

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ



MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

MMB 638-Hasar Mekanizmaları

Doç. Dr. Naci KURGAN

Hasar Analizine Giriş ve Hasar Mekanizmaları

MMB 638-Hasar Mekanizmaları

Hafta-2



HASAR ANALİZİNE GİRİŞ

1. Giriş

Hasar, "Herhangi bir olayın yol açtığı zarar" veya "Bir malın ilgililerin iradesi dışında uğradığı zarar" veya "bir sistemin veya bir makine elemanın kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getiremez hale gelmesi" şeklinde tanımlanmaktadır. Günümüzde çeşitli malzemelerden yapılmış makine elemanlarının veya teknolojik uygulamalarda kullanılan sistemlerin, titizlikle tasarlanmasına, uygun malzeme seçimine ve kullanılan malzemelerin özelliklerinin iyi bilinmesine rağmen yine de servise sunulması başında veya servis süresince fonksiyonlarını yitirip, beklenen performansı sağlayamadıkları durumlarla karşılaşmaktadır.

Bir sistem veya parça, aşağıdaki durumlarda fonksiyonunu yitirir. Bunlar;

- Tamamen kullanılmaz hale gelmesi,
- Kullanılabilecek durumda olmasına rağmen beklenen performansı yeterli ölçüde yerine getirememesi,
- Ortamdan kaynaklanan ciddi bir hasar sonucu kullanılmasının tehlikeli olması durumudur.

Bu durumlarda fonksiyonunu yitiren parça veya sistem tamir edilerek veya yenisi ile deđiŐtirilerek karşılaşılan zararın giderilmesi sağlanır.

Hasar analizinin amacı, hasara sebep olan mekanizmayı belirleyip teknolojik hatayı bulmaktır. Bu iki ayrı nedenle gerekebilir:

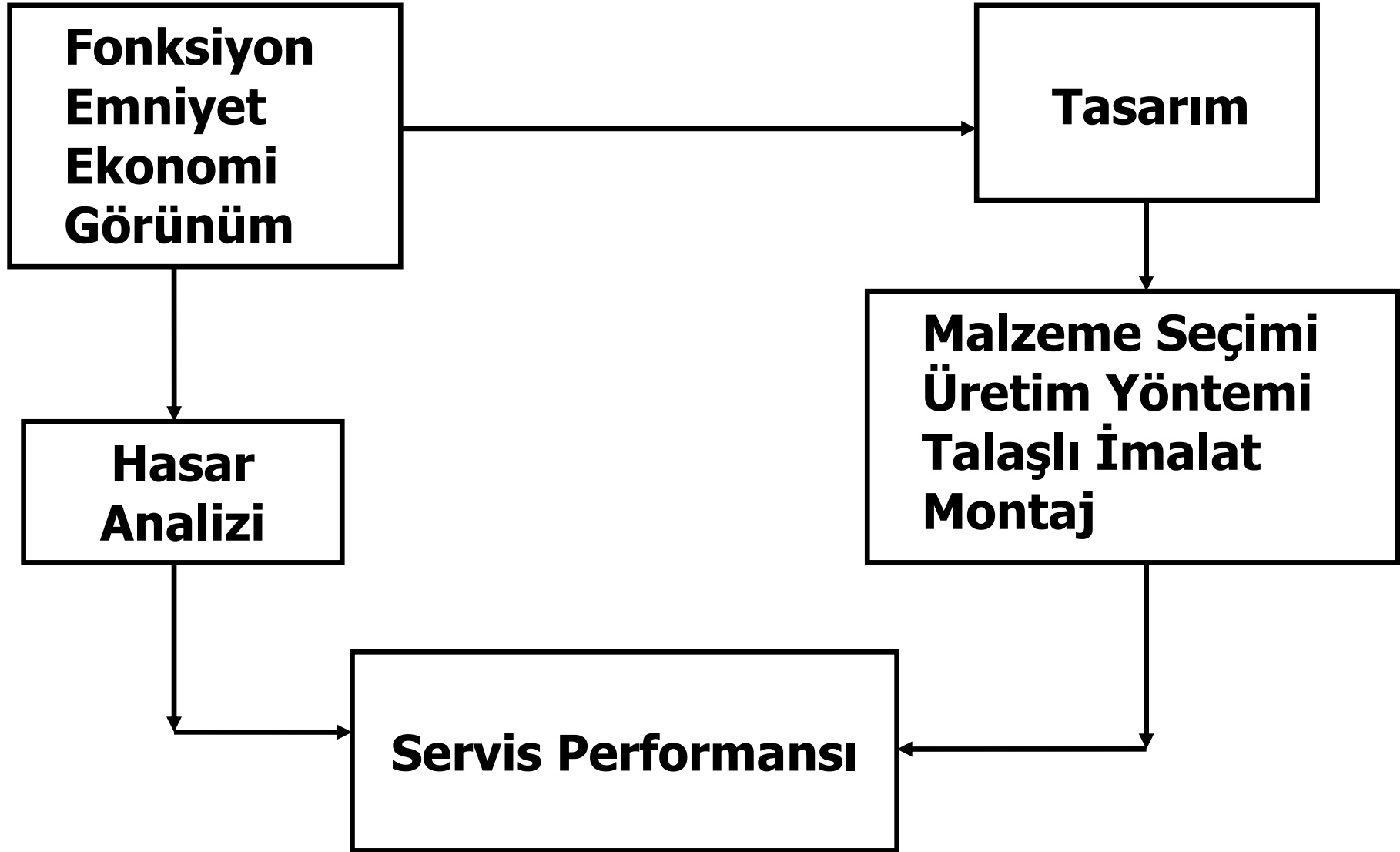
- Teknolojik hatayı bularak bu hatayı engelleyici daha etkin tasarım ve/veya kontrol yöntemlerini geliştirip, bu tip hasarların gelecekte tekrarını önlemek.
- Hasar sonrası doğan yasal sorunlarda sorumlu tarafı tespit etmek (ölüme ve maddi kayba neden olan sorumluyu ortaya çıkararak cezalandırmak veya zararı tazmin etmek, teknolojik hatanın sigorta kapsamına girip girmediğini tespit etmek için)

