

TAHRİBATSIZ MUAYENENİN İŞÇİ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDEKİ YERİ

Burak Bayraktaroğlu¹, Dr. Ersan Gönül²

1. GİRİŞ

Metalik konstrüksiyonlar yaşamın her alanında kullanılmaktadır. Yük ve insan taşımacılığı için kullanılan ekipmanlar, buhar kazanları, hava tankları, yük istifleme sistemleri, köprü konstrüksiyonları gibi kaynaklı imalat yöntemiyle üretilen farklı amaçlarla tasarlanmış metalik konstrüksiyonlar bulunmaktadır. Metalik konstrüksiyonlar uzun yıllar kullanılmakta, değişen üretim planları neticesince taşınmakta, ekipmanlarda tadilat ve değişiklik yapılmaktadır.

Metalik konstrüksiyonların ömürleri sonsuz değildir. Tekrarlı yüklemelere maruz kalan metalik konstrüksiyonlarda malzeme yorulmasına bağlı çatlak oluşumları meydana gelmektedir. Yorulma sonucu malzemede oluşan çatlaklara "yorulma çatlak" adı verilmektedir. Yorulma çatlakları genellikle maksimum gerilmelerin olduğu bölgelerde meydana gelmektedir. Zamanla ilerleyen

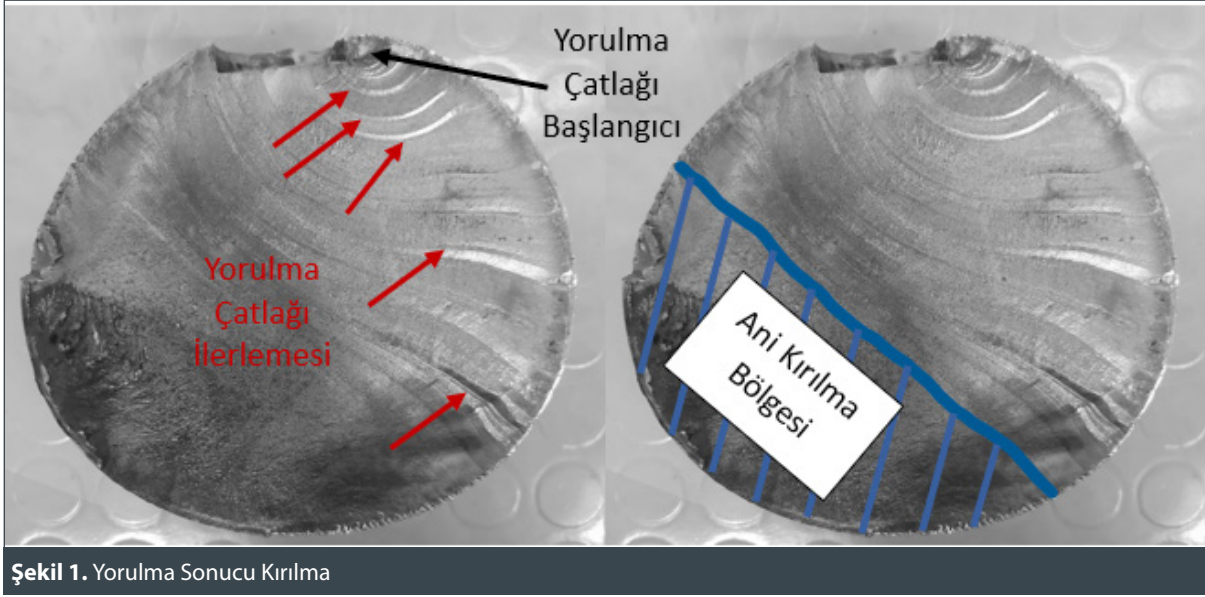
yorulma çatlakları bulunduğu bölgede çatlaksız kısım üzerindeki gerilmeyi arttırmakta, bu durum ani kırılmaya sonuçlanmaktadır. Şekil 1'de yorulma çatlakları ilerlemesi neticesinde kırılmış bir görülmektedir. Kırılma yüzeyleri incelenerek, ilk çatlakların olduğu bölge, çatlak ilerlemesi ve ani kırılma bölgeleri belirlenebilmektedir.

