

İşletmede Kullanılan İş Ekipmanlarının Yorulma Durumlarının Tahribatsız Muayene ile Belirlenmesi

Ersan Gönül¹, Burak Bayraktaroğlu²

Endüstride kullanılan iş ekipmanlarının birçoğu, metal konstrüksiyonlardan meydana gelmekte ve zamanla yorulmanın etkisiyle risk oluşturmaktadır. Özellikle meydana gelen plastik deformasyon ve çatlak gibi hataların büyük bir çoğunluğu gözle fark edilemez veya incelemeler yapılmadan ortaya çıkarılamaz. Konstrüksiyonda meydana gelen bu bulguları, alışlagelmiş yöntemlerle yapılan testler ile belirlemek zordur ve bu durum iş güvenliği açısından büyük risk oluşturur. Bu çalışmada, işletme aşamasında olan ve metal konstrüksiyonlardan meydana gelen iş ekipmanlarının, çeşitli etkenlerden dolayı meydana gelen yorulma bulgularının ortaya çıkarılması için uygulanabilecek adımlarından ve tahribatsız muayene yöntemlerinin kullanılmasından bahsedilecektir.

GİRİŞ

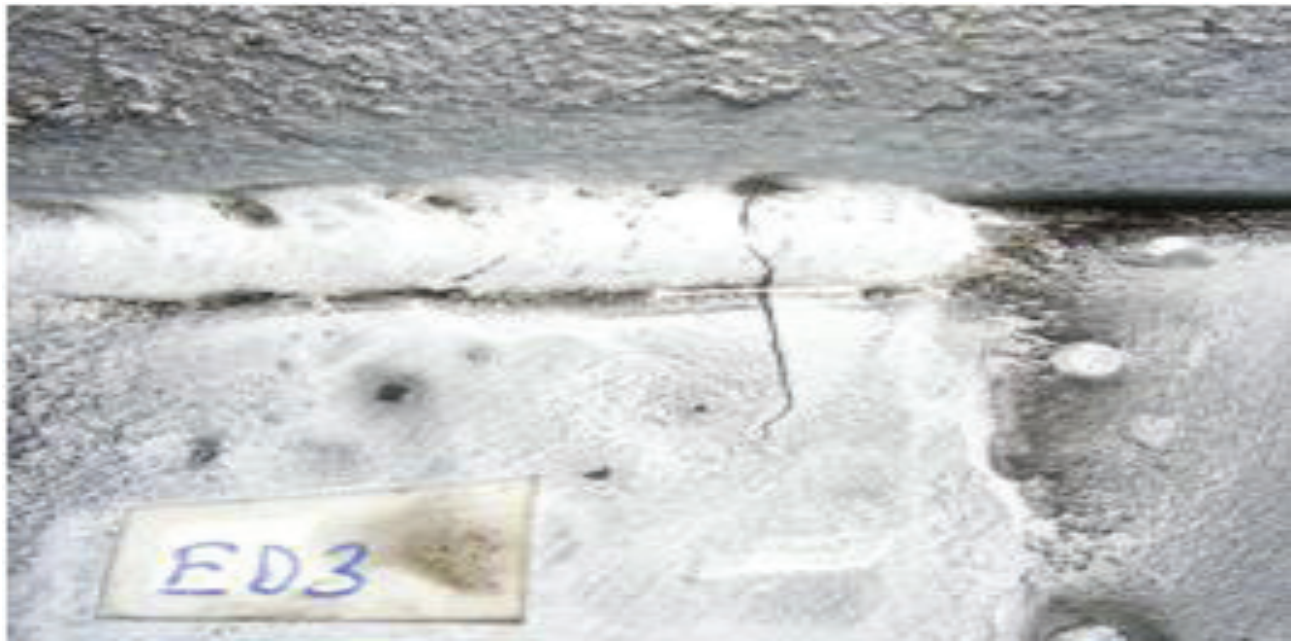
Günümüzde metalik malzemeler, birçok alanda kullanılmakta ve sanayimiz için imalat adına önemli bir yer tutmaktadır. Basıncılı kaplar, vinçler, gemiler ve çelik yapı binalar metal konstrüksiyonlara örneklerdir. Çok sayıda kaynak bağlantısı bulunan metal konstrüksiyonların farklı bölgelerine etki eden kuvvetler; farklı türde gerilmeler, eğimler ve sehimler oluşturmaktadır. Örneğin vinç gibi konstrüksiyonlarda, her yüklemde kirişte sehim meydana gelecek, kaynak bölgelerinde basma ve çekme gerilmeleri oluşacak; yük kaldırıldığında kiriş eski konumuna gelecek, yükün meydana getirdiği gerilmeler ortadan kalkacaktır. Statik analizlerde ve hesaplamalarda konstrüksiyonun yapısı açısından tehlike yaratmayan bu sehim ve gerilmeler yıllar boyunca tekrarlandığında, malzemede yorulmaya neden olmaktadır. Metal konstrüksiyonlarda yorulmanın etkileri yapılan yüklemeler neticesinde malzemede veya kaynak dikişinde çatlak olarak ortaya çıkar. Sanılanın aksine, belirli bir tekrarlı gerilmenin üzerinde çalışan her metal konstrüksiyonun bir ömrü vardır. Ömrünü tamamlayan konstrüksiyonlarda yorulmaya bağlı çatlaklar gözlenir. Yorulma çatlakları ani kırılmalara neden olabileceğinden iş sağlığı ve güvenliği bakımından son derece büyük risk oluşturmaktadır.