Böylece daha geniş kapsamda hasar analizi, hasara neden olan teknolojik hatanın cinsini ve hasarın sorumlusunu ortaya çıkarmak ve hasarın benzer durumlarda tekrarını önleyici tedbirleri önermek amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlerin tümüne verilen isimdir.



2. Tasarım – Servis Performansı – Hasar Analizi İlişkisi

Hasar analizinde incelemeler, ilgili parçanın veya sistemin, tasarımı, malzeme seçimi, üretimi ve servis performansı safhaları göz önüne alınarak yapılmalıdır (Şekil 1). Hasar analizinde üretim sürecinin her safhası dikkatle incelenmelidir. Hasarın sebepleri; tasarım, malzeme seçimi, malzemedeki kusurlar, üretim yöntemi ve fabrikasyon işlemleri, montaj, kalite kontrol, taşıma ve depolama servis koşulları ile ilgili olabilir. Bu faktörlerin biri veya bir kaçı hasarın sebebi olabilir.



Şekil 1. Tasarım – Servis Performansı – Hasar Analizi ilişkisi

3. Hasarın Sebepleri

Mühendislik tasarımlarında görülen çeşitli hasar problemlerinin sebepleri genellikle üç gruba ayrılır;

1. Hatalı tasarım veya uygun olmayan malzeme seçimi,
2. Hatalı üretim yöntemi,
3. Çalışma şartlarında orijinal özelliklerin bozulup azalması,

Hasar sebebinin bilinmesi çok önemlidir. Tasarım aşamasında iki yol izlenebilir;

1. Emniyet katsayısının küçük seçilmesi durumunda malzeme sarfiyatı az ve hasar olasılığı fazla olur. Ekonomiktir.
2. Emniyet katsayısının büyük seçilmesi durumunda malzeme sarfiyatı fazla ve hasar olasılığı azdır. Ekonomik değildir.

Buna göre tasarımda genel prensip; emniyet katsayısının problem çıkarmayacak şekilde minimum seviyede tutulmasıdır.

