightarrow \alpha$ dönüşümünün olduğu çelikler için anlam taşır. Uygulama esası yararlanılan mekanizmalar bu dönüşüme dayanır. $\gamma \rightarrow \alpha$ dönüşümünün bastırıldığı alaşımlı çeliklerde normal tavlama işlemi uygulaması söz konusu değildir (Demirci, 2004).

Normalizasyon için çelik, su vermede olduğu gibi A_3 sıcaklığının $20-50^\circ C$ üzerine çıkarılır, bir süre bekletildikten sonra durgun havada soğutulur. Daha yüksek sıcaklıklara ısıtma veya bu sıcaklıklarda daha uzun süre tutma, tane irileşmelerine yol açar. Isıtma sırasında ise A_{c1} , ve A_{c3} sıcaklıkları arası, sonuçta özellikle ince taneli ostenit eldesi için, mümkün mertebe çabuk geçilmelidir (Demirci, 2004).

Ötektoitüstü çeliklerde parça A_1 sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır. Daha yüksek sıcaklıklara ısıtma tane irileşmelerine ve yüzey bölgesinin karbon kaybına yol açar. Ötektoitüstü çeliklerde düşük sıcaklıklardaki tavlamanın önemli bir faydası da, tane sınırlarındaki ikinci sementit ağının, sementitlerin kısmen de olsa küreselleşmek meyli ile parçalanmasını sağlamasıdır.

Oluşacak nihai içyapı önceden uygulanmış olan üretim ve işlemlerinden bağımsız olmuş olacaktır. Tavlanmış parça, kararlı dengeye uygun içyapıya kavuşmuş olacaktır.

Difüzyon tavlaması:

Segregasyon esas olmak üzere, önceden uygulanan ısıtma işlemleri gibi çeşitli şekillerde oluşmuş olan, malzeme içerisindeki konsantrasyon farklarını ortadan kaldırmak için yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen bir tavlama işlemidir (Demirci, 2004).

Çeliklerin C- oranına göre, homojenleştirilecek parça, atom yayılması teşvik edecek şekilde 1050- 1200⁰C arasında mümkün mertebe uzun süre tutulur. Difüzyon tavlaması ile yapı içerisindeki atom dağılımı farklılıkları ortadan kaldırılmış, daha önceki ısıtma işlemleri oluşturulmuş çökelti fazları tekrar ve tamamen eritilmiş olur. Yapı içerisinde zaten mevcut ve çözünmeyen, bazı özel karbürler ve / veya nitritler gibi intermetalik faz partikülleri ise yuvarlaşırlar; bu fazların varlığı ve şekli, hem sıcak çatlak meylini azaltacak hem de ostenit fazının tane irileşmesini yavaşlatacaktır (Demirci, 2004).

Diğer taraftan bu tavlama sırasında malzeme içerisinde varlığı muhtemel gayri-safiyetlerin çözünmesi ile özellikle tane sınırlarında kontrolsüz ayrışmalar ve bunun sonucu tane sınırı kırılmaları söz konusudur.

Malzeme yeni ve homojen yapısı ile yeni üretim ve iyileştirme işlemlerine hazır hale gelmiş ve fakat yüksek sıcaklıkta uzun süre tutulmakla tane irileşmesine uğramış olur. İrileşmiş ostenit taneleri takip eden ısıtma işlemleriyle küçültülmelidir (Demirci, 2004).

Gerilme giderme tavlaması:

Gerilme giderme tavlaması parça, 450- 650⁰C arasında bir süre tutularak yine homojen soğutmaya dikkat edilerek sıcaklık yavaşça düşürülür. İşlem sonunda

malzemenin tane yapısı ve faz oranları değişmez. İç gerilmelerin en aza indirilebilmesi ise, sıcaklıkla akma mukavemetinin düşmesi ile ilgili ve düşmesi mertebesindedir (Demirci, 2004).

Tavlama işleminden sonra malzemenin hala barındırdığı iç gerilmelerin mertebesi, tavlama sıcaklığındaki akma dayanımı değerinde olacağı açıktır. İç gerilmelerin parçanın makro boyutları üzerinde eş dağılım göstermemesi durumunda, tavlama işlemi bu kere çarpılmalara yol açabilecektir. Bu bakımdan hassas parçalara, gerilme giderme tavlamasından sonra nihai boyut işlemleri uygulanmalıdır (Demirci, 2004).

İri tane tavlaması:

Ötektoitaltı çeliklerin içyapısını talaşlı imalata uygun kılmak için uygulanan bir ısıtma işlemidir. Bunun için parça A₃ sıcaklığının 100- 250⁰C üzerinde bir sıcaklıkta tavllanır. Sonra parça A₁ sıcaklığına kadar yavaş, bu sıcaklığın altında ise soğutma hızlandırılabilir.

Düşük karbonlu çeliklerde sürekli talaş ve sıvanma olmadan, talaşlı imalatı kolaylaştırmak ve düzgün bir işleme yüzeyi elde etmek için iri tane tavlaması tek yol sayılır (Demirci, 2004).

1.4.6.2. Yüzey sertleştirme işlemleri ve yüzey sertleştirme yöntemleri

Sürtünme ve aşınma olayları teknik parçaların yüzey bölgesinde cereyan eder. Tribolojik zorlanmalara maruz malzemelerin sadece yüzey bölgesinin sert ve aşınmaya dayanıklı olması gerekli ve yeterlidir. Yüksek ivmeli hareket eden veya darbeli yüklemeler altında çalışması gereken parçaların ise, tam tersine, sertlik kaybı pahasına tokluk kazanması beklenir. Birbirine zıt yönde gelişen bu mekanik özellik değerlerinin aynı parçada, en yüksek derecede birleştirilmesi, yüzey sertleştirme yöntemleri ile mümkün olur (Demirci, 2004).

Doğrudan sertleştirilebilen çeliklerde yüzey bölgesi sertleştirilmesi:

Esas itibarıyla kısa zaman aralığında ve yoğun ısı verilerek parçanın sadece yüzey bölgesinin ısıtılması ve hemen, hızlı soğutulmasıyla sadece yüzey bölgesinin sertleştirilmesi amaçlanır. Bu işlemlerde yüzey bölgesinin kompozisyonunu değiştirmeye gerek yoktur, suverme ile sertleştirme işlem ve mekanizmaları aynen geçerlidir. Bu grup işlemler esasen, beklentilere yetebilecek düzeyde karbon içeren Fe- esaslı malzemelere uygulanabilir (Demirci, 2004).

Alevle yüzey sertleştirme:

Uygulama kolaylığı ve ekonomikliğı ile tercih edilen bir yöntemdir. Gaz alevi ile sertleştirilecek yüzey bölgesi hızla ısıtılır ve iç bölgelere ısı dağılımına fırsat vermeden hızla soğutulur. Sertleşme derinliğı alevin sıcaklığına ve ısıtma süresine bağlıdır. Büyük boyutlu parçalarda genellikle, alev başlığı sertleştirilecek yüzey bölgesini tarayacak şekilde sabit bir hızla gezdirilir; hareket yönüne göre zıt yönde, sabit bir uzaklıkta alev başlığına bağlı ve parça yüzey geometrisine uygun bir soğutma başlığından su püskürtülerek, sürekli ve tekrarlanabilir hızlı soğutma gerçekleştirilir (Demirci, 2004).

Daldırma ile yüzey sertleştirme:

Ostenitleştirme sıcaklığı üzerine getirilmiş tuz veya metal banyosu içerisine, yüzeyi sertleştirilecek parça daldırılarak hızlı ısıtma yapılır.

Isıtma banyosunda kısa bir süre tutulan parça hemen soğutma banyosuna daldırılır. Sertleşme ayarı hassas değildir. İstenilen incelikte sertleştirilmiş yüzey bölgesinin üretimi zordur; işlem uygulanacak çeliklerin mümkün mertebe az oranda alaşım elementleri içermesi gerekir (Demirci, 2004).

İndüksiyonla yüzey sertleştirme:

Mil, dişli çark veya kam mekanizmaları gibi değişik kesitlere sahip parçaların çevresine, yüzey profiline uygun şekillendirilen bir makara vasıtasıyla çok yüksek frekansla değişen bir manyetik alan oluşturulur. Değişen manyetik alan, çelik parçanın yüzey bölgesinde indüksiyon akımı üretir. Frekans ne kadar yüksek olursa, indüksiyon akımları o kadar yakın bölgede cereyan eder (Demirci, 2004).

Çelik parça malzemesinin kendisi bir direnç oluşturmuş olarak, ısı iletimine gerek kalmadığı için, indüksiyon akımı geçen yüzey bölgeleri çok hızlı ısınır. Sertleştirilmiş yüzey bölgesi, indüksiyon akımı üretim derinliğine bağlı olarak, frekans ne kadar yüksek olursa o kadar ince olacaktır.

İndüksiyonla yüzey sertleştirme yöntemi düzenek ve işleyiş bakımından alevle sertleştirmeye esasen benzer, sadece ısıtma başlıkları farklıdır (Demirci, 2004).

Suverme ile sertleştirilemeyen çeliklerde yüzey bölgesi sertleştirme işlemleri:

Suverme ile sertleştirilemeyen çeliklerin özellikle tribolojik zorlanmalara maruz kalan yüzey bölgelerini sertleştirme işlemleri, yüzey bölgesinin kompozisyonunu değiştirme esasına dayanan ve gerekirse ek ısıl işlemlerle yüzey bölgesine istenilen özellikleri kazandırmaya yönelik çalışmaların tümüdür (Demirci, 2004).

Sementasyon (Karbonlama):

Sementasyon en yaygın kullanım alanı bulan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Düşük karbonlu yüzey bölgesinin karbonca zenginleştirilmesi ve sertleştirilebilir hale gelen malzemenin suverme ile sertleştirilmesidir (Demirci, 2004).

Sementasyon çelikleri genellikle %0.1- 0.25 oranında karbon içeren, kullanım yerindeki beklentilere göre hem alaşımsız hem de az veya yüksek alaşımlı çeliklerdir. Sementasyon çeliklerinin karbon oranının düşük olması, tamamen

martenzitik dönüşüm gerçekleşse bile, iç bölgelerin yine de tok kalmasını sağlar. Yüzey bölgesine C- emdirme, çeşitli ortamlarda (katı, sıvı ve gaz) ve şekillerde gerçekleştirilebilir. Her üç türlü C- verici ortamdan da yüzey karbon taşınması, CO-gaz molekülleri vasıtasıyla, oksitlenme ve indirgenme çevrimiyle, gerçekleşir; katı ortama ayrıca aktive edici katı maddeleri karıştırılır. Karbon verici ortamın katı, sıvı veya gaz olmasından bağımsız olarak, C- atomlarının sementasyon parçası yüzeyine taşınması, sadece gaz fazı üzerinden gerçekleşir. Genellikle CO ve ama CH₄ veya başka hidrokarbonlar üzerinden de C- taşınımı söz konusudur (Demirci, 2004).

Nitrürleme (Nitrürasyon):

Sementasyondan sonra en çok bilinen ve en yaygın uygulanan termo- kimyasal işlemdir. Malzemenin yüzey bölgesine azot emdirilmesi diyebileceğimiz azotça zenginleştirme esasına dayanır. Sertleştirmenin mekanizması bakımından sementasyondan farkı, nitrürasyon sürecinde yüzey bölgesinde martenzit oluşturmak için herhangi bir işleme gerek kalmamasıdır. Nitrürasyonda, sertlik esas itibariyle, kompakt bir yapı halinde ve matris malzemesine sıkı tutunmuş çeşitli özel nitrürlerin yüzey bölgesinde oluşturulması ile sağlanır.

Genellikle gaz veya sıvı ortamda nispeten düşük sıcaklıklarda (500- 550⁰C) yüzey bölgesinin azot bakımından zenginleştirme işlemi gerçekleştirilir. Nitrürasyonun düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmesi, sementasyona göre önemli bir tercih nedenini oluşturur (Demirci, 2004).

