

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ÖRENLER

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Erdinç İLHAN

Mayıs 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİNİN
İNCELENMESİ

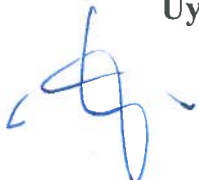
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ÖRENLER

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 14.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı


Dr. Öğr. Üyesi
Erdiñç İLHAN
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Volkan ONAR
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ahmet ÖRENLER

15.04.2018

TEŞEKKÜR

BaŐta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını esirgemeyip bilgisi ile bu çalıŐmanın oluŐmasının yolunu açan değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Yrd. Doç. Erdinç İlhan, Prof. Dr. Salim Aslanlar ve Prof. Dr. Uğur Özara'a çalıŐmam boyunca bana teknik destek sağlayan Mithat Zaim Kerimak ve Recai Güler'e, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaŐan değerli iÇ akadaŐım ve abim Volkan Yakut'a, hem iÇ hem de eğitim sürecimde bana her türlü desteği veren müdürüm Serhat Olgaç'a, en içten teŐekkürlerimi sunarken, tezimi değerli eŐım Suna Örenler'e adıyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	Hata! Yer işareti ta
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ZIRH ÇELİKLERİ.....	4
2.1. Zırh Çeliklerinin Tarihçesi	4
2.2. Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalürjisi.....	5
2.2.1. Kimyasal kompozisyon.....	5
2.2.2. Isıl işlemler ve oluşan mikroyapılar.....	7
BÖLÜM 3.	
ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİ	9
3.1. Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Faktörler	9
3.1.1. Kimyasal kompozisyon ve karbon eşdeğeri	9
3.1.2. Malzeme kalınlığı	10
3.1.3. ArmoX 500 T kaynak kabiliyeti	11

BÖLÜM 4.	
ZIRH ÇELİKLERİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	13
4.1. TPS/İ Kaynak Makinası Teknolojisi	13
4.1.1. Standart Donanım ve Aksesuarlar.....	15
4.1.2. Opsiyonel Aksesuar ve Donanımlar	16
BÖLÜM 5.	
KAYNAKLARIN TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENELERİ	17
5.1. Tahribatsız Muayene	17
5.1.1. Göz ile muayenes.....	18
5.1.2. Sıvı emdirme (penetrant sıvısı) ile muayene	22
5.2. Tahribatlı Muayene Yöntemleri	30
5.2.1. Çekme deneyi	31
5.2.2. Kırma deneyi (çentik darbe testi).....	32
5.2.3. Eğme testi	34
5.2.4. Sertlik ölçümü.....	34
5.2.5. Metalografik inceleme	37
BÖLÜM 6.	
KALINTI GERİLİM İNCELENMESİ	40
6.1. Kalıntı Gerilimin Nedenleri	40
6.2. X Işınımı Kırınımı Yöntemi	41
BÖLÜM 7.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	43
7.1. Deney Parçaları Mekanik ve Kimyasal Özellikleri.....	43
7.2. Kaynak İşlemi	44
7.2.1. Kaynak parametreleri.....	44
7.3. Tahribatsız Muayeneler	46
7.3.1. Görsel muayene	47
7.3.2. Penetrant sıvısı ile muayene	47
7.3.3. Radyografik muayene	49

7.4. Tahribatlı muayeneler.....	50
7.4.1. Çekme testi	50
7.4.2. Kırma testi (çentik darbe)	52
7.4.3. Eğme testi	53
7.4.4. Sertlik testi	54
7.5. Makro/Mikro Yapı Testi	55
7.6. Kalıntı Gerilimi İnceleme.....	57
BÖLÜM 8.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	58
8.1. Tahribatsız Muayene Sonuçları	58
8.2. Tahribatlı Muayene Sonuçları	58
8.2.1. Çekme testi sonuçları.....	58
8.2.2. Çentik darbe testi sonuçları.....	65
8.2.3. Eğme testi sonuçları.....	68
8.2.4. Sertlik testi sonuçları	69
8.2.5. Makro/Mikro test sonuçları	71
8.2.6. Kalıntı gerilim incelemesi sonuçları	85
BÖLÜM 9.	
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	89
9.1. Sonuçlar.....	89
9.2. Öneriler.....	90
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ	94

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Co	: Kobalt
d	: Malzeme et kalınlığı
e	: Gerinim
E	: Elastiside modülü
EH	: Ergime hattı
EN	: Avrupa standartı
HB	: Brinell sertliği
HRC	: Rockwell C sertliği
HV	: Vickers sertliği
Hz	: Herz
I	: Akım
ISO	: Uluslararası standart
ITAP	: Isı tesiri altındaki bölge
İr	: İridyum
J	: Joule
KD	: Yüzde kesit daralması
kgf	: Kilogramkuvvet
KM	: Kaynak metali
KU	: Yüzde uzaması
Mpa	: Mega paskal
n	: Kaynak proses verimi
Q	: Isı girdisi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
Tm	: Tulyum
TS	: Türk standartı
V	: Voltaj

Yb : İterbiyum
9 : Kaynak hızı
 σ : Gerilme

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Geçmişte kullanılmış bir zır ürün	1
Şekil 1.2. Zırhlı Askeri Araç örnekleri.....	2
Şekil 2.1. Zırh çeliklerinin üretim aşaması	5
Şekil 2.2. Karbür yapıcı elementlerin oluşturduğu karbürlerin temperleme karakteristikleri	7
Şekil 4.1. TPS/İ 500 Kaynak makinası.	14
Şekil 5.1. Büyüteç.	19
Şekil 5.2. Optik mikroskop.	19
Şekil 5.3. Kontrol aynası	20
Şekil 5.4. Profil mastarı	20
Şekil 5.5. Çubuk endoskop	20
Şekil 5.6. Gözle muayene sistemiği	21
Şekil 5.7. Penetrant muayene sistemi işlem sırası	23
Şekil 5.8. Penetrant muayene işlem sırası akış diyagramı	24
Şekil 5.9. Wilhelm Conrad Röntgen ve Crookes deney düzeneği.	25
Şekil 5.10. Radyografinin şematik gösterimi.	26
Şekil 5.11. X ışını oluşumu.	27
Şekil 5.12. Sabit Xray cihazı ve hareketli X ışını tüpü	28
Şekil 5.13. Gama ışınım kaynağı cihazı	30
Şekil 5.14. Çekme testi cihazı	31
Şekil 5.15. Çentik darbe deneyi	33
Şekil 5.16. Eğme testi	34
Şekil 5.17. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi	35
Şekil 5.18. Vickers sertlik deneyinin şematik gösterimi	35
Şekil 5.19. Rockwell sertlik deneyinin şematik görüntüsü	36
Şekil 5.20. Mikro Vickers sertlik deneyi şematik görüntüsü	37

Şekil 5.21. Kaynaklı birleştirme makro yapı görüntüsü .	38
Şekil 5.22. Örnek mikro yapı görüntüsü .	39
Şekil 6.1. Geleneksel XRD yöntemi .	42
Şekil 6.2. Brag kanunu .	42
Şekil 7.1. Kaynak için hazırlanmış T1 numunesi.	45
Şekil 7.2. Kaynak için hazırlanmış T2 numunesi.	45
Şekil 7.3. Kaynak için hazırlanmış T3 numunesi.	46
Şekil 7.4. Kaynak bitiş anında yapılan sıcaklık kontrolleri.	46
Şekil 7.5. Deney parçaları kaynak kepi ölçümü.	47
Şekil 7.6. Uygulanan penetrant sıvısı, temizleyici ve geliştirici.	47
Şekil 7.7. T1 Nolu deney parçası penetrant muayenesi.	48
Şekil 7.8. T2 Nolu deney parçası penetrant muayenesi.	48
Şekil 7.9. T3 Nolu deney parçası penetrant muayenesi.	49
Şekil 7.10. T1 Nolu deney parçası Radyografi görüntüsü.	49
Şekil 7.11. T2 Nolu deney parçası Radyografi görüntüsü.	50
Şekil 7.12. T3 Nolu deney parçası Radyografi görüntüsü.	50
Şekil 7.13. Çekme testi cihazı.	51
Şekil 7.14. Çekme testi numunesi.	51
Şekil 7.15. Çentik darbe deney numunesi boyutları.	52
Şekil 7.16. Çentik darbe test numunesi.	52
Şekil 7.17. Çentik darbe test cihazı.	53
Şekil 7.18. Eğme testi numuneleri.	53
Şekil 7.19. Eğme testi cihazı.	54
Şekil 7.20. Sertlik testi numune görseli.	54
Şekil 7.21. Sertlik testi cihazı.	55
Şekil 7.22. Yüzey işlemleri cihazı.	56
Şekil 7.23. Optik mikroskop .	56
Şekil 7.24. PUSTEC u-X360s kalıntı gerilim ölçüm cihazı.	57
Şekil 8.1. T1-1 ve T1-2 nolu numunelerin çekme testi grafiği.	60
Şekil 8.2. T2-1 ve T2-2 nolu numunelerin çekme testi grafiği.	61
Şekil 8.3. T3-1 ve T3-2 nolu numunelerin çekme testi grafiği.	62
Şekil 8.4. Çekme testi sonuçlarının grafiksel gösterimi.	63

Şekil 8.5. Çekme testi sonrası numunelerin gösterimi.	63
Şekil 8.6. Çekme testi sonrası T1-1 ve T1-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi.	64
Şekil 8.7. Çekme testi sonrası T2-1 ve T2-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi.	64
Şekil 8.8. Çekme testi sonrası T3-1 ve T3-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi.	64
Şekil 8.9. Çekme testi sonuçları.	65
Şekil 8.10. Çentik darbe testi sonucu kırılma yüzeyleri.....	66
Şekil 8.11. T1 Nolu Malzemenin Sıcaklıklara göre kırılma grafiği.....	67
Şekil 8.12. T2 Nolu Malzemenin Sıcaklıklara göre kırılma grafiği.....	67
Şekil 8.13. T3 Nolu malzemenin sıcaklıklara göre kırılma grafiği.....	68
Şekil 8.14. Test parçalarının kırılmış açılı görüntüleri.....	69
Şekil 8.15. Eğme testi numuneleri kırılma yüzeyi görüntüleri.	69
Şekil 8.16. T1 Nolu nolu numune sertlik değerleri.....	70
Şekil 8.17. T2 Nolu nolu numune sertlik değerleri.....	71
Şekil 8.18. T3 Nolu nolu numune sertlik değerleri.....	71
Şekil 8.19. T1 nolu numune makro görüntüsü.....	72
Şekil 8.20. T2 nolu numune makro görüntüsü.....	72
Şekil 8.21. T3 nolu numune makro görüntüsü.....	72
Şekil 8.22. T1 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.....	73
Şekil 8.23. T1 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.....	73
Şekil 8.24. T1 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.....	74
Şekil 8.25. T1 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.....	74
Şekil 8.26. T1 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.....	75
Şekil 8.27. T1 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.....	75

Şekil 8.28. T1 nolu numune orta haz bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	76
Şekil 8.29. T1 nolu numune orta haz bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	76
Şekil 8.30. T2 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	77
Şekil 8.31. T2 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	77
Şekil 8.32. T2 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	78
Şekil 8.33. T2 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	78
Şekil 8.34. T2 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	79
Şekil 8.35. T2 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	79
Şekil 8.36. T2 nolu numune orta haz bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	80
Şekil 8.37. T2 nolu numune orta haz bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	80
Şekil 8.38. T3 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	81
Şekil 8.39. T3 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	81
Şekil 8.40. T3 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	82
Şekil 8.41. T3 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	82
Şekil 8.42. T3 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	83
Şekil 8.43. T3 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	83
Şekil 8.44. T3 nolu numune orta haz bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.	84
Şekil 8.45. T3 nolu numune orta haz bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.	84
Şekil 8.46. T3 nolu numune malzeme orta bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü...	85
Şekil 8.47. Kaynak öncesi plaka kalıntı gerilim ölçüm sonucu.	86

Şekil 8.48. Kaynak sonrası plaka kalıntı gerilim ölçüm sonucu.....	87
Şekil 8.49. Çentik darbe numunesi kalıntı gerilim ölçüm sonucu.	88

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Zırh çeliklerinin kimyasal bileşimleri.	6
Tablo 2.2. Zırh çeliklerinin mekanik özellikleri	6
Tablo 3.1. Armox serisi zırh çelikleri maksimum sıcaklık değerleri	11
Tablo 3.2. Armox Zırh çelikleri karbon eşdeğerlikleri	11
Tablo 4.1. TPS/İ 500i kaynak makinası teknik özellikleri.	15
Tablo 5.1. Gama ışınımında kullanılan Radyoaktif maddeler ve yarıömür süreleri	29
Tablo 7.1. Armox 500T zırh malzemesinin mekanik özellikleri.....	43
Tablo 7.2. Armox 500T zırh malzemesinin kimyasal özellikleri.	43
Tablo 7.3. Dolgu metalinin mekanik özellikleri.....	43
Tablo 7.4. Dolgu metalinin kimyasal özellikleri.....	44
Tablo 7.5. Kaynak işleminde belirlenen parametreler.....	44
Tablo 8.1. Çekme testi sonuçları.	59
Tablo 8.2. Çentik darbe dayanımı test sonuçları.	66
Tablo 8.3. Eğme testi sonuçları.	68

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Zırh Çeliği, Armox, Mig Kaynağı, Kalıntı Gerilim, Tahribatsız Muayene

Bu yapmış olduğumuz çalışmada Armox 500T zırh çeliğinin ergitme kaynak yöntemlerinde kaynakları yapılacak olan bağlantının mekanik özellikleri, sertliği, makro ve mikro yapı özellikleri ve tokluk değerleri belirlenecektir. Test parçalarının kaynakları yapılırken aynı koruyucu gaz kompozisyonu kullanılmakla beraber farklı amper değerlerine göre kaynak parametreleri farklılık göstermektedir. Bunun yanında imalatı yapılan parçalara test sonuçlarının sağlıklı olması için tahribatsız muayene yöntemlerinden görsel muayene, penetrant muayene ve radyografik muayene yöntemleriyle olası kaynak hatalarına karşı test edilmiş ve herhangi bir kaynak kusuruna rastlanmamıştır. Kaynaklı numuneler mikro yapılarının teste uygunluğuna göre, tahribatlı muayene yöntemlerinden çekme testi, çentik darbe testi, sertlik testi ve makro/mikro yapı testlerinden geçirilmiştir.

EVALUATION OF WELDING CAPABILITY FOR ARMOR STEEL

SUMMARY

Keywords: Armor Steel, Armox, Mig Source, Residual Voltage, Non-Destructive Inspection

Welding of the Armox 500T armor steel for melting welding methods will determine the mechanical properties, stiffness, macro and microstructure properties and toughness values of this connection. To avoid using the same protective gas composition on the sources of the test pieces, the source parameters differ for different ampere ratings. However, in order to ensure that the test results are healthy, non-destructive inspection methods have been tested against the welding defects which are visual inspection, penetrant inspection and radiographic inspection methods, and no source flaw has been found.

The welded specimens were subjected to tensile testing, notch impact test, hardness test and macro / microstructure tests on destructive inspection methods according to their suitability for testing of microstructures.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlık tarihindeki ilk zırhlar bazı hayvan derileri ve ağır metallere üretilmiş kalkanlardır. Tarihte ilk zırhı Roma gibi Yunan toplumları kullanmıştır [1]. Yaşadığımız yüzyılda gelişmekte olan ülkelerin çoğu her türlü teknolojik silah sistemlerini tamamlamış olmakla birlikte savaşlarda ve gerekli durumlarda kullanılmak üzere zırh teknolojisinde de gözle görülür bir ilerleme kaydetmişlerdir. Gelişmiş ülkelerde zırh üretimi ve kullanımı ekonomik yönden güçsüz ülkelere göre daha fazla olduğu bilinmektedir.



Şekil 1.1. Geçmişte kullanılmış bir zırh ürünü [38].

Zırh çelikleri ateşli silahlar, personel kişisel koruyucular, personel taşıyıcı araçlar, mühimmat taşıyıcı ve ateşli silahlara sahip tank vb. araçlarda kullanılmaktadır. En yaygın kullanım alanı askeri araçların imalatı ve tehdit oluşturan dış etkenlere karşı koruma kalkanı olarak kullanılmaktadır. Ateşli silahların teknolojik gelişimine paralel olarak bu ateşli silahların insan hayatını sona erdirmemesi için buna karşı direnç gösterebilecek dayanıma sahip zırh ürünleri de geliştirilmektedir.

Balistik darbelere karşı direnç sağlanabilmesi için zırh çeliklerinden yüksek tokluk özelliklerine sahip olması beklenmektedir. Çünkü düşük alaşımlı çelikler ve dökme demirler bu mekanik tehditlere karşı, zırh çelikleri kadar koruma sağlayamamaktadır. Bu sebeple zırh imalat sanayinde kullanılamazlar. Zırh uygulamalarında kullanılan çelikler, büyük kalibreli mühimmata maruz kaldığında çatlamamalıdır. Ayrıca balistik özelliklerindeki iyi olması gerekir. Dünyada, zırh çelikleri genellikle menevişleme ile MIL-A-12560 ve MIL-A-46100 standartlarına uygun olarak imal edilirler ve bu standartlarda geçen 7.62 mm, 12.7 mm, 14.5 mm, ve 20 mm çapındaki mühimmata karşı koruma sağlarlar. Savunma amacına yönelik geliştirmiş olan zırhlı muharebe araçlarında kullanılan zırh malzemelerinden beklenen özelliklerden biri hafif olmalarıdır. Zira hafiflik zırhlı aracın engebeli arazi koşullarındaki çok yönlü hareket ve manevra kabiliyetini önemli derecede etkilemektedir [2].



Şekil 1.2. Zırhlı askeri araç örnekleri [39,40].

MIL-A-12560 ve MIL-A-46100 standartlarında verilen zırh çelikleri su verilmiş ve temperlenmiş düşük alaşımlı martenzitik yapıda çeliklerdir. 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.

Yüksek sertlikteki zırh çelikleri genelde, penetrasyon direncinin ve ağırlığın azaltılmasının önemli olduğu tasarım uygulamalarında kullanılırlar.

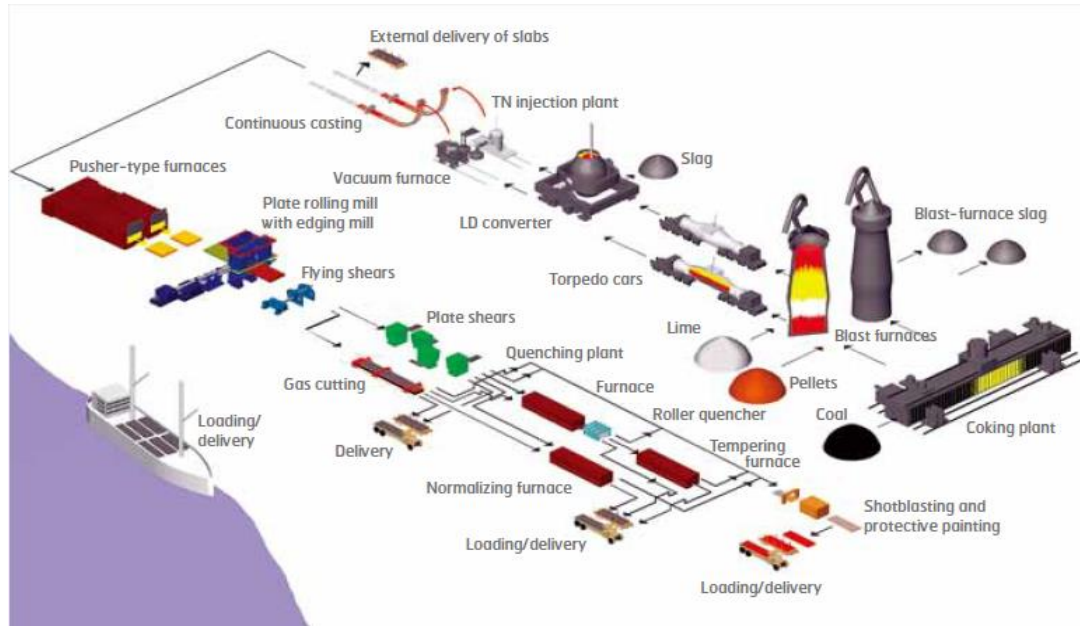
BÖLÜM 2. ZIRH ÇELİKLERİ

2.1. Zırh Çeliklerinin Tarihçesi

Zırh Osmanlı kaynaklarında cebe ve çevgen adıyla geçmektedir ve genelde bu iki tabir birlikte kullanılırlar. Cebeci Olcay ordunun silah teminini karşılayan askerî sınıfın adıdır. Cebeci ise zırh / silah imal eden kişilerdir. Zırh, savaşçının düşman tarafından gelebilecek saldırılara karşı kendini ve bindiği hayvanı korumak için giydiği veya kullandığı giysidir. Erken çağlardan itibaren bazen hayvan postu, bazen deri veya ağaç kabuklarından omuzluk, kolluk, baldırdık gibi zırh parçaları kullanılmıştır. Savaşçı bir yandan kendini korumak için geliştirdiği zırh parçalarını kuşanırken atı için de zırh tedarik etmiştir. Zırh imalat malzemesi olarak başlangıçta ahşap, post, deri ve keçe gibi malzemeler kullanılırken maden sanatının gelişmeye başlamasıyla birlikte madenî zırhlar imal edilmeye başlanmıştır.

Bugün akla gelen ilk zırh çeşidi metal ve özellikle demir ve çelik zırhlardır. Metal zırhların ilk örnekleri İskitler ve Hunlar zamanına kadar gider. Kazakistan'ın Almatı şehri civarlarında Işık / Eşik kasabasında bulunan, milattan önce IV. yüzyıla ait bir Hun kurganında ortaya çıkartılan genç bir erkek cesedi üzerindeki zırh en gösterişli ve en eski metal zırh örneği kabul edilir; dünya literatüründe “altın elbiseli adam” olarak anılan erkek cesedi ve üzerinde altın bir zırh kaftan, zırh çizme ve baldırlık ile miğfer bulunmaktadır. Bu zırh küçük metal levhaların bir kumaş üzerine aplike edilmesiyle üretilmiştir. Levhalarda yüksek kuyumculuk işçiliğinin eseri motif ve figürler yer alır. Altaylar bölgesinde Hun dönemine ait Berel buluntuları ile Oms ve İrtiş havzası buluntuları arasında demir zincir örme zırh parçaları ve zırh plakaları büyük yer tutar [5].

Zırh çelikleri standart kimyasal bileşim dikkate alınarak döküm yöntemiyle ingotlar haline getirilen zırh çelikleri, döküm sonrası sıcak haddelene yapılarak istenilen kalınlıkta plakalar şeklinde üretilir [3]. Haddelenerek üretilip şekillendirilen zırh çelikleri östenitleştirme, su verme ve temperleme yapılarak istenilen mukavemet, sertlik ve istenilen tokluk değerlerine ulaştırılır. Uygulanan ısıl işlemlerle mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi de çeliklerin zırh malzemesi olarak kullanılması hususunda tercih sebebi olmaktadır [4].



Şekil 2.1. Zırh çeliklerinin üretim aşaması [41].

2.2. Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalürjisi

2.2.1. Kimyasal kompozisyon

Zırh çeliklerinden asıl beklenen özellikler genel anlamda dışarıdan gelecek olan her türlü merminin içeri girmesini engellemesi ve her türlü darbeye karşı yüksek mukavemet göstermesidir. Günümüzde kullanılan MIL-A-12560 çeliği birçok alanda kullanılan standart zırh çeliğidir. Yüksek sertlik özelliğine sahip MIL-A-46100 çeliği ise balistik korumanın MILA- 12560'a nazaran %20 daha etkili olduğu (14.5 mm delici mühimmatla) bir zırh çeliğidir. Tablo 2.1.'de verilen temel alaşım

elementlerinin yanı sıra bu tür çelikler, vanadyum, titanyum, niobyum, alüminyum, bor gibi mikro alaşım elementleri de içerebilir [6].

Bu zırh çeliklerinin mekanik özellikleri ise Tablo 2.2.'de verilmiştir

Tablo 2.1. Zırh çeliklerinin kimyasal bileşimleri [6].