Bazı mühendislik dallarında analizi yapılan hasarların sebeplerinin (kimya, maden, metalürji ve imalat endüstrisi) (%) olarak aşağıdaki tabloda verildiği gibi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Kimya, maden, metalürji ve imalat endüstrilerinde karşılaşılan hasar olaylarının sebepleri

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

Hasar ile kırılma ilişkisi ise şu şekilde açıklanabilir:

- Hasarda kırılma şart değildir.
- Hasar; bir sistemin veya parçanın çalışma fonksiyonlarını yitirmesi demektir. Bu sebeple;
 - Kırılma da olabilir.
 - Şekil bozukluğu da olabilir.
 - Bozulmada olabilir.

4. Hasarların Mekanizmaları

Hasar mekanizması genellikle malzeme hasarı olup, malzemenin üretim sırasındaki termo-mekanik geçmişı ile veya servis koşulları ile ilgilidir.

Hasar sebeplerinin Tablo 1'de verildiği mühendislik dallarında (kimya, maden, metalürji ve imalat endüstrisi) analizi yapılan hasarların mekanizmaları ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kimya, maden, metalürji ve imalat endüstrilerinde karşılaşılan hasar olaylarının mekanizmaları

Hasar Mekanizması	%
Korozyon	29
Yorulma	25
Gevrek kırılma	16
Aşırı yükleme	11
Yüksek sıcaklık korozyonu	7
Gerilmeli korozyon (korozyon yorulması/hidrojen kırılabilirliği)	6
Sürünme	3
Aşınma veya yenme (erozyon)	3

Uçak sanayindeki hasar sebeplerinin verildiği Tablo 2'deki hasar olaylarının mekanizmaları ise Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Uçak sanayinde karşılaşılan hasar olaylarının mekanizmaları

Hasar Mekanizması	%
Yorulma	61
Aşırı yükleme	18
Gerilmeli korozyon	8
Aşırı aşınma	7
Korozyon	3
Yüksek sıcaklık oksidasyonu	2
Sürünme veya gerilme kopması	1

Hasar mekanizmasının teşhisinde; hasar sebebinin malzeme veya tasarım ve üretim yönteminden kaynaklanabileceğini düşünmek ve bu iki farklı hasar kaynağını birbirinden ayırt etmek gerekir. Tasarım veya üretim yöntemindeki ufak bir değişiklik hasar önlenabilir.

Bazen yeni bir malzeme ile aynı tasarımla üretilen parçalarda daha uzun kullanım ömürlerinde hasar görülebilir. Bazı durumlarda da hasarın giderilmesi ancak malzemenin değiştirilmesiyle mümkün olabilmektedir. Tasarımda öngörülen gerilmeler bir kriter olarak alındığında hasarlar iki gruba ayrılabilir;

1. Tasarım gerilmelerinden (σ em deęerinden) büyük gerilmelerde görülen hasarlar:

Bu hasarlara hatalı tasarım, uygun olmayan malzeme kullanımı ve aşırı yükleme sebep olabilir. Bu gruba, tasarlanan parça geometrisinde çok şiddetli gerilme yığılmalarına neden olan süreksizliklerin mevcut olması, karmaşık parçalarda rasyonel gerilme hesaplarının mümkün olmayışı veya yetersiz gerilme analizi, oluşması muhtemel hasar tipinin her biri için, malzemenin bu hasara karşı direncinin bir ölçüsü olan etkin malzeme parametrelerini kullanmak yerine daha başka özellikleri göz önüne alarak tasarım yapmak (örneğin, tekrarlı yükleme koşullarında statik yükleme durumunu göz önüne alarak tasarım yapmak), çalışma şartlarına veya öngörülen imal usullerine uygun olmayan malzeme seçmek gibi hatalar girer. Bu gruptaki hasarlar Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Tasarım gerilmelerinden büyük gerilmelerde görülen ve hatalı tasarım ve uygun olmayan malzeme kullanımından kaynaklanan hasarlar.

Tasarım Hasarı
Sünek hasar (aşırı elastik veya plastik deformasyon, yırtılma veya sünek kırılma)
Gevrek kırılma (yüzey veya iç çatlaklar)
Yorulma (çevrimsel deformasyon)
Yüksek sıcaklık hasarı (sürünme, oksitlenme, deformasyon)
Statik kırılma (hidrojen gevrekliği, ortam koşullarının etkisi ile çatlağın yavaş yavaş ilerlemesi)
Aşırı gerilme yoğunlaşması içeren tasarım (sert köşeli, kompleks şekilli ve çentikli tasarım)