Borlama:

Borlama işlemiyle demir esaslı malzemelerin yüzey bölgesine uygun ortam ve şartlarda B- difüzyonu sağlanarak yüzey sertlik değerlerine sahip metallere bileşikler oluşturmak ve teknik parçanın aşınma ve korozyon dayanımını arttırmak amaçlanır. Borlamanın yorulma dayanımına etkisi çok sınırlıdır.

En genel halde tüm demir alaşımlarına uygulanabilir olması önemlidir. Yüzey bölgesinde üretilen Fe_2B ve FeB fazları esas borür tabakasını oluştururlar. Borlama ile temel malzeme kompozisyonuna ve uygulama başarısına göre, 1500- 2200 HV mertebesinde yüzey bölgesi sertliği elde edilebilir.

1.4.6.3. Temperleme

Bütün hatasız su verilmiş parçalar cam sertliğinde ve cam kırılma dayanıklılığındadır. İstenilen şekilde kullanılmaları için belirli bir sünekliğe gerek vardır. Aksi takdirde basit bir darbe sonucu derhal kırılırlar. Bu sünekliğe temperleme sonucu erişilir. Temperlemenin manası su vermeden sonra tekrar ısıtmadır. Temperleme sıcaklıkları 150- 650⁰C arasındadır ve çelik çeşidi ile çeliğin ısıtılma işleminden sonra hangi gaye ile kullanılacağına bağlıdır. Çeliğin özellikleri temperleme sıcaklığının yükselmesi ile değişir. Yüksek sertlik ve mukavemet başlangıçta çok az etkilenir; daha sonra bu değerler kuvvetle değişerek yumuşatma tavlamasına uğramış durumdaki değerlere yaklaşır. Uzama kabiliyeti ve süneklik ise, ters olarak değişir. Belirli temperleme sıcaklıklarında malzeme en yüksek süneklik değerine erişir ki, bu değer normalleştirilmiş durumdakinden daha yüksek olması mümkündür. Her malzemenin kendisine ait bir temperleme diyagramı vardır (Weissbach, 1998).

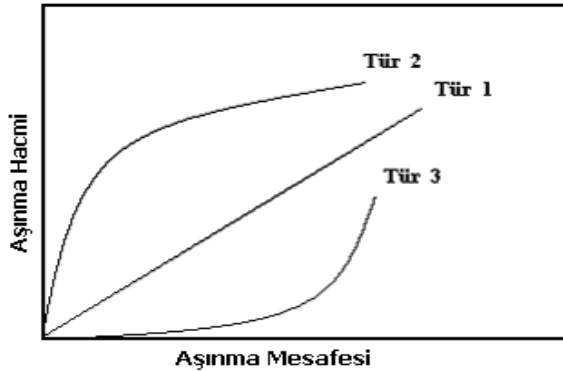
Temperleme sıcaklığının artması ile ısıtılma gerilmeleri sertlik azalmayacak şekilde, birbirlerini dengelerler ve bu arada kırılma dayanıklılığı da düşük seviyeye indirilir. Bu gerilme giderme işlemi için 180⁰C 'a kadar olan sıcaklıklar gereklidir.

Sıcaklığın yükselmesi ile aynı anda karbon atomları da martenzit içerisinde zorunlu çözelti halinde buldukları durumdan kurtularak daha kolay difüzyona uğrarlar. Martenzit, karbon atomlarının yapıdan itilmesi ile ferrit haline dönüşmek ister. Yaklaşık olarak 200⁰C 'da ilk önce martenzitin tetragonal halde uzamış kristal kafesi kısalır ve karbon atomları tek tek martenzit kafesini terk ederek ince karbür parçaları halinde bir araya gelir. Artık ostenit ise, kübik martenzit haline dönüşür. Kübik martenzit birim kafeslerin bazılarında, karbon atomları ihtiva eden büyümüş bir α - kafesidir (Weissbach, 1998).

Temperleme sıcaklığı yükseldikçe karbonun difüzyonu giderek kolaylaşır ve gittikçe daha iri karbür taneleri topaklaşır. Bu taneler görülebilir hale gelmiştir ve 700°C civarındaki bir temperleme sıcaklığında içyapı taneli bir perlitte benzer. Karbürün yapı içerisinde ayrışması ile martenzitin sertliği de azalır. Ferrit miktarının neticesinde ise, uzama kabiliyeti ve süneklik artar (Weissbach, 1998).

1.5. Malzemelerde Aşınma

Aşınma mekanizmaları, sürtünme süresince meydana gelen kompleks değişikliklere bağlı olarak tanımlanmaktadır. Genelde aşınma, tek bir aşınma mekanizması süresince yer almamaktadır. Sistemde bu şekilde, her bir tür aşınmadaki her bir aşınma mekanizmasının anlaşılması önemli hale gelmektedir. Aşınma, kimyasal bozulma veya iletişim ara yüzeyinde erime suretiyle mikro çatlama sebebiyle, fiziksel ayrılma olarak, malzemenin kaldırılması sonucuyla vuku bulmaktadır. Bu bağlamda aşınmanın birkaç tipi mevcuttur. Aşınma şiddeti, aşınma yüzey pürüzlülüğü ve aşınma parçacık şekli, bize aşınmanın vasıflandırılması konusunda, önemli bilgi vermektedir (Yıldız ve Gür, 2006).

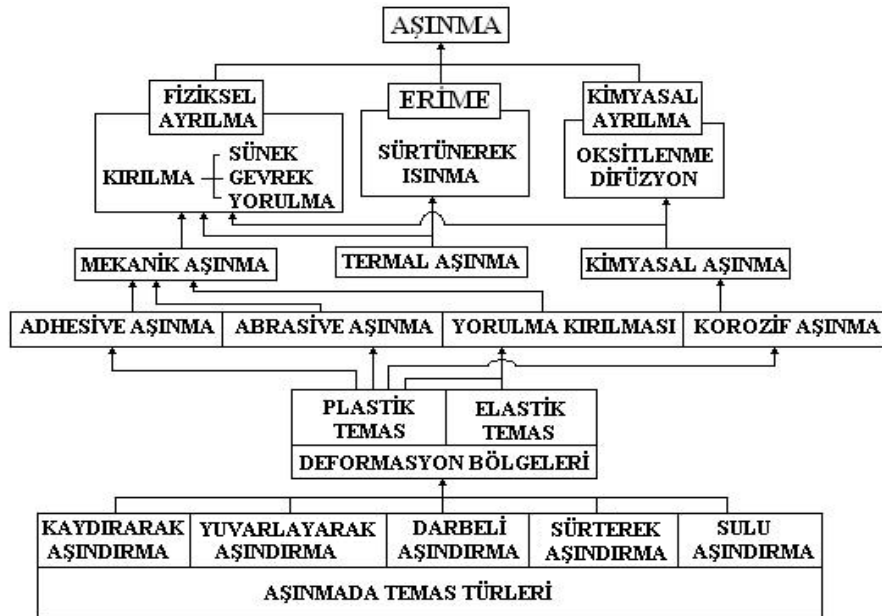


Şekil 1.29. Aşınma eğrilerinin üç örneği (Yıldız ve Gür, 2006).

Aşınma şiddeti eğrilerini temsil eden üç tip, Şekil 1.29.' da, simetrik olarak gösterilmiştir. 1. Tür, bütün işlemin başından sonuna kadar sabit bir aşınma oranını göstermektedir. 2. Tür, başlangıçtakinden yüksek bir aşınma oranından düşük bir orandaki sabit aşınmaya kadar olan geçişi göstermektedir. Aşınmanın bu tipi, metallerde oldukça sık gözlenir. 3. Tür, bu şekilde bir çatlama kırıklığı meydana

getirmekle, başlangıçtaki aşınmanın düşük oranın yüksek bir orandaki aşınmaya, daha kötü bir geçişini göstermektedir. Aşınmanın bu tipi, daha çok çömlekçilikte görülmektedir (Yıldız ve Gür, 2006).

Genel olarak aşınma, aşınma yüzeyinin durumu ve kaybolan malzemenin miktarı ile değerlendirilmektedir. Aşınmanın derecesi, aşınma oranı, özel aşınma oranı ve aşınma katsayıları değerleri ile tanımlanmaktadır. Aşınma oranı, her bir aşınma mesafesi ve aşınma yüklemesi için aşınma şiddeti olarak tarif edilir. Aşınma katsayısı da, belirli aşınma oranı ve aşınan malzemenin sertliği ile tarif edilir. Aşınmayı tarif eden birçok terim mevcuttur ve bunlar daima çok büyük farklılıklar göstermezler. Bu çoğu zaman, aşınma mekanizmasının birbirine karıştırılmasına sebep olur. Dolayısıyla, aşınma mekanizmalarının analizine yaklaşımımızda anlaşılabilirliği daha iyi gerçekleştirmek için aşınmanın tanımlayıcı anahtar kelimeleri ve bunların karşılıklı özellikleri Şekil 1.30.' da gösterilmektedir. Aşınma bir malzeme özelliği değildir, bu bir sistem karşılığıdır. Aşınma, dinamik parametrelerin, çevresel parametrelerin ve malzeme parametrelerinden meydana getirilen bir sürtünme sistemi içerisindeki küçük bir değişiklik ile bile, büyük ölçüde değişiklikler meydana getirir (Yıldız ve Gür, 2006).



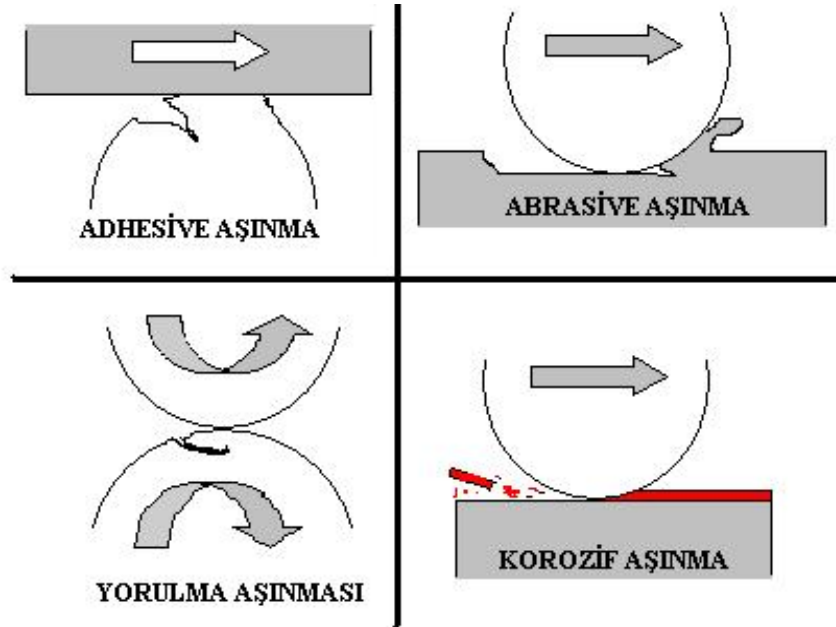
Şekil 1.30. Aşınmanın anahtar kelimeleri ve temas tiplerinin tanımlanmaları (Yıldız ve Gür, 2006).

Aşınmada temas türleri; aşınma sistemleriyle ilişkili olduğundan, temas ara yüzündeki gerçek ve anlaşılır temas koşulları, bu temas yapılandırmalarıyla ilgili ayrıntılar olmaksızın ortaya çıkmaktadırlar. Temasın şiddeti, bu aşınma mekanizmalarının en basit şekilde ve direkt olarak anlaşılması bakımından elastik temas veya plastik temas olmaktadır. Sürtünme sistemi ise, dinamik parametreler, malzeme parametreleri ve atmosferik parametreler olarak tanımlanmaktadır.

Aşağıda dört aşınma tipinin, temel ve en önemli olanları tanımlanmaktadır. Bunlar;

- Adhesiv Aşınma,
- Abrasiv Aşınma,
- Yorulma Aşınması,
- Korozif Aşınma.

Geleneksel olarak kabul edilen dört aşınma tipi, Şekil 1.31’ de şematik olarak gösterilmektedir. Bu aşınma tiplerine dayalı aşınma mekanizmaları, detaylı olarak açıklanmaktadır (Yıldız ve Gür, 2006).



