



KEMM
KAYNAK EĞİTİM VE MUAYENE MERKEZİ

NDT GÜNLERİ
"XII. Kaynak Kongresine Giderken"
9 Ekim 2021 Cumartesi / BAÖB Yerleşkesi - BURSA

FNSS



Zırh Çeliklerinde Kaynaklı İmalatta Tahribatsız Muayenenin Önemi

Tarih: 09.10.2021
Hazırlayan: İHSAN KARAMAN

Tasnif Dışı

Türkiye'nin ve Dünya'nın Saygın Firmaları Arasında

FNSS



98inci



105inci



164'üncü

Ürünler

FNSS

PALETLİ

TEKERLEKLI

İSTİHKAM

KULELER

MODERNİZASYON



ZMA



KAPLAN STA



PARS 4X4



PARS IV 6X6 ÖZEL
OPERASYON
ARACI



KUNDUZ



SABER
SABER TEK KİŞİLİK UKK
25/12.7/40



M113
MODERNİZASYON
U



AKINCI



KAPLAN 20



PARS III 6X6



PARS IV 8X8 YENİ
NESİL TEKERLEKLI
ZMA



SAMUR



TEBER 30 İKİ KİŞİLİK KULE
TEBER 30 UKK



ZMA
MODERNİZASYON
U



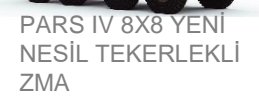
ZPTP



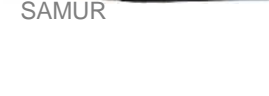
KAPLAN 30



PARS İZCI 6X6



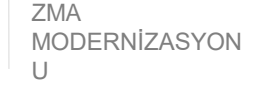
PARS IV 8X8 YENİ
NESİL TEKERLEKLI
ZMA



SAMUR



UKTK
OMTAS/KORNET



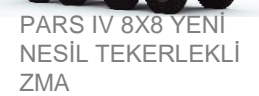
ZMA
MODERNİZASYON
U



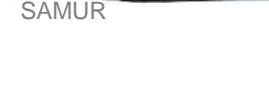
KAPLAN MT



AV8 8X8



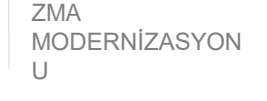
PARS IV 8X8 YENİ
NESİL TEKERLEKLI
ZMA



SAMUR



ÇAKA
UKSS



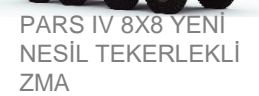
ZMA
MODERNİZASYON
U



ZAHA



PARS III 8X8



PARS IV 8X8 YENİ
NESİL TEKERLEKLI
ZMA



SAMUR



SANCAK
UKSS



İNSANSIZ KARA ARACI



Devam Eden Projeler

I Zırh Çeliği Malzemeleri

- ❑ Zırh çelikleri değişik karakterli mermilerin (kinetik penetratörler, yüksek derecede patlayıcı ve parçalayıcı savaş başlıkları vb.) **çoklu darbesine karşı çatlamaya, parçacıkların kopmasına ve kırılmaya direnç** göstermek amacıyla zırhlı muhabere araçlarında yaygın olarak kullanılan yüksek kalitede homojen bir mikroyapıya sahip **düşük karbonlu alaşımlı çeliklerdir**.
- ❑ Üretimleri esnasında sertleştirme (östenitleştirme ve su verme) ile temperleme aşamalarından geçen bu çelikler **yüksek temperlenmiş martenzitik bir mikroyapı** içerir.
- ❑ Zırh çeliği üretiminde haddeleme ile üretilecek saç kesitinde sertleştirme ve temperleme sonrası **yüksek mukavemet ve tokluk** elde edilmesi amaçlanmıştır.



Zırh Çeliği Malzemeleri

- ❑ Haddelenmiş Homojen (RHA) ve Yüksek Mukavemetli (HHA) Zırh Çelikleri olarak başlıca iki grupta değerlendirilen bu çeliklerin **kalınlıkları boyunca** aynı sertliğe sahip olması beklenmektedir.
- ❑ Zırhlı araç yapımında kullanılan zırh çelikleri **balistik darbelere karşı yüksek direnç, imalat işlemlerinde kolaylık** (ör: kesme, kaynak yapma, şekillendirme) ve iyi bir bakım davranışı çerçevesinde uzun kullanım ömrü (ör: **yüksek yorulma direnci**) gibi temel özelliklere sahiptir.



- ❑ Zırh çelikleri, temel olarak düşük karbonlu alaşımlı çelik sınıfına girmekte olup; başlıca alaşım elementleri **Cr, Ni, Mo ve Mn**'dir.
- ❑ Tablo 3'de ABD Ordu Standartına (MILSPEC) uygun olarak, en çok bilinen zırh çelik kalitelerinin mekanik özellikleri verilmiştir.

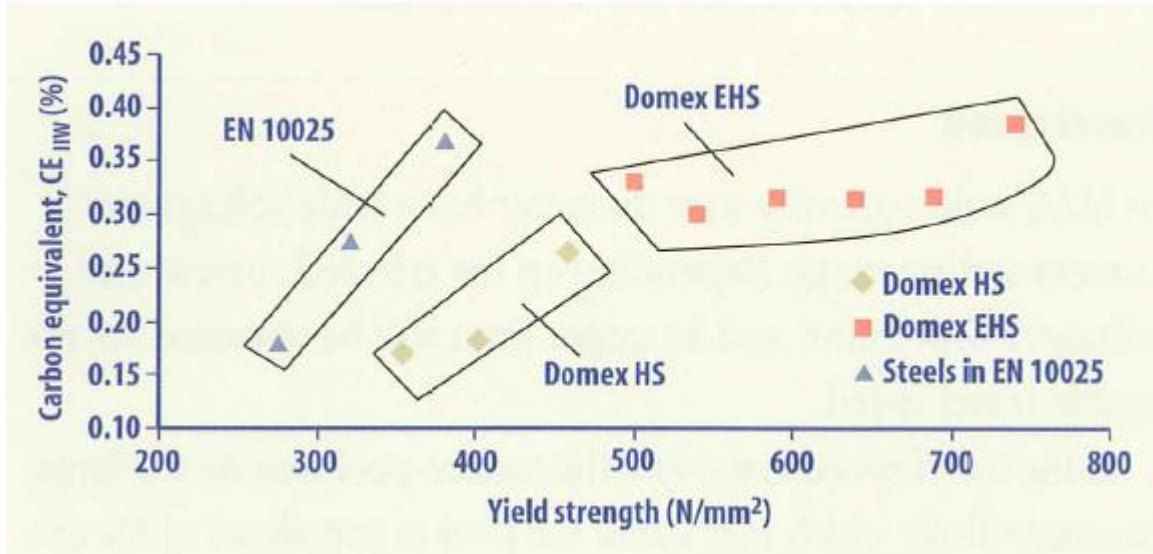
MIL-A-12560 en popüler zırh çeliği kalitesi olup; "haddelenmiş homojen zırh çeliği (RHA)" olarak bilinir. **MIL-A-46100** çelik kalitesi ise, MIL-A-12560'a göre daha yüksek sertliğe sahiptir.

