

47047



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TRAKTÖRLERDE KULLANILAN ŞAFT VE DİŞLİ HASARLARININ İNCELENMESİ

Met.Müh.Hüseyin ADANIR

F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Ahmet TOPUZ

İSTANBUL, 1995

İÇİNDEKİLER

1. ÖZET	
2. GİRİŞ ve AMAÇ	1
3. TEORİK ÇALIŞMALAR	2
3.1 Hasar Analizi	2
3.1.1. Hasara Yol Açan Mekanizmalar	3
3.1.2. Hasarın Sınıflandırılması	4
3.1.3. Hasarların İncelenme Yöntemleri	5
3.2. Malzeme ve İmalat Hataları	7
3.2.1 Kimyasal Bileşimden Kaynaklanan Hatalar	7
3.2.1.1. İstenmeyen Kalıntı Modifikasyonu ve Etkileri	8
3.2.1.2. Kalıntı Morfolojisinin Önemi	10
3.2.2. Döküm Hataları	12
3.2.3. Mekanik İşlem Hataları	12
3.2.4. Kaynak Hataları	13
3.2.5. Anizotropiden Kaynaklanan Hatalar	14
3.2.6. İmalat Hataları	15
3.2.7. Isıl İşlem Hataları	15
3.3. Isıl İşlem Hatalarının Sınıflandırılması	15
3.3.1. Su Verme Çatlakları	15
3.3.2. Su Verme Deformasyonu	19
3.3.3. Aşırı Isıtma	20
3.3.4. Yanma	21
3.3.5. Oksidasyon	22
3.3.6. Düşük ve Aşırı Sertlik	22
3.4. Dişlilerin Hasarı	23
3.4.1. Dişli Tipleri	23
3.4.1.1. Düz Dişliler	23
3.4.1.2. Helisel Dişliler	24
3.4.1.3. Balık Sırtı Dişliler	25
3.4.1.4. İç Dişli	25

3.4.1.5. Konik Dişli	25
3.4.2. Dişli-Diş Teması	27
3.4.3. Dişli Malzemeleri	27
3.4.4. Dişli Hasarlarının Sınıflandırılması	28
3.4.4.1 Aşınma	29
3.4.4.1.1. Dişli Aşınması ve Aşınma Hasarları	29
3.4.4.1.2. Yağlama ve Dişli-Diş Aşınması	29
3.4.4.2. Yüzey Yorulması Hasarları	30
3.4.4.2.1. Yüzey Yorulmasının Mekanizması	30
3.4.4.2.2. Başlangıç Oyuklaşması	32
3.4.4.2.3. Tahribatlı Oyuklaşma	32
3.4.4.3. Plastik Akış Hasarları	34
3.4.4.4. Kırılma	37
3.4.4.4.1. Kırılma Hasarları	38
3.4.4.4.2. Yorulma Kırılması	38
3.4.4.4.3. Diş Kırılma Bölgesi	39
3.4.4.4.4. Gerilme Yükselticiler Nedeniyle Kırılma	41
3.4.4.4.5. Ağır Aşınmadan Dolayı Kırılma	42
3.4.4.4.6. Aşırı Yük Kırılması	42
3.4.4.4.7. Çatlaklar	43
3.4.4.4.7.1. Taşlama Çatlağı	44
3.4.4.4.7.2. Soğutma Çatlağı	45
3.4.4.4.8. Çatlama-Tasarım İlişkisi	45
3.4.4.4.9. Dişli Hasarlarının Seb. Tip. İst.	45
3.5. Genel Şaft Hasarları	48
3.5.1. Şaftlara Etkiyen Gerilme Sistemleri	48
3.5.2. Servis Hasarları	50
3.5.2.1 Yorulma Hasarları	50
3.5.2.1.1. Tek Eksenli Eğilme Yorulması	51
3.5.2.1.2. Burulma Yorulması	52
3.5.2.1.3. Temas Yorulması	53

3.5.2.2. Şaftların Gevrek Bozulması	54
3.5.2.3. Şaftların Sünek Bozulması	54
3.5.2.4. Şaftların Bozunumu	55
3.5.2.5. Şaftların Sürünmesi ve Kopma Gerilmesi	55
3.5.3. Üretim Hasarları	55
3.5.3.1. Fabrikasyon Uygulamalarının Etkisi	55
3.5.3.2. Hatah Talash İmalat	56
3.5.3.3. Montaj Hasarı	56
3.5.3.4. Isıl İşlem	58
3.5.4. Malzeme İle İlgili Hasarlar	58
3.5.4.1. İç Süreksizlikler	58
3.5.4.2. Tane Büyüklüğü, Kompozisyon, Mikroyapı	59
3.5.4.3. Tokluk, Geçiş Sıcaklığı	59
3.5.4.4. Meneviş Gevrekliği	60
3.5.5. Tasarım İle İlgili Hasarlar	60
3.5.5.1. Şaftlarda Gerilim Kaynakları	60
3.5.5.1.1. Gerilim Kaynaklarının Tipleri	61
3.5.5.1.2. Şaft Çapı Değişiminin Etkisi	61
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	63
4.1. Deneyde Kullanılan Hasarlı Malzemeler	63
4.1.1. Malzeme	64
4.1.2. İmalat Prosedürü	65
4.1.3. Hasarın İncelenmesi	67
4.1.3.1. Metalografik İnceleme	68
4.1.3.2. Sertlik İncelemesi	77
4.1.3.3. Deneyde Kullanılan Alet ve Malzemeler	83
4.1.3.4. SEM İncelemesi	85
5. SONUÇLAR ve İRDELEME	93
6. KAYNAKLAR	95
7. TEŞEKKÜR	96
8.ÖZGEÇMİŞ	

1. ÖZET

Bu tez çalışması teorik ve deneysel olarak iki bölüme ayrılmaktadır.

Teorik çalışmaların birinci kısmı hasar analizi için; hasarın tanımı, nedenleri, sınıflandırılması, mekanizmaları ve analiz kademelerini içermektedir. İkinci kısımda; Demir-Çelik malzemelerde hasara neden olan metalurjik faktörler ve bu faktörlerin üretim kademelerindeki etkileri incelenmiştir. Üçüncü kısımda; imalat kademesinin bir adımını oluşturan, çeliğin ısıl işleminde hasara neden olan metalurjik faktörlerin yanı sıra, tasarım açısından incelenmiştir.

Deneysel çalışmalarda, kullanım esnasında hasarlanmış ve incelenmesi istenilen (krank mili, ayna-mahruti dişlisi, ön aks pimi gibi) hasarlı şaft ve dişliler malzeme ve imalat prosedürü dikkate alınarak metalografik olarak, sertlik yönünden ve kırık yüzeyleri SEM'de incelenmiştir.

ABSTRACT

The thesis study has been into two main sections as theoretical and experimental. The first chapter of theoretical studies for failure analysis; included of definition of failure, its causes, classification mechanisms and analysis stages.

In the second chapter; metalurgical factors causing failure in iron and steel materials and the effect of these factors during manufacturing were examined.

In the third chapter; metallurgical factors and design that causing failure on heat treatment of steel that occured the first step of manufacturing were determined.

In the experimental studies, during the service failed crankshaft, bevel gears, front acs bolt etc. failed shaft and gears were investigated via classical metallografic technique. In terms of material and manufacturing procedure. To measure the hardness of materials used in the study, Zwick Vickers Hardness Test Machine was used. To characterize the fracture surfaces SEM was used.



2.GİRİŞ VE AMAÇ

Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde, teknolojiye paralel olarak kullanılan malzemelerde nitelik ve nicelik olarak hızla artmaktadır. Hammadde kaynaklarının giderek azalması ve üretim teknolojilerinin pahalı olması hem de gelecek nesilleri düşünmek açısından malzemelerin daha uygun ve efektif kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Buna rağmen önemli miktarda malzeme ya hiç kullanılmamakta yada çok kısa ömürlü kullanılmaktadır. Bu durum sanayileşmemiş ülkeler için daha da önem arz etmektedir.

Ülkemizde genel hasarlar yoluyla malzeme kaybı yılda 9 milyar doları bulmaktadır. Malzeme hasarlarıyla ilgili bu durum, hasar nedenlerinin belirlenip malzemenin; üretim, seçim ve kullanım şartları için gerekli tedbirlerin alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada hasar analizinin genel esaslarından yola çıkarak hasara neden olan genel faktörlerin incelenmesiyle krank şaftta, ayna-mahruti dişlide, ön aks piminde ve kuyruk piminde meydana gelen hasarın malzeme, metalografi, ve SEM’de araştırılarak hasar nedenlerinin tespiti amaçlanmıştır.

3. TEORİK ÇALIŞMALAR

3.1 HASAR ANALİZİ:

Bir sistemin tamamen kullanılamaz hale gelmesi, kullanılabilecek durumda iken istenilen performansı yerine getirememesi veya ortamdan kaynaklanan herhangi bir nedenle kullanılmasının tehlikeli olması hasar kavramını ortaya çıkarır.

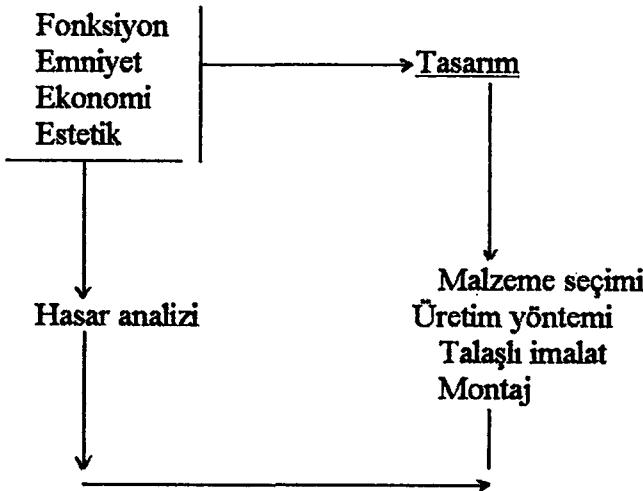
Hasarı meydana getiren nedenler şöyle sıralanabilir:

- 1- Hatalı tasarım yapılmıştır.
- 2- Yanlış malzeme seçilmiştir.
- 3- Hatalı üretim metodu kullanılmıştır.
- 4- Çalışma ortamında orijinallikler bozulmuştur(3).

Tablo-3.1 Hasar Nedenlerinin Yüzde Dağılımı(6)

Hasar Nedeni	%
Yanlış Malzeme Seçimi	38
Üretim Hatası	15
Isıl İşlem Hatası	15
Tasarım Hatası	11
Beklenmeyen Çalışma Koşulları	8
Uygun Olmayan Ortam	6
Kalite Kontrol Eksikliği	5
Malzeme Karışması	2

Tasarım servis performansı ve hasar analizi ilişkisi birbiriyle içiçe olup aşağıdaki sirkülasyon ile karakterize edilebilir.



3-1-1 Hasara Yol Açan Mekanizmalar:

Hasarı meydana getiren mekanizmalar çok çeşitlidir. Hasar teşhisinin yapılabilmesi için bu mekanizmaların mikroskobik ve makroskobik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu mekanizmalar şöyle sıralanabilir:

- Kısa ve uzun ömürlü yorulma
- Sünek ve gevrek kırılma
- Sürünme
- Korozyon, gerilmeli korozyon, korozyonlu yorulma
- Plastik deformasyon
- Aşınma

Bu mekanizmalar birbiriyle etkileşim içindedirler. Aşınma sonucu oluşan çatlak, sünek, gevrek veya yorulma kırılmasına yolaçabilir. Bunun için meydana gelen hasar mekanizmaları: zaman, sıcaklık, gerilme ve ortam şartlarına bağlı olarak tanımlanabilir.

Yapılan araştırmalar sonucu bazı mühendislik endüstri dallarında analizi yapılan hasarların mekanizmaları Tablo-3.2'de sıralanmıştır.

Tablo-3.2 Hasar Mekanizmaların Yüzde Dağılımı

Mekanizma	%
Korozyon	29
Yorulma	25
Gevrek Kırılma	16
Aşırı Yüklenme	11
Yüksek Sıcaklık Korozyonu	7
Gerilmeli Korozyon, Korozyonlu Yorulma ve Hidrojen Kırılabilirliği	6
Sürünme	3
Aşınma ve Erozyon	3

3-1-2 Hasarların Sınıflandırılması:

Tasarımda öngörülen gerilmeleri kriter alındığında hasarlar iki gruba ayrılır:

I - Tasarım gerilmelerinden daha büyük gerilmelerde görülen hasarlar: Hatalı tasarım, uygun olmayan malzeme kullanıma ve aşırı yükleme sonucu ortaya çıkan hasar tipleridir. Bu hasar tipleri Tablo-3.3'de görülmektedir.

Tablo-3.3 Hasarların, Oluşumu ve Nedenlerine Göre Sınıflandırılması (6)

Hasar Tipi	Oluşumu	Nedeni
Sünek Kırılma	Aşırı Elâstik, Plastik Deformasyon	Hata
Gevrek Kırılma	Yırtılma veya Sünek Kırılma	Aşırı Yükleme
Yorulma	Yüzey veya İç Çatlaklar	
Yüksek Sıcaklık Hasarı	Çevrimli Deformasyon	Hata
	Sürünme Oksitlenme ve Bölgesel Ergime	
Statik Kırılma	Hidrojen Gevrekliği, Ortam Şartları ile Çatlağın Yavaş İlerlemesi	Aşırı Yükleme

II - Tasarım gerilmelerinden küçük gerilmelerde görülen hasarlar:

İmalât esnasında metalurjik yapıdaki değişimlerden sonuçlanan malzemedeki mikro veya makro çatlaklardır. Mekanik, ısı ve kimyasal işlemler sonucu oluşan mikroskobik hatalar malzeme içinde veya yüzeyindeki işlemlerde sorun çıkarmayabilir. Fakat, imalatın daha sonraki işlem kademelerinde veya çalışma esnasında çevre ve kullanım koşulları (Gerilme şekli ve ortamın korozyifliği gibi) hatanın büyümesine yolaçar. Başlangıçta kritik boyutta olmayan bir hata (mikro çatlak gibi) kritik boyuta ulaşarak hasara neden olabilir.

Bazı yapı hatalarından kaynaklanan hasarlar, bölgesel aşırı gerilme sonucu meydana gelmektedir. Özellikle malzeme yapısındaki anizotropi, tane boyutu ve şeklinin değişimi gibi bölgesel farklılıklardan kaynaklanabilir. Böyle hatalı bölgelerde, gerilme

yoğunlaşması ve aşırı yüklenme bölgeleri olup parça, tasarım gerilmeleri altında çalışmasına rağmen bu bölgelerde oluşacak aşırı gerilme hasara yolaçabilir.

3-1-3 Hasarların İncelenme Yöntemleri:

Sağlıklı hasar analizi yapabilmek için, hasarlı malzemenin geçmişi hakkında mümkün olan bilgilerin toplanması arzu edilir. Bu bilgilere tasarım parametreleri, çalışma ortamı, imalat prosedürleri ve servis ömrü dahildir. Çoğu kez bu faktörlerin detaylı bilgilerle hasarın soruşturulması ve tekrar vuku bulmaması yönünde rehberlik edecektir.

Tasarım parametreleri: Hasar analizci, hasarlı malzemenin gerektirdiği test spesifikasyonlarını, malzemenin gerektirdiği test spesifikasyonlarını, malzemeyi, detaylı montaj resimlerini bilmelidir. Kanallar, kama yuvaları, delikler ve çaptaki değişimler gibi gerilim konsantrasyon noktalarını tespit edebilmelidir.

Malzeme tipi, mekanik özelliği, ısı işlemleri, test için kullanılan tahribatsız incelemeler ve diğer işlem gereksinimleri de not edilmelidir.

Çalışma ortamı: Hasar için parçanın montajı ve yataklanması önemli bir kriterdir. Çalışma mekanizması itibariyle nasıl yataklanma yapıldığı, montaj durumu ve hasarlı parça ile ilişkili elemanların durumu, yatakların yeri, sayısı ve destekleri ile sıralanmış biçimleri önemlidir. Zira, mekanik yüklemelerin, şokun, titreşimlerin veya ısıl gradyanların tesiri ile hasar meydana gelebileceği düşünülmelidir.

Bağlanma metodu: Sıkı geçme, vida bağlantı kanalı, geçme veya kaynakla bağlantı, güç iletim durumlarında önemli olup, hasara etkili olabilirler.

İmalât dökümantasyonu: Bir parça imal edildiği zaman, malzemeye ait imalat prosedürü, malzeme donanımı, ısıl işlem durumu ve kontrol tarihi hakkında bilgiler olmalıdır.

İlk inceleme: Hasarda uygun inceleme yapmak için montajın tam durumu bilinmelidir. Referans olması açısından yağlama ve gevşeklik kayıpları ile bütün bileşenlerin bilinmesi gerekir. Hasarlı yüzeyin uygun bir solventle pas izleri tahrip etmeden, oksidasyona sebebiyet vermeden temizlenir. Burada önemli olan hasar yüzeyindeki delillerin kaybolmamasıdır.

Kırılmış parça incelendiğinde hasarın bir genel bölge ve o genel bölge içerisinde hasar bölgesinden ibaret olduğu görülür. Montaj resimleri incelendiğinde de mümkün

olabilecek gerilim konsantrasyon bölgeleri de görülür. Eğer görülen bir çatlak kaynağı da varsa, bir veya daha çok kırılma mekanizması da varsa kırık yüzeyler incelenerek belirlenebilir. İkincil çatlaklar, yükler veya kusurlar için komşu bileşenin yüzeyleri ile kırık yüzeyler incelenecektir. Bazen tahribatsız muayene metotları -ultrasonik muayene gibi- faydalı bilgiler verebilir. Böyle metotlar diğer çatlakları ilerlemeden, kopmadan açığa çıkarabilir. Böylece sık sık kırık yüzeyler kırılmadan hasarlanmadan teşhis edilebilir. Bazı makinalar da diğer benzer yorulmuş şaftlara sahip olabilirler. Böyle şaftların hasara fırsat vermeden analizi mümkündür. Böylece çatlaklar açığa çıkarılarak faydalı bilgiler elde edilir (1).

Makroskobik İnceleme: Kırık yüzeyler üzerindeki birçok karakteristik görülüp tanımlanabilir. Bir çizgi dahi makroskobik incelemeyle daha belirli olarak tanımlanır. Liflerin kayma band bölgeleri çekilerek kırılmış, yüzeylerinden ayrılmış tek iz işaretleri üzerindeki çalışmada bir büyütme veya binocular yapılan mikroskobik çalışma kullanılabilir.

Yorulma kırılmalarının makroskobik incelenmesi çalışmalarında şekil olarak kum izleri, damarlar, diş izleri, ani kırılmış bölgeler, çatlak başlangıç yerleri ve hasara sebep olan gerilmelerin büyüklüğüne ait bilgiler elde edilir.

Mikroskobik İnceleme: Metalografik kesitler, kırılmalar arasından kesme, tane içi ve taneler arası kliaj kırılmanın bir biçimi ve yeri olarak çatlak başlangıç bölgeleri adıyla tanımlanır. Kırık yüzeylerinin kenarları korunmalıdır. Korumak için kırık yüzeyinin kenarlarından kaplama işlemi yapılabilir. Sonuçta metalografik inceleme ile:

- Kırık yüzeye yakın mikroyapı incelemesi
- Malzemenin tane boyutu
- Uygun olmayan segregasyonun varlığı
- Kalıntı alaşım konsantrasyonu
- Gevrek tane sınırı fazları
- Dekarbürizasyon
- İmalat kusurları

açığa çıkarılabilir.

SEM ve TEM İncelemesi: Optik metalografi kırılma çalışmaları için sınırlıdır. Çünkü incelenecek alan derinliği sınırlıdır. SEM'de ışık mikroskobuna göre 300 defa

daha derin alan incelenir. Bunun nedeni elektron mikroskobu kırılma çalışmaları için daha uygundur. Bu sayede kırılmalar; kırılma tarzı, kırılma mekanizması ve kırılma biçimi vasıtasıyla sınıflandırılabilir. İki çeşit kırılma tarzı vardır:

- Tane sınırı (Transgranüler) kırılma: Tane sınırı kırılmasının kırılma mekanizması, kırılmanın mikroskobik biçimleri, mikro boşlukların birleşmesi, oyukçuklar, yırtılmalar ile ilgilidir.

- Tane içi (İntergranüler) kırılma: Kırılma mekanizması tane sınırlarının ayrılmasıdır. Tane sınırı fazlarındaki sınırların alaşımca zayıflaması, gerilme korozyon çatlaması, hidrojen gevrekleşmesi hasarı, ısı hasarı, üç eksenli gerilme durumları gibi mekanik faktörler belli başlı sebeplerdir.

3.2. MALZEME ve İMALAT HATALARI

3.2.1 Kimyasal Bileşimden Kaynaklanan Hatalar:

Malzeme hasarlarında kalıntıların rolü büyük olduğu için özellikle S, H, O ve P gibi kalıntı elementlerinin modifikasyonu önemlidir. Yüksek sıcaklıklardaki modifikasyonlar bir kırılma karakteristiği olan sıcak yırtılmaya yolaçarlar. Bunun için yüksek sıcaklık deformasyonunun ana mekanizmaları bilinmelidir. Bu deformasyonlar genelde iki şekilde oluşurlar, bunlar:

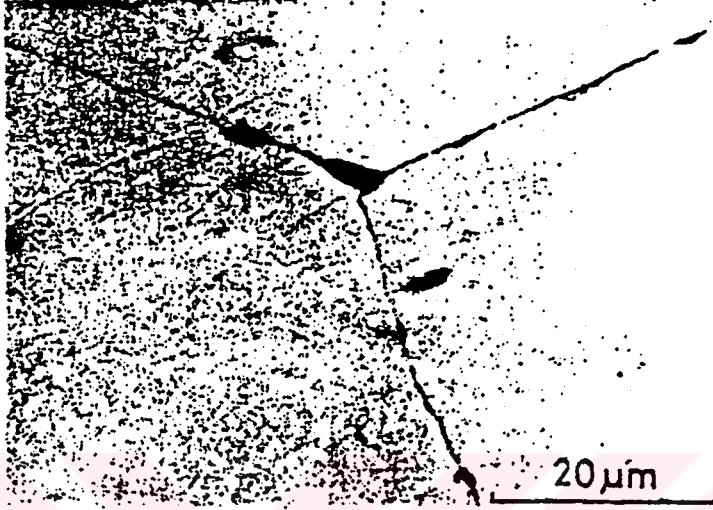
1- Dislokasyonların etkisi ile tane içinde kayma düzlemlerinin hareketi ile oluşan sünek kırılma.

2- Atomlar arası bağların koparak yeni çatlak yüzeyi ortaya çıkarılmasıyla oluşan gevrek kırılma (Tane sınırlarında, tane sınırı kayması veya viskoz akışı)

Tane sınırı kaymaları Şekil-1'de görüldüğü gibi (Lâboratuarda vakum ergitmesiyle dökümü yapılan %0.59 C, %0.035 S, %0.01 Oksijen bileşimli çeliğin) tane sınırlarındaki kalıntıların uç noktalarında gerilme konsantrasyonları yoğunlaşarak çatlaklara yolaçarlar (7).

3.2.1.1. Malzemede İstenmeyen Kalıntı Modifikasyonu ve Etkileri:

I - Kükürt: Saf Fe içindeki ostenit fazı içindeki S'un maksimum kati çözünürlüğü %0.05 tir. α -Fe içindeki çözünürlüğü ise çok daha düşüktür. Fe içindeki S, ostenit fazından itibaren soğutma esnasında iki değişime uğrar (2).



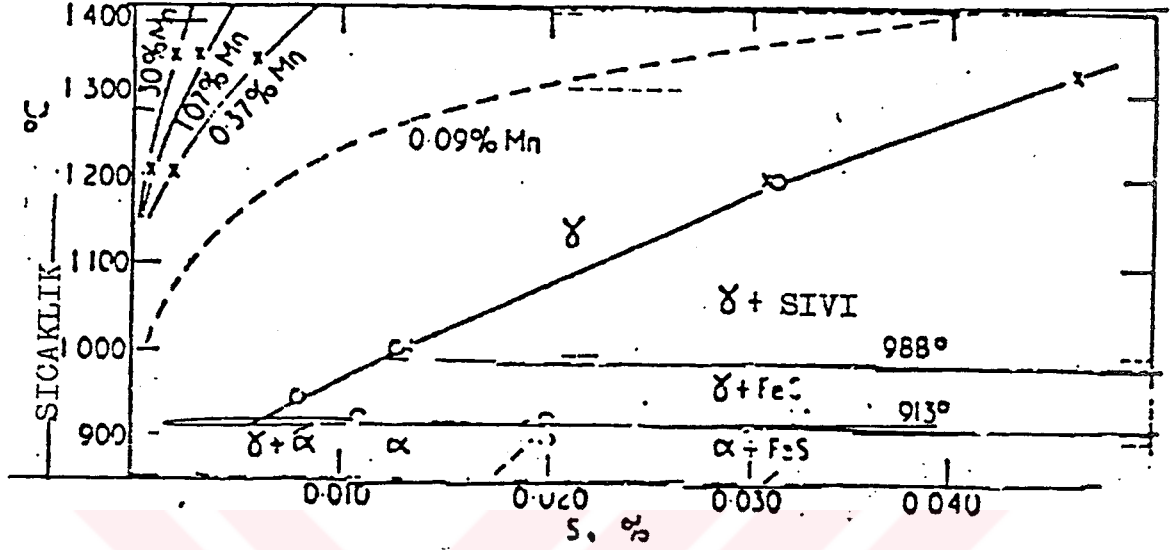
Şekil-3.1 Ostenit tane sınırlarında FeS'den kaynaklanan sıcak yırtılma sonucu oluşan çatlaklar (7).

Birinci değişim: FeS'un ostenit tane sınırlarında çökmesidir. Kati eriyiğin çökmesi sonucu (α -Fe'de) taneler arasında FeS oluşur. FeS düşük ergime noktasına sahip olduğu için (1190 C) 900-1200 C sıcaklık aralıklarında düşük ergime noktalı otektikleri meydana getirirler. Bu düşük ergime noktalı otektikler tane sınırlarındaki kayma direncini azaltarak sıcak yırtılmalara sebep olurlar.

İkinci değişim ise, sisteme ilave edilen Mn'nin etkisiyle S'un kati halde çözünebilirlik limiti azaltılarak sıcak yırtılma eğiliminin önlenmesidir. Mn'nin aktivitesi Fe'den daha fazla olduğu için S ile birleşerek MnS'leri oluşturur. MnS yüksek ergime sıcaklığına sahip olduğundan (1610 C) tane sınırlarında düşük ergime noktalı otektikleri oluşturmayacaktır. Böylece Mn ilavesiyle sıcak yırtılmalar önenebilir. Kükürtün sıcak yırtılma etkisini azaltmak yada engellemek için, gerekli Mn miktarı:

$$\% \text{Mn} = \%1.25 * (\% \text{S}) + 0.03$$

eşitliği ile hesaplanabilir (Bu eşitlik düşük oksijenli çelikler için geçerlidir). Şekil-2'deki Fe-S denge diyagramında görüldüğü gibi ostenit sıcaklığında Mn'in artışı ile S'un çözünürlüğü azalmaktadır.



Şekil-3.2 Fe-S denge diyagramında değişen Mn oranlarına göre ostenit fazında S çözünürlüğü (7).

II - Oksijen: Oksijen δ -Fe'de düşük çözünürlüğe sahiptir. Aynı zamanda çelikte ergimiş halde bulunan gazlar içerisinde en küçük difüzyon katsayısına sahip olmaktadır. Oksijen dislokasyon hareketlerinde direnci artırmadığı gibi tane sınırlarında da çökelmez. Ancak Manganın varlığında çeliğe zararlı etkileri olur. Çünkü oksijen ostenitteki efektif Mn muhtevasını azaltarak (Fe,Mn) O kalıntılarını oluşturur ki bu kalıntılar sıcak yırtılmalara Ayrıca Oksijen çeliğin mekanik özelliklerini istenmeyen yönde etki eder (7).

III - Hidrojen: Ostenit fazında en yüksek difüzyona sahip gaz hidrojendir. Ergimiş haldeki çelik soğudukça hidrojenin çözünürlüğü azalır ve hidrojen gaz molekülleri halinde ayrışır. Bu ayrışma bir kaç bin atmosfer mertebesinde bir basınç oluşturarak çeliğin çatlamasına neden olabilir. Bu tür çatlaklar lamel (flake) tipi çatlaklardır. Şekil-3'de görüldüğü gibi lamel (flake), sıcak işlemden sonra soğuma sırasında azalan Hidrojen çözünürlüğü ile lokal dönüşümlerden meydana gelen gerilmelerden dolayı çelikte oluşan çatlaklardır.



Şekil-3.3 Flake'leri gösteren kırık yüzeyi (5).

Bu tip hatalar ve poroziteler ultrasonik muayene yöntemleri ile yüzey işlemi bitmiş çeliklerde tespit edilebilir.

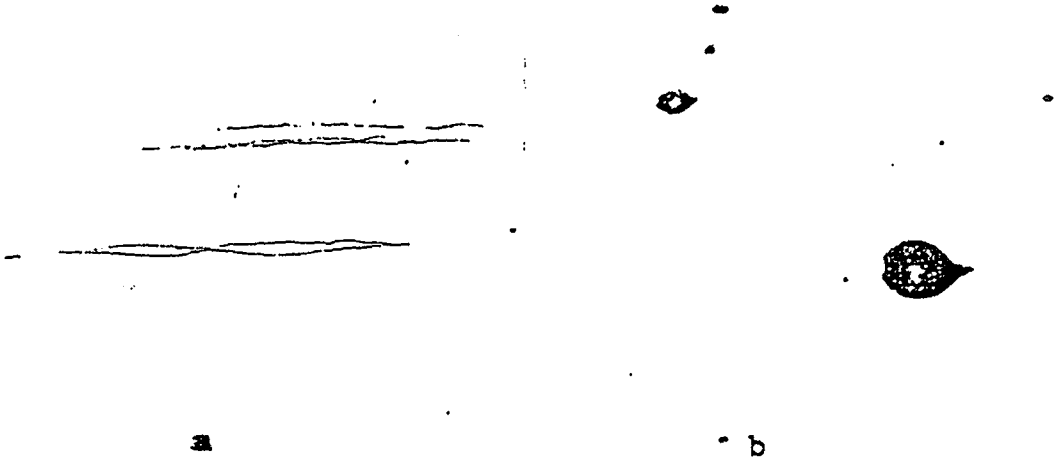
IV - Azot: Azot, Fe ve belli başlı bazı alaşım elementleri ile (Al, Ti, V, Mo..vb) birleşerek sert ve aşınmaya dayanıklı nitrürler oluşturur. Ancak Azot, belirli limitlerin üzerine çıktığı zaman zararlı etkiler gösterebilir (özellikle %0.009 u geçtiği zaman). Azot çelikte deformasyon yaşanmasına neden olacağından oda sıcaklığında gevrek bir yapı oluşturur (5).

V - Fosfor: P,C ve N gibi davranan bir element olup, fazla miktarda bulunduğu Fe₃P bileşiklerinin varlığına, bunun sonucunda da çelikte soğuk kırılganlığına da yolaçar (8).

Bazı araştırmaların sonuçlarına göre P ve S miktarına bağlı olarak darbe geçiş sıcaklığını önemli ölçüde etkileyen bir elementtir (8).

3.2.1.2. Kalıntı Morfolojisinin Önemi:

Günümüzde çatlak oluşumuna neden olan kalıntılar ve buna bağlı olarak çatlak yayılmasının araştırılmasına önem verilmektedir. Bu kalıntılar, şekil ve kütlelerin yayılışı açısından farklı özellikler gösterirler. Mekanik işlemler sırasında oluşan sürekli (kesintisiz bir hat boyunca) yatay veya çapraz kalıntılar, yuvarlak süreksiz (boncuk gibi) kalıntılara göre daha fazla gerilme oluştururlar. Şekil-4 (a) ve (b)'de işlem yönünde uzamış boyuna kalıntılar ve birbirlerinden bağımsız yuvarlak ve noktasal kalıntılar görülmektedir (7).



Şekil-3.4 (a)- Boyuna MnS kalıntıları,
(b)- Noktasal yuvarlak oksit kalıntıları (9).

Çelikte bulunan metalik olmayan kalıntıların çatlaklara yolaçması, Şekil-3.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil-3.5 Farklı yöntemlerle üretilen Maraging çeliğinde MnS morfolojileri.
a-Normal ergitme , b-Curuf altı ergitme yöntemiyle (5).

3.2.2. Döküm Hataları

Döküm sırasında difüzyon şartlarına bağlı olarak segregasyonlar görülebilir. Bunlar makro ve mikro segregasyonlardır.

Mikrosegregasyon; katılaşma sırasında artan soğuma hızından dolayı kristaller içindeki yayılmanın azalması sonucunda alaşım elementleri ve kalıntıların yerel yoğunlaşmasıdır. Özellikle ingot dökümün katılaşması sırasında görülürler. Ayrıca gaz boşluğu segregasyonu da görülebilir.