Metalik konstrüksiyonlara etkiyen kuvvetler ve ortam koşulları, yorulma çatlakları oluşumu üzerinde etkilidir. Araç şasisleri, tır dorseleri gibi ekipmanlara gelen değişken dinamik kuvvetler, taşıdığı yükün oluşturduğu atalet kuvvetleriyle birlikte farklı bölgelerde, değişken gerilmeler oluşturmaktadır.

Metalik konstrüksiyonlar için bir diğer risk korozyondur. Kimyasallar, ortam gibi faktörlere bağlı olarak korozyona uğrayan metalik malzemelerin dayanımları düşmektedir. Basınçlı ekipmanlarda meydana gelen cidar azalması (et kalınlığındaki düşüş) kritik seviyeye ulaşması halinde, bu

¹ Mak. Müh. (M.Sc.), Kaynak Müh., - burak.bayraktaroglu@mno.org.tr

² Mak. Müh.(Ph.D., M.Sc.), Kaynak Müh., - ersan.gonul@mno.org.tr



Şekil 1. Yorulma Sonucu Kırılma

ekipmanların kullanım dışına alınması gerekmektedir.

Yüksek ısı ekipmanların ömrünü etkileyen bir diğer faktördür. Buhar kazanı gibi yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan ekipmanlarda malzeme iç yapısındaki değişim, sertlik değerlerindeki değişim ve ortaya çıkması muhtemel çatlaklar irdelenmelidir. Direk aleve maruz kalan yüzeyler iç yapılardaki değişim ayrıca incelenmelidir.

Bu yazıda, çelik konstrüksiyon ve ekipmanlarda işletme aşaması kontrolleri için kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri irdelenecektir. Makina Mühendisleri Odası uzman personelleri tarafından gerçekleştirilen kontroller sonucunda bulunan süreksizliklere örnekler verilecektir.

2. İŞLETME AŞAMASINDA KULLANILAN TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ VE SEÇİMİ

Tahribatsız muayene, incelenen malzemeye zarar vermeden muayene edilerek, malzemenin dinamik ve statik yapıları hakkında bilgi edinilebilen muayene yöntemlerinin tümüne verilen addır. Bu işlemlerde, malzemelerden numune almaya gerek yoktur. Testler doğrudan ekipman üzerinde yapılır. Kullanıma uygun olmayan veya kullanıma uygunluğunu yitirmiş olan ekipmanlar, çoğunlukla kullanımdan kaldırılır.

Tahribatsız muayene yöntemleri çeşitli fiziksel prensiplerle, farklı şekillerde uygulanır. Seçilecek yöntem, in-

celenen malzemenin cinsine, boyutuna ve aranan hata türüne göre belirlenir. Her bir yöntemin diğerine avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte, genellikle birbirlerinin tamamlayıcısı durumundadırlar.

Tahribatsız muayene yöntemleri "yüzeysel metotlar" ve "hacimsel metotlar" olmak üzere ikiye ayrılır. Yüzeysel metotlar parça yüzeyinde bulunan veya yüzeye yakın süreksizlikleri saptamak için kullanılırken, hacimsel metotlar parça iç hacminde bulunan süreksizlikleri tespit etmek için kullanılmaktadır.

Yorulmaya bağlı oluşan kırılma yüzeyleri incelendiğinde, süreksizliklerin çoğunlukla yüzeyden başlayarak parça iç hacmine doğru ilerlediği gözlenmektedir. Bu nedenle yüzeysel metotlar grubunda bulunan gözle muayene, manyetik muayene ve penetrant muayene yorulma çatlaklarının saptanmasında sıklıkla kullanılmaktadır.