Tablo 3. Levha kalınlıklarına bağlı olarak üretilen zırh çeliklerinin mekanik özellikleri

Zırh Çeliği		Kalınlık (mm)	Sertlik (HB)	Darbe Enerjisi (-40 °C, J)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
Kalite	Sınıf						
MIL-A-12560	Class 1	3 < 20	380-430	Min. 18	Min. 950	1100-1400	Min. 9
		40-80	300-350	Min. 30	Min. 850	900-1200	Min. 11
	Class 2	3-150	280-330	Min. 40	Min. 800	850-1150	Min. 12
MIL-A-46100	Class 1	3-150	480-540	Min. 16	Min.1200	1400-1800	Min. 8
	Class 2	3-50	420-480	Min. 27	Min. 1100	1200-1600	Min. 9

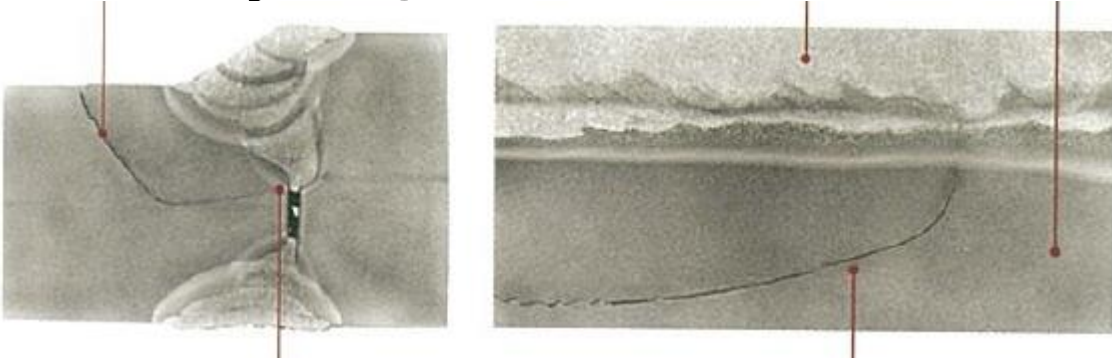
Zırh Çeliği Malzemeleri

- ❑ Sınıf 1 tipi çelikler standart zırh çelikleridir ve çoğu araç uygulamalarında mühimmat penetrasyonuna karşı kullanılır.
- ❑ Sınıf 2 tipi çelikler benzer kimyaya sahiptir, ancak mühimmat penetrasyonundan ziyade mayın ve el bombalarından kaynaklanan şokun önemli olduğu uygulamalar için kullanılırlar ve bu amaçla daha yüksek temperlenirler.