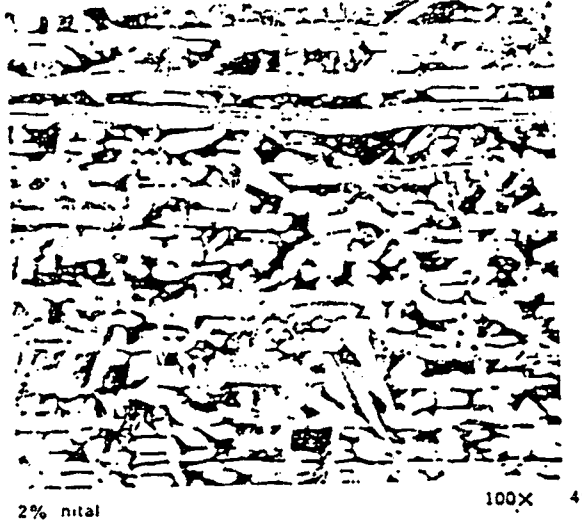
Makrosegregasyon ise dökümde alaşım elementlerinin ve kalıntıların yerel yoğunlaşmasıdır. Özellikle ingot dökümün katılaşması sırasında görülürler. Ayrıca gaz boşluğu segregasyonu da görülebilir (5).

3.2.3 Mekanik İşlem Hataları

Dövme ve haddelemede ortaya çıkan katmer, fitil, yüzey veya iç çatlaklardır. Dövme sırasında taneler ve segregasyonlar metalin işlem yönüne doğru uzanarak lifli bir görünüm verirler. Ortaya çıkan bu düzgünsüzlükler ve anizotropi metal akışına dik yönde mukavemet, % uzama ve yorulma direncinin düşmesine neden olur. Dövme esnasında hızlı soğutma, kalıcı iç gerilmelere ve çelikte hidrojen basıncına neden olabilir. Çelikte homojensizlik, gaz boşlukları, kalıntılar dövme sırasında çatlak oluşumunu teşvik ederler.

Haddeleme hasarları genellikle malzemede oluşan mikro ve makro çatlaklar olup özellikle ingot döküm sıcaklığının yüksek olmasından ileri gelirler. Haddeleme sırasında yüzeyde oluşabilecek çekme gerilmelerinin etkisiyle kenar çatlakları ve malzemenin merkezinde oluşacak basma gerilmeleri de çatlakların malzeme boyunca ilerlemesine neden olabilirler. Yüzey çatlakları dışında dışarıya meydana gelen hadde hataları malzeme yapı hatalarından ileriye gelen iç çatlaklardır (11).

Haddeleme esnasında hadde yönünde oluşan band yapısı Şekil-3.6'da görüldüğü gibi üretimin daha ileriki kademelerinde (Talaş kaldırma vs.) oluşturacağı fazla gerilimlerden dolayı iç çatlaklara neden olabilir (3).



Şekil-3.6 Hadde yönüne doğru uzamış band yapısı (9).

3.2.4 Kaynak Hataları

Kaynak hataları çeliğin türüne ve kullanılan elektroda göre değişmesine rağmen genelde şu hatalar meydana gelir:

I - Porozite: Katılaşma sırasında soğutma hızına bağlı olarak (genelde orta soğutma hızlarında) N, H ve O gibi gazların kaynak metaline hapsolması sonucu oluşur. Bu gazların sıvı metaldeki çözünürlükleri, katı metalden fazla olduğu için katılaşma sırasında kaynak metalden kaçamayarak poroziteleri meydana getirir.

II - Cüruf kalıntıları: Kaynak metaline veya kaynak-metal ara yüzeyinde hapsolan metalik olmayan katı partiküllerdir. Bu Cüruf kalıntısı flux ile ergiyen kaynak metali reaksiyonu ürünüdür (3).

III - Çatlaklar: Soğuk ve sıcak çatlakların yanısıra, krater çatlakları, boylamasına enlemesine çatlaklar ve dikiş yani altı çatlakları olarak kaynak sırasında veya sonrasında görülürler. Ancak bunlardan en önemlileri soğuk ve sıcak çatlaklardır (3).

Soğuk çatlakları; düşük alaşımlı ve diğer sertleşebilir çeliklerde meydana gelebilir. Kaynaktan birkaç dakika veya birkaç saat veya birkaç gün sonra meydana gelebilir. Soğuk çatlamaya neden olan faktörler şöyle sıralanabilir:

- a) Çatlağa hassas, martensitik yapı gibi mikroyapının mevcudiyeti
- b) Kaynak banyosunda fazla miktarda hidrojen bulunması
- c) Kaynak iç gerilmelerinin yüksek olması
- d) Sıcaklığın $+150^{\circ} - 100^{\circ} \text{ C}$ arasında olması

Soğuk çatlama genellikle ısı tesiri altındaki bölgede (I.T.A.B.) oluşur. I.T.A.B 'in soğuk çatlama hassasiyeti C eşdeğerine bağlıdır ve $\%Ces < 0.35 - 0.40$ olmalıdır.

Sıcak çatlama kaynak metalinde veya I.T.A.B.'da oluşabilir. Katılaşmayı izleyen soğuma esnasında iç gerilmeler çatlama neden olur. Genelde alaşımlı çeliklerdeki düşük ergimeli fazların neden olduğu çatlaklardır.

IV - Yanma olukları: Kaynak bileşim bölgelerine yakın yerlerde ve kaynak dikisine paralel bölgelerin kaynak metalıyla doldurulamaması sonucu meydana gelir.

V - Erime yetersizliği: Kaynak metalıyla ana metalin birlikte erimemesi sonucu kaynak yönünde uzamış, yuvarlak veya keskin köşeli şekillerde bulunabilirler. Erime yetersizliğine ana metal sıcaklığının Terg'na çıkmaması veya ana metalin yüzeyinde cüruf, oksit gibi yabancı maddelerin bulunması sonucu olur (5).

3.2.5. Anizotropiden Kaynaklanan Hatalar

Özelliklerin yöne bağımlılığına anizotropi denir. Metalik malzemelerde mekanik fiberleşme ve kristallografik anizotropi olarak görülür.

Kristallografik anizotropi, plastik deformasyonla tanelerin tercihli yönlenmesiyle deformasyon tekstürü şeklinde ve yeniden kristalleşme tavlama sırasında, tanelerin kristallografik tercihli yönlenmesi (tavlama tekstürü) şeklinde oluşur.

Mekanik fiberleşme ise plastik deformasyon sırasında şekil değişiminin en fazla olduğu doğrultuda, yani deformasyon yönünde ikinci fazın mikro boşlukların ve kalıntıların yönlenmesi olup, anizotropiyi oluşturur.

Kristallografik anizotropi, malzemenin elastise modülünün akma ve çekme mukavemetlerinin, sünekliğinin ölçüldüğü yöne bağlı olarak değişmesiyle kendini gösterir. Deformasyon yönünde kalıntıların, boşlukların ve ikinci fazın yönlenmesi sonucunda oluşan mekanik fiberleşme de Dövme ve haddeleme ürünlerinde önemli olup malzemenin sünekliğinde görülen anizotropi çok fazladır. Dövme ve haddeleme de enine, boyuna ve

dikine uzama gösteren kalıntıların özellikle dikine uzama gösterenler çeliğin mekanik özelliklerini kötü yönde etkiler (11).

3.2.6. İmalât Hataları

İmalat hataları, talaş kaldırma ve taşlama safhalarında görülürler. Talaş kaldırma hasarları, hatalı talaş kaldırma hızı ve gücünün yanı sıra hatalı kesici kalemnden oluşabilir. Meydana gelen hasar tipleri ise düzgün olmayan yüzey ve çok ince çatlaklardır. Taslama sırasında yüzeyde meydana gelebilecek aşırı ısı değişimleri (1100-1650 C) metal yüzeyinde yanmalara ve homojen olmayan sertlik değişimine neden olabilirler (1).

3.2.7. Isıl İşlem Hataları

Genel ısı işlem hataları, aşırı ısıtma, yanma, oksidasyon, karbon kaybı, su verme çatlakları, su verme deformasyonu, çarpılma, aşırı sertlik, düşük sertlik, erozyon ve korozyon olarak sınıflandırılabilir.

Isıl işlem hataları bölüm 3.3 te ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

3.3 ISIL İŞLEM HATALARININ SINIFLANDIRILMASI

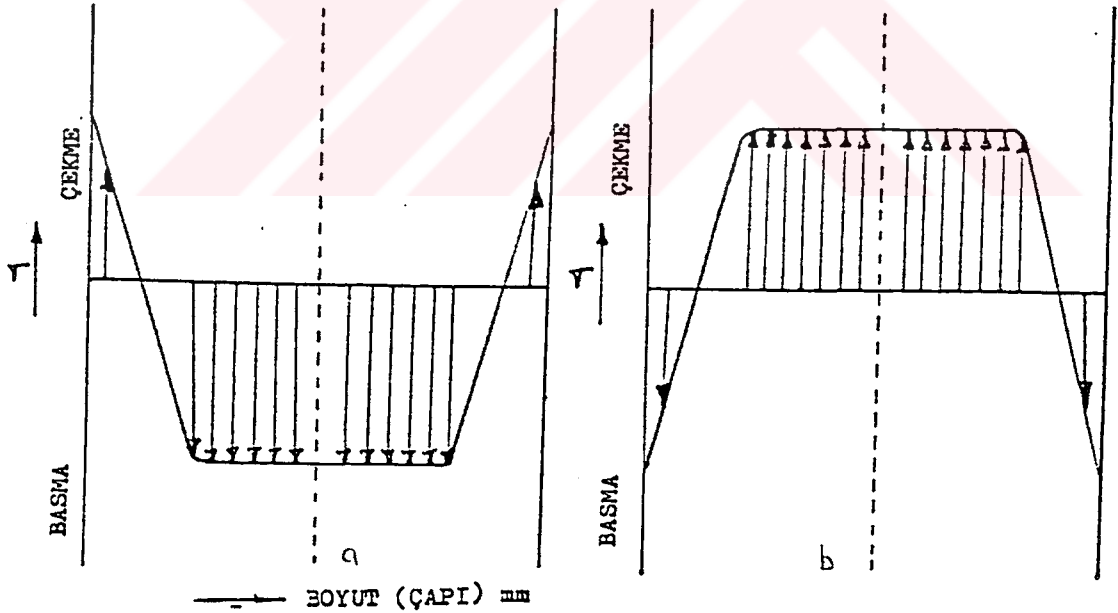
Yapılan araştırmalar sonucu hasarlara neden olan faktörlerden %15 gibi önemli bir kısmını ısı işlem hatası oluşturmaktadır. Bu hatalara yolaçan sebeplerin önemlileri şunlardır.

3.3.1. Su Verme Çatlakları

Sertleşmiş çelik parçalarda en çok karşılaşılan hasar tiplerinin başında su verme çatlakları gelmektedir. Su verme çatlaklarının ana nedeni sertleştirme esnasında meydana gelen ani hacim değişimleridir. Su verme çatlaklarının oluşumunu teşvik eden şartlar: su verme ortamının çok şiddetli olması, sertleştirme sıcaklığının çok yüksek olması ve özellikle keskin kesitler ve pürüzlü yüzeylerdir (12).

M_s (martensit başlangıcı) sıcaklığına kadar öncelikle yüzeyde martensit oluşmaya baslar. soğuma devam ederken martensitin altındaki yumuşak ostenitler büyüyemez. Daha içteki bölgeler M_s sıcaklığına geldiği zaman, yeni oluşan martensit tabakaları, üstteki martensit tabakalarından dolayı yayılamaz. Bundan dolayı malzeme içinde oluşan gerilmeler martensit tabakalarına, yani yüzeye çıkarlar (1).

Hızlı soğutma nedeniyle oluşan iç gerilmeler, yüksek soğuma hızlarında parçanın çekirdek bölgesi ile yüzeyi arasında büyük sıcaklık farklılıklarından doğar. Daha düşük sıcaklığa sahip olan yüzeydeki büzülme olayı sıcak ve orta kısım tarafından engellenir, bunun sonucu olarak yüzeye yakın bölgelerde çekme iç gerilmeler oluşur. Bu iç gerilmeler henüz sıcak olan orta bölgelerin plastik şekillendirilmesi ile ortadan kalkar (Şekil-3.7.a). Parça soğumaya devam eder. Orta kısımlar büzülürken bu kez soğuk olan yüzey bölgeleri kısalmayı engeller. Böylece kenar bölgelerinde basma orta bölgelerinde ise çekme görülür (Şekil-3.7.b). Düşük sıcaklıklarda plastik şekil değişimi giderek güçleştiğinden bu gerilme durumu kalıcı olur. Böylece su verme sonucu martensitte oluşan çekme gerilmeleri malzemenin çekme dayanımını aştığı zaman çatlamaya neden olurlar (5).



Şekil -3.7 a - Soğuma başlangıcında gerilme dağılımı

b - Soğuma sonunda gerilim dağılımı (5)

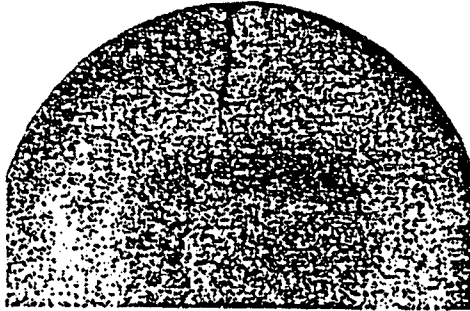
Su verme çatlakları bazı karakteristik özelliklere sahiptirler. Bu karakteristikler şu şekilde sıralanmıştır (5):

I - Çatlaklar genellikle doğru bir çizgi şeklinde yüzeyden merkeze doğru giderler. Şekil-3.8'te görüldüğü gibi yarık şeklinde oluşan çatlaklar hem yana hem de ileriye doğru devam edebilirler.



Şekil - 3.8 Menevişlenmiş martensitik mikroyapılı malzemede su verme çatlağı (5).

II - Çatlak lokal sertleşmiş bölgelerde sınırlı olur ve merkeze doğru çizgi şeklinde uzanır. Şekil-3.9'da görüldüğü gibi parlak kısım (dış halka) martensit dönüşüm derinliğini gösterir.



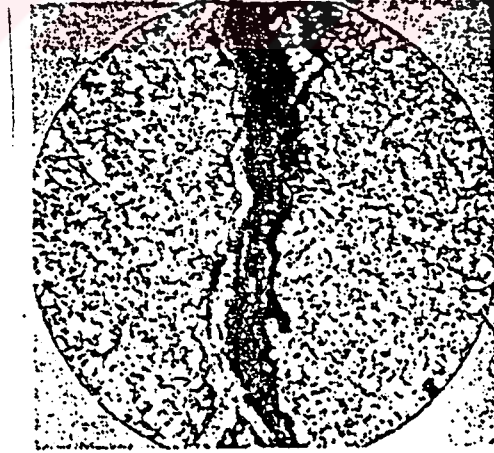
Şekil -3.9 Yuvarlak çelik çubukta su verme çatlağı (1).

III - Su verme çatlakları, hızlı su verme sonucu düşük sıcaklıklarda oluştuğu için mikroskopla bakıldığında dekarburizasyon göstermeyecektir. (Şekil-3.10)



Şekil - 3.10 Çelikteki su verme çatlakları genellikle dekarizasyonsuzdur (1).

IV - Oluşan çatlakların yüzeyi çok kristalin bir yapı gösterecektir. Ancak su vermeden sonra ısıtılsa Şekil-3.11'de görüldüğü gibi çatlakların yüzeyinde oksidasyondan dolayı siyahlık görülebilir.



Şekil - 3.11 Su verme çatlağının menevişleme fırınlarında oksitlenmesi (1).

V - Su verme çatlakları genellikle taneler arasındır. Şekil-3.12'de taneler arasından geçen bir su verme çatlakı görülmektedir.



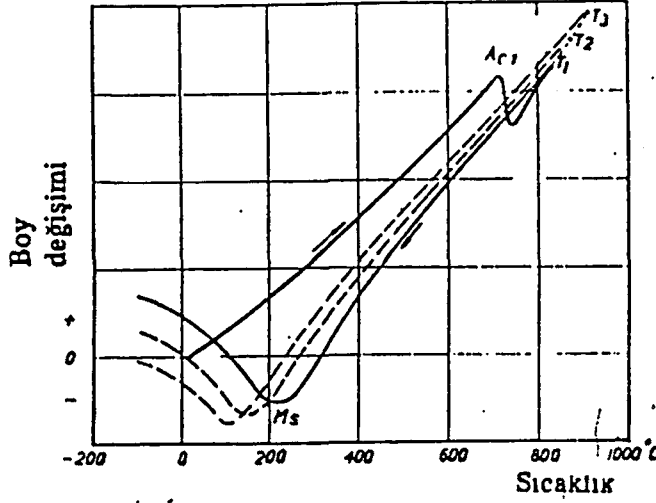
Şekil - 3.12 Taneler arası su verme çatlakları (1).

3.3.2. Su Verme Deformasyonu

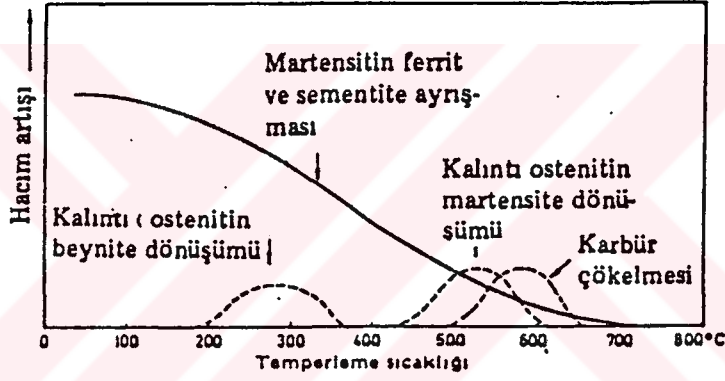
Bütün çelikler ostenitten martensite, perlit + ferrite veya perlit + sementite dönüştüğü zaman çelikte boyutsal değişimler olur. Bu değişimler çeliğin her tarafında aynı olmaz. Çeliğin yapısı çok sert olduğu için bu değişmelere direnç gösterir ve iç gerilmeler oluşur. Gerilmelerin büyüklüğü ve yayılması malzemeye ve diğer faktörlere bağlıdır (5).

Soğuma sırasında ısısal olarak daralma meydana gelir ve martensit oluşumu sırasında çeliğin boyu artar. sertleştirme sırasında yapıda kalan dönüşmeyen ostenitler ne kadar fazla ise boyuttaki ve hacimdeki daralma o kadar az olur. Eğer ostenit miktarı yeterince yüksek ise genellikle hacim azalması söz konusudur.(Şekil-3.13)

Menevişleme sırasında martensitin ferrit ve sementite ayrışması, hacimde sürekli bir azalmanın mevcut olacağını gösterir. Plastik deformasyonun ihmal edilebilir olması durumunda yüksek sıcaklıklarda uygulanacak menevişleme sonucu hacim, sertleştirme öncesi orijinal hacmine dönebilir. Şekil-3.14'de farklı menevişleme kademeleri arasındaki hacim artışları kesikli çizgilerle belirtilmiştir(5).



Şekil-3.13 Çeliklerde ısıtma işlemi esnasındaki boyutsal değişimler (5).

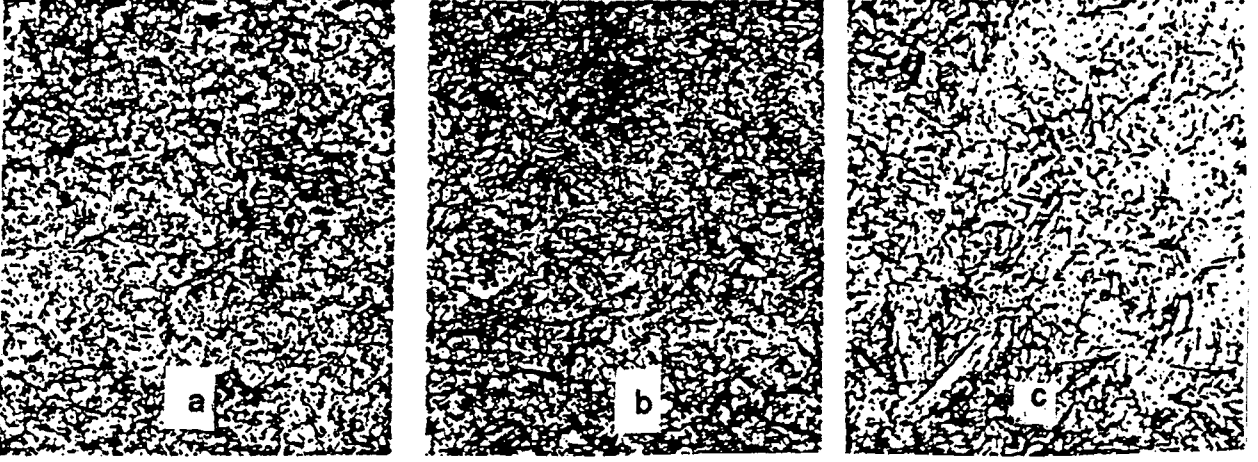


Şekil-3.14 Çesitli faz dönüşümlerinin, sertleştirilmiş çeliğin menevişlenmesi sırasındaki hacim değişimlerine etkisinin şematik gösterilişi.

3.3.3. Aşırı Isıtma

Çeliğin sertleştirme sıcaklığı yüksek tutulursa, iri taneli bir mikroyapı oluşur. sıcaklık arttıkça, tane boyutu ve kalıntı ostenit miktarı artar. Aşırı ısıtma sonucu oluşan iri taneli ostenite su verilmesi sonucu iri taneli martensit ve kalıntı ostenit oluşur. İri taneli kırılma yüzeyi, süneklik azalması, darbe tokluğunda azalma ve gevrek kırılma gibi karakteristik özellikler gösterir (12).

Sıcaklık artışı ile kalıntı ostenit miktarı ve buna bağlı olarak sertlik değişimi artar (Şekil-3.15).



Şekil - 3.15. DIN 125CrSi5 Çelik numunelerinin 870°-970° C'ler de sertleştirme ve 200 C'de menevişleme sonrası mikroyapıları (5).

	a	b	c
Sertleştirme Sıcaklıkları (C)	870	920	970
Sertlik (HRC)	61	62	64.5
Kalıntı ostenit (%)	12	20	28

3.3.4. Yanma

Malzeme oksitleyici bir atmosferde yüksek sıcaklıkta uzun bir süre tutulursa yanma meydana gelir. Sıcaklığın yüksek olması karbürlerin çevresinde ergimeye neden olur (Şekil-3.16). Ergimenin ileri düzeyi yanma şeklinde kendini gösterir. Ergimenin tehlikesi, segregasyon derecesine bağlıdır (12).



Şekil -3.16. 1260 C'de sertleştirilmiş ve 640 C'de iki defa menevişlenmiş yüksek hız çeliğinin (M 42) kısmi ergime sonucu tane sınırlarına doğru yayılmış karbürler (5).

Yanma, sıcaklık artışına göre farklı safhalar gösterir:

I. safhada tane sınırları karbonca zenginleşir.

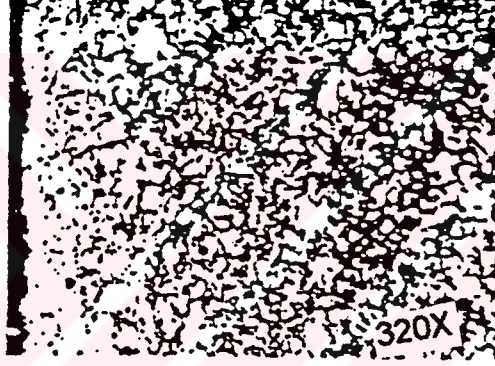
II. safhada tane sınırlarında oksitlenmiş boşluklar oluşur.

III. safhada ise tane sınırlarında demir oksit kalıntıları bulunur.

Yanma, malzemenin tokluğunun düşmesinde son derece etkindir (1).

3.3.5. Oksidasyon

Tav fırnında oksitleyici atmosferden dolayı çelik parça yüzeyindeki kalın kav (oksit) tabakasının oluşmasıdır. Ayrıca oksitleyici atmosfer, çelik parça yüzeyindeki karbon kaybına neden olur. Karbon kaybı su vermeden sonra yüzeyde düşük sertliğe ve yorulma ömründe azalmaya yolaçar. Özellikle Si'li çelikler dekarburizasyon eğilimlidirler (Şekil-3.17).

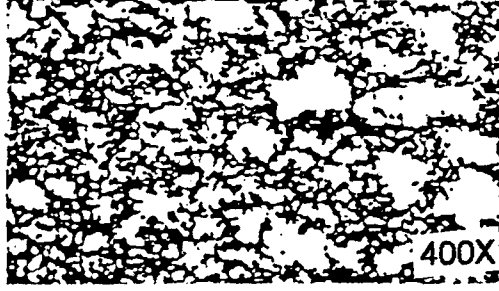


Şekil - 3.17. DIN 65MnSi7 çeliğinde dekarburizasyon yüzeyi (5).

3.3.6. Düşük ve Aşırı Sertlik

Düşük sertlik, menevişleme sıcaklığının çok yüksek olması, sertleştirme sıcaklığında yeterli derecede tutulmaması ve kritik soğuma hızından düşük hızda soğutma sonucu oluşur. Ayrıca kalıntı ostenit ve karbonsuzlaşma düşük sertliğe yolaçar. Düşük sertliğe neden olan önemli diğer bir faktör düşük sertleştirme sıcaklığıdır (Şekil-3.18).

Aşırı sertlik, menevişleme sırasında düşük sıcaklık veya bekleme süresinin az olmasından ileri gelir. Aşırı ısıtma, ostenit tane büyüklüğü ve çok hızlı soğutma aşırı sertliğe yolaçar (12).



Şekil -3.18. DIN 65MnSi7 çeliğin düşük sıcaklıkta sertleştirme sonucu serbest ferritler (5).

3.4. DİŞLİLERİN HASARI

Dişliler, bir çok farklı biçimlerde hasarlanabilir. Titreşim ve gürültü seviyesindeki artışı hariç tutarsak genellikle toplam hasar zorlanmanın ilk göstergesidir (1).

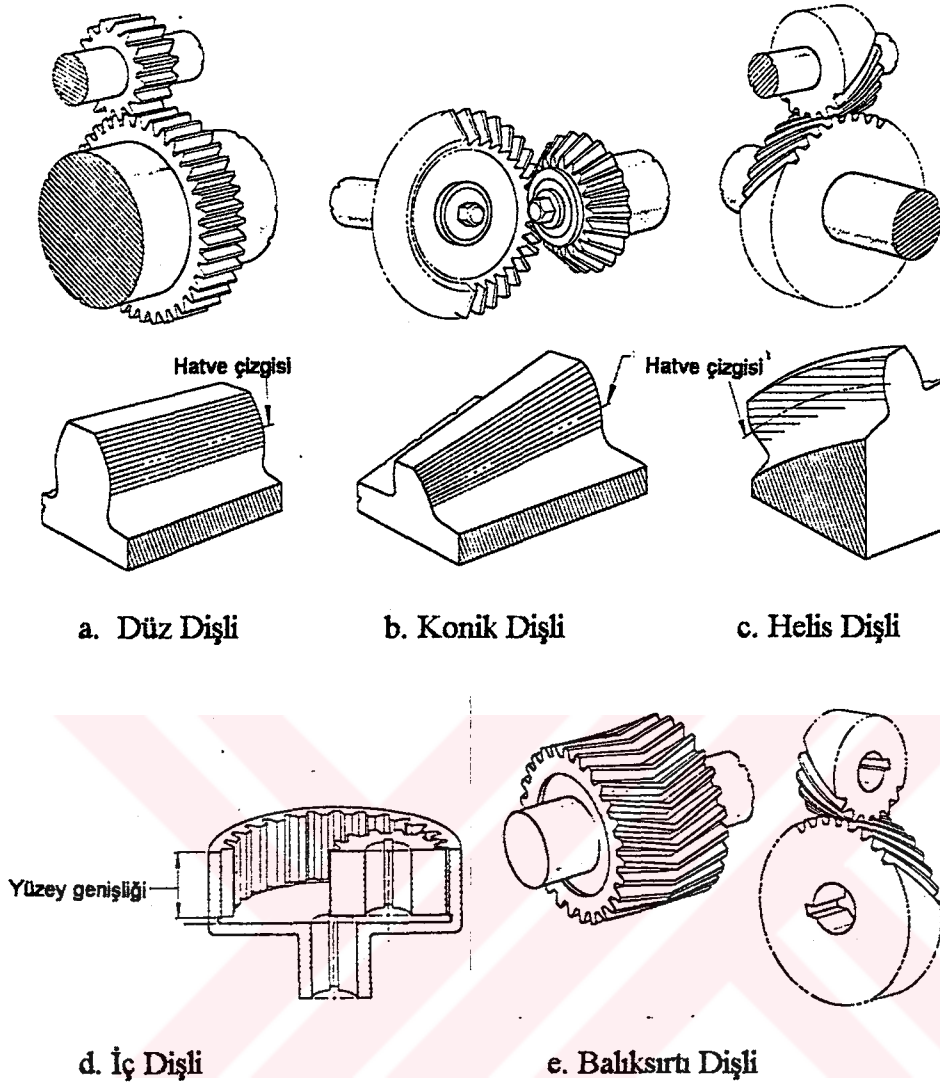
Genelde hasarın her tipi dişli dişleri üzerinde karakteristik ipuçları bırakır ve genelde detaylı bilgi ile hasarın oluşum sebebine kafi bilgi verir. Dişlilerdeki hasarın çeşitliliğine rağmen dişlilerin servis hasarları relatif olarak nadiren vuku bulur.

3.4.1 Dişli Tipleri

Dişliler, makina elemanlarının bir çeşitidir. Dişliler, hareket ve güç iletmekte kullanılırlar. Dişlinin tipi, spesifik tasarım özellikleriyle sadece çalışma karakteristiği belirlenemez. Yani erken hasarlanabilir. Dişlilerin önemli çoğunluğu için, çeşitli modifikasyonlar çıkarılabilir (Şekil-3.19).

3.4.1.1. Düz Dişliler

Düz dişliler, paralel şaftlar arasında veya bir şaft ile bir dişli arasında hareket ettirilirlar. Düz dişlinin dişleri radyaldır, diş çevre etrafında uniform olarak dizilmişlerdir ve dişli şafta paralel monte edilmişlerdir. Düz dişlinin dişleri arasında temas, döner eksenlerle paraleldir (1).



Şekil-3.19 Belli Başlı Dişli Tipleri (1).

3.4.1.2. Helisel Dişliler

Helisel dişliler, paralel veya çapraz şaftlar arasında veya bir şaft ve bir dişli kolu arasında hareket iletiminde kullanılır. Yani, şaftın eksenlerle belirli bir helis açısı ile uzanan bir açıda dişlerin birbirine gelmesiyle oluşur. Bu açı nedeniyle, her dişlinin dişlerinin iki veya daha fazlası böyle bir tarzda dişlerin birbirine alışması meydana gelir ve her zaman temas halindedirler. Bu şartlar düz dişlilerde daha düzgün hareketlere müsaade eder. Böylece helisel dişliler düz dişlilere benzemeyen eksensel sıkıştırma meydana getirirler ki bu az güç kaybı sebebiyledir (1).

3.4.1.3. Balıksırtı Dişliler

Bazen çift helis dişli olarak isimlendirilirler, paralel şaftlar arasında hareket iletiminde kullanılırlar. Balıksırtı dişlerde yüklemelerde dişlerdeki sınırlama her zaman daha fazladır. Zira onlar sağ el ve sol el helislerine sahiptir (1).

3.4.1.4. İç Dişli

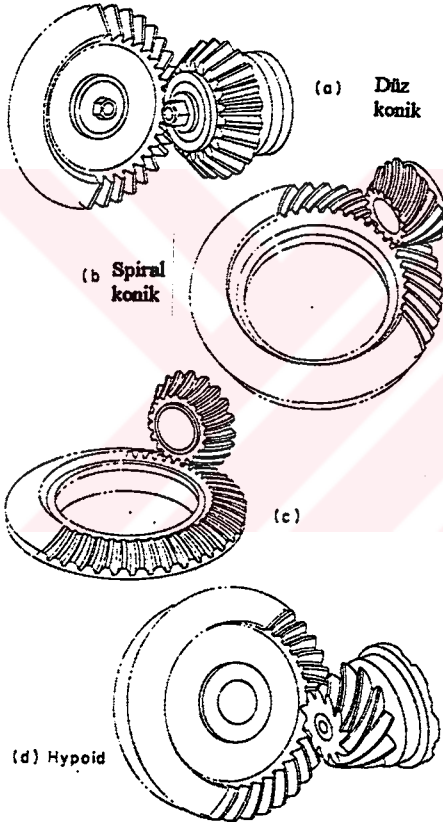
Paralel şaftlar arasında hareket iletiminde kullanılır. İç dişleri düz dişli ve helis dişli dişlerine benzerdir. Yani, dişlinin merkezi iç tarafta uygundur. İç dişlilerin bilinen uygulamalarında ağır vasıtaların geri vitesleri, planet dişli sistemleri ve hız değiştiriciler vardır. İç dişliler bazen de kompakt tasarımlarda kullanılır. Zira, iç dişli ve onun hareket eden pinyonu arasındaki mesafenin merkezi, gerekli iki diş dişlininkinden daha küçüktür (1).