Şekil 1.31. Aşınma tipinin şematik gösterimi

1.5.1. Aşınma çeşitleri

1.5.1.1. Adhesiv aşınma

Plastik temas altındaki iki yüzeyin temas ara yüzeyinde nispi kayma direnci için yeterli yapışkan gücüne sahip olmasıyla, geniş plastik deformasyonunun sıkıştırma ve kırılma altında temas bölgesi içinde ortaya çıkmak suretiyle aşınma meydana gelmektedir. Dolayısıyla temas bölgeleri içindeki bu geniş deformasyon, bir çatlamanın başlamasına ve gerilmeyle kırılmanın bileşik çatlama tarzında üretilmesine sebebiyet vermektedir. Temas ara yüzeyindeki çatlak uzadığında, aşınan parça, yapışkan transferinin tamamlanmasıyla şekillenmektedir. Temas ara yüzeyinde yeterli yapışma meydana geldiğinde ortaya çıkan bu aşınma tipi, adhesiv aşınma olarak adlandırılmaktadır (Yıldız ve Gür, 2006).

1.5.1.2. Abrasiv aşınma

İki yüzey arasındaki temas ara yüzeyi meyilli veya eğri bir temasa sahipse, aşınma bu kayma içersinde yer almasıyla meydana gelir. Abrasiv aşınma tüm aşınma maliyetinin yaklaşık %63'ünü oluşturur. Abrasiv aşınma, sert partiküllerinin veya sert çıkıntılarının katı bir yüzey boyunca hareket etmesi ve karşı koymasından dolayı oluşur. Bu aşınma tipi, abrasive aşınma olarak adlandırılır.

1.5.1.3. Yorulma aşınması

İki parça arasındaki temasın tekrar edilen dönüşleri, aşınma parçalarının meydana gelmesi açısından adhesive ve abrasive aşınma için gerekli olmamaktadır. Fakat burada, aşınma parçalarının meydana gelmesi için esas olan temas, tekrarlarının belirli bir miktarının olduğu yerlerdeki aşınmanın diğer durumları için mevcuttur. Bu şekildeki temas dönüşleri sonrası meydana gelen aşınma, yorulma aşınması olarak adlandırılmaktadır (Yıldız ve Gür, 2006).

1.5.1.4. Koroziyon aşınma

Makine ve malzeme mühendisleri herhangi bir tasarım için uygun metali seçmeden önce malzemelerin bazı açılardan incelenmeleri gerekir. Örneğin; gerekli hallerde malzemede şekil değiştirme derecesi, tokluk, yorulma ve korozyon direnci ölçülmelidir. Çalışma şartlarındaki malzeme seçimini etkileyen faktörler ise çalışma sıcaklığı, koroziyon ortam ve yüzey dayanıklılığıdır.

Korozyon; endüstriyel, ekonomik ve insan açısından pek çok problem ortaya çıkarmaktadır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalardan, metal konstrüksiyonlar da meydana gelen hasarların raporlarından; korozyonun sebep olduğu kayıpların büyüklüğü açıkça görülmektedir. Göz ardı edilen korozyonun ortaya çıkardığı hasarları gidermek amacıyla aylarca bakıma alınan fabrikaların uğradığı zarar, asmalı bir çelik köprünün halatlarının kopması sonucu pek çok insanın hayatını kaybetmesi gibi yaşanmış pek çok örnek bu konunun ne kadar incelenmeye değer olduğunun göstergesidir.

Koroziyon aşınma, metallerin oksidatif aşınmalarını temsil etmektedir. Koroziyon aşınma, su içindeki silikon nitratin hidroksiti, sürtünme suretiyle yüzeyden kolayca kaldırılması şeklinde olur (Yıldız ve Gür, 2006).

1.5.2. Aşınma hasarlarının analizi

Aşınma hasarlarının doğru şekilde analizi için; aşınmış yüzey, çalışma ortamı ve aşınma parçacıkları konusunda ayrıntılı bilgi gerekmektedir (Eryürek, 1993).

1.5.2.1. Aşınmış yüzey

Yüzey tahribatı, parlatmadan başlayan ve yüzeyden büyük hacimde metal kaybına kadar değişen geniş bir aralıkta oluşur. Aşınmış yüzeylerin etüdü fazla miktarda bilgi sağlar. Bunlar, yüzeyden uzaklaştırılan malzeme miktarı, tahribatın tipi, yüzey filmlerinin mevcudiyeti veya karakteri, tercihen belirli bileşenlerin saldırıya uğrayıp

uğramadığı, aşınmış yüzeyle aşındırıcı parçacıklar arasındaki izafi hareket yönü ve aşındırıcı parçacıkların yüzeye gömülü olup olmadıkları gibi bilgilerdir (Eryürek, 1993).

1.5.2.2. Çalışma ortamı

Çalışma ortamındaki şartlar aşınma mekanizması ve aşınma hızı üzerinde çok önemli etkiye sahiptir ve bu nedenle bu şartlar hakkında detaylı bilgi edinmek gerekir. Aşınma ortamı korozif olabilir, çalışma sırasında değişikliğe uğrayabilir, yetersiz yağlama mevcut olabilir veya sistem tasarım sırasında düşünölmüş olan ortamdan farklı bir ortamda çalışıyor olabilir.

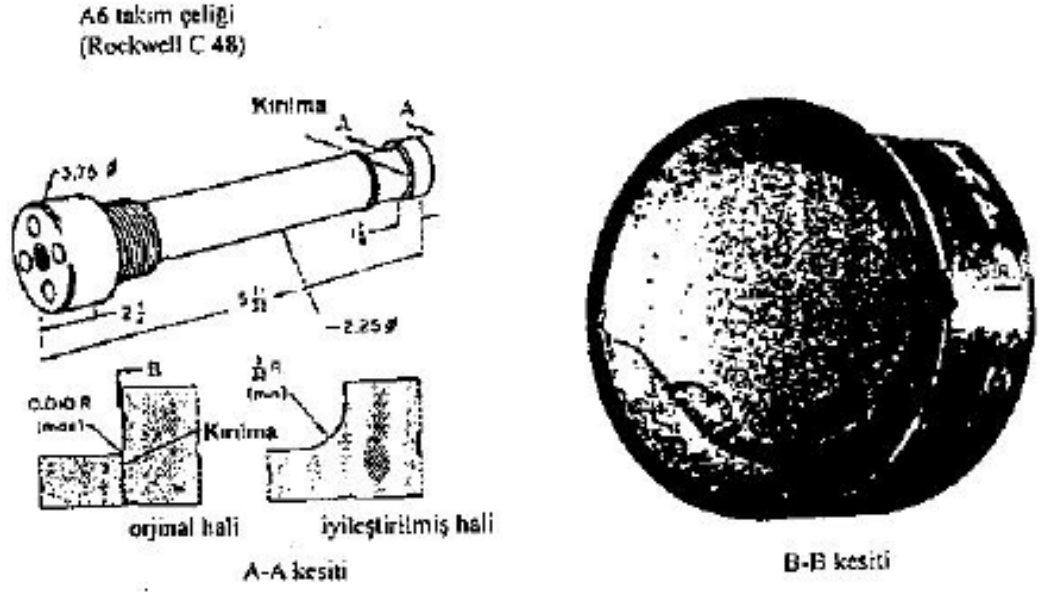
1.5.2.3. Aşınma parçacıkları

Aşınma parçacıkları, ister aşınmış yüzeyler arasında bulunmuş olsun, ister yüzeye gömülü olsun, ister yağlayıcının içinde bulunmuş olsun, aşınma mekanizması konusunda bilgiler sağlar.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ay ve Sakin (1998), bu çalışmada yorulma olayının mil ve aksların çalışmalarında oynadığı rolü açıklamışlardır. Mil ve aks birer makine elemanı olup farklı boylarda, dairesel veya çokgen kesitlerde olabilir. Üzerlerine, dişli çark, volan, kasnak, kavrama, tekerlek gibi makine elemanları takılabilir. Bu elemanlar mil ve akslara kama, pim, cıvata veya somunlarla bağlanırlar. Üzerlerine takılan bu elemanlar sebebiyle akslar yalnızca eğilmeye maruz kalırken, miller hem eğilmeye hem de moment ilettikleri için burulmaya da maruz kalırlar. Mil ve aksların kesitleri, içi dolu veya boş olabilir. Dik ya da yatay monte edilip, radyal veya aksel yatak içinde çalışırlar. Bu çalışma anında hareketli olabilecekleri gibi sabit de çalışabilirler. Özellikle millerin dış yüzeylerine çok sert ve dayanıklı olması istenen yerlerde, semantasyon ve nitrurasyon işlemleri uygulanır. Millerin ve aksların çok çeşitli kullanma alanları vardır. Tozlu, aşındırıcı ortamlarda çalıştıkları gibi, çok soğuk kutup sıcaklıklarında veya gaz türbini gibi aşırı sıcak ortamlarda da çalışırlar.

Ay ve Sakin (1998) öncelikle tek yönlü eğilme yorulması üzerinde çalışmışlardır. Şekil 2.1.'de görülen mil boruları eğmede kullanılan bir aletin milidir ve A6 takım çeliğinden yapılmıştır. Bu mil çalışırken eğme ve basma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Saatte 45 kez sağa, 45 kez sola doğru eğilip bükülmektedir. Kırılmadan önce kaç defa eğilip büküldüğü bilinmemektedir. Mile etkileyen çeki gerilmesi periyodiktir.

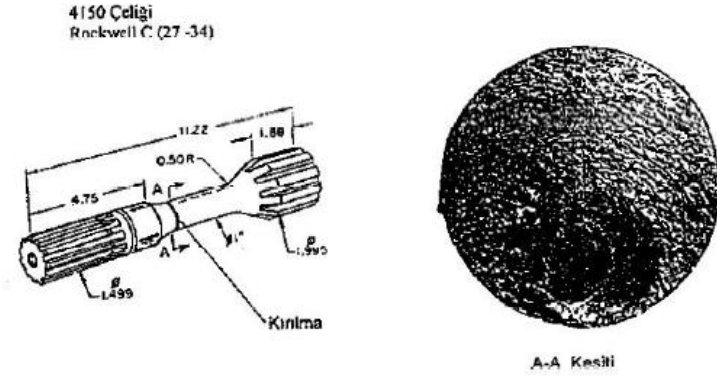


Şekil 2.1. Yorulma kırılması hasara uğramış ve A6 takım çeliğinden yapılmış boru eğme makinesi mili ve yüzey görüntüsü (Ay ve Sakin, 1998)

Mil malzemesin kimyasal analizi yapılarak, bütün elementlerin olması gereken sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür. Mil üzerindeki ortalama sertlik 48 HRC olarak ölçülmüştür. İçyapı, ince dağılmış ve uzamış kırıntı tipinde mangan sülfürlerin (MnS) olduğu temperlenmiş martenzitten oluşmuştur. Ayrıca Fe_4Mo_2 , Fe_4Cr_2C gibi karbitlere benzeyen M_6S yüksek alaşımli kompleks karbidler olarak tanınan beyaz küre şeklinde partiküller de vardır. Kırılan yüzeyin kenar kısmında da bir miktar metalik olmayan oksit- sülfür ayrımı gözlenmiştir. Kırılma yüzeyi çıplak gözle incelendiğinde, hem düz hem de kaba taneli kısım görülmüştür. Demek ki, düz kısım, tipik yorulma kırılmasını göstermektedir. Bu kırılma, eğilme gerilmesiyle açılıp kapanan çatlakların oluşturduğu sürtünme hareketinden doğmuştur. Sonuç olarak bu milde hasar, yüksek titreşimli tek yönlü eğme yükü sonunda meydana gelmiştir. Keskin köşedeki çok küçük yuvarlatma ve keskin köşenin yüzeye kesiştiği yerlerde metalik olmayan inklüzyon olması, çatlakların başlamasına ve sonuçta kırılmaya neden olmuştur (Ay ve Sakin, 1998).