Döküm, dövme, haddeleme, kaynaklı v.b. imalat yöntemleriyle üretilen metalik ekipman ve konstrüksiyonlar tahribatsız muayene yöntemleriyle kontrol edilebilmektedir. Malzeme, yüzey pürüzlülüğü, yüzey kaplama durumu, yüzey gerilimi gibi parçaya bağlı özellikler yöntem seçimini etkilediği gibi, imalat yöntemiyle ilgili EN normları da dikkate alınmalıdır. Örnek olarak kaynaklı imalatlarda kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinin seçimiyle ilgili kriterler EN 17635 standardında şu şekilde tanımlanmıştır:

Tablo 1. Yüzeysel Metotların Seçimi

Malzemeler	Muayene Metotları
Ferritik çelik	VT VT and MT VT and PT VT and (ET)
Östenitik çelik Alüminyum ve nikel Bakır ve titanyum	VT V and PT VT and (ET)
Not: Parantez içindeki metotlar limitler dahilinde kullanılabilir	

- Kullanılan kaynak işlemi,
- Ana metal, kaynak sarf malzemesi ve işleme metodu,
- Birleştirme tipi ve geometrisi,
- Bileşen konfigürasyonu (ulaşılabilirlik, yüzey durumu v.b.),
- Kalite seviyeleri
- Beklenen süreksizlik tipi ve yönelimi.

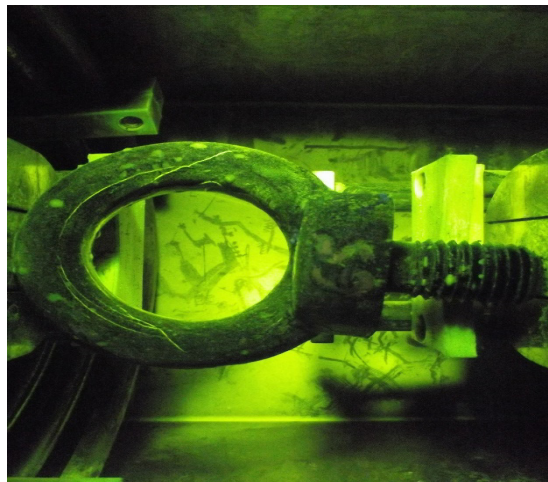
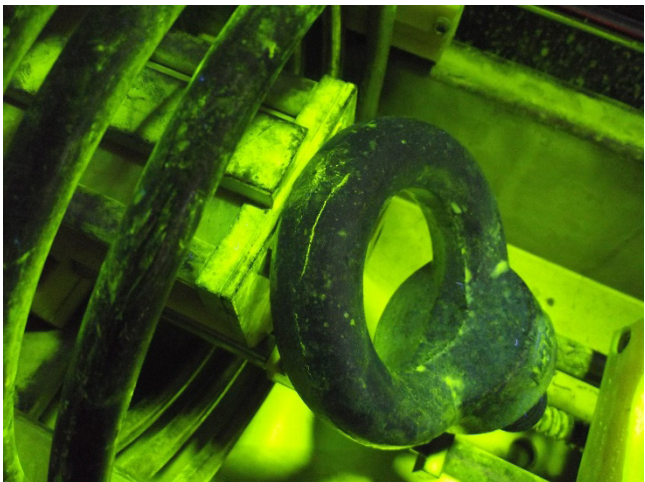
EN 17635 standardı Tablo 1'de, köşe kaynaklarını da içerecek şekilde, tüm kaynak tiplerinde yüzey süreksizliklerinin tespiti için malzemeye göre kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri tanımlanmıştır. Ferritik çelikler ile diğer malzemelerin (östenitik çelik, alümin-



Kanca gövdesinde enine çatlak



Kanca gövdesinde boyuna çatlak

Şekil 2. Kancalarda Oluşan Çatlaklar**Şekil 3.** UV Işık altında Manyetik Parçacık ile Kanca Kontrolleri

yum ve nikel, bakır ve titanyum) ayrı satırlarda yazılması-
nın nedeni manyetik parçacıkla muayene yapılabilmesi-
dir. Manyetik parçacıkla muayene sadece "ferromanyetik"
malzemelerde uygulanabilir.