3.4.1.5. Konik Dişli

Paralel olmayan şaftlar arasında hareket iletir. Bu şaftların birbirine göre konumu 90° dir. Düz konik dişliler, düz dişlere sahiptirler. İçeriye doğru uzatıldığında, dişli ve pinyonun eksenleri kesme yüzeylerinde kesişeceklerdir. Böylece dişler arasındaki hareket donen iki çekirdeğin her birinin diğerine göre hareketine benzer. düzgün konik dişlilerinin kullanımı genellikle sınırlıdır, düşük hızlı kullanımlar (küçük vitesler) ve gürültünün olmadığı yerlerde kullanılır.

Spiral konik dişliler kavisli ve eğimli dişlere sahiptir. Üst üste binen hareketlerde veya sürekli temas çizgisinde dişlerin bu eğiliminin sonucu, dereceli olarak sınırlıdır. Yani, her zaman iki veya daha fazla diş temas halindedir. Bu sürekli temasın sebebi, yükün süren dişliden sürülen dişliye geçişinde düzgün konik dişlilere nazaran daha sarsıntısız oluşudur. Spiral konik dişliler, düz konik dişlilere göre daha büyük yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Spiral konik dişliler genellikle, 1000 sfm'den daha yüksek hızlardaki operasyonlar için ve özellikle çok küçük dişliler için tercih edilirler. Sıfır konik dişliler, konik kavisli dişliler ile sıfır spiral açıdır. Spiral konik dişlilerden farklıdır. Zira, onların dişleri eğimli değildir. Spiral konik dişliler gibi aynı yerde kullanılırlar ve diş mukavemetleri düz konik dişlilerinkinden biraz daha büyüktür (1).

Hypoid konik dişliler, genel görünüşte spiral konik dişlilere benzerdir. Aralarındaki fark, pinyonun eksenlerindeki bir hypoid-dişli sisteminde, dişlinin eksenlerinden dengeye getirilmesidir. Bu bir çok tasarım avantajları sağlar. Hypoid dişlilerdeki uygulamada spiral konik dişlilerden, hızlı ve bununla beraber daha sarsıntısız, sessiz ve kuvvetlidir. Mamafih, hypoid konik dişliler spiral konik dişlilere nazaran diş profil eksenleri boyunca birçok kayma hareketine maruzdurlar ve birçok uygulamada basınçlı yağlamaya son derece ihtiyaç duyarlar (1).



Şekil - 3.20 Konik Dişli Tipleri (1).

3.4.2. Dişli-Diş Teması

Uygun sıralanmış dişlerin diş yüzeylerinde biri diğeri ile temas yapması neticesinde yükü dişliler taşıyabilmelidir. Teoride, dişli-dişlerinin teması çizgiler boyunca veya noktalardadır. Serviste, bununla beraber, yüklenmiş dişli dişlerinin yüzeylerinin elastik deformasyonu sebebiyle, dar bir band yüzeyi boyunca veya küçük alanlarda temas etmektedir. Diş profilinin eğrilik yarıçapı deformasyon miktarı üzerinde ve temas bandının genişliği üzerinde bir etkiye sahiptir. Temas bandının genişliği, dişli büyüklüğüne, yüklemeye bağlıdır. Küçük ve hafif yüklenmiş dişliler için yaklaşık 0.381 mm'den,. geniş ve ağır yükler için yaklaşık 5.8 mm'ye kadar değişir. Aynı parçanın shaft yatağına sürekli temas etmesiyle ısınır. Yani (ya akışkan ya da mekanik sürtünme ile) metal hareketinin aynı bölge tarafından sürekli absorbe edilmesiyle ısı üretilir. Bu kısım, bu sebepten aşırı ısınır ve yük de ağırsa bu yağlanmış film tabakasının hasarı ile sonuçlanır. Bu çelişkide diş-dişli yüzeyi sürekli aktif değildir. Diş yüzeyinin her parçası sadece çok kısa zamanlar için harekettedir. Aktif olmayan metalin yeni kısımlarında yükün sürekli değişmesi ve sakin yağın hareketi dişli yüzeyindeki yüklemeye, dişli metalin gerilmelerini -yağ filmini hasarlamadan- kritik sınıra yaklaştırır.

Maksimum yüklemeye, dişli dişleri tarafından taşınsa dahi yüzeyler arasındaki kayma hızına bağlıdır. Zira, basınçta olduğu gibi kaymanın hızı ile ısı üretilir. Eğer hem basınç hem kayma hızları aşırı miktarda ise, diş yüzeylerin bozulmasına sebep olabilecek sürtünme ısı oluşabilir. Bu sebeple basınç-hız faktörü dişli dişlerinde yanma ve sürtünme ihtimali üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Bu kritik faktörün müsaade edilebilir değeri, dişli metali, dişli tasarımı, yağlamanın karakteristiği ve yağlama uygulaması ile ilgilidir. Her dişli için, yüzey temas alanı ve birbiri üzerine kayan ve yuvarlanan dişlerin biçimi yağ filminin bozulmasında önemli bir faktördür. Bu sebeple tanımlamada dişli yağlaması etkisizdir (1).

3.4.3. Dişli Malzemeler

Dökme demirlerin çeşitleri, toz metalurjisi malzemeleri, demir dışı alaşımlar ve metal dışı malzemeler dişli imalatında kullanılır. Bununla beraber çelik de yüksek

mukavemet / ağırlık oranları, düşük maliyetleri sebebiyle geniş olarak dişli malzemesi olarak kullanılırlar.

Çekirdeğe kadar sertleşebilen ıslah çelikleri arasında 1040, 1060, 4140 ve 4340 çelikleri geniş olarak kullanılır. Bu çelikler efektif olarak indüksiyonla ısıtılarak yüzeyleri sertleştirilir. Semantasyon çelikleri arasında dişlilerde kullanılanlar 1018, 1524, 4026, 4118, 4320, 4620, 4820, 8620 ve 9310'dur. Birçok yüksek performans dişlileri sementle edilirler. Bazı özel amaçlı çelik dişlilerde ya karbonitrasyon ya da nitrasyon ile yüzeyi sertleştirilir. Diğer özel amaçlı dişliler kimya ve gıda sektörü proseslerinde ekipman olarak kullanılanlar paslanmaz çeliklerden veya nikel esaslı alaşımlardan yapılırlar. Bunun sebebi, onların korozyon dirençleri, sağlık standartlarına uygunluğundan veya her iki şartı da sağlamasındandır. Yüksek sıcaklıklardaki operasyonlarda kullanılmak üzere imal edilen dişliler takım çeliklerinden veya yüksek sıcaklık alaşımlarından yapılabilir. Dişlilerin çoğunluğu, karbon veya düşük alaşımlı çelikten yapılır. Semantasyon çelikleri buna dahildir. Düşük alaşımlı çeliklerin sayısı sınırlıdır. Nitrasyon çelikleri bunlara bir örnektir. Genelde, dişli uygulamaları için çelikler seçilirken ihtiyaçların iki temel amacına da uygunluk sağlamasına çalışılır, ancak bu her zaman mümkün olmayabilir. Bunlar imalat ve prosesle, bunların kullanılma yerini kapsar. İmalat ve prosese talaşlı şekillendirme, dövülebilme ve imalat ve prosesin ısı işleme tesiri dahildir. Servis ihtiyaçları dişlinin gücü ile ilgilidir. Dişli, yükleme şartları altında uygun performansa göre tasarlanmaktadır. Böylece, bütün mekanik özellik ihtiyaçlarını kapsar. Yorulma mukavemeti, ısı işleme durumu ve diğer özellikler mekanik özellik ihtiyaçları kapsamına girer. Çünkü, yorulma hasarının direnci, kısmen çeliğin temiz olmamasına ve müsaade edilebilir kalıntıların mevcudiyetine bağlıdır. Ergitme pratiği de çeliğin seçiminde bir faktördür. Vakumla ergitme de çelik seçiminde bir faktördür. Birçok ağır yükte kullanılacak çelik dişliler dövülmüş kütüklerden talaşlı imalatla şekillendirilir. Yani, dövme ile yükleme doğrultusuna uygun tane yönlenmesi sağlanmıştır. Bu yöntem yuvarlak çubuktan kesilerek işlemeye nazaran daha uygun bir yöntemdir (1).

3.4.4. Dişli Hasarlarının Sınıflandırılması

Bir dişli hasarının sistematik analizi, tiplerin ve hasarın sınıflandırılması ile başlar. Hasarın tipi, hasarlı dişlinin görüntüsünden ve prostesten veya hasar mekanizmasından

belirlenir. Sonra hasarın mekanizması oluşturulur. Geriye hasarın ne sebepten oluştuğunun tespiti kalır. Genelde hasar mekanizmasının anlaşılmasında hasarın sebepleri veya izole edilmiş yardımcı sebepler düşünülmektedir. Dişli hasarlarının tiplerini dört grupta toplayabiliriz: Aşınma, yüzey yorulması, plastik akış ve kırılma. Bunlar ayrıca alt gruplara ayrılabilir (1).

3.4.4.1. Aşınma

Dişlerin temas yüzeylerinden malzeme kaybı olarak tanımlanabilir. Normal aşınma, tahribatlı aşınma, aşındırıcı aşınma, abrasif aşınma, korozyif aşınma, yapraklanma, yanma ve renk değişmesi gibi aşınma çeşitleri vardır. Normal aşınmada hasarın teşkil etmediği bellidir. Çünkü metalin kaybı, dişlinin tahmini ömrü içinde performansa etkisi çok yavaş hızdadır. Bununla beraber normal aşınma hasar analizi için faydalı değerlendirilebilir. Çünkü, normal aşınma kıyaslama için bir temel verir.

3.4.4.1.1. Dişli Aşınması ve Aşınma Hasarları

"Aşınma" terimi, dişliler için ilk referans olarak uygulanabilir. Fakat, dişli-diş yüzeyinde metal kaybı sınırlıdır ve yağlama filminden geçerek metal-metal temasının bir sonucu olarak profilin kaybına eşlik eder. Aşınma ifadesi bu yüzden genel olarak normal aşınmayı, parlatmayı, orta seviyede aşınmayı ve tahribatlı aşınmayı daha geniş ifadeyle kapsar. Aşınmanın bir biçimi olarak da kaba hasarda diş yüzeylerinde olur. ASTM B6.12 sınıflandırmasına göre abrasif aşınma, çizilerek aşınma, girişim aşınması, korozyif aşınması, yapraklanma ve yanma dahildir.

3.4.4.1.2. Yağlama ve Dişli-Diş Aşınması

Bir çok orta seviyede yüklenmiş dişli takımları orta seviye hızlarda operasyonlarda yağ filmlerinin (izafi) kalınlığı dişli dişleri arasında devam eder ve metal-metal teması meydana gelmez. Hareketin durma ve başlama esnası hariç aşınma meydana gelmez ve işleme izleri, operasyonun uzun periyodundan sonra bile dişler üzerinde görülebilir. Dolu film şartları altında, yağ vizikotisesi (film sıcaklığı ve basıncında) dişli-dişlerinin yük taşıyabilmesini belirleyen diş yüzeylerini arasındaki harekete direnç gibi özelliğindedir.

Pratikte tam film yağlaması her zaman mümkün olmayabilir. Yüzeyler durgun basınç altında oldukları zaman, film kalınlığı dış basınç altında oldukları zaman, film kalınlığı dış basınç kısmı ile sıkıştırılır. Zira, filmin oluşması ve devam etmesi için hareket geçerlidir. Düşük hız şartları altında, ağır yüklenmiş, son derece yüksek sıcaklıklarda, relatif pürüzlü ve düzgün olmayan yüzeyler az yağ desteğinde (yağlamada) veya yağın çok düşük viskozitesinde kullanımında, yüklenmiş kısımda sadece kısmi bir film olabilir. Böyle şartlar altında, yüzeyler arasında metal-metal teması önemli olacaktır.

Dişli-diş yüzeyleri düz değildir. Kesme ve bitirme işinde kullanılan makina takımlarının tabi karakteristiği sebebiyle dalgaahdır. Yetersiz yağlama altında yüzeyler bir araya geldiği zaman, temas yüzey dalgalarının tepelikleri arasında yapılır. Hareketlerin sayısı sonra yer alır. Yüzey filmlerinin kesilmesi, ağır ovalama ve metalin deformasyonu, daha sert metalin, daha yumuşak metalin içinden geçerek yüzeyinde pürüzlükler açması, sonucunda aşındırıcı partiküllerin ayrılmasında ve yeni pürüzlüklerin meydana gelmesi ve sonuç olarak küçük yüksek yerlerin bağlanmasıdır(1).

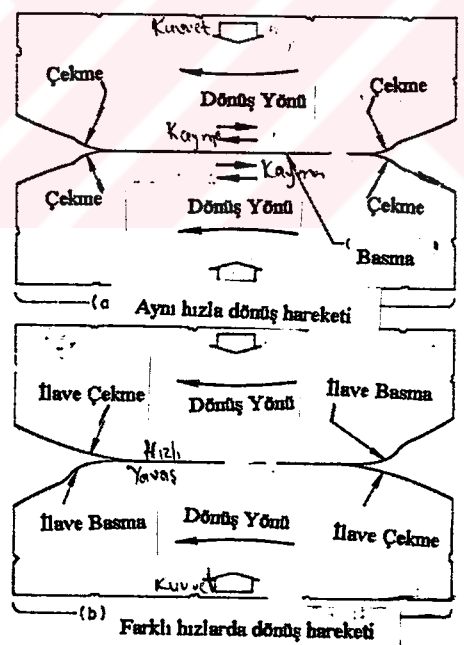
3.4.4.2. Yüzey Yorulması Hasarları

Yüzey yorulması, dişli hasarının en çok bilinen tipidir ve yüklenmenin, diş yüzeylerinin bazen dökülmesi ile karakterize edilmiştir. Aşınma hasarına benzemeyen, yetersiz yağlama ile ilgili olarak hatta uygun yağlama ile de meydana gelebilir.

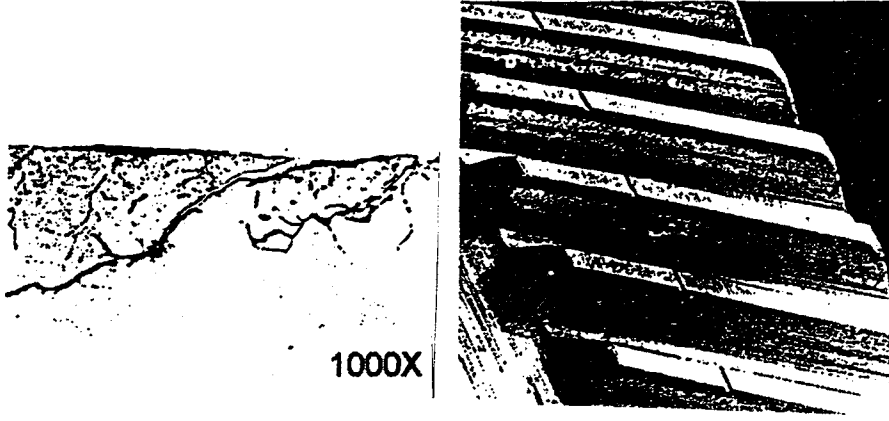
3.4.4.2.1 Yüzey Yorulmasının Mekanizması

Dişli dişlerinin her defasında birbirine geçmesinden, biri diğerine yuvarlanma ve kayması yüzey ve yüzey altında metalde çekme, basma ve kayma gerilmelerin oluşmasına sebep olur. Şekil-3.21'de yuvarlanmalar arasındaki gerilmelerin şematik gösterimi, dişli diş yüzeyleri arasındaki gerilmelere benzer olarak gösterilmiştir. Şekil-3.21.a'da silindirlerin dönüşleri aynı hızda ve onların aralarındaki temas, eğim çizgisinde dişli dişleri arasındaki temasla kıyas edilebilir. Burada kayma yoktur. Temas bir çizgiden ziyade, bir bantda meydana gelir. Bu da elastik deformasyon sebebiyledir. Bu bantda maksimum basma merkezdedir. Metal, bantın arkasındaki ve önündeki şişkinliklerin şeklini alır ve bu yeralma sonucunda yüzey altında çekme ve kayma gerilmeleri görülür. Gerilmelerin

büyüklüğü metallerin elastisite modüllerine, yüzeylere sürekli kuvvet basılmasına ve yüzeylerin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Her iki yüzeyin yarıçapları daha küçük ise temas bandı daha dardır ve birim gerilme daha büyük olur. Farklı hızlarda, silindirlere dönüştürülmesi arasındaki temas Şekil-3.21.b'de gösterilmiştir. Eğim hatve dairesinden uzaktaki dişli-dişleri arasında kıyaslanabilir, temasta hem kayma hem de yuvarlanma meydana gelir. Şekil-3.21.a'da gösterildiği gibi sürtünme kuvvetleri gerilmelere ilave edilir. İlave yüklemeler yüzeyde basma ve çekme gerilmeleri olduğunu gösterir. Metalde ve yüzeye yakın mesafede çekme, basma, kayma gerilmelerinin her zaman etkisindedir. Sonra, genellikle gerilme tekrarlarının çok fazla miktarı ile yüzey hasarı meydana gelebilir. Önemsiz, küçük çatlaklar yüzeyde ve yüzey altında gelişir ve birleşir (Şekil-3.22.a). Neticede, metalin küçük parçaları dışarda ayrılırlar ve ayrılmış oyuklarla kuvvetlenirler. Yük durumu ve gerilmeler öngörülenden yüksek ise az sayıdaki çevrimden sonra yüzey yorulması oluşabilir(1).



Şekil-3.21 Yüzey Yorulması Mekanizmasının Şematik Gösterilişi (1).



Şekil 3.22 a. Yüzey altı yorulma çatlağı

b. Helisel bir dişlide, hatve çizgisinde oyuklaşma başlangıcı (1).

3.4.4.2.2. Başlangıç Oyuklaşması

Yeni dişlilerin diş yüzeyleri üzerindeki pürüzlükler ve büyük benekler normal yükleme altında bile yüksek gerilimlidir ve küçük kısımlar, izafi olarak birkaç çevrimde yorulmaya maruz kalırlar ve küçük oyuklukların ayrılmasıyla devam etmezler.

Büyük lekeler ve pürüzlükler hatve çizgisinden bir mesafede olduğu zaman, burada hem kayma, hem yuvarlanma meydana gelir. Onlar yorulmadan önce, aşınmış kısım boyunca ilerler ve oyukçuklar meydana gelebilir. Diğer taraftan hatve çizgisinden veya yakınında da az miktarda yuvarlanma vardır, kaymada genellikle başlangıç korozyonu meydana gelebilir. Bu çoğu kez "hatve çizgisi oyuklaşması" olarak izah edilmiştir. Gerçekte, başlangıç oyuklaşmasında hatve çizgisinde kaymaya zıt yöndeki hatve çizgisi oyuklaşması bir faktör olarak bilinir. Başlangıç oyuklaşması düzeltilebilir, yani, pürüzlükler kontrol edildiği zaman, gerilmeler hafifletildiğinde ve oyuklaşma durdurulabilir(1).

3.4.4.2.3. Tahribatlı Oyuklanma

Hatve çizgisinin aşağısında hareketli dişli-diş yüzeyinin temas gerilmeleri, diş eğrilerinin yarıçapının daha kısa olması nedeniyle diğer bölgelerden daha yüksektir. Bazı noktalarda, temasta dişlerin sayısı değişir. Düz dişlilerin alışılmış tasarımlarında iki çiftten, tek bir çiftte alışılmış ve helis dişliler içinde azaltılmış sayısı her zaman bir çiftten fazladır.

Burada yüzey gerilmeleri bir maksimuma doğru keskince artar ve diş hareketlerin teması ile tekrar azalmaya başlar. Her ne zaman dişliler aşırı yüklenirse, metal yüzeyinde yorulma hasarı ve tahribatlı oyuklaşma meydana gelebilir. Bu genellikle hareket veren dişlilerin dişdibi alanlarında ve işlemin uzun periyotlarından sonra oluşur. Eğer, aşırı yükleme, yeterli büyüklükte ise operasyonun nisbeten kısa periyotunda yine de oyuklaşmanın bu tipi gelişebilir.

Bütün durumlarda hareket veren ve hareket alan dişlilerin yüzeyleri diğeri ile temastadır ve aynı gerilmelere maruzdur. Bununla birlikte normal oyuklaşma birincil olarak meydana gelir ve hareket veren dişlinin dişlerinin hatve alanı ile sınırlı olabilir. Bunun iki nedeni vardır:

a) Hareket veren diş genellikle daha küçük çaptadır, daha fazla devir yapar ve onun dişleri daha az sayıdadır, daha fazla gerinme tekrarlarına maruzdur.

b) Hareket veren dişli dişlerinin üzerinde kaymanın yönü yüzeyler arasındaki yuvarlanmaya zıttır ve gerinme sonucu yorulma çatlaklarının büyüyerek metal yüzeyine ilerlemesi sonunda oyuklar teşekkül eder.

Oyuklaşmanın ilerlemesinde, oyuklar sürekli şekil alır ve kenarları ufalanarak genişler veya oyuklar diğerleri içine kınılır. Sonunda diş şekli bozulur ve dişliler gürültülü şekle döner ve kaba şekilde çalırlar ve eğer şartlar kafi dereceye kadar ilerlerse dişler kınılabilir. Belirli bileşenlerde, kritik bir dişlinin hasarı ciddi öneme sahip bir dişin kınılmasıyla kınılabilir. Bir hava taşıtındaki hasar gibi - özellikle iniş ve kalkış esnasında - taşıtın ömrünü kullanım süresinde kaybı veya toplam hasarıyla sonuçlanabilir. Sonuç olarak, sürekli, kullanımla kritik dişlilerin tahribatlı oyuklaşması takip edilerek önlenmiştir. Genelde, böyle dişliler, istenilen kalitenin yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı birinci sınıf kalitedeki çelikten imal edilir. Örnek olarak AISI 9315 verilebilir. Dövülerek şekillendirilmiş blokların talaşlı işlenmesini takiben gaz ortamda semantasyon ve takibinde sertleştirme ve menevi işlemi görecektir. Kontrol sonrası, parçalar uygulama yeri testine tabi tutulurlar, ağır yükleme şartları altında dört saat motorda test standında deneme yapılır ve sonra aşınma, oyuklaşma, plastik akış ve diğer anormallikler için inceleme yapılır.

3.4.4.3. Plastik Akış Hasarları

Plastik akış ifadesi, ağır yüklemeler sürekli darbeli yükler altında akmanın bir sonucu olarak metal dişli dişinin yüzey deformasyonudur. Her ne kadar yumuşak dövülebilir metallerin hasarı plastik akış ile ilgili olsa da çekirdeğe kadar sertleşmiş ve yüzeyi sertleşmiş çelikte de meydana gelir. Plastik akış, her zaman metalin temas bölgesinde akma gerilmesinin üzerinde bir yükleme olduğunda oluşur. Dişlilerde plastik akışının esas tipi ezme, çarpma, yarmadır. Plastik akış, yüzey yorulmasıyla birlikte olabilir. Örnek olarak tahribatlı oyuklaşma veya dökülme verilebilir. Her ne kadar plastik akış ve yorulma açıkça farklı olaylar ise de plastik akış kırılmadan önce gelse, birlikte de gelse farklıdır.

I - Ezme ve Çarpma: Eğer basma yüklemesi yüksek ise azami yükleme sebebiyle titreşim varsa veya uygun olmayan diş hareketi ile yüksek darbe yüklemesi oluyorsa dişli-diş yüzeyleri ezmeye veya dövmeye dönüşebiliyorsa özellikle de onların yumuşaklığı relatif ise (yani birbirine göre yumuşak ise) ezme ve çarpma hasarı meydana gelir. Soğuk bir kafanın yontulduğu zaman veya tekrarlı vuruşlarla bir perçinin dövüldüğü zaman dişlilerde yuvarlama ve dövme dişlileri uçları veya tepe kenarlarındaki bitirme kötü yuvarlatılmış diş uçları ile veya tek bir diş temasının hareketinde, hareket veren yüzeyindeki deprasyonla, temas dişlinin eğim çizgisinin yakın sırtı, yükselmesiyle, karakterize edilirler. Dişlerinin kalan kısımlarının genellikle, komple deformasyonun meydana gelmeden önce olduğu düşünülebilir.

Dişli malzemesi hasarlı bulunmasına rağmen daha yüksek viskoziteli yağ yataklamalardaki vuruşlarda dişli ömrünün uzamasına yardım eder. Şekil-3.23'de dişli dişlerinin tepe bölgelerinin ve uçtaki kenarlarının yuvarlanma ve dövme sonucunda dişli metalinin uygulama için çok yumuşak olduğu görülmektedir. Ezme ve çarpma ile olan hasar sebepleri kolayca ayırt edilir ve genelde düzeltme de kolaydır. Genellikle, düzeltme işlemi biraz daha sert dişli malzemenin seçiminden oluşur veya çekirdeğe kadar sertleşen çelikler özellikle daha yüksek yüzey sertliği elde edildiği düşünülebilir. Bu sık sık başvuru yüzey sertleştirme metodu (alevle veya indüksiyon sertleştirme) uygulanabilir. Dövme ile imal edilmiş sonra sementede edilmiş çelik dişlilerde hasar nadiren vuku bulursa da sementede edilmiş dişlerin yüzey sertliği veya dövmeden, sementede edilmiş

çelik dişlilerde hasar sementle edilmiş dişli dişlerinin yüzey sertliği eğer standart altı ise nadiren hasar olur. Düşük yüzey sertliğinin bilinen sebepleri arasında:

a) Sementle edilmiş yüzeyde karbon fakirleşmesi,

b) Yüzey dekarbürizasyonu

c) Sementasyon sonrası sertleştirme hatası yani, farklı fırınlarda bir temel banyoda sementle edilmiş ve ostenitlenmiş dişlilerden kuvvetli ihtimalle vuku bulur.

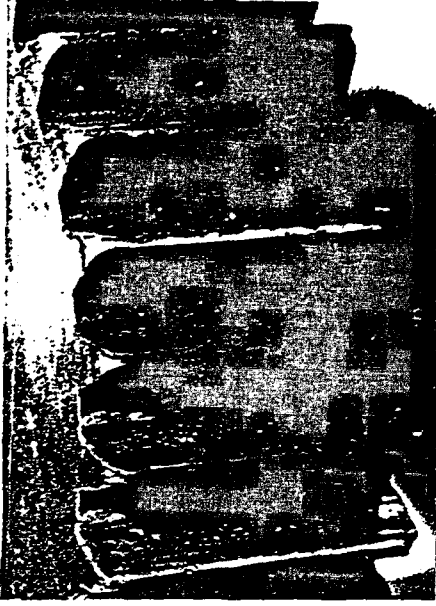
Ezme ve çarpma ile hasar, dişli yüklemesinin azaltılmasıyla veya şok yüklemenin bazı dış şartlarıyla azaltılabilir. Bazı örneklerde, yağ vizikositesi çok düşüktür. Daha yüksek viskoziteli kullanarak plastik akışı durdurmak mümkündür. Daha vizkos yağ, daha iyi yataklamaya ve daha kalın film ile sürtünmenin düzeltilmesini sağlar.

II - Yarıma: Hasarın diğer bir tipi plastik akış ile meydana gelir. Kaymanın yönüne dik açıdaki diş yüzeyin üzerindeki bir dalgalı çizgi ve metal yüzeyindeki kesme gerilmeleri sebebiyledir. Bazen bu gerilmeler sürtünmenin daha düşük katsayılı yağlayıcı ile değiştirilerek azaltılabilir.

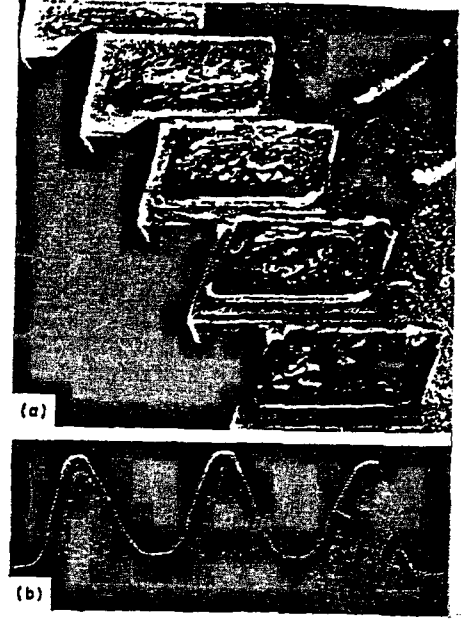
Yarıma çoğunlukla yüzeyi sertleştirilmiş hypoid dişlilerinde meydana gelir. Genelde, o da doğrudan hasara sebebiyet vermez. Titreşim dahi Yarıma'nın bir sebebi olarak bilinir.

III - Sırt Oluşumu: Şekil-3.25.a'da plastik akışın çoğunlukla birkaç biçimi gösterilmiştir. Örnek olarak yüzeyi sertleşmiş çelik hypoid pinyonlar ve bronz sonsuz vida gösterilebilir. Genellikle o çarpaz çizgiler olarak veya diş yüzeyinin bir kenarında öbür kenarına sırtlar şeklinde görülür. Fakat kayma yönünde balıksırtı veya balıkkuyruğu şablonuyla karakterize edilir. Eğer sürekli yeniden çalışarak metal yüzeyinde sırt oluşumu ilerlerse ki oyuklaşmayla ve esas yorulma tipi hasar ile sonuçlanır.

IV - Plastik Akış ve Çatlak: Şekil-3.24.b'de uçak motorunda karşılıklı bir yarıçapın harekete geçmesi esnasında aşırı yüksek burulma yüklenmenin bir sonucu olarak hasarlanmış bir kuyruk milinin yarıklı milidir. Hasar, birkaç plastik akış ve yine dişlerinin çatlaması kombinasyonu ile meydana geldi. Kuyruk mili yaklaşık 35.5 cm boyunda ve 7,62 cm çapında olup AMS 6263 çeliğinden yapılmıştır. Yarıklı kısımlar 0.381 - 0.635 mm. sementle edilmiştir. Dişlerin yüzey sertliği 60 - 63 HRC'dir.



Şekil-3.23 Dövmeye sonucu deforme olmuş diş tepesi (1).



Şekil-3.24 Sementle edilmiş AMS 6263 çeliğinde hem plastik akış hemde tahribatlı oyuklaşma (1).



Şekil 3.25. a. Yüzeyi serleştirilmiş, ağır yüklenmiş bir hypoid dişlide sırt oluşumu
b. AMS 6263 sementasyon çeliğinden (0.4 - 0.6 mm. sertlik derinliği) yapılmış kuyruk milinde, aşırı burulma, plastik akış ve çatlama.
c. Dişte hem plastik akış hemde dökülme hasarı (1).

V- Kabuk kırılması: Sementle edilmiş dişlilerde keza plastik akış ve çatlak kombinasyonu ile plastik akış hasarının bir şekli meydana gelir. Yüzey kırılmasını çoğunlukla bilinen sebebi çekirdek sertliği ve kullanım yüklemesi için verilen yetersiz

yüzey derinliği olduğu halde, çeşitli aşırı yüklemekten dolayı veya diş profil eğriliğinin geniş bir yarıçapı olmasından dolayı da kaynaklanabilir. Yüzey ezilmesindeki plastik deformasyon yüzeyin sert metalinin aşağısındaki daha yumuşak metale yüklenmesiyledir. Yüzey ezilmesi, çatlak ile birlikte olur. Çatlaklar malzemenin yüzeyinden çekirdeğine kadar uzanır ve genelde çoğu dişli diş yüzeyinde karşılıklı oyuklaşmanın belirsizliği ile ilerler. Genelde, çatlaklar dişin dişdibi yüksekliği ile ilaveli veya ilavesiz oranla sınırlı değildir. Fakat, çoğu kez yüzeyine uzanır. Yüzey ezilmeleri çoğunlukla, semente edilmiş yüzeyi derinliğinin artmasıyla giderilebilir. Daha yüksek sertleşebilirlikte bir çelik seçilmesiyle ısıtılma işlemi daha yüksek çekirdek sertleşmesi ve mukavemete müsaade edecektir, keza böylece yüzey ezilmeleri elimine edilebilir. Genelde sırt oluşumu, haddinden fazla yükleme veya yetersiz yağlama veya her ikisiyle birden ilgilidir.

VI - Plastik akış ve Oyuklanma: Şekil-3.24.a'da hem plastik akış hem de tahribatlı oyuklaşma ile hasarlanmış semente edilmiş çelik dişli görülmektedir. Bu dişli yaklaşık 100 mm. çapında ve 38.1 mm. genişliğinde, AMS 6260 çeliğinden yapılmıştır. ve 0.635-0.890 mm. derinliğinde semente edilmiştir. Bununla birlikte işlemede bir hata vasıtasıyla, aşırı miktarı, dişlerin sürücü yüzlerinden kontrol edildi. Sürücü yüzlerde sertlik derinliği yaklaşık olarak 0.0254 cm azaltıldı. Çünkü bu yüzey yüklerin desteklenmesinde yetersiz olduğu, dişli dişlerinin hareketli yüzlerinin plastik akış ve çeşitli oyuklanmalarda deforme olması söz konusudur.