Kompleks bir parçada gerilme analizinin doğru yapılmaması

Statik çekme mekanik özelliklerinden yapılan tasarım
(parçanın çalışma ortamı ve koşulları düşünülmemesi)

Tasarımın, servis koşullarında ortaya çıkabilecek muhtemel hasarlarla ilgili malzeme özellikleri göz önüne alınmaksızın sadece çekme deneyi ile belirlenen özelliklere göre yapılması

2. Tasarım gerilmelerinden (σ em deęerinden) küçük gerilmelerde görülen hasarlar:

Bu hasarların sebebi ise, malzemedeki mikro veya makro çatlaklardır. Çatlaklar; üretim ve fabrikasyon işlemleri sırasında veya metalürjik yapıdaki değişmelerden oluşur.

Mekanik, ısı ve kimyasal işlemler mikroskobik ve makroskobik hatalara neden olabilir. Bu hatalar malzemenin içinde veya dışında olabilir. Malzemenin yapısındaki bir hata ilk bakışta sorun çıkarmayabilir, hasara neden olmayabilir. Fakat çalışma sırasında çevre ve kullanım koşulları (gerilme şekli vs.) hatanın büyümesine sebep olur ve başlangıçta kritik boyutta olmayan bir hata (çatlak gibi) kritik bir boyuta ulaşarak hasara sebep olur.

Hatalı üretim ve fabrikasyon işlemlerinden kaynaklanan hatalar ise;

1. Kimyasal bileşimden kaynaklanan kusurlar (kalıntılar, kırılabilirlik yapan elementler (S,P), yanlış malzeme seçimi)
2. Döküm hataları (segregasyon, porozite, cüruf ve metalik olmayan kalıntılar)
3. Mekanik işlem hataları (çatlaklar, yüzey kusurları, katmerleşme, aşırı lokal plastik deformasyon)
4. Talaşlı imalat hataları (yüzey çizikleri, yanma, yırtılma, çatlama, gevrekleşme)
5. Kaynak hataları (porozite, kalıntılar, yetersiz ergime, yetersiz nüfuziyet, yanma olukları, çatlaklar, çarpılma)

6. Isıl işlem hataları (aşırı ısıtma, yanma, su verme çatlakları, tane büyümesi, dekarbürizasyon, çökeltme)
7. Yüzey sertleştirme işlemleri hataları (intergranüler karbürler, yanlış ısıl çevrim, yumuşak iç bölge)
8. Yüzey hazırlama işlemleri hataları (temizleme, kaplama, kimyasal difüzyon, hidrojen gevrekliği)
9. Montaj kusurları (parçaların uyumsuz monte edilmesi, montajın temiz koşullarda yapılmaması ve sisteme yabancı madde girmesi, kalıntı gerilme oluşması, parçaların çizilmesi, hasara uğraması vb)
10. Anizotrop yapıdan kaynaklanan kusurlardır (mekanik işlem uygulanan parçalarda deformasyona dik yönde düşük süneklik ve tokluk).

Bu hatalar içinde en yaygını montaj kusurudur. Tasarımda, malzeme seçiminde ve üretimde gerekli titizlik gösterilmesine karşın, makine ve konstrüksiyon parçalarının montajında gerekli titizlik gösterilmez ise hasar kaçınılmaz bir son olacaktır. Montaj hataları, tasarımda göz önüne alınmamış ilave gerilmeler ve değişik yükleme şekilleri oluşturarak aşınma, yorulma ömrünün azalması, distorsiyon ve benzeri hasarlara neden olur. Montaj hatalarına örnek olarak, şaft, dişli, yatak ve kaplinlerdeki eksen kaçıklıkları, somunların uygun torkta ve düzgün biçimde sıkılmaması verilebilir.