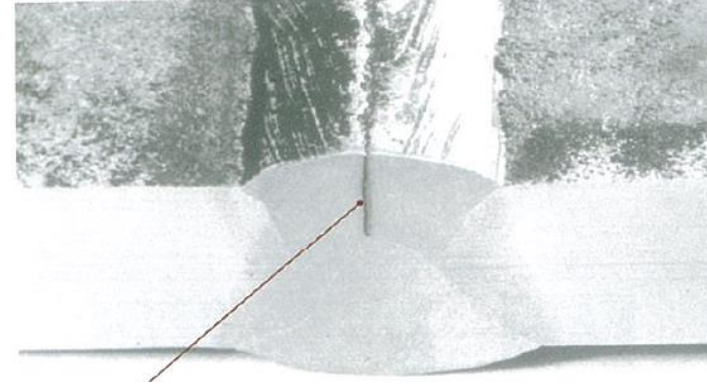


Zırh Çeliği Kaynak Hataları

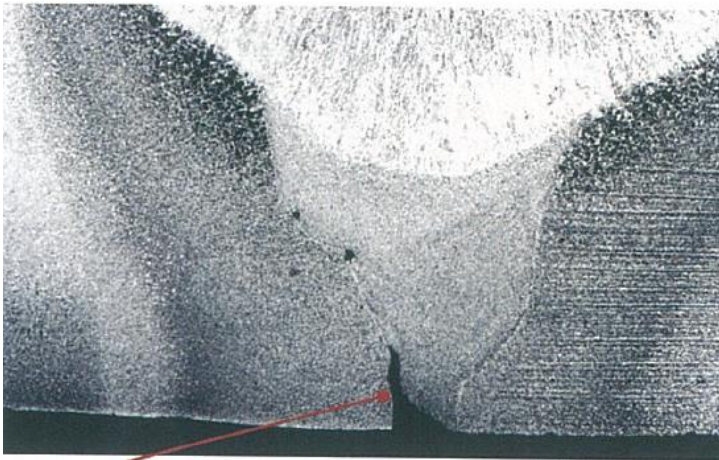
■ Hidrojen çatlakları



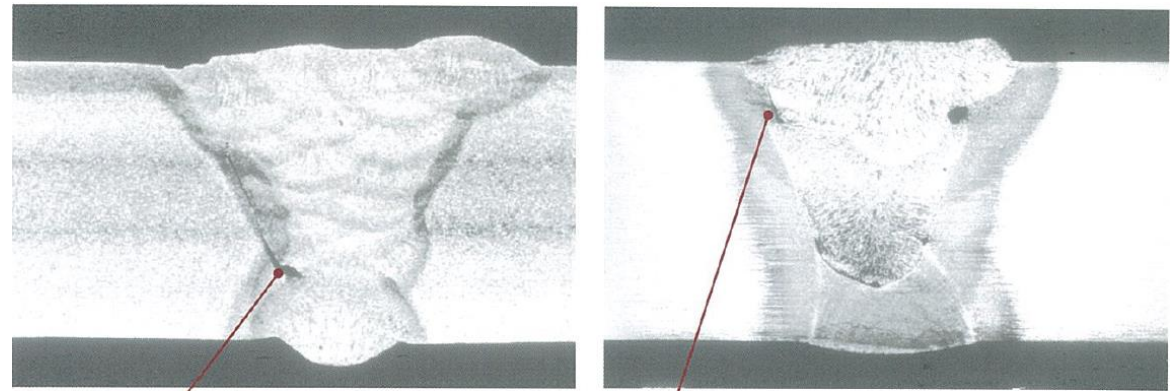
■ Katılaşma çatlakları



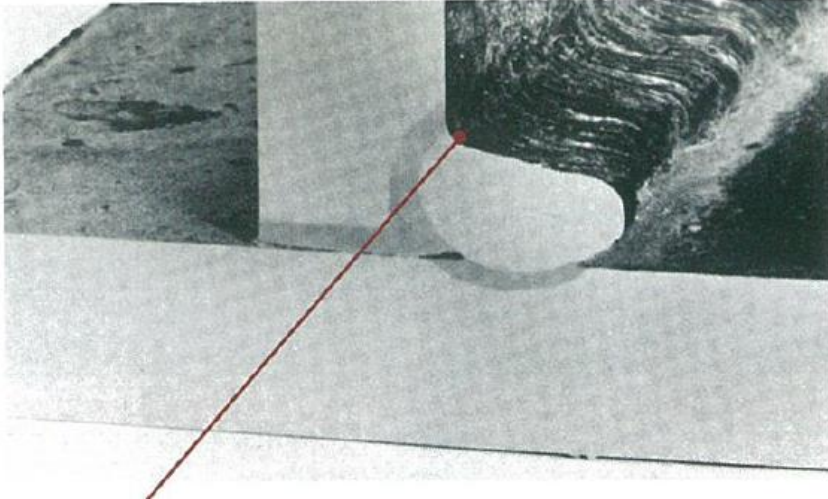
■ Kökte yetersiz nüfuziyet



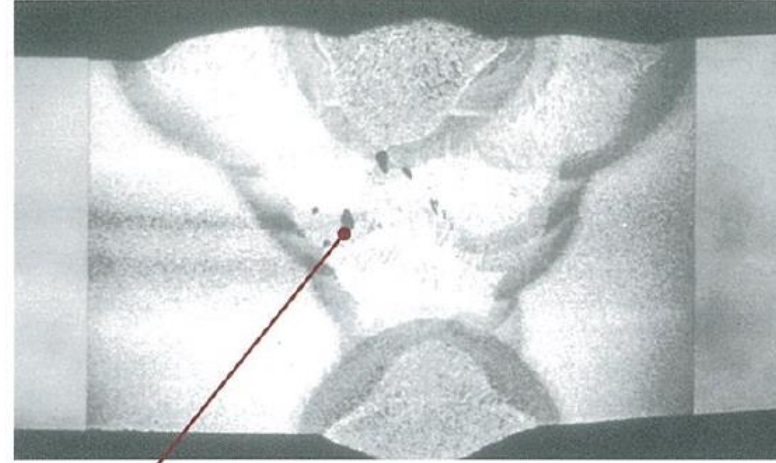
■ Yetersiz ergime



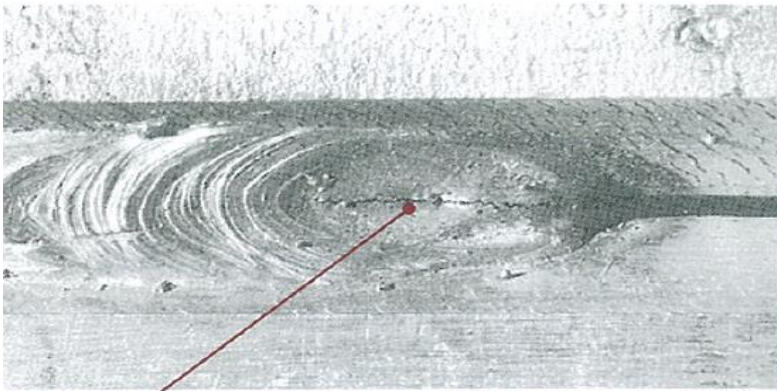
■ Yanma Oluđu



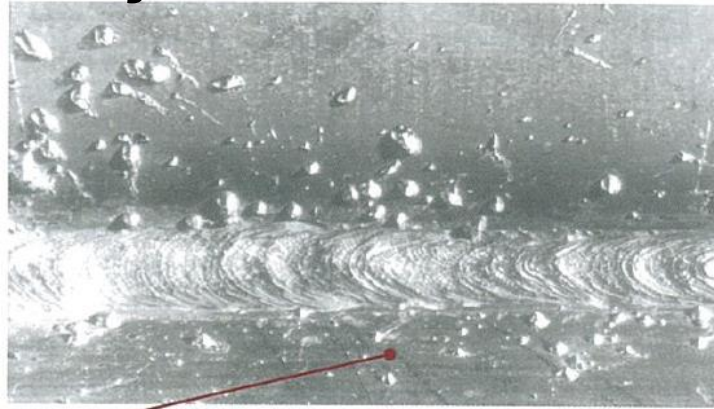
■ Gözenek ve gözenek grupları



■ Krater Çatlakları

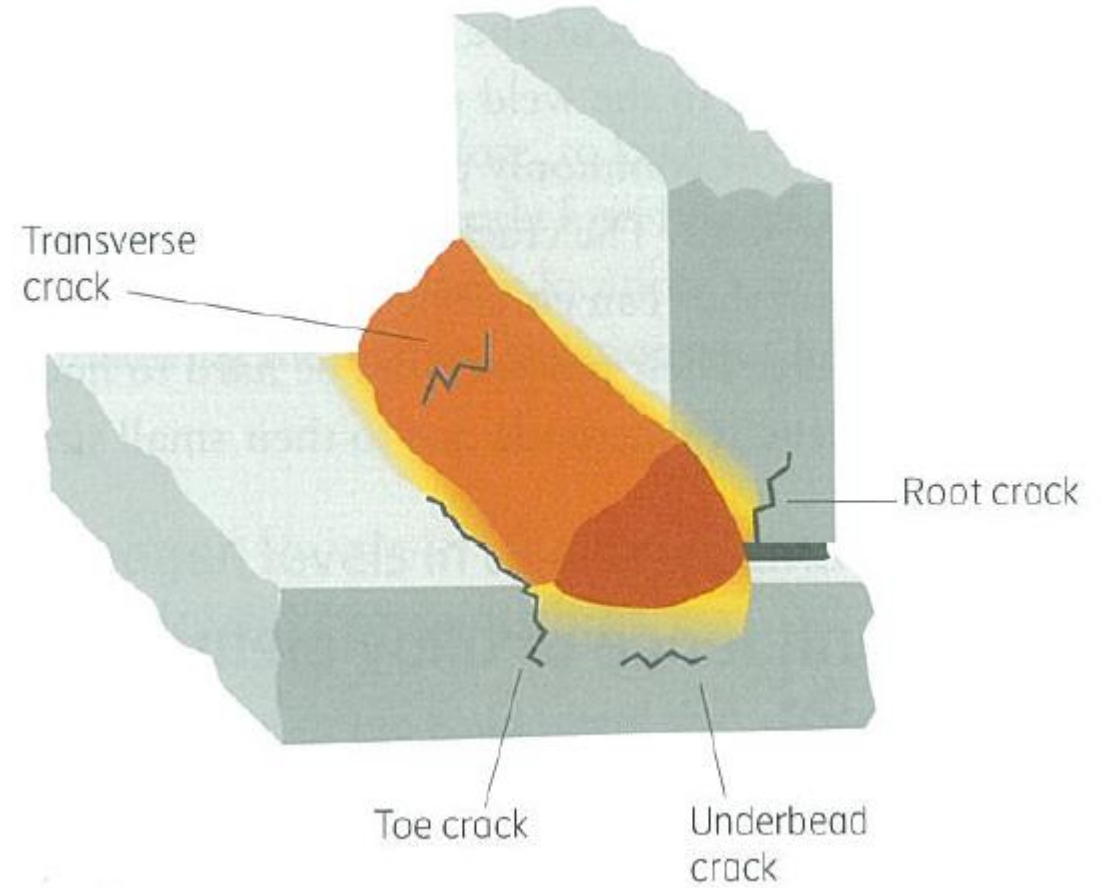


■ Sıçrıntı



I Zırh Çeliği Kaynak Hataları- Hidrojen Çatlağı

- ❑ Her çelik grubunun kaynağında kendi üretim ve **metalürjik yapısına özgü** hata mekanizmaları oluşmaktadır
- ❑ **Hidrojenin tetiklediği çatlaklar** genel olarak yüksek mukavemetli çeliklerde görülebilen hatalardır. Oluşma mekanizmasına bakıldığında **soğuk çatlak** olarak da adlandırılır.
- ❑ Düşük sıcaklıklarda ortaya çıkabilir. Hidrojen çatlakları hem **kaynak bölgesinde** hem de **IEB'de** (Isıdan etkilenen bölgede) görülebilir.
- ❑ Hidrojen çatlakları ayrıca **gecikmiş çatlaklar** olarak da bilinir. Bunun nedeni kaynak bittikten saatler sonra ortaya çıkmasıdır.