Daha sonra dönel eğilme yorulması üzerine inceleme yapılmıştır. Bunun için Şekil 2.2.' de gösterilen mil incelenmiştir. Bu mil, pistonlu pompaya aittir. Pompa 1585

dev/ dak ile dönmekte. 57°C ’ lik sıcaklıkta yaklaşık 140 N/cm^2 , lik bir basınca maruz kalarak çalışmakta ve yaklaşık $170\text{cm}^3/\text{s}$ ’ lik debi basmaktadır. Bu pompa mili SAE 4150 alaşımli makine yapım çeliğinden yapılmıştır. Minimum çeki mukavemeti yaklaşık 9070 N/cm^2 ’dir. Isıl işlem yapıldıktan sonraki sertlik değeri 27- 30 HRC olarak ölçülmüştür. Bu mil çalışmaya başladıktan 12 ay sonra kırılmıştır.



Şekil 2.2. Zıt yönlü eğilme yükü ve burulma yorulması sonucu kırılan pompa mili ve yüzeyi (Ay ve Sakin, 1998)

Kırılma yüzeyinde önce gözle sonra makro seviyede mikroskopla yapılan inceleme sonucunda durak izlerine rastlanmıştır. Zoraki kırılma bölgesi, oval ve gri şeklinde olup kesitin %15’ini kapsamaktadır. Kırılma yüzeyi parlak ve karanlık oluşmaktadır. Karanlık bölgeler, sertlik veren alaşımın zengin olduğu (44.5- 45.5 HRC), parlak bölgeler ise sertlik veren alaşımın fakir olduğu (29- 30 HRC) kısımlar olarak, belirlenmiştir. Milin yüzeyinde sertlik yaklaşık 29- 33 HRC bulunurken, tam kırılma yerinde ise 30 HRC olarak ölçülmüştür. Kırılma yerin görüntüsü incelendiğinde, kırılmanın; zıt yönlü eğilme yorulması veya dönele eğilme yorulması sonucu olduğu ve gerilim birikmesinin yoğun olmasına rağmen nominal yüklemeye meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Köksal vd., (2005) çalışmalarında alümina refrakterlerde sıcaklık değişmelerine bağlı hasar analizi yapmışlardır. Çalışmada yüksek alüminalı ticari ürün tuğlalardan alümina Al_2O_3 oranı esas alınarak üç farklı örnek seçilmiştir. Deneylede kullanılan örneklerin bileşimleri ve bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Örneklerin kimyasal bileşimleri ve bazı fiziksel özellikleri

Örnek	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Hacim Ağırlık	Görünür Porozite (%)
A	50	40	1.6	1.8	0.5	0.5	2.35	19
B	60	30	2.9	2.1	0.5	0.3	2.45	20
C	70	20	3.1	2.0	0.5	0.3	2.62	20

Deney örneklerini 230 x 114 x 64 boyutlarındaki ticari ürün refrakter tuğlalardan 20 x20 x150 mm boyutlarında üç nokta eğme deneyi standartlarına uygun olarak hazırlanmışlardır. Termal çevrim uygulanarak sıcaklık farkları 300, 600 ve 900 °C seçilmiş ve her bir sıcaklık aralığı ve çevrim sayısı için her gruptan beş adet örnek hazırlanmışlardır (Köksal vd., 2005).

Termal şok çevrimi için belirlenen sıcaklıklarda 30 dakika fırında bekletilen örnekler, fırından çıkartılıp hemen ortam sıcaklığındaki suya atılarak soğutulmuştur. Su içerisinde 3 dakika bekleyerek tamamen soğuyan örnekler 10 dakika bekletilerek tamamen kurumaları sağlanmıştır. Örnekler sıcaklık farkları 300, 600 ve 900 °C için 5 defa çevrim uygulanmıştır.

Malzemelere Köksal ve arkadaşları tarafından üç nokta eğme deneyi yapılmıştır. Belirtilen sıcaklıklarda termal çevrimler yapılarak hazırlanan örneklerin üç nokta eğme deneyi, Shimadzu AG 100 kN cihazında destekler arası açıklık (L) = 120 mm ve makine basma hızı 2 mm/dakika ile yapılmıştır. Örnek kırılana veya makine durana kadar belirtilen koşullarda deney yapılmış ve örneklerin kırılma kuvveti, eğilme dayanımı, elastisite modülü hesaplanmıştır (Köksal vd., 2005).

Köksal ve arkadaşları yaptıkları deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır;

- Termal şok uygulanan %50, 60 ve 70 alüminalı refrakter malzemelerin eğilme dayanımı değerleri grafiklerinde, işlem görmemiş örnekler göre bu değerlerin uygulanan sıcaklık farkı ve çevrim sayısı arttıkça azaldığı elde edilmiştir.

- Her çevrim sonrası alınan yüzey resimlerinde tane dökülmesi ve çatlak oluşumu şeklinde hasarlar olduğu gözlenmiştir. Dökülen tane miktarı ve yüzeylerde görülen çatlak sayısı, sıcaklık farkı ve çevrim sayısı artışı ile daha fazla olmuştur. Oluşan bu çatlaklar bazen termal çevrimlerle oluşan çatlakların ilerlemesini engelleyici etki etmektedir. Elde edilen mekanik özelliklerin sıcaklık farkına bağlı değişim grafiklerinde bu durum görülmektedir.
- Kırılma başlangıcı olan çatlaklar malzemelerin üretim aşamasında da oluşmaktadır. Sıcaklık değişimlerine bağlı olarak çatlaklar çoğunlukla yüzeyde ve kenarlarda oluşmasında rağmen yapı içerisinde de ortaya çıkar ve mevcut çatlaklarla birleşerek hasara neden olmaktadır. Bazı durumlarda ise yüzeysel olarak oluşan bu çatlakların malzemenin eğilme dayanımı değerlerini çok fazla etkilemediği belirlenmiştir.

Yu vd., (2005) M16 tüfek civatasının hasar analizini yapmışlardır. Bu çalışmada hem geometrik element analizi hem de civatanın metalurjik analizi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin hedefleri şunlardır:

Geometrik element analizleri civatada var olan çatlak oluşumunu ve bu çatlağın ilerlemesini kolaylaştıracak herhangi bir yüksek gerilme olup olmadığını ortaya koyacaktır. Metalurjik analiz ise kırık kökenini ve hasarlanma mekanizmasını belirleyecektir. Metalurjik analiz, malzemenin mekanik özelliklerinin civataya dair tasarlanan işlem için yeterli olup olmadığını belirlemektedir. Yapılan geometrik element analizinde Yu ve arkadaşları aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır. Özellikle yüksek gerilim konsantrasyonları kilitleme kancalarında mevcuttur. Bu iki özel kilitleme kancaları yaklaşık 1070 MPa büyüklüğünde gerilmeleri yaşatır. Ayrıca, bu son derece yüksek gerilim konsantrasyonları çatlak oluşumunda katkıda bulunmuştur. Daha sonra metalurjik analiz yapılmıştır. SEM mikrograflarından M16 civatalarında yerleşimli çukurlaşma şeklinde korozyon yaşandığı görülmüştür. SEM mikrograflarından, makaslama dudaklarının kırık başlangıç bölgesinde kırılma yüzeyinin dışındaki dış kenarın çevresinde hazır buldukları gözlenmiştir. Bir makaslama dudak oluşumu, dış kenar boyunca malzemenin sürekliliğini ve yüzeydeki sünek yetersizliğini gösterir. Ancak bölgedeki korozyon çukurda bu

karakteristik makaslama dudak oluşumunun var olmadığı gözlenmiştir, korozyon çukur nerede hata olduğunu düşündürmeye başlamıştır. Ayrıca, korozyon çukuru, çatlağın başlamasına yardımcı ek bir gerilim konsantrasyonu sağlamıştır. M16 cıvatasındaki kırığın, köşe yarıçapındaki yüksek gerilim konsantrasyonlarının kümülatif etkisi sonucu ve yüzeyindeki yerleşimli çukurcuğun varlığı tarafından uygulanan ek gerilim konsantrasyonu sonucu oluştuğu anlaşılmıştır. Cıvata çok sayıda 90⁰C köşe bölgelere sahiptir ki bunlar sayısız alanda yüksek gerilim konsantrasyonlarını empoze eder. Özellikle cıvatanın sürekli olmayan özelliğinden dolayı, iki köşe yüksek gerilime tırnaklar boyunca maruz kalmıştır. Yüksek gerilme yığılması bu iki belirli alanlarda tekabül etmiştir. Aynı yerdeki cıvata hasarı bütün kırık cıvata örneklerinde oluşmuştur. Mikrograflarda, elektron mikroskopunun kırık yüzey taraması sonucu hasar başlama yerindeki yerleşimli çukurcukları gösterdiği elde edilmiştir. Kitleme kancalarının yakınında yerleşimli çukurcuklar yer almıştır aynı zamanda bunlar yüksek gerilme yoğunlaşma noktaları olarak görev yapmışlardır (Yu vd., 2005).

Sonlu elemanlar modeli ile hesaplanan yüksek gerilim konsantrasyonlarına ek olarak, hasarın temel nedeninin aşınma olduğu anlaşılmıştır. Aşınma şiddetli olduğu gibi, aşınma alanında çentik de gözlenmiştir. Çentik yüksek gerilmeler uygular. Olası bir önlem olarak aşınmayı önlemek için malzemenin sertleştirilmesi sağlanmalıdır. Ancak çember bölgesi yakınlarında Vickers sertlik ölçümleri cıvatanın sertleştirilmesinin eşit durumda olmadığını göstermiştir. Çember bölgenin yakınındaki mikrosertlik ölçümlerinin karşılaştırılması ve bu bölgenin 10 mm yakınında, yaklaşık 100 adet farklılık göstermiştir.

Chen vd., (2006) çalışmalarında bir buhar borusunun son flanş üzerinde cıvata hasar analizi yapmışlardır. Bir kimyasal fabrikada yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta buhar iletmek için 12 cıvata ve flanşlarla mühürlü buhar boruları vardır. Buhar borularının ucundaki buhar sızıntısını önlemek amacıyla, anti- sızıntı kalıplar kullanılmıştır. Ancak buhar ana buhar borunun bir ucundan dışarı sızdırılmıştır. Sızıntı kalıpları çalışma sürecindeyken, birçok cıvata üzerindeki son flanşlar aniden kırılmıştır. Flanş (kütlesi 60 kg) yaklaşık 10 metre uzağa fırlamıştır ve yüksek

sıcaklıktaki buhar açığa vurmuştur. Durumun incelenmesinden sonra 3 somunun kırıldığı anlaşılmıştır. Diğer cıvatalar ise eğilmiş ve dişleri yıpranmıştır bu durum Şekil 2.3.' de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Kırık cıvata resimleri (Chen vd., 2006)

Borunun, flanşın, cıvatanın, somunun ve contanın malzeme ve boyutları Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kullanılan parçaların malzeme ve boyutları

Parçalar	Kullanılan malzeme	Belirtilen boyut
Cıvata	A193 Gr. B7	1- 1/4" 7 UNC: Uzunluk: 230 mm Dış çapı: 31.75 mm Etkin çap: 29.39 mm
Somun	A194 Gr. 2H	Yükseklik: 25 mm Küçük çap: 27.82 mm Etkin çap: 29.39 mm
Flanş	A105 (ANSI B16.5)	Dış çap: 470 mm
Ana buhar boru	A53 Gr. B	Çap: 230 mm, sonunda flanş dış çapı : 470 mm
Metal conta	ASTM: N18.22.1	İç çap: 237.3 mm Dış çap: 270 mm

Sirküle buharı çalışma basıncı 7.85 ve 9.32 MPa arasında ve çalışma sıcaklığı 300 ve 320 °C arasındadır. Tasarım özelliklerine göre, boru ve flanş bağlantı parçaları sistemin normal çalışma koşullarında güvenilir olmalıdır. Ancak hasar meydana gelmiştir. Bu yüzden Chen ve arkadaşları hasarın sebebini öğrenmek için farklı

düşünceler ortaya atılmışlardır. Öncelikle kompozisyon analizi yapılmıştır. Somun ve civatanın beklenmedik bir durum veya kompozisyon değişikliği içerip içermediğini bilmek için spektrum analizi yapılmıştır. Çizelge 2.3. kırık civata ve somunların analiz sonuçlarını gösterir.