3. SAHA ÖRNEKLERİ

3.1 Vinç Kancası

Dövme yöntemiyle metalik malzemelerden üretilen
vinç kancaları, yük kaldırmak için kullanılan ekipmanlar
olduğundan, aşınmaya ve yorulma çatlakları oluşumuna
da açıktır. Tekrarlı ve darbeli yüklemeler sonucunda
kancaların genellikle gövde ve boyun kısmında çatlaklar
oluşmaktadır.

3.2 Mapa

Mapalar, kaldırılacak yükü, kaldırma ekipmanına bağla-
mak için kullanılan aparatlardır. Çoğunlukla dövme yön-
temiyle üretilen mapaların farklı tipleri bulunmaktadır.
Yapılan tahribatsız muayene yöntemleriyle, mapa göv-
deleri ve bağlantıyı sağlayan dişli kısımlarında kullanıma
bağlı çatlaklar tespit edilebilmektedir. Şekil 4'te UV ışık al-
tında yapılan manyetik parçacık muayenesi sonucu tespit
edilen lineer belirtiler (çatlaklar) görülmektedir.

3.3 Forklift Çatalı

Yük kaldırmak ve istiflemek için kullanılan forkliftlerin
çatalları, yükleme boşaltma sonucu oluşan tekrarlı yük-
lemelere maruz kalmaktadır. Ayrıca, yükün yerleştirilmesi

ve forkliftin hareketi sırasında oluşan darbeler de, çatalın
yapısına zarar vermektedir. İşletmelerde uzun yıllar kul-
lanılan çatalların özellikle büküm bölgelerinde çatlaklar
oluşmaktadır. Ayrıca sabit yüklerin kaldırılması durumun-
da, gerilmeye maruz kalan bölgelerde enine çatlaklar
oluşmakta ve bu çatlaklar ani kırılmalarla sonuçlanmak-
tadır. Çatalın forklifte bağlanması için kullanılan ve çatala
kaynaklı imalatla birleştirilen bağlantı parçası kaynakları
da kontrol edilmelidir.

3.4 Vinç Kirişleri

Yük kaldırmak ve iletmek için kullanılan vinç kirişleri, kul-
lanıma bağlı olarak büyük kuvvetlerle karşılaşır. Vinç kan-
casına asılı olan yük, hareket ederken momentum kaza-
nır. Yükün kaldırılması, indirilmesi ve taşınması sırasında
yükün salınımına ve hızına bağlı olarak yük, beklenmedik
bir şekilde durur veya hareket yönü değişirse, bu mo-
mentumdan dolayı kancaya ek bir kuvvet (atalet kuvveti)
uygular ve yükün konumuna göre farklı bölgelerde geril-
meler oluşturur. Ayrıca tavan vinçlerinde sağ ve sol kiriş
frenlemesinin farklı olması kirişlerde esnemeye neden
olmaktadır. Sağ ve sol yürüme yollarının aynı kotta olma-
ması gibi sorunlar da vincin yapısı üzerindeki gerilmeleri
değiştirmektedir.

3.5 Buhar Kazanları

Buhar kazanları yüksek basınç ve ısı etkisi altında çalıştı-
ğından malzemede yorulma çatlakları oluşması söz ko-
nusudur. Doğrudan alevi gören bölümlerde, özellikle alev



Bağlantı parçası kaynakları

Büküm bölgesi

Şekil 4. Forklift Çatallarında Karşılaşılabilecek Çatlaklar



Şekil 5. Vinç Kirişlerinde Gözlenen Çatlaklar



Şekil 6. Buhar Kazanı Alev Duman Borusu ve Ayna Bağlantılarında Saptanan Çatlaklar

duman boru bağlantıları ve ayna kısımlarında, malzeme ve kaynak dikişlerinde, çatlaklar görülmektedir.