Zırh Çeliği Kaynak Hataları- Hidrojen Çatlağı

- ❑ Hidrojen Çatlağı zırh çeliklerinde sadece kaynak sonrası ortaya çıkmaz. Özellikle plakaların **yüksek ısı girdisi** ile kesilmesi sonrasında **kesim yüzeylerinde** de sıklıkla karşılaşılır.
- ❑ Isı girdisine bağlı olarak şekilde gösterildiği gibi **faz-1, faz-2 ve ve faz-3** şeklinde oluşabilir. Zamana bağlı olarak **faz-1 den faz-3'e** geçiş yapabilir.
- ❑ Bunun temel sebebi kesim yüzeyinde kesme metoduna bağlı oluşabilecek **sertlik değerlerindeki yükselmedir.**
- ❑ Bu nedenle bazı zırh imalatlarında bu bölgelerinin de **tahribatsız muayene ile incelenmesi veya kesim sonrası bu bölgelerin mekanik olarak temizlenmesi** istenir.

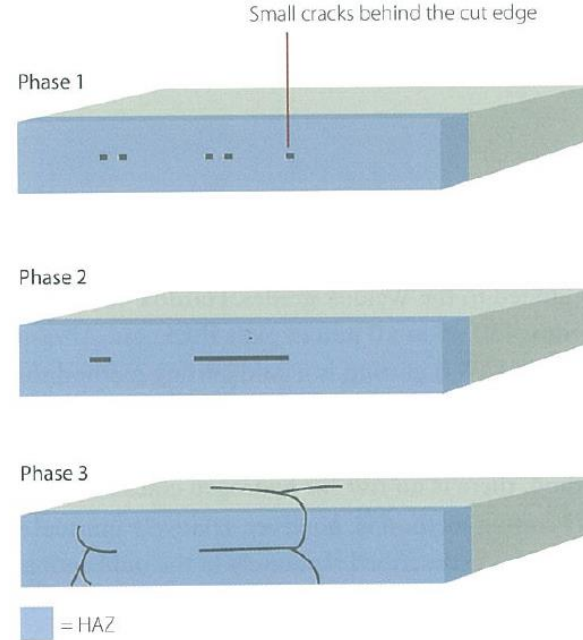
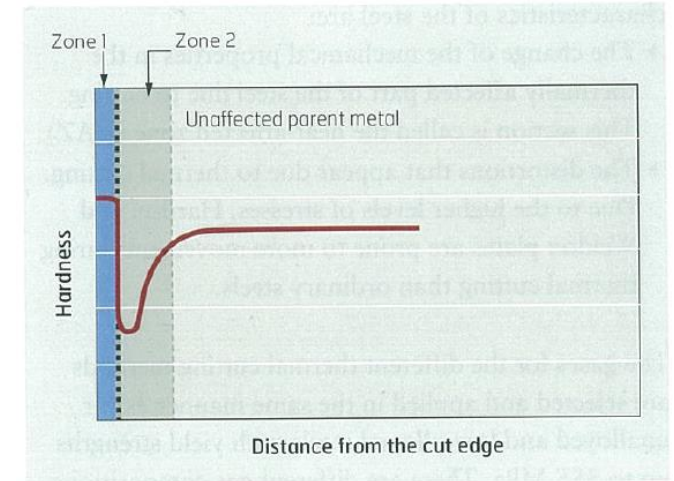


Fig. 11.1: Formation of hydrogen cracks at, and around, the cut edge.



Gözle Muayene:

❑ Zırhlı araç üretiminde TACOM standardına göre kaynaklar 3 sınıfta ele alınır; muayeneler ve tahribatsız muayene metotları bu sınıflamaya göre belirlenir.

- Kritik olmayan kaynaklar
- Kritik Kaynaklar
- Balistik kaynaklar

❑ Gözle muayene kabul kriterleri kaynak sınıflarına göre TACOM Tablo 6.1'de belirlenmiştir.