Kimyasal Bileşim (Maksimum)	MIL-A-12560 (%)	MIL-A-46100 (%)	Armox 500 T (%)
Karbon	0.30	0.32	0.32
Mangan	0.30	1.20	1.20
Kükürt	0.025	0.020	0.015
Fosfor	0.015	0.010	0.010
Silisyum	0.40	0.60	0.40
Nikel	0.50	1.85	1.80
Krom	0.40	1.25	1.00
Molibden	0.15	0.20	0.70

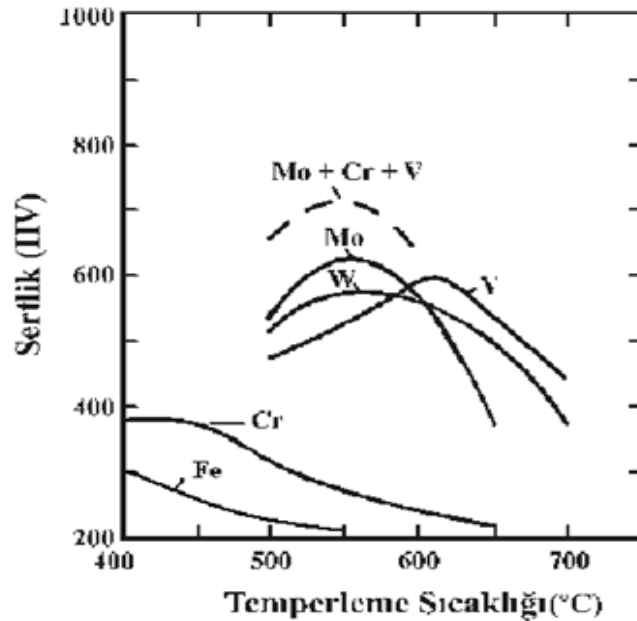
Tablo 2.2. Zırh çeliklerinin mekanik özellikleri [6].

Mekanik Özellikler	MIL-A-12560	MIL-A-46100	Armox 500 T
Sertlik (HBW)	277-388	477-600	480-540
Akma Mukavemeti (MPa)	1150	1100	1250
Çekme Mukavemeti	1250	1450	1450-1750
Uzama (%)	10	9	8
Tokluk (-40 °C'de)(J)	20-30	30-40	25

Ticari zırh çeliği çeşitleri ve deneysel zırh çelikleri incelendiğinde özellikle alaşım kombinasyonu açısından karbon ve borun sertleşebilirliğe doğrudan katkısı olduğu, mangan ve silisyumun katı ergiyik sertleştirici etkisinden faydalandığı, düşük oranda kükürt ve fosfor içeriğinin daha yüksek mukavemet değerlerine çıkacağı, molibden ve krom gibi yer alan elementlerinin bilhassa soğuma koşulları altında denge reaksiyonlarını iterek martenzitik/beynitik dönüşümü dolayısı ile sertleşebilirliği teşvik ettiği, nikel ve kobalt gibi elementlerin zırh çeliğinin tokluğuna yarar sağladığı, niobyum, titanyum, vanadyum gibi mikro alaşım elementlerinin kuvvetli karbür oluşumuna neden olduğu ve sertlik kazanımına yarar sağladığı literatür araştırmaları ve deneysel alaşım tasarımı ile mikro yapısal karakterizasyonlar sonunda ortaya konmuştur [6].

2.2.2. Isıl işlemler ve oluşan mikroyapılar

Zırh çelikleri martenzitik yapıda oldukları için ideal mukavemet, sertlik ve tokluk kompozisyonu gibi kullanım özelliklere östenitleme ve su verme sonrası yapılan temperleme ile ulaşırlar. Genelde yalın karbonlu çeliklerin temperlemesinde su verme da martenzit içinde bulunan karbon, demir ile bileşik oluşturarak sementit çökmesine yol açar ve böylelikle çökeltme sürecinde martenzitin ferrite dönüşmesiyle sertlik düşmüş olur. Ancak çelik bileşiminde var olan kuvvetli karbürleyici elementler karbon ile çok daha yüksek temperleme sıcaklıklarında birleşerek farklı tip özel karbür çökeltilerine neden olurlar. Bunun sonucunda artan sertliğe “ikincil sertlik” denir. Bu özgün sertlik artışı karmaşık bir çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla oluşur. Şekil 2.3.’te değişik karbürleyici elementlerin oluşturduğu karbürlerin temperleme karakteristikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi molibden, krom ve vanadium barındıran çeliklerde yüksek temperleme sıcaklıklarında meydana gelen kararlı karbürler matrislerinin ilk sertliğini daha da arttırabilmektedir. Bu diyagramdan zırh çelikleri için niçin öncelikle krom ve molibdenin alaşım elementi olarak seçildiği açıkça görülmektedir [6].



Şekil 2.2. Karbür yapıcı elementlerin oluşturduğu karbürlerin temperleme karakteristikleri [4].

Bu tip çeliklerin sertleştirme işleminde 900-950  C derecelerde yapılan östenitleştirme sonucu matriksin gerekli karbon ve karbür yapıcı alaşım elementleriyle doyumunu sağlanarak su verilir. İşlemde oluşan lara tipi martenzit standart bileşimlerde genellikle 600  C’de temperlenir. İkincil sertlik doğrudan sertleştirme süreçlerinde östenitin karbon ve alaşım elementlerinin doyum seviyesine bağlıdır [6].

BÖLÜM 3. ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİ

Zırh çelikleri kendilerinden beklenen mekanik özellikleri gerçekleştirebilmeleri için imalat aşamasında bazı ısıtma işlemlere tabi tutulurlar. Homojen ve homojen olmayan olarak farklı iki gruba ayrılırlar. Homojen olan zırh çelikleri kinetik enerjili olmayan mermilerin darbe etkisini karşılamak üzere komple ısıtma işleme tabi tutulurlar. Homojen olmayan zırh çeliklerinin yüzeyleri ise kinetik enerjili mermilerin delip geçme özelliklerine karşı, yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulurlar. Bu tür zırh çeliklerinin kaynakları yapılırken daha fazla önlem almak gereklidir.

3.1. Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Faktörler

3.1.1. Kimyasal kompozisyon ve karbon eşdeğeri

Zırh çelikleri, yapı itibarı ile düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelik gurubuna girmektedir. Bu özellikleri düşük alaşım ve ısıtma işlemlerle kazandırılmış olması karbon içeriğinin gerekliliğini engelleyemez. MIL-A-46100 standart sınıfına göre üretilen zırh çeliklerinin yüzde karbon içeriğinin kaynak kabiliyetine etkisi, karbon eşdeğeri açısından formülü yine bu standartta denklem 3.1' deki gibi verilir [7].

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [7]. \quad (3.1)$$

Diğer çelik türlerine göre, zırh çelikleri bileşimlerinden ötürü kaynaklı birleştirmelerde çatlamaya daha fazla müsaittir. Bu birleştirmelerde edindiğimiz tecrübeler neticesinde farklı kalınlıktaki iki parçanın birleştirilmesinde çatlama olayına daha sık rastlanılmaktadır. Bu istenmeyen durum çeşitli ısıtma işlemlerle

minimize edilebilmektedir. Kaynak öncesi ön ısıtma, çok pasolu kaynaklarda pasolar arasında kontrollü sıcaklık ve kaynak sonrası kontrollü soğutma işlemleridir.

Ön ısıtma, kaynak dikişi çevresinde sıcaklık dağılımını genişletmek ve dikişin yavaş soğutarak sertleşmesini, iç gerilim oluşumunu ve çarpılmayı önlemek için uygulanır. Ferrit, perlit ve beynit oluşumu için zaman kazandırır. Pasolar arası sıcaklık uygulaması eğer kaynak dikişine hidrojen girmiş ise bu hidrojenin atılmasını sağlar, böylelikle hidrojen çatlağı riski azalmış olur. Zırh çeliklerinde ıtap bölgesine uygulanan ısıtma işlemleri çok önemlidir. Çeliğin ıtap bölgesinde kendi özelliklerini yitirmesi zırh çeliği kullanmamıza bir anlam kazandırmaz.

3.1.2. Malzeme kalınlığı

Zırh çeliklerinin kaynak kabiliyetinin etkileyen önemli faktörlerden biri de ön ısıtmadır. Özellikle kalın malzemelerde yüzeyden sıcaklık kaybının önlenmesi için ön ısıtma uygulanması gerekli bir işlemdir. Bu ön ısıtma işleminde et kalınlığının ön ısıtmaya etkisini, Daniel Seferian'ın formülüne göre belirleyebiliriz.

$$T_{\text{öntav}} = 350\sqrt{CE(1 + 0,005d) - 0,25} \quad (d : \text{Et kalınlığı}) \quad (3.2)$$

3.1.3. Isı girdisi ve mikroyapının korunması

Zırh çeliklerinin kaynağında üstünde durulması ve dikkat edilmesi gereken konulardan biri de ısı girdisidir. Aşağıda denklem 3.3 te gösterildiği gibi ısı girdisini düşük tutmak için akım ve voltajı da düşük tutmak gereklidir. Buna istinaden bu çalışmayı yapma amacımız tamamen bu parametreleri düşürmeye yöneliktir.

$$H = \frac{60EI}{1000S} \quad (3.3)$$

H: Isı girdisi (kJ/inç veya kJ/mm).

E: Ark voltajı (volt).

I : Akım (amper).

S: Hız (inç/dakika veya mm/dakika)

3.1.3. Armox 500 T kaynak kabiliyeti

İsveç menşei SSAB firması tarafından üretilen Armox 500 T zırh çeliği malzemesi balistik amaçla üretilen Armox serisi zırh çeliklerindedir. Mekanik özelliklerinin üstünlüğünden ötürü savunma sanayinde tercih sebebidir [8]. Karbon içeriğinin düşük olması münasebetiyle mükemmel kaynaklanabilme özelliğine sahiptir.

Kaynak işlemi sırasında, Armox 500T zırh çeliği ve diğer zırh çeliklerinin özelliklerini kaybetmemesi için üzerine çıkılmaması gereken maksimum sıcaklık değerleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Armox serisi zırh çelikleri maksimum sıcaklık değerleri [7].

Zırh Çeliği	Armox 370 T CL1&CL2	Armox 440 T	Armox 500 T	Armox 600 T	Armox Advance
Max Sıcaklık C°	400	200	200	180	150

Isı girdisinin 1,7 kJ/mm olduğu durumlarda Tablo 3.1.'deki veriler geçerli olmaktadır. Eğer ortam nemi çok yüksekse veya sıcaklık 5 °C'den düşükse tabloda verilen minimum sıcaklık değerlerine 25 °C eklenir. Isı girdisinin 1,0 ila 1,6 kJ/mm aralığında olduğu kaynak uygulamalarında yine bu kural uygulanabilmektedir. Isı girdisinin 1,0 kJ/mm den az olduğu kaynak uygulamalarında kullanılacak ön tav sıcaklığı EN 1011-2 standartından seçilebilir. Isı girdisi 1.7 kJ/mm'yi aşan kaynak uygulamalarında ise, verilen min. Ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklık değerleri dikkate alınmaz [6].

Tablo 3.2. Armox Zırh çelikleri karbon eşdeğerlikleri [7].

Zırh çeliği türü	Kalınlık Aralığı (mm)	Karbon Eşdeğeri
Armox 370 T CL1 & CL2	3-80	0,67-0,75
Armox 400 T	4-30	0,68-0,72
Armox 500 T	3-80	0,67-0,75
Armox 600 T	4-20	0,85
Armox Advance	5-7	0,95

Dolgu metali türünü seçerken dikkat etmemiz gereken iki değer, kaynak dayanımı ve tokluk değerleridir. Kaynak işleminde 500 MPa'a kadar akma dayanımı olan yumuşak dolgu metalleri önerilmektedir. Dayanımın ve tokluğun tam kombinasyonunun sağlanması için gerekli olan aralıktaki en düşük dayanımlı kaynak dolgu metali tercih edilmelidir. Düşük dayanımlı kaynak dolgu elektrotu tercihinin çeşitli faydaları vardır. Bunlar, dolgu metalindeki en yüksek tokluğun, maximum hidrojen çatlak direncinin ve kaynak dikişinde en düşük kalıntı gerilmenin sağlanmasıdır. Kaynak metali tercihinde hidrojen içeriğide düşük tutulmalıdır [7]. Daha düşük dayanım gerektiren uygulamalarda avantajını yitirmekte ve kaynaklı yapıyı zayıflatmaktadır. Tasarımın bu tür bölgelerinde ise tokluk göz ardı edilerek dayanımı daha yüksek kaynak dolgu elektrotları kullanılır.

BÖLÜM 4. ZIRH ÇELİKLERİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Zırh çeliklerinin kaynaklı birleştirmelerinde elektrik ark kaynak yöntemi, gaz altı kaynak yöntemi, soy gaz erimeyen tungsten elektrik ark kaynak yöntemi ve toz altı gibi birçok kaynak yöntemi kullanılmaktadır.İçlerinde en eski ve sık kullanımı olan elektrik ark kaynak yöntemi zırh çeliği kaynağında hidrojen çatlağı riski en yüksek olan kaynak yöntemidir.Bunun nedeni kullanılan örtülü elektrotun nemlenmesi sonucu kaynak banyosuna giren hidrojenin soğuma sonrası genişerek çatlak oluşturmasıdır. Elektrik ark kaynak yönteminde kullanılan elektrotların hidrojen içerikleri düşük seçilmeli ve kaynak öncesi elektrotlar fırınlanmak suretiyle kurutulmalıdır. Daha teknolojik olan ve otomasyona imkanı veren gazaltı kaynak yöntemleri gün geçtikçe sektörde daha yoğun kullanım alanı bulmaktadır. Ayrıca gaz altı kaynak yöntemlerinde kullanılan elektrotun örtü yapısı olmadığından nemden daha az etkilenen kaynak banyosu sağlanır. Ancak zırh çeliklerinin gazaltı kaynak yöntemlerindedeyine hidrojen içeriği düşük elektrot tercih edilmelidir. Kaynak dikişlerinin doğrusal ve boyutlarının uzun olması durumunda ise toz altı kaynak yöntemi kullanılabilir. Bu yöntem daha hızlı dolgu sağlayarak kalın et kalınlıklarının seri kaynaklarında önemli kazançlar sağlar. Yine toz altı kaynak yönteminde kullanılan tozun hidrojen içeriği ve fırınlanması hususlarına özen gösterilerek, olası çatlak oluşum riskleri minimuma indirilmelidir. Yapmış olduğumuz çalışmada gazaltı kaynak makinası olan Fronius şirketinin yeni teknoloji olarak ürettiği TPS/i(Trans process solution)500 kaynak makinası kullanılacaktır.

4.1. TPS/İ Kaynak Makinası Teknolojisi

TPS/i evrensel bir dahidir. Tamamen yeni bir tasarımıdır. Kaynak sektöründe yapılan akıllı bir devrimdir. Bu aşamada kaynak özellikleri önemli derecede geliştirilmiş olup, insan ve makine arasındaki iletişim kabiliyeti mükemmelleştirilmiş ve kullanım

kolaylığı sağlanmıştır.TPS/i, modüler yapısı sayesinde özel kaynak ihtiyaçlarınıza göre kolayca ayarlanabilmektedir [42].



Şekil 4.1. TPS/İ 500 Kaynak makinası.

TPS/i ile kaynak teknolojisinin geleceğine imza atılmıştır. Bugüne kadar bildiğiniz tüm kuralları yıkan bir zekaya sahiptir. Artık Amper = Hız değildir. Voltaj, Amper ve Hız birbirlerinden bağımsız olarak TPS/i zekasıyla parametre edilebilmektedir.Kaynak esnasındaki yapacağınız her hata engellenmektedir.Artık hata yapmaktan korkmayın.Çünkü TPS/i sizden önce hisseder ve alışılmışın dışında karar alabilme cesaretiyle kontrolü ele alır.Her türlü olağanüstü şartlarda dahi kaynak mükemmeliyeti ve penetrasyon TPS/i zekasıyla sabit tutulmaktadır.Böylelikle hatasız kaynak, daha hızlı kaynak, hassas kaynak ve "0" çapaksız kaynak mümkündür.Etkin tel regülasyonu ve ark istikrarını stabil hale getiren kademesiz ayarlanabilme özelliğiyle kaynak nüfuziyet stabilizasyonu, mükemmel ateşleme enerjisi kaynak teknolojisinde gelinebilecek en önemli gelişim sonuçlarındandır. Ateşleme anındaki tel sıcaklığı isteğe bağlı olarak kontrol edilebilmekte ve buna bağlı olarak duruma göre az veya çok enerji iletebilmek mümkündür. Böylelikle mükemmel ateşleme sağlanır. Seçilebilir donanımlar arasında LSC (Low Spatter Control), PMC (Pulse

Multi Control) paketleri mevcuttur.TPS/i serisinin tel sürme üniteli modeli olan TPS 500i; 500 Amper gücündedir. Hava ve su soğutmalı seçenekleri mevcuttur.

Tablo 4.1. TPS/İ 500i kaynak makinası teknik özellikleri.

Giriş Voltajı: 50/60 Hz	3x400 V
Cos Phi	0,99
Akim Ayar Aralığı	3-500 A
Kaynak Akimi (X=40% - 40°C / 10dk.)	500 A
Kaynak Akimi (X=60% - 40°C / 10dk.)	430 A
Kaynak Akimi (X=100% - 40°C / 10dk.)	360 A
Açık Devre Voltajı	71 V
Çalışma Voltajı	14,2-39 V
Koruma Sınıfı	Ip 23
Ölçüler (Exbxy)	300x706x510 Mm
Ağırlık	38kg

4.1.1. Standart donanım ve aksesuarlar

- Sinerjik Mod
- Synchro (Double) Pulse
- 7“dokunmatik renkli grafik ekran
- Çok fonksiyonlu grafik ekran düz metin girişi
- Türkçe menü seçeneği
- Tüm yabancı dillerde menü seçeneği
- Hazır kolay program arşivi
- Kontrol ünitesi, ekran koruma kapağı
- USB bağlantı
- Ethernet bağlantısı
- Termostat kontrollü fan
- S-mark, CE-mark
- Otomatik akımsız ve gazsız tel sürme
- Nozul ucuna kadar yüksek soğutma sistemi
- Otomatik orjinal donanım bileşen algılaması
- Amper ayarlanabilen led aydınlatmalı FSC Torç
- TÜV onaylı kalibrasyon sertifikası

4.1.2. Opsiyonel aksesuar ve donanımlar

- Welding Process LSC - Low Spatter Control Paketi
- Welding Process PMC- Pulse Muti Control Paketi
- WeldCube- Explorer üzerinden analiz veri raporu
- Remote kontrol ünite seçenekleri
- Fonksiyonel tel sürme ünitesi seçenekleri
- PullMig Torç (Dünyanın en hafif Pushpull torcu)

BÖLÜM 5. KAYNAKLARIN TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENELERİ

5.1. Tahribatsız Muayene

Malzemeye herhangi bir hasar vermeden, muayene edilecek parçadan numune almadan, kullanım amacına uygun özelliklerine zarar vermeden, doğrudan parça üzerinde üretimin her aşamasında yapılan muayene yöntemlerinin bütünüdür. Malzeme yüzeyi ve içyapıdaki her türlü hata farklı yöntemler kullanılarak tespit edilebilmektedir.

Bazı kaynaklar tahribatsız muayene yöntemini her ne kadar üretimin son aşaması olarak belirtse de bu yanlış bir tanımdır. Aksine tahribatsız muayene yöntemleri özellikle çelik sektöründe üretimi yapılacak olan bir malzemenin haddehanelerde veya dökümhanelerde ısıtılma işlemi bittikten sonra başlar ve üretimi yapılan fabrikadan çıkana kadar devam eder.

Tahribatsız muayenede amaca göre uygulanabilir yöntemi seçmek muayene sonucunda doğru bir sonuç almamızı sağlayan en önemli kuraldır. Bu seçimi yaparken uluslararası standartlar, malzeme bilgisi ve müşteri ile yapılan antlaşmalar bize klavuzluk etmektedir. Her malzemeye tüm muayene yöntemleri uygulanmadığı gibi aynı malzemede uygulanabilir tüm muayene yöntemlerini yapmak doğru bir test yöntemi olmaz. Tahribatsız muayene yöntemleri genel olarak altı metottan oluşmaktadır. Bunlar;

- Göz ile Muayene
- Sıvı Emdirme (Penetran Sıvısı) ile Muayene
- Girdap akımları (Eddy Akımı) ile Muayene

- Manyetik Parçacık ile Muayene
- Ultrasonik Muayene
- Radyografik (Röntgen) Işınları ile Muayene

Yapmış olduğumuz bu çalışmada Armox 500T malzememize ve dolgu metaline uygun olan yukarıda belirttiğimiz 1, 2 ve 6. muayene yöntemleri uygulanmaktadır.

5.1.1. Göz ile muayene

Gözle muayene, ürünlerin yüzeyden kalite durumlarının (süreksizliklerin, boyut sapmalarının, form hatalarının yüzey durumunun gözle veya optik cihazlar yardımıyla incelenmesi ve değerlendirilmesidir. Yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Diğer tahribatsız muayene yöntemlerini uygulamadan önce başvurulması gereken bir uygulamadır. Bu nedenle diğer tahribatsız muayene yöntemlerinde çalışan operatörleri gözle muayene konusunda vasıflandırılmış olmalıdır. Genel olarak bu mekanik ve optik inceleme aşağıdaki şekillerde yapılır;

Görerek Farketmek: Mevcut durumun tespiti örneğin; dişlinin dişleri açılmış mı açılmamış mı?

Karşılaştırma: Bir vida mastarı ile (profil mastarı) ya da cetvel ile kontrol etme; örneğin dişler vida mastarına uygun açılmış mı?

Tahmin Etme (Benzetme): Dişlerin durumu mastara göre yaklaşık ne kadar büyüktür.
Saymak: Tam sayının tespit edilmesi. Örneğin; dişli kaç tane dişe sahip?

Ölçmek: Durumun tam olarak tespit edilmesi. Örneğin; diş açıklığı ne kadardır.

5.1.1.1. Gözle muayenede kullanılan yardımcı araç gereçler

Gözle muayenede yardımcı araç-gereç olarak normal gözlük kastedilmemektedir. Muayene yaparken aşağıdaki aletler kullanılmaktadır;

1-Büyüteç ve büyüteç gözlüğü (Büyüteç ve büyüteç gözlüğü ile 10 kat büyütme yapılır.)



Şekil 5.1. Büyüteç.

2-Mikroskop ve stereomikroskop (Kontrol aynası dar, görülmeyen kapalı ve endoskop ile görülmeyen yerlerde kullanılır.)



Şekil 5.2. Optik mikroskop.

3-Kontrol aynası (Normal mikroskoplarda 50 kat büyültme yapılabilir.)



Şekil 5.3. Kontrol aynası [9].

4-Profil mastarı (Profil mastarı da örneğin kaynak dikişlerinde kep yüksekliğinin kontrolü için kullanılır.)



Şekil 5.4. Profil mastarı [15].

5- Endoskoplar (Çubuk endoskoplar birbirlerinden;Görüş alanı,Bakma yönü/Açılım açısı Boyutlar, Çap ve çalışma uzunluğu ile ayrılırlar

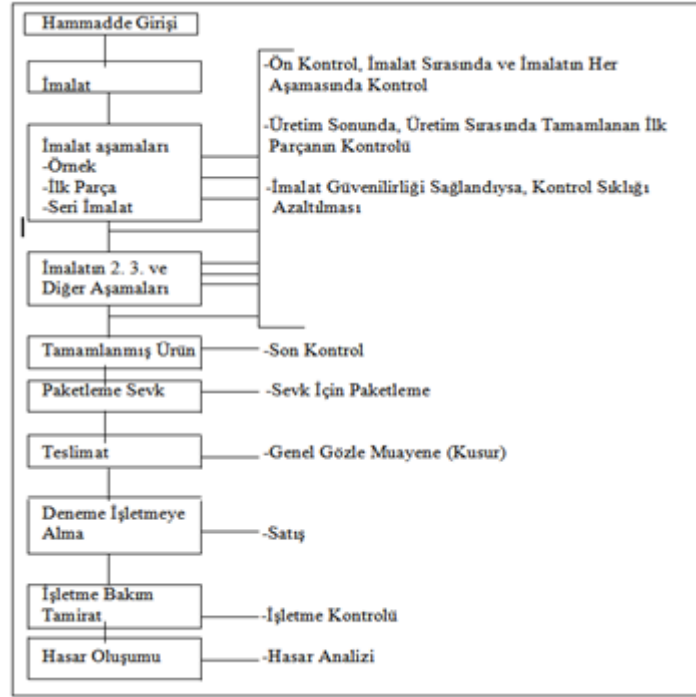


Şekil 5.5. Çubuk endoskop [9].

5.1.1.2. Gözle muayenenin amacı

Gözle muayene kolay uygulandığı, diğer metotlara göre daha az alet ve cihaz kullanıldığı ve belirli görevleri yerine getirebilecek personel tarafından yürütüldüğü için esnekliğe sahiptir.

Önemli olan kontrol planlarında gözle muayenenin yerinin, tipinin, zamanının belirlenmiş olması ve muayenenin talimat doğrultusunda yapılması ve muayene raporunun doğru olarak hazırlanmasıdır.



Şekil 5.6. Gözle muayene sistematığı [17].

5.1.1.3. Dökümantasyon

Muayene dokümantasyonu gerekli tüm verileri kapsayacak şekilde yapılır. Doküman edilecek bilgiler muayene parçasına göre farklılık göstermesine rağmen genel olarak aşağıdaki gibidir.