VII - Plastik akış ve Dökülme: Semente edilmiş çelik dişlinin farklı kenarı dökülme veya plastik akışın kombinasyonu ile hasarlanmış dişlinin farklı kenarı Şekil 33'te gösterilmektedir. Bu hasar semente edilmiş 4027 çeliğinin kullanımında çekirdeğinde 22-27 HRC sertlik elde edildiğinden , semente edilmiş yüzey desteği için yetersiz olduğunu gösterdi, verdi. Bu hasarlı dişli, kullanımda 30 km. sonrası bir araçtan alınıp kontrol edildi. Dişli malzemesinin 8625'e değiştirilmesiyle, çekirdekte yaklaşık 40 HRC'lik bir sertlik elde edilerek problem giderildi (1).

3.4.4.4.Kırılma

Kırılmış bir tam dişin veya dişin kırık parçası kırılmayı belirler. Yorulma kırılması, ağır aşınma kırılması, aşırı yükleme kırılması, su verme çatlakları ve taşlama çatlakları olarak sınıflandırıldı. Ağır aşınma kırılması, tabiatıyla, aşınma kırılmasının bir tipidir.

Aşınma ile diş mukavemeti azalır ve kırılma seviyesinde olduğu zaman kırılma vuku bulur.

Bu, dişli hasarı için istisnai değildir, bir hasar tarzından daha çok ziyade örneğin; aşınma ile kırılma veya plastik kırılma verilebilir. Hasar, iki veya daha fazla tarzda eş zamanlı olarak meydana gelebilir, veya sürekliliğin sonucu olabilir.

Dişlideki hasar tek bir hasar modeli dışında daha fazla modelin birlikte etkisiyle de oluşabilir. Örnek olarak aşınma ve kırılma ile ya da plastik akış ve kırılma ile verilebilir. Aşınmanın veya hasarın farklı tiplerinin sınırlandırılması sebep ve etki arasındaki gözlem derecesi veya gözlem şartındaki ilerleme ve uygun düzeltici hareketin belirlenmesinde, ayırt edilmesinde rol oynar (1).

3.4.4.4.1.Kırılma Hasarları

Kırılma genellikle, tam bir dişli dişinin kırılmasının veya dişin eldeki kısmına ait oranı verir.ASTM B.6.12'de aşırı yüklenmiş kırılma veya ağır aşınmalı yorulma olarak diş kırılmaları sınıflandırılmıştır. Kırılma hasar sonuçlarından, diğer başlangıç sebeplerinden dolayı diş yorulmaları ayırt edilebilir. Kırılma hasarları önemlidir.

3.4.4.4.2.Yorulma Kırılması

Bir kiriş gibi yüklenmiş dişli dişlerine, temas eden yüzeyleri boyunca yük uygulanır. Dişli dişleri, uygulanmış yük sebebiyle dişin kök kesitinde maksimum eğme gerilmesiyle şekil alır. Böylece, her diş eğmeden dolayı kökten tamamen kırılmış olarak hasarlanır. Bazı eğme yorulma hasarlarında kokte başlayan bir çatlak , dişin uç kısmına doğru çoğalarak yayılabilir. İzler çatlak gibi olabilir. İzlerin kaynağı kırık yüzeyindeki kum izleridir. Kum izleri çatlak başlangıç ile aynı merkezli dairesel veya yarı dairesel halkalardır ve çatlak başlangıç bölgesinin güvenli göstergeleridir.

Yorulma hasarı, kırılma hasarının en çok bilinen tipidir. Tekrarlı eğme gerilmeleri, malzemenin dayanma sınırını aşarsa ve zayıf tasarım, eksenden kaçıklık, aşırı yüklenme, gerilim konsantrasyonu yükselmesi dahil yüzey ve yüzey altı kusurları gibi çeşitli faktörlerin sonucu yorulma kırılması oluşabilir. Maksimum yorulma gerilmesine göre tasarım çoğu dişlilerin yüzeyi sementasyon ile sertleştirilerek yüzeyin son derece sert ve

aşınma dirençli, yüzey altında ise tok bir çekirdekle desteklenmesini sağlamaktadır. Bu kombinasyon, yüzey ve çekirdek sertleştirme süresince genleşme ve büzülmenin farklı hızlarının bir sonucu olarak kalıntı basma gerilmesi durumunda yüzeyde tabakalaşmayı sağlar. Zira, dişli yorulma hasarlarının yüzeyde yüksek çekme gerilmeleriyle başladığı bahse konu edildi. Sement edilmiş yüzeyde, kalıntı basma gerilmeleri dengeleyen yüzeydeki çekme gerilmeleri çatlak başlamadan önce aşırı sementasyon olmalıdır ki çatlama olsun (1).

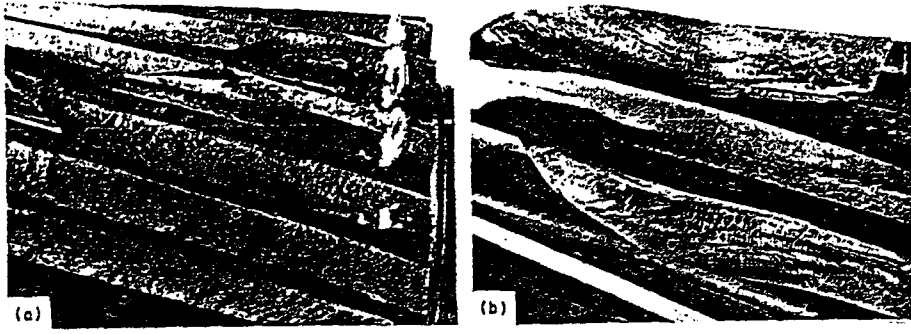
3.4.4.4.3. Diş Kırılma Bölgesi

Dişli dişlerinin kırılması hasarlara dahildir. Diş üzerindeki kırılma bölgesi hasar sebebini belirlemeye yardımcı veya hasar mekanizmasını oluşturmada önemlidir. Dişli dişlerinin çoğunlukla kırılan bölgeleri kök dipleri, kökler, köşeler, veya uçlar ve tepe kısımlarıdır. Dişlerde genellikle yüklemede maksimum temas diş üzerinde ortada meydana gelir ve kırılma için böyle bölgelerde kaynak teşkil etmesi mümkündür. Kök diplerinde kırılma olduğu zaman, genellikle birkaç aşırı yükleme olduğunu gösterir. Şekil-3.26.a'da görülen kök dibinin kabalığı, tek şok yüklemeyle veya bir kaç yüksek seviyeli yükleme sebebiyle olduğunu gösterir.

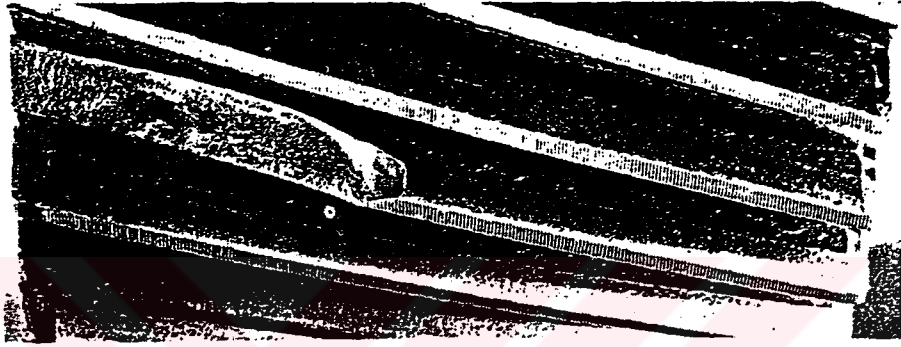
Yorulma kırılmalarına keza, dişlerin daha yüksek eğme gerilmesine maruz kalan kısımlarındaki diş dibi bağlantı yerlerinden kaynaklanabilir. Şekil-3.26.b'de kırık yüzeyindeki relatif olarak düz kum izleri, yavaş ilerleyen çatlağın karakteristiğidir. Şekil-27'de, bir dişli dişinin bir ucunda yanlış sıralanma sonucu kırılmanın tipi görülmektedir.

Yanlış sıralanmanın bilinen sebeperi arasında dişli dişleri kesildiği zaman şafttaki veya dişli kutusundaki aşırı yatak boşluğu, hassas olmayan dişli malafa eğimidir, aşırı sapmadır.

Dişli dişlerinin tepe kısmındaki yorulma kırılması Şekil-28.a'daki pinyon dişlerde görüldüğü gibi bir diş profili ile ağır yüklenmiş dişlerde vuku bulur. Yani yük altında diş defleksiyonuna müsaade edilmez. Temasın ilk noktası dişin tepe kısmıdır ve bu yüzden kırılma yaralanabilir. Yani kırık yüzeyin orijinaliği bozulabilir. Bu problemin çözümü, tasarım düzeltilmesiyle, dişli ilave edilerek yapılır (1).



Şekil-3.26 .a Ani şok yüklemeyle b.Yorulma ile kırılmış dişli dişleri (1)

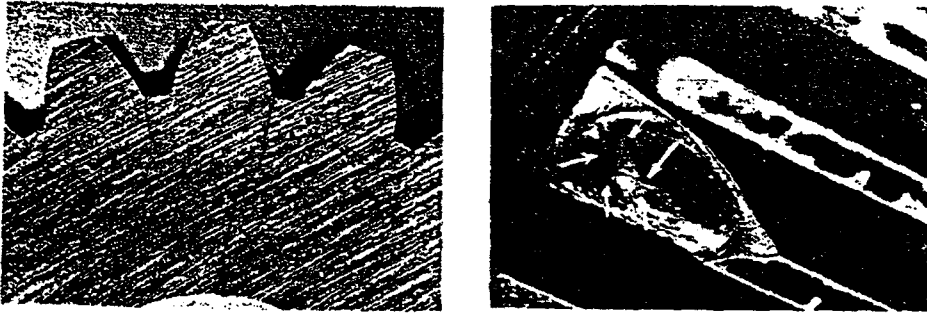


Şekil-3.27 Yanlış sıralanma sonucu dişli dişinde kırılma(1).



Şekil-3.28 a.Pinyon dişin tepe kısmında yorulma kırılması.

b.Düz dişli tipinde yorulma kırılması(1).



Şekil-3.29 a.Sementle edilmiş dişlide radyal yorulma kırılması.

b.Dövme yanması sebebiyle iç dişli dişinde kırılma(1).

3.4.4.4.4. Gerilme Yükselticiler Nedeniyle Yorulma Kırılması

Takım izleri veya yiv şeklindeki mekanik çentikler yüzeyin formundaki metalurjik çentikler ve yüzeyaltı kusurları bilinen gerilim yükselticileridir ki bunlar dişli dişlerinin yorulma kırılmasına yardım ederler. Genelde, böyle gerilme yükselmelerinin kaynağı kusurlu malzeme veya proses hata izi taşır. Aynı zamanda tasarım özelliklerinden dişlerin köklerindeki ağ yarıçapının yetersiz olması gibi mekanik çentikler de hasarı kırılmaya doğru ilerletir.

Şekil-3.28.b'de görülen yorulma kırılması düz bir dişli dişinin kök-ağ kesitinde alttan kesilmesi veya yivler sebebiyle olduğu görülür. Şekil-3.28.b'deki okla gösterilen alttan kesme meydana getirir. Çünkü kesme takımının profil hatasıdır.

Bu düz dişli AMS-6260 çeliğinden dövme ile yapılmış, işlemeden sonra sementle edilmiş, sertleştirilmiş, menevişlenmiştir. Bununla birlikte, hatalı kök profili son kontrolde ortaya çıkmamıştır.

Şekil-3.28.b'de eğme yorulmasıyla meydana gelmiş kırık görülmektedir. Kırılmanın kaynağı dişin sol kenarındaki yüklenmiş çentiktir. Kırılma dişte karşıdan karşıya ilerlemiştir.

Dişlinin diş köklerindeki çok küçük geçiş yarıçapları sonucu hasarda Şekil-3.29.a'da görülmektedir. Bu sementle edilmiş dişlinin diş köklerinde çatlak dişlinin merkezindeki yumuşak kısma doğru ilerler. Şekil-3.29.a'da dişlinin pürüzlü taşlama sonrası kesiti görülmektedir. Şekil-3.29.b'de gösterilen hasarda sonuçlandırılan kusurun kaynağı izafi olarak seyrektiler. Bu iç kama yuvalı dişlinin kırılması, dövme esnasındaki kusurun ilerlemesi sebebiyledir. Bu kusur dövme yanması olarak bilinir ve yüzeyin aşağısında ilerler. Bu dişliye tahribatsız test uygulamasıyla tesbit edilemedi. Dövme yanması Şekil-3.29.b'de oklarla sınırlandırılmış kısımda gösterilmiştir.

Kalıntılar muhtemelen en çok bilinen metalurjik gerilim yükselticileridir. Şekil-3.30'da görülen yorulma hasarında, geniş yüzey altı kalıntılarından kaynaklandığı görülmektedir. Bu örnekteki yorulma çatlakları dişli dişlerinden ziyade dişlinin kenarından başlamıştır. Çatlak, motor testini takiben magnetik partikül kontrolü ile açığa çıkarılabilir.

Metalurjik gerilme yükselticilerin bir diğer tipi sementle edilmiş veya nitrürlenmiş çelik dişlilerin dişlerinde gelişebilen ve yorulma kırılmasına yolaçan Şekil-3.31'de görülen yüzey çekirdek arasındaki çatlaktır. Bu çatlaklar, sementle edilmiş çelik dişlide kalıntı

ostenitin dönüşümü sonucunda, dişli ısıl işlemi takiben soğutulduğunda görülür. Çatlaklar yarımay şeklindedir ve yükleme yapıldığı zaman kırılma vuku buhuncaya kadar diş kesitinde çapraz şekilde ilerler. Bu çatlaklar "İç soğutma çatlakları" olarak bilinir. Çok yüksek bir hızla soğutmanın veya çok yüksek bir sıcaklıktan soğutmanın bir sonucu olarak oluşabilir (1).



Şekil 3.30 Geniş bir yüzeyaltı kalıntısı (1).



Şekil 3.31 Kalıntı ostenitin dönüşümü sonucunda oluşan iç çatlak (1).

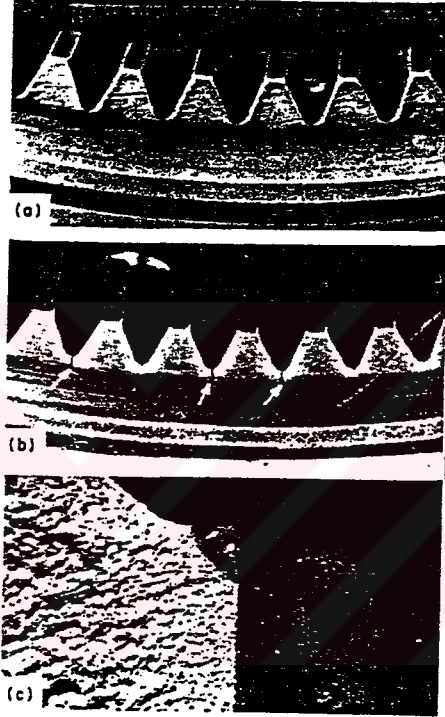
3.4.4.4.5. Ağır Aşınmadan Kaynaklanan Kırılma

Kırılmanın bu tipi, nihai hasarda kırılmanın rolü sebebiyle aşınma hasarı olarak sınıflandırılması daha uygundur. Böylece, örneğin, ağır aşınma veya korozi aşınma dişli dişlerinden azaltılmış diş kesitlerine yeterli metal kontrolünü vererek dişin belirli noktada yük taşıma kapasitesi kaybolur. Bu anda kırılma kaçınılmazdır. Yüzey yorulması sebebiyle fazla oyuklaşma da kırılmaya sebep olur(1).

3.4.4.4.6. Aşırı Yük Kırılması

Aşırı yük kırılması, yorulma kırılması içinde olabilir veya olmayabilir; Hasar analizinin mevcut durumundan ayırt etmek çok zordur. Aşırı yük kırılması, yani, yorulmanın dahil olmadığı yük kırılması hasarın bilinen tipi değildir. a) Aşırı şok yükleme b) Yatak hasarına bağlı olarak dişlerin kaynağı c) Şaft eğilmesi d) Hareket eden dişler arasında yabancı büyük parçanın girmesi sebebiyle vuku bulur. Aşırı yük kırılmasıyla elde edilen kırık yüzeyi yorulma hasarının karakteristik çatlak ilerlemesini vermez. Onun yerine daha sert daha gevrek metallerde bir atlas görünümünde, daha sünek metallerde lifli ve yırtılmış, belirsiz çizgiler görünümündedir. Dişli veya dişin parçaları kırılmaya başladığı

zaman incelenirse, birinci kırılmanın yorulmanın sonucunda ve sonradan meydana gelen kırılmaların ise enkazın bir sonucu olarak meydana geldiği ve kırılmış dişler tarafından yapılan şok yükleme sonucu olduğu görülür. Sementede edilmiş çelik dişlilerde darbenin dahil olduğu aşırı yük kırılması çoğu kez karakteristik bir kırılma halinde olur, yani dişin yüklenmiş kenarında kök dibinden başlayarak çatlama sementede edilmiş yüzeye doğru ve sonra daha sünek çekirdek kesitine doğru ilerler, dişin yüklenmemiş kenarında köke yakın yerde ortaya çıkar. Kırık yüzeyi dışbükeydir (1).



Şekil 3.32 AMS 6260 çelik dişlide taşlama ile oluşan hasar

- a. Dağlama ile açığa çıkmış taşlama yanması
- b. Ok ile gösterilen taşlama çatlakları
- c. Taşlama çatlakları ile çekirdeklenmiş yorulma kırığı (1).

3.4.4.4.7. Çatlaklar

Plastik akış ile ilgili kısımda çatlamanın plastik akışa çok hızlı eşlik ettiğinden bahsedildi. Çatlaklar kötü prosesten kaynaklanan çatlaklar, taşlama çatlakları ve soğutma çatlakları olarak sayılabilir. Çatlak hasarın en çok bilinen tipidir. Kullanımda dişlinin çatlağı bulunamamışsa o genelde kırılma ile sonuçlanır. Sonuçta çatlaklar, dişli tasarımının

bir özelliğinden kaynaklanabilir. Yani iç gerilmelerdeki artma veya dişlinin mukavemetindeki azalmalar veya her ikisi birden etki eder.

3.4.4.4.7.1 Taşlama Çatlakları

Taşlama çatlaklarının tehlikelerinden bir tanesi, onların yüzeye etkili yükleme vuku buluncaya kadar görülmemeleridir. Sonuç olarak çatlaklar, imalat sonrası çok sıkı kontrol de bile gözden kaçabilirler. Taşlama çatlakları, güzel yüzey çatlakları olup genellikle belirli paternleri veya geçiş yapıları takip ederler. Çatlaklar taşlama esnasında düzgün olmayan taşın kullanılması sebebiyle, taşlama hızı veya besleme sebebiyle -Özellikle yüksek C içeren sertleşebilir çeliklerin yüzeyinde- taşlama ile gerilme yükseltilmesinin bir sonucu olarak kalıntı ostenitin martensite dönüşümü ile veya aşırı ısıtılmış ve kendi kendine soğutulmuş bölgenin bir sonucu olarak menevişlenmemiş beyaz martensit meydana gelir. Taşlama çatlakları yorulma kırılmasının veya yorulma nedenli dökülmenin kaynağı olabilirler (1,12).

Şekil-3.32.'de görülen bir iç dişlide taşlama ile ilgili bilinen üç olay gösterilmiştir: Taşlama yanmaları, taşlama çatlakları ve yorulma kırılması. Bu dişli yaklaşık 15.24 cm çapında ve 3.81 cm genişliğinde AMS 6260 çeliğinden yapılmıştır ve sonra sementle edilmiş, sertleştirilmiş ve dişlinin kenar yüzeylerinin ilk ve son taşlanmaları menevişlenmiştir. Dişli bir asit solusyonu kullanılarak dağlandığında, belirgin taşlama yanmaları görülmüştür. Şekil-3.32'de gösterilen yanmaların koyu paternlerinde gözlenmiştir. Çoğunlukla dişli kenar yüzeyinde göze çarpan yanmalar, dişlerin diplerinde meydana gelmiştir. Dişli magnetik-partikül metoduyla kontrol edildiğinde (Şekil-3.32.b'deki oklarla) ince taşlama çatlakları dişli dişlerinin bazılarının köklerinde görülmüştür. Bu saç çizgisi çatlakları, magnetik partikül akışıyla belirgin olarak işaretlendi. Bu çatlaklar dönüşüme hacim değişmesinin eşlik ettiğini gösterir. Şekil-3.32.c'de gösterilen bir yorulma kırığı yüzeyi taşlama çatlaklarının biriyle çekirdeklenmiştir. Kırık yüzeyinin daha üst sağ köşede oklarla taşlama çatlakları gösterilmiştir (1).

3.4.4.4.7.2. Soğutma Çatlakları

Aşırı iç gerilmelerden sonuçlanan soğutma çatlakları, ostenitleme sıcaklığında soğutma süresince oluşur ve taşlama çatlakları gibidir ve yorulma kırığının kaynağı olabilirler. Genellikle diş kesitinde karşıdan karşıya geçen saç çizgisi görünümündedir, diş kökünde yarıçap boyunca takip eder veya dişlerin uçlarında rastgele bir yönde devam eder. Eğer çatlaklar geniş ise, dişli aşırı yüklemeye benzer biçimde, kullanımda relatif olarak birkaç çevrimden sonra hasarlanabilir. Genelde soğutma çatlakları aşırı ostenitleme sıcaklığı veya soğutma hızları sebebiyle, soğutma esnasındaki kesikli soğutma veya soğutma esnasında uygunsuz tutma sebebiyledir (1).

3.4.4.4.8. Çatlama Tasarım İlişkisi

Yağ delikleri, kama yuvaları, ince gövdeler ve keskin köşeler çatlama sebepleri olacak tasarım özellikleri arasındadır. Genelde tasarım-çatlama ilişkisi mekanik-gerilme yükselmesiyle veya yetersiz mukavemet veya her ikisinin izini taşıyabilir. Dişlilerde yağ deliklerinin yerini dişlinin performans ve güvenilirliğinde kritik önemi olabilir. Dişli dişlerinin köklerindeki yağ delikleri çatlama ve ilk kırılmaya yolaçabilir. Düz dişlide de, kısa bir kullanım periyotundan sonra yağ delikleri civarında yorulma çatlakları meydana gelebilir (1).

3.4.4.4.9. Dişli Hasarının Sebepleri ve Tiplerinin İstatistiği

Hasar analizi istatistikinde, dişli hasarının sebepleri ve tiplerinin bütün görünüşlerini sağlaması sebebiyle ve izafi frekanslarla meydana gelen hasar analizleri yeterli numuneler esas alınmıştır.

Çelik dişlilerin klavuz imalatçıları, 35 yıllık periyotta meydana gelmiş, toplam 931 hasarın esas alındığı raporlardan da bir dişli hasar istatistiği hazırlanmıştır. Bütün hasarlar hem tip hem de sebep olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlar, yüzdeler Tablo-3.4'te sunulmuştur (1).

i) Hasarın tipleri: Tablo-3.4'te görüldüğü gibi, dişli hasarının en geniş yüzdesi (%61.2 olarak) kırılma olarak ifade edilmiştir, %20.3 ile yüzey yorulmaları kırılmaları takip eder, aşınma ise %13.2 ile üçüncü sıradadır. Plastik akışı ise %5.3 ile son sırada yer

ahr. Çoğunlukla kırılma hasarlarına dişli dişleri dahildir. Yorulma ile diş kırılması %32.8, aşırı yük ile (%19.5) diş kırılmasından daha çok bilinir.

ii) Hasarın sebepleri: Tablo-3.4'te görüldüğü gibi dişli hasarlarının çoğunluğu kullanım ile ilgilidir (%74.7). Hasarın sebepleri iki maddede toplanabilir: Sürekli aşırı yükleme (%25.0) ve uygunsuz montaj (%21.2). Isıl işlem hatası, hasarın en çok bilinen sebebidir (%16.2), %6.9'la tasarım hataları takip eder. İmalat kusurları (%1.4) ve malzeme kusurları %0.8'dir (1)

Tablo-3.4. 35 senede, 931 dişli hasarının sebep ve tiplerinin istatistiği

Hasar Tipleri % si

Diş Yorulma Kırılması	32.8
Delik Yorulma Kırılması	4.0
Dişin Aşırı Yükleme Kırılması	19.5
Delik Aşırı Yükleme Kırılması	0.6
Diş Çentik Tesiri İle Kırılma	4.3
Toplam Kırılma	61.2

Oyuklaşma	7.2
Dökülme	6.8
Oyuklaşma ve Dökülme	6.3
Toplam Yüzey Yorulması	20.3

Abrasif Aşınma	10.3
Adhesif Aşınma	2.9
Toplam Aşınma	13.2
Toplam Plastik Akış	5.3

Hasar Sebepleri % si

Hatah Montaj	21.2
Yetersiz Yağlama	11.0
Sürekli Aşırı Yükleme	25.0
Darbeli Yükleme	13.9
Yatak Hasarı	0.7
Yanlış Malzeme	1.4
Operatör Hatası	0.3
Elle Hasar	1.2
Toplam Kullanım Hasarı	74.7

Aşırı Çekirdek Sertleşmesi	0.5
Yetersiz Çekirdek Sertleşmesi	2.0
Aşırı Sertlik Derinliği	1.8
Yetersiz Sertlik Derinliği	4.8
Hatah Sertleştirme	5.9
Hatah Menevişleme	1.0
Çarpılma	0.2
Toplam Isıl İşlem Hatah Seb.	16.2

Hatah Tasarım	2.8
Hatah Malzeme Seçimi	1.6
Uygun Olmayan Isıl İşlem Seçimi	2.5
Toplam Tasarım İlişkili Seb.	6.9

Taşlama Yanmaları	0.7
Takım İzleri	0.7
Toplam İmalat İlişkili Sebepler	1.4

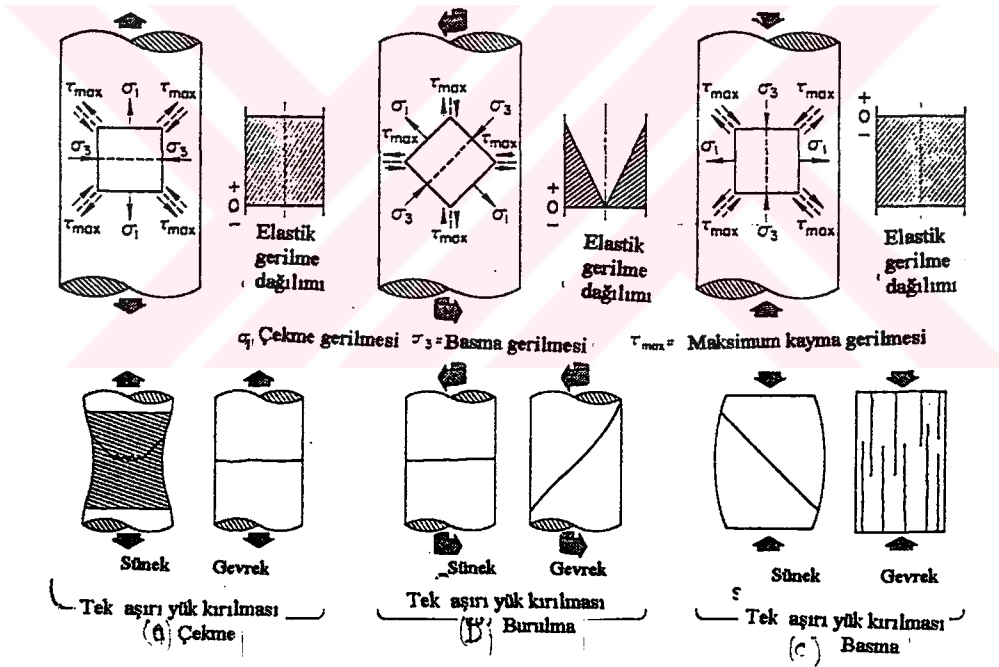
Dövme Kusurları	0.1
Malzeme Kusurları	0.5
Karışık Malzeme Durumu	0.2
Toplam Malzeme İlişkili Sebepler	0.8

3.5 GENEL ŞAFT HASARLARI

3.5.1. Şaftlar Üzerine Etkiyen Gerilme Sistemleri

Bir şafta, gerilme sistemlerinin etkisi kırılmadan önce olduğu bilinmelidir. Statik yük altında da hem sünek hem de gevrek davranışı veya tek aşırı yükte şaft kırılmalarının uygun analizi için davranışlarının böyle tipleri vasıtasıyla karakteristik kırık yüzeylerinin elde edildiği bilinmelidir.

Basit olarak 2-boyutlu serbest cisim diyagramlarında (Şekil-3.33'de) sadece çekme, burma veya basma olarak yüklenmiş bir şafta, herhangi bir iç noktada normal gerilme veya kayma-gerilme sistemlerinin yönlenmeleri görülmektedir. Hem sünek hem gevrek malzemelerinin tek aşırı yükleme kırılmasının davranışı da yükün her tipi için bir grafikte gösterilmiştir.



Şekil-3.33 Bir şaftın çekme, burulma ve basma yükleri altında normal ve kayma gerilmelerinin serbest cisim diyagramında gösterilmektedir (1).

Bir serbest cisim gerilme sistemi son derece küçük boyutlu bir kare olarak düşünülebilir. Çekme ve basma gerilmelerinin birbirine dik hareketinde karenin kenarları biri ötekine göre germe ve sıkma durumundadır. Karenin köşegenleri üzerindeki kayma ve

kesme gerilmeleri, normal gerilme 45° 'dir. 3. boyut radyal gerilmeler ihmal edilmiştir. Sünek ve gevrek malzemeler üzerine, kesme ve normal gerilmelerin etkisi yüklemenin üç tipi altında olarak Şekil-33'de gösterilmiştir.

i) Çekme: Çekme yükü altında, çekme gerilmeleri (σ_1) boyundadır. Oysa basma-gerilme bileşenleri (σ_3) şaft akışının eninedir. Maksimum-kesme-gerilme bileşenleri (T_{max}) şaft eksenine 45° 'dir. (Şekil-3.33.a)

Sünek malzemelerde, kırılma öncesi çekme yoluyla oluştuğu düşünülen (% uzama, boyun verme) şaftın merkezine yakın yerlerde meydana gelir, koniksel bir kesme ile yüzeye doğru genellikle şaft eksenleriyle 45° lik açı yaparak çoğalır.

Gevrek malzemedeki bir kırılma, tek eksenli çekmenin aşırı yüklemesinden çekme gerilmesi yönüne diktir. Kırık yüzeyi görünüşte genellikle pürüzlü ve kristalindir. Gerilim konsantrasyonunun olmadığı, sadece gerilme yüklemesinde elastik-gerilme dağılımı bütün kesitte üniformdur. Böylece, kırılma yüksek gerilimli hacimin içerisinde her noktada olabilir.

ii) Burulma: Bir şafta gerilme sistemi ile 45° lik açı verildiğinde şaft burulmaya yüklenmiştir. Şekil-3.33.b'deki gibi hem çekme hem de basma gerilmeleri şaft eksenleri ile 45° dir ve karşılıklı olarak dikey kalmışlardır. Bir kayma-gerilme bileşeni şaft eksenleri ile paraleldir, diğeri şaft eksenlerine diktir. Burulma pozisyonunda yüklenmiş sünek bir malzemedeki hasarın kırılmaya doğru ilk deformasyonun kayma gerilmeleri sebebiyle olduğu düşünülebilir. Bununla beraber bu deformasyon açıkça belli değildir. Zira şaftın şekli değişmemektedir. Eğer burulmada yüklü bir şaftın sonsuz sayıdaki ince dişlerden meydana geldiği farzedilirse ki bunların burulma gerilmeleri altında her birinin diğerine göre hafif kayması deformasyonun gözönünde canlandırılması olarak basitleştirilmiştir.

Sünek bir malzemenin, tek aşırı yüklü burulma kırılması genellikle enine düzlemde, şaft eksenlerine dik olarak meydana gelir. Sadece burulmada nihai kırılma bölgesi şaftın merkezindedir.