¹ Dr., TMMOB Makina Mühendisleri Odası Uygulamalı Eğitim Merkezi, Bursa - ersan.gonul@mno.org.tr

² TMMOB Makina Mühendisleri Odası Uygulamalı Eğitim Merkezi, Bursa - burak.bayraktaroglu@mno.org.tr



Fotograf 1. İşletmede Kullanılan Vinç Konstrüksiyonu



Fotograf 2. Konstrüksiyonda Bulunan Yorulma Çatlağı

İş ekipmanı olarak kullanılan metal konstrüksiyonların işletmelerde yıllar boyu çeşitli yüklemeler altında çalıştığını düşürürsek, yorulma olayının, konstrüksiyonun görevini güvenle yerine getirmesinin önünde engel olduğu açıktır. Genel olarak yorulma; "malzemenin tekrarlı yüklere maruz kalması, belli bir tekrar sayısından sonra yüzeyde çatlak

oluşması, bunu takip eden kopma olayı ile malzemenin son bulması" olayıdır. Dolayısıyla meydana gelen hasar, statik zorlanmada taşınabilecek gerilme değerlerinden çok daha düşük seviyelerde gerçekleşir.

Yorulma malzemelerine bakıldığında ise 2 türde olduğu belirtilebilir:

- Çatlaksız malzemelerde yorulma (Akslar, motorlar ve türbin parçaları)
- Çatlaklı malzemelerde yorulma (Köprüler, gemiler, kaynaklı yapılar olup (çatlak boyu zamanla artar)

Belli bir yapısal eleman, küçük çatlaklar içerebilir ancak hiçbiri (görsel sına, x-ışını teması, Ultrasonik tarama, elektrik akımına maruz bırakma gibi yöntemler) en küçük çatlaktan daha büyük değildir. Dolayısıyla çatlak oluşumu ömür değerini azaltmaktadır. Yorulma çatlakları genellikle yüzeyde başlar ve içeriye doğru yayılır. Yüzeydeki yorulma çatlağının başlangıcı, plastik deformasyonun daha kolay olması ve kayma basamaklarının yüzeyini oluşturduğu gerçeğine dayandırılabilir.

Bir makina elemanında bir çatlağın bulunması, dayanımı önemli ölçüde düşürür. Çatlak büyümesi dinamik yüklenme nedeniyle oluşur ve **"buna yorulma çatlağı büyüme-si davranışı"** denir.

Makinalarda nominal gerilme değerlerini arttırarak, gerilme yoğunluğuna neden olabilecek bağlantılar da kullanılmaktadır. Bu tür bağlantılardan en önemlisi, yoğunlukla kullanılan köşe ve punto kaynaklarıdır. Uzun süreli ağır yüklemeler altında kullanılan iş makinalarında bu kaynak bölgelerinde çatlak başlangıcı ve ilerlemesi, beklenen bir sonuçtur. Bu nedenle bu makinaların tasarımında, özellikle kaynaklı bağlantı bölgelerinde yorulma ve kırılma problemlerini ele almak gerekir.

Üretilen konstrüksiyonda denetimsizlik sonucu, uygun olmayan malzeme kullanımı, uygun olmayan kaynak işlemleri gibi nedenlerle oluşan kritik bölgeler, sistemlerin yorulma dayanımı üzerinde etkilidir. Üretim öncesi yapılan mukavemet hesaplamalarda dikkate alınmayan bu hatalı bölgeler, kullanım ömrünü azaltmakta ve sistemin yorulma dayanımını düşürmektedir.

2. YORULMA DURUMLARININ İNCELENMESİ

Kullanım şartları açısından konstrüksiyonların önündeki en büyük tehlikenin "yorulma" olduğu açıkça gözükmektedir. İşletmelerde kullanılan konstrüksiyonlarda aşağıdaki sebepler yorulmaya etki etmektedir:

- Yükleme durumları
- Maksimum yükleme sınırlarında kullanım
- Çalışma şartlarına bağlı dinamik yükler

- Atalet kuvvetleri
- Kullanımdan kaynaklı ısıya maruziyet durumları
- Korozif ortamlar
- Diğer sebepler(Rüzgâr Etkisi, sıcaklık vs.)