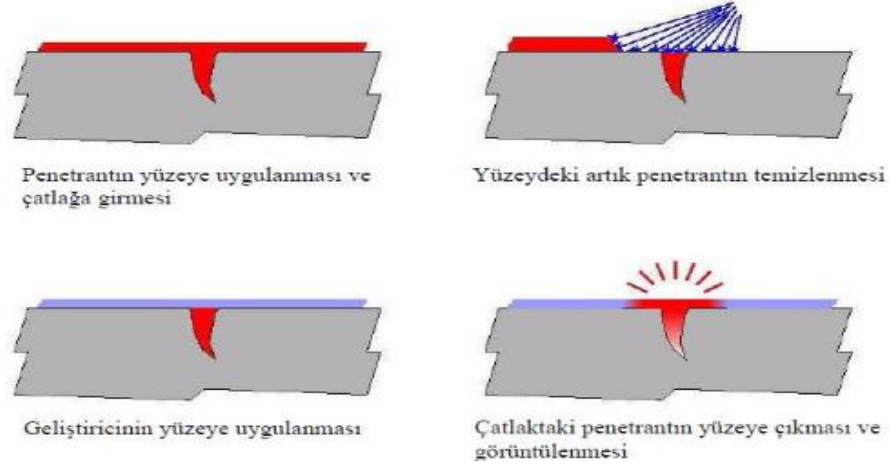
- Genel veriler (firma, operatör, tarih)
- Parçanın ve Muayenenin tanımı
- Muayene edilen kısım, muayene kapsamı
- Standard öngörülen kurallar, yöntem tanımı ve muayene talimatı
- Muayene zamanı
- Muayene verileri
- Muayene koşulları, Muayene yöntemi, yardımcı aletler

- Muayene sonucu, yüzey durumu, dikkat edilecek hususlar
- Bulgular: Konum, Büyüklük, Dağılım kabul edilebilirlik
- Bulguların tanımı ve dökümantasyonu için çizim ve fotoğraf, video ve video çıktısı [9].

5.1.2. Sıvı emdirme (penetrant sıvısı) ile muayene

Penetrant sıvısı ile muayene yöntemi yüzeysel ve yüzeye açık süreksizliklerin tespit edilmesi için hızlı sonuç alınabilen sanayide çok sık kullanılan düşük maliyetli bir muayene yöntemidir. Hataların yüzeye açık bağlantısı yok ise herhangi bir hata görüntüsü bu yöntemle tespit edilmez. Metal, kompozit, ahşap, polimer esaslı yüzeyi aşırı gözenekli olmayan tüm malzemelere uygulamak mümkündür. Penetrant muayene sisteminin uygulama amacı, penetrant maddesinin malzeme yüzeyine uygulanmasından sonra kullanılan geliştirici üzerinde oluşturulan farklı kontrastların sayesinde küçük hataların büyümüş ve kolay ayırt edilebilir olması esasına dayanmaktadır.

Penetrant muayene sisteminde temizlik esastır. Muayene yapılacak yüzey her türlü kir, pas, yağ, cüruf vb. kalıntılardan solventler yardımı ile temizlenmelidir. Temizlik aşamasından sonra yüzey standartlarda belirtildiği gibi muayene işlemine hazır hale getirilmiş ise yüzeye yukarıda şekilde gösterildiği gibi penetrant sıvısı uygulanır. Penetrant sıvısı ortam ve muayene edilecek malzeme yüzeyinin sıcaklığına göre 5-60 dakika arasında bir süre yüzeyde bekletilir. Bu süre sonunda uygulanan penetrant sıvısına uygun solvent ile yüzeydeki penetrant fazlası alınır.



Şekil 5.7. Penetrant muayene sistemi işlem sırası [10].

Genellikle ara temizleyici olarak pürüzlüğü olan kaynak yüzeylerinde su, düzgün yüzeylerde ise çözücü ile nemlendirilmiş havsız kağıt veya bezler kullanılır. Çözücünün yüzeye doğrudan püskürtülmesine izin verilemez. Daha sonra yüzey silinerek, hava üflenerek veya en fazla 50 °C'ye dikkatlice ısıtarak kurutma yapılır. Ara temizliği yapılmış yüzey, geliştirme özellikte ve penetrantla görsel kontrast oluşturan bir emici madde ile kaplanır. Bu madde genellikle bir sıvı içinde süspansiyon halinde sprey olarak uygulanır. Penetrantın süreksizlikler içinde kalan kısmı yüzeydeki geliştirici tarafından emilerek yüzeye çıkar ve süreksizlikten daha büyük boyutlarda bir belirti oluşturur. Geliştirme süresi sonunda muayene yüzeyi en düşük 350 lüks ışık şiddetinde incelenir. Değerlendirme belirlenen değerlendirme standartı kabul kriterlerine göre yapılır. Değerlendirmede belirtinin şekli ve büyüklüğü değil belirtinin geliştirme süresi sonundaki büyüklüğü esas alınır [10].

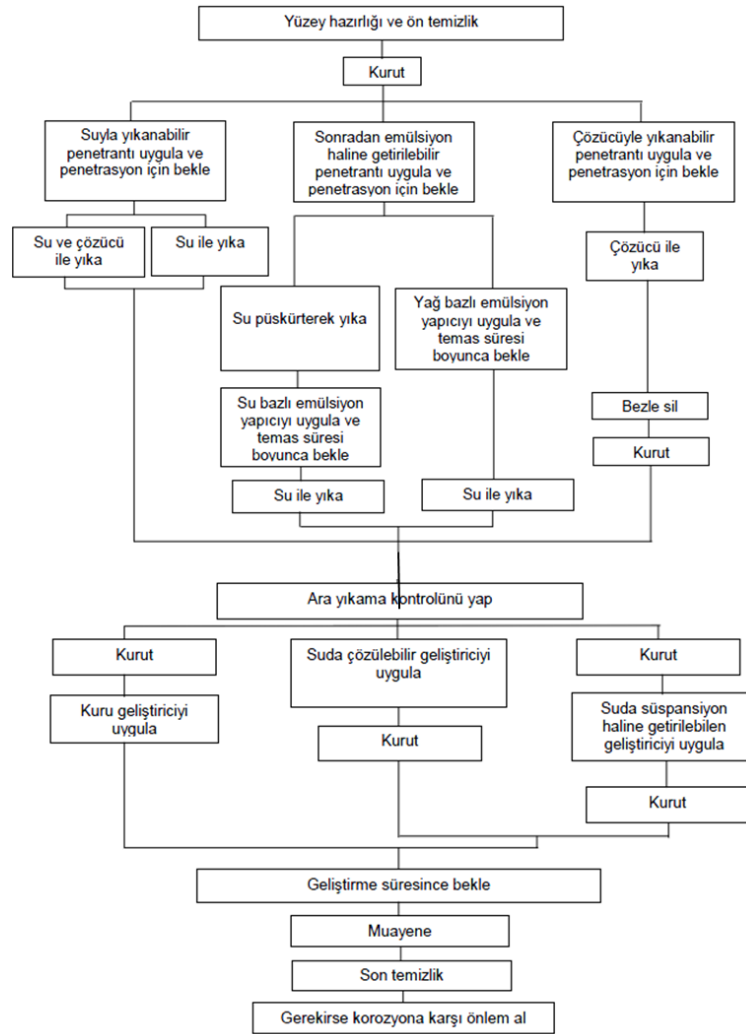
5.1.2.1. Penetrant muayene sisteminin avantajları

- Uygulaması kolaydır.
- Bütün metallere uygulanır ve ferritik olmayan metallere yüzey çatlakları için en iyi yöntemdir.
- Plastik, seramik, mika, cam gibi malzemelere de uygulanabilir.
- Otomasyona uygundur.
- Niceldir.

5.1.2.2. Penetrant muayene sisteminin dezavantajları

- Sadece yüzeye açık hataların tespitinde kullanılır.
- Aşırı pürüzlü ve gözenekli yüzeylerin testinde sağlıklı sonuç alınamaz.
- Hassasiyeti düşüktür.
- Önemli miktarda eriyen malzeme kullanılır.

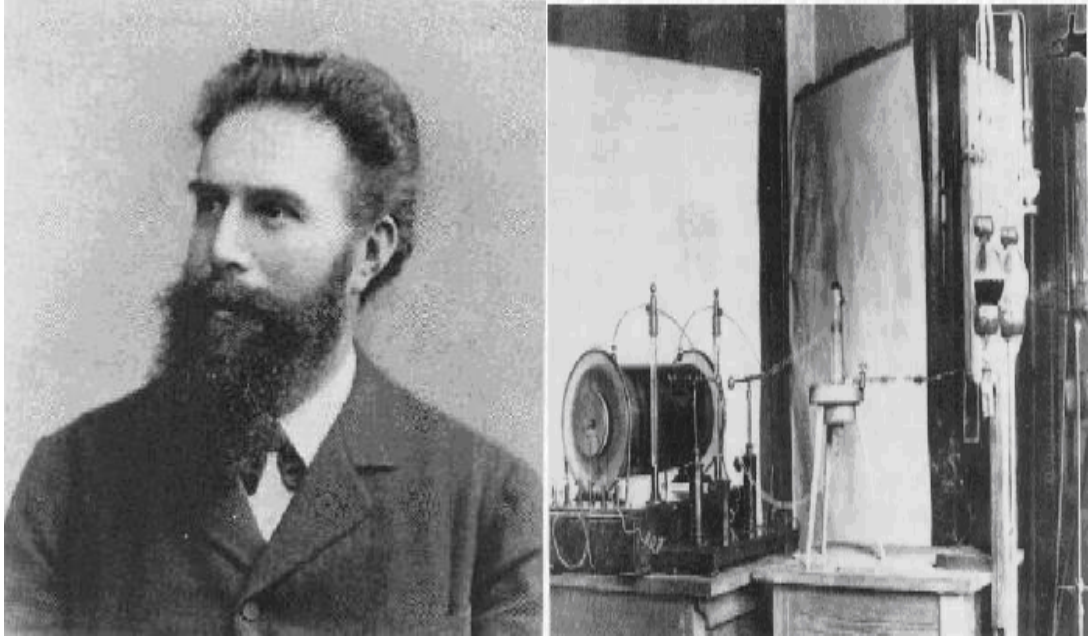
Penetrant muayene sisteminde farklı tür penetrantlar ve bunların birbirinden farklı uygulama yöntemleri vardır. Aşağıda verilen Şekil 5.8.'de kapsamlı olarak uygulanma biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Penetrant muayene işlem sırası akış diyagramı [11].

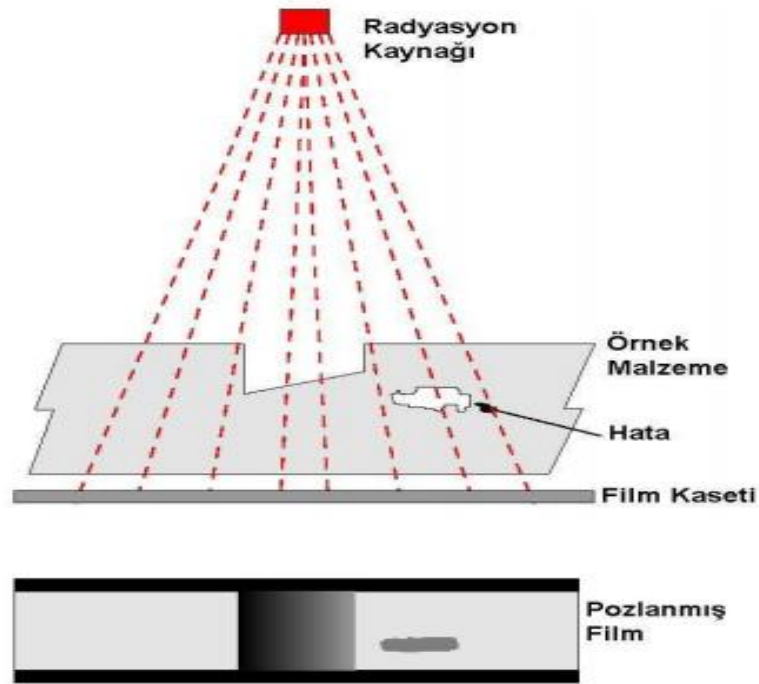
5.1.2.3. Radyografik muayene

1895'de Roentgen Almanya'da katod ışınlarıyla deney yapmaktaydı. Bu arada bu ışınları elde etmek için kullandığı vakum tüpünün bir yeni ışın türünü de yayımladığını keşfetti. X ışını adını verdiği bu görünmeyen radyasyonun kağıda, oduna, kitaplara, insan vücuduna ve hatta metal parçalara nüfuz edebildiğini ve ışık gibi fotografik levhaları etkileyip fotoğraf kağıdı üzerinde bir imaj verdiğini görüyor. Kısa süre sonra radyografi deyimi, eşyaların X ışınlarıyla resmini alma işlemi oluyor.1898'de Curie'ler, radyum'un radyoaktif olduğunu keşfediyorlar.Radiurh 'un yayımladığı görünmez radyasyona "gama ışınları" adı verilmektedir.



Şekil 5.9. Wilhelm Conrad Röntgen ve Crookes deney düzeneği.

Endüstriyel radyografi X ya da gama ışınlarında nüfuz edici radyasyonu kullanarak malzemelerin belirli standartlara uyularak muayene yöntemidir. Bu, ışığı geçirgen olmayan malzemenin içinin görülmesine olanak sağlamaktadır. Malzemenin içinden geçerken radyasyonun bir bölümü yok olur (emilir) veya değişir. Emilme miktarı malzemenin kalınlık ve yoğunluğuna ve emicinin atom sayısına bağlıdır. Film, flüoresan perde veya Geiger sayacı gibi bazı detektör türleri, görüntü ya da işaretler şeklinde ortaya çıkan huzmenin şiddet değişimlerini kaydetmekte kullanılabilir. Sınai radyografi başlıca, görüntüleri film üzerinde kaydedilmesiyle ilgilidir [12].



Şekil 5.10. Radyografinin şematik gösterimi.

X ve gama ışınları kısa dalga boyludur. Dalga boyu bu ışınların enerjilerini ve dolayısı ile giricilik güçlerini belirler. Dalga boyu ile giricilik arasında ters orantı mevcuttur. Dalga boyu arttıkça giricilik kuvveti azalır ve dalga boyu küçüldükçe giricilik kuvveti artar.

5.1.2.4. Genel olarak X ve Gama ışınlarının Özellikleri

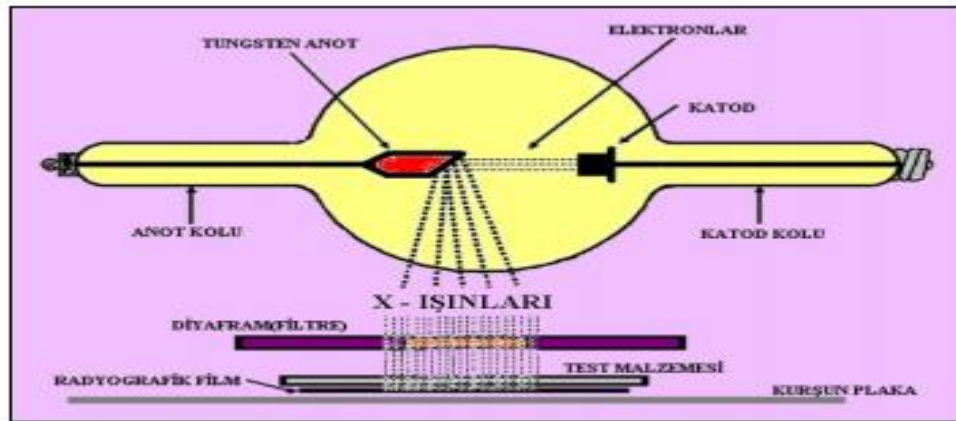
- Fotoğraf filmine etki eder.
- Bazı malzemelerde floresans ve fosfloresans meydana getirir.
- Elektrik ve magnetik alandan etkilenmez.
- Doğrusal olarak hareket eder.
- Işık hızıyla hareket eder.
- Canlı dokulara zarar verebilir.
- Bazen dalga, bazen tanecik karakterinde gözükürler.

X ve gama ışınları arasındaki tek fark yukarıda bahsedildiği gibi oluşum (üretim) yerleridir. X-ışınları bir jeneratör (elektrik kaynağı) vasıtasıyla X-ışını tüplerinde

oluşur, gama ışınları ise radyo aktif bozunum sırasında meydana gelir [13]. Radyoaktif muayenede malzeme çeşidine ve muayene yapılacak yerin ulaşılabilirlik durumuna göre seçim yapılır. X ışını tüpüyle muayene sabit ve hareketli olmak üzere iki çeşittir. Sabit cihazlar her parça için ayrı ayrıdır ve daha çok yer kaplar. Hareketli cihazlar ise basit bir şekilde tasarlanmış sahada çalışmaya uygun taşınabilir cihazlardır.

5.1.2.5. X Işını tüpleriyle malzeme muayene

Belli bir gerilim farkıyla hızlandırılmış elektrik yüklü parçacıklar, örneğin elektronlar, yollarında bulunan bir engele (hedef metal) çarptıklarında kinetik enerjilerinin küçük bir kısmı X-ışınlarına dönüşür. Elektronların çarpma anında kaybettikleri enerjinin geri kalan büyük kısmı ise ısı enerjisine dönüşür [14]. X-ışını üreteçlerinin verimleri çok düşüktür; öyle ki toplam enerjinin yaklaşık %1'i x-ışınına, % 99 u ise ısı enerjisine dönüşür. X ışını oluşumunu Şekil 5.11.'de görülmektedir.



Şekil 5.11. X ışını oluşumu.

X ve gama ışınları enerji seviyesine göre yumuşak ve sert olarak tanımlanır. Yumuşak ışınım düşük, sert ışınım yüksek nüfuziyete sahiptir. Enerji seviyesi arttıkça muayene süresi kısalır ve nüfuziyet artar. Muayene sırasında muayene parçasına veya filme etki eden ışınımın etkisi ışınım miktarı olarak belirlenir. Radyografide ışınım miktarı da doz olarak tanımlanır. Doz, belirli bir doz hızına sahip ışınımın belirli bir

sürede malzemenin bir noktasına düşen miktardır. $Doz = dozh \cdot t$ formülüyle hesaplanır. X ve gama ışınım kaynağından çıkan ışınların bir kısmı malzemeye geçerken bir kısmı da saçılarak dağılır. Dağılan bu ışınların zararlı etkilerinden korunmak için çeşitli önlemler alınmaktadır. Dozimetre (doz hızı ölçer) kullanılarak çekimler ya kurşun kaplı kabinlerde ya da hesaplanan güvenli mesafesinde yapılmalıdır. Malzemenin kalınlığı, yoğunluğu ve atom ağırlığının artması ışınımın düşmesine sebep olur ve nüfuz eden ışınım miktarı azalır. X ve gama ışınları nüfuz etme oranı değişse bile tüm malzemelere bir miktar nüfuz ederler. Şekil 5.12.'de X ışınım tüpü görülmektedir.



Şekil 5.12. Sabit Xray cihazı ve hareketli X ışını tüpü [13].

5.1.2.6. Gama Işınları üretimi ve malzeme kontrolü

Radyoaktif bir maddede, atomik kararsızlığa neden olan fazla enerjinin ışınım enerjisi olarak açığa çıktığı sürekli bir bozunma olayı meydana gelir. Bozunum türüne göre, alfa (α), beta (β) ya da gama (γ) ışınları veya bazen de bunların karışımları gözlenir. Gama ışınımı bazen uranyumda olduğu gibi doğal olarak izotop halinde bulunan maddelerden yayılır. Atom çekirdeğinde yapay olarak oluşturulmuş fazla yük de doğal haliyle ışınım yaymayan bir maddeyi ışınım yayan hale getirebilir. Bu işlem, bir nükleer reaktörde (nötron aktivasyonu) olduğu gibi, kararlı haldeki bir

atom çekirdeğinin nötron (elektriksel olarak nötr parçacıkları) bombardımanına tutularak kararsız (dengesiz) hale getirilmesiyle yapılabilir. Bu işlem sonunda atomun çekirdeğindeki nötron ve protonların toplamı olan atom kütle numarası değişir. Bu tip aşırı yüklü ve kararsız çekirdek radyoizotop olarak adlandırılır. Radyoizotop haline gelmiş atomun çekirdeği, üzerindeki yükten kaynaklanan fazla enerjiyi parçacık veya ışınım yayarak atmaya ve başlangıçtaki denge konumuna dönmeye çalışır. İşte bu kararsız durumdan kararlıya geçiş sürecine bozunma denir [14]. Bozunma süreci her maddeye göre değişmektedir. İridyum-192 (Ir-192), Kobalt 60 (Co-60), İterbiyum-169 (Yb-169) ve Tulyum-170 (Tm-170) maddelerinin bozunma süreleri Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Gama ışınımında kullanılan Radyoaktif maddeler ve yarıömür süreleri [14].

Kaynak	Yarı ömür süresi
Tm-170	125 gün
Yb-169	31 gün
Ir-192	74 gün
Co-60	5.2 yıl

Gama ışını cihazları genellikle mekanik olarak kontrol edilebilir cihazlardır.

Çalışma prensibi dijital radyografik cihazlara göre daha basittir. Cihazın görevi, açık konumda iken çekirdekten ışınım yayılmasını sağlamak ve kapalı konumda iken izotop çekirdeğinden ışınım yayılmasını engellemektir.



Şekil 5.13. Gama ışınım kaynağı cihazı [16].

5.1.2.7. X veya gama ışınımı ile radyografik muayene aşamaları

- Film ve Radyasyon kaynağının hazırlanır
- Parça kalınlığına ve cinsine göre uygulama zamanını, ışın çeşidini ve voltajı belirlenir
- Muayene edilecek kaynaklı parçanın arkasına kurşun plaka yerleştirilir ve radyasyona karşı tedbirler alınır.
- Malzemenin arkasına film yerleştirilir
- Yapılan hesaplamalar sonucunda malzemeye belirlenen süre boyunca radyasyon verilir.
- Cihaz kapatıldıktan sonra film alınıp banyo işlemine tabi tutulur.
- Banyo sonrası kurutma işlemi yapılır.
- Kurutma işleminden sonra Film değerlendirme işlemi yapılır ve raporu yazılır.

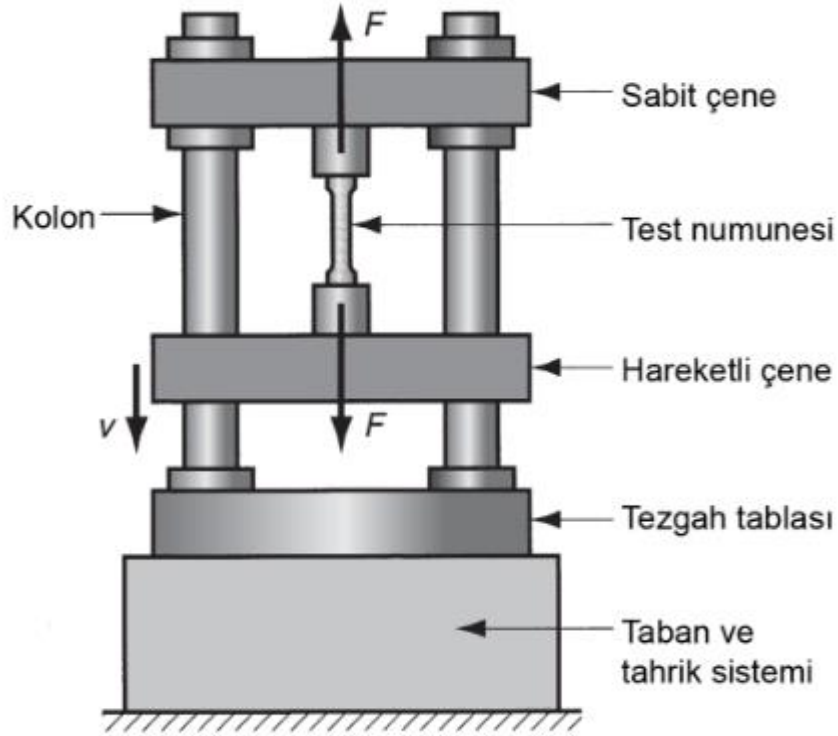
5.2. Tahribatlı Muayene Yöntemleri

Tahribatlı malzeme muayene yöntemi, malzemelerin kullanım amacına göre mekanik ve fiziksel olarak ne kadar uygun olduğunu tespit etmek amacıyla test numunesine

kalıcı hasar vererek bu özelliklerin önceden tespiti için yapılan muayene yöntemidir. Bu deneylerden alınacak sonuçlar, üretimi yapılacak olan kaynaklı imalat, makina, döküm vb. ürünlerin seri imalatına başlamadan önce seri imalata uygunluğunu belirlemekte kullanılır. İmalat sektöründe birçok tahribatlı muayene metodu vardır.

5.2.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik özelliklerini hakkında bilgi edinebilmek için yapılan bir deneydir. Çekme deneyi tahribatlı muayene yöntemlerinin içinde en fazla kullanılan yöntem diyebiliriz. Tek bir deney yapılarak muayene edilecek parça hakkında çok fazla bilgi elde edilmesi tercih sebebidir [19]. Şekil 5.6.'da deney düzeneği resmi verilmiştir.