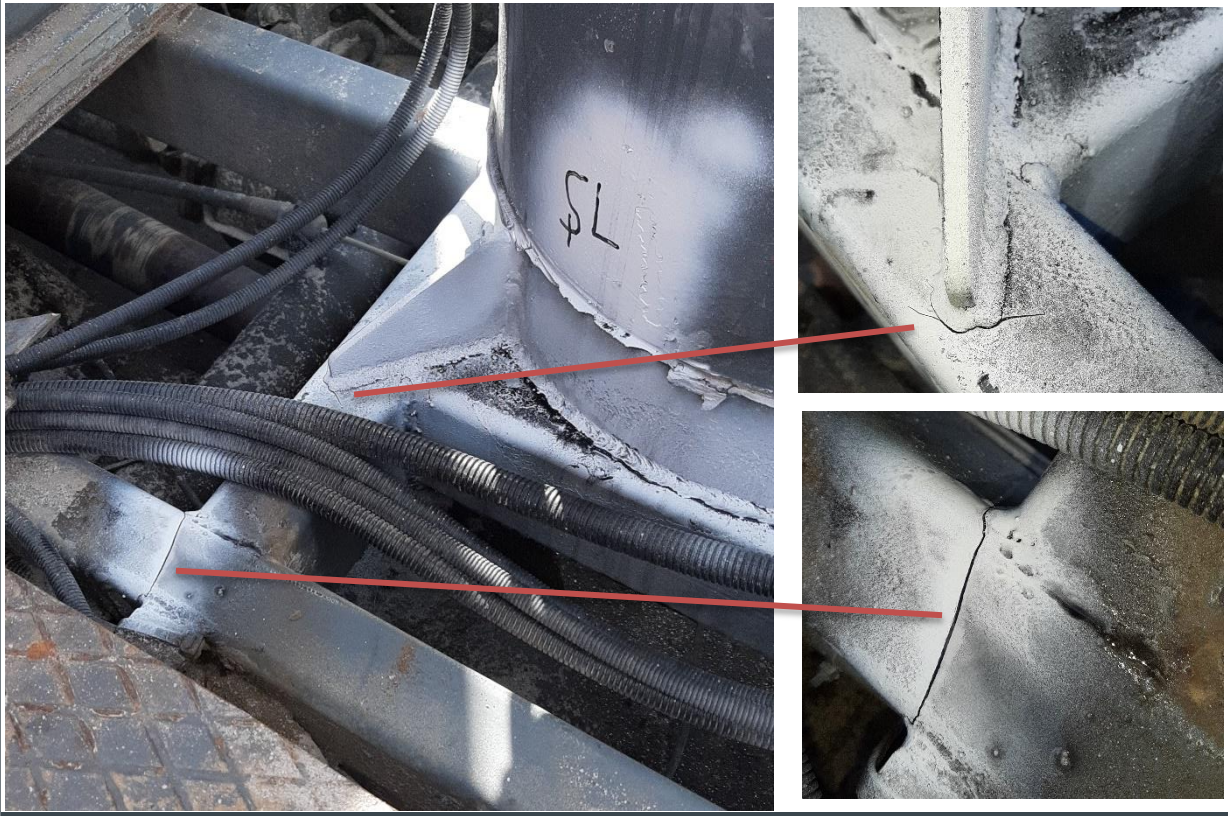
3.6 Sepetli Platform

Sepetli platform ve sepetli vinçler, çeşitli sektörlerde yüksek alanlara ulaşımı hızlandıran, verimli ve güvenli bir çalışma ortamı sağlayan aygıtlardır. Araç üstü sepetli platformlar, montaj, bakım ve onarım işlemleri başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.

Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan sepetli platformlar, zaman zaman ağır şartlarda çalışmakta, malzeme taşıyıp kaldırmak gibi farklı amaçlarla ve uygun olmayan şekillerde de kullanılmaktadır. Bu durum, üretim öncesi tasarım hesaplarında öngörülme-yen yük ve gerilmeler oluşturmakta ve bu gerilmeler sonucunda malzeme de yorulma çatlakları oluşmaktadır.