Bir de bunlara üretim şartlarındaki olumsuzluklar eklendiğinde riskin büyüklüğü açıktır. Bu nedenle kontrole konu olan konstrüksiyonlar için yapılabilecek çalışmalar şöyle sıralanabilir:

- Konstrüksiyonlarla ilgili ön incelemelerin yapılması
- Konstrüksiyonlarla ilgili konstrüksiyon hatalarının incelenmesi
- Konstrüksiyonlar için belirlenen kısımların tahribatsız muayenesinin yapılması
- Elde edilen bilgilerle vinci durumunun değerlendirilmesi

1.1 Konstrüksiyon ile İlgili Ön İncelemelerin Yapılması

Konstrüksiyon ile ilgili keşif çalışmaları, konstrüksiyonun kritik ve genel olarak olumsuz durumlara maruz kalan bölgelerinin irdelenmesi için gerçekleştirilir. Çalışmanın bu bölümü, konstrüksiyonun analizi gerçekleştirilerek kritik bölgelerin haritasını çıkarmak için yapılabileceği gibi, daha önce yapılan çalışmalar neticesinde tecrübi olarak bilinen bölgelerin irdelenmesi için gerçekleştirilir.

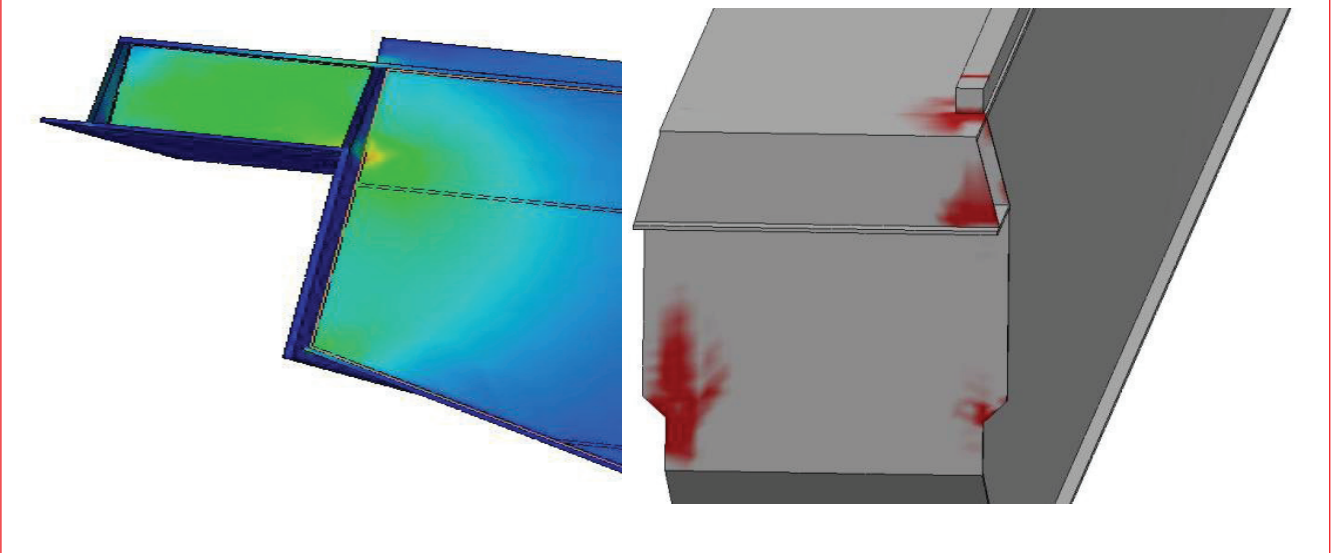
Yapılan çalışmalarda ilk önce işletmenin ve konstrüksiyonun bulunduğu bölgedeki yapı incelenir. Hem yükleme koşulları hem de konstrüksiyonun maruz kaldığı durumlar (korozyon, sıcaklık vs.) irdelenir.

İşletmenin ve konstrüksiyonun genel yapısı incelendikten sonra, konstrüksiyon üzerinde genel gözle muayene uygulanır. Genel gözle muayenenin amacı konstrüksiyonun işletme koşullarından dolayı, yükleme dışında zarar görmüş bölgelerinin belirlenmesidir.

Üzerinde çalışılan konstrüksiyonların teknik bilgilerine ve resimlerine ulaşılamadığı durumlarda, üç boyutlu model için ölçülerinin tamamının konstrüksiyon üzerinden alınması gerekmektedir. Tersine mühendislik uygulamasına örnek olabilecek bu çalışma için, konstrüksiyon tüm detayları fotoğraflanarak ölçüsüz bir tasarım oluşturulmaktadır. Ölçüsüz tasarımdan hareketle, konstrüksiyon üzerinden hangi ölçülerin alınacağı belirlenmekte, belirlenen ölçüler konstrüksiyon üzerinden alınmaktadır.