Servis koşullarında malzemenin veya parçanın özelliklerini yitirmesinin sebepleri;


1. Aşınma (yenme, oyuklanma, boyut değişimi, vs.)

2. Korozyon (kimyasal etki, gerilmeli korozyon, korozyonlu yorulma, çinko kaybı, dökme demirlerde grafitleşme, atmosferik etki)
3. Bakım ve tamir sırasında doğan hatalar (kaynak, taşlama, perçinleme, delik açma, soğuk düzeltme gibi tamir işlemleri sırasındaki hatalar).
4. Çalışma ortamı kimyasal etkileri (sıvı metal veya asit ortamı etkisi, yüksek sıcaklıkta kaplama)
5. Radyasyon etkisi (süreye, sıcaklığa, ortama ve dozaja bağlı)
6. Anormal çalışma şartları (aşırı mekanik titreşim, ses titreşimi, darbe, ısıl şok, anormal çalışma sıcaklığı, gibi)

5. Hasarın Teşhisi

Hasarın çeşitli mekanizmalarının mikroskobik ve makroskobik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Hasarın sebebi ve mekanizmasının da birbirinden ayırt edilmesi hasar teşhisi için önemlidir. Hasar mekanizmaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Gevrek kırılma
 2. Sünek kırılma
 3. Uzun ömürlü yorulma
 4. Kısa ömürlü yorulma
- KIRILMA
- YORULMA


5. Sürünme  SÜRÜNME

6. Bükülme veya distorsiyon
7. Plastik deformasyon

} DEFORMASYON (ŞEKİL DEĞİŞİMİ)

8. Korozyon
9. Gerilmeli korozyon
10. Korozyonlu yorulma

} KOROZYON + GERİLME

11. Aşınma  AŞINMA

6. Kırılma Analizinin Kademeleri

Kırılma ile sonuçlanan bir hasar analizi başlıca aşağıdaki aşamaları içermektedir:

1. Olay Öncesi Ön Bilgilerin Toplanması

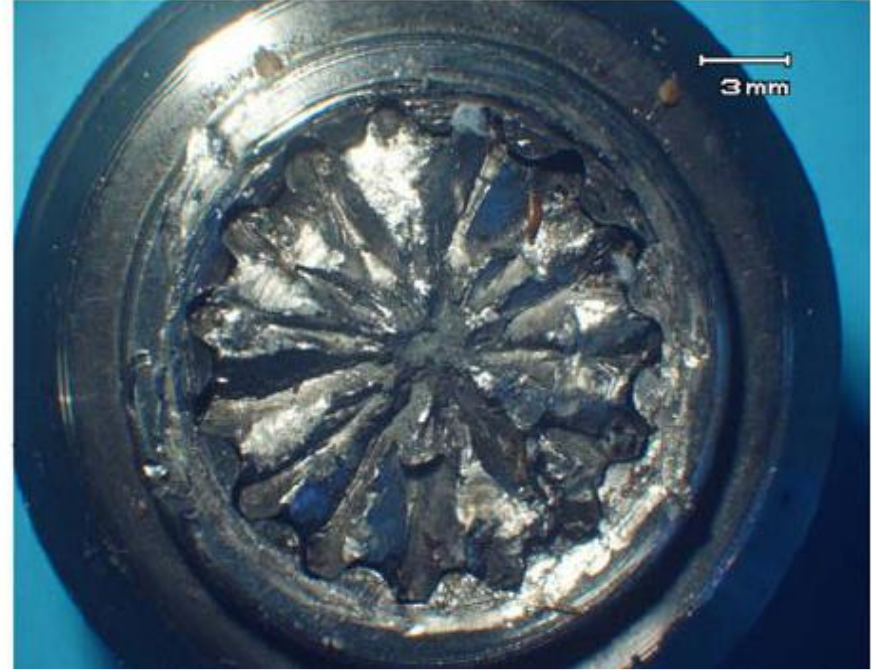
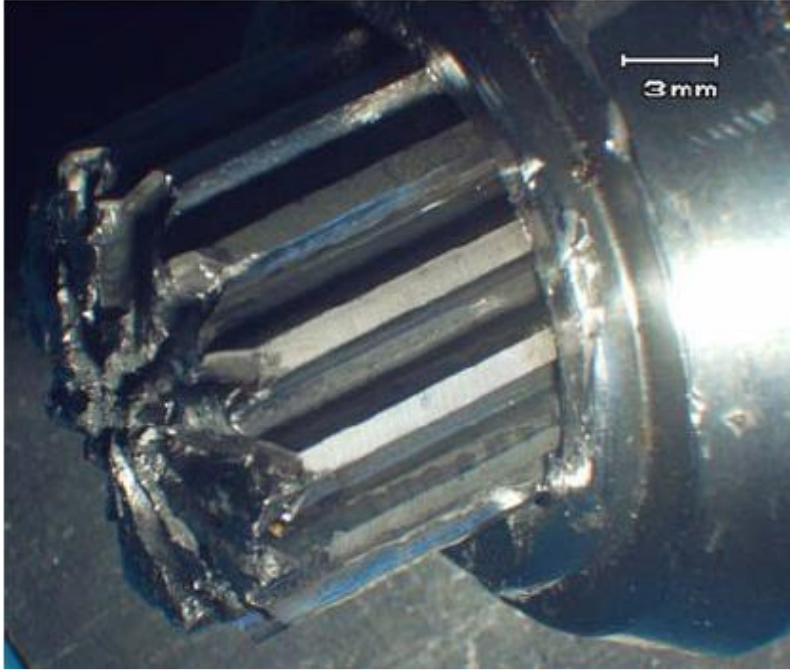
Kısaca hasar olmadan önceki malzeme hakkındaki bilgilerdir.
Yani;