Çizelge 2.3. Spektrum analizi (EDS) (Chen vd., 2006)

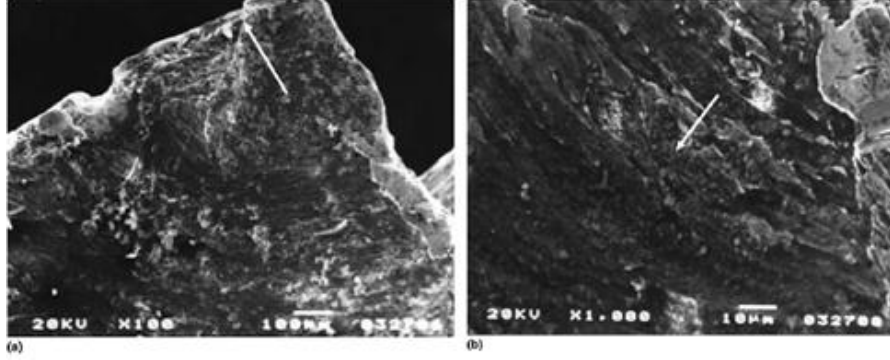
Parça	Element							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Civata	0.393	0.236	0.764	0.010	0.002	0.927	0.014	0.190
Somun	0.430	0.248	0.741	0.010	0.003	0.025	0.012	0.001
ASTM Standart	0.37– 0.49	0.15– 0.35	0.65– 1.1	≤ 0.035	≤ 0.040	0.75– 1.20	≤ 0.1	0.15– 0.25

Sonuçlardan bu civata ve somun kompozisyonlarının ASME standart özellikleri gereği uygun görüldüğü anlaşılmıştır. Daha sonra sertlik deneyi yapılmıştır. Yeni ve kullanılmış civatalar sertlik değişimlerini kontrol etmek için Rockwell sertlik testi ile incelenmişlerdir. Sonuçlar; civata ve somun sertliklerinin 9 ay sonra azaldığını göstermektedir. Bu durum yüksek çalışma sıcaklığının civata ve somunların sertliklerini azalttığı anlamına gelir. Bu durum aynı zamanda kullanılan civata ve somunların yorulma sınırının ve yorulma ömrünün azaldığı anlamına gelebilir. Bu incelemelerin ardından kırık yüzeyi gözlemlmek için makro denetimler ve mikro denetimler yapılmıştır. Kırık yüzey çıplak gözle incelendiğinde 4 farklı kırık bölge gözlenmiştir. Bu bölgeler Şekil 2.4.'de gösterilmektedir (Chen vd., 2006).



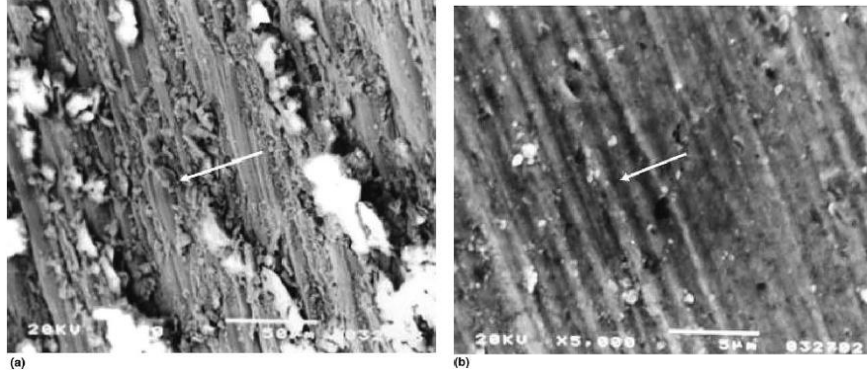
Şekil 2.4. Civatada kırılmış yüzeyler (Chen vd., 2006)

Şekil 2.5.' te bölge A' nın SEM tarafından büyütülmüştür. Resim de birçok girintiler ve birkaç farklı düzlikle farklı dikey kademeler bulunmaktadır. Şekil 2.4(B); Şekil 2.4(A) üzerindeki bir bölgeden büyütülmüş SEM görüntüsüdür. Bu resim bu bölge üzerinde bazı belirsiz çizgiler olduğunu ortaya koymaktadır.



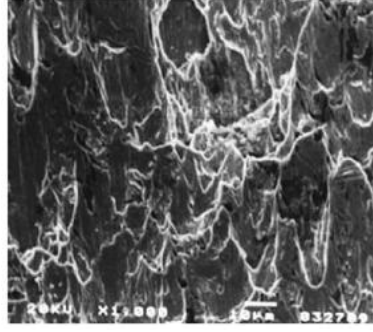
Şekil 2.5. Bölge A' nın büyütülmüş görüntüleri (Chen vd., 2006)

Şekil 2.5.(a) B bölgesinin büyütülmüş şeklidir. Kırılma yüzeyinde çok sayıda yorulma çizgileri ve bazı demir oksit çöküntüleri bulunmaktadır. Şekil 2.5.(b); şekil 2.5(a)' nın büyütülmüş görüntüsüdür. Bu resim çizgileri net bir şekilde gösteriyor.



Şekil 2.6. Bölge B' nin büyütülmüş görüntüleri (Chen vd., 2006)

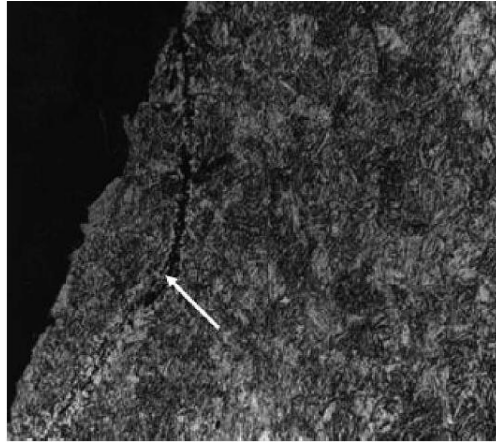
SEM yoluyla C bölgesinde yapılan araştırmalardan bu bölgede kaba ve eğik yüzeyler olduğu anlaşılmış ve yüzeyde çok sayıda çukurcuk bulunmuştur.



Şekil 2.7. Bölge C' nin SEM görüntüleri

Metalografik inceleme:

Kırık cıvata ve somununun metalografik yapısını incelemek için metalografik inceleme yapılmıştır. Şekil 2.8. kırık cıvatanın metalografik yapısının resmini göstermektedir. Bu yapının sorbite olduğunu ortaya koymaktadır. Bu metalografik yapı yeni bir cıvata ile aynıdır. Bu durum yüksek sıcaklıkta kullanılan cıvataların metalografik yapılarının değişmez olduğu anlamına gelir. Ancak kırık cıvata yüzeyindeki mikro çatlaklar açıkça görülmektedir.



Şekil 2.8. Hasarlı cıvatanın metalografik yapısı (Chen vd., 2006)

Şekil 2.5. (a) ve (b) deki oklar kırık yayılma yönünü gösterir. Bu nedenle, bazı yapısal kusurlar ve çatlaklar cıvata üzerindeki basınç yoğunlaşmasından dolayı var olabilir. B bölgesinin düz yüzeyi, hizmet ömrü boyunca plastik deformasyonun kayda değer miktarda olmadığını temsil eder. Şekil 2.6. (a) ve (b)' nin gösterdiği gibi B bölgesinin kırık yüzeyindeki çizgiler ve demir oksit bu bölgedeki kırılmaya yorulmanın neden olduğunu gösterir. Bu verilerden çizgiler arası mesafe yaklaşık 1.0

μm ' dir. A ve B bölgesindeki çizgiler kıyaslandığında, çok açıktır ki A bölgesindeki çizgiler B bölgesindeki çizgilerden daha dar ve sığdır. Tüm incelemelerden yola çıkarak bu cıvatadaki çatlak A bölgesinden, yayılma B bölgesinden, çatlama ise C bölgesinden kaynaklanır. Bu klasik yorulma hasar modudur. Diğer iki cıvata gözlemlerinden de aynı sonuç elde edilmiştir.

Chen vd. yaptıkları deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır.

- Flanş montajı için anti- sızıntı çalışması yapıldığı zaman, cıvata tarafından taşınan yük dengesizde olabilir. Bu bazı cıvatalar diğerlerinden daha büyük bir güce dayanamaz ve erken kırılabilir demektir. Bu tür kazaların oluşmasından kaçınmak için, enjekte basınç kritik bir değer içinde sızdırmazlık için ölçülü olmalıdır.
- Tahribatsız testler düzenli bir programda yapılmalıdır. Herhangi bir tespit kusurları bulunmazsa, yorulma ömrü ve kalan dayanımı değerlendirilmelidir. Bu normal çalışma koşullarında maksimum çatlak derinliği statik analizinde küçük çapın yaklaşık % 50 olduğu gösterilmiştir. Kırılma mekaniği analizi kullanarak normal çalışma koşulu altında çap % 40' dır. Bu, eğer tahribatsız testler tarafından 10,88 μm derinlikli bir çatlak kullanılan cıvata üzerinde bulunursa yeni bir cıvata ile değiştirilmesi iyi olacağı anlamına gelmektedir. Bu, konservatiftir ama cihaz için çok daha güvenlidir.
- Cıvata çalışma ömrü için kaba bir tahmin, çatlak yayılma hızından yapılabilir.

Poursaeidi ve Salavatian (2007), bir jeneratör fan pervanesinin hasar analizi üzerine araştırma yapmışlardır. Fan pervanesinin hasar analizi, mekanik analiz ile ve kırık yüzey metalurjik muayene ile araştırılmıştır. Kırık, kanat kökünde gerçekleşmiştir; yüzey inceleme kanadın yüksek çevrim yorulma mekanizması tarafından kırık olduğunu göstermiştir. Ancak malzeme kusuru olarak hiçbir kanıt saptanmamıştır. Bir dizi analitik, sonlu eleman ve deneysel analiz kanadın durumunu, dinamik karakteristiğini ve gerilmelerini belirlemek için kullanılmıştır. Hasarın aerodinamik bozukluklar nedeniyle olmuş olabileceği saptanmış, aerodinamik bozukluklar ise titreşimin rezonans durumundan sonuçlanmıştır.

Sonuç olarak Poursaeidi ve Salavatian (2007) kanat malzemesinin herhangi bir kusuru olmadığından dolayı hasarın malzeme zayıflığından dolayı olma ihtimali üzerinde durmuşlar, son çatlak ile kanadın simülasyonu çatlak yayılma mekanizmasını göstermiş olduğundan sünek kırılmanın bu gerilmeler altında oluşmuş olabileceğini düşünmüşlerdir.

Dursun ve Özbay (2008), bu çalışmada tabakalı kompozit levhaların kopma dayanımını yüksek doğrulukta tespit edebilmek amacıyla hasar ilerleme modeli geliştirmiştir. Hasar ilerleme modeli sonlu eleman analizlerinde kullanılmıştır. Ortasında delik bulunan ve çekme yüküne maruz kalan karbon/ epoksi levhalar için analizler yapılmış ve levhaların kopma dayanımları tespit edilmiştir. Analizlerde $[(\pm 45)_6]_s$ ve $[(0/90)_6]_s$ ve konfigürasyonları seçilmiştir. Analiz sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve tam uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda hasar şekilleri de doğru şekilde bulunmuştur.

$[(\pm 45)_6]_s$ konfigürasyonlu kompozit levhada fiber çekme hasarı delik kenarında başlamış ve fiber doğrultusunda ilerleyerek levhanın serbest kenarına ulaşmış ve kopma 10676 N ' da meydana gelmiştir. $[(\pm 45)_6]_s$ konfigürasyonunda uygulanan yük, maksimum çekme kuvvetinin % 83' üne ulaştığında hasar başlamıştır.

Hasarın başlamasıyla levhanın kopması arasındaki yük farkı çok az olduğu için kopma aniden meydana gelmiştir. $[(0/90)_6]_s$ konfigürasyonunda ise öncelikle matris çekme hasarı delik kenarında başlamış daha sonra tüm levhaya ilerlemiştir. Kuvvet 26778 N ' a ulaştığında delik kenarında fiber çekme hasarı başlamış ve 35386 N ' da levha kopmuştur. Kompozit levhada fiber çekme hasarı, maksimum çekme mukavemetinin %76' sına ulaştığında başlamıştır.