Fotograf 3. Bir vinç Konstrüksiyonun İçinin İncelenmesi



Fotograf 4. Gerilme Bölgelerinin Belirlenmesi



Fotograf 5. Uygun Yapılmayan Tadilat Sonrasında Tekrar Oluşan Çatlak

Tasarım işlemin tamamlanmasının ardından işletme koşulları göz önüne alınarak ve sınır şartları belirlenerek, bu sınır şartlarında birçok kez analiz gerçekleştirilmektedir.

Böylece kontrole konu olan konstrüksiyonun gerilme haritası çıkarılmakta, yükleme koşullarına göre kritik bölgeler belirlenmektedir. Yapılan çalışmaların tamamında uluslararası normlar ön planda tutulmakta ve değerlendirmeler standartların yol gösterdiği şekilde yapılmaktadır.

2.2 Konstrüksiyonlarla İlgili Konstrüksiyon Hatalarının İncelenmesi

Konstrüksiyonlarda bulunan kaynak dikişi çakışması, hatalı birleşim yeri, kaynak ağzı açılmadan işlem yapılması gibi hatalar bu bölümde incelenmektedir. Amaç, imalatta ve işletme aşamasında yapılan bakım onarım çalışmalarında yapılan hatalı işlemlerin belirlenmesidir.

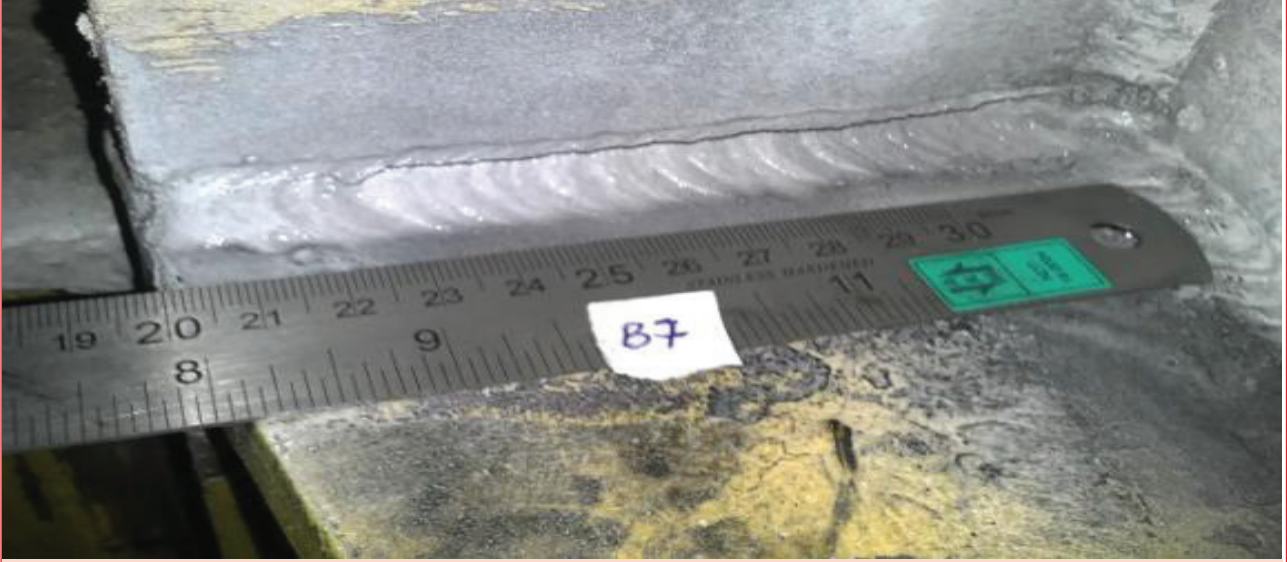
Kontrol neticesinde bilinçsizce ve normlara uygun olmayan bakım-onarım çalışmalarının ortaya çıkması sağlanmaktadır.

2.3 Ön İncelemeler ile Belirlenen Kısımların Tahribatsız Muayenesinin Yapılması

Tahribatsız malzeme muayenesi, kalite kontrolün en önemli bölümü olup, üretimin tamamlayıcı ve son kısmıdır. Tahribatsız muayene, incelenen parçanın malzemesine zarar vermeden muayene edilerek, dinamik ve statik yapıları hakkında bilgi edinilen muayene yöntemlerinin tümüne verilen addır. Tahribatsız muayene yön-

temi ile malzemeler üretim sırasında veya belli bir süre kullanıldıktan sonra, örneğin korozyon veya aşınma gibi nedenlerden dolayı çatlak, içyapıda meydana gelen boşluk, kesit azalması vb. hataların tespiti gerçekleştirilir. Bu işlemlerde malzemedan numune almaya gerek yoktur. Testler doğrudan parça üzerine yapılır.