Gevrek bir malzeme anı burulmada çekme gerilme bileşenine dikey olarak kırılacaktır ki, şaft eksenlerine 45° 'dir. Nihai kırılma genellikle bir spiral şeklindedir. Sadece burulmanın olduğu durumda elastik-gerilme dağılımı yüzeyde maksimum ve şaftın merkezinde sıfırdır. Böylece, sadece burulmanın olduğu durumda kırılma normal olarak yüzeyde meydana gelir ki bu da en yüksek gerilimin olduğu bölgedir.

iii) Basma: Bir şaft aksel basmada yüklendiği vakit (Şekil-3.33.c) gerilme sistemleri yer değiştirir, yani basma gerilmesi (σ_3) akseldir ve çekme gerilmesi eninedir. Kayma gerilmesi şaft akselleri ile aksel yüklem boyuna 45° dir. Basmaya aşırı yüklenmiş sünek bir malzemede kayma gerilmeleri deformasyon sebebi olarak düşünülebilir. Fakat genellikle kırılmayla sonuçlanmaz. Şaft da kayma gerilmesinin tesiri altında kısalmış ve şişmiştir. Sadece basmaya yüklenmiş olan bir malzeme, eğer bükülmemiş ise maksimum çekme gerilmesi bileşenine dikey olarak kırılacaktır. Zira çekme gerilmesi eninedir. Gevrek kırılmasının yönü ise şaft akselleri ile paraleldir. Sadece basma yüklemesinde gerilme konsantrasyonunun olmadığı durumda elastik gerilim dağılımı kesitte üniformdur. Eğer kırılma meydana gelmiş ise uzunlamasına olacaktır. Çünkü, basma yükü arttıkça şaftın çapı ve çevredeki metal gerilmesi artacaktır.

iv) Eğme: Bir şaft yüklendiğinde dış bükey yüzey çekme gerilimi etkisindedir ve Şekil-3.33.a'daki gibi benzer elastik-gerilme dağılımına sahiptir. İç bükey yüzey ise basma geriliminin tesiri altındadır. Elastik-gerilme dağılımı ise Şekil-3.33.c'deki gibidir, Konveks ve konkav yüzeyler arasındaki orta yol yaklaşık olarak nötr eksendedir ve burada tüm gerilmeler sıfırdır(1).

3.5.2. Servis Hasarları

3.5.2.1. Yorulma Hasarları

Şaftlarda yorulma genellikle üç esas alt bölümde sınıflanır. Bunlar:

- Eğilme yorulması
- Burulma yorulması
- Aksel yorulmadır.

Eğilme yorulması eğilme yüklerinin tek yönlü, çift yönlü ve dönen tiplerinin bir sonucudur. Tek yönlü eğilmede gerilme bir noktada dalgalanır. Dalgalanma gerilmesi cebirsel işaret değişmeden büyüklükteki değişmedir. İki yönlü eğilme ve dönerek eğilmede ise gerilme her noktada farklıdır. Fark gerilme, zıt işaretli iki gerilmenin arasındaki çevrimi verir. Yani çekme (+), basma (-) veya basma (+), çekme (-)'dir.

Burulma yorulması, bir dalgalanmanın veya fark ikizlenmesi momenti veya torkun uygulanmasından sonuç verebilir. Eksenel yorulma, çekme - basma yüklemesi farkının veya çekme - çekme yüklemesi dalgalanmasının uygulanışından sonuç verebilir(1).

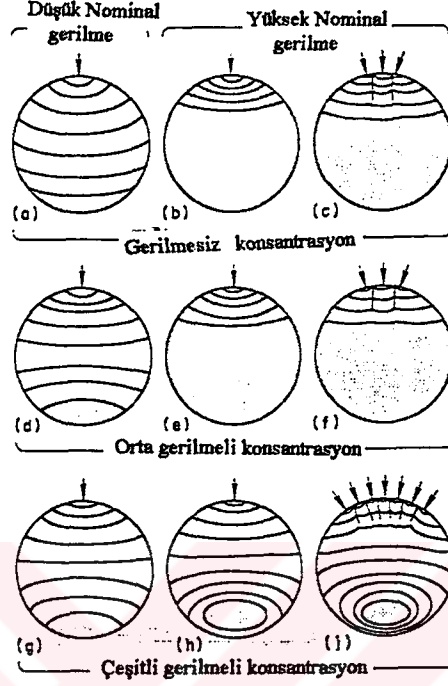
3.5.2.1.1. Tek Eksenli Eğilme Yorulması

Yorulma çatlak orjininin eksenel bölgesi, sabit silindirik bir çubukta veya tek yönlü olarak eğilme moment dalgalanmasına bağlı olarak şafta, moment uzunluğu boyunca, yüzey süreksizlikleri gibi bazı küçük gerilmeler vasıtasıyla belirlenebilir. Şekil-3.34.a ve b'de kum izleri, çatlak izleri görülmektedir. Kum izleri şeklini almış ön çatlak orijin ile simetrik ve konkav şeklin her tarafında vardır. Hem orjinin tek olması hem de nihai kırılma bölgesinin küçüklüğü (Şekil-3.34.a) nominal gerilmenin küçüklüğünü gösterir. Daha büyük nihai kırılma bölgesi (Şekil-3.34.b) daha yüksek nominal gerilme olduğunu gösterir. Şekil-3.34.c'de tipik bir yorulma çatlağının ortaya çıkışı, çeşitli tek çatlaklar olarak yani, tek çatlak hareketinin birleşmiş son şekli olarak görülmektedir. Bir çok orijinler gibi genellikle yüksek nominal gerilmeler gösterilir. Çatlak orijinler arasındaki kabartıların varlığı önemlidir.

Şekil-3.34.d, e ve f normal gerilme konsantrasyonu sağlanarak, şaft uniform olarak yüklendiğinde kesit değiştiği zaman, tipik yorulma kum izleri sonucunu verir. Şekil-3.34.d'de düşük nominal gerilme ile çatlak davranışının konkavdan, konvekse kopmaya doğru değiştiği görülmektedir. Daha yüksek nominal gerilmelerde çatlak şekli düzleşir, nihai kırılma öncesi konvekse dönüşmeyebilir (Şekil-3.34.e ve f'de görüldüğü gibi). Şekil-3.34.g, h ve j de görüldüğü gibi uniform olarak yüklenmiş şaftta, kesitteki değişme yani bir çeşit gerilme konsantrasyonu üretilmesiyle kum izlerinin patternine yol gösterecektir. Bir çeşit gerilme konsantrasyonunun örneği: Bir omuz bağlantısında ve bir şaftın daha küçük çaplı kısmında veya bir kama yuvasının altındaki küçük açılı kavislerdir.

Kırık yüzeyinin çevresinde genellikle bir kavis gibi dış bükey olarak görülür. Şekil-3.34.g'de görülen çatlak ön paterni düşük bir nominal gerilme ile elde edilmiştir. Şekil-3.34.h'daki ön çatlak, dış yüzey sonundaki daha yüksek gerilmeler sebebiyle daha hızlı gelişmiştir. Şekil-3.34.j'de gösterilen kum izleri paterni yüksek nominal gerilme ve tek eksenli eğme ile elde edilmiş çok yönlü çatlak kaynaklarıdır. Takip eden örnekte tek

eksenli eğme gerilmelerinin bir sonucu olarak hasarlanmış bir şaftı tanımlanmaktadır. Kesitte, keskin bir değişimde tek kaynakta çatlak üretilmiştir.



Şekil-3.34 Üniorm yüklenmiş bir şaftta tipik yorulma izleri, oklar nihai kırılma bölgesindeki çatlak kaynaklarını gösteriyor (1).

3.5.2.1.2. Burulma Yorulması

Yorulma çatlaklarının, burulma gerilmeleri nedeniyle olduğu aynı kum izlerinde ve eğme gerilmeleriyle oluşmuş kabartılarda görülür. Eğme gerilmeleri altında, boyuna gerilme yükselmeleri zararsız olarak kıyaslanabilir. Fakat, önemli olan burulma yüklemesi altında dairesel olarak gerilme yükselmeleridir. Burulma yüklenmiş şaftın boylamasına gerilme yükselmelerindeki bu hassasiyet, dönüş yönüne hemen hemen her zaman paralel şaft malzemesindeki kalıntılar sebebiyle pratik önemi düşünülebilir. Burulma yorulması için çatlak kaynağı olarak boyuna bir kalıntı, bir yüzey çizgisi veya bir kama yuvası köşesi ve sonra 45°lik bir yönde olması kuvvetle muhtemeldir (1).

Gerilme yükseldiği vakit, bir çevresel yiv vardır. Gerilme yükselticilerin civarında gerilmelerin farklı durumları vardır ve çekme gerilmeleri kayma gerilmesinin dört katı kadar artar. Bu sebeple, çekme gerilmesi 45°lik düzlemde, çeliğin çekme mukavemetini

aynı çeliğin kayma mukavemetinin ulaşabileceği kayma gerilmelerinden önce aşar. Kırık 45°'lik normal çekme düzleminde meydana gelir.

3.5.2.1.3. Temas Yorulması

Temas yorulması, ezilen bileşenler olduğunda veya kayma ve yuvarlanmanın yüksek temas basıncı altında ve çevrimli yüklemelerde her birinin diğerine karşı hareketiyle olur.

Dökülme yükün birçok tekrarından sonra meydana gelir. Temas yüzeyinde maksimum değer altında, devirli temas gerilmeleriyle yüklemekten metal yorulmasının bir sonucudur. Temas yorulmasına etkin faktörler temas gerilmeleri, malzeme ve metalurji özellikleri, yüzey temasının fiziksel ve kimyasal karakteristikleridir -Yüzeylerin yağlanması ve yağ filmi vs. -.

Yuvarlanma: Temas yorulmasında gerilmenin önemi kayma gerilmesindeki maksimum değişimdir ki hatve boyunca ters yönde ilerler. Ara haddede, bu gerilme yüzeyinin altında bir düzlemde vuku bulur ve yüzey altı yorulma çatlağının başlamasına yolaçabilir. Böyle çatlaklar tekrarlı yükler altında ilerler, yüzeye ulaşırlar ve dökülme oluşur. Ne zaman kayma, haddelemede eğimli kuvvetler ve temas yüzeyi aşağısında gerilmelerin dağılım ve büyüklüğündeki değişimle sürtünme vasıtasıyla ısı gradyanı sebep olur. Kayma gerilmesindeki değişimle büyüklükte yükselir ve kayma hareketinin sonucu sürtünme ile yüzeye daha yakın hareket eder. Dövülmüş ve sertleştirilmiş çelik merdaneler yüzeyleri dökülmeye eğimlidir. Yuvarlakların dökülmesinde şu faktörler düşünülmektedir.

- a) Çalışan merdane ve destek merdane arasındaki kuvvetlerin uzantısını
- b) Haddelemede malzeme ve yuvarlanma arasında üretilen kuvvetler
- c) Elastik deformasyonun bir fonksiyonu olarak boyunca yük dağılımı, bütün bu faktörler karşılıklı olarak birbirini etkilediği halde yuvarlaklar dönerler.

Genellikle, bir yuvarlanmada dökülme belirlenemeyen kaynağın yüzey altı yorulma çatlağının başlangıcı olarak kabul edilir. Bununla beraber, dökülme tek bir sebep olarak kabul edilemez. Dökülme bölgesel gerilim konsantrasyonunun bir sonucu olarak yüzey altından kaynaklanabilir. Plastik akış sebebiyle veya maksimum ters kesmenin belli bir noktasından kırılır. Dökülme etkisi, bileşke dökülme ve temas yorulma çatlağının kaynağına dönüşmeden önce operasyon süresince soğuk şekillendirilmiş yüzeyde üretilen

gerilim etkisiyledir. Soğuk işlenmiş bir yüzey katmanı, maksimum zıt kayma gerilmeleri ile ilgili normal derinliğe ulaşabilir. Keza, dökülmenin potansiyel başlatıcıları olan küçük yüzey çatlakları kontrollu olarak düzeltilebilir(1).

3.5.2.2 Şaftların Gevrek Kırılması

Gevrek kırılma, belirli malzemelerin, özellikle düşük sıcaklıklarda keskin bir çentiğin kökünde bulunan gerilmenin tesiriyle plastik olarak deformasyonudur. Gevrek kırılmalar, çatlak ilerlemesinin fazlasıyla yüksek hızlarında - Belki saniyede 1830 m. belki daha fazla- ki ani kırılmalarla, çatlak başlangıç bölgesinde distorsiyonun küçük bir kanıtı olarak karakterize edilirler. Kırılmanın bu tipi, kırık yüzeyi üzerinde chevrone patenleri olarak bilinen işaretler olarak karakterize edilmişlerdir (1,10).

3.5.2.3. Şaftların Sünek Kırılması

Sünek kırılma benzer kırık yüzeylerdeki sırada genel çekme testlerinde veya vurulma test numunelerinde gözlenebilen dışburulmaun kanıtını gösterir. Şaftın mukavemetinden daha yüksek yüklemenin tek uygulamasıyla bir şaft kırıldığı zaman, genellikle burada kırılmaya daha önceki plastik deformasyon düşünülebilir. Bu deformasyon genellikle çekmede kırılmış bir şaftın kontrolünde kolaylıkla görülür. Fakat genellikle şaft burulmada kırıldığı zaman görülemez. Malzemenin bu kabiliyeti, süneklik olarak bilinen yan özelliğidir. Şaftın kırık yüzeyinin görünüşü sünek bir tarzda (biçimde) yorulmuştur. Keza şaft yükleme hızına ve birçok alaşımlar için sıcaklığa maruz kaldığı, gerilmenin tipi şaft şeklinin bir fonksiyonudur (1).

Genelde, süneklik:

a) Soğuk işlemle veya ısıl işlemle metalin mukavemetinin artmasıyla azalır.
b) Bir çentik duyarlı malzemede, çentiklerin, boşlukların, kalıntıların, çiziklerin ve porozitenin varlığıyla azalır.

c) Yükleme hızının artışıyla azalır.

d) Birçok alaşımlarda sıcaklık düşmesiyle azalır.

Şaftın sünek kırılması normal kullanımda nadiren vuku bulur. Bununla birlikte sünek kırılmalar, eğer kullanım ihtiyaçları azaltılmışsa, eğer kuvvetli olmayan bir malzeme

kullanılmışsa veya eğer şaft bir tesadüf olarak tek aşırı yüke maruz kalmışsa meydana gelebilir (1,10).

3.5.2.4. Şaftların Bozunumu

Bir şaftın distorsiyonu, onun fonksiyonu niyetinde kullanımında şaftı güçsüz yapar. Sürekli distorsiyonu basitçe anlamı uygulanmış gerilmenin, malzemenin akma mukavemetini aşmasıdır. Eğer, şaftın tasarımının modifiye edilmesi mümkün değilse, şaft malzemesinin akma mukavemeti uygulanmış gerilmeye karşı koyarak yükselmelidir. Bunun için ya daha kuvvetli malzeme kullanılarak ya da orijinal malzemenin ısıl işlemle daha yüksek mukavemete çıkarılmasıyla artırılır (1).

3.5.2.5. Şaftların Sürünmesi ve Kopma Gerilmesi

Sürünme, yüksek sıcaklıkta da gerilmeler etkisi altında meydana gelen, zamana bağlı deformasyon ile tanımlanır. Yükleme anında, metalin akma mukavemetini aşmamak için de temin edilir. Eğer sürünme, kırılmaya kadar devam edecekse, kopma gerilmesiyle hasarlanmış parçadan belli olur. Gaz türbinleri gibi, jet uzay motorları gibi bazı yüksek sıcaklık uygulamaları sadece sürünme ile sınırlanmış nokta miktarı ile gerilme ve sıcaklığın en uç şartları altındaki operasyonlar için malzemeye ihtiyaç duyulabilir. Diğer yüksek sıcaklık uygulamalarında musaade edilebilir deformasyon yüksektir ve hatta sınırsız olabilir. Parçanın ömrü süresince kopma vuku bulmayıncaya kadardır. Kullanımın bu tipi için uzun zamanlı sürünme verilerinden ziyade, gerilme kopma verileri tasarım için kullanılır (1).

3.5.3. Üretim Hasarları

3.5.3.1 Fabrikasyon Uygulamalarının Etkisi

Bir şaftın imalatı esnasında yüzey süreksizlikleri oluşur ve şaftın bir makineye montajı esnasında gerilim konsantrasyon noktaları haline dönüşür ve böylece şaft hasarı ile sonuçlanır. Operasyonlar veya şaftlar gerilim yükselticilerinin dahil olduğu bu tipi oluştururlar (1):

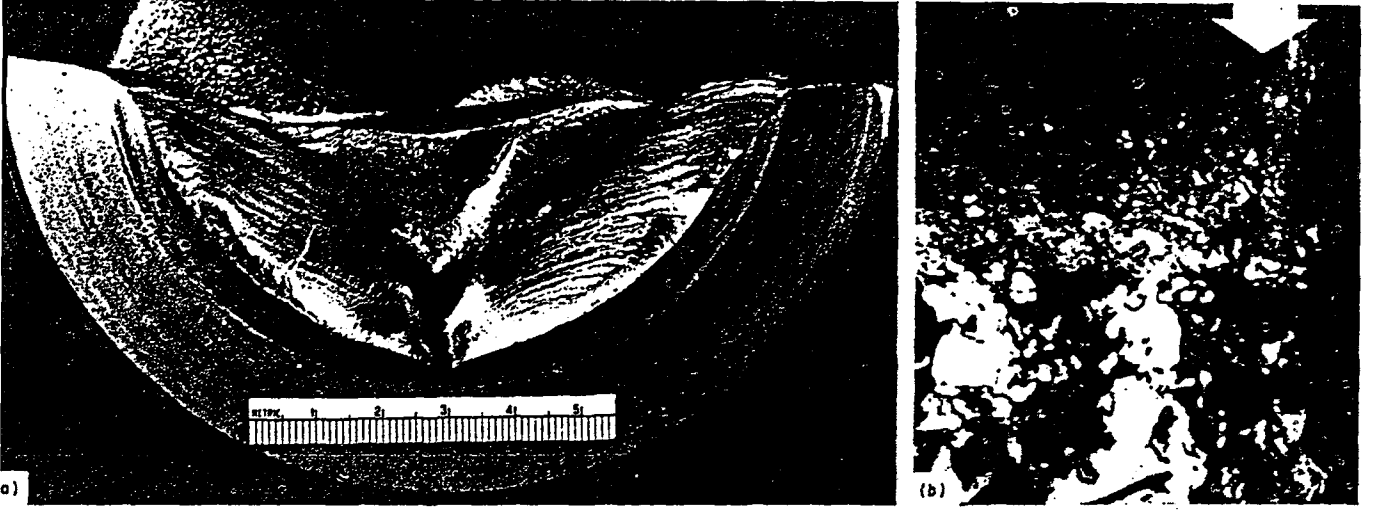
- a) İmalat operasyonları ile takım işleri, çizik gibi gerilim yükselticilerinin girişi
 - b) İmalat operasyonları ile yüzeyde yüksek çekme gerilmelerinin girişi uygun olmayan taşlama gibi, tekrar kaynaklama, elektro tamirat işleme ve ark yanmaları gibi
 - c) Proseslerle metal zayıflamasının girişi, dövme akış hatları gibi yüzey ile paralel olmayan, kaplamadan hidrojen gevrekleşmesi gibi, veya ısı işlemler dekarburizasyon gibi.
- Yorulma devamı, şaftın yüzeyine kalıcı yüksek kalıcı basınç gerilmeleri verilerek yükseltilebilir. Bu, yüzey haddemesi ile yanma, biye püskürtme veya indüksiyonla yüzey sertleştirilmesiyle oluşabilir.

3.5.3.2. Hatalı Talaşlı İmalat

Şaft hasarlarını oluşturabilecek pekçok neden vardır. Onlar tanınmadıkça servis hasar problemlerinin düzeltilmesi zor olabilir. İşlenmiş parçanın yüzeyinde metal soğuk işlenmiş ve yaklaşık 0.5-0.75 mm. derinliğinde son derece gerilmiş görülebilir. Bazen işleme esnasında ısı oluşur -özellikle taşlamada- dönüşüm sıcaklığının üzerine çeliğin ince bir tabakasının yeter derecede ısıtılmasıdır ve böylece soğutmada yüzeyde martensitik sertleşmeye sebep olur. Bölgesel ısıtılmış metalin, ısı genleşme ve büzülmesi sonucunda gerilmelerle bile yüzey altı yeterli büyüklükte çatlak oluşabilir. Pürüzlü bir işleme operasyonu ile gerilme konsantrasyonunun olduğu keskin köşeler ve yüzey çatlakları sıcak düzeltme esnasında veya taş yırtılmaları, çizikler veya yüzey çentiklerini oluştururlar ki bunlar yorulma çatlaklarının başlangıç noktalarını meydana getirirler.

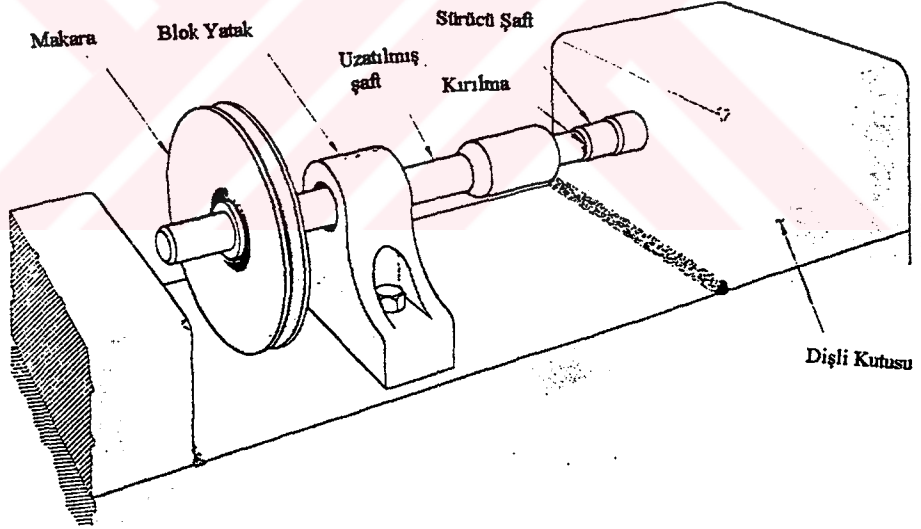
3.5.3.3. Montaj Hasarı

Montaj esnasındaki operasyonlarda bazen yayılı sıralanma şaftların performansına zarar verebilir. Bileşenlerin uygun sıralanışı (yataklar, contalar, pedallar gibi) kaynaklanan titreşim üzerinde etkiye sahiptir, ondan sonra da şaftın yorulma performansı üzerinde etkilidir. Yanlış sıralama veya sıralamada toleransın sınırları içindeki bir değişme bile, birleşmede bir gerilim yükseltici ile derin iz gibi, geniş metal olmayan kalıntı gibi, bir yorulma çatlağı başlatabilir. Şekil-3.35a'da kırık yüzeyi gösterilen bir dizel motorun krank şaftı uzun yıllar kullanılmıştı. Motor aşırı çekmişti ve şaft yatakları krom kaplıydı. Motor sadece birkaç yüz saat çalıştıktan sonra krank şaftı hasarlanmıştı (1).



Şekil 3.35 a. Yanlış sıralanma sebebiyle kırılmış krank şaftın kırık yüzeyindeki yorulma izleri

b. Aynı krank şaftın 500X, nital ile dağlanmış mikro yapısı. Bazı kalıntılar ve küçük çatlaklar ok ile görülmektedir.



Şekil 3.36 Sürücü şaft ile uzatılan şaftın yanlış sıralanması sonucunda, şaft çapındaki değişim, şaftın eğilme yorulma kırılması ile sonuçlandı (1).

Kırık orijininde çizikler veya takım işleme izleri bulunmadı. Kırık yüzeyin kesiti içinden yapılmış metalografik inceleme kırık yüzeyine paralel çok güzel çatlakların ve inklüzyon çizgilerini açığa çıkardı.

Şekil-3.36'da gösterilen montajda sürücü şaft ile uzatılmış şaftın yanlış sıralaması sonucunda şaft çapındaki bir değişimde şaftın eğme yorulma kırılmasıyla sonuçlandı. Dişli kutusundan dışarı çıkartılmış sürücü şaft, makinanın tabanına rigid olarak monte edildi fakat uzatılan şaft yastık blok yatağında desteklendi. Yastık bloğun sıklığındaki sapma, uzatılmış şaftı aşağı doğru, sürücü şaftta eğme gerilmelerinin önemi gibi verdi.

3.5.3.4. Isıl İşlem

Çoğunlukla şaftlarda malzemenin mekanik özellikleri soğuk çekme ve ısıtma işlemi geliştirilir. Çapta 75 mm.den daha az şaftların su verilmesi ve menevişlenmesinde, martensitik mikroyapı etkindir, menevişlenmiş sertlik 235 BSD ve daha yüksektir. Buradaki özellikler, şaft malzemesinin her tarafında onun enine kesitinde önemlidir. En düşük ostenitleme sıcaklığının kullanılmasıyla istenilen gerilme genellikle iyi pratiktir. Şaftın daha yüksek kırılma tokluğunda, kırılma daha geniş çatlakla ihtiyaç duyacaktır. Çoğunlukla şaftlar için, burada yüzey gerilmeleri yüksek çatlak başlangıcı ile ilgili yüzey dekarburizasyonu büyük problem olabilir.

Çok geniş şaftlar için, devirli hızlar genelde yeterli yükseklikte yani iç merkezi gerilmelerle çoğunlukla ilgilidir.

Şaftlar için, ısıtma işlemleri optimum gerilmeyi vermesi ve tokluğun bütün kesit boyunca uniform olmasıyla tasarımı edilmiştir. Burada parçalar gevrek kırılmanın vuku bulacağı sertlik seviyesinin aşağısındadır. Nitratasyon kullanılabildiğinde sertleşmiş yüzeyde basma gerilmeleri oluşarak yorulma limiti gelişecektir (1).

3.5.4 Malzeme ile İlgili Hasarlar

Bir malzemenin yorulma özellikleri birincil olarak mikroyapısına bağlıdır. Kalıntı içeriği, sertlik, çekme dayanımı, kalıntı gerilmeleri dağılımı ve gerilim konsantratörlerinin çeşitliliği vardır (1).

3.5.4.1. İç Süreksizlikler

Porozite, geniş kalıntılar, tabakalar gibi, dövme katmanları ve borunun merkez çizgisindeki belirli şartlar altında gerilim konsantratörleri gibi hareket edeceklerdir ve

yorulma kırılma kaynağı olabilirler. Süreksizliklerin etkisini anlamak için yüzey veya iç her bölgede meydana gelen kırığın realize edilmesi şarttır. Burada gerilmeler, malzeme dayanımını ilk olarak açarlar. Gerilmenin yüzeyde maksimum yani merkezde veya nötr eksenlerde 0 olması sebebiyle gerilme gradyanın burulmada ya da eğmede düşünülmelidir. Bununla beraber çekmede gerilme esas olarak kesitte uniformdur. Eğer süreksizlikler, böyle not edildiği gibi eğme veya burulma yüklemeyle daha yüksek gerilmiş bir bölge üzerinde meydana gelirse yorulma çatlağa başlayabilir. Halbuki., eğer süreksizlikler düşük bir gerilme bölgesinde nötr eksen civarı gibi olursa daha az zararlı olacaktır. Benzer olarak, tekrarlı yüksek çekme yüklemeyle gerilmiş bir şaft nötr ekseninin olmaması için önemli kusurlardan arınmış olmalı, eğer gerilmenin dayanım ile ilgisi yüksek ise her kusur bir gerilim konsantratörü olabilir, yorulma çatlak başlangıcı olabilir.

Esas gerilmeye paralel yönelmiş metal dışı kalıntılar yorulma direnci üzerinde büyük olarak bir etki ortaya koyamazlar. Asal gerilmeye dik olmalıdırlar (1).

3.5.4.2. Tane Büyüklüğü, Bileşim, Mikroyapı

Bir şaft malzemesinin mikroyapısı, bileşimi ve tane büyüklüğü, söz konusu malzemenin dayanım ve tokluğunu geniş ölçüde belirler böylece şaft malzemesinin performansı bilinir. Genellikle, güzel iyi tanelenmiş, düşük sıcaklık dönüşüm ürünü martensit veya beynit arzu edilir. Bununla beraber yüksek sıcaklığın dahil olduğu yerde kaba tane büyüklüğü tercih edilmiştir.

Tane büyüklüğü, bileşim ve mikroyapı verilen her dayanım seviyesinde malzeme tokluğuna etki eder, yalnız bu faktörler kombineli oldukları zaman, tokluğu düşürürler ve şaftın gevrek kırılmasına katkıda bulunurlar (1).

3.5.4.3. Tokluk ve Geçiş Sıcaklığı

Genellikle büyük çaplı şaftlarda daha önemlidir. Küçük çaplı şaftın ömrü genellikle hem yorulma çatlak başlangıcı için zaman ihtiyacına hem de çatlak ilerleme hızıyla belirlenir. Büyük çaplı şaftların, kritik büyüklükte çatlaklar ihtiva etmesi daha muhtemeldir. Böylece büyük çaplı şaftın ömrü genellikle tek olarak önce varolan yarıklardan kaynaklanan çatlakların ilerleme hızıyla belirlenir. Büyük çaplı şaftlar için,

yüksek iç gerilmeler ile tokluğun minimum seviyesi tahmin edilir, toleranslandırılabilir çatlakların maksimum büyüklüğünü belirlemek için şafta minimum işleme sıcaklığı da bilinmelidir (1).

3.5.4.4. Meneviş Gevrekliği

Belirli şaft çeliklerinin meneviş gevrekliği özellikle Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Ni-Cr-Mo-V çeliklerinde döner şaftlarda kullanıldıklarında 350°-570° C'de uzamadan veya bu sıcaklık aralığına yavaş soğutmadan sonra açığa çıkar. İçten hızlı soğutma yaparak bu sıcaklık aralığını hızlı geçmekle meneviş gevrekliği minimize edilir. Buna rağmen, kalın parçalarda bu prosedür mümkün olmayabilir ve meneviş gevrekliği meydana gelebilir.

Meneviş gevrekliği 350°-570° C arasındaki sıcaklığın üzerine yeniden menevişleme ile değiştirilebilir takiben içten hızlı soğutma ile bu aralık tokluğa geri verebilir.

Meneviş gevrekliği darbe tokluğunu, sünek-gevrek geçiş sıcaklığının artışıyla düşürür ve sünek kırılmanın miktarı azalır. Bunun daha geniş çaplı şaftlar için daha önemli olacağı düşünülmelidir. Çelikler için, meneviş gevrekliğinin hassasiyetini gevrekliğin derecesi, gelişmesi geniş olarak -çeliğin bileşimine, ısı işleme ve kullanım şartlarına bağlı olduğunu- ortaya koyar. Bileşimle ilgili, Mo'nin miktarındaki %0.2 den %0.3 e artış meneviş gevrekliğini geciktirmede önemlidir. Molibdenin daha fazla ilavesi, fayda vermez. Molibdenin etkisi meneviş gevrekliğini ortadan kaldırır, çeliğin saflığını artırır. Kalıntıların toplam miktarı (Kükürt + Fosfor + Demir dışı elementler + Gazlar) milyonda (ppm) olarak ifade edilir. Bu miktar konvansiyonel saflıklardaki çeliklerde yaklaşık 1500 ppm değerindedir. Çok temiz çeliklerde 1000 ppm ve extra temiz çeliklerde 500 ppm'dir (1,8).

3.5.5. Tasarım İle İlgili Hasarlar

3.5.5.1. Şaftlardaki Gerilim Kaynakları

Şaftlarda kullanım hasarları çoğunlukla, gerilme yoğunlaşması sebebi gibi bazı şartlara atfedilir. Dar sınırlı bölgelerde belli bir değerine yükselmiş gerilme değeri malzemede, yükleme çevriminin miktarına karşı koyacak özelliktedir.

Bir çatlak, başlaması için malzemenin yorulma mukavemetinin üzerinde, sadece küçük bir alanda tekrarlı gerilmeye ihtiyacı vardır. Küçük yüzey düzensizlikleri gibi görülen önemsiz kusurlar şaftın yorulma mukavemetini bir kaç kez düşürürler. Kusur civarında gerilme seviyesi yüksektir.

Burulma ve eğme yorulmasında çoğunlukla etkinen bölge şaftın yüzeyindedir. Bir yüzey konfigürasyonunun ani değişmesi, gerilmenin yönüne ve süreksizliğin oryantasyonuna bağlı olarak hasar etkisine bağlı olabilir. Yağ delikleri, kama yuvaları veya şaft çapındaki değişimler hasar etkisi yapma eğilimindedirler. Çaptaki değişim, bir yağ deliği bölgesi, kama yuvalarının şekil ve tipi, yorulma çentik faktörleri ve gerilme yoğunlaşması sonucunun büyüklük üzerindeki etkisi işaretlenerek ortaya çıkmıştır (1,10).

3.5.5.1.1. Gerilim Kaynaklarının Tipleri

Gerilim kaynaklarının çoğunluğu aşağıdaki genel grupların birisinin içinde yer alabilirler:

- 1.Şaft çapında üniformluk olmaması, çap değişimindeki adımlar, boşluklar, keskin köşeler, kama yuvaları, yivler, lifler, sıkı geçmeler ve pres geçmeler,
- 2.Fabrikasyon uygulamardan veya kullanım hasarlarından doğan yüzey süreksizlikleri, birleşme hataları, çentikler, kertikler, işleme izleri, belirleme işaretleri, dövme katmerleri, oluklaşmalar ve korozyon gibi;
- 3.İç süreksizlikler porozite, büzülme, metal dışı kalıntıların ağırlığı, çatlaklar ve boşluklar.