- Kırılan parçanın üretimi ile ilgili bütün bilgilerin temin edilmesi sağlanır,
- Mekanik, termal kimyasal işlem uygulanıp uygulanmadığı araştırılır,
- Serviste hangi koşullarda çalıştığı ve

- Yükleme tipi, aşırı yükleme hali, sıcaklık, korozif ortamda bulunup bulunmadığı hakkında bilgiler toplanır.

2. Olayla İlgili Kırık Parçaların Ön İncelemelerinin Yapılması

- Bu kademedede gözle inceleme yapmadan kırık parçaların fotoğraflarının çekilmesi yararlı, hatta zorunludur.
- Fotoğrafların profesyonel kişi tarafından büyük kameralar ile çekilmesi,
- Kırık parçaların toplanmadan önce her parçanın yerinin tespit edilmesi,
- Parçaların boyutları ve şekilleri kaydedilir ve eksik parça olup olmadığı tespit edilir,



- Parçanın tam boyutu elde edilinceye kadar kırık parçalarla bir araya getirilmeye çalışılması,
- Kırılmanın nereden başladığının fotoğraflarla tespiti, böylece hangi parçanın önce kırıldığı ve dolayısıyla kırılmanın nereden başladığı tespit edilebilir.

3. Numune seçiminin yapılması

Numuneler, kırılma olayını aydınlatacak karakteristikleri taşımaları ve analizi yapacak kişi tarafından seçilmelidir. Kırılan parçanın sağlam olanı alınır ve kırılmış olanla karşılıklı kıyaslaması yapılır. Bazı durumlarda kırılmanın imalat hatası mı, yoksa işletme şartlarından mı kaynaklandığı sağlam olanla mukayese edilerek bulunabilir. Örnek olarak; servis koşullarından dolayı malzemenin mikro yapısında bir değişim varsa, hasarlı malzeme, kullanılmamış yeni malzeme ile karşılaştırılarak bu değişim bulunabilir.

4. Numunelerin gözle incelenmesi

Numune olarak alınan kırık parçaların tümü temizlenmeden önce çıplak göz ile veya büyüteç ile incelenmelidir, renk ve yapı değişiklikleri gözlenebilir. Gözle incelemede çok kısa bir zamanda geniş bir bölgeyi incelemek, yüzeyde mevcut renk ve tekstür değişimlerini ayırt etmek mümkündür, bu değişimleri optik veya taramalı elektron mikroskoplarında saptamak oldukça güçtür. Yüzeydeki pislikler ve döküntüler bazen kırılmanın nedenini açıkça ortaya çıkartabilir. Kırılma yüzeyinde boya izinin olması veya dış yüzeye birleşmiş, oksitlenmiş veya korozyona uğramış bir bölgenin bulunması önceden yüzeyde bir çatlak mevcudiyetine delil olabilir. Çıplak gözle incelemede özellikle çatlağın izlediği yol takip edilir.

5. Tahribatsız Muayene

- a) Manyetik toz ile muayene
- b) Sıvı emdirme yöntemi
- c) Elektro manyetik muayene
- d) Ultrasonik muayene

6. Mekanik Deneyler

Mekanik deneyler içinde en basit olanı sertlik deneyidir ve bu deney hasar analizinde çok değişik amaçlarla kullanılabilir. Sertlik deneyi birçok uygulamaların yanı sıra parçaya uygulanan ısı işlemin değerlendirilmesinde (hasara uğramış elemanın sertliği ile tasarımda belirtilen sertliği kıyaslayarak), çeliğin çekme dayanımının yaklaşık olarak tahmin edilmesinde, pekleşmeyi tespit etmede veya aşırı ısınma, karbon kaybı yoluyla oluşan yumuşamayı saptamada kullanılabilir.