Tahribatsız muayene, üretim esnasında yeni parçalara olduğu kadar, periyodik bakımlarda ve hatta işletme esna-



Fotograf 6. Konstrüksiyona Uygulanan Tahribatsız Muayene Sonucunda Bulunan Çatlak



Fotograf 7. Gözle Muayene Sonucunda Tespit Edilen Plastik Deformasyon ve Çatlak



Fotograf 8. Vinç Konstrüksiyonu Yorulma Kontrolü Esnasında Manyetik Parçacık Testi ile Tespit Edilen Çatlak



Fotograf 9. Darbe Alan ve Bakımı Yapılan Paslanmaz Fikse Kazanında Penetrant Testi ile Tespit Edilen Çatlak

sında servisteki parçalara da uygulanır. Bu durumlarda parçayı, montajlı olduğu sisteme takılı olduğu yerden sökmeden ve bazen de işletmeyi hiç durdurmadan muayene yapmak mümkündür. Özellikle yorulma ile ilgili ortaya çıkan belirtilerin belirlenmesi için tahribatsız muayene metotlarından yararlanılabilir. Tahribatsız muayene metotları, hızlı ve pratik yöntemler olmasının yanında yorulma ile ilgili belirtilerin, özellikle çatlak oluşumlarının ortaya çıkarılmasında büyük öneme sahiptir.

Tahribatsız muayene yöntemleri çeşitli fiziksel prensiplerle, farklı şekillerde uygulanır. Seçilecek yöntem, incelenen malzemenin cinsine ve aranan hata türüne göre belirlenir. Her bir yöntemin diğerine göre üstün tarafları olup, genellikle birbirlerinin tamamlayıcısı durumundadırlar. Oluşturulan gerilme haritalarına ve yapılan incelemelerde elde edilen bulgulara göre, gerilmelere bağlı yorulmaya maruz kalacağını öngörülen ve incelemelerde hasarların tespit edildiği bölgelerde aşağıdaki tahribatsız muayene yöntemleri uygulanmaktadır.

Yorulma ile ilgili durumların ortaya çıkarılmasında, tahribatsız muayene metotlarından en etkili yöntemler şunlardır:

- Gözle Muayene
- Manyetik Parçacık Muayenesi
- Penetrant Muayenesi
- Eddy-Current Muayenesi
- Girdap Akımları Muayenesi

Bu yöntemlerin tamamı tahribatsız muayenelerde kullanılan yüzey yöntemleridir. Bunun nedeni, yorulma çatlaklarının büyük bir çoğunlukla kendilerini malzeme yüzeylerinde göstermelerinden kaynaklanmaktadır.

Gözle muayene, çıplak gözle yapılan muayenedir. Bir ürünün yüzeyindeki süreksizlikler, yapısal bozukluklar, yüzey durumu gibi kaliteyi etkileyen parametrelerin, optik bir yardımcı (büyüteç gibi) kullanarak veya kullanmaksızın muayene edilmesidir.

Gözle muayene çok basit bir metot olarak görünse de kendine özgü incelikleri vardır. Genellikle bir başka tahribatsız muayene metodunun uygulanmasından önce yapılması gereken bir çalışmadır. Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelere uygulanabilir. Gözle Muayene için çoğu durumda yüzey temizliğine gerek kalmaz.

Bununla birlikte, gözle muayene için personel tecrübesinin, kontrol şartlarının uygun ve standartlara göre sağlanmış olması gerekmektedir.

Gözle muayene ile plastik deformasyonlar ve yorulmaya bağlı olan çatlak oluşumları tespit edilebilir. Bununla birlikte, gözle muayene ile görülebilen belirtiler, nispeten gözün görebileceği belirtilerdir. Daha ince ve küçük hatalar (örneğin kılcal çatlaklar) için diğer yüzey metotlarına başvurulması gerekmektedir.

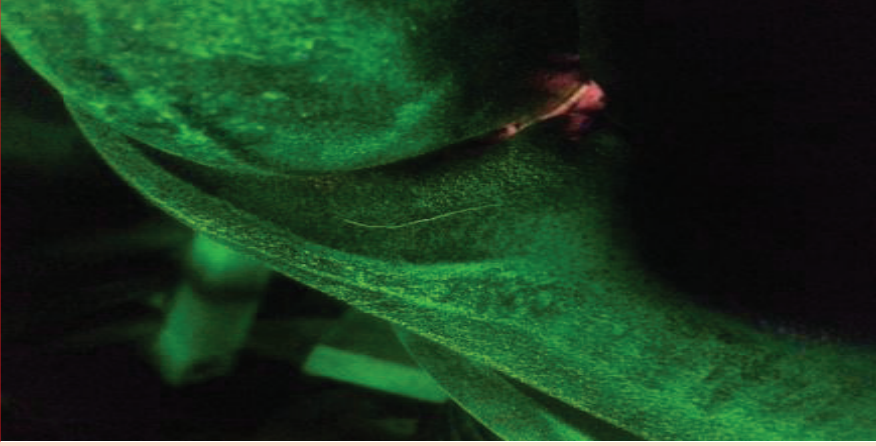
Manyetik parçacık muayenesi, ferromanyetik özellikteki test yüzeyinde veya hemen altındaki çatlakların tespitinde kullanılır. Oldukça basit, hızlı ve düşük maliyetle uygulanabilirliği nedeniyle ferromanyetik malzemelere uygulanır ve oldukça geniş bir kullanıma sahiptir. Bu yöntemde yüzey hatalarının belirlenebilmesi, hatanın boyutuna ve yüzeye yakınlığına bağlı olup sadece ferromanyetik, yani mıknatıslanabilen malzemelere uygulanır.