Şaft hasarları çoğunlukla 1. gruptaki gerilme yükselmeleriyle başlar. Örneğin; bir şafttaki değişim geçiş zonunda gerilme yoğunlaşması ile sonuçlanabilir. Eğer düzensiz bir yüzey varsa veya bu zonda diğer süreksizlikler varsa gerilme bu süreksizlikler çevresinde keskin olarak artar (1,4).

3.5.5.1.2. Şaft Çapı Değişiminin Etkisi

Şaft çapındaki değişimde gerilmelerin konsantrasyonu şaft çapında, daha küçük çap oranında değişir. Bu ani değişimin etkileri ve 3 aşamalı değişimler gerilme konsantrasyonu kesitinde şematik olarak Şekil-3.36'da gösterilmiştir. Sırtın ara kesitinde

keskin köşede ve Şekil-3.36'daki şaftta köşede gerilmelerin yoğunluğu daha geniş çaptan, daha küçük çapa geçerler. Şekil-3.36'da gösterilen büyük yarıçaplı kavisler gerilmelerin bir minimum ile sınırlanmasına müsaade ederler. Halbuki bileşenler daha küçük çap kesiti ile eğimli olmalıdır. Aksi halde keskin bir arakesit genişyarıçap ağının faydalı etkisinin üstesinden gelecek keskin bir arakesitle sonuçlanacaktır (1).



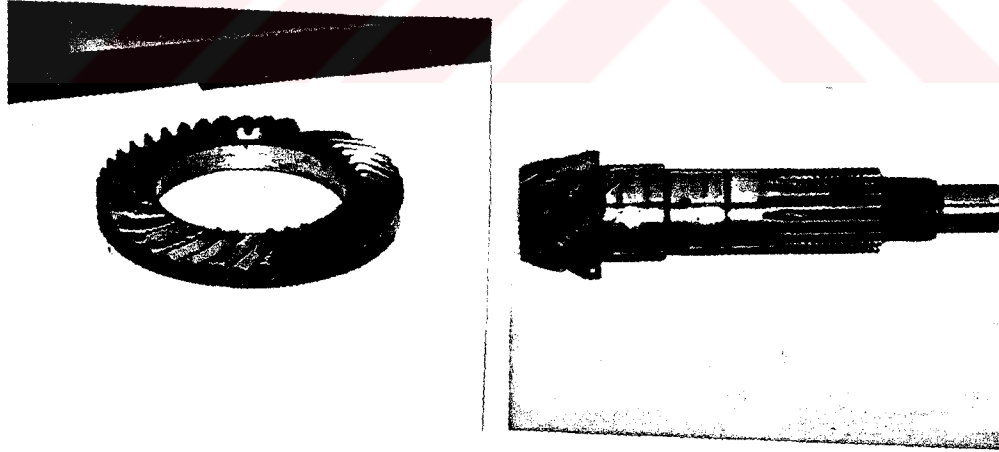
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneylerde Kullanılan Hasarlı Malzemeler

Deneylerde, steyr traktörlerine ait kullanım esnasında hasarlanmış ve çifçi tarafından kırılma nedeni araştırılması istenilmiş hasarlı malzemeler kullanılmıştır. Bunlar krank mili (3 Adet), ayna ve mahruti dişlileri, ön aks pimi ve kuyruk milidir. Bu hasarlı parçaları incelerken her birisi için malzeme, imalat prosedürü ve hasarın incelenmesi metalografik inceleme, sertlik incelemesi ve SEM incelemesi şeklinde bir sıra takip edilmiştir.



Şekil-4.37 Hasarlı Krank Mili



Şekil-4.38 Hasarlı Ayna ve Mahruti Dişlisi

a. Ayna Dişlisi

b. Mahruti Dişlisi

4.1.1. Malzeme

Deneylerde kullandığımız hasarlı malzemelerin Krank Mili için DIN 49MnVS3, ayna ve mahruti dişlisi için DIN 20MnCr5, ön aks pimi için DIN 41Cr4 ve kuyruk mili içinde 20MnCr5 olmaları gerektiği teknik dökümantasyonlarda belirtilmiştir.

Her birisi için DIN standartlarında belirlenen analiz değerleri ve yapılan spektrometre analizleri aşağıda verilmiştir.

Tablo-4.5 Hasarlı Krank Mili İçin: DIN 49MnVS3

Literatürde İstenilen Kim. Analiz

Hasarlı Parçanın Kim. Analiz

		1. Numune	2. Numune	3. Numune
%C : 0.44-0.54	%C	0.539	0.450	0.482
%Si : <0.60	%Si	0.290	0.255	0.250
%Mn: 0.60-1.0	%Mn	0.970	0.748	1.000
%P: 0.035	%P	0.023	0.022	0.012
%S: 0.045-0.065	%S	0.084	0.051	0.077
%V: 0.080-0.13	%V	0.106	0.095	0.085

Tablo-4.6 Hasarlı Ayna-Mahruti Dişlisi ve Kuyruk Mili İçin:DIN 20MnCr5

Literatürde İstenilen Kim. Analiz

Hasarlı Parçanın Kim. Analiz

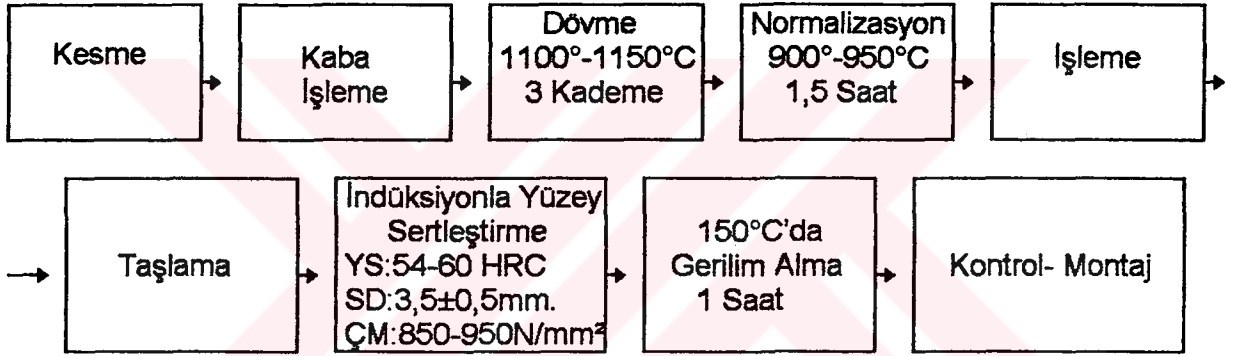
		Ayna Diş.	Mah. Diş.	Kuyruk Mil.
%C: 0.17-0.22	%C	0.19	0.20	0.21
%Si :<0.40	%Si	0.27	0.27	0.30
%Mn:1.1-1.4	%Mn	1.09	1.16	1.20
%P: 0.035 max.	%P	0.024	0.021	0.025
%S: 0.035 max	%S	0.021	0.018	0.026
%Cr: 1.0-1.3	%Cr	1.02	1.08	1.01

Tablo-4.7 Hasarlı Ön Aks Pimi İçin :DIN 41Cr4

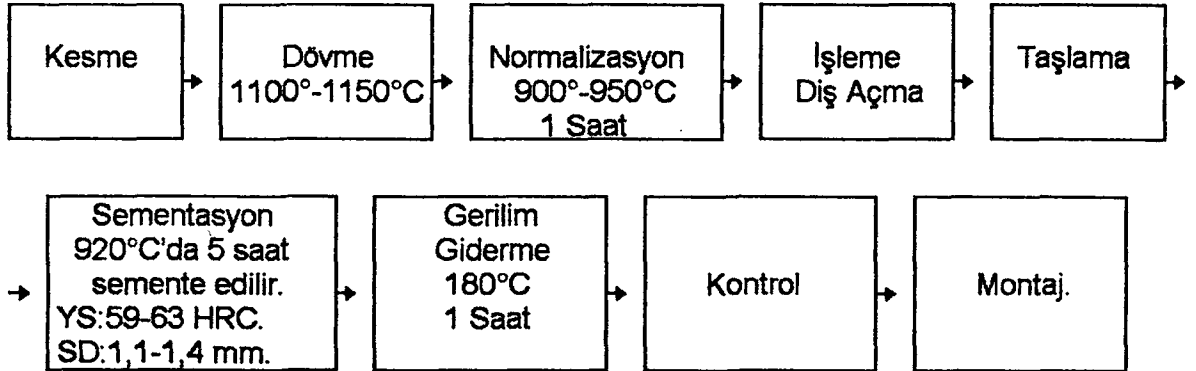
Literatürde İstenilen Kim. Analiz	Hasarlı Parçanın Kim. Analiz
%C :0.38-0.45	%C :0.49
%Si :<0.40	%Si :0.26
%Mn:0.60-0.90	%Mn:0.58
%P :0.035	%P :0.022
%S :0.03	%S :0.015
%Cr:0.90-1.20	%Cr:0.07

4.1.2.İmalat Prosedürü

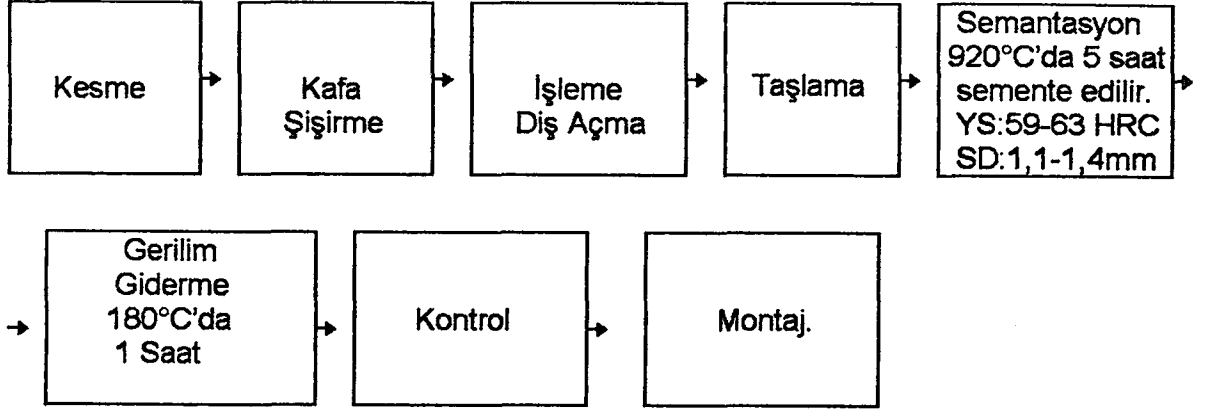
•Krank Mili;



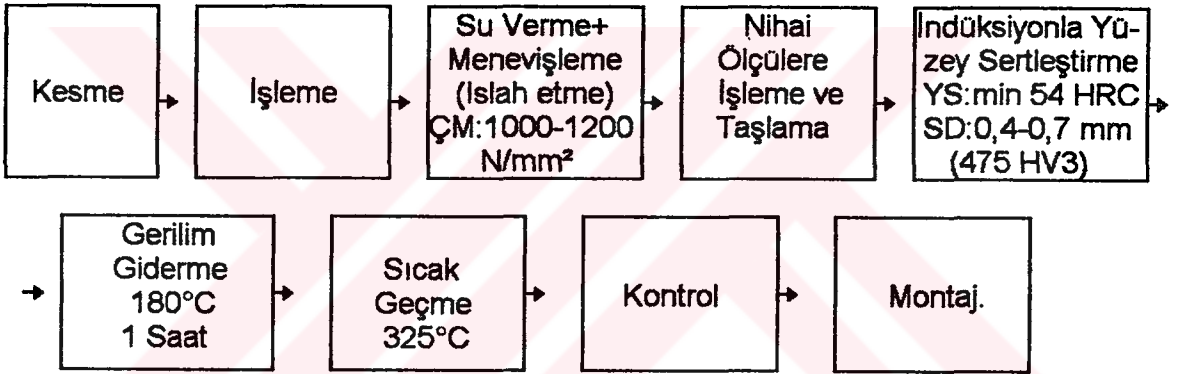
•Ayna Dişlisi;



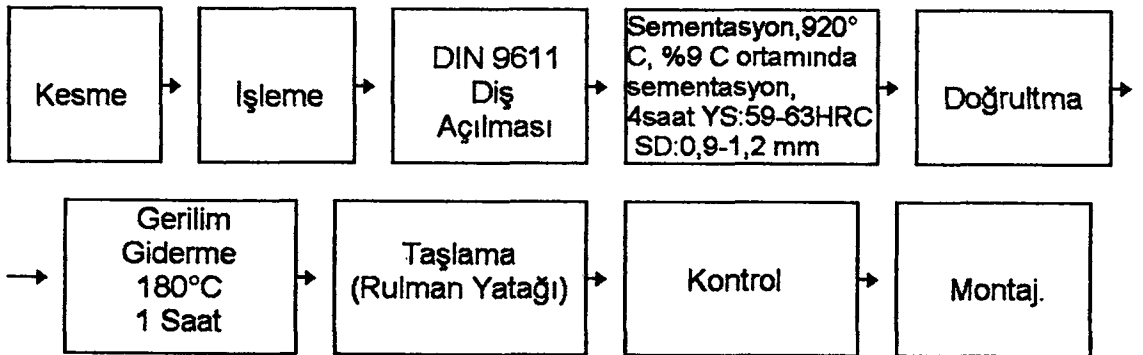
•Mahruti Dişlisi;



•Ön Aks Pimi;



•Kuyruk Mili;



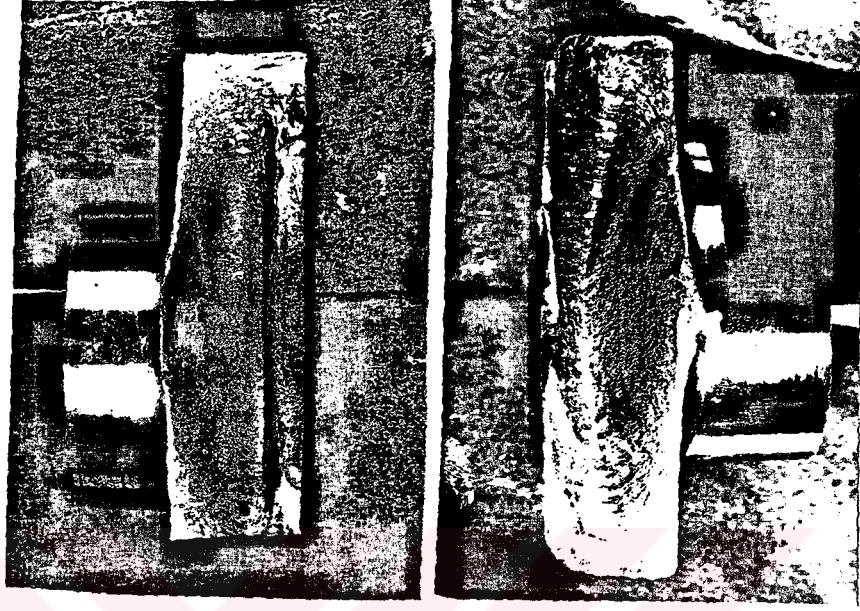
Kısaltmalar:

YS: Yüzey Sertliği (HRC.)

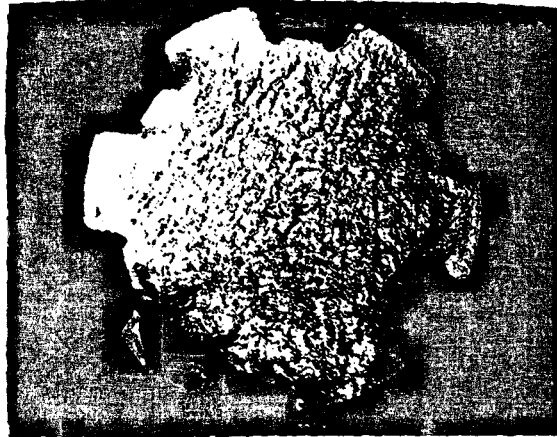
SD: Sertlik Derinliği(mm.)

ÇM:ÇekirdekMukavemeti(N/mm²)

4.1.3. Hasarın İncelenmesi



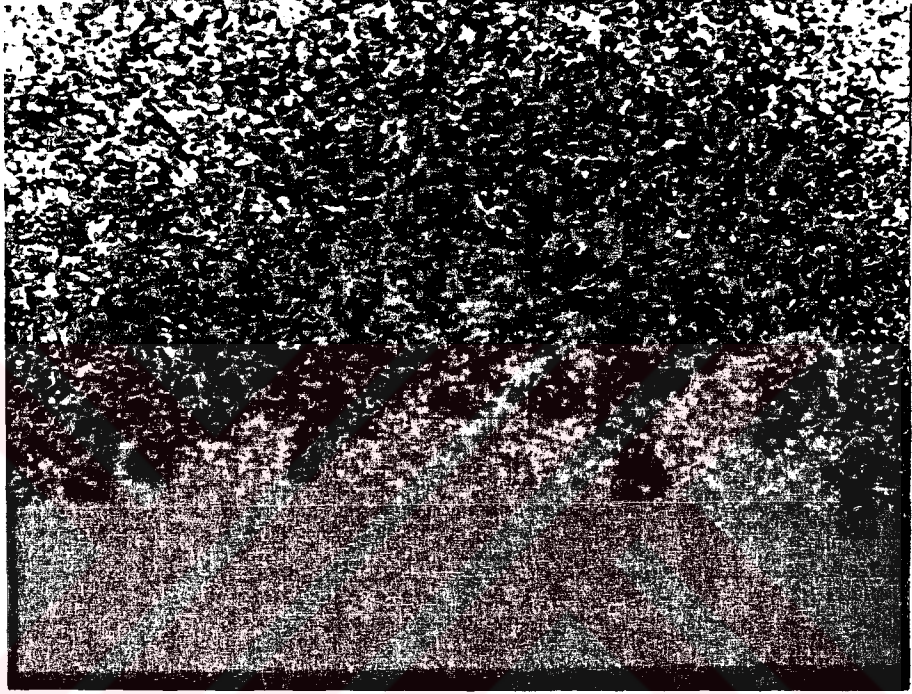
Şekil-4.39 Hasarlı krank mili numunelerine ait makro kırık yüzey fotoğrafları, sağdaki fotoğrafta yorulma damarları belirgin olarak görülmekte, muhtemelen çatlak başlangıcı şaft üzerine yakın görülen iki belirgin kaynaktan başlamış (2).



Şekil-4.40 Hasarlı kuyruk miline ait makro kırık yüzey fotoğrafı muhtemelen burulma sonucu yorulularak kırılmıştır (2).

4.1.3.1. Metallografik İnceleme

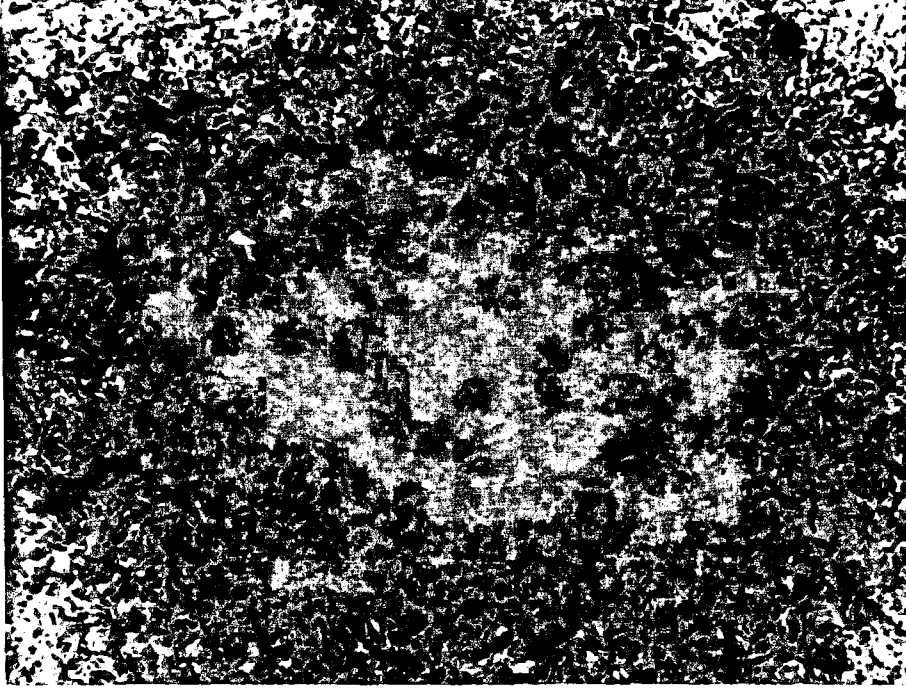
Hasarlı malzemelerin metallografik olarak incelenmesi hasarın ısıtılma işlemi, mikroyapı, istenmeyen kalıntılar gibi sebeplerle meydana gelip gelmediğini ortaya koyar. Deneyisel çalışmalarımızda, hasarlı örneklerden enine ve boyuna kesitlerden numuneler alınıp incelenmiştir (9).



Nital %3

30 μm

Şekil-4.41. 49MnVS3 mikro alşımlı çelik malzemedan (1 nolu numune) dövölerek imal edilmiş + indüksiyonla sertleştirilmiş krank milinin kabuk bölgesinde martenzitik mikroyapı görölmeğtedir.



Nital %3

15 μm

Şekil-4.42: Aynı malzemenin kabuktan çekirdeğe doğru geçiş bölgesi Martensitik ve Beynitik mikroyapı.



Nital %3

15 μm

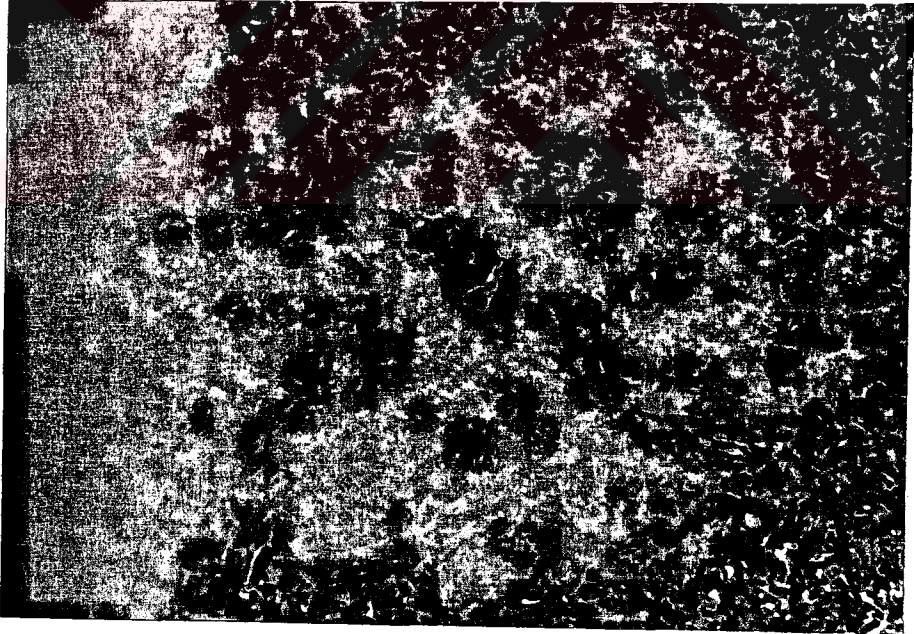
Şekil-4.43: Aynı malzemeye ait çekirdek bölgesi tane sınırlarında ferrit ağının olduğu ince perlitik mikroyapı görülmektedir.



Nital %3

15 μm

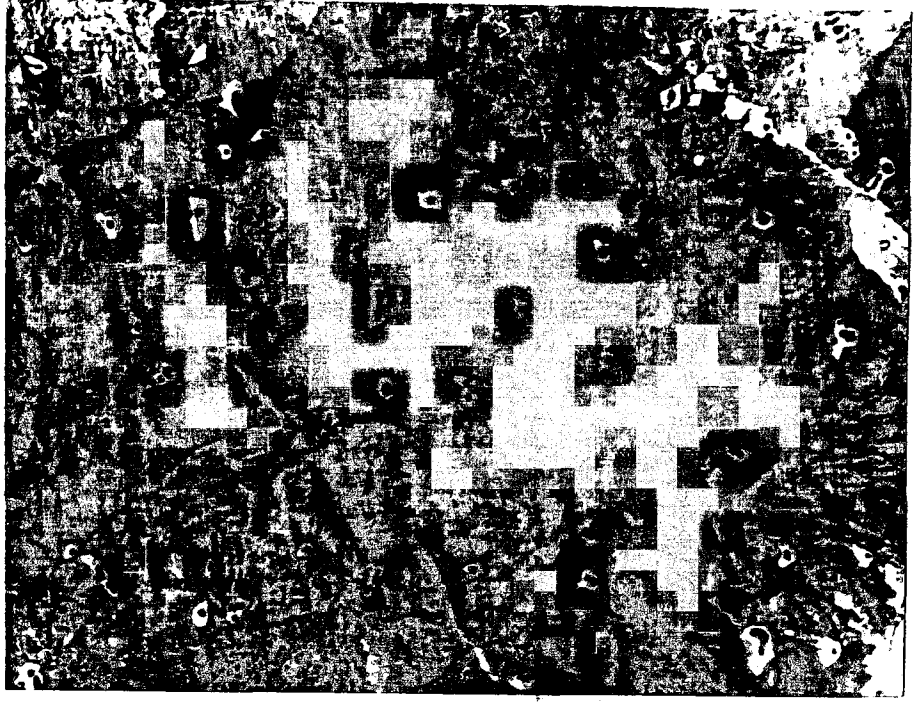
Şekil-4.44: Aynı malzemeye ait çekirdek bölgesinde perlitik yapı ve tane sınırlarında ferrit görülmektedir.



Nital %3

30 μm

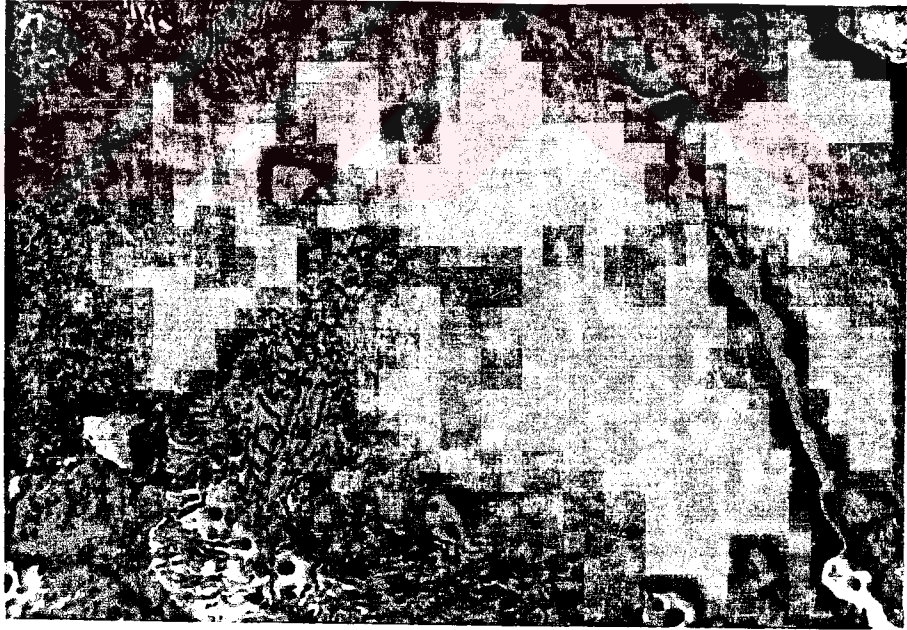
Şekil-4.45: 49MnVS3 malzemedan (2 nolu numune) dövülerek imal edilmiş ve indüksiyonla sertleştirilmiş krank milinin kabuk bölgesi, martenzitik mikroyapı.



Nital %3

15 μm

Şekil-4.46: Aynı numuneye ait çekirdeğe yakın geçiş bölgesi, ince perlitik mikroyapıda yoğun kalıntı görülmektedir. Beyaz adacıkların ortasında muhtemelen MnS kalıntıları görülmektedir.



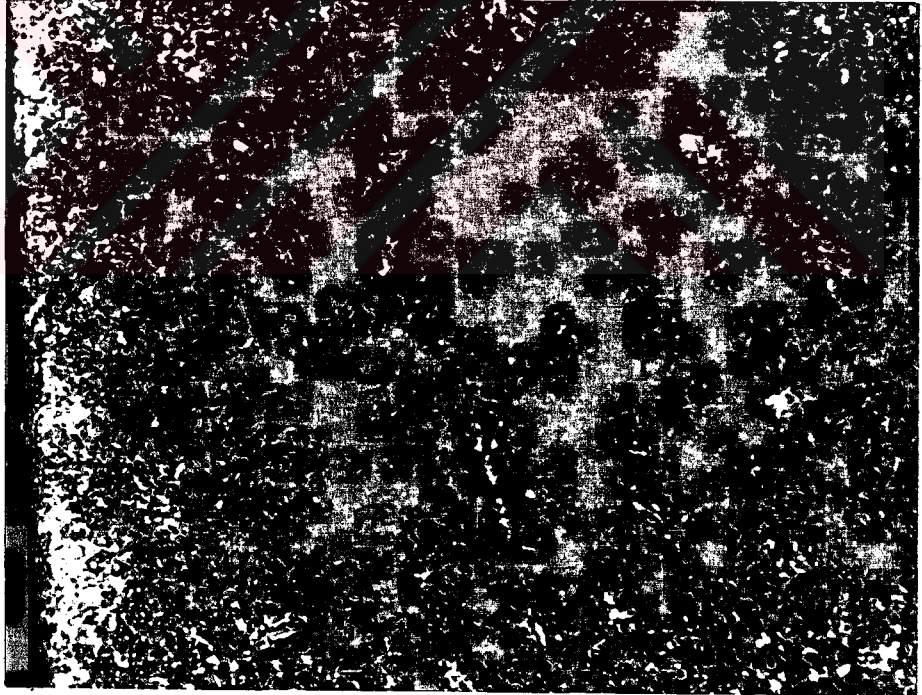
Nital %3

15 μm

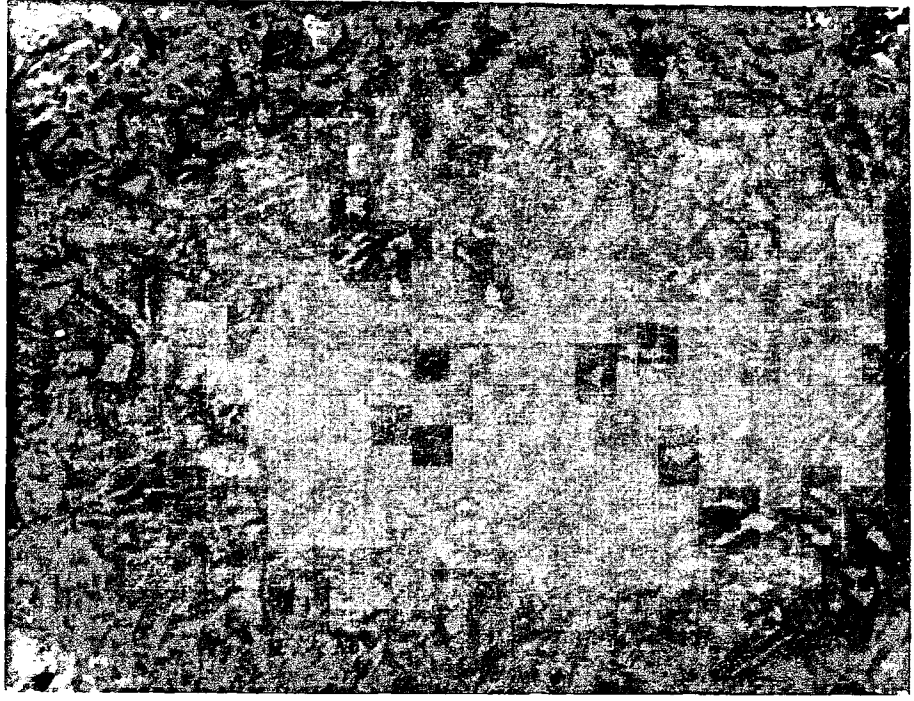
Şekil-4.47: Aynı numunenin dik kesitinden alınan mikroyapı, perlitik matrikste kalıntılar, az miktarda da ferrit tane sınırlarında görülmektedir.