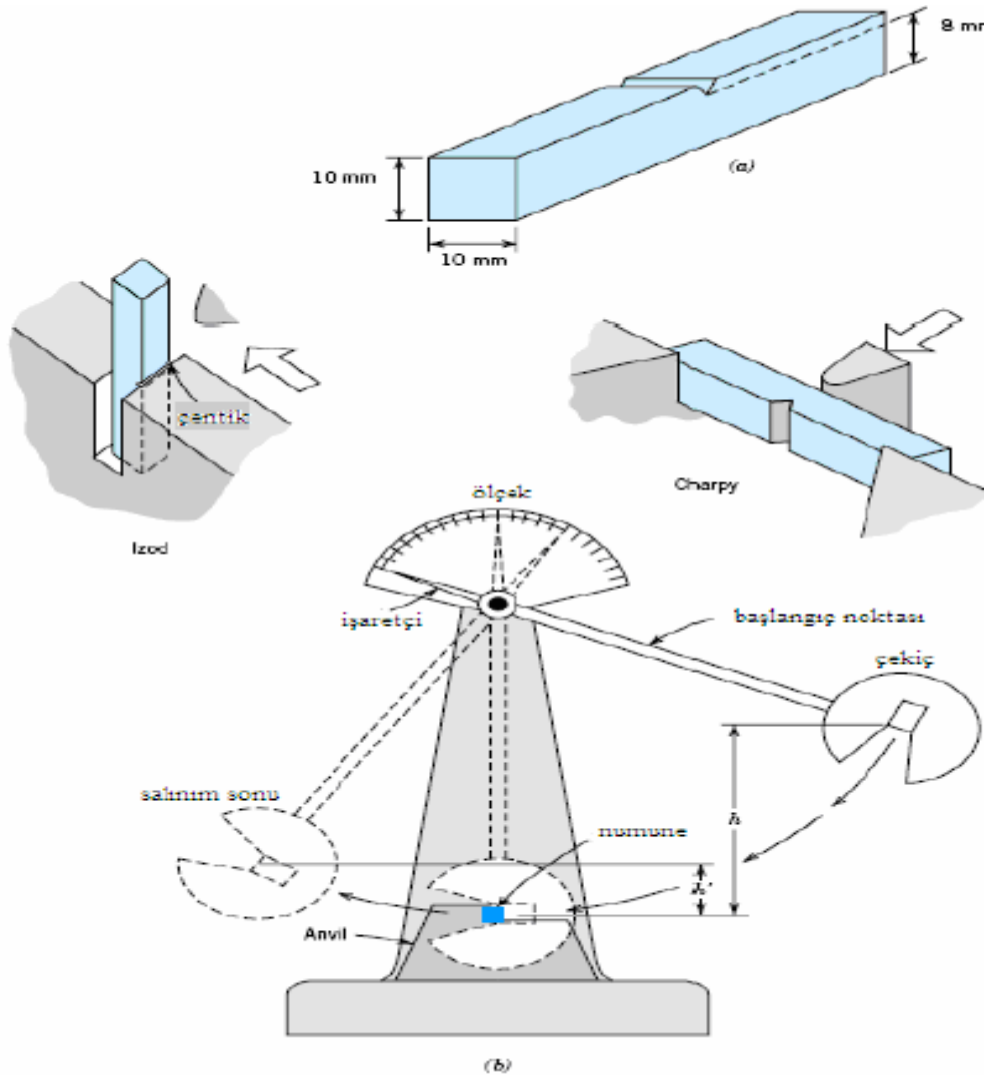
Şekil 5.14. Çekme testi cihazı [31].

Standartlara uygun olarak hazırlanmış deney numunesinin tek eksende, belirli bir hızla (darbesiz olarak) ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilir. Bu işlem sırasında uygulanan yük değerleri ve numunede oluşan uzama miktarları kaydedilir

[18]. Çekme deneyi malzemenin akma gerilmesi, maksimum gerilmesi, kopma gerilmesi, elastise modülü, yüzde uzama ve yüzde kesit daralması hakkında bilgi almamızı sağlar. Teknolojinin gelişmesiyle deney sonuç verileri artık herhangi bir hesaplama yapmadan cihaz yazılımı sayesinde otomatik olarak grafik şeklinde verilmektedir [19].

5.2.2. Kırma deneyi (çentik darbe testi)

Çentik-darbe deneyi metallere yönelik olarak geliştirilmiş bir deneydir. Bu deneyle malzemenin tokluğu ve darbelere karşı koyabilme yeteneği belirlenir. Tokluk bir malzemenin kırılmadan önce bünyesine aldığı enerji olarak bilinmekte ve bu enerji birim alana düşen enerji olarak tanımlanmaktadır. Deneyde sabit ağırlıklı çekiç belirli bir yükseklikten bırakılıp ve salınır aşağı doğru inerken numuneye çarparak numuneyi kırar. Daha sonra ilgili bağıntılar yardımıyla numune tarafından soğrulan enerji belirlenir. Bu enerjiye karşılık sıcaklık değişimi ya da deformasyon verileri kullanılarak da çeliklerde sünek-kırılğan davranış farklılığının belirlenmesi sıklıkla yapılan bir işlemdir [20]. Deneyin yapılacağı numuneler belirli standartlara göre yapılır. Çentik darbe deneyi Şekil 5.8.' de gösterildiği gibi izod ve charpy olmak üzere iki türlü yapılmaktadır.



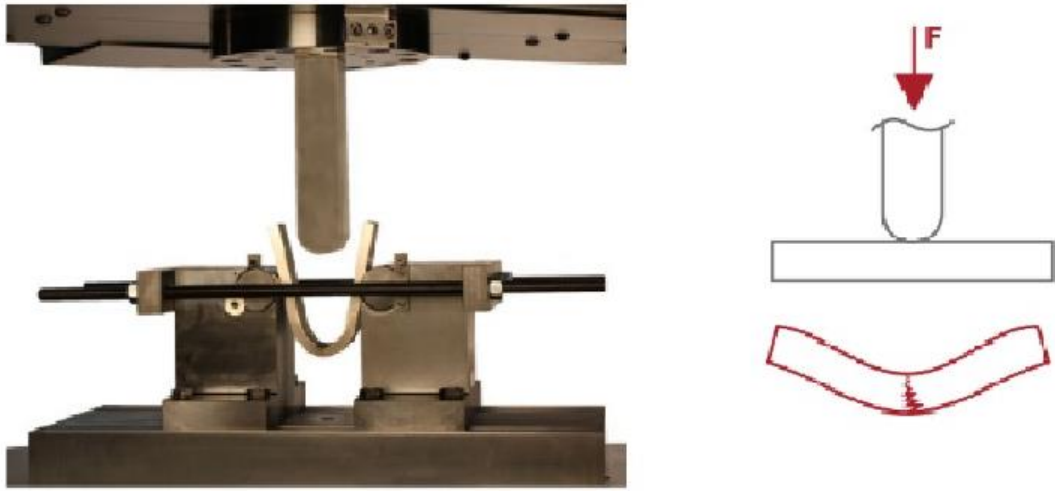
Şekil 5.15. Çentik darbe deneyi [21].

Ağırlığı G olan sarkaç, h yüksekliğine çıkartıldığında potansiyel enerjisi ($G \times h$) mertebesinde olmaktadır. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakılınca, düşey bir düzlem içinde harekete geçerek numuneyi kırar ve aksi istikamette h_1 yüksekliğine kadar ilerler. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ($G \times h_1$) seviyesinde demektir [21].

Sarkacın, numune ile temas haline geliş anındaki potansiyel enerjisi ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerjisi farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjisini başka bir deyimle, darbe direncini verir [21].

5.2.3. Eğme testi

Eğme testi standartlara göre hazırlanmış numuneye üç noktadan yükün binmesiyle belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta tek noktadan kuvvet uygulanmasıdır. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmakta olan tahribatlı test yöntemlerinden biridir. Bu deney malzemenin eğme ya karşı nasıl bir direnç sergilediği konusunda bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır [22].



Şekil 5.16. Eğme testi [23].

5.2.4. Sertlik ölçümü

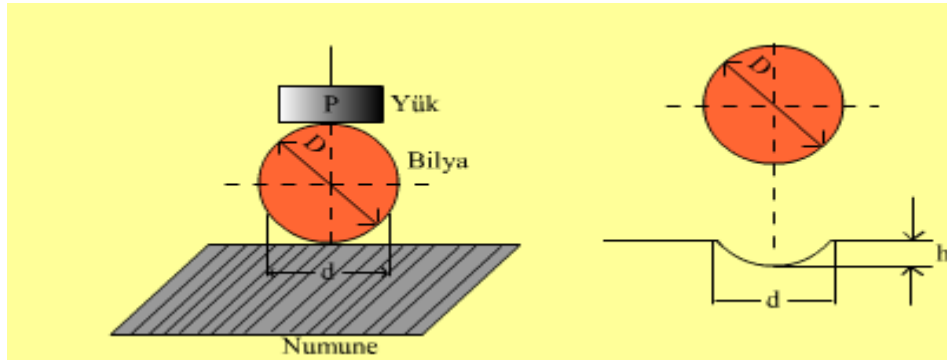
Sertlik, malzemelerin plastik deformasyona karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanır. Sertlik deneyleri, malzemeler ve imal edilmiş parçaların çabuk ve tahribatsız olarak test edilmesini sağlayan en önemli mekanik deneylerdendir. Sektörde yaygın olarak kullanılan sertlik ölçme yöntemleri, numune yüzeyinde elde edilen kalıcı iz ölçülmesi esasına dayanan yöntemlerdir [24].

İz işleminin sonundaki taşınan alan basit bir hesaplama ile yapılabileceği gibi, sertlik (H), maksimum yüklenmenin (P_{max}), etki ettiği alana (A_r), bölünerek bulunur [25].

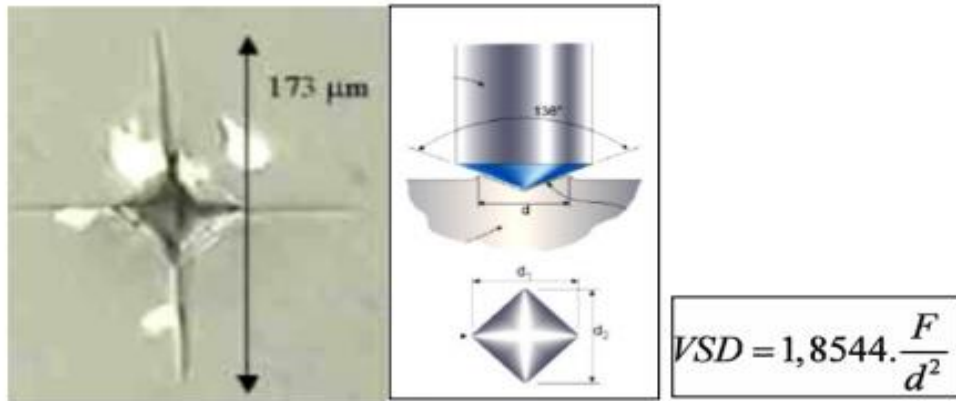
$$H = \frac{P_{\max}}{A_r} \quad (5.1)$$

5.2.4.1. Sertlik ölçme yöntemleri

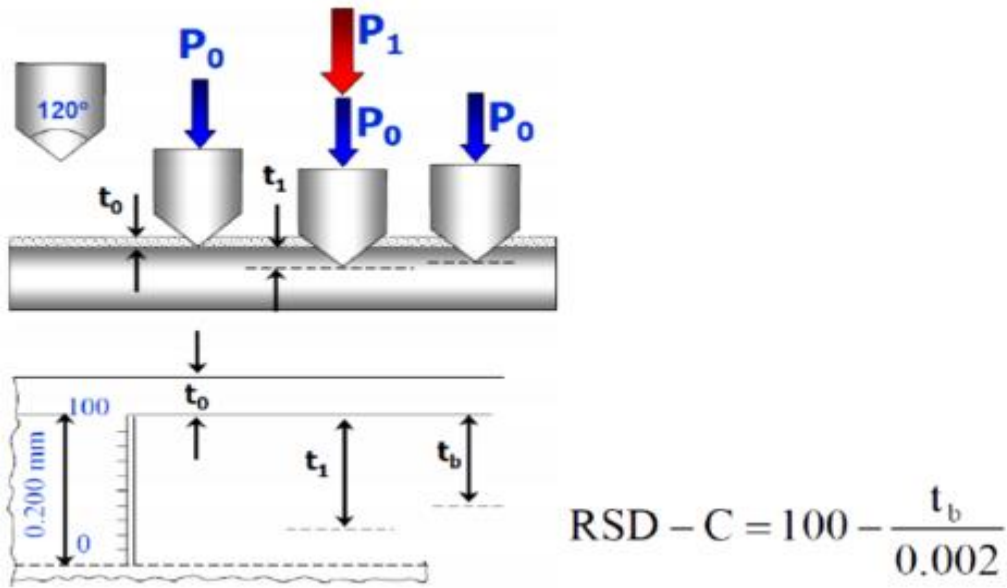
Brinell sertliği (HB, BSD), Vickers sertliği (HV, VSD) ve Rockwell sertliği (HR) olmak üzere üç şekilde ölçülür. Brinell ve Vickers te iz büyüklüğü çapı, Rockwell de batma derinliği ölçülür.



Şekil 5.17. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi [25].



Şekil 5.18. Vickers sertlik deneyinin şematik gösterimi [27].

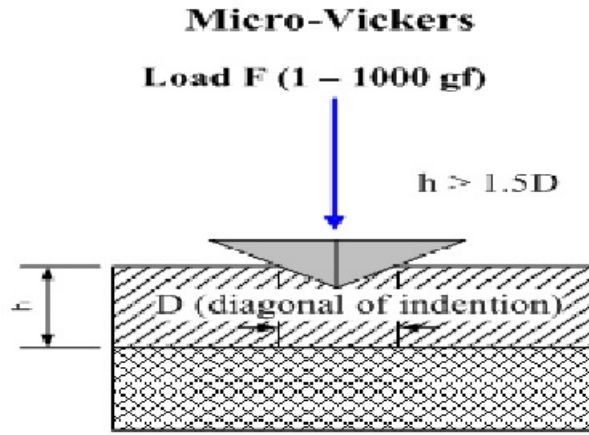


Şekil 5.19. Rockwell sertlik deneyinin şematik görüntüsü [27].

Ayrıca Vickers sertlik ölçme yöntemi Makro, Düşük yüklü ve Mikro Vickers sertlik ölçme yöntemi olarak kendi içinde üç farklı şekilde yapılmaktadır. Yapmış olduğumuz bu deneyde malzememizin sertlik ölçümünde Mikro Vickers yöntemi ile çalışılmıştır.

5.2.4.2. Mikro vickers sertlik ölçme yöntemi

Bu deney, özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliklerini ölçmede kullanılmaktadır. Karbürize, dekarbürize ve azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deney ile tespit edilebilmektedir. Ayrıca, metalik alaşımlarda fazların sertlik tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılğan malzemelerin sertliklerini ölçmede de kullanılır. Deney malzemesinin sertliğine göre seçilmiş uygun yükler için, batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik asla zaman “ 1 ” mikronu geçmez. Mikro vicker sertlik cihazında 136° olan piramit uç kullanılmaktadır [28].



Şekil 5.20. Mikro Vickers sertlik deneyi şematik görüntüsü [29].

5.2.4.3. Mikro Vickers sertlik ölçümünde dikkat edilecek hususlar

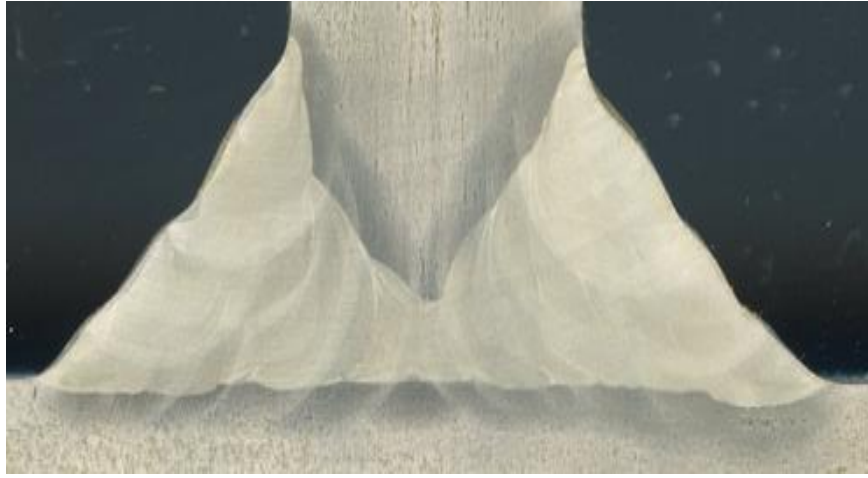
- Cihaz düzgün bir zeminde sabitlenerek teraziye alınmalı.
- Yükler takılı iken asla taşınmamak.
- Elektrik bağlantısı doğru bir şekilde yapılmalı
- Elmas uç asla zedelenmemeli.
- Ölçüm esnasında asla malzeme ve cihazda oynama yapılmamalı.
- Cihazın üst kapağındaki sabitleyici vidalar çıkarılmalı.
- Yük kolu doğru bir şekilde ayarlanmalı. Uygun yük seçilmeli.
- Tabla yerine tam oturtulmalı.
- Merceklerin ve ucun bulunduğu kısım (Taret) düzgün çevrilmeli. Zorlama yapılmamalı. Çevrildiğinde "tık" sesi duyulması.
- Malzeme yüzeyinin temiz ve pürüzsüz olmaması gerekir. [28].

5.2.5. Metalografik inceleme

Metalografi, metallerden gereken boyutlarda çıkarılan numunelere çeşitli işlemler sonucu içyapıları hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan bilim dalıdır. Bu inceleme malzemelerin özelliklerini ve uygulama yerine göre nasıl bir işlem yapılması gerektiğini sağlamaktadır. Metalografik inceleme Makro ve mikro yapı inceleme olarak iki ana başlıkta birbirinden ayrılır.

5.2.5.1. Makro yapı inceleme

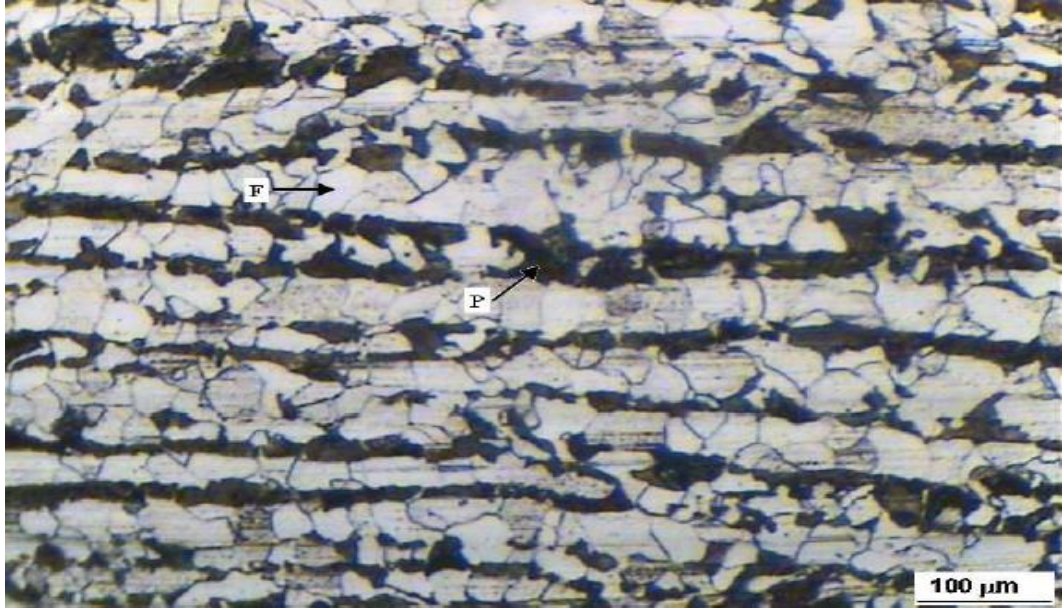
Makro inceleme çıplak gözle yada 10X büyütme bir büyüteçle yapılan incelemeyi kapsamaktadır. Dolayısıyla makro inceleme işleminde, geniş bir alanı kısa bir sürede incelemek mümkün olmaktadır. Makro yapı incelemesi, kalıntıların incelenmesinde ilk aşama olup muhakkak yapılması gereken bir uygulamadır. Makro incelemede ince kalıntılar değil ancak iri kalıntılar saptanabilmektedir. Bazı üretimlerde makro inceleme yeterli görülebilmektedir. Diğer taraftan, makro incelemede kalıntıların cinsini tespit etmek mümkün değildir. Makro inceleme yöntemleri çeşitli olup başlıca makro-dağlama, kırma, kesit daraltması, kükürt baskısı, manyetik toz uygulaması ve süpersonik yöntemler gibi tahribatlı ve tahribatsız yöntemleri içerir. Bu yöntemde, incelenecek yüzey, önce 600 no lu zımparaya kadar kaba zımparalama tabii tutulur ve sonra 1:1 oranında seyreltilmiş HCl reaktifi ile dağlandıktan sonra sağlıklı bir inceleme yapılmış olur [30].



Şekil 5.21. Kaynaklı birleştirme makro yapı görüntüsü [31].

5.2.5.2. Mikro yapı inceleme

Mikro yapı incelemesi, numunenin mikroskop altındaki görüntüsünün 50X ve daha fazla büyütülmesi ile malzemenin kalıntı boyutunu, dağılımını ve bu kalıntıların cinsini öğrenmek için kullanılan inceleme yöntemidir. Mikroyapı inceleme öncesi hazırlık, genellikle kesme, zımparalama ve dağlama olmak üzere üç aşamada yapılmaktadır.



Şekil 5.22. Örnek mikro yapı görüntüsü [32].

Optik mikroskopta kalıntıların genel morfolojisi, boyutu ve dağılımı tespit edildilip, kalıntı cinsini tayin etmek için test numunesi polarize ışık altında veya EDS donanımlı elektron mikroskobunda incelenmektedir. Polarize ışıkta inceleme genellikle dağlama olmadan yapılır [30].

BÖLÜM 6. KALINTI GERİLİM İNCELENMESİ

Bir kaynaklı parçada tüm dış yükler kaldırıldıktan sonra kalan gerilmelere artık gerilmeler denilmektedir. Literatürlerde artık gerilmeleri tanımlayabilmek için farklı teknik terimler kullanılmıştır. Bu gerilmeler, iç gerilmeler, başlangıç gerilmeleri, reaksiyon gerilmeleri, hapsolmuş gerilmeler ve doğal gerilmelerdir. Uniform olmayan sıcaklık değişimine maruz kalan bir yapıdan meydana gelen gerilmelere ısıl gerilmeler denilir [33].

3 çeşit kalıntı gerilim tipi vardır. 1. Tip kalıntı gerilimler aynı zamanda makroskopik kalıntı gerilimler olarak da adlandırılmaktadırlar ve malzeme içerisinde büyük bir alana etki ederler. 2. Tip kalıntı gerilimler ise malzeme içerisinde birkaç tanecik üzerinde etki ederler. 3. Tip kalıntı gerilimler bir taneciğin içinde olan ve çok küçük bir alanı etkileyen gerilimler olarak tanımlanır. Kalıntı gerilimler üretimden/imalattan sonra malzemenin içerisinde kaldığından kullanım esnasında dışarıdan uygulanacak olan gerilimler kalıntı gerilimlerle birleşerek parçaya etki eder. Bu nedenle kalıntı gerilim içeren bir malzeme, parçaya etkileyen gerçek yükleme durumu analiz/hesaplama sonucunda tahmin edilenden çok farklı çıkabilmektedir. Kalıntı gerilimler üretilen malzemenin servis ömrüne doğrudan etki eder. Çekme kalıntı gerilimler malzemelerin yorulma ömrünü azaltıp erken bir hasara uğramalarına neden olabilirken basma kalıntı gerilimlerin malzemenin yorulma ömrünü arttırıcı etkisi vardır [34].