Bünyesinde hata bulunan bir malzeme yüzeyine, manyetik alan uygulanması halinde, yüzeye ferromanyetik tozlar serpilirse, bu tozlar hataların bulunduğu bölgelerde toplanırlar. Böylece, mevcut süreksizliklerin yerleri tespit edilmiş olur.

Penetrant muayene, yüzey hatalarının tespit edilmesinde kullanılan oldukça yaygın bir yöntemdir. Bununla bir-



Fotograf 10. Girdap Akımları Testi Uygulaması



Fotograf 11. Manyetik Parçacık Testi Sonucunda Elde Edilen Bulgu - Çatlak - Mapa

likte, manyetik parçacık muayene yöntemi gibi hızlı bir yöntem değildir. Manyetik parçacık muayene yönteminin avantajı ise tüm malzemelere uygulanmasıdır. Tespit edilmek istenilen hatalar, uygulanan yüzeye açık olması gerekir. Bu nedenle, yüzey altında kalan veya herhangi bir nedenle yüzeye bağlantısı kesilmiş bulunan hatalar bu metotla tespit edilemez. Süreksizlikler çatlak türünde çizgisel belirtiler, gözenek türünde ise yuvarlak belirtiler elde edilir.

Girdap akımları muayenesinde, iletken malzemelerdeki kusurları saptamak için elektromanyetik indüksiyon ilkesi kullanılır. Akım taşıyan bir bobin, muayene edilecek parçanın yakınına yerleştirilir. Bobin, girdap akımları oluşturan bileşenle etkileşime giren bir alternatif akım kullanarak değişen bir manyetik alan oluşturur.

Kontrollerde manyetik parçacık muayenesi veya penetrant muayenesi ile çatlak taraması yapılmakta olup, çatlaklı bölgeleri görülür hale getirilmektedir. Bu darbeler ve/veya yorulmalar sonucunda meydana gelen çatlakların, dolayısıyla çatlaklar ile meydana gelen risklerin açığa çıkarılması için oldukça önemlidir. Bu akımların fazındaki ve büyüklüğündeki değişiklikler ya bir ikinci bobin kullanılarak ya da uyarma bobininde akan akımın değişimlerini ölçerek izlenir. Herhangi bir kusurun bulunması girdap akım alanının değişmesine ve ölçülen sinyalin faz ve genliğinde karşılık gelen bir değişikliğe neden olacaktır. Bu yöntem kullanılarak tahribatsız muayene (NDT) yapılırken girdap akımı, kusur detektöründe sinyaldeki belirgin bir değişiklik olarak görüntülenir ve belirti saptanır.

2.3.1 Genel Olarak Tahribatsız Muayene Yöntemlerin Değerlendirmesi ve Elde Edilen Bulgular

İşletme aşamasındaki bir cihazın saha kontrollerinde tahribatsız muayene yöntemlerinden ağırlıklı olarak gözle muayene, manyetik parçacık muayenesi ve penetrant muayene kullanılmaktadır. Girdap akımları muayenesi ise ağırlıklı olarak eşanjörlerin muayenesinde kullanılabilir.

Gözle muayene esnasında, konstrüksiyonun yapısı gözle görülebilecek hatalar açısından incelenmektedir. Bu hatalar genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Gözle görülebilen çatlaklar
- Görülebilir imalat ve işletme hataları
- Çentikler
- Plastik deformasyonlar
- Korozyon

Yapılan saha kontrollerinde, manyetik parçacık muayenesi çok daha hızlı ve etkin sonuçlar verirken, penetrant muayenesi hem inceleme koşulları olarak hem de hatanın tespitindeki zaman kaybı açısından manyetik parçacık testine göre daha az tercih edilmektedir. Fakat kontrole konu olan konstrüksiyonda kullanılan malzemeler ferromanyetik özellikte olmaması durumunda (paslanmaz vs.) penetrantın kullanılması kaçınılmazdır. Manyetik Parçacık ve Penetrant muayenesi ile aşağıdaki bulgular elde edilmektedir:

- Gözle görülemeyen çatlaklar
- Genel olarak gözle görülmeyen imalat ve işletme hataları
- Çentikler

2.3.2 Elde Edilen Bilgilerle Durumunun Değerlendirilmesi

Kontrollerdeki temel amaç, ekipmanlar ile ilgili risk durumunun ortaya çıkarılmasıdır. Dolayısıyla durumun kritikliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Kontroller esnasında karşılaşılan çatlak oluşumları en önemli risk sınıfını oluşturmaktadır. Çatlaklar, yaşayan hatalar olduğu için hiçbir şekilde izin verilmemesi gereken belirtilerdir. Bu durum