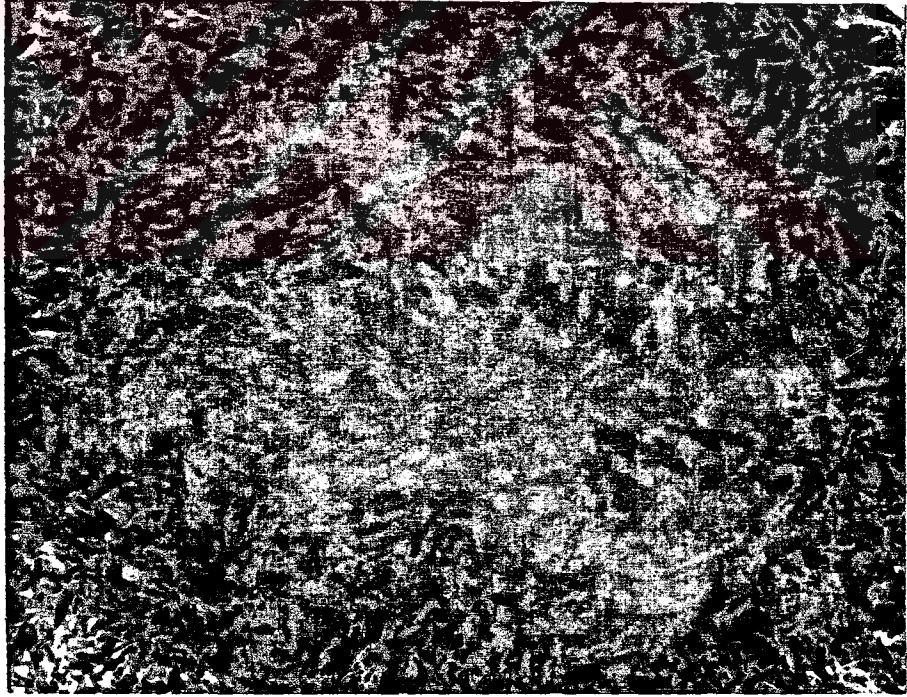
Şekil-4.48: Aynı krank numunesinin çekirdek bölgesinden alınmış, ince perlitik mikroyapıda ferrit alanları içinde muhtemelen MnS kahntıları.



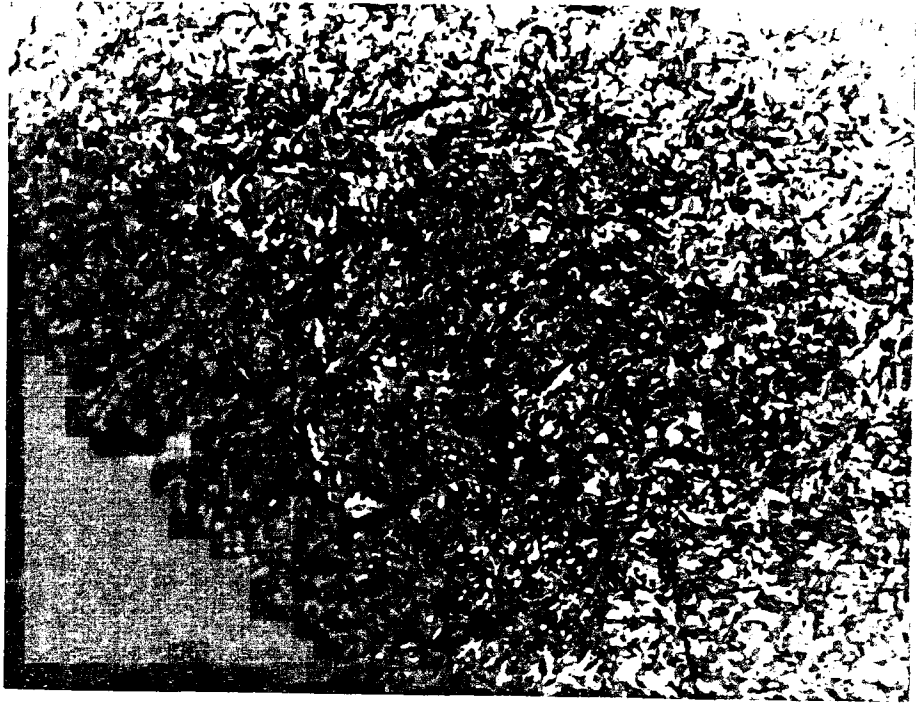
Şekil-4.49: 20MnCr5 malzemedan imal edilmiş, semantasyon ile yüzeyi sertleştirilmiş ayna dişlisine ait kabuk Martensit mikroyapı, az miktar kahntı da mevcuttur.



Şekil-4.50: Aynı numunenin çekirdek kısmına yakın bölgesi. Beynitik mikroyapı ve az miktarda da ferrit.



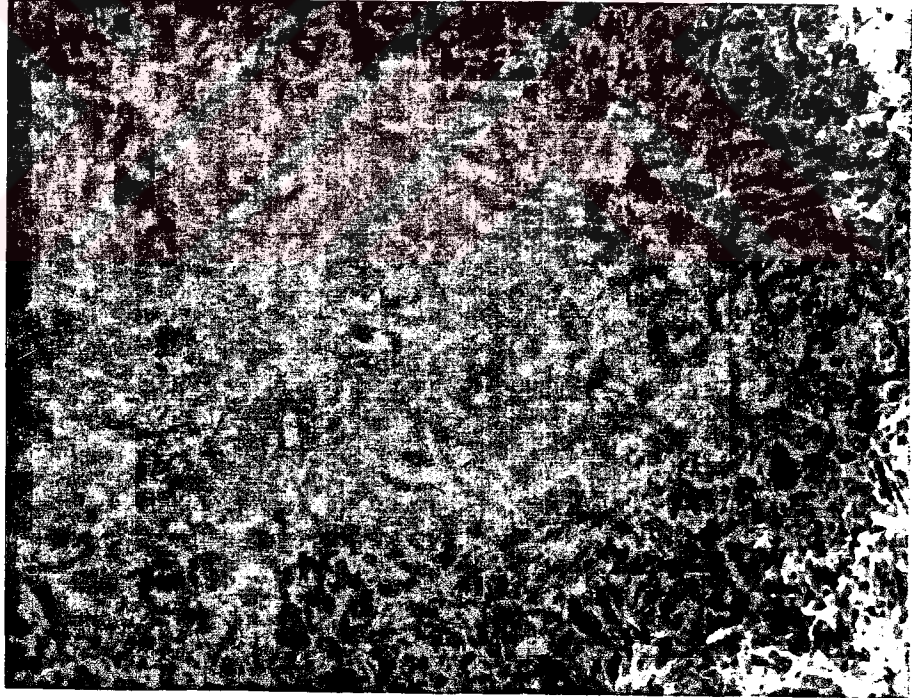
Şekil-4.51: Aynı numunenin kabuğa yakın geçiş bölgesi Martenzitik mikroyapı ve kalıntı ostenit.



Nital %3

15 μm

Şekil-4.52: 20MnCr5 malzemedan kafa şişirme ile şekillendirilmiş sementasyon ile yüzeyi sertleştirilmiş mahruti dişliye ait martensitik mikroyapıdaki kabuk bölgesi.



Nital %3

15 μm

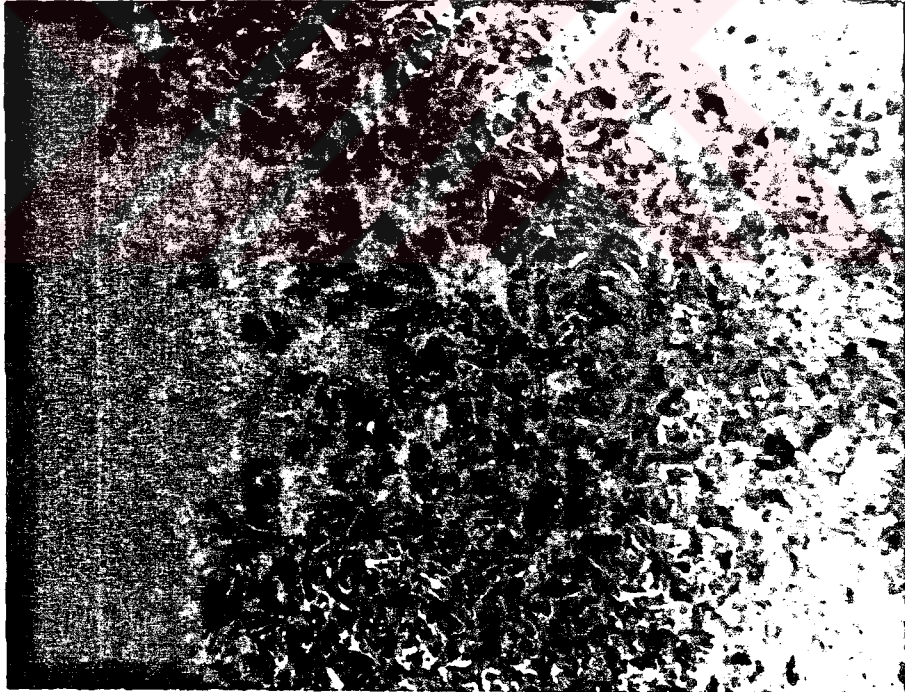
Şekil-4.53: Aynı numunenin kabuğa yakın Martensitik ve Beynitik mikroyapıda geçiş bölgesi.



Nital %3

15 μm

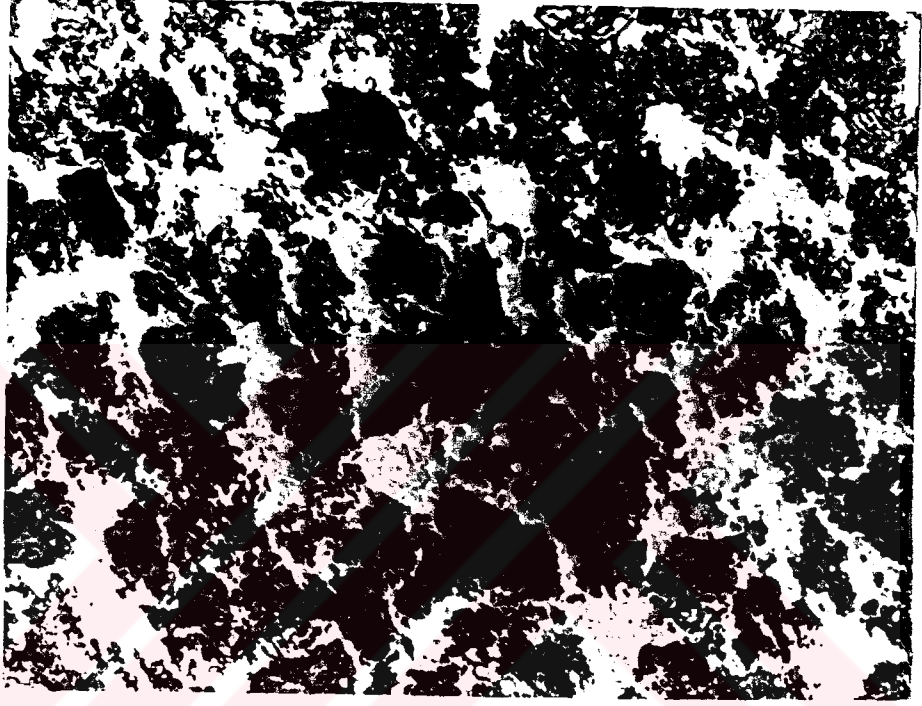
Şekil-4.54: 20MnCr5 malzeme imal edilmiş, sementasyon ile yüzeyi sertleştirilmiş kuyruk miline ait beynitik yapıdaki çekirdek bölgesi.



Nital %3

15 μm

Şekil-4.55: Hasarlı ön aks piminin indüksiyonla sertleştirilmiş kabuk bölgesi Martensitik Mikroyapı.



Nital %3

15 μ m

Şekil-4.56: Aynı numuneye ait çekirdek bölgesi normalize edilmiş haliyle Ferrit ve Perlitik yapıda.

4.1.3.2. Sertlik İncelemesi

Vickers sertlik cihazı ile bütün numunelerin yüzeyden merkeze doğru 1 mm'lik aralıklarla sertlik ölçümleri yapılmıştır.

1.Krank Mili için istenilen değerler ;

YS:54-60 RC

SD:3.5-+0.5 mm(475 HV3:30 sn)

ÇM:850-950 N/mm².

DeneySEL Sonuçlar

Tablo-4.8 1,2 ve 3 nolu numunelerinin yüzeyden itibaren sertliklerinin değişimi (HV).

	1 Nolu Numune	2 Nolu Numune	3 Nolu Numune
Yüzeyden itibaren mesafe	YS:55-56 HRC. SD:3.7 mm. ÇM:865-930 N/mm ²	YS:56 HRC. SD:3.0 mm. ÇM:915 N/mm ² .	YS:55 HRC: SD:3.2 mm. ÇM:900 N/mm ² .
Yüzey	560 HV.	610 HV.	600 HV.
1 mm.	540 HV.	600 HV.	580 HV.
2 mm.	490 HV.	580 HV.	510 HV..
3 mm.	420 HV.	556 HV.	400 HV.
4 mm.	330 HV.	444 HV.	330 HV.
5 mm.	270 HV.	362 HV.	255 HV.
6 mm.	255 HV.	265 HV.	255 HV.
7 mm .	255 HV.	255 HV.	250 HV.
8 mm.	255 HV.	255 HV.	250 HV.
9 mm.		255 HV.	250 HV.
10 mm.			250 HV.

2. Ayna Mahruti Dişlisi İçin İstenilen Değerler

YS:59-62 RC.

SD:1.1-1.4 mm.(550 HV3:30 sn)

ÇM:980-1270 N/mm²

Deneysel Sonuçlar

Tablo-4.9 Ayna ve Mahruti dişlilerinin yüzeyden itibaren sertliklerinin değişimi (HV).

	Ayna Dişlisi	Mahruti Dişlisi
Yüzeyden itibaren mesafe	YS:61-62 HRC. SD:1.2 mm. ÇM:1255 N/mm ²	YS:63 HRC. SD:1.1-1.3 mm. ÇM:1155 N/mm ²
Yüzey	678 HV.	730 HV.
1 mm.	580 HV.	660 HV.
2 mm.	440 HV.	486 HV.
3 mm.	440 HV.	430 HV.
4 mm.	440 HV.	420 HV.
5 mm.	440 HV.	405 HV.
6 mm.	440 HV.	390 HV.
7 mm.	435 HV.	390 HV.
8 mm.	435 HV.	390 HV.
9 mm.	435 HV.	360 HV.
10 mm.	435 HV.	360 HV.

3. Ön Aks Pimi İçin İstenilen Değerler

YS:min. 54 RC.

SD:0.4-1.1 mm.(475 HV3:30 sn)

ÇM:1000-1200 N/mm²

DeneySEL Sonuçlar

Tablo-4.10 Ön aks piminin yüzeyden itibaren sertliklerinin değişimi (HV).

	Ön Aks Pimi
Yüzeyden itibaren mesafe	YS:58 HRC. SD:1.6-1.7 mm. ÇM:560 N/mm ²
Yüzey	660 HV.
1 mm.	570 HV.
2 mm.	210 HV.
3 mm.	198 HV.
4 mm.	180 HV.
5 mm.	180 HV.
6 mm.	180 HV.
7 mm.	180 HV.
8 mm.	170 HV.
9 mm.	160 HV .
10 mm.	160 HV.

4.Kuyruk Mili İçin İstenilen Değerler

YS:59-63 RC.

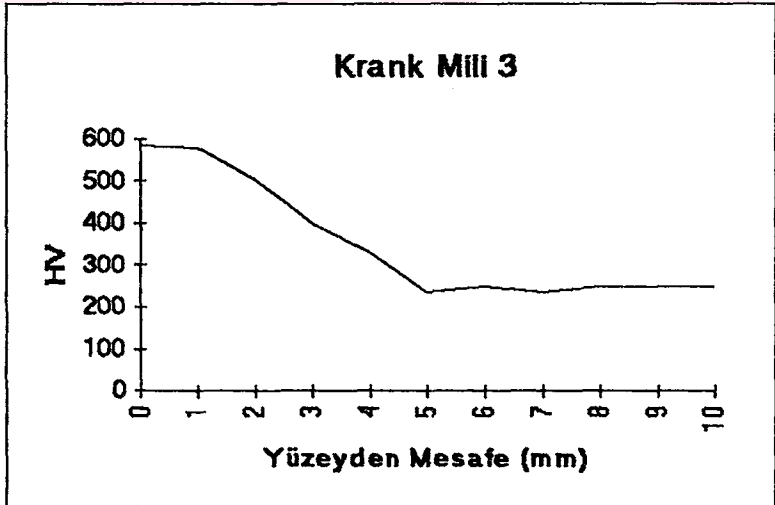
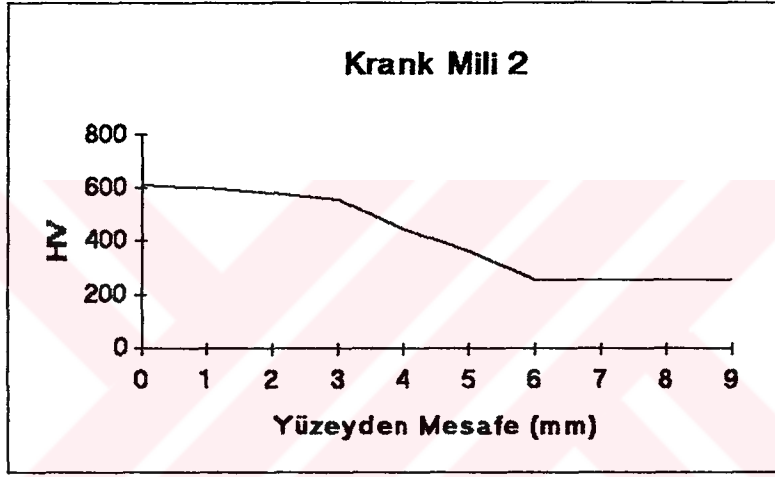
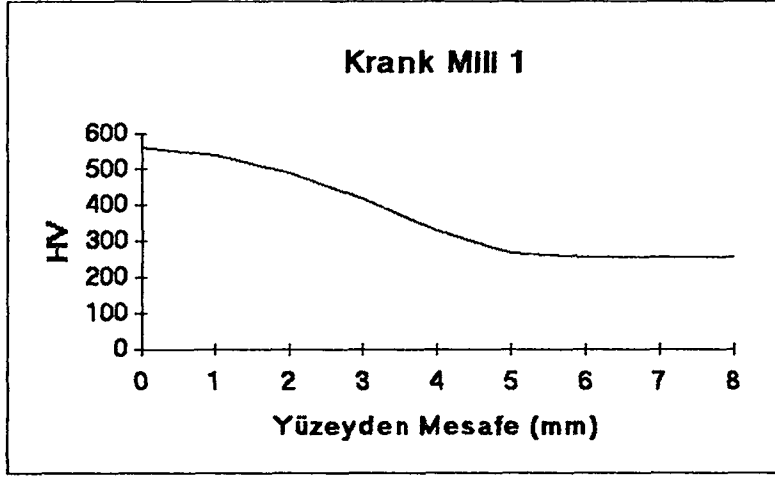
SD:0.9-1.2 mm(550 HV3:30 sn)

ÇM:980-1270 N/mm²

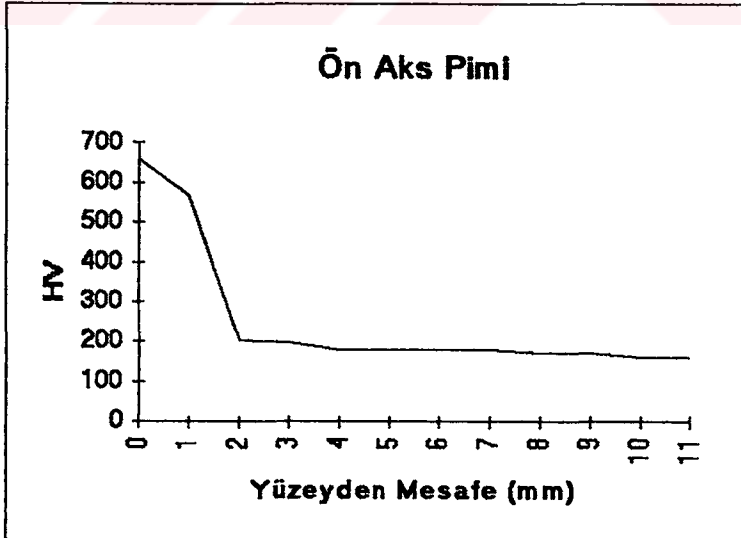
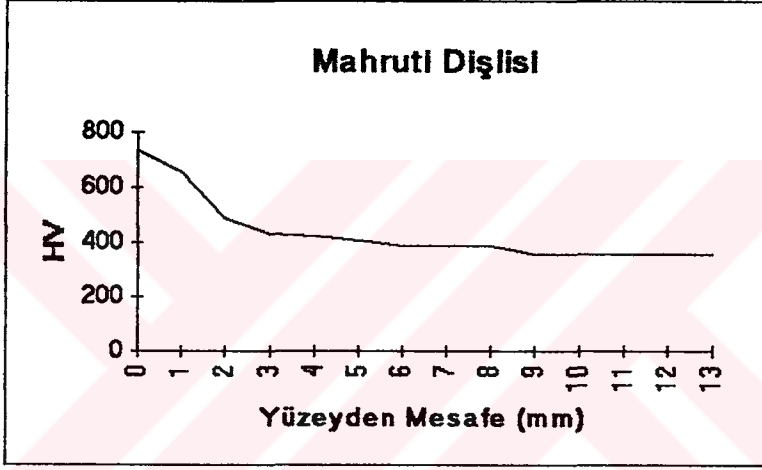
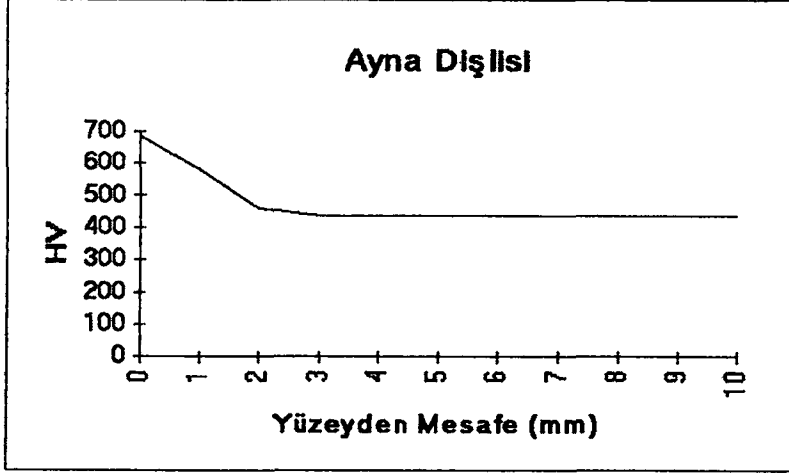
Deneyisel Sonuçlar

Tablo-4.11 Kuyruk milinin yüzeyden itibaren sertliklerinin değişimi (HV).

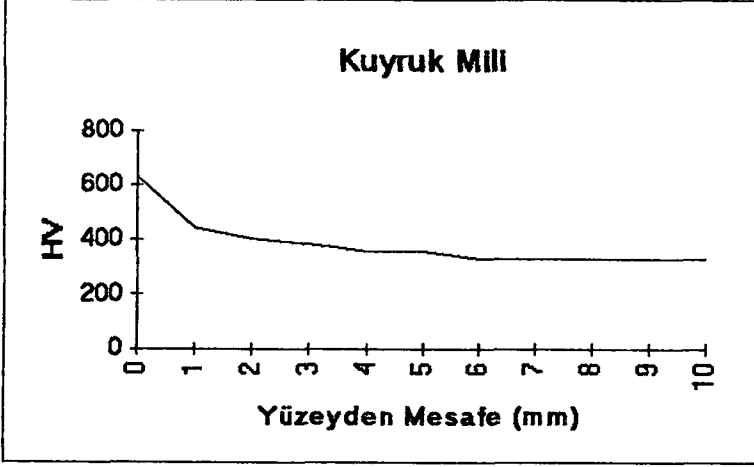
	Kuyruk Mili
Yüzeyden itibaren mesafe	YS:59 HRC. SD:0.4 mm. ÇM:1125 N/mm ² .
Yüzey.	658 HV.
1 mm.	444 HV.
2 mm.	412 HV.
3 mm.	400 HV.
4 mm.	400 HV.
5 mm.	400 HV.
6 mm.	390 HV.
7 mm.	380 HV.
8 mm.	375 HV.
9 mm.	362 HV.
10 mm.	350 HV.



Şekil-4.57 Krank mili için sertliğin yüzeyden itibaren mesafe ile değişimi.



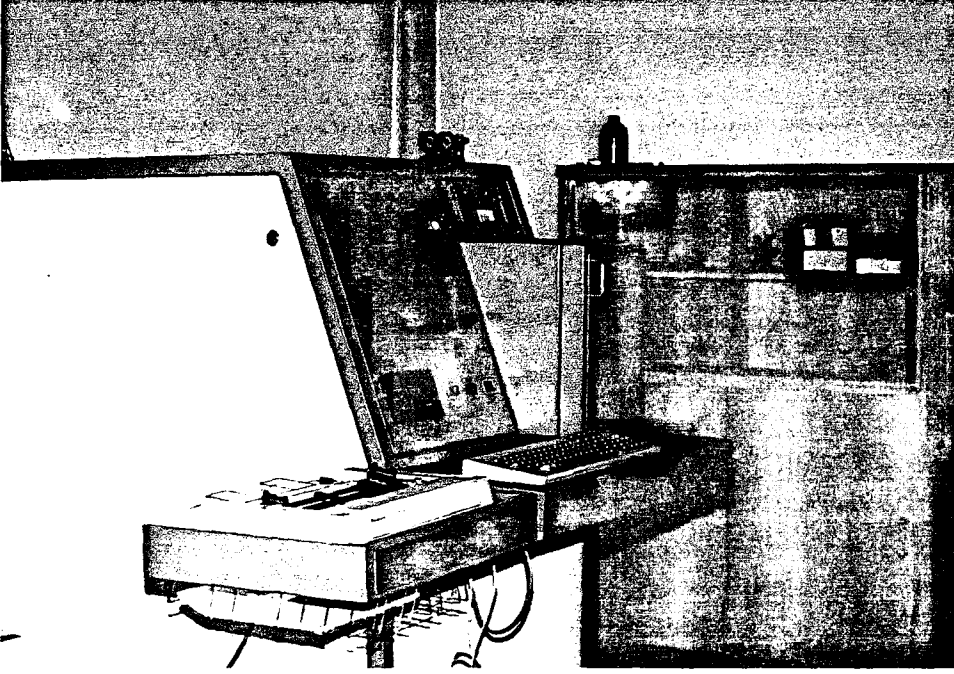
Şekil-4.58-59 Ayna, Mahrutı ve Ön Aks Pimi için sertliğin yüzeyden itibaren mesafe ile değişimi.



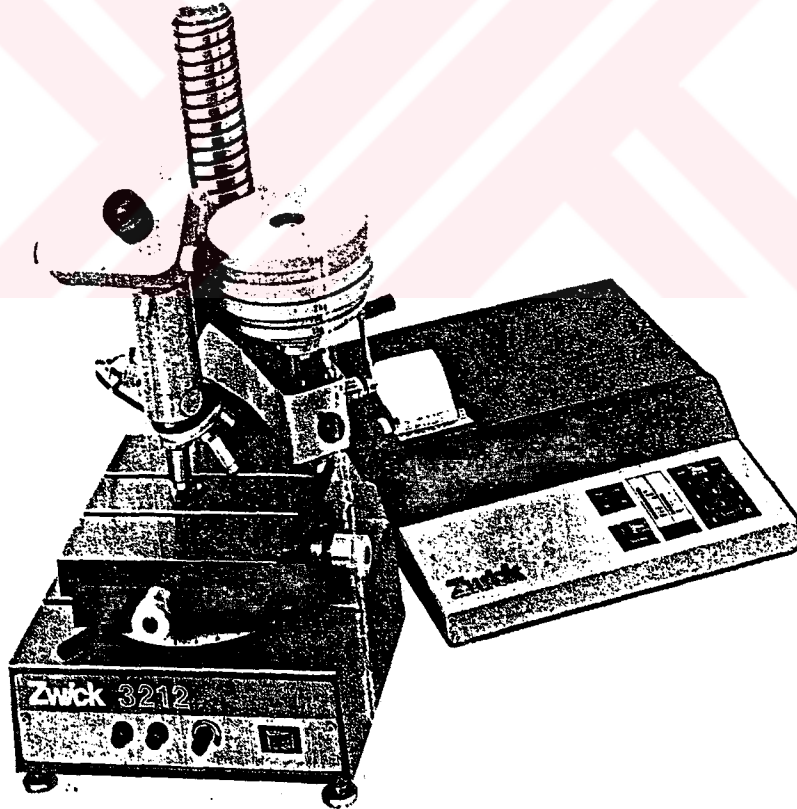
Şekil-4.60 Kuyruk mili için serliğin yüzeyden itibaren mesafe ile değişimi.

4.1.3.3. Deneyde Kullanılan Alet ve Malzemeler:

- Sulu Kesme Makinası
- Taşlama Tezgahı
- Mikro Numune Mandalları
- Çeşitli İncelikte Zımparalar
- Parlatma Kumaşları
- Alümina Solüsyon
- Dağlama Reaktifi (%3 Nital)
- Optik Metal Mikroskobu
- Zwick Mikro Sertlik Cihazı (200x, 100gr-10.000 gr. yük)
- Spektral Analiz Cihazı
- SEM



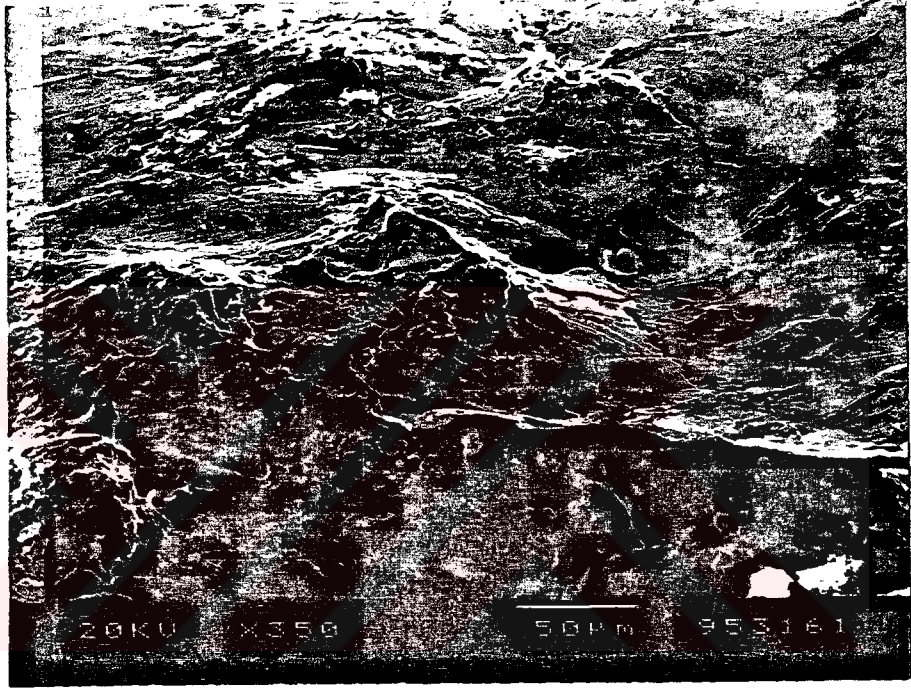
Şekil-4.61 Spektrometre Cihazı.



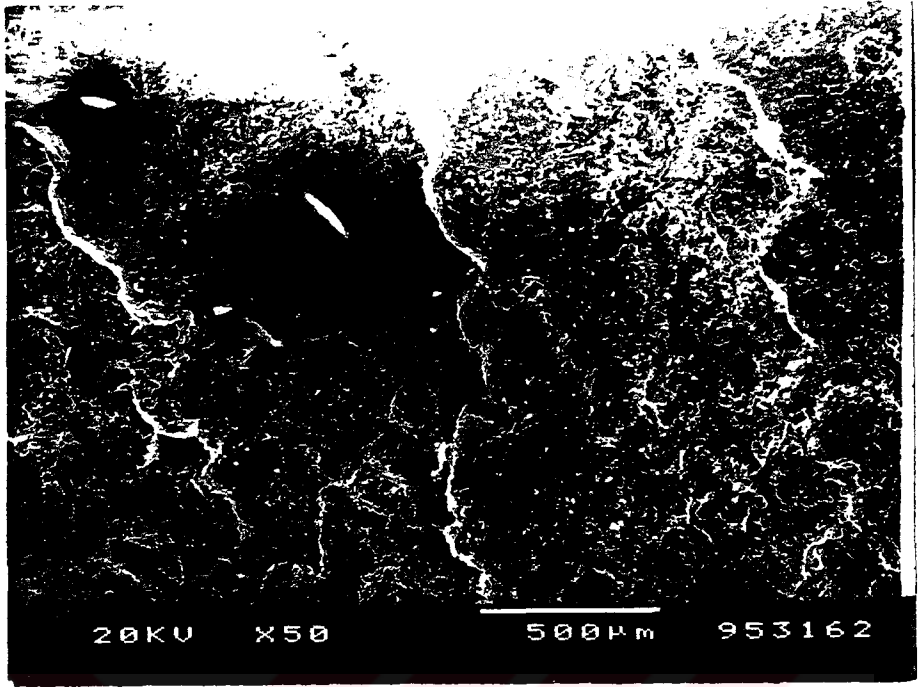
Şekil-4.62 Zwick Mikro Sertlik Cihazı.