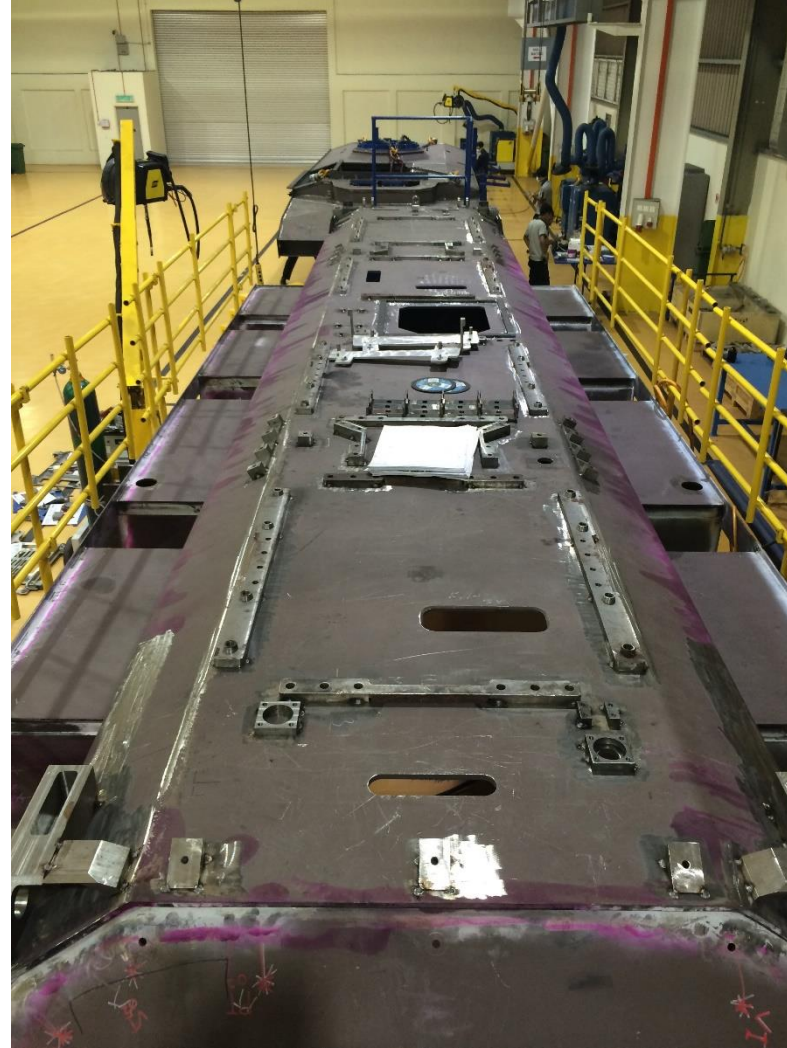
Table 6.1
Visual Acceptance Criteria Matrix^{1,2,3} for all material thicknesses
(see 6.6)

Discontinuity Category and Acceptance Criteria	Non-Critical Welds	Critical and Ballistic Welds, and Structural Tubular Connections
(1) Crack Prohibition The weld shall have no cracks.	X	X
(2) Weld/Base-Metal Fusion Thorough fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X	X
(3) Crater Cross Section All craters shall be filled to the full cross section of the weld, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X	X
(4) Weld Profiles Weld profiles are as follows: <ul style="list-style-type: none">• Fillet weld concavity is acceptable as long as the weld throat meets the size requirement.• Fillet weld convexity may not exceed the following limits: For welds 1/4" or less, convexity shall not exceed 1/16". For welds greater than 1/4" and less than 3/4", convexity shall not exceed 1/8". For welds 3/4" and greater, convexity shall not exceed 3/16".• Groove and butt welds must meet minimum size requirement and reinforcement shall not exceed 5/32".• Groove and butt welds that require flush finish shall not reduce the thinner member by more than 1/32" for material 1/8" or greater in thickness. For materials less than 1/8" thick, the thinner member shall not be reduced by more than 10% of the thickness of the thinner member.	X	X
(5) Underrun (Undersize) Fillet welds shall be permitted to be undersize by 15% or 1/16", whichever is less, provided the undersize condition does not exceed 10% of the weld length.	X	X
(6) Undercut <ul style="list-style-type: none">• For materials less than 1/8", undercut shall not exceed 10% of the material thickness.• For materials greater than or equal to 1/8" and less than 1" thick, undercut shall not exceed 1/32", except that a maximum 1/16" is permitted for no greater than 2" in any 12" of weld length.• For materials equal to or greater than 1" undercut shall not exceed 1/16" for any length of weld.	X	
(7) Undercut Undercut shall not exceed 1/32" for materials greater than 1/8". For materials 1/8" or less undercut shall not exceed 10% of the material thickness.		X
(8) Porosity-Individual Size and Sum Total For all groove and fillet welds the maximum diameter of any pore shall not exceed 3/32". The sum of visible porosity equal to or greater than 1/32" shall not exceed 3/8" in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4" in any 12" of weld length.	X	X
(9) Porosity Frequency For fillet and groove welds, clustered porosity shall not exceed one occurrence in any 4" of weld length.	X	X

Zırh Çeliklerinin Kaynakları - NDT Metodları

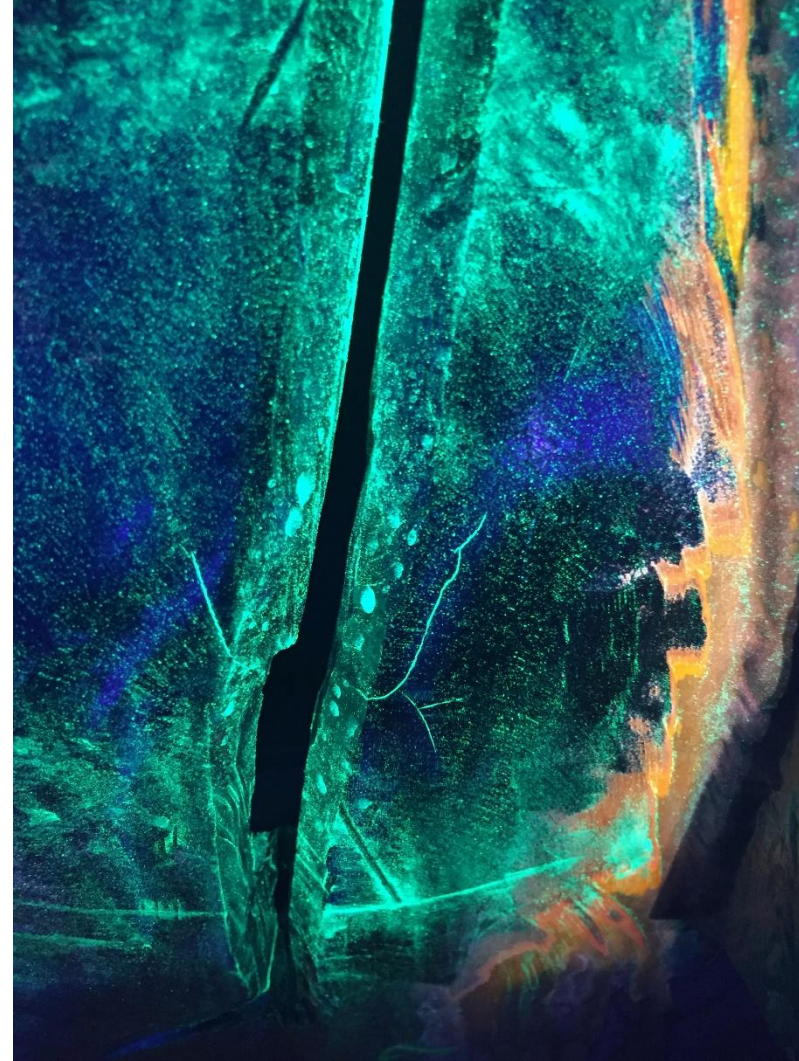
Penetrant Muayenesi:

- ❑ **Penetrant Muayenesi** özellikle zırh çeliklerinin kaynaklarında yüzeye açık süreksizlerin tespitinde en çok kullanılan Tahribatsız Muayene Metodudur.
- ❑ Özellikle Zırh çeliğinin **östenitik dolgu teli** kullanılarak yapılan kaynaklarda sıklıkla kullanılır.
- ❑ Penetrant muayenesi **hidrojenin tetiklediği sonradan oluşan çatlakların** tespitinde kullanılır. Penetrant muayenesinin kaynak bittikten en az **48 saat** sonrasında yapılması gerekir.
- ❑ Penetrant muayenesinde ASTM E165 standardı kullanılır. Kabul kriterleri TACOM tablo 6.1'e göre gerçekleştirilir.