İki konfigürasyon karşılaştırıldığında; $[(0/90)_6]_s$ konfigürasyonlu kompozit levhanın çekme mukavemetinin $[(\pm 45)_6]_s$ konfigürasyonlu levhaya göre 3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Turan vd., (2009) çalışmalarında dairesel delikli tabakalı kompozit levhalarda deneysel ve sayısal hasar analizi yapmışlardır. Bu çalışmada simetrik ve antisimetrik dizilime sahip dört tabakalı kompozit levhalar kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan tabakalı kompozit levhalar sıcak presleme tekniği kullanılarak tekyönlü karbon fiber takviye ve epoksi reçine matriks kullanılarak üretilmiştir. Tabakaları oluşturacak olan fiberler her bir katına reçine emdirilerek dört kat üst üste konularak pres tablasına yerleştirilmiştir. Presleme işleminde 150 Bar basınç yükü altında 160 °C sıcaklık uygulanan plakalar 3 saat pres içerisinde bekletilmiştir. Presleme işlemi sonunda çıkarılan plakalar oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Soğutma işleminin sonucunda levhalar işlenmiştir. Modelin üretiminde kesim işlemi tel testere kullanılarak ve delik delme işlemi ise HSS hız çeliği matkap ucu kullanılarak yapılmıştır. Fiber takviyeli açısının değişimi θ , 0° , 15° , 30° , 45° ve 90° olarak seçilmiştir. Bu sayede fiber takviyeli açısının, simetrik ve anti simetrik tabaka diziliminin değişiminin hasar yükleri üzerine olan etkilerinin görülmesi amaçlanmıştır. Çekme işleminde çekme hızı 0,5 mm/dk. olarak alınmıştır ve plakaya iki ucundan aksenal çekme yükü uygulanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen maksimum hasar yükü, tabaka dizilimine sahip levhada 4651,973 N olarak elde edilmiştir. Kompozit malzemenin takviye doğrultusuna paralel olarak yükleme yapıldığı için fiberler yükü taşımaktadır. Fiberlerin yükü taşıması neticesinde meydana gelecek olan hasarda fiber çekme hasarı şeklinde meydana gelmektedir. En düşük hasar yükü değeri ise 2125,29 N ile simetrik tabaka dizilimine sahip levha meydana gelmiştir. Dört tabakadan oluşan kompozit levhada yan yana gelen iki tabakanın da yükleme doğrultusuna dik olarak takviye edilmiş olması yükün takviye tarafından taşınmasına engel olmuştur. Sadece matris tarafından yükün taşınması neticesinde de hasar yükleri düşük çıkmış ve hasar tipi olarak da matris çekme hasarı meydana gelmiştir (Turan vd., 2009).

Hasar yükleri anti simetrik dizilime sahip levhalarda simetrik dizilime sahip levhalara oranla daha yüksektir. Simetrik dizilime sahip levha için hasar yükleri 3250 N iken simetrik dizilime sahip levhada 2847,817 N olup en düşük değerine simetrik dizilimde ulaşmıştır.

Turan vd. yaptıkları deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır;

- Sayısal çalışmada kullanılan ilerlemeli hasar analizi ile elde edilen sonuçların deneysel verilerden elde edilen sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmüştür.
- Tabaka diziliminin hasar yükleri üzerine etkisi incelendiğinde anti- simetrik dizilimin simetrik dizilime göre hasar yükleri daha büyük çıkmıştır.
- Hasar yüklerine fiber takviye açısının etkisi incelendiğinde, deneysel ve sayısal çalışmalarda ortak olarak 0^0 itibaren takviye açısının artmasına bağlı olarak hasar yükleri azalmıştır.
- Hasar ilerleme modelinde hasar başlangıcı önce matris hasarı olarak meydana gelmiş daha sonra fiber hasarı gerçekleşmiştir. Bu durum gerçek deney şartları göz önüne alındığı zaman daha az mukavemetli olan matrisin önce kırılması ve daha mukavemetli olan fiberlerin sonra kırılması şeklinde gözlemlenmiştir.
- Sayısal ilerleme modelinde delik kenarına yakın olan hassas bölgelerde hasar ilerleme doğrultusunu elemanlara bölme şekli ile yönlendirmemek için rastgele elemanlara dağılımlı elemanlara bölme işlemi yapılmıştır. Sayısal hasar analizi modelinde eleman boyutu, elemanlara bölme şekli, yük artım oranı ve hasar kriteri bağıntılarının hasar yüklerinin sonucunu etkilediği görülmüştür.

Toribio vd., (2010) ağaç budama için kullanılan bir kaldırma platformunun hasar analizini yapmışlardır. Bu ağaç budama platformunun mekanik fonksiyonu, yaklaşık 10 m kadar bir yüksekliğe bir işçi ve kesici aletleri çıkarmaktadır. Mekanizma iki doğrusal aktuatöre sahiptir, bunlar tarafından iki serbestlik derecesi sağlanır. Bu aktuatörler işçi yerleştirilen sepete bağımsız hareketleri iletirler.

Hasar kaldırma platformunun ağaç budaması sırasında meydana gelmiştir. Çalışma ömrü boyunca kaldırma platformu aşağı ve yukarı kaldırma döngülerine maruz kalmıştır. Bu yüzden mekanizma bağlantılarında tekrarlı yüklemeler yaşanmıştır. Bu koşullar altında, kaynak bağlantıları özellikle hasara duyarlıdır, çünkü kaynak işlemi çeliğin mikro yapısını etkiler, kaynak bölgesi çeliğin mekanik özelliklerinin azalmasına neden olur. Daha sonra, çatlak oluşumu ve çatlağın büyüme süreci düşük

yük seviyelerinde ilerleyebilir. Bu nedenle uygulanacak standartlar çok sıkı gereksinimleri belirler.

Toribio vd. öncelikle malzemenin karakterizasyonunu yapmışlardır. Yapılan araştırmalarda kaldırma platformundaki kırığın çubuğu taşıyan bağlantılardaki yorgunluk çatlaklarının başlaması ile başladığı anlaşılmıştır. Çubuğu taşıyan bağlantıların iç kenarlarında tamamlanmamış kaynak gerçekleştirilmiştir, çünkü iç kaynaklı dikişleri süreksiz iken dış kaynaklı dikişleri tamamen tamamlanmıştır. Bu, çubuğu taşıyan ortak yan bağlantı eksikliği ve ilk çatlak olarak hareket eden bir süreksizlik demektir. Ayrıca, çelikte termal bozunma, kaynak dikişine yakın ısıdan etkilenmiş bölge gözlenmiştir.

Toribio vd. (2010) yaptıkları araştırmalardan aşağıdaki sonuçları çıkarmışlardır:

- Hasar analizi, bu yıkıcı hasarların kaynak eksikliği tarafından meydana geldiğini göstermiştir. Kritik konumu nedeniyle, oldukça muhtemel gerilmeye geometrik değişiklikler neden olmuştur.
- Kaynak dikişinin süreksizliği bir çatlak gibi davranmıştır, böylece ek gerilme yaratan yoğunlaşma ve yorulma çatlakları çubuk arasından ataçmanların çıkarılmasıyla sonuçlanmıştır.
- Yorulma kırılması süreci kaynaklanmış bölge ve çevresinde, kaynaklanmış dikiş de kaynak işlemi tarafından oluşturulan mekanik özelliklerin bozulmasından geliştirilmiştir. Bu bozulma mikro sertlik ölçümleri ve metalografik analiz ile tespit edilmiştir.
- Çatlakın geliştirilmesinde bir diğer faktör, çubuk eklemesindeki çevresel eklem boyunca kaynak dikiş sürekliliğinin eksikliğinden dolayı kısıtlama kaybıdır.
- Kaynağın olumsuz bir etkisi vardır ve böylece kaynak sorunlu bir eylem olarak ortaya çıkmış olmaktadır. Diğer bir taraftan kaynak eksikliğinin de olumsuz bir etkisi vardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada 3 farklı malzeme kullanılmıştır. Deneylede kullanılmak üzere seçilen malzemelerden rulman malzemesi 100Cr6, silindirik başlı civatanın malzemesi 19MnB4 alaşım çeliği, çekiç başlı civatanın malzemesi ise 20MnB4 alaşım çeliğidir. Bu malzemelerden rulman, farin değirmeni vals kolu rulmanı olarak; silindirik başlı civata, farin değirmeni vals rulmanı göbek baskı civatası olarak; çekiç başlı civata ise çimento değirmeni taban plakası bağlantı civatası olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin kimyasal kompozisyonları ve bulundurdukları element miktarları Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

100Cr6 çeliği rulmanların üretiminde kullanılmaktadır. Hammadde olarak mikro yapısı ve temizlik toleransları daraltılmış çeliktir. Mamul rulmanın boyutlarına bağlı olarak ham rulman çeliği, çubuk, boru veya dövülmüş bilezik biçiminde ilk imalat aşamasına girer. ORS firmasında ülkemizde, 45 mm dış çapa kadar çubuk, 150 mm' ye kadar tesislerde sıcak dövülmüş ve soğuk ovalanmış bilezik, daha büyük çaplar içinse boru veya hazır dövülmüş bilezik kullanılmaktadır. Hammadde olarak çubuk ile başlayan imalatın ilk aşaması sıcak dövmedir. 100Cr6'dan başka, sementasyon çelikleri ve diğer özel bazı çelikler de bilezik veya küresel bilya üretiminde kullanılabilir (Ovako, 2011).

ISO 898/1 ve TS 3576 standartlarına göre, 8.8 (Çekme gerilmesi $8 \times 100 = 800 \text{ N/m}^2$, Akma gerilmesi $8 \times 8 \times 10 = 640 \text{ N/m}^2$) ve daha üst kalite civatalar için ısıtma işlemi uygulanması gerekmektedir. 8.8 ve daha üst kalite civatalar için Sertleştirme ve Menevişleme (Temperleme) işlemleri uygulanır. Sertleştirme fırınında, ısıtma işlemi; civataların karbürize ya da dekarbürize olmasını engelleyecek, azot koruyucu gazı altında yapılmaktadır. Ayrıca malzeme içerisindeki karbon potansiyelinin korunması amacıyla sertleştirme fırını atmosferine %3–5 oranında doğalgaz verilmektedir. Mevcut ısıtma işlemi fırınında 19MnB4, C22B, C23B gibi içerisinde yaklaşık %0,20-0,25 oranında karbon bulunan malzemelerden üretilen civataların çapı 36 mm' den

küçük olanlar Sertleştirme fırınında 840- 880⁰C sıcaklıkta, 30- 35 dakika bekletilmektedir. Sertleştirme fırınında, gaz ortamında ısıtılan malzeme, içerisinde önemli miktarda oksijen, karbon monoksit, karbondioksit, su buharı bulunan bir atmosferle çevrilidir. Gerekli önlemler alınmadığında bu gazlar metalle reaksiyona girerek oksidasyona, yüzde karbon miktarının artması, yüzde karbon miktarının azalması ya da yüzeylerin bozulmasına yol açabilir. Bu amaçla, sertleştirme fırını azot koruyucu gazı kullanılarak kontrol altında tutulmalıdır (S. Cıvata, 2011).

840–880⁰C ' ye ısıtılan malzemeler, 70⁰C sabit sıcaklıkta Isomax 169 Sertleştirme yağı içerisinde soğutulur. Yağda yapılan soğutma sırasında, karbon atomları ostenit yapı içerisinde yayılım yoluyla ayrışabilir. Sonra demir atomları hareket ederek, hacim merkezli kafes yapıyı oluşturur. Bu değişme çekirdeklenme ve büyüme ile ilgilidir. Ayrıca zamana bağlıdır. Soğutma hızı daha da arttırıldığı zaman, karbonun hareket ederek ostenit içerisinde ayrışması için yeterli zaman kalmaz. Dolayısıyla, karbon atomları eriyiğin dışında kaldığı için yapı hacim merkezli kafes yapıya dönüşmez. Bu durumda karbonun sıkışıp kaldığı hacim merkezli tetragonal yapı meydana gelir. Bu yapı karbon için süper doymuştur. Bu martensit dönüşüm esnasında atomsal yayılım ve kimyasal yapıda değişiklik olmaz. Dönüşüm sadece soğuma esnasında olur. Soğuma durduğunda dönüşümde durur (S. Cıvata, 2011).