4.1.3.4. SEM İncelemesi

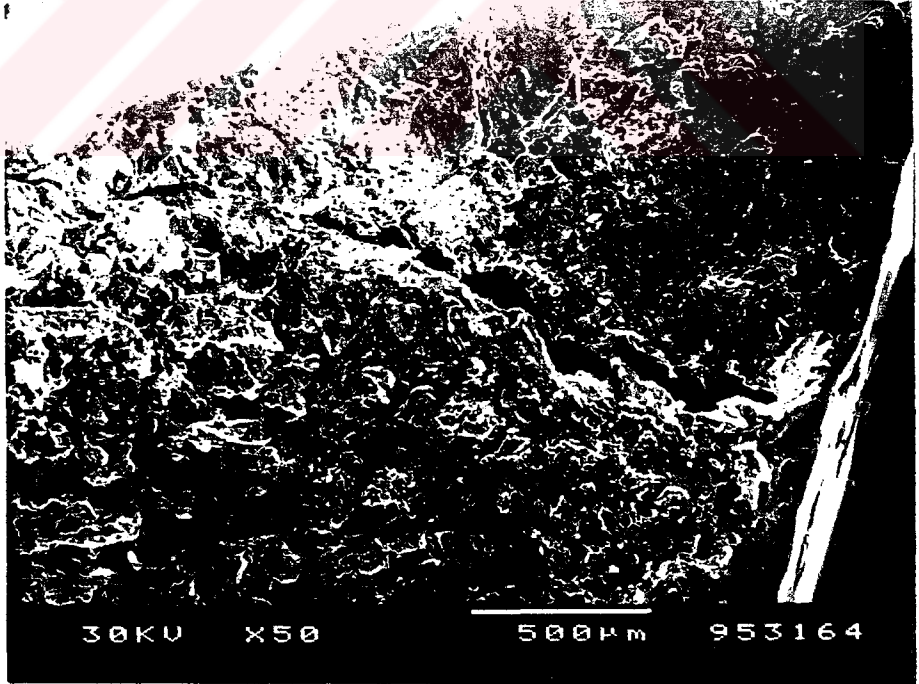
Deneylerde kullanılan malzemelerde oluşan hasarların karakterizasyonu için SEM kullanıldı. Yapılan incelemeler sonucu hasarların büyük çoğunluğunun yorulmadan, aşırı zorlanmadan ve mikroçatlaklardan kaynaklandığı kuvvetle muhtemel olduğu SEM mikrograflarında görülmektedir (2).



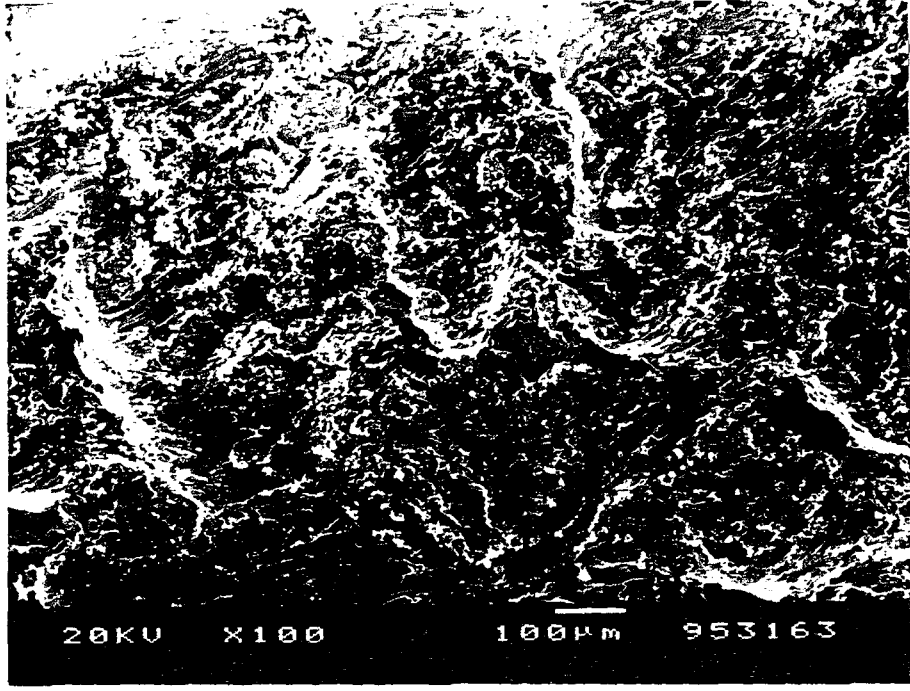
Şekil-4.63 49MnVS3 malzemeden imal edilmiş, krank şaftın darbe sonucu kırılmış kırık yüzeyi, üst kısımdaki virgül şeklindeki oluşum muhtemelen MnS kalıntısıdır.



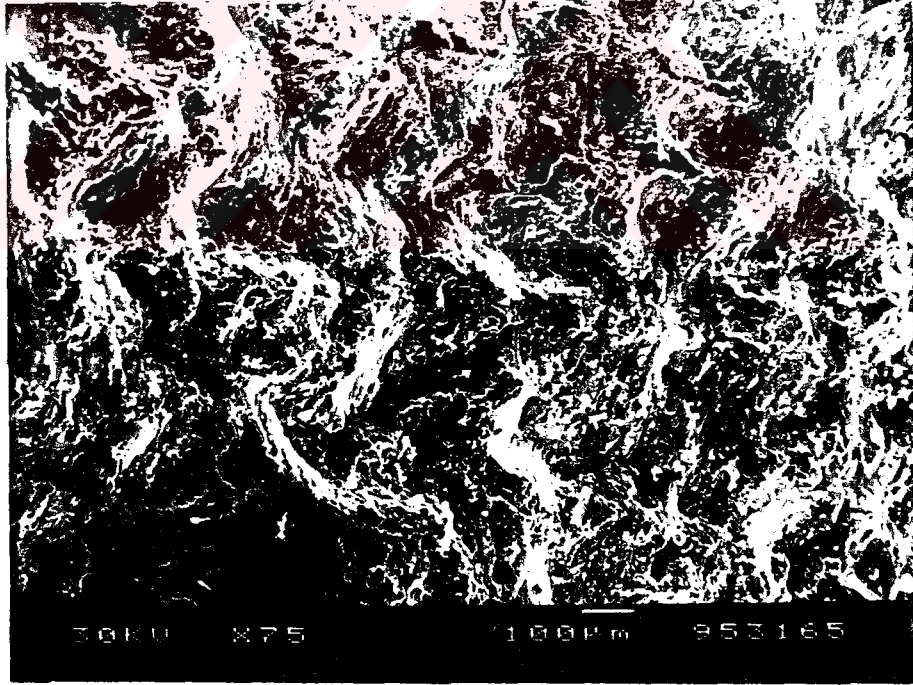
Şekil-4.64 Aynı numuneye ait farklı kırık yüzeyi. Kırılma basamakları içerisinde yorulma damarları, iki damar arasında yapı boşlukları ve basamak çizgisi üzerinde de çatlak başkangıcına sebebiyet verebilecek boşluklar görülmektedir.



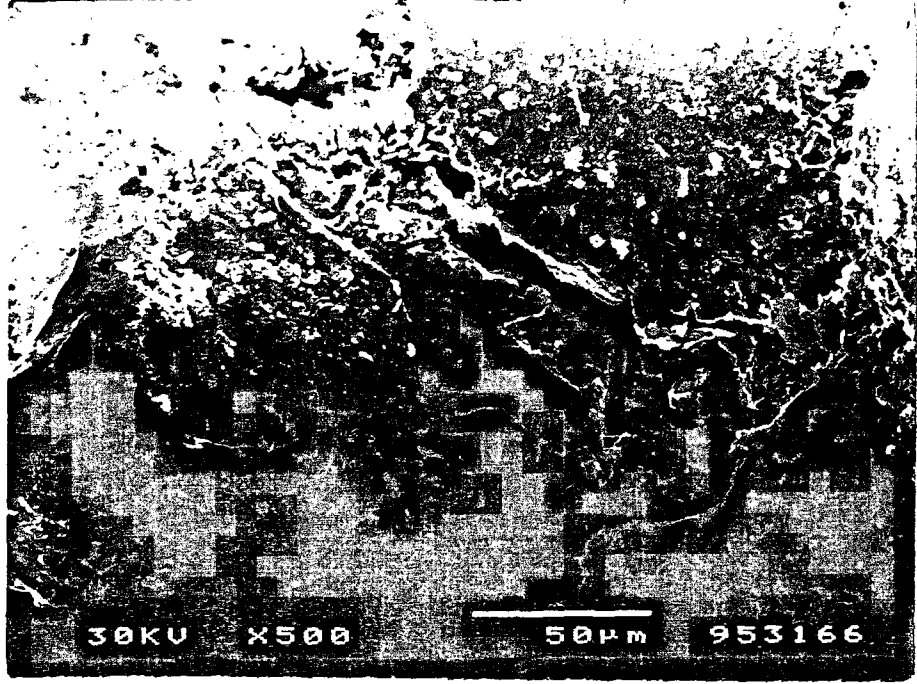
Şekil-4.65 Aynı numuneye ait farklı bir kırık yüzey ve çatlak.



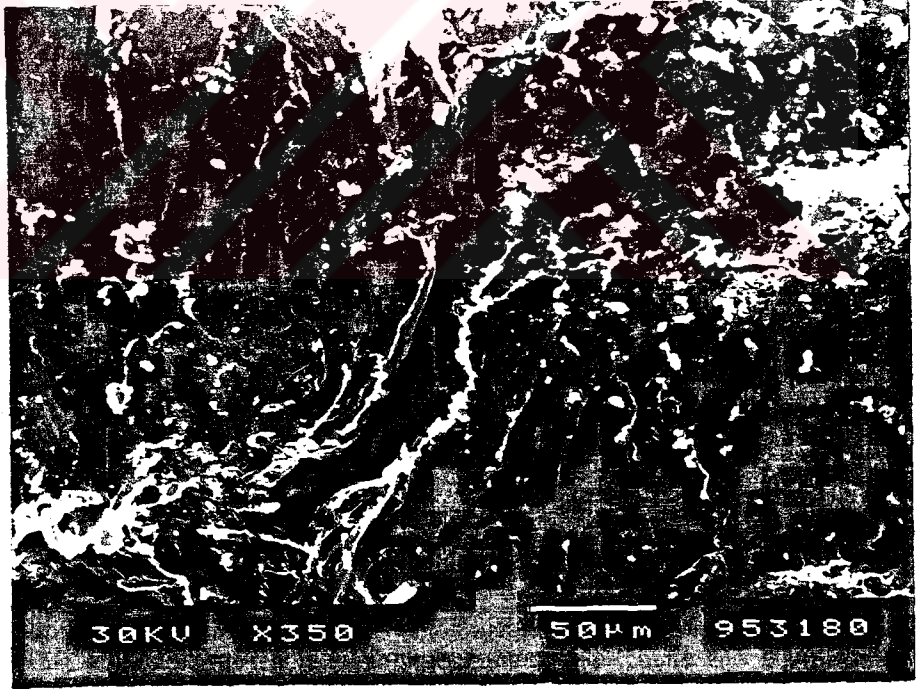
Şekil-4.66 49MnVS3 malzemesinden imal edilmiş krank şaftın, aşırı zorlama ile kırılmış yüzeyi.



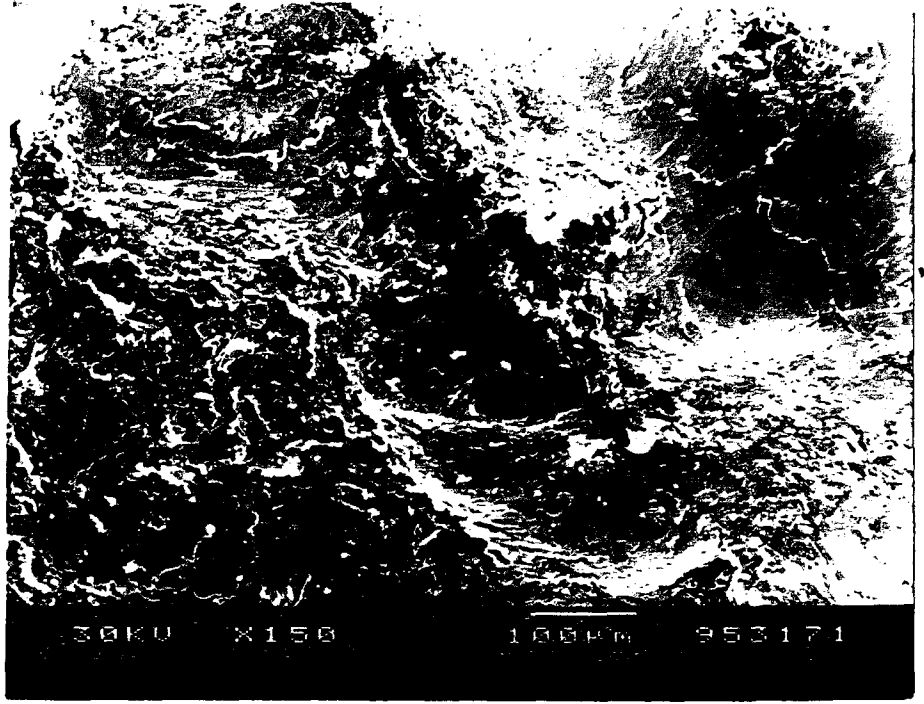
Şekil-4.67 Aynı numuneye ait farklı kırık yüzeyi. Aşırı zorlama ile kırılmış, karakteristik yorulma damarları ve aralarında da küçük boşluklar veya kalıntılar görülmektedir.



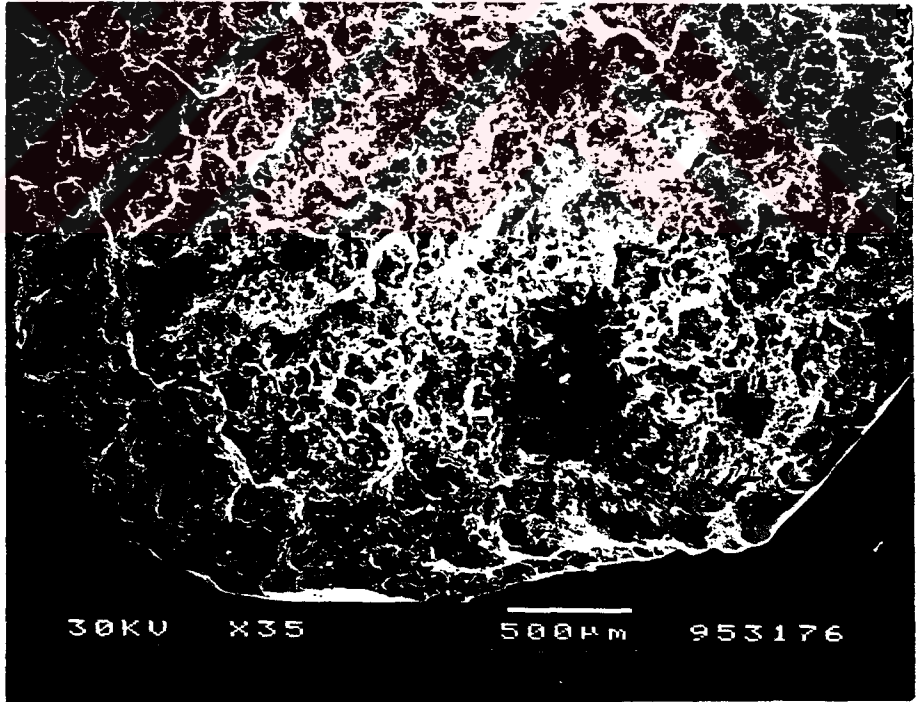
Şekil-4.68: 49MnVS3 malzemeden imal edilmiş, krank şafta ait kırık yüzeyinde oluşan çatlak.



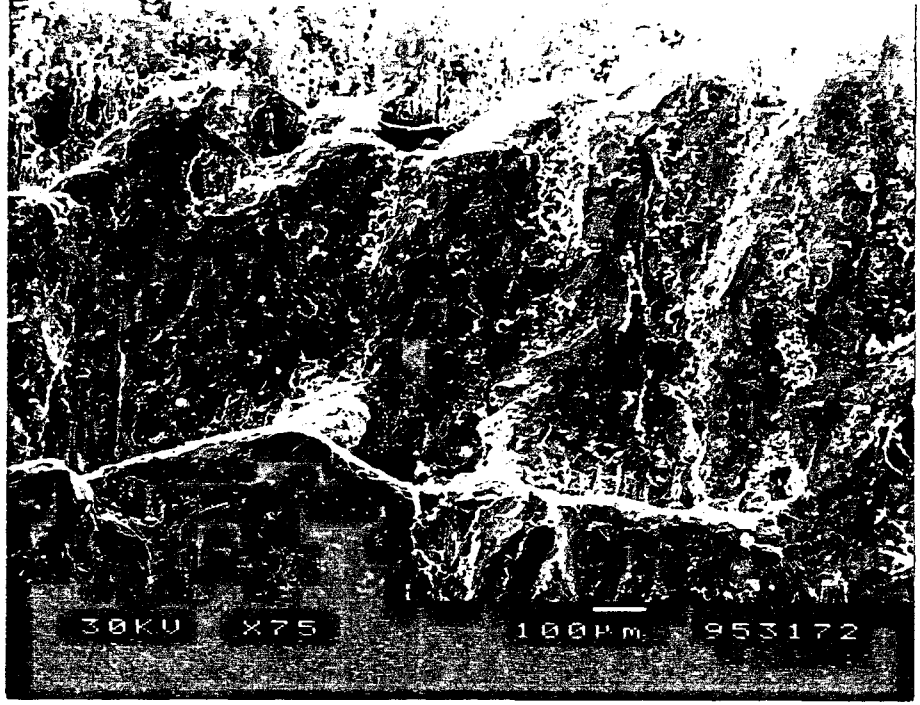
Şekil-4.69 Aynı numuneye ait kırık yüzeyi, çatlak ile birlikte yorulma damarları ile görülmektedir.



Şekil-4.70 Bir başka hasarlı krank numunesine ait kırık yüzeyi, aşırı kırık çekme zorlaması ile kırılmış yüzey görülmektedir.



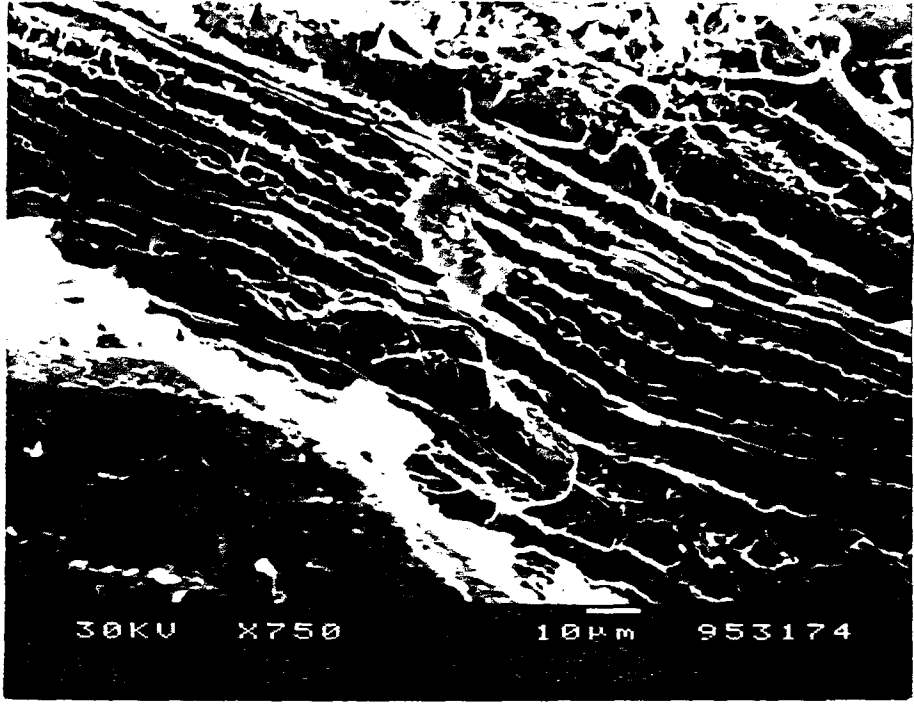
Şekil-4.71 20MnCr5 malzemedan imal edilmiş ayna dişlisine ait kırık diş yüzeyi, aşırı çekme zorlaması ile kırılmış yüzeyde ayrıca boşluklar görülmektedir.



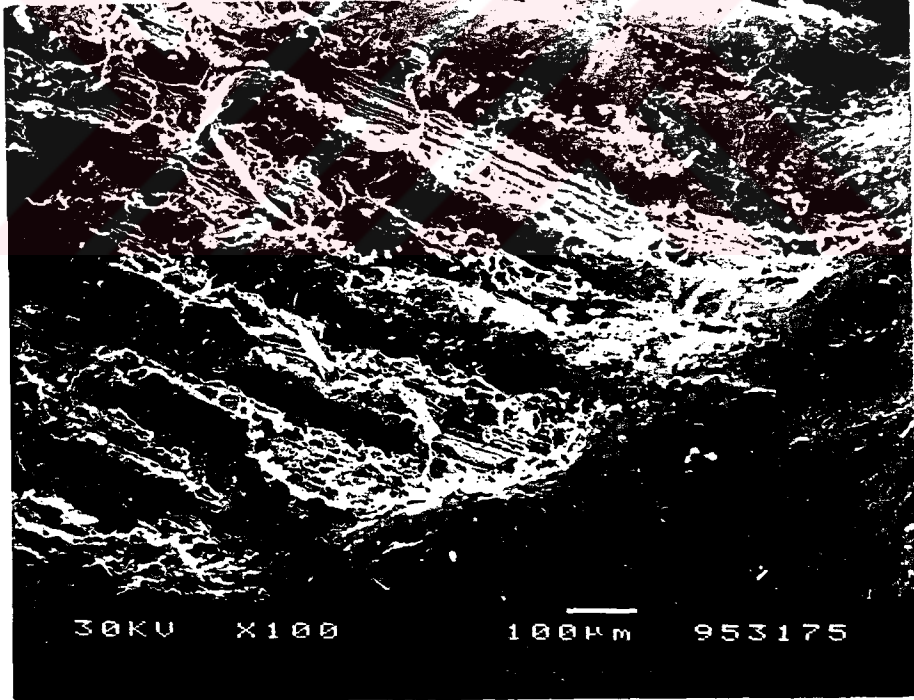
Şekil-4.72 Aynı numuneye ait son kopma bölgesine yakın yorulma yüzeyi ve üst kısmında muhtemelen MnS kalıntıları görülmektedir.



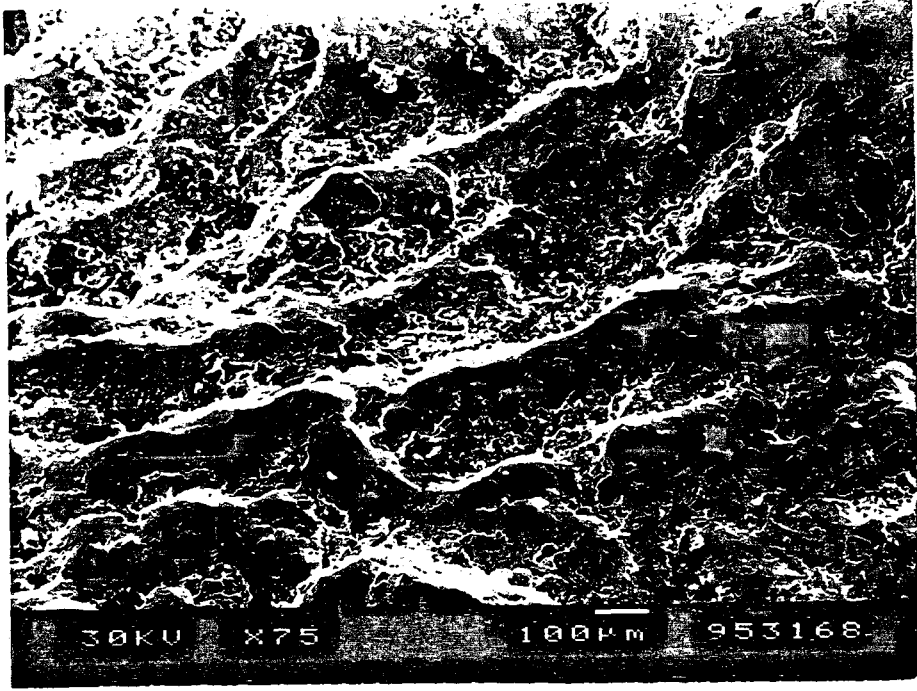
Şekil-4.73 Aynı numuneye ait kırık yüzeyi, yorulma damarları görülmektedir.



Şekil-4.74 20MnCr5 malzemedan imal edilmiş mahruti dişliye ait kırık yüzeyi, yorulma damarları, çatlak ilerleme yönüne dik olarak görülmektedir.



Şekil-4.75 Aynı numuneye ait farklı kırık yüzeyi, yorulma damarları görülmektedir.



Şekil-4.76 20MnCr5 malzemeden imal edilmiş, kuyruk miline ait kırık yüzeyi, sünek kırılma görünümündedir.



Şekil-4.77 Aynı numuneye ait farklı kırık yüzeyi sünek kırılma görünümündedir.

5.SONUÇLAR VE İRDELEME

1. Hasarlı krank mili incelendiğinde; krank imalatının 49MnVS3 mikro alaşımlı bir malzemeden, dövme yoluyla şekil verilmiş, ardından normalizasyon işlemine tabi tutulmuş ve yüzeyinin indüksiyonla sertleştirilmiş olduğu imalat prosedüründen bilinmektedir.

Kimyasal analizinden ve metallografik incelemeden hareketle yapıda MnS kalıntılarının olması kuvvetle muhtemeldir. (Tablo-4.5) Kranka dövme ile şekil verilmiş olması yapıda mikro çatlak oluşumuna sebebiyet verebilir.

Traktörün çalışması esnasındaki kasmalar bu mikro çatlakların büyümesine sebebiyet verebilir, aynı zamanda krank şaftın sürekli devirli hareketle yorulmaya çalışması da bu çatlakların ilerlemesini teşvik edebilir ve bir süre sonra hasar ile sonuçlanır.

SEM incelemeleri sonucu hasarın aşırı zorlamadan, yorulmadan ve çatlaklardan kaynaklandığı Şekil-4.63-70’de görülmektedir.

Bir diğer sebepte ani kasmalar krank şaft üzerinde aşırı zorlamaya sebebiyet vererek hasarı oluşturur.

2. Hasarlı ayna mahruti dişlisi incelendiğinde dişlilerin 20MnCr5 sementasyon çeliğinden dövme, işleme ve gazlı sementasyon işlemine tabi tutulduğu imalat prosedüründen bilinmektedir. Hasarlı dişlilerin malzeme, ısı işlem ve mekanik özellikler açısından teknik donelerinin uygun olduğu görülmektedir (Tablo-4.6). Ancak, ayna - mahruti dişlisinin yorulmaya çalışması ve traktöründe iş makinası olarak kullanılmış olması, yorulma ve aşırı zorlanma ile kırılmış olabileceği muhtemeldir.

Ayrıca, metallografik incelemeler ayna mahruti dişlisinin çekirdek kısımlarının beynitik ve kabuk kısmının martensitik olduğu tespit edilmiştir.

SEM incelemeleri sonucu hasarların aşırı çekme zorlanması ve yorulmadan kaynaklandığı görülmektedir (Şekil-4.71-75).

3. Kırılmış ön aks piminin hasar analizinde, ön aks pimi için malzeme seçiminde 41Cr4 yerine (C45) yanlış malzeme seçilmiş olması (Tablo-4.7) , ısı işlem olarak da ön

aks piminin (1000-1200 N/mm²) belli bir iç yapı çekirdek mukavemeti sağlaması için önce ıslah edilmesi akabinde yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulması gerekirdi. Ancak ön aks piminin ıslah edilmemiş olduğu Şekil-4.56'da görülmektedir. Haddeden çekilmiş normalize (α +Perlit) haliyle direk yüzey sertleştirilmesi yapılmış (Tablo-4.10, Şekil-4.59). Yüzeyde sert (660 HV) kabuk elde edilmiş ancak içerde 1000-1200 N/mm² (320-380 HV) yerine 640 N/mm²'lik ($\approx$ 200 HV) bir mukavemete sahiptir. Bu da ön aks piminin hasarlanmasına sebebiyet vermiştir.

4. Hasarlı kuyruk mili malzeme olarak istenilen 20MnCr5'e uygun olduğu (Tablo-4.6), fakat ısıtılma işlemi olarak yüzey sertliği ve çekirdek mukavemetinin uygun olmasına rağmen , yüzey sertlik derinliğinin 0.9-1.2 mm. olması gerekirken 0.4 mm. olması kuyruk milinin traktörden aldığı hareketle değişik tarım ekipmanlarını çalıştırabilmesi için yeterli mukavemeti gösterememiş ve hasarlanmıştır.

Malzemenin servis şartları gözönüne alındığında da hasar sonucu oluşan kırılmaların gevrek karakterde olması beklenirken, az miktarda da olsa plastik deformasyona rastlanmıştır (Şekil-4.76-77).

6. KAYNAKLAR

1. Metals handbook, Eighth Edition V:10, Failure Analysis and Prevention, ASM, OHIO, 1975.
2. Metals Handbook, Eight Edition V:9 Fractography and Atlas of Fractographs, ASM, Ohio, 1974.
3. KAYALI, E.S., ÇİMENÖĞLU, H. 'Hasar Analizi Semineri', İTÜ Kimya-Metalurji Fak. TMMOB Metalurji Müh. Odası, İSTANBUL, 1990.
4. ANIK, S., GÜRLEYİK, M.Y. (çeviri) 'Hasar Bilgisi', İTÜ Müh. Mım. Fak., İSTANBUL.
5. ÇEP, H. 'Bir Dişli Örneğinde Kırılma Analizi' İTÜ Kimya Metalurji Fak., MML Tezi, 1990.
6. COLENVELO, V.J, HEISER, F.A, 'Analysis of Metallurgical Failures', Troy, New York, 1973
7. KIESSLING, R, LANGE, N., 'Non-metallic Inclusions in Steel', The Metals Society, London, 1976
8. DİKEÇ, F., 'Özel Çelikler Ders Notları', İTÜ, 1990
9. Metals Handbook, 8th V:7 'Atlas of Microstructure of Industrial Alloys'
10. Source Book In Failure Analysis, ASM, OHIO, 1974.
11. KAYALI, E.S., ENSARİ C. Metallerde Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları', İ.T.Ü., 1985.
12. ALTINOK, A., 'Isıl İşlem Hataları', SEGEM, Ankara, 1989.

7. TEŞEKKÜR

Bitirme ödevimi, yöneten teşvik ve yardımlarıyla çalışmalarımı yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında bana yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU ve Doç. Dr. Ahmet ÜNAL'a minnettarım.

Yetişmemde emekleri geçen başta Metalurji Müh. Böl. Başkanı Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU olmak üzere değerli hocalarıma şükranlarımı sunarım.

SEM'de kırık yüzey incelemesi yapmam hususunda destek sağlayan İTÜ Metalurji Müh. Böl. Başkanı Prof. Dr. H. Erman TULGAR hocama teşekkür ederim. Fotoğraf hususunda yardımını gördüğüm kıymetli ağabeyim Teknisyen Mızrap CANIBEYAZ'a teşekkür ederim.

Teorik çalışmalarımın yürütmesi esnasında literatür konusunda destek sağlayan Yard. Doç. Dr. Sakin ZEYTİN ve Yard. Doç. Dr. Cuma BİNDAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans yapmam hususunda bana destek ve yardımlarını esirgemeyen T.Z.D.K. Tarım Alet ve Makina Fabrikaları Müessese Müdürü Sayın Halil ATALAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmalarında yardımlarını gördüğüm teknisyen elemanlarımız Orhan GÜMÜŞPALA ve Ahmet BAKKAL'a teşekkür ederim.

Bu tezin yazılmasında yardımlarını gördüğüm mühendis adayları Serdar-Serkan YALÇIN kardeşlere teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin ADANIR

Ekim-1995

İSTANBUL

8. ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin ADANIR, 16.06.1962 tarihinde Çorum'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini aynı ilde tamamladı. 1981 yılında girdiği İ.T.Ü. Metalurji Mühendiliği Bölümünden 1986-Şubat döneminde mezun oldu. Bir süre özel sektörde çalıştı. 1987-1988 yıllarında askerlik görevini yaptı. Askerlik dönüşü T.Z.D.K. Genel Müdürlüğü, Tarım Alet ve Makina Fabrikaları Müessesinde çalışmaya başladı. Sırasıyla Kontrol Mühendisi, Isıl İşlem Bölümü sorumlu mühendisi olarak çalıştı. 1991 yılında eğitim amacıyla T.Z.D.K. tarafından Japonya'ya gönderildi. Tarım makineleri tasarımı konusunda bir yıl araştırma ve uygulama yaptı. Halen, T.Z.D.K. Müessesinde, Metalurji Laboratuvarında Hammadde ve Yan Sanayiiden sorumlu Başmühendis olarak çalışmaktadır.