Manyetik Parçacık Muayenesi:

- ❑ Manyetik parçacık muayenesi Zırh çeliğinin kaynak sonrası muayenesinde kullanılan Tahribatsız Muayene metotlarından biridir.
- ❑ Ferritik dolgu teli kullanılarak yapılan kaynak dikişlerinin muayenesinde etkin olarak kullanılır.
- ❑ Özellikle Hidrojenin tetiklediği çatlaklarda yüzey altında kalan hataların tespitinde kullanılır.
- ❑ Manyetik parçacık muayenesi ASTM E1444 standardına göre gerçekleştirilir. Kabul kriterleri TACOM tablo 6.1'e göre belirlenir.



Ultrasonik Muayene:

- ❑ Zırhlı araç üretimindeki tam nüfuziyetli kaynaklar ultrasonik muayene ile kontrol edilebilir.
- ❑ Ultrasonik muayene konvansiyonel ve PA (Phase array) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebilir.
- ❑ Ultrasonik muayenede TACOM standardına göre kabul kriterleri Tablo B3.4'de verilmiştir. Belirtiler yankı genliklerine ve uzunluklarına göre sınıflandırılır.

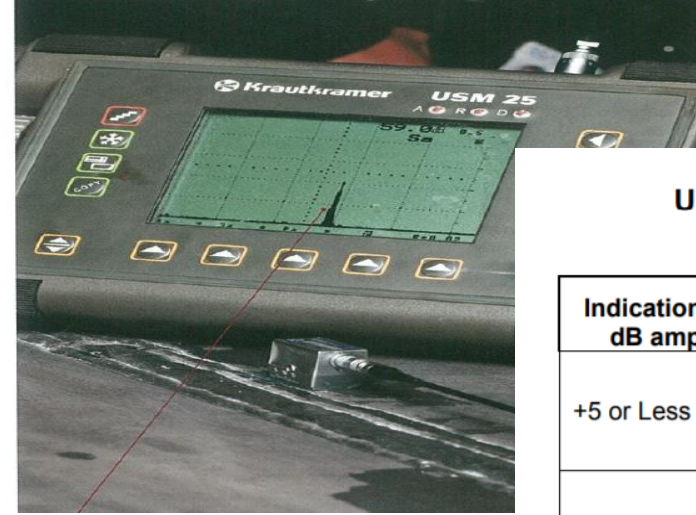
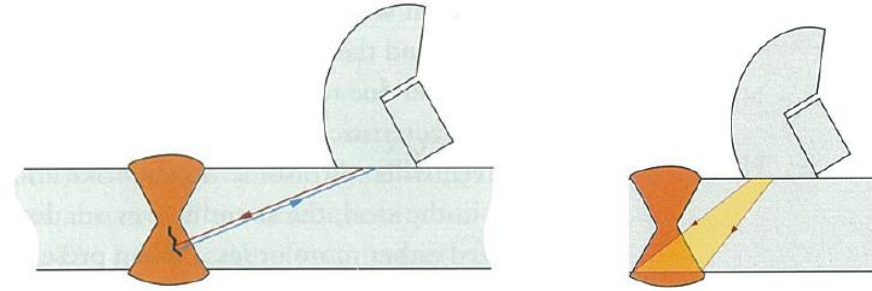


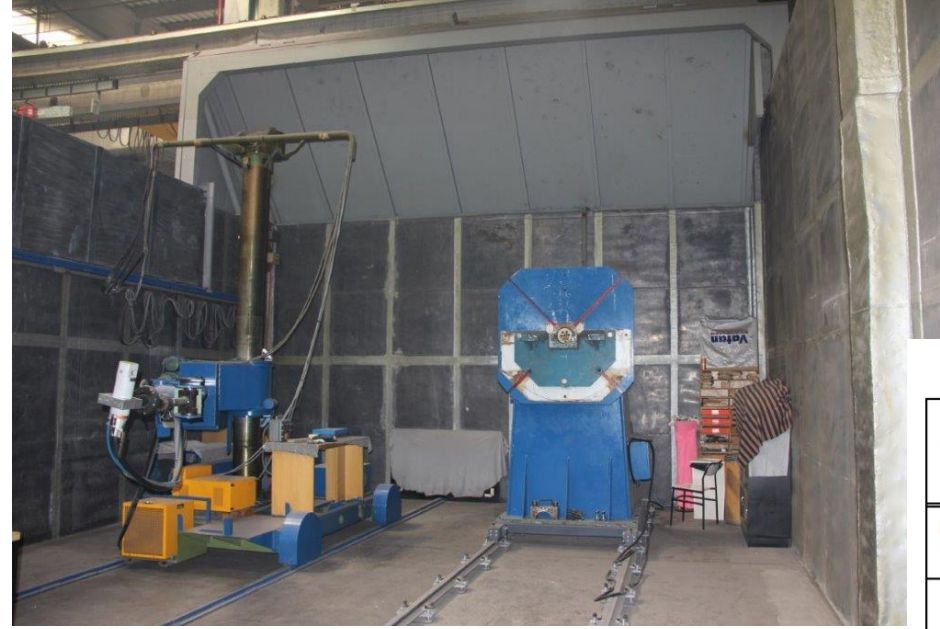
Table B3.4
Ultrasonic Acceptance-Rejection Criteria
(see B3.9.3)

Indication Rating, dB amplitude	Discontinuity Severity Class
+5 or Less	Class A (large discontinuity) Unconditionally rejectable regardless of length
+6 or +7	Class B (medium discontinuity) ² Accept if length is ≤ 1 in. Reject if length is > 1 in.
+8 or greater	Class C (minor or small discontinuity) Accept without limits on length or location



Radyografik Muayene:

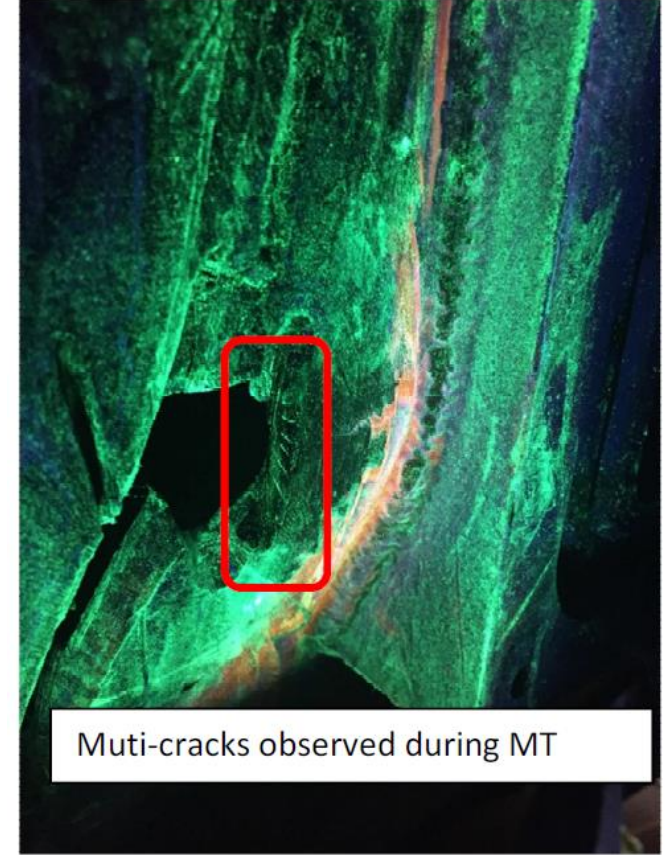
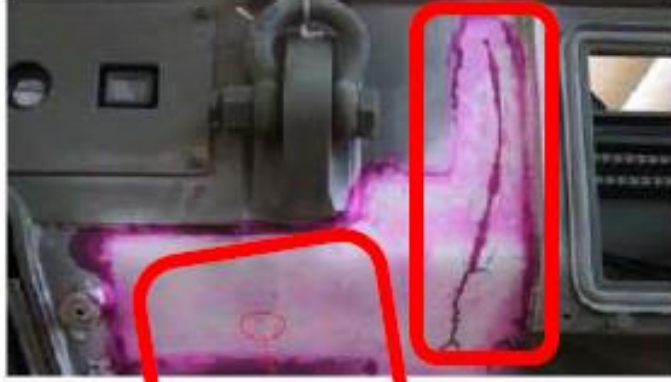
- ❑ Zırhlı araç üretimindeki tam nüfuziyetli ve kısmi nüfuziyetli kaynakların muayenesinde radyografik muayene kullanılır.
- ❑ Radyografik Muayene ASTM E142 standardına göre gerçekleştirilir.
- ❑ Kısmi nüfuziyetli kaynak dikişleri MIL-STD-1894 standardına göre değerlendirilir. Tam nüfuziyetli kaynaklar ise TACOM standardı tablo B3.3 kullanılarak referans radyograflar kullanılarak değerlendirilir.



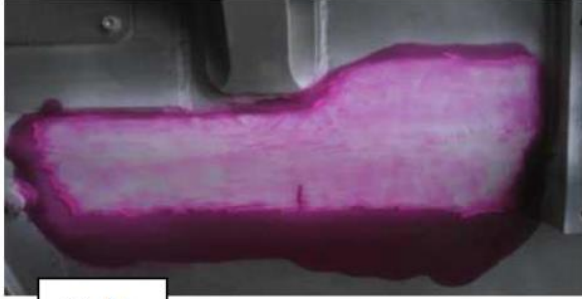
Severity Level Requirements for Full-Penetration Welds (see B3.7.9)

Discontinuity Types	Weld Thickness, inches	Acceptance Level (Reference ASTM E-390 Radiographs)
Fine Scattered Porosity	Up to 3/8 in, incl.	2
	Up to 3/4 in, incl.	2
	Up to 2 in, incl.	3
Coarse Scattered Porosity	Up to 3/8 in, incl.	2
	Up to 3/4 in, incl.	2
	Up to 2 in, incl.	3
Linear Porosity or Globular Indications	Up to 3/8 in, incl.	2
	Up to 3/4 in, incl.	2
	Up to 2 in, incl.	3
Slag Inclusions	Up to 3/8 in, incl.	2
	Up to 3/4 in, incl.	2
	Up to 2 in, incl.	3
Tungsten Inclusions	Up to 3/8 in, incl.	2
	Up to 3/4 in, incl.	2
	Up to 2 in, incl.	3
Incomplete Penetration	Up to 3/8 in, incl.	2
	Up to 3/4 in, incl.	2
	Up to 2 in, incl.	3
Lack of Fusion	Up to 3/8 in, incl.	2
	Up to 3/4 in, incl.	2
	Up to 2 in, incl.	3