Sertlik deneyi, mikrosertlik deneyinde olduğu gibi özel deney parçası hazırlığı gerektiren haller dışında temelde tahribatsız bir deneydir.

7. Numunelerin Kodlanması, Ön Temizliđinin Yapılması ve Korunması

Kırık numuneler, incelenmeleri sırasında korozyondan korunmak için basınçlı hava ile kurutup, yüzeye yapışan yabancı maddelerden arındırılıp, rutubetsiz bir ortama konulmalıdır. Sadece yüzeydeki pislikleri giderecek ve parçaya zarar vermeyecek çözeltilere sokularak parçaların yüzeyi temizlenir. Bunlar:

- a) Basınçlı hava ile temizleme
- b) İnorganik çözeltilere daldırarak temizleme

- c) Asidik veya bazik solüsyonlarla silerek temizleme
- d) Ultrasonik olarak
- e) Plastik replika yapılarak temizleme

8. Makroskobik ve Mikroskobik İnceleme

Kırılma yüzeyleri hem makroskobik hem de mikroskobik olmak üzere pek çok özellik gösterirler. Önce makroskobik inceleme yapılmalıdır. Bu incelemeler çıplak göz veya el büyüteçleri ile yapılabilir. Böylece genel hatları ile hasar incelenebilir. Bu inceleme, çatlağın ilerleme yönünü ve çatlağın orijini ortaya koymak için yeterlidir. Ayrıca çatlağın aşırı yüklenme sonucu mu yoksa yorulma sonucu mu ortaya çıktığı da bu incelemelerden tespit edilebilir.

Mikroskobik İnceleme: Çatlağın orijini belli ise, orijinle ilgili özellikleri incelemek üzere stereo mikroskop kullanmak en doğru seçenektir. Bu yapıldıktan sonra elektron mikroskobu, özellikle taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmalıdır. Bu sayede geniş bir alan ve düşükten yüksek büyütmelelere kadar detaylı bir inceleme yapılabilir. Kırılma yüzeylerini direkt olarak incelemek için optik mikroskobun yerini artık taramalı elektron mikroskobu almıştır. Ancak optik mikroskop, bilhassa metalografik inceleme için vazgeçilmezliğini sürdürmektedir. Elektron mikroskobunun kullanımı, kırılma türlerini belirlemek için oldukça önemlidir. Çünkü belirleyici karakteristik özellikler yüzeyin ancak X1000 veya daha fazla büyütülmesi sonucu ortaya çıkmaktadır.

9. Kırılma Mekanizmasının (Tipinin) Saptanması

Hasar bölgesindeki kırılma yüzeyinin ve metalografik kesitlerin etüdünden elde edilen bilgilerle kırılma tipinin saptanması gereklidir. Uygulamada karşılaşılan kırılma tipleri (mekanizmaları) şu şekilde sıralanabilir:

- Sünek kırılma
- Tane içi gevrek kırılma
- Yorulma kırılması
- Gerilmeli korozyon çatlama
- Korozyonlu yorulma
- Hidrojen gevrekleşmesi
- Sürünme ve sürünme kopması
- Kompleks hasarlar (sıralanan bu hasar tiplerinin birden fazlası ile oluşur)

10. Kimyasal Analiz

Bir hasarın araştırılmasında, malzemenin öngörülen malzeme olup olmadığını saptamak amacıyla, kimyasal analiz yapmak gerekir. Belirtilen kimyasal bileşimden hafif sapmalar hasar analizinde çok önemli değildir. Gerçekte hasarların çok az bir kısmı uygun olmayan veya hatalı malzeme nedeniyle oluştuğundan, kimyasal analiz sonuçları nadiren hasar nedenini ortaya çıkarır.

11. Kırılma Mekanik Analizi

Kırılma nedeniyle oluşan hasarların araştırılmasında ve benzer hasarların önleyici tedbirlerin tasarlanmasında yük altındaki metallerde oluşan kırılmanın mekanik, kırılma mekanik kavramlarının tasarıma uygulanması ve elemanların çalışma ömürlerinin önceden tahmin edilmesi giderek önem kazanmaktadır.