6.1. Kalıntı Gerilimin Nedenleri

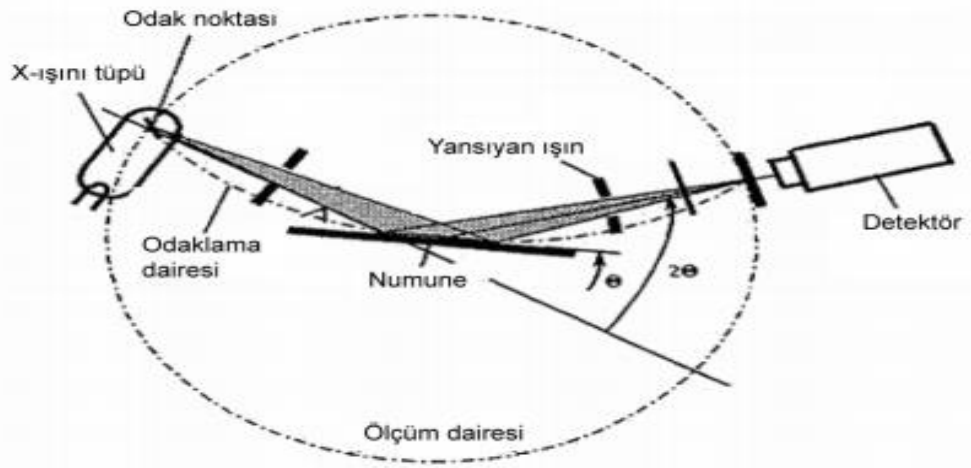
Yapısal gerilim, başlangıç gerilimi, kilitlenme gerilimi gibi tanımlanan kalıntı gerilimi, malzeme üzerine uygulanan yük kaldırıldıktan sonra oluşmaktadır. Bir malzemeye farklı sıcaklık değişimleri uygulaması yapıldığı zaman kalıntı gerilimi

oluşur. Bu gerilime termal gerilim olarak ifade edilmektedir. Gerilim şiddeti birim alana uygulanan yük olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle milimetre kareye etki eden kilogramkuvvet (kgf/mm²) veya inç kareye uygulanan pound kuvvetidir. Metal yapılarda, imalat esnasında (döküm, haddeleme, şekillendirme, alevle kesme, torna-freze gibi talaşlı imalat esnasında) birçok sebepten kalıntı gerilimi oluşmaktadır [33].

Tahribatlı muayene yöntemleri kalıntı gerilim ölçümlerinde eskiden beri kullanılmaktadır fakat malzemeye kalıcı bir hasar vermediği için tahribatsız yöntemler yaygınlaşmaktadır. Yaptığımız deneyde kalıntı gerilimi ölçmede X ışını kırınımı yöntemini kullandığımız için kısaca bu testten bahsedeceğiz.

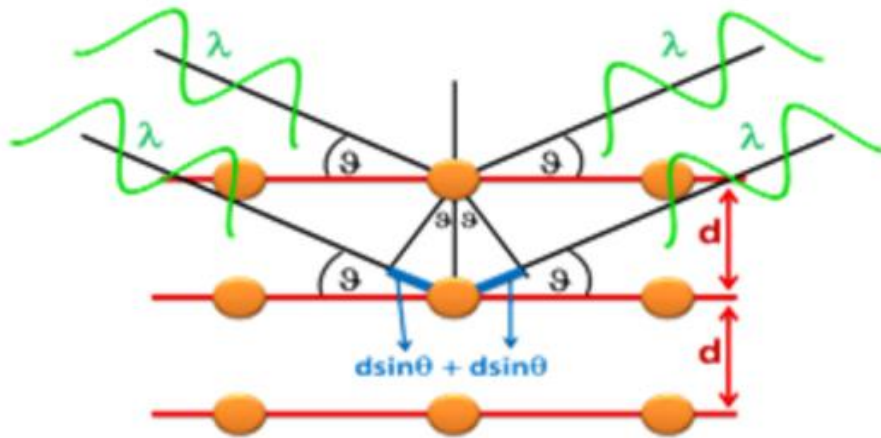
6.2. X Işını Kırınımı Yöntemi

X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi, parçadaki kalıntı gerilme düzeyini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir tahribatsız muayene yöntemidir. XRD yöntemi sayesinde kafes düzlemleri arasında meydana gelen bu mesafe değişimleri ölçülebilir. Şekil 6.1.'de gösterildiği gibi, numune üzerinde belirlenen bir bölge X-ışınları ile tekrarlı olarak taranmaktadır. Kristal düzlemler yüzeye nüfuz eden X ışınların birçoğunu Bragg Kanunu'na göre kırılmaktadır. Kırılan ışının açısız konumu Bragg Kanunu kullanılarak paralel atom düzlemleri arasındaki mesafeyi hesaplamak için kullanılır [35].



Şekil 6.1. Geleneksel XRD yöntemi [36].

X ışını kırınımı brag saçılma kanunu ile bulunur. $2d \sin \theta = n \lambda$ [37].



Şekil 6.2. Brag kanunu [37].

BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Deney Parçaları Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

Yapmış olduğumuz çalışmada ana malzeme olarak kullandığımız Armox 500T zırh çeliğinin mekanik özellikleri Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Armox 500T zırh malzemesinin mekanik özellikleri.

Sertlik (HBW)	Akma Mukavemeti (MPa) minimum	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%) minimum	Tokluk (-40 C° de J) minimum
480-540	1250	1450-1750	8	25

Armox 500T zırh çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 6.2 de verilmiştir.

Tablo 7.2. Armox 500T zırh malzemesinin kimyasal özellikleri.

Karbon max %	Silisyum %	Mangan max %	Kükürt max %	Fosfor max %	Krom max %	Nikel max %	Mo max %	Bor max %
0,32	0,10 - 0,40	1,20	0,015	0,010	1,0	1,80	0,70	0,005

Dolgu metali olarak kullandığımız gazaltı kaynak telinin metalinin mekanik özellikleri Tablo 6.3 te verilmiştir.

Tablo 7.3. Dolgu metalinin mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (L=5d) %	Darbe Dayanımı (Joule) (+20 C°de)
420	620	40	80

Dolgu metali olarak kullandığımız gazaltı kaynak telinin metalinin kimyasal kompozisyonu Tablo 7.4.'te verilmiştir.

Tablo 7.4. Dolgu metalinin kimyasal özellikleri.

Karbon	Silisyum	Mangan	Krom	Nikel
0,08	0,8	7,0	19,0	9,0

7.2. Kaynak İşlemi

Yapmış olduğumuz çalışmada 10x150x350 boyutlarındaki ArmoX 500T zırh çeliği plakalarına x kaynak ağzı açılarak alın birleştirme şeklinde kaynak işlemi uygulanmıştır. Kaynak işlemi, Fronius TPS 500İ kaynak makinasıyla MIG kaynak yöntemiyle T1, T2, T3 olarak isimlendirilen parçalar koruyucu gaz cinsi, 3 mm kök açıklığı ve gaz basıncı aynı kalmak koşuluyla ve farklı amper ve parametlerde yapılmıştır. Kaynak işlemi sonrası parçada oluşacak çarpılmaları önlemek amacıyla başlangıç ve bitiş noktalarına Şekil 7.1.'de görüldüğü gibi kulak kaynatılmıştır. Alt ve üst olmak üzere iki paso yapılan kaynaklı parçada seramik altlık kullanılmıştır.

7.2.1. Kaynak parametreleri

Kaynak işleminde uygulanan parametreler Tablo 7.5.'te verilmiştir. Koruyucu gaz debisi torcun ucunda dakikada 15 litre olarak ayarlanmıştır.

Tablo 7.5. Kaynak işleminde belirlenen parametreler.

Deney Parçası	Amper	Volt	Tel Hızı (m/dk)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Gaz Karışı oranı
T1	160	21,9	8,5	200	%82 Argon %18 Co2
T2	190	22,9	10,2	210	%82 Argon %18 Co2
T3	235	24,3	13,3	323	%82 Argon %18 Co2

T1 nolu parçanın kaynak öncesi resmi Şekil 7.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Kaynak için hazırlanmış T1 numunesi.

T2 nolu parçanın kaynak öncesi resmi Şekil 7.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Kaynak için hazırlanmış T2 numunesi.

T3 nolu parçanın kaynak öncesi resmi Şekil 7.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Kaynak için hazırlanmış T3 numunesi.

Kaynak işlemi sırasında zırh çeliklerin Özelliklerini kaybetmemesi için standartlarda belirtildiği gibi dikişten 75 mm uzaklıktaki sıcaklık değerleri Şekil 7.4.'deki gibi ölçülmüş ve referans değer aralığında kalmıştır.



Şekil 7.4. Kaynak bitiş anında yapılan sıcaklık kontrolleri.

7.3. Tahribatsız Muayeneler

Deney parçalarına TS EN ISO 17637, TS EN ISO 3452-1, TS EN ISO 1435 standartlarına göre görsel, penetrant ve radyografik muayene işlemi yapılmıştır.

7.3.1. Görsel muayene

Kaynaklı deney parçalarına görsel muayene işlemi TS EN ISO 17637 standartına uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 7.5. Deney parçaları kaynak kepi ölçümü.

7.3.2. Penetrant sıvısı ile muayene

Deney parçalarına penetrant muayene işlemi ilk paso kaynatıldı ve spiral zımpara taşı ile kök temizliği yapıldı. Bu kök temizliğinden sonra önce köke sonra da ikinci paso kaynağa penetrant muayenesi yapılmıştır



Şekil 7.6. Uygulanan penetrant sıvısı, temizleyici ve geliştirici.



Şekil 7.7. T1 Nolu deney parçası penetrant muayenesi.



Şekil 7.8. T2 Nolu deney parçası penetrant muayenesi.



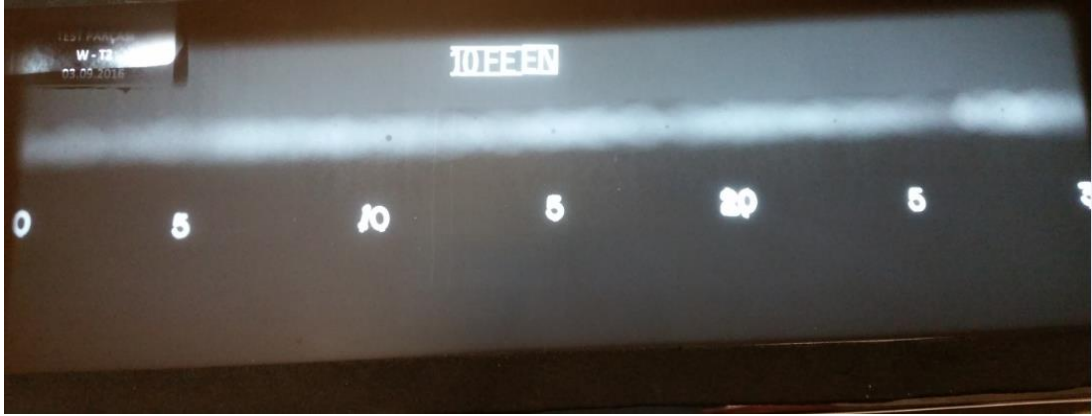
Şekil 7.9. T3 Nolu deney parçası penetrant muayenesi.

7.3.3. Radyografik muayene

Deney parçalarına radyografik muayene işlemi Xray yöntemiyle yapılmıştır. Deney parçalarının radyografik muayene görüntüleri Şekil 7.11., Şekil 7.12. ve Şekil 7.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 7.10. T1 Nolu deney parçası Radyografi görüntüsü.



Şekil 7.11. T2 Nolu deney parçası Radyografi görüntüsü.



Şekil 7.12. T3 Nolu deney parçası Radyografi görüntüsü.

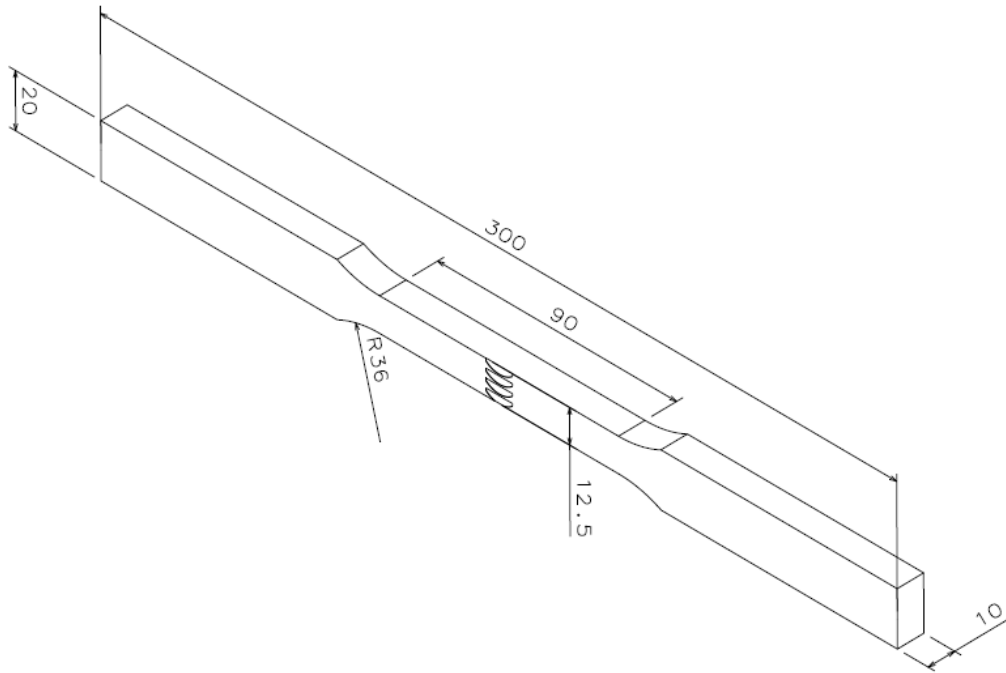
7.4. Tahribatlı muayeneler

7.4.1. Çekme testi

Kaynaklı imalatı yapılan deney parçalarından alınan ikişer adet çekme numuneleri TS EN ISO 6892-1 standartına göre Şekil 7.15.'te gösterildiği gibi yüksek ısı içermeyen talaşlı imalat ile hazırlanmıştır. Çekme testleri Şekil 7.14.'te gösterilen Instron 300DX Çekme cihazında 20 °C'de yapılmıştır.



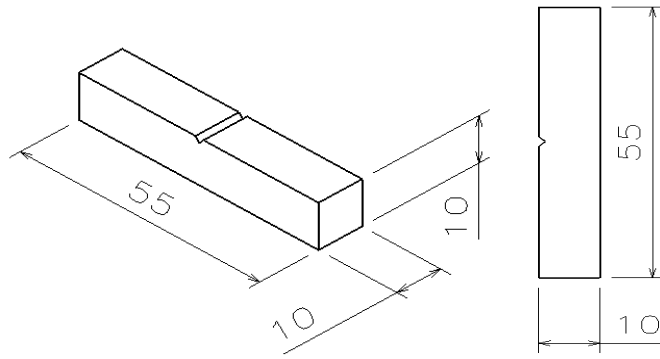
Şekil 7.13. Çekme testi cihazı.



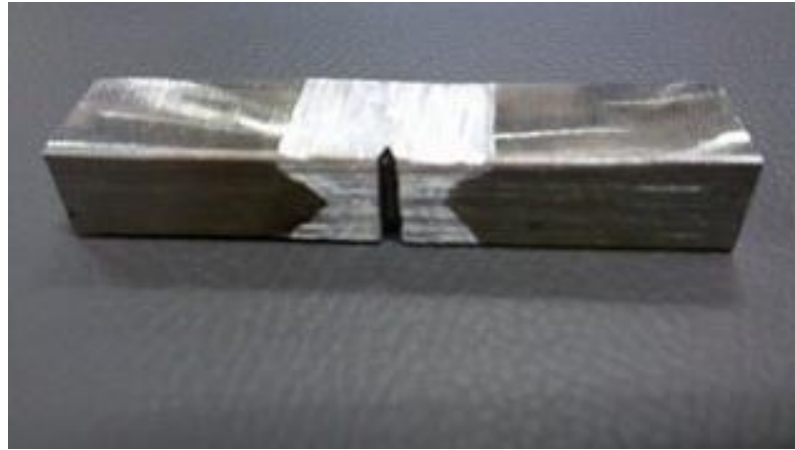
Şekil 7.14. Çekme testi numunesi.

7.4.2. Kırma testi (çentik darbe)

Çentik darbe testi, deney parçalarından alınan sekizer adet numuneye -40 C° ve $+24\text{ C}^{\circ}$ sıcaklık aralığında yapılmıştır. Numuneler standarta uygun olarak talaşlı imalat yöntemiyle hazırlanmış ve çentikler Şekil 7.17.'de gösterildiği gibi dolgu metaline ve üst kepten alt kepe doğru standarta uygun olarak açılmıştır. Testler Şekil 7.18.'de görülen İnstron marka çentik darbe cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.15. Çentik darbe deney numunesi boyutları.



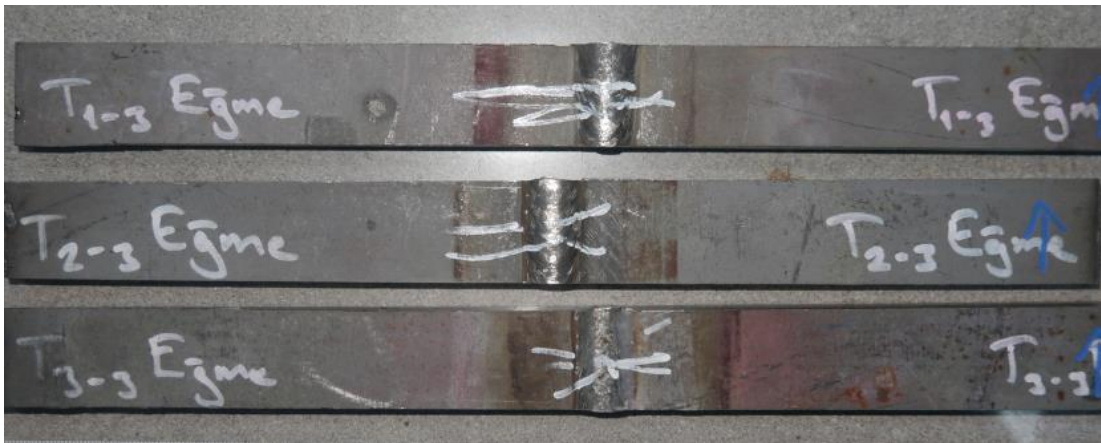
Şekil 7.16. Çentik darbe test numunesi.



Şekil 7.17. Çentik darbe test cihazı.

7.4.3. Eğme testi

Eğme test numuneleri standartlar dahilinde hazırlanmış olup her deney parçasından birer adet yapılmıştır. Şekil 7.19.'da gösterilen eğme testi numunelerinin kaynak kepleri malzeme ile aynı kalınlığa düşürüldükten sonra testler yapılmıştır.



Şekil 7.18. Eğme testi numuneleri.

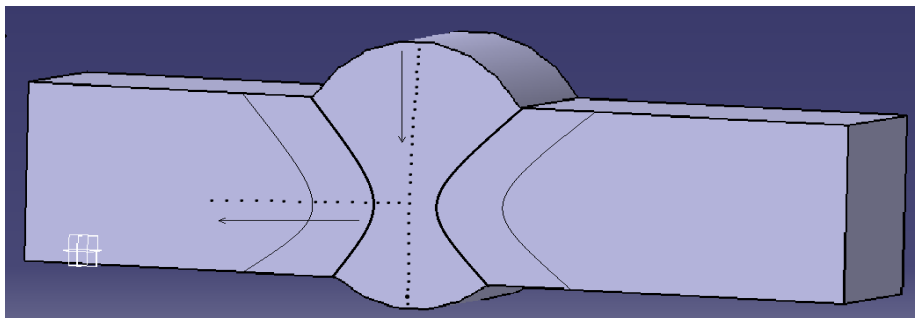
Testler Şekil 7.20.'de görülen Losenhausewerk çekme testi cihazında mesnetler arası 120 mm açıklık verilerek yapılmıştır.



Şekil 7.19. Eğme testi cihazı.

7.4.4. Sertlik testi

Sertlik testleri Micro Vickers sertlik ölçme yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntemde yüzey parlatıldıktan sonra Şekil 7.21.'de gösterildiği gibi kaynak üst keşinden alt keşine doğru 0,4 mm aralıklarla 30 adet, kaynak kökünün merkezinden ana malzemeye doğru 75 mm uzaklığa kadar 135 adet sertlik değeri alınmıştır.



Şekil 7.20. Sertlik testi numune görseli.

Sertlik ölçme deneyi Şekil 7.22.'de gösterilen Wilson Hardness marka Micro-Vickers sertlik ölçme cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.21. Sertlik testi cihazı.

7.5. Makro/Mikro Yapı Testi

Deney numuneleri EN 1321'e göre hazırlanmıştır. Numunelerde incelemek olan yüzeyler sırasıyla 60-120-180-400-600-800-1200-2000 numaralı zımparalarla zımparalanmış ve 6 μ , 3 μ , 1 μ ' luk keçelerle çizik kalmayacak şekilde parlatılmıştır. Parlatma işlemi tamamlanan numuneler, birleşim bölgesinin incelenebilmesi amacıyla 10 ml HNO₃ ve 30 ml HCL çözeltisi dağlanmıştır. Makro inceleme için yüzey zımparalama ve parlatma işlemlerinde Bulupol-1 marka cihaz kullanılmıştır. Optik mikroskop olarak Zeiss Scope A1 marka cihaz kullanılmıştır. Şekil 7.22.'de yüzey işlemleri cihazı ve Şekil 7.23.'te Optik mikroskop cihazı gösterilmektedir.



Şekil 7.22. Yüzey işlemleri cihazı.



Şekil 7.23. Optik mikroskop [6].

7.6. Kalıntı Gerilimi İnceleme

Kalıntı gerilimi ölçümü kaynak öncesi ana malzemeden, kaynak sonrası ana malzemeden ve çentik açılmış numuneden Şekil 7.24.'te gösterilen PUSTEC u-X360s marka Xray cihazında yapılmıştır.



Şekil 7.24. PUSTEC u-X360s kalıntı gerilim ölçüm cihazı.

BÖLÜM 8. DENEYSEL SONUÇLAR

8.1. Tahribatsız Muayene Sonuçları

Farklı kaynak parametrelerinde kaynaklı imalatı yapılan T1, T2, T3 nolu parçalarda, yapmış olduğumuz muayenelere ait fotoğraflar bir önceki bölümde gösterilmiştir. Bu muayeneler sonucunda yüzeysel veya hacimsel herhangi bir süreksizliğe rastlanmamıştır ve aynı zamanda birleştirmelerde tam nüfuziyetin sağlandığı görülmektedir.

8.2. Tahribatlı Muayene Sonuçları

8.2.1. Çekme testi sonuçları

Çekme testi yapılan parçaların hepsinde kopma kaynak metali bölgesinde meydana gelmiştir. Yapmış olduğumuz test parçalarında dolgu metalinin mekanik özelliklerin Armox 500t zırh malzemesinin mekanik özelliklerinden üstün olmadığı görülmüştür. Çekme testi sonucunda akma, çekme, kopma mukavemetleri ve yüzde uzama değerleri kaynak parametreleri seçiminde tercih yapmayı sağlayacaktır. Çekme testi sonuçlarına baktığımızda ortalama değer aldığımız zaman T1 795, T2 799, T3 903 N/mm² gibi değerler çıkmıştır. Bunun yanında akma mukavemeti ise tam tersi olarak T1 525, T2 427, T3 403 N/mm² değerleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre T3 numunesinde belirlenen kaynak parametrelerinin seçimi tercih edilebilirliği arttırmaktadır.

Çekme testi sonuçları Tablo 8.1'de , T1-1 ve T1-2 nolu numunelere ait çekme testi grafiği Şekil 8.1.'de, T2-1 ve T2-2 nolu numunelere ait çekme testi grafiği Şekil

8.2.'de, T3-1 ve T3-2 nolu numunelere ait çekme testi grafiği Şekil 8.3.'te, çekme testi sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 8.4.'te, çekme testi sonrası Parçaların gösterimi Şekil 8.5.'te, Çekme testi sonrası T1-1 ve T1-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi Şekil 8.6.'da, Çekme testi sonrası T2-1 ve T2-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi Şekil 8.7.'de, Çekme testi sonrası T3-1 ve T3-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi Şekil 8.8. ve numunelere ait ortalama değerler Şekil 8.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 8.1. Çekme testi sonuçları.