Zırh Çeliklerinin Kaynakları - NDT Örnek Çalışmalar



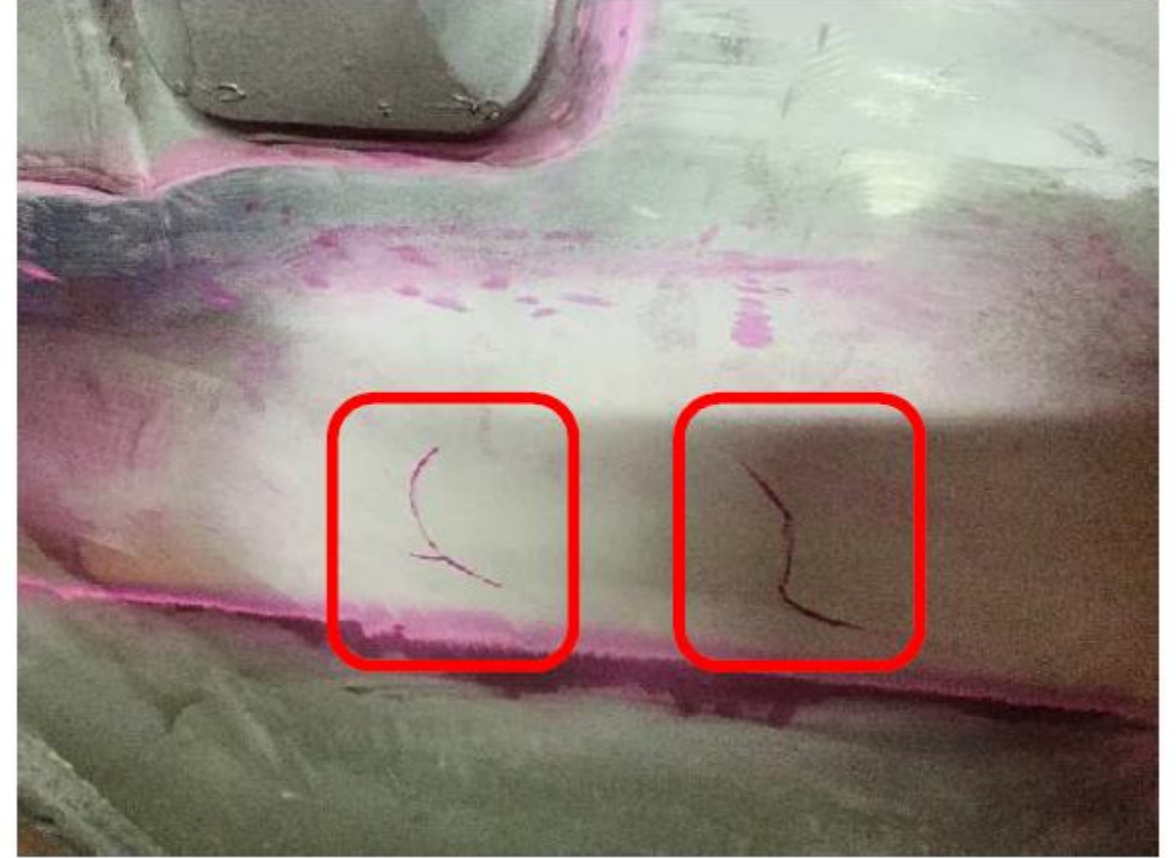
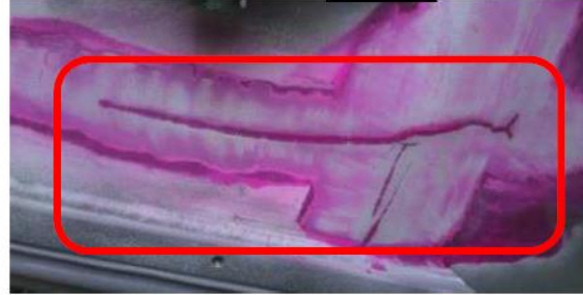
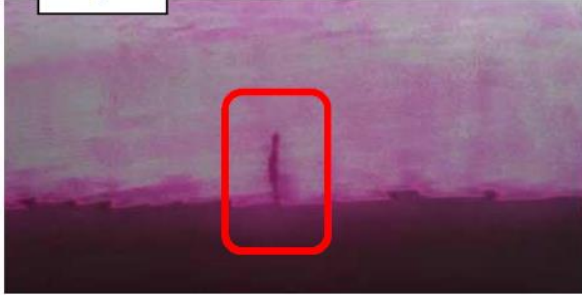
Zırh Çeliklerinin Kaynakları - NDT Örnek Çalışmalar



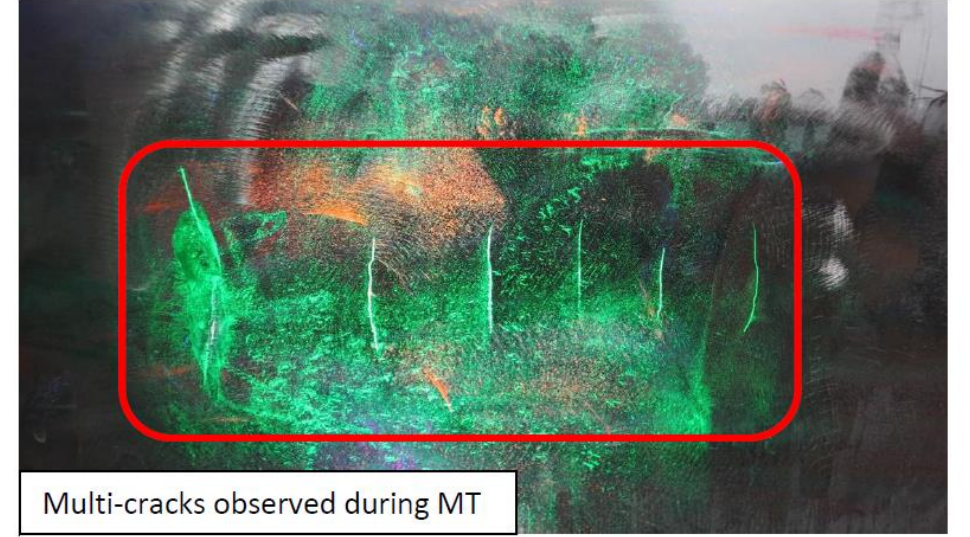
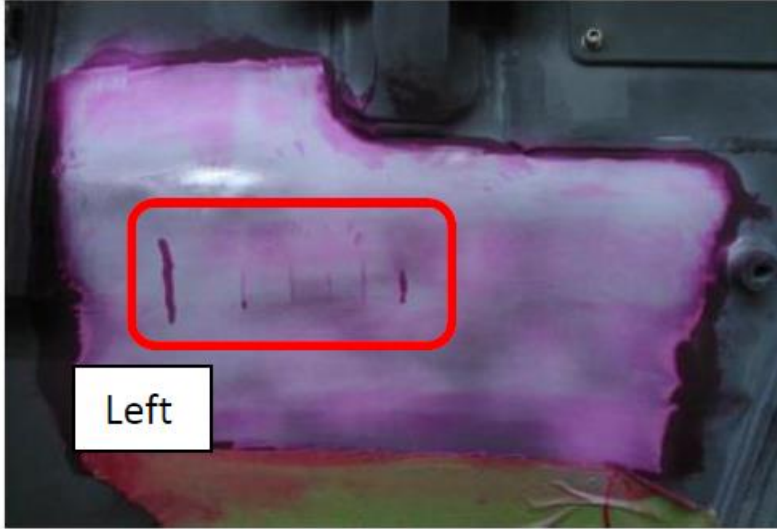
Right



Left



Zırh Çeliklerinin Kaynakları - NDT Örnek Çalışmalar



I Kullanılan Kaynaklar

- 2479550 (REV. A), TACOM Kara Savaş Araçları Kaynak Standardı : Çelik
- MIL-DTL-46100 Standart: Zırh Çeliği, Çelik, Yüksek Sertlik
- MIL-DTL-12560 Standart: Zırh Çeliği, Çelik, Yüksek Sertlik, Homojen Çelik
- SSAB Kaynak El kitabı
- SSAB Çelik ve uygulamaları El Kitabı
- FNSS Kaynak şartnameleri
- ASTM E142 Radyografik Muayene Standardı
- ASTM E165 Penetrant Muayenesi Standardı
- ASTM E390 Çelik Kaynakları Referans Radyograflar
- ASTM E1444 Manyetik Parçacık Muayenesi Standardı



TEŞEKÜRLER

www.fnss.com.tr
www.fnsssocial.com