Malzemelerin kırılma davranışı, insanoğlunun var olduğu günden itibaren hayatın kalitesini de etkilemiştir. Makine parçaları yanlış tasarımlar, malzeme hataları, beklenmeyen yükler, üretim hataları ve diğer karmaşık ve pek de anlaşılamayan nedenlerden dolayı kırılabilir. Aynı hatanın tekrarı istenmiyorsa hasarın nedeninin anlaşılması oldukça önemlidir.

12. Servis Koşullarının Simüle Edilerek Parçanın Özel Bir Deneye Tabi Tutulması

Bir araştırmanın sonuç safhasında hasarın oluştuğuna inanılan şartlar oluşturularak deney yapmak gerekebilir. Benzer çalışma koşullarında altında deney genellikle çok pahalı cihazlar gerektirdiğinden pratik değildir. Pratik olsa bile tüm çalışma koşullarının bilinmesi veya anlaşılması da mümkün değildir.

Örnek olarak, korozyon hasarlarının laboratuarda yeniden oluşturulması zordur. Buna karşılık sınırlamalar iyi bir şekilde anlaşılırsa, çalışma şartlarında karşılaşılan seçilmiş bazı değişkenlerin etkilerini saptamada ve benzer hasarlardan kaçınmak için gerekli tedbirlerin planlanmasında, en azından çalışma ömrünü uzatmada, benzer çalışma koşulları altında deney yapmak yararlıdır.

Bir yağlayıcıya katılan özel katkıların aşınmayı azaltmadaki etkinliğini değerlendirmek için, seçilmiş sayıda çalışma değişkenleri kullanarak, benzer çalışma koşulları altında deney yapmak buna örnek verilebilir.

13. Gözlem ve Verilerin Değerlendirilerek Hasar Analizi Raporunun Yazılması

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

Bu özelliğe sahip olmayan araştırmalar ise daha önce açıklanan safhalarda gerçekleştirilecek ve her safhadaki bulgular araştırmanın nasıl ilerleyeceğini de belirleyecektir. Yeni gerçekler ilk izlenimi değiştirdiğinde farklı bir hasar hipotezi

geliştirilecek ve hipotez daha sonraki bulguların etkisiyle ya terk edilecek veya muhafaza edilecektir.

Araştırmacı büyük bir laboratuvar donanımına sahipse, bir ön sonucun formülleştirilmesine teşebbüs etmeden önce mekanik deneyler, kimyasal analiz, fraktografi ve mikroskopi sonuçlarını bir araya getirmek için büyük ölçüde çaba harcayacaktır. Hasar nedeninin kolaylıkla saptanmadığı araştırmalarda hasar nedeni ile ilgili bir çıkış yolu bulmak için benzer hasarların yayımlanmış raporlarının taranması gerekebilir.

Hasar analiz raporunun yazılması

Hasar analiz raporu açık, kısa ve tutarlı bir biçimde kaleme alınmalıdır. Rapor aşağıdaki bölümleri içerecek şekilde, elde edilen bütün bilgileri vererek yazılmalıdır.

1. Hasara uğrayan elemanın tanımı ve hasar hakkında bilgiler
2. Hasar anındaki işletme (servis) koşulları
3. Hasara uğrayan parçanın geçmişi ile ilgili servis kayıtları
4. Hasara uğrayan elemanın imalat ve işlem geçmişi
5. Parçanın kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri
6. Hasarlı parçanın mekanik ve metalürjik inceleme sonuçları

7. Hasarın hangi mekanizmadan ve hangi sebepten oluştuğu
8. Benzer hasarların önlenmesi ve halen çalışmakta olan benzer elemanların düzeltilmesi için tavsiyeler bulunmalıdır.

Her raporda, yukarıda belirtilen bölümlerin tümünün olması gerekmeyebilir. Uzun raporlar bir özetle başlamalıdır. Raporda çok zor bir teknik dilden kaçınmak gerekir. rapora detaylı hesapları, denklemleri kimyasal ve metalürjik bulgu tablolarını içeren eklerin koyulması, raporu bir bütün olarak daha iyi anlaşılır hale getirir.