Test Numunesi		Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Uzama (%)
T1	1	787,134	462,354	3,742
	2	803,074	588,051	3,644
T2	1	794,687	434,275	8,464
	2	803,733	420,449	8,098
T3	1	903,159	416,004	10,345
	2	903,943	391,964	9,062



MEKANİK TEST LABORATUVARI ÇEKME TEST RAPORU

STANDART

TS EN ISO 6892-1

NUMUNE KODU

ARMOX 500T 1

OPERATÖR SICIL NO

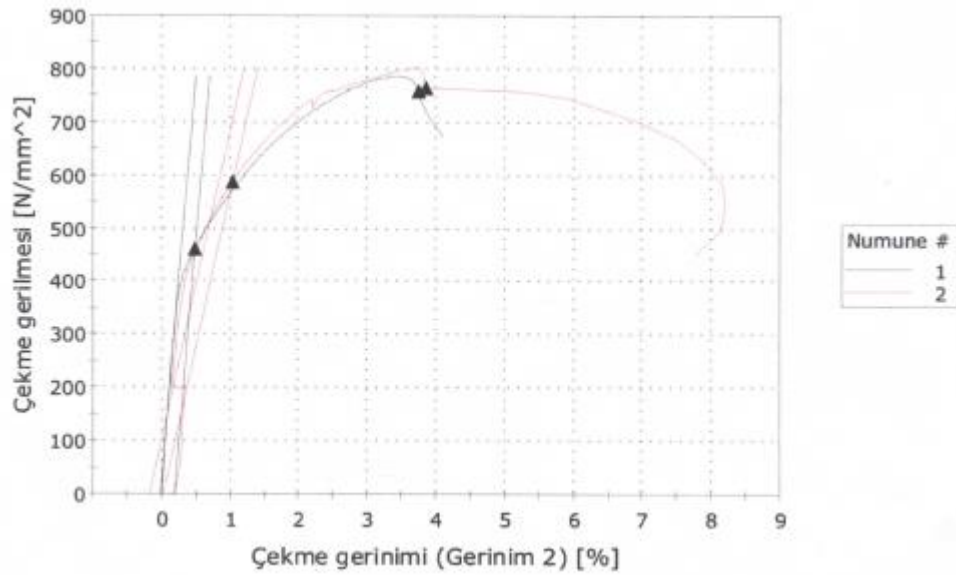
AHMET ÖRENLER

NUMUNE TANIMI

ARMOX 500T 1

Grafik 1

Numune 1 ile 2 arası

**Sonuç tablosu 1**

	Akma Gerilmesi [N/mm ²]	Çekme Gerilmesi [N/mm ²]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum Yük [N]
1	462,35421	787,13458	3,74222	83.888,86719
2	588,05130	803,07495	3,64415	85.587,71094

Şekil 8.1. T1-1 ve T1-2 nolu numunelerin çekme testi grafiği.



MEKANİK TEST LABORATUVARI ÇEKME TEST RAPORU

STANDART

TS EN ISO 6892-1

NUMUNE KODU

ARMOX 500T 2

OPERATÖR SICIL NO

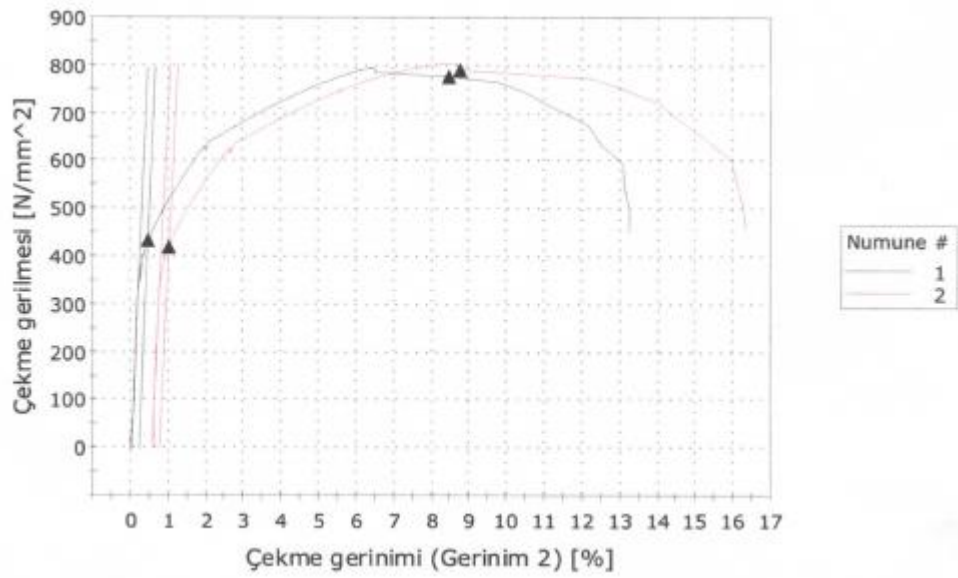
AHMET ÖRENLER

NUMUNE TANIMI

ARMOX 500T 2

Grafik 1

Numune 1 ile 2 arası

**Sonuç tablosu 1**

	Akma Gerilmesi [N/mm ²]	Çekme Gerilmesi [N/mm ²]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum Yük [N]
1	434,27539	794,68768	8,46456	91.730,79688
2	420,44931	803,73346	8,09812	96.882,03125

Şekil 8.2. T2-1 ve T2-2 nolu numunelerin çekme testi grafiği.



MEKANİK TEST LABORATUVARI ÇEKME TEST RAPORU

STANDART

TS EN ISO 6892-1

NUMUNE KODU

ARMOX 500T 3

OPERATÖR SICIL NO

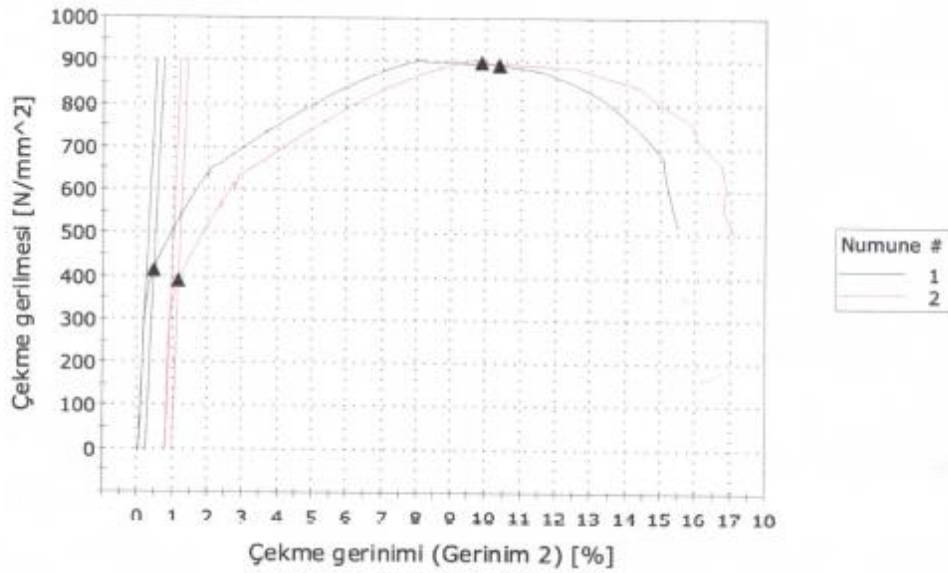
AHMET ÖRENLER

NUMUNE TANIMI

ARMOX 500T 3

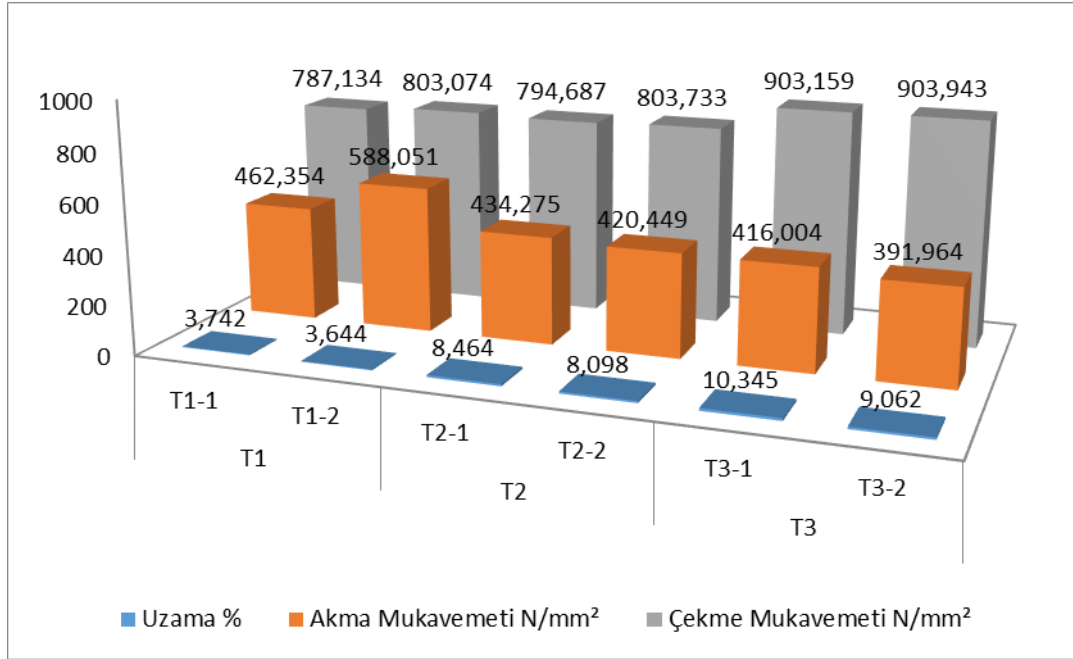
Grafik 1

Numune 1 ile 2 arası

**Sonuç tablosu 1**

	Akma Gerilmesi [N/mm ²]	Çekme Gerilmesi [N/mm ²]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum Yük [N]
1	416,00468	903,15985	10,34561	93.487,88281
2	391,96400	903,94354	9,06271	96.093,53906

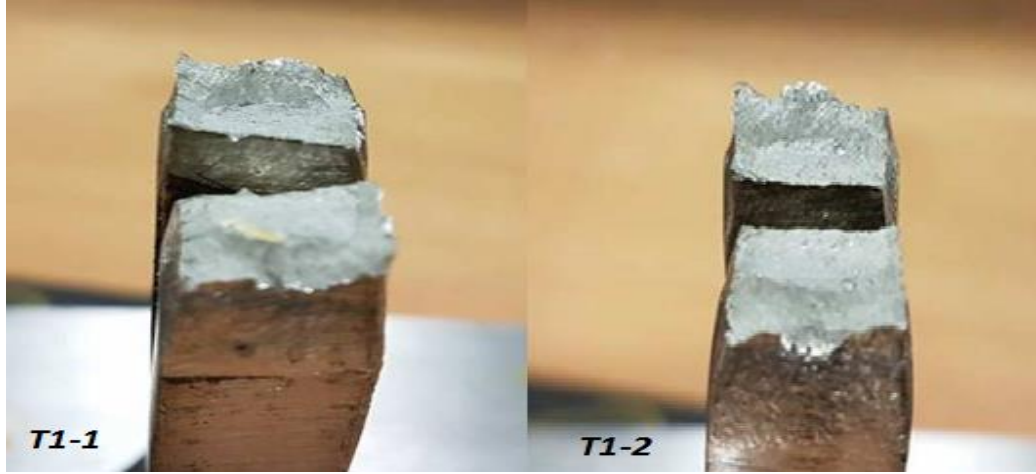
Şekil 8.3. T3-1 ve T3-2 nolu numunelerin çekme testi grafiği.



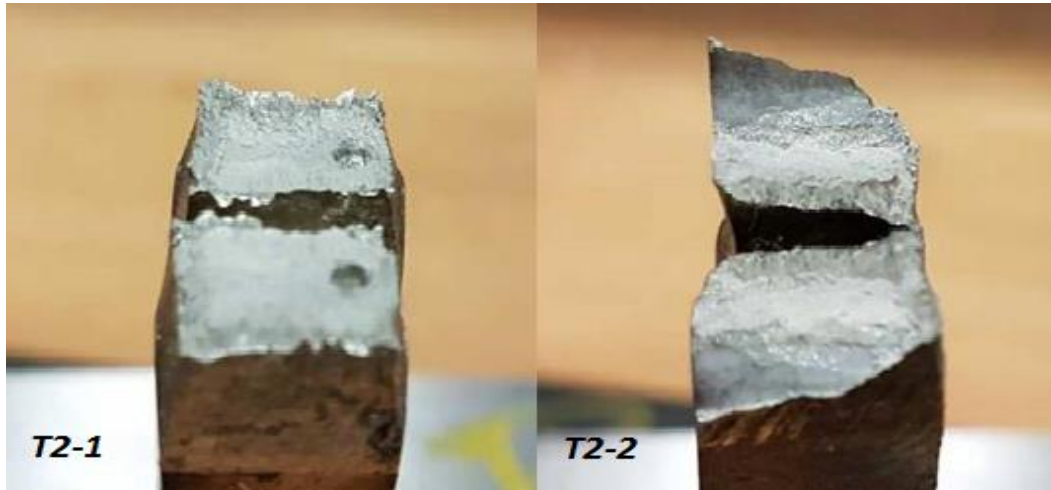
Şekil 8.4. Çekme testi sonuçlarının grafiksel gösterimi.



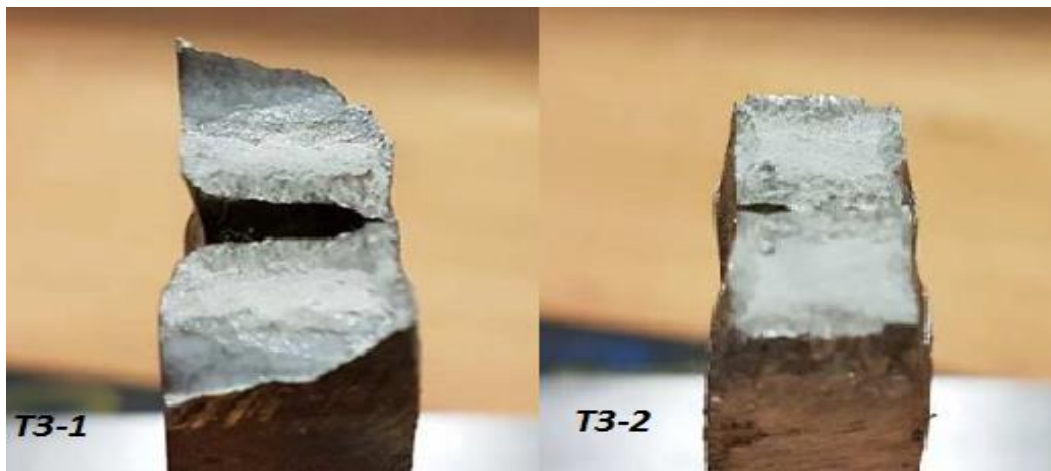
Şekil 8.5. Çekme testi sonrası numunelerin gösterimi.



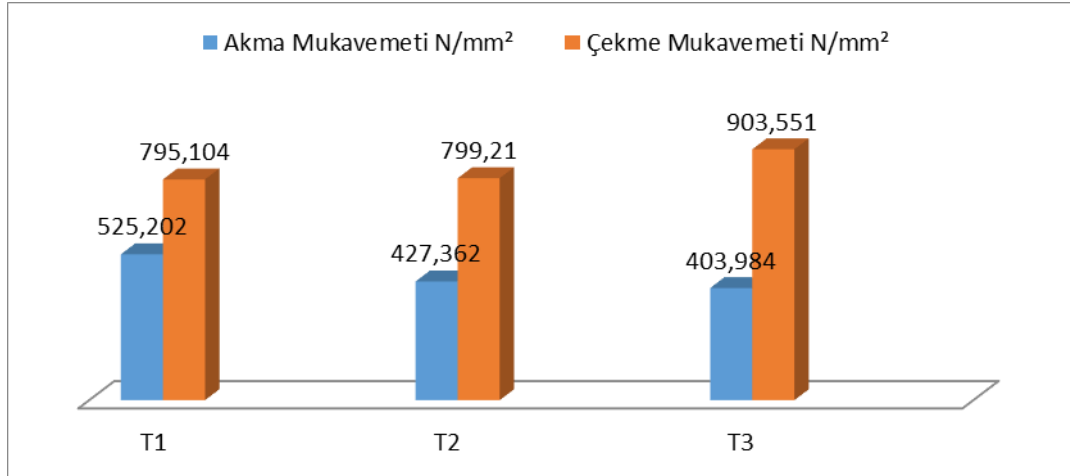
Şekil 8.6. Çekme testi sonrası T1-1 ve T1-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi.



Şekil 8.7. Çekme testi sonrası T2-1 ve T2-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi.



Şekil 8.8. Çekme testi sonrası T3-1 ve T3-2 nolu numunelerin kırılma yüzeyi gösterimi.



Şekil 8.9. Çekme testi sonuçları.

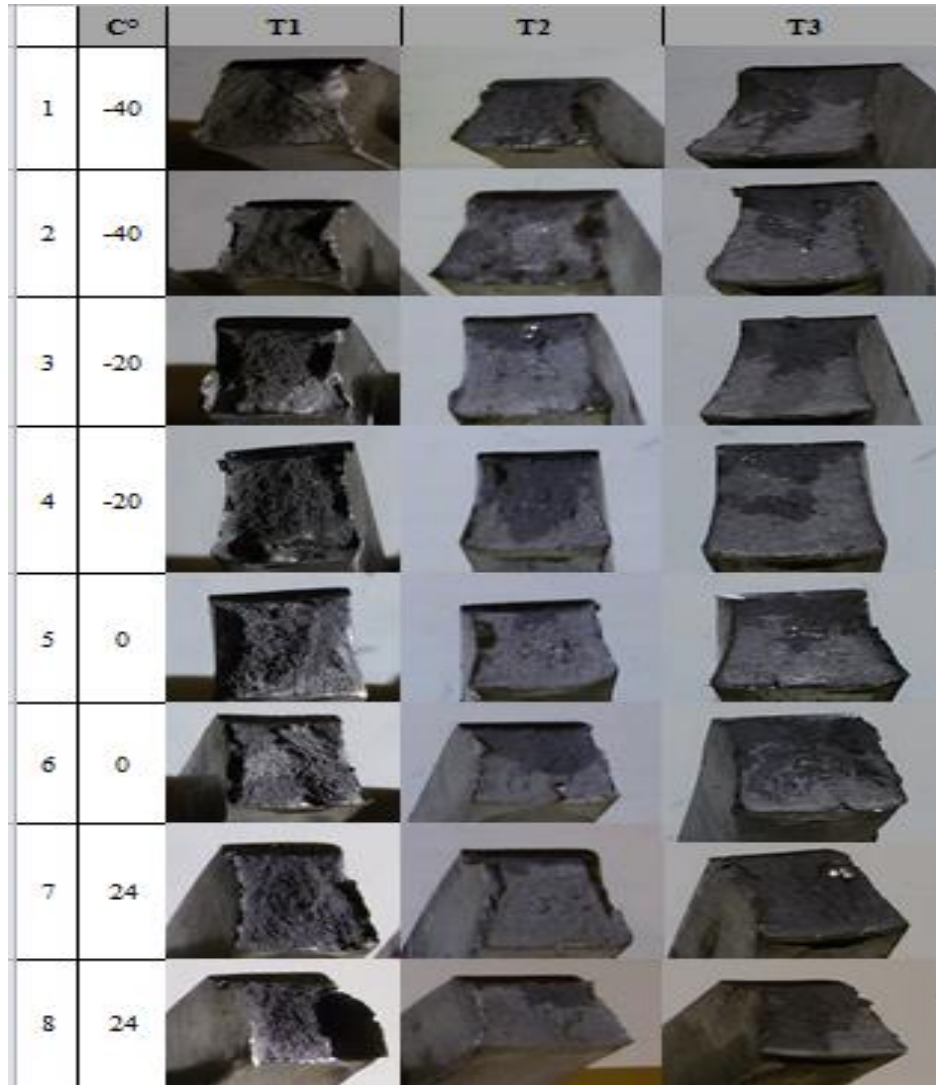
8.2.2. Çentik darbe testi sonuçları

T1, T2 ve T3 nolu parçalardan Şekil 7.17.'de gösterilen biçimde kaynak bölgesinden sekizer adet olmak üzere toplamda 24 adet V-çentik darbe numunesi alınıp testleri yapılmıştır. -40, -20, 0, ve +24 C° sıcaklıklarında, her sıcaklıkta ikişer adet olmak üzere test yapılmış ve test sonuçları Tablo 8.2.'te verilmiştir. Test sonuçları kabaca incelendiğinde T3 nolu kaynaklı numunenin darbe dayanımının daha iyi olduğu görülmektedir. Tek başına darbe dayanımı testine istinaden T3 nolu numunenin kaynak parametrelerini kullanmak asla doğru bir yaklaşım değildir. Yapılmış olan diğer test sonuçlarını da göz önünde bulundurmak daha sağlıklı olacaktır. Sıcaklık arttıkça darbe dayanımının tüm parçalarda yükseldiği tespit edilmiştir. Şekil 8.10.'daki kırılma yüzeylerini incelediğimizde eksi(-) sıcaklıklardaki test numunelerinin yüzeylerinin artı(+) sıcaklıklardaki test yüzeylerine göre daha gevrek bir kırılma gösterdikleri görülmektedir.

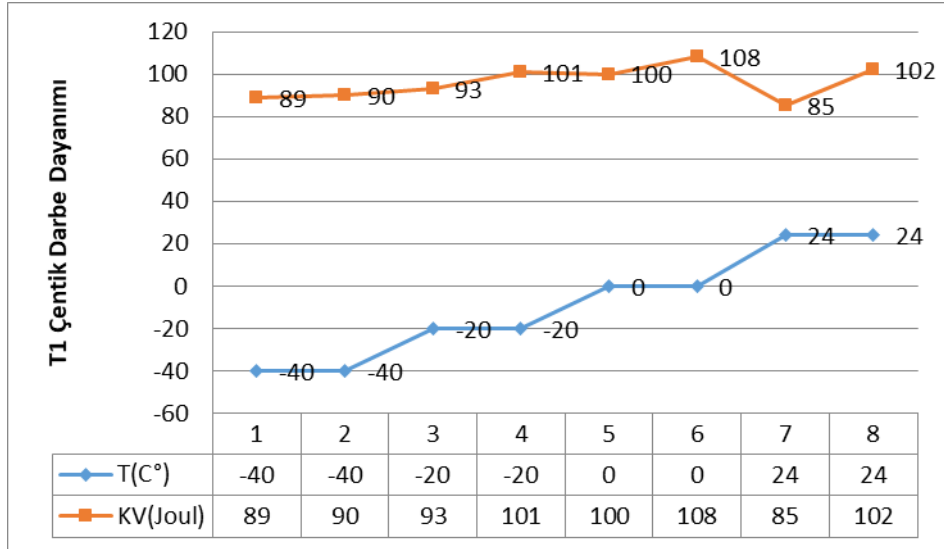
T1 nolu parçanın test sonuçlarının grafiksel görünümü Şekil 8.11.'de, T2 nolu parçanın test sonuçlarının grafiksel görünümü Şekil 8.12.'de, T3 nolu parçanın test sonuçlarının grafiksel görünümü Şekil 8.13.'te verilmiştir.

Tablo 8.2. Çentik darbe dayanımı test sonuçları.

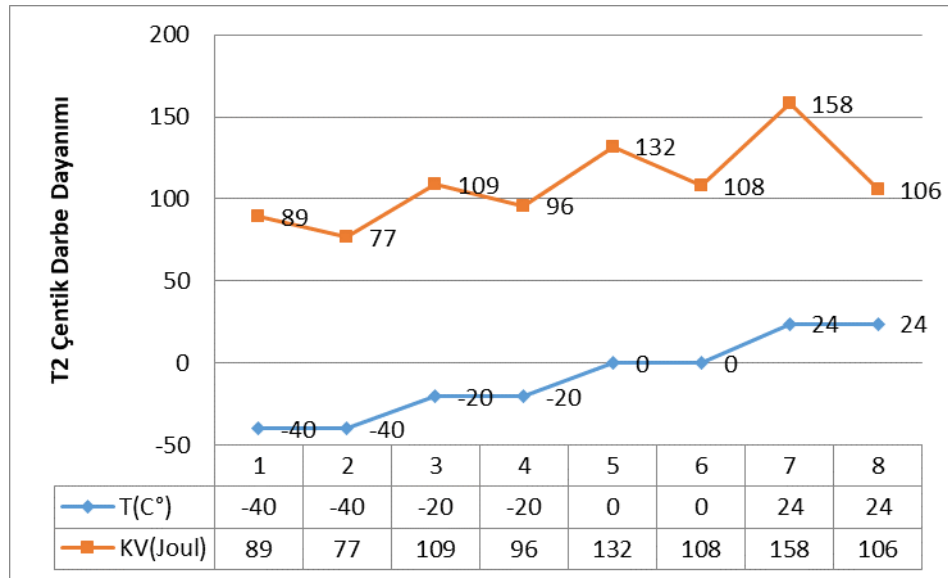
Parça No	T(C°)	T1 (J)	T2 (J)	T3 (J)
1	-40	89	89	77
2	-40	90	77	96
3	-20	93	109	134
4	-20	101	96	145
5	0	100	132	151
6	0	108	108	158
7	24	85	158	138
8	24	102	106	115



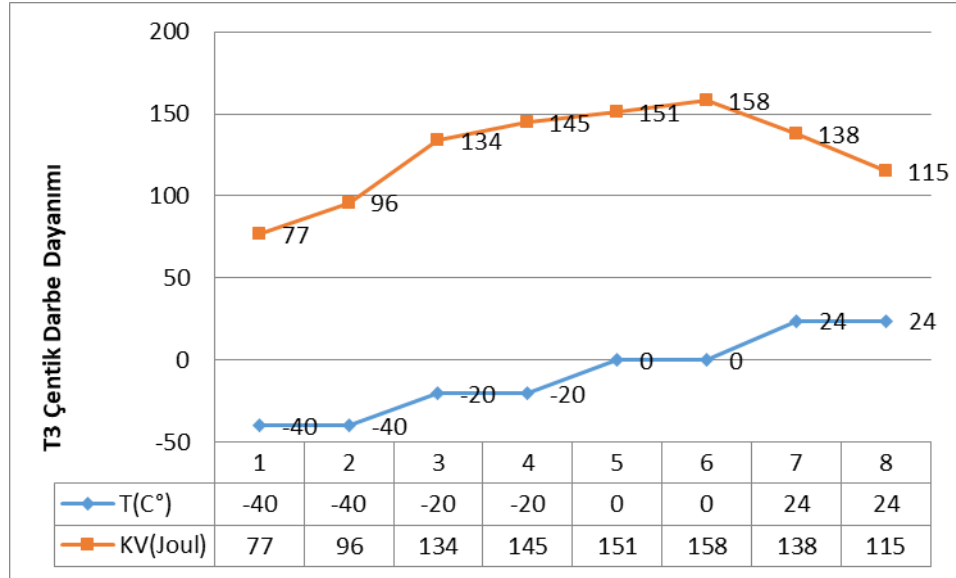
Şekil 8.10. Çentik darbe testi sonucu kırılma yüzeyleri.