Su verilmiş ve martensit bir yapıya sahip olan cıvatalar, birçok uygulamalar için kırılmandır. Aynı zamanda martensit oluşumu malzemenin içinde artık gerilmelere neden olur. Dolayısıyla sertleştirmeden sonra menevişleme yapılır. Cıvata, malzeme cinsine göre Alt kritik sıcaklığın altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve bir süre bekletilir. Amaç; iç gerilmeleri gidermek, malzemenin sünekliğini ve tokluğunu arttırmaktır. Süneklik ve toklukta artış, sertlikte ise azalma görülür.

Çizelge 3.1. Hasarlı Malzemelerin Kimyasal Kompozisyonları

Malzeme	Element% Ağırlık	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%
100Cr6		1.00	0.35	0.40	0.025	0.015	1.60	0.25	0.08
19MnB4		0.20	0.03	0.90	0.020	0.020	0.15	Si + 2.5 P max 0.09	
20MnB4		0.22	0.08	0.90	0.015	0.015	0.20	0.05	0.05

Deney malzemeleri Isparta Göltaş Çimento Fabrikasında kullanım sırasında hasara uğrayıp ve bu nedenle kullanılamaz hale gelen parçalardır. İncelenen numunelerinin makro resimleri Şekil 3.1.' de gösterilmektedir.

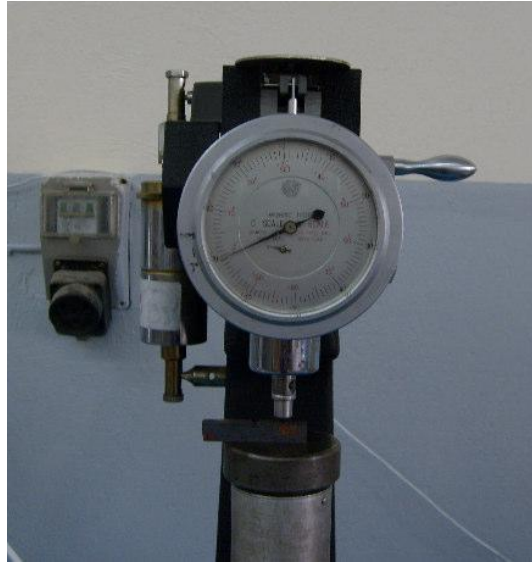


Şekil.3.1. Malzeme numunelerinin resimleri

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneysel çalışmalar

Göлтаş Fabrikasından temin edilen parçaların sertlikleri SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Rockwell sertlik ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Rockwell sertlik ölçüm cihazı Şekil 3.2.' de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Rockwell sertlik ölçüm cihazı

Üç farklı bölgeden sertlik ölçümü yapılarak ortalama sertlik değeri belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri oda sıcaklığında laboratuvar şartlarında yapılmıştır.

3.2.2. Metalografik çalışmalar

Deney numunelerinin kırık yüzeylerini detaylı inceleyebilmek için SEM çalışmaları yapılmıştır. Metalografik çalışmalar SEM (Isparta Teknokent' te yer alan) cihazı kullanılarak yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Sertlik Deney Sonuçları

Isparta Göлтаş Çimento Fabrikasından temin edilen hasara uğramış 3 farklı malzemeye uygulanan sertlik deneyi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Malzemelerin hasara uğraması durumunda sertlik değerinin belirlenmesi önemli sonuçlar verir. Sertlik değişimi çalışma şartlarının etkisini gösterir. Sertlik deneyinde T/d^2 oranı $187,5/2,5^2$ olarak alınmıştır.

Çizelge.4.1. 20MnB4, 19MnB4 ve 100Cr6 çelik malzemelerin sertlik deneyi sonuçları

Malzeme	Sertlik Değeri (HRC)
100Cr6	59
Rulman	59
	60

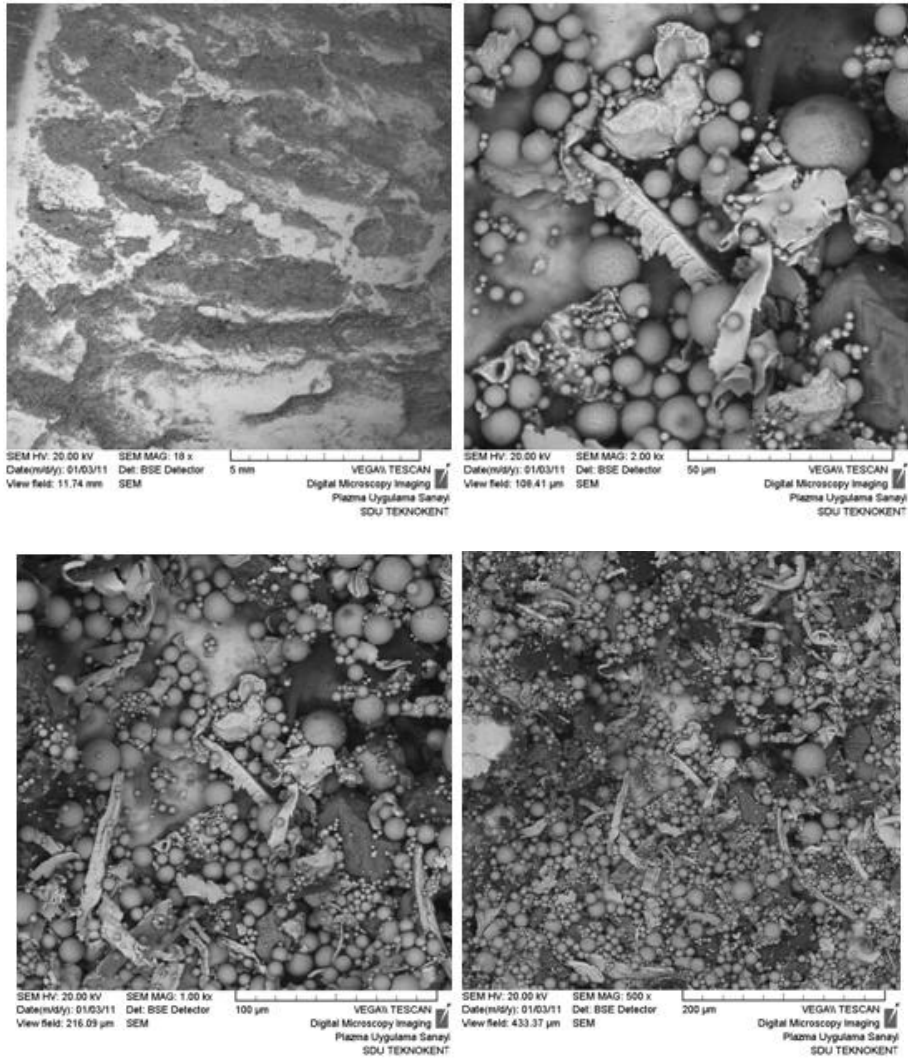
Malzeme	Sertlik Değeri (BSD)
20MnB4	146
Çekiç başlı civata	122
	172
20MnB4-Çekiç başlı civatanın baş kısmı	204
	172
	200

Malzeme	Sertlik Değeri (BSD)
19MnB4	216
Silindirik başlı civata	221
	221
19MnB4-Silindirik başlı civatanın baş kısmı	235
	163
	235

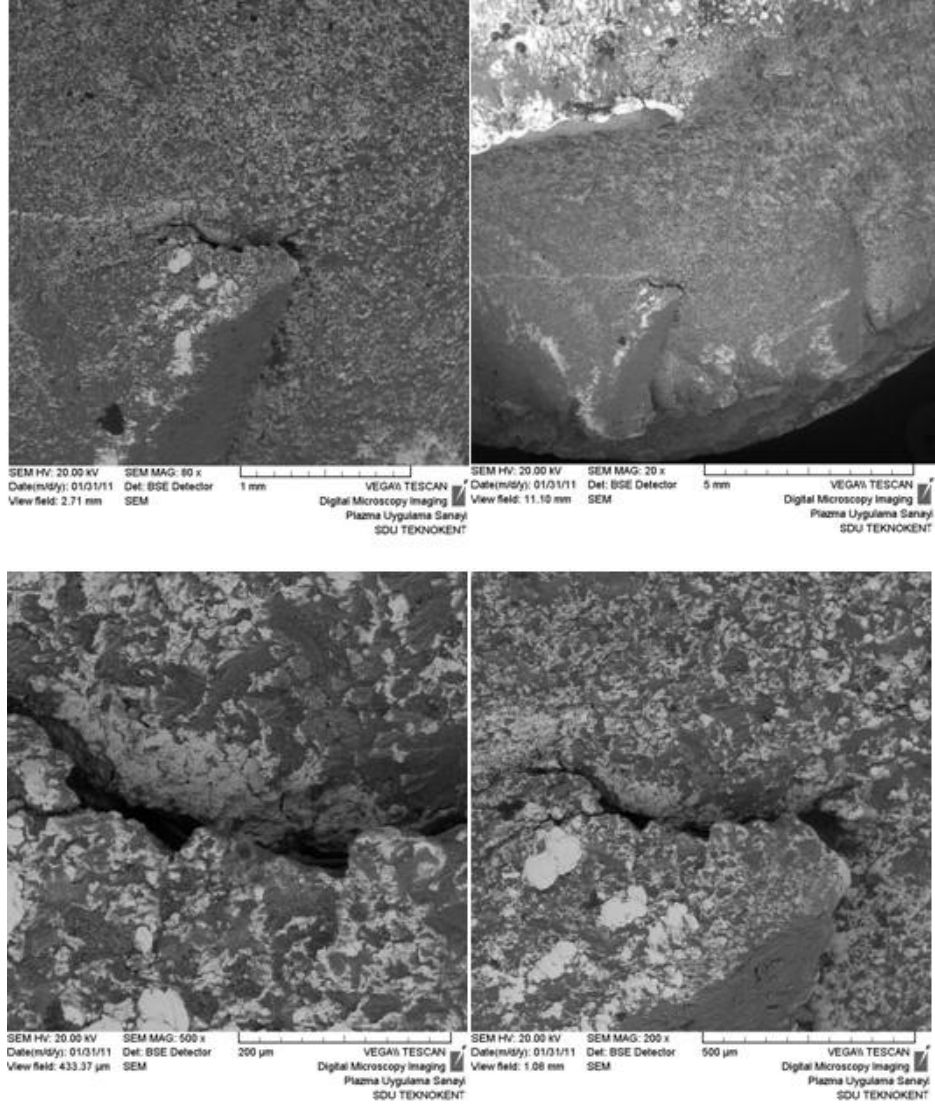
4.2. Metalografik Çalışma sonuçları

Kırık yüzey incelemelerinde makro açıdan inceleme yapılarak kırık yüzeylerinin görünümleri değerlendirmeye alınmıştır. Metalografik incelemelerde takip edilen ikinci yol kırık yüzeylerinin tarama elektron mikroskobu ile (SEM) incelenmesidir. Bu tür inceleme kırığın tipini, sünek ve gevrek veya hangi oranda sünek kırılmanın ortaya çıktığını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

100Cr6 çelik malzeme numunesinin kırık yüzeylerinin SEM görünüşleri Şekil 4.1.'de verilmiştir. Bu malzemenin kırık kesiti incelendiğinde malzemenin sünekliğinin daha az olduğu görülmektedir. Malzeme fabrikada yüksek sıcaklık (973 K- 1073 K) içeren farin değirmeni vals kolu rulmanı olarak kullanılmaktadır. 100Cr6 çelikleri için ideal sertlik 60–64 HRC' dir. Malzemenin kullanıldığı yer göz önüne alınıp sertlik değeri ölçüldüğünde malzemenin sertliğinin 50–60 HRC arasında kaldığı ve mevcut sertliğinin azaldığı görülmektedir.