Sepetli platform kazaları, genellikle sepeti taşıyan metal yapının kırılması sonucunda sepetin düşmesi şeklinde olmaktadır. Bununla birlikte, sepet kolunun sınırlarını zorlayacak şekilde uzaklıklara ulaşmak için fazla yatırılması durumunda ortaya çıkan momentin etkisiyle vinç ayaklarının kırılması veya dengenin bozulması sonucu araç devrilmeleri, hidrolik piston bağlantılarının kopması veya ana yapı elemanlarının kırılmasına bağlı oluşan kazalar da görülmüştür.

Sepetli platformda kırılma bölgelerinin önceden öngörülmesi ve çatlakların konstrüksiyon kırılmadan tespit edilebilmesi mümkündür. Gerilme yoğun bölgelerde bulunan malzeme ve tüm kaynak dikişleri ITAB (Isı Tesiri Altında Kalan Bölge) bölgesini içerecek şekilde kontrol edilmelidir. Manyetik parçacıkla muayene metodu kullanılarak yapılan kontrollerde, yorulma çatlakları lineer



Şekil 7. Sepetli Platform Kontrolünde Ortaya Çıkarılan Çatlaklar

belirti olarak dikkate alınmakta ve değerlendirilmektedir.

Yapılan kontrol sonucunda bulunan yorulma çatlaklı ekipmanların kullanımı engellenerek çok sayıda kazanın önüne geçilmiştir.

3.9 Minibüs Şasisi

Tüm metalik konstrüksiyonlar gibi, araç şasisi de yorulma etkilerine açık yapılardır. Motorlu taşıtlar hareket halindeyken ivmelenme ve frenleme durumlarında gerilmeler ile karşılaşmakta, ayrıca yol durumuna bağlı

olarak tekerleklerden aktarılan dinamik yükleri de karşılamaktadır. Farklı kaynak yöntemleriyle ince sacların birleştirilmesi yoluyla üretilen şasisler, zaman içinde oluşan çatlaklardan dolayı tehlike yaratmaktadır.

Trafikte seyreden araçların metal elamanlarının yapısal bütünlüğü önemlidir. Ayrıca; olası bir kaza durumunda şasinin parçalanmadan bir arada kalması da yolcu güvenliği açısından çok önemlidir.

Yapılan kontrollerde farklı marka ve modellerde, insan taşımada kullanılan toplam 26 adet araç kontrol edilmiştir.