Fotograf 12. Gerilmenin Yüksek Olduğu Bölgede Bulunan Çatlak



Fotograf 13. Yanlış Kullanımdan Kaynaklanan Plastik Deformasyon



Fotograf 14. Korozyonlu Bölgede Tespit Edilen Çatlak



Fotograf 15. Üretim Hatasından Kaynaklanan Çatlaklar

çeşitli uluslararası normlarda da geçmektedir. Bulunan bir çatlağın, kırılma mekaniğinde kırılmanın öncüsü olduğu bilinmekte olup, ilerleyen çatlak, sonunda konstrüksiyonu kıracaktır. Bu durum istenmeyen olayların yaşanmasına sebebiyet verebilecektir. İş sağlığı ve güvenliği açısından büyük riskler oluşturacaktır.

Yapılan incelemeler sonucunda genel olarak şu durumlar karşımıza çıkmaktadır:

1. Çatlaklar, gözle muayene ve analiz işlemleri sonucunda, değerlendirme ile belirlenen bölgelerde tespit edilebilmektedir. Bu bölgeler, ağırlıklı olarak gerilmeye, ısıya ve dinamik etkilere maruz kalan bölgelerdir. Ayrıca incelemelerde yanlış üretimlerde hesaba planlanmalıdır.
2. Konstrüksiyonlarda yanlış kullanıma bağlı plastik deformasyon, çatlaklar ve kırılmalar tespit edilmektedir. Yanlış kullanımlar, değerlendirme yapılırken, konstrüksiyon üzerindeki ön incelemelerle, sahada konstrüksiyonun kullanımının takip edilmesiyle ve bakım kayıtlarının incelenmesi ile belirlenmektedir. İlgili ekipmanın eğitimi ve belgeli kişilerin kullanıp kullanmadığı da değerlendirilmelidir.
3. Konstrüksiyonlarda meydana gelen korozyon durumları da önemlidir. Bu durum, ekipmanın kullanıldığı bölgeye göre, ekipmanın kullanım amacına göre ve firmanın faaliyet gösterdiği alana göre farklılık göstermektedir. Neden ve sonuç ilişkisinin açıkça belirlenmesi ve raporlanması için ilgili durumların dikkatlice incelenmesi gerekmektedir. Böylelikle korozif etkinin önüne geçilebilir. Korozyon, özellikle korozyonlu çatlak oluşumlarında en önemli etkidir.
4. Kaynaklı üretimler için kaynaklarda



Fotograf 16. Depolama Tankı Üzerinde Uygun Olmayan Tadilat Sonrası Meydana Gelen Çatlaklar



Fotograf 17. Yanlış Yapılan Kaynak Uygulaması Sonucunda Meydana Gelen Çatlak



Fotograf 18. Isı Tesiri Altında Çalışan Vinçte Meydana Gelen ve Gözle Görülebilen Plastik Deformasyonlar

korozyon, plastik deformasyonlar ve kırılmalar gözlemlenmektedir. Özellikle üretimden kaynaklı hatalar, kaynaklar için en büyük risk sınıfını oluşturmaktadır. İlgili uluslararası normlara göre ve belgeli kaynakçılar ile üretilmeyen konstrüksiyonlar, kullanım limitlerinin çok altlarında çatlak oluşumlarına ve kırılmalara sebep olacaktır.

5. Konstrüksiyonların birçok yerlerinde, tadilat işlemlerine bağlı deformasyonlar ve çatlaklar bulunabilir. Özellikle bilinçsiz yapılan tadilatlar çatlak oluşum hızlarını arttıracaktır. Örneğin yorulma çatlağı gözlemlenmiş bir konstrüksiyonda, çatlağın üstüne kaynak çekmek, yorulmuş bir malzemeyi daha da sertleştirecek, çatlak büyüme hızını arttıracak ve kırılma süresini kısaltacaktır. Bununla birlikte yapılacak tadilat, yorulma etkileri göz önüne alınarak yapılmalıdır. Aksi takdirde, giderildiği sanılan çatlak kısa zamanda daha büyük ve riskli bir şekilde konstrüksiyonun üzerinde belirecektir.
6. Kontrol edilen tadilatların çoğunda gözle muayene ile tespit edilen birçok hata görülmektedir. Konstrüksiyonel hatalar çatlak oluşum hızını arttırmaktadır. Projelerin uluslararası normlara uygun olarak, denetlenerek yapılması önemlidir.
7. Tadilat yapılan bölgelerin birçok kez tadilat işlemine tutulduğu görülmüştür. Bu durum yarardan çok zarar sağlamakta, yukarıda anlatıldığı gibi yanlış yapılan tadilat, yorulma etkisini arttırmakta, önüne

geçilebilecek bir durumu da ortadan kaldırmaktadır. Geri dönüşü olmayan, iş sağlığı ve güvenliği açısından çok riskli bir durum meydana gelebilmektedir.