Şekil 8.11. T1 Nolu Malzemenin Sıcaklıklara göre kırılma grafiği.



Şekil 8.12. T2 Nolu Malzemenin Sıcaklıklara göre kırılma grafiği.



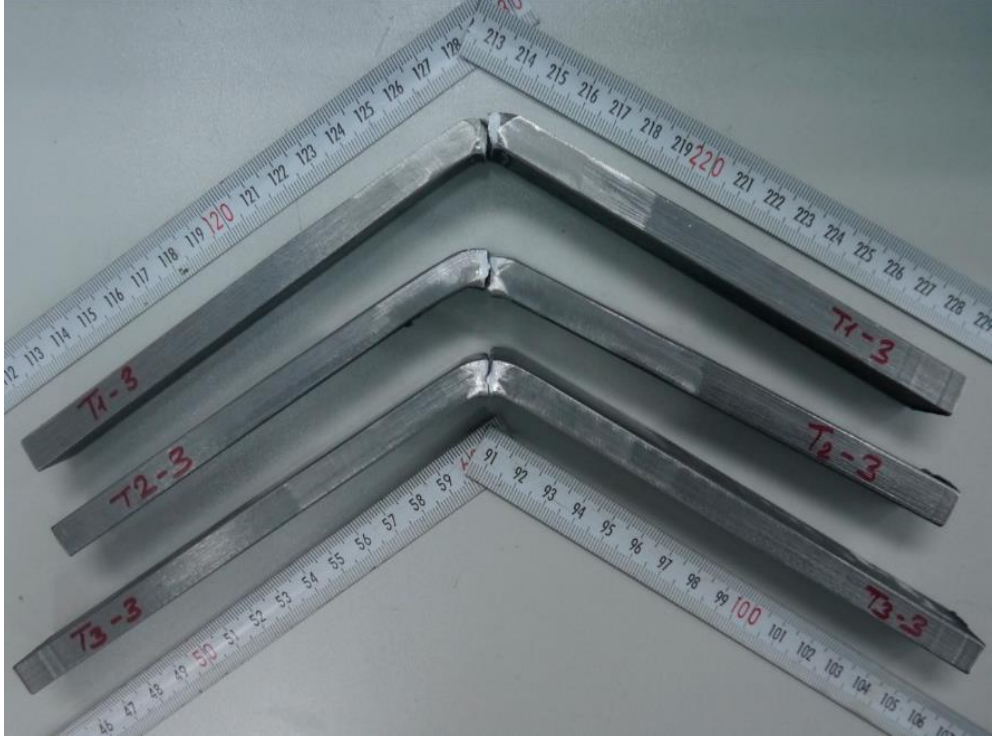
Şekil 8.13. T3 Nolu malzemenin sıcaklıklara göre kırılma grafiği.

8.2.3. Eğme testi sonuçları

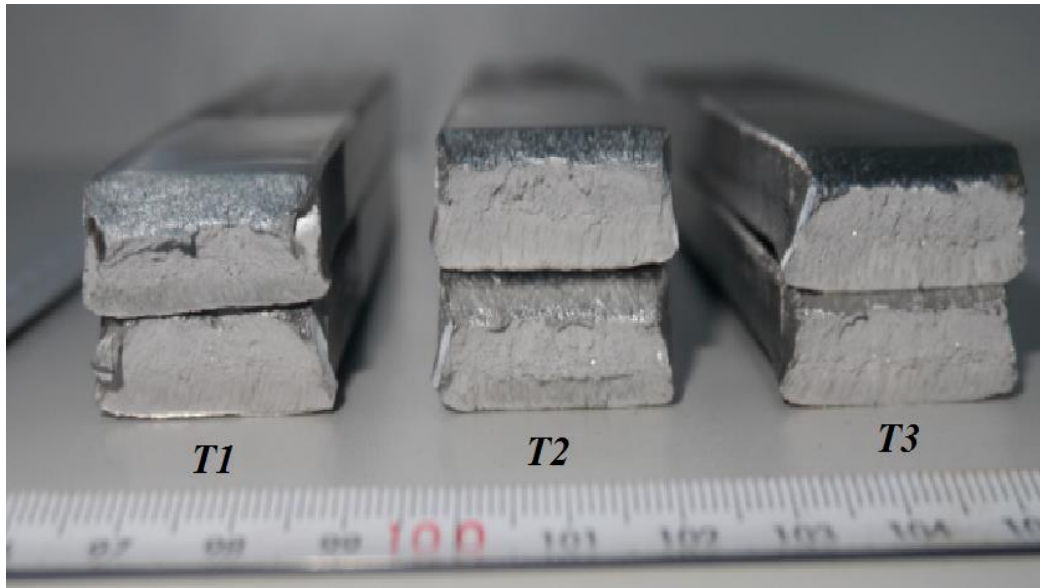
T1, T2 ve T3 nolu numunelerden kaynak bölgesi merkezde kalacak şekilde 1 er adet eğme deneyi numunesi alınıp testler Tablo 8.3.’teki gibi sonuçlanmıştır. Yapılan bu teste göre T1 numunesi 65°, T2 numunesi 69° ve T3 numunesi ise 60° ‘ tam olarak kırılmıştır. Yaptığımız bu teste göre en sünek malzeme T3 ve en Kırılğan olan parça T1 olduğu görülmüştür. Eğme testlerinin sonuçları Taplo 8.3.’ te, Test parçalarına ait açılı kırılma görüntüsü Şekil 8.14.’te, Test parçalarına airt kırılma yüzeylerinin görüntüsüde Şekil 8.15’te verilmiştir.

Tablo 8.3. Eğme testi sonuçları.

Numune Adı	T (mm)	Q (mm)	Mesnetler arası (mm)	Kırılma Açısı
T1	9,25	90	120	65°
T2	9,25	90	120	69°
T3	9,25	90	120	60°



Şekil 8.14. Test parçalarının kırılmış açılı görüntüleri.



Şekil 8.15. Eğme testi numuneleri kırılma yüzeyi görüntüleri.

8.2.4. Sertlik testi sonuçları

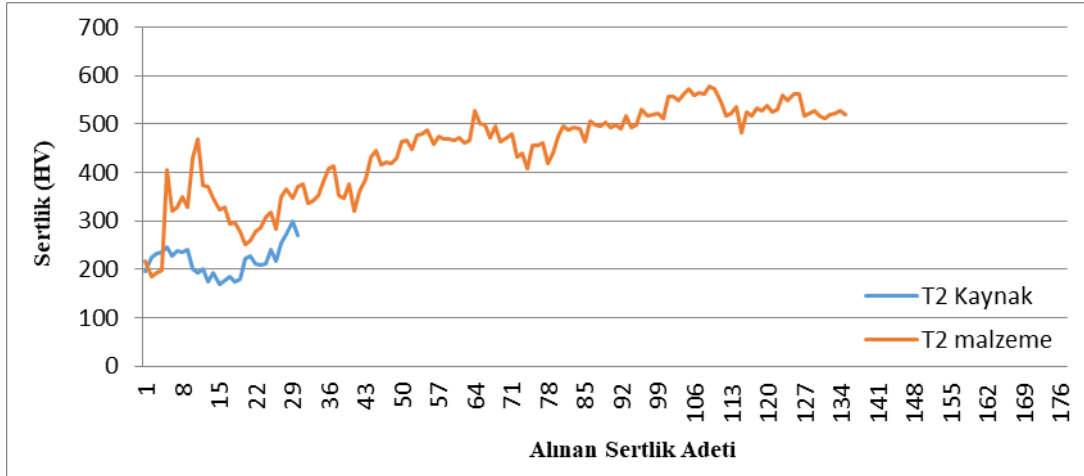
Sertlik testleri Micro-Vickers sertlik ölçme cihazında 100 gram / 10 saniye yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.21.'de gösterildiği gibi, kaynak üst kependen

alt kepine doğru 0,4 mm aralıklarla 30 adet, kaynak kökünden ana malzemeye doğru 0,6 mm aralıklarla 135 adet sertlik alınmıştır. Sertlik değerlerine göz attığımızda kaynak metalinde sertlik değerleri haz bölgesine gidildikçe azalmakta daha sonar ana malzemeye doğru gidildikçe sertlik artışı devam etmektedir. Bu artış kaynak kökünden 75 mm uzaklığa ulaşınca değerlerdeki artış durmuş ve beklentimiz yönünde aynı sonuçlar çıkmaya devam etmiştir.

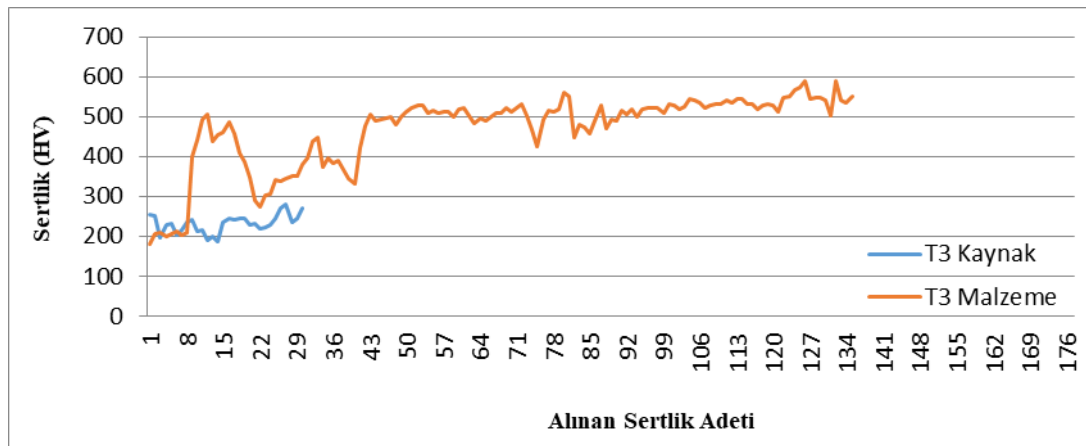
Test parçalarını sertlik değerlerine göre kıyaslayacak olursak T1 nolu malzemenin sertlik değerleri daha düşük amper değerlerinde birleştirildiği için daha yüksek çıkmıştır. Şekil 8.16.'da T1 nolu numuneye ait sertlik değerleri, Şekil 8.17.'de T2 nolu numuneye ait sertlik değerleri ve Şekil 8.18.'de T3 nolu numune sertlik değerleri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.16. T1 Nolu numune sertlik değerleri.



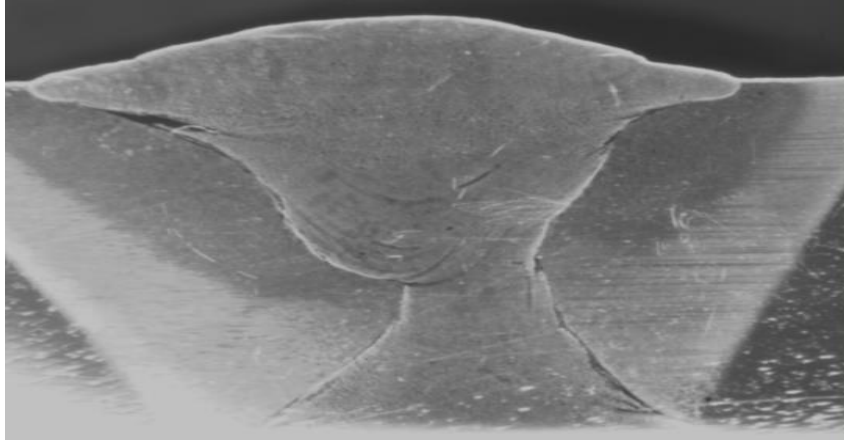
Şekil 8.17. T2 Nolu numune sertlik değerleri.



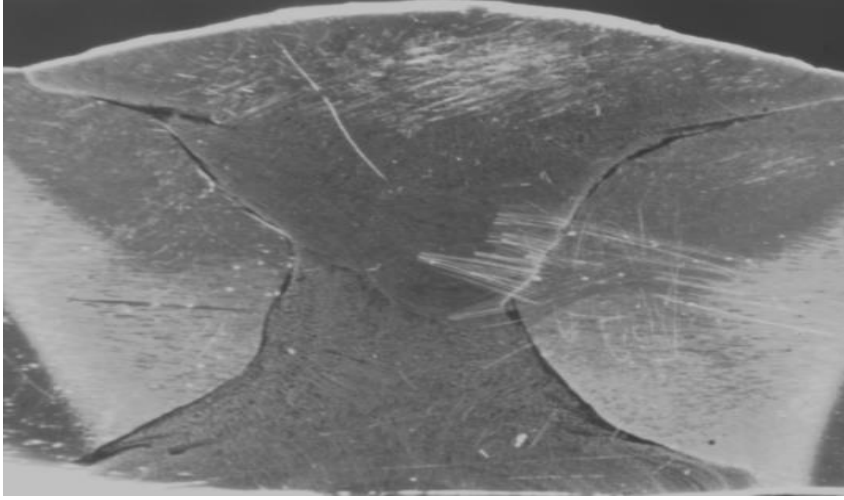
Şekil 8.18. T3 Nolu numune sertlik değerleri.

8.2.5. Makro/Mikro test sonuçları

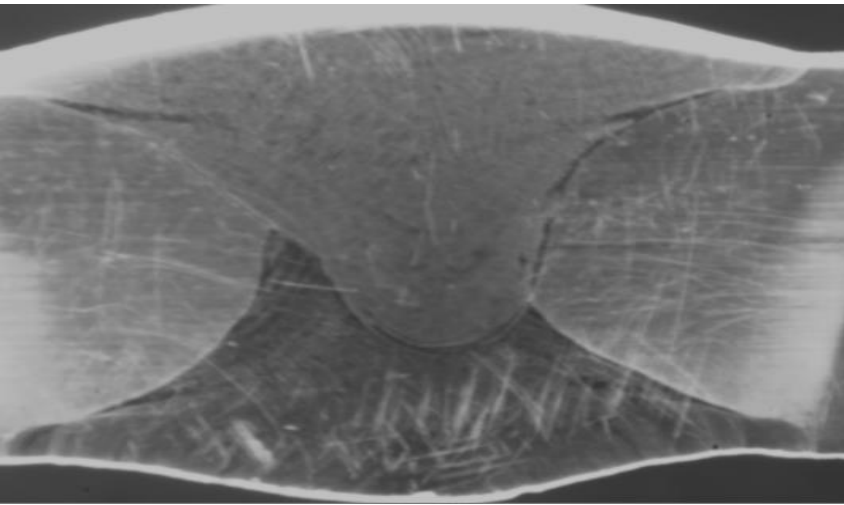
Deney numunelerinde incelecek olan yüzeyler sırasıyla 60-120-180-400-600-800-1200-2000 numaralı zımparalarla zımparalanmış ve 6 μ , 3 μ , 1 μ ' luk keçelerle çizik kalmayacak şekilde parlatılmıştır. Parlatma işlemi tamamlanan numuneler, birleşim bölgesinin incelenebilmesi amacıyla 10 ml HNO₃ ve 30 ml HCL çözeltisi dağlanmıştır. Dağlama sonrası T1, T2 ve T3 numunelerin makro görüntüleri Şekil 8.19., Şekil 8.20. ve Şekil 8.21.'de verilmiştir. Şekillerde numunelerin kök, üst ve alt kapak pasoları açıkça görülmektedir.



Şekil 8.19. T1 nolu numune makro görüntüsü.



Şekil 8.20. T2 nolu numune makro görüntüsü.



Şekil 8.21. T3 nolu numune makro görüntüsü.



Şekil 8.22. T1 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.23. T1 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



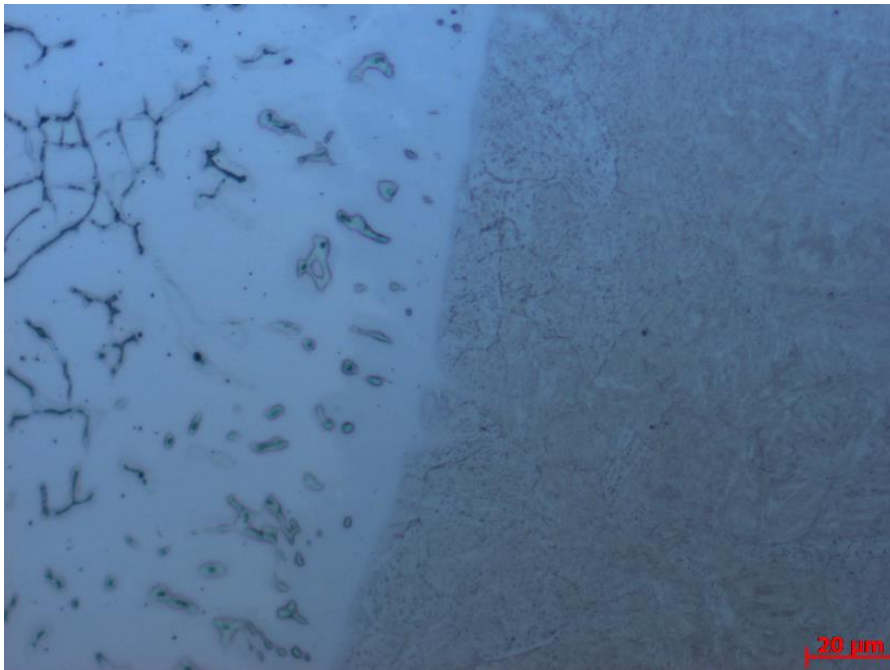
Şekil 8.24. T1 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



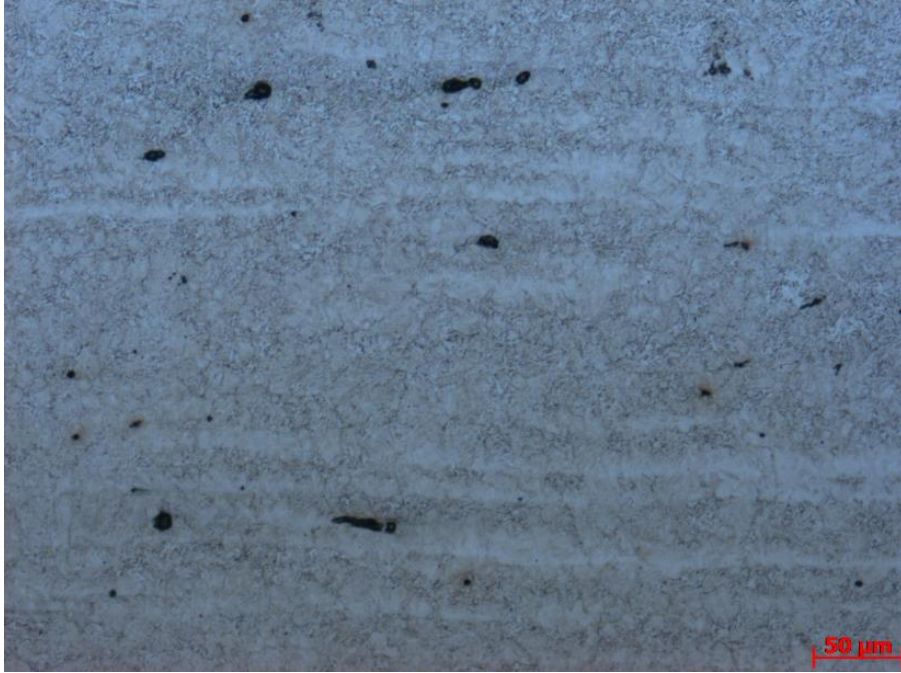
Şekil 8.25. T1 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



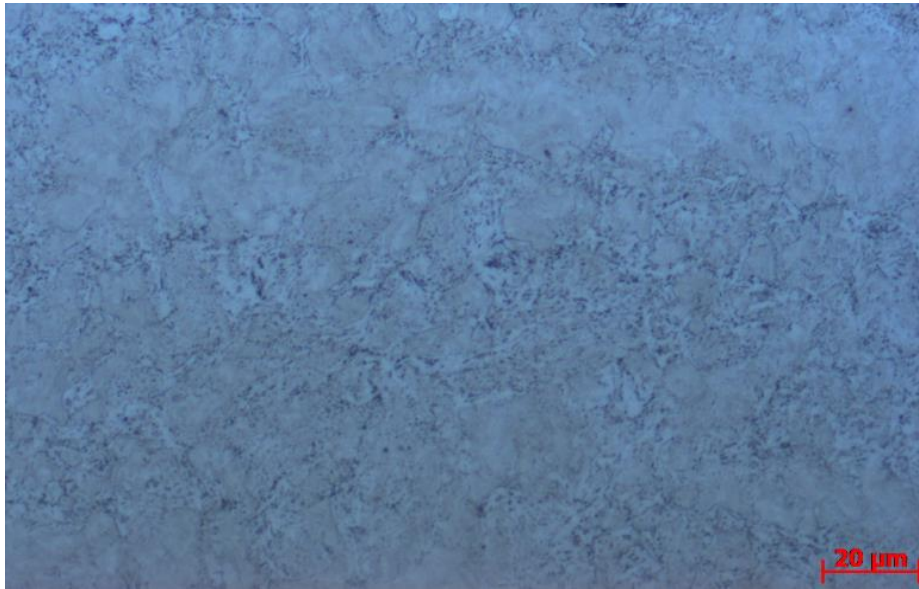
Şekil 8.26. T1 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



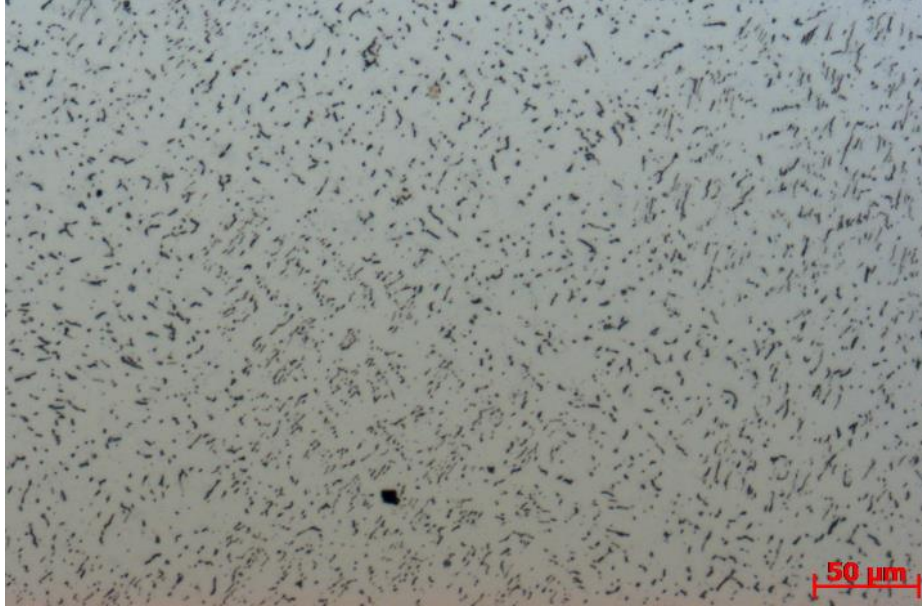
Şekil 8.27. T1 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