Ana şasi kolunda çatlak

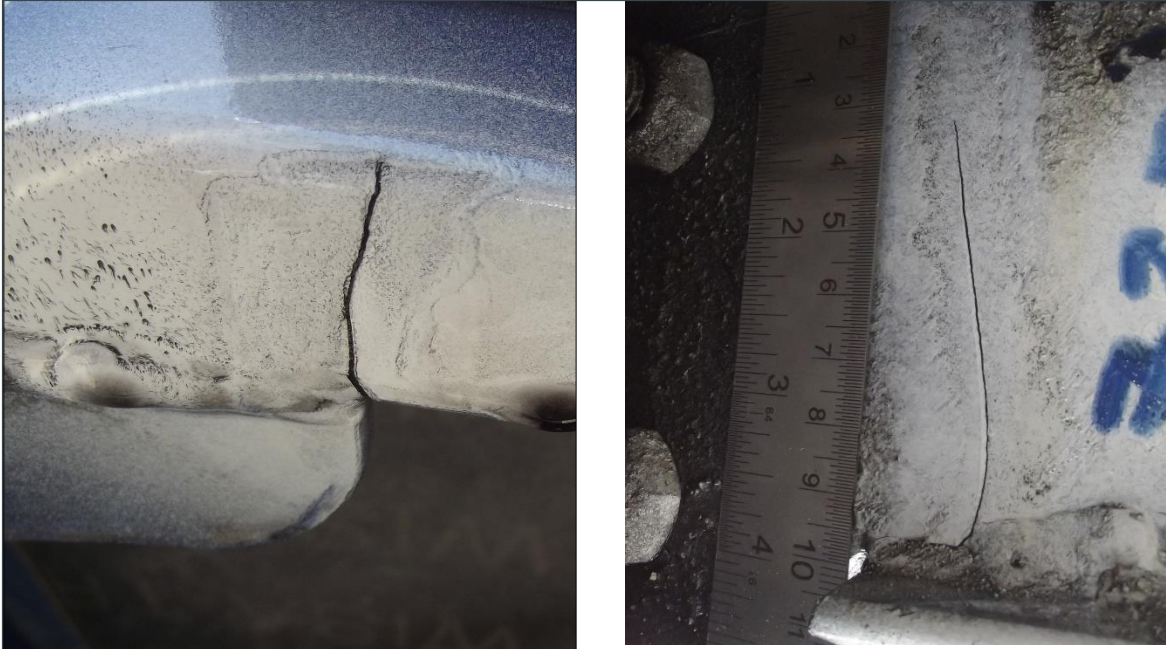
Bağlantı noktasında çatlak

Direnç nokta kaynaklarında çatlak

Şekil 8. Araç Şasilerinde Yapılan Kontrol Sonuçları.



Şekil 9. Vinç Yürüme Yolları Kontrol Sonuçları



Şekil 10. Tır Dorseleri Kontrol Sonuçları

9 – 10 yaş aralığındaki bu araçların %54'ünde yorulmaya bağlı çatlak oluşumu saptanmıştır. Kontrol edilen ve yorulma çatlakları oluşan araçların tamamında üretim aşamasındaki kaynaklar sırasında oluşan ve bir süreksizlik olan "krater çatlakları" görülmüştür.

3.10 Vinç Yürüme Yolları

Köprülü vinçlerin üzerinde hareket ettiği konstrüksiyonlara vinç yürüme yolu adı verilmektedir. Vinç yürüme yolları, vinci ve vincin kaldırdığı ağırlığı taşımakla birlikte, yük salınımı ve frenleme sırasında atalet kuvvetlerine ma-

ruz kalmaktadır. Yıllar içinde tekrarlı yüklere maruz kalan vinç yürüme yolları konstrüksiyonlarında yorulma çatlakları oluşmaktadır.

Belli aralıklarla kontrol edilmeyen veya kontrol edilmesine karşın, belirlenemeyen yorulma çatlakları, malzeme ve kaynak dikişlerinde ilerleyerek, çatlaksız kısımda yüksek gerilmeler oluşturur. Çatlaksız malzemede oluşan gerilme, malzemenin akma sınırını geçtiğinde malzeme aniden kırılır. Vinç konstrüksiyonunun yüklerle birlikte aşağı düşmesi ile sonuçlanan kırılmalar, iş güvenliği konusunda ciddi riskler oluşturmaktadır.



Şekil 11. Forklift Gövdeleri Kontrol Sonuçları

Tablo 3'de vinç yürüme yolları üzerinde manyetik parçacık yöntemiyle tespit edilen, yorulma sonucu oluşmuş lineer süreksizliklere örnekler verilmiştir.

3.11 Tır Dorseleri

Metalik malzemelerden üretilen tır dorseleri de yorulma etkilerine açık konstrüksiyonlardır. Ağır yük etkisine maruz kalan dorse, aynı zamanda yoldan aktarılan dinamik yükleri de taşımaktadır. Taşınan yük miktarının artırılması için, dorseler daha mukavemetli ve ince malzemelerden üretilmekte; bu hem imalat hem de kullanım sırasında çatlak oluşum riskini arttırmaktadır.

Ayrıca, park halinde dorseyi dengede tutan tır dorse ayakları da yorulma çatlaklarına karşı kontrol edilmelidir.

3.12 Forklift Gövdeleri

Yük kaldırmak, iletmek ve yerleştirmek için kullanılan forkliftlerin yük taşıyan kısımlarında yorulma etkileri görülmektedir. Piston bağlantı noktaları gibi yüke maruz kalan kısımlar kontrol edilmelidir. Yükün düşmesi, devrilmesi ile sonuçlanabilecek kazalar, yorulma çatlaklarının tespitiyle önlenmektedir.

4. DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

İşletme aşamasında tespit edilen süreksizlikler imalat kaynaklı süreksizlikler ve kullanım esnasında oluşan süreksizlikler olarak ikiye ayrılabilir. Örnek olarak; kaynaklı imalatlarda tespit edilen gözenek, yanma oluşu, uç krater oluşu gibi imalat sırasında oluşmuş süreksizlikler işletme aşaması kontrollerinde de tespit edilmektedir. Yapılan kontroller sonucu değerlendirme konusunda karşılaşılan zorluklar şu şekildedir:

- Uzun yıllar işletmede kullanılan ekipmanlar üzerinde tespit edilen imalat kaynaklı süreksizlikler, değerlendirme konusunda zorluk yaratmaktadır.
- İşletmelerde kullanılan birçok ekipman için değerlendirme standardı ve kabul seviyesi bulunmamakta veya ekipmanı kullanan firma tarafından verilememektedir.
- Kaynak bölgelerinin dışında kalan, ana malzeme üzerinde de çatlaklar tespit edilmektedir. Bu süreksizliklerin değerlendirilmesi için değerlendirme kriterine ihtiyaç vardır.

İşletme aşamasında yapılan kontrollerde işlem sırası ve

değerlendirme kriterleri şu şekilde uygulanabilir:

- İlk olarak gözle muayene, ardından diğer yüzeysel tahribatsız muayene metotları uygulanmalıdır. Uygulanan yüzeysel metotlar sonucu süreksizlik tespit edilmiş ise ve gerekli olduğu düşünülüyorsa hacimsel metotlar kullanılmalıdır. Yorulma çatlakları yüzeysel yöntemlerle tespit edilebildiklerinden, yüzeysel metotlar çoğu zaman yeterli olmaktadır. EN 17635 standardı mümkünse önce EN 17637 standardına göre gözle muayenenin uygulanmasını, manyetik muayene ve penetrant muayenenin gözle muayene ek olarak uygulanması gerektiğini belirtmektedir.
- Gözle muayene ile imalat kaynaklı süreksizlikler araştırılmalı, tespit edilen süreksizlikler mevcut imalat standardının öngördüğü kalite seviyesiyle karşılaştırılmalıdır. Kalite seviyesi yoksa, tespit edilen tüm çatlaklar (lineer belirtiler) ret edilmelidir.

5. SONUÇ

İşletme aşaması kontrollerinde tahribatsız muayene yöntemleri yorulma çatlaklarının tespit edilmesi için kullanılan önemli bir muayene tekniğidir. Yetkinliği onaylanmış ve tecrübeli operatörler vasıtasıyla, doğru noktalardan yapılan tahribatsız muayene işlemleri ile yorulma çatlakları kolaylıkla tespit edilmekte ve gerekli önlemler alınabilmektedir.

Sahada Makina Mühendisleri Odası uzman personelinin yaptığı kontrol sonuçları incelendiğinde, malzeme kırılmasıyla sonuçlanacak durumların oluşmadan tespit edilebildiği ve önlenildiği görülmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Karadeniz S., Karedeniz Ö.**, Tahribatsız Malzeme Muayenesi Cilt 1, Yayın No: MMO/685-1, 2018.
2. **E. Gönül, B. Bayraktaroğlu**, Bir İş Kazasının Tahribatı ve Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Analizi, Mühendis ve Makina Güncel, Mayıs 2021
3. **E. Gönül, B. Bayraktaroğlu**, Metal Konstrüksiyonların ve Makina Parçalarının Yorulma Dayanımı ve Örnek Bir Analiz Çalışması, MMO Bursa Şube Bülteni, Nisan 2010
4. **E. Gönül, B. Bayraktaroğlu**, Kaldırma Makinalarında Yorulma Test ve Analizleri, Yayın No: MMO/572, 2011
5. <http://kemm.org.tr>