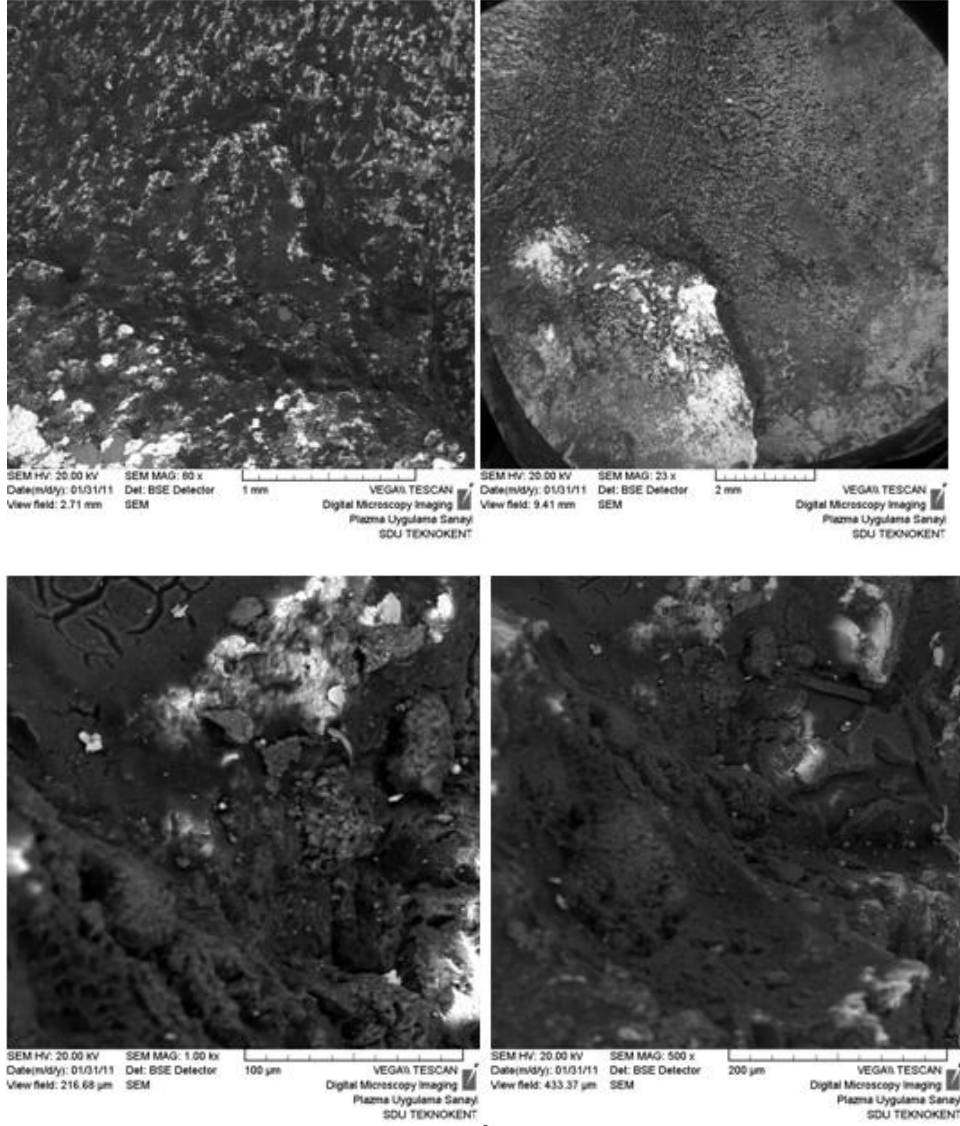


Şekil 4.1. 100Cr6 malzeme numuneleri için kırık yüzey SEM görünüşü



Şekil 4.2. 20MnB4 malzeme numuneleri için kırık yüzey SEM görünüşü

20MnB4 malzeme numunesinin SEM görüntülerindeki kırık kesit incelendiğinde ayrılma kırılması bölgesi çok açık şekilde görülmektedir. Bu kırık tipi de tipik gevrek kırılmayı gösteren bir görünüştür. Kırık yüzeyinde gömülü inklüzyonlar görülmektedir. Bu tür inklüzyonlar süreksizlik bölgesi ve mikro/ makro gerilme yığılması bölgeleri olarak görev yaparlar. Böylece çatlak oluşumu ve ilerlemesi daha kolay gelişir. Sonuçta hasarın erken oluşumuna neden olacaktır.



Şekil 4.3. 19MnB4 malzeme numuneleri için kırık yüzey SEM görünüşü

19MnB4 malzeme numunesinin kırık kesiti incelenmiştir. SEM görüntüleri dikkate alındığında sünek- gevrek karışık kırık tipinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Kırılma tiplerinde anlatıldığı gibi, deneyi yapılan bu malzemede kararsız çatlak ilerlemesinin olduğu görülmüş dolayısıyla oluşan bu kırılma tipinin sünek kırılma tipine örnek oluşturabileceği anlaşılmıştır. Aynı zamanda malzemenin kullanılmış olduğu yer bakımından maruz kaldığı yüksek yer değiştirme hızı gevrek kırılmayı teşvik eden önemli bir faktör olmuştur. Bu sebeple malzeme incelendiğinde gevrek kırık bölgelerinin daha ağırlıklı olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı endüstrinin mevcut bir problem nedenini bulmaktır. Fabrikalarda kullanılan rulman, civata, somun gibi makine elemanları makine sistemlerinin esas önemli parçalarıdır. Ancak bu parçalar yüzey basıncı, sıcaklık, yanlış montaj v.b. birçok sebepten dolayı erken hasara uğramaktadır. Bu durum küçük boyutlu bir parça dahi olsa fabrikanın durmasına sebebiyet vermekle sonuçlanabilmektedir.

Farklı imalatçıların parçaları arasında oluşan kalite farkına bu malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan işlemler neden olmaktadır.

Bu deneysel çalışmada 3 farklı malzeme ele alınmıştır. Bu malzemelerin üçünün de kullanım yerleri farklı seçilmiştir. Seçilen malzemelerden ikisi civata olup, diğeri rulmandan oluşmaktadır. Rulman malzemesinin cinsi 100Cr6, silindirik başlı civatanın malzemesi 20MnB4, diğeri civatanın malzemesi ise 19MnB4 malzeme cinsinden oluşmaktadır. Öncelikle bu malzemelerin sertlikleri ölçülmüştür. Fabrikadan alınan bu parçalar daha önceden hasara uğradıkları için; hasara uğramadan önceki sertlikleri ile hasar sonrası sertlikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçta malzemelerin kullanım şekillerinin, kullanım ortamlarının, maruz kaldıkları yüklerin malzeme sertliği üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır.

Rulman malzemesinin kullanıldığı fırın ortamında aşırı aşınma ve yüksek sıcaklığa maruz kalması çok kısa zamanda hasara neden olmuştur. Ayrıca malzemenin dış bileziği üzerinde meydana gelen korozyon, malzemenin bu şartlarda çalışması durumunda periyodik kontrollerinin yapılması uygun olacaktır.

Aynı şekilde yapılan incelemelerden elde ettiğimiz sonuca göre; kullanılan civataların maruz kaldığı beklenmedik yükler ve aşırı korozif ortam nedeniyle hasarın ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

Malzemelerin bu şekilde aşınmasını, kırılmasını ve korozyona uğramasını önlemek amacıyla kullanım şartlarının ve kullanılacak koşulların ne tür malzemelerin gerektirdiğine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın devamında yüksek sıcaklık şartları, korozyon tipleri ele alınarak daha ileri hasar analizi yapılabilir. Çalışma şartlarının önemi ve gerçek çalışma şartları esas alınarak analizler yapılabilir. Ayrıca nümerik çalışmalarla deneysel çalışmalar karşılaştırmalı olarak yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2004 (1). Hasar Analizi, 29s. Türkiye.
- Ay, İ., Sakin, R., 1998. Miller ve Akslarda Gözlenen Yorulmanın Etkisi. Makine Market, 116- 120.
- Chen, H., Tseng, P., Hwang, S., 2006. Failure Analysis of Bolts on an endFlange of a steamPipe. ScienceDirect, 13, 656- 668.
- Demirci, A., 2004. Mühendislik Malzemeleri. Alfa Basın Dağıtım, 241s.
- Dursun, T., Özbay, M., 2007. Tabakalı Kompozit Levhalarda Hasar İlerleme Modellemesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 65- 68.
- Eryürek, B., 1993. Hasar Analizi. Birsen Yayınevi, 171s. İstanbul.
- Gökşenli, A., Eryürek, B., 2007. Bir Ambulansa ait Direksiyon Çolak Kolunun Hasar Analizi. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı.
- <http://akat.net/korozyon.html>. Erişim Tarihi: 10.09.2010.
- <http://eyupyaylaci.com/malzemelerin-yorulmasi>. Erişim Tarihi: 10.09.2010.
- <http://hunpamukkale.edu.tr/dersnotlari>. Erişim Tarihi: 10.09.2010.
- <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ha/lecture1.pdf>. Erişim Tarihi: 10.09.2010.
- <http://www.batul.deu.edu.tr/cekmedeneyi>. Erişim Tarihi: 5.01.2011.
- <http://www.bucosev.com/istefirsat/egitimsunumlari/cnc/olcmekontrol>. Erişim Tarihi: 20.06.2010.
- <http://www.engr.sjsu.edu./WofMatE/FailureAnaly.htm>. Erişim Tarihi: 20.06.2010.
- <http://www.gazi.edu.tr/darbedeneyi>. Erişim Tarihi: 10.09.2010.
- (<http://www.gyte.edu.tr/mak612-ders-notlari-02.pdf>). Erişim Tarihi: 20.06.2010.
- <http://www.igdas.com.tr>. Erişim Tarihi: 10.09.2010.
- http://www.mansuroglu.com/kou/deneyler/deney_brinell.pdf. Erişim Tarihi: 15.11.2010.
- http://www.me.sakarya.edu.tr/dosyabasma_deneyi_foyu.pdf. Erişim Tarihi: 5.01.2011.
- http://www.muhendisizbiz.net/uploadlar/92/malzeme_yorulmasi.pdf. Erişim Tarihi: 5.01.2011.
- <http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf>. Erişim Tarihi: 10.09.2010.
- <http://www.vsuk.org/index.php>. Erişim Tarihi: 20.06.2010.
- Köksal, N., Toparlı, M., Maviş, O., 2005. Alümina Refrakterlerde Sıcaklık Değişimlerine Bağlı Hasar Analizi. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 1.2, 117- 125.
- Poursaeidi, E., Salavatian, M., 2007. Failure Analysis of Generator Rotor Fan Blades. ScienceDirect, 14, 851- 860.

- Reed-Hill, R.E., Physical Metallurgy Principles; D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, N.J., 1964. p. 555.
- Savaşkan, T., 1999. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Derya Kitapevi, 284s. Trabzon.
- Sorucu, A., 2007. Orthotropic Malzemelerde Çatlak İlerlemesi ve Kırılma Tokluğu Tayini. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 88s, İzmir.
- Subaşı, M., Karataş, Ç., 2010. AISI 4140 Çeliğinde Sertlik, Yorulma Dayanım İlişkisi. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1), 21- 27.
- Toribio, J., Kharin, V., Ayaso, F., Gonzalez, B., Matos, J., Vergara, D., Lorenzo, M., 2009. Failure Analysis of a Lifting Platform for Tree Pruning. Science Direct, 17, 739- 747.
- Turan, K., Kaman, M., Gür, M., 2009. Dairesel Delikli Tabakalı Kompozit Levhalarda Deneysel ve Sayısal Hasar Analizi. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu.
- Varol, H., 2008. Av ve Spor Tüfekleri için Kritik Parçaların Hasar Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Isparta.
- Weissbach, W., 1998. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Birsen Yayınevi, 348s.
- Yıldız, T., Gür, A., 2006. Aşınma Sistemleri. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 86- 91.
- Yu, V., Kohl J., Crapanzano R., Davies M., Elam A., Veach M., 2004. Failure Analysis of the M16 Rifle Bolt. ScienceDirect, 12, 746- 754.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşenur BİRCAN
Doğum Yeri ve Yılı : Muş, 1985
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : H.M.M.B. Anadolu Lisesi
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik
Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği, 2003- 2008.
Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurumlar

Kar.- Sis. ve Kar.- Pol. Kartonpiyer üretim fabrikası, 2007- 2008.
Talya Asansör , 2008- 2010.