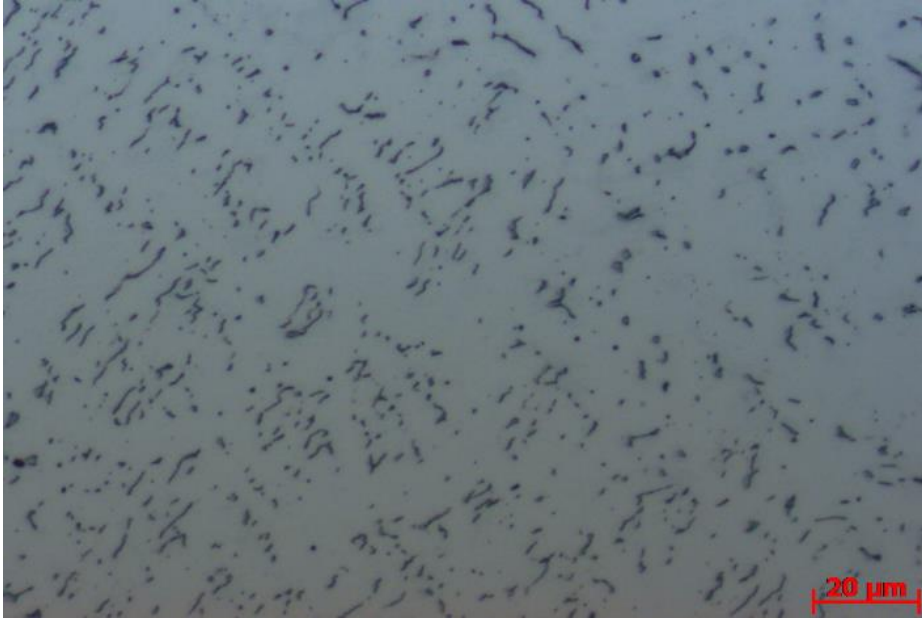
Şekil 8.28. T1 nolu numune orta haz bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



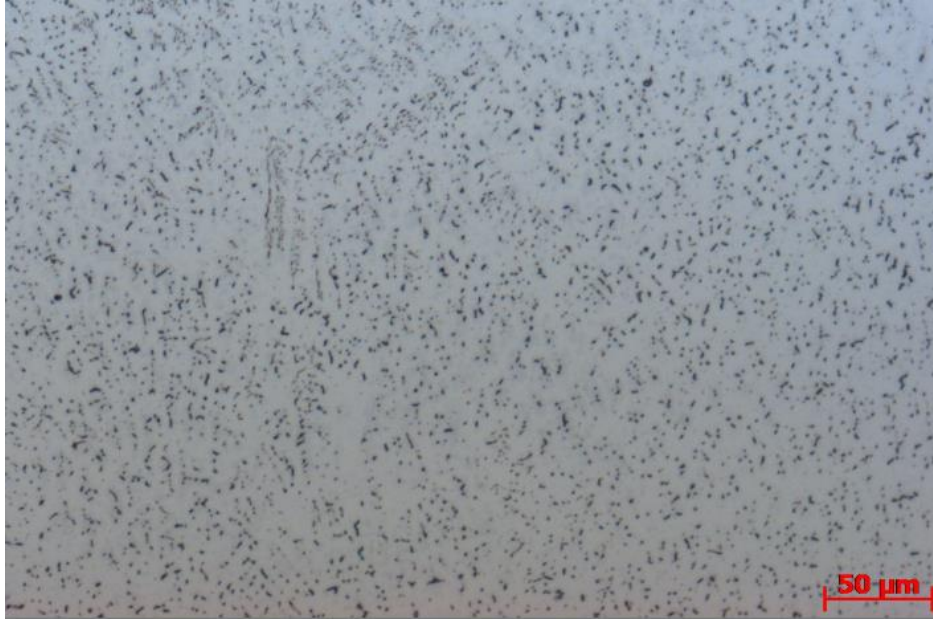
Şekil 8.29. T1 nolu numune orta haz bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



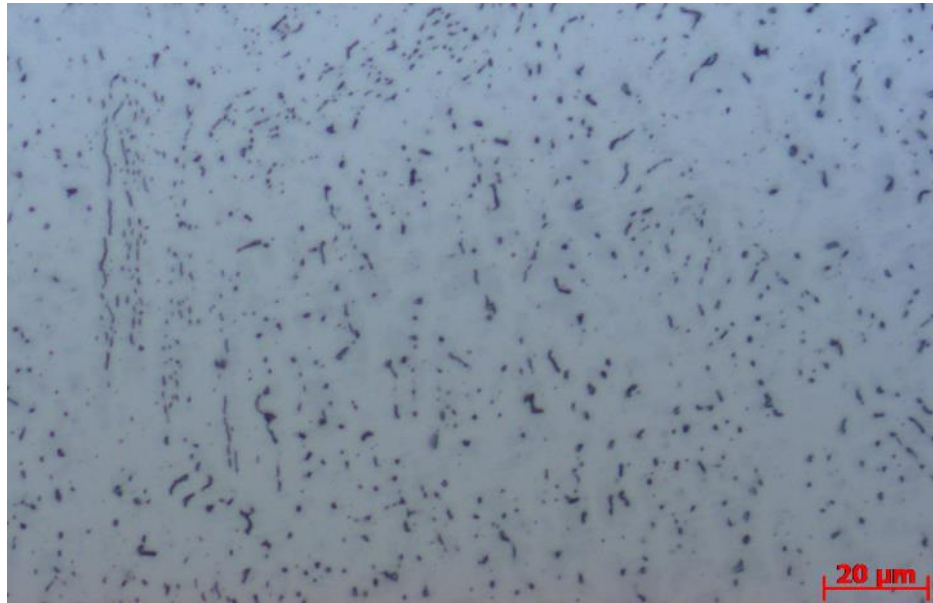
Şekil 8.30. T2 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.31. T2 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



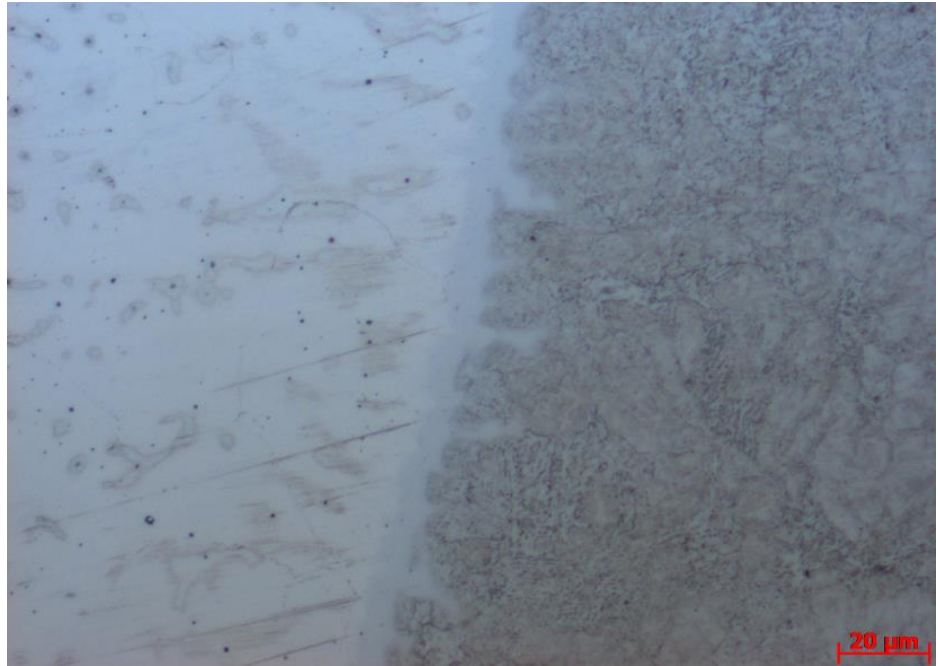
Şekil 8.32. T2 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.33. T2 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



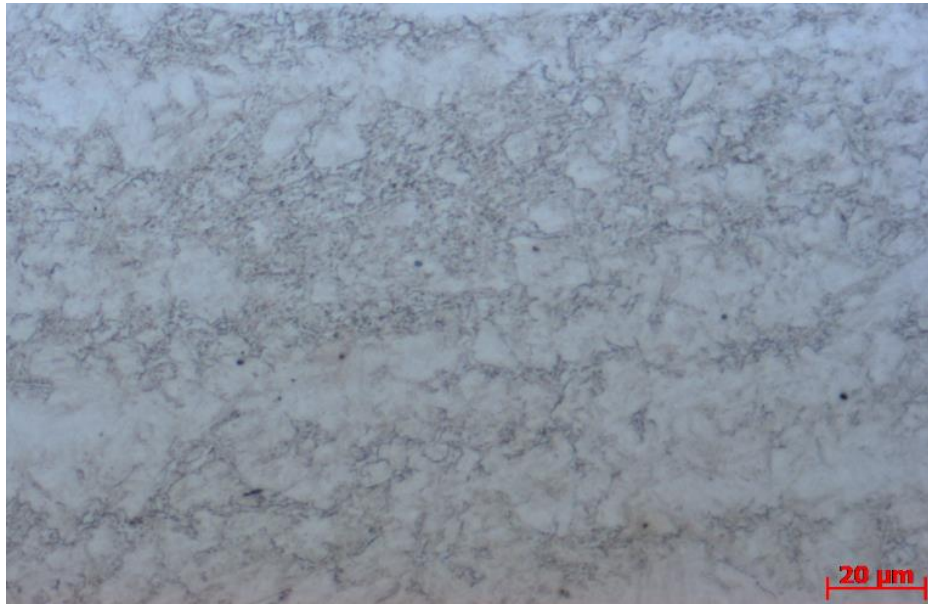
Şekil 8.34. T2 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.35. T2 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



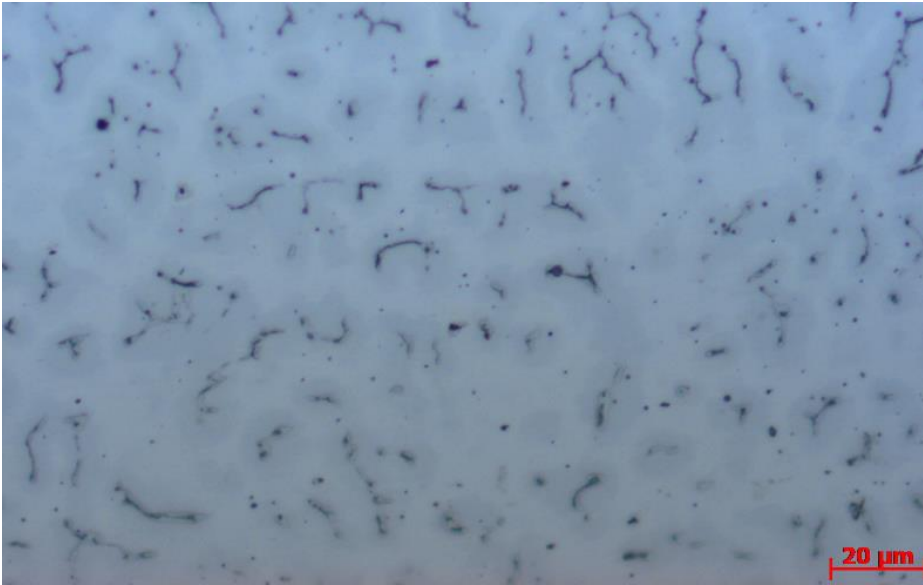
Şekil 8.36. T2 nolu numune orta haz bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.37. T2 nolu numune orta haz bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



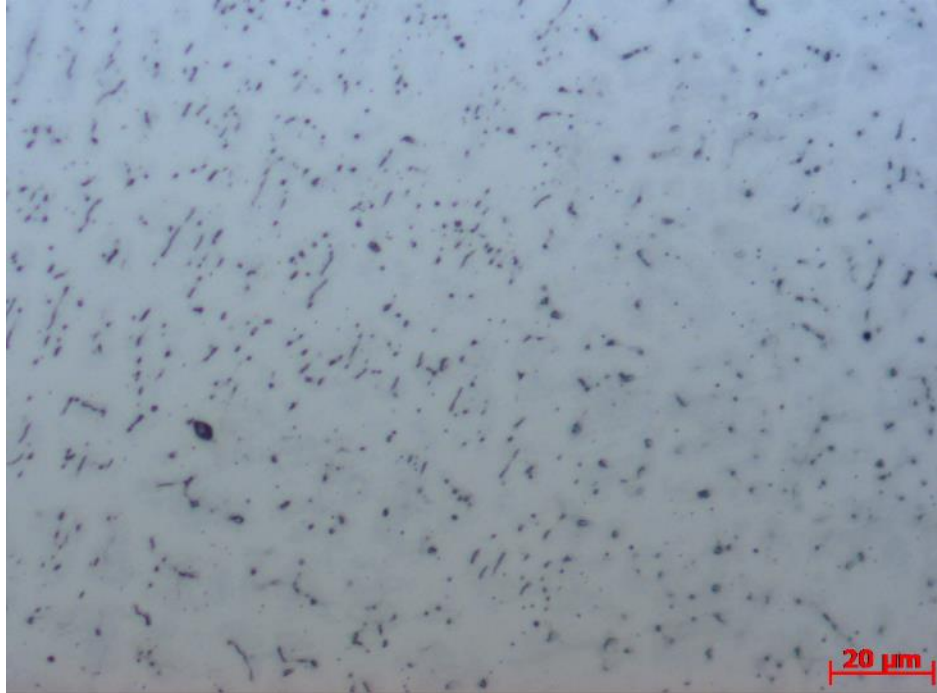
Şekil 8.38. T3 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



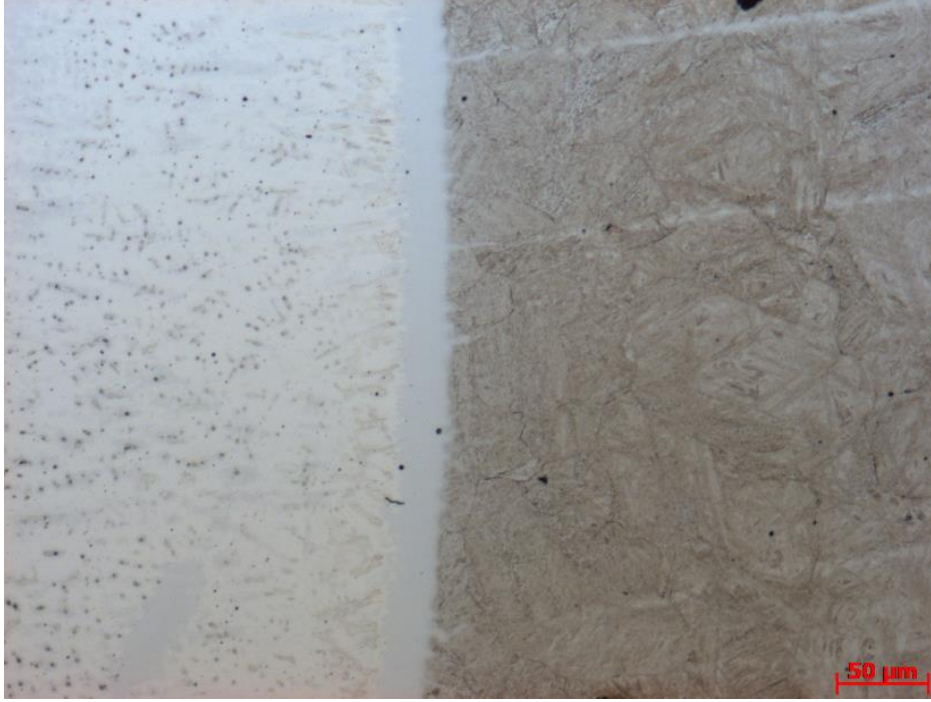
Şekil 8.39. T3 nolu numune kaynak metali kaynak kepi bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



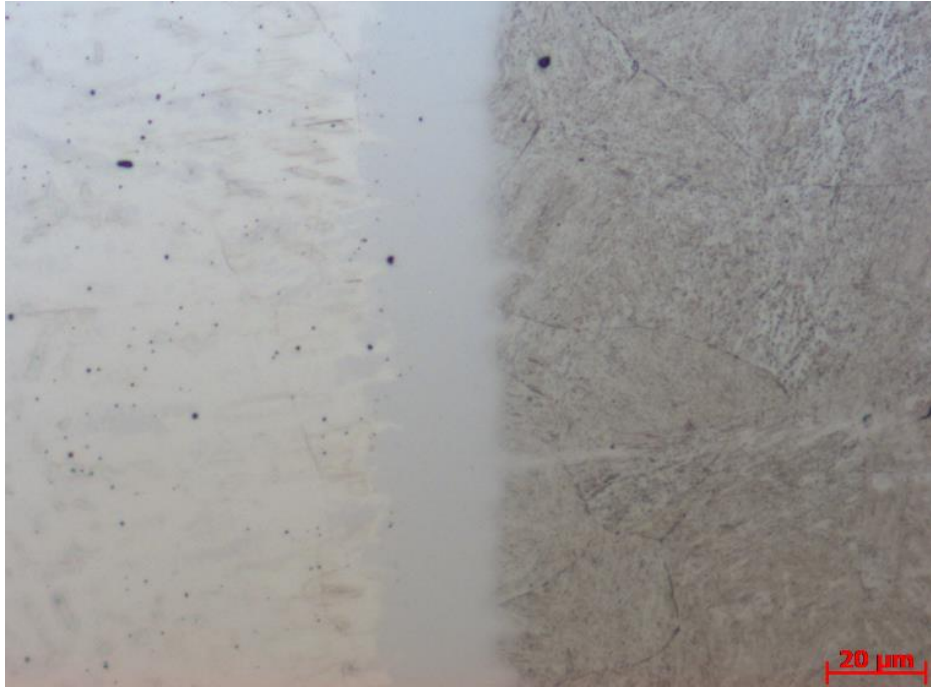
Şekil 8.40. T3 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.41. T3 nolu numune kaynak metali kaynak kökü orta bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.42. T3 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.43. T3 nolu numune kaynak orta kök-haz geçiş bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.44. T3 nolu numune orta haz bölgesi 200X mikroyapı görüntüsü.



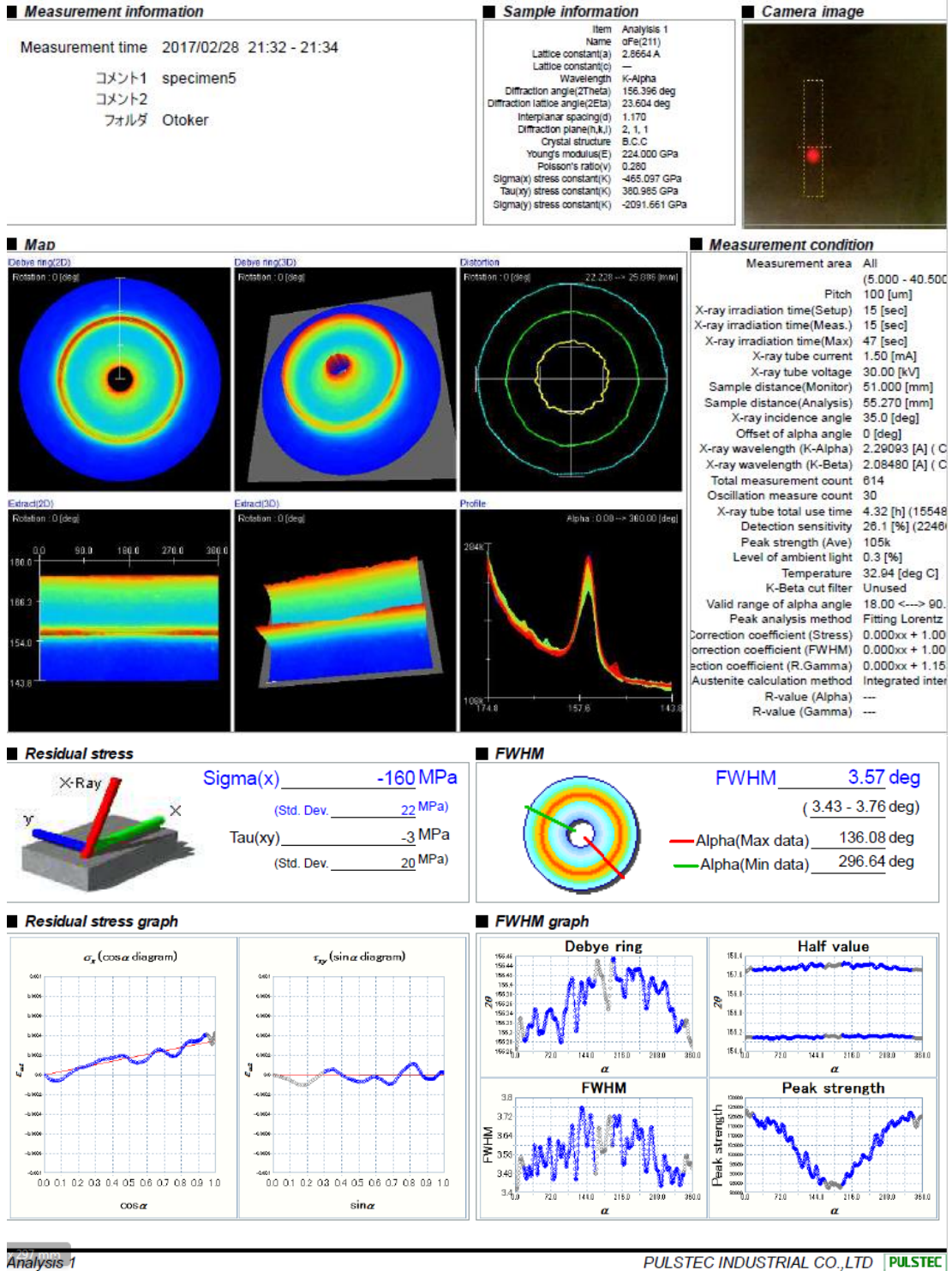
Şekil 8.45. T3 nolu numune orta haz bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.



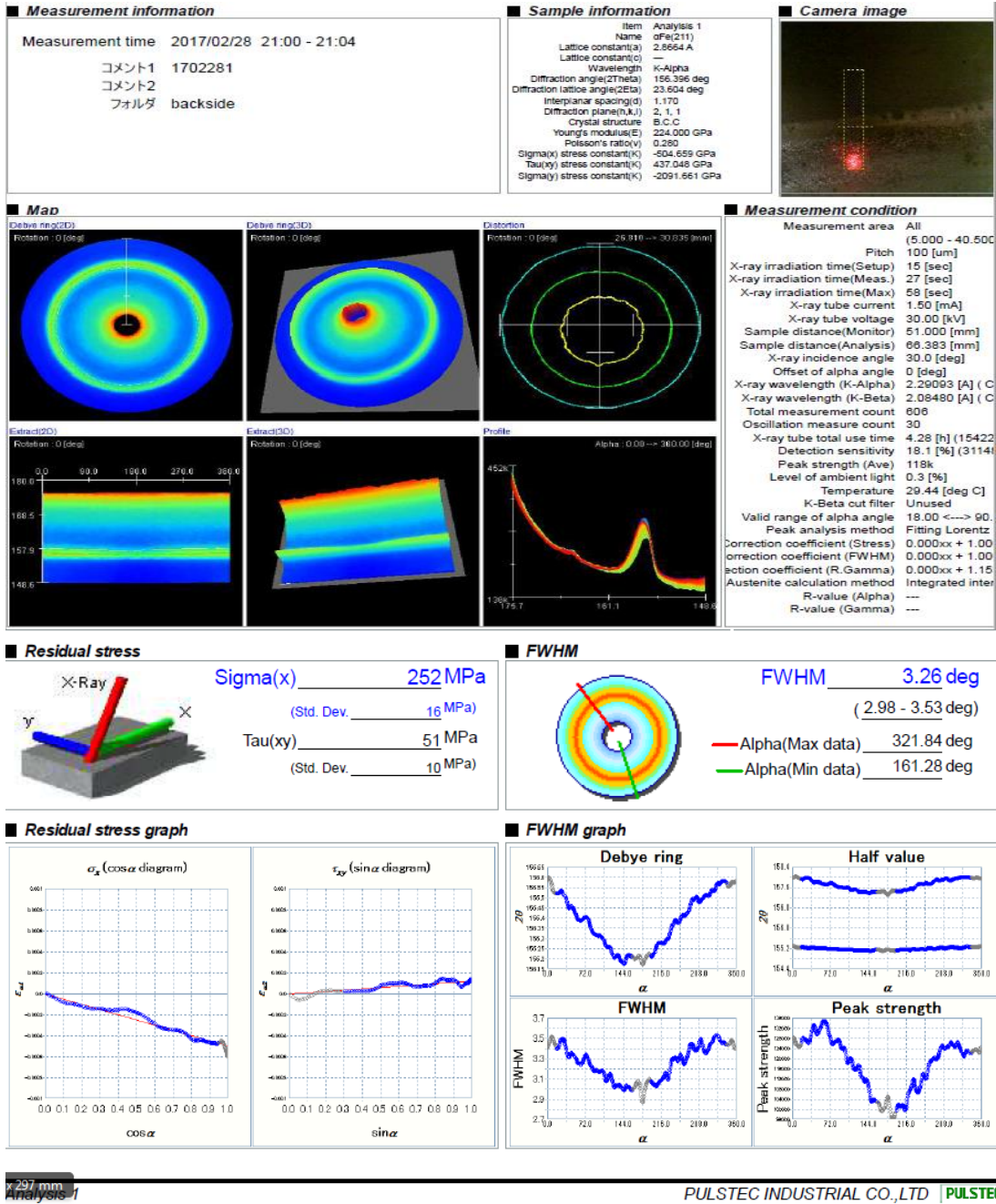
Şekil 8.46. T3 nolu numune malzeme orta bölgesi 500X mikroyapı görüntüsü.

8.2.6. Kalıntı gerilim incelemesi sonuçları