8. Isı etkisi konstrüksiyonlar için çok önemlidir. Üretimde bu durum göz önüne alınmalıdır. Bununla birlikte, üretimde ısı etkisi göz önüne alınsa bile, işletme aşamasında ısı etkisi düşünülmeden yapılan yanlış kullanımlar çatlak oluşumlarına sebep olacaktır. Özellikle ısı etkisi altındaki konstrüksiyonlara özen gösterilmeli, kontrol sıklıkları arttırılmalıdır.
9. Yukarıdaki durumlar göz önüne alındığında, firmalar yasal kontrollerin yanında, işletme durumlarına bağlı olarak farklı test ve analizleri yaptırmaları gerekmektedir. Uluslararası standartların bir çoğu imalat hesaplarında, konstrüksiyon yükleme durumlarının çevrim hesaplarını ve korozyonlanma miktarları gibi işletme aşaması durumlarını göz önünde bulundurmaktadır. Dolayısıyla her konstrüksiyonun imalattan gelen bir ömrü olduğu unutulmamalıdır. İşletmeler, sahip olduğu ekipmanlar için bu durumu göz önünde bulundurmalı ve ekipmanlarının kontrollerini bu durumları göz önüne alarak yaptırmalıdır.

SONUÇ

Yapılan çalışma; tahribatsız muayenenin, işletme aşamasında olan metal konstrüksiyonlar için önemli olduğunu ve bu muayenelerin yorulma kontrollerinde kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, çok sayıda kaynaklı birleşim içeren konstrüksiyonlarda, tüm kaynakların ve malzemelerin tahribatsız muayene ile kontrolünü gerçekleştirmek, hem maliyetli hem de uzun zaman gerektiren bir süreçtir. Bunun için konstrüksiyonların yorulma açısından kritik bölgelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bölgeler strain gauge ile belirlenebileceği gibi, bilgisayar destekli analizler ve daha önceki yapılan çalışmalar ile de belirlenebilir. Bununla beraber tecrübî bilgileri kullanmak ve kontrol bölgelerini bu bilgilerin tamamını kullanarak oluşturmak gereklidir. İlk yorulmaya uğrayacak olan, gerilmelerin olduğu bölgelerde bulunan kritik kaynak dikişlerinin ve malzemelerin kontrolü maliyeti azaltır, zamandan tasarruf sağlar. Bunun için

ilk yorulmaya uğrayacak bölgelerin belirlenmesi, yorulmuş bölgelerin kısa sürede, daha az kontrolle bulunması önemlidir.

Ayrıca işletme koşullarının da değiştiği göz önünde bulunmalıdır. Koşulların değişmesi ile (deniz kenarı veya kimyasal buharların olduğu korozif ortamlar, açık hava koşullarındaki çalışma nedeniyle güneş, yağmur, kar vb. etkiler) yorulma analizi değerlerinin de değiştiği unutulmamalıdır. Ön incelemede bu durumlardan etkilenen bölgelerin tespiti yapılmalıdır.

Ülkemizde tüm işletmelerin, 20 yılı geçen kaldırma makinalarının yanı sıra, basınçlı kaplarının da yorulma test ve analizlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Zaman ilerledikçe bu konstrüksiyonlarının da yaşının ilerlediği ve iş sağlığı ve güvenliği açısından risklerinin de arttığı unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

1. **Gönül, E., Bayraktaroğlu, B.** 2001. Kaldırma Makinalarında Yorulma Test ve Analizleri, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/572.
2. **Gönül, E., Bayraktaroğlu, B.** 2000. "Metal Konstrüksiyonların ve Makine Parçalarının Yorulma Dayanımı ve Örnek Bir Analiz Çalışması," TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Bülteni.
3. **Gönül, E., Bayraktaroğlu, B.** 2012. "TMMOB MMO Uygulamalı Eğitim Merkezi Çalışmaları Gelişerek Sürüyor, Mapa Kontrolleri Devam Ediyor," TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Bülteni, Aralık 2012.
4. **Gönül, E., Bayraktaroğlu, B.** 2015. "İş Güvenliğinde Tahribatsız Muayenenin Önemi", Kaynak Teknolojisi 9. Ulusal Kongre ve Sergisi, 20-21 Kasım 2015, Ankara, s. 373-384.
5. **Gönül, E., Bayraktaroğlu, B.** 2017. "İşletmede Kullanılan Metal Konstrüksiyonların ve Makina Parçalarının Yorulma Durumlarının Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile Tespiti," Kaynak Teknolojisi 10. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 17-18 Kasım 2017, Ankara.
6. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Uygulamalı Eğitim Merkezi / Bursa Şube Teknik Çalışmaları ve Kontrolleri, bursa.uem@mmo.org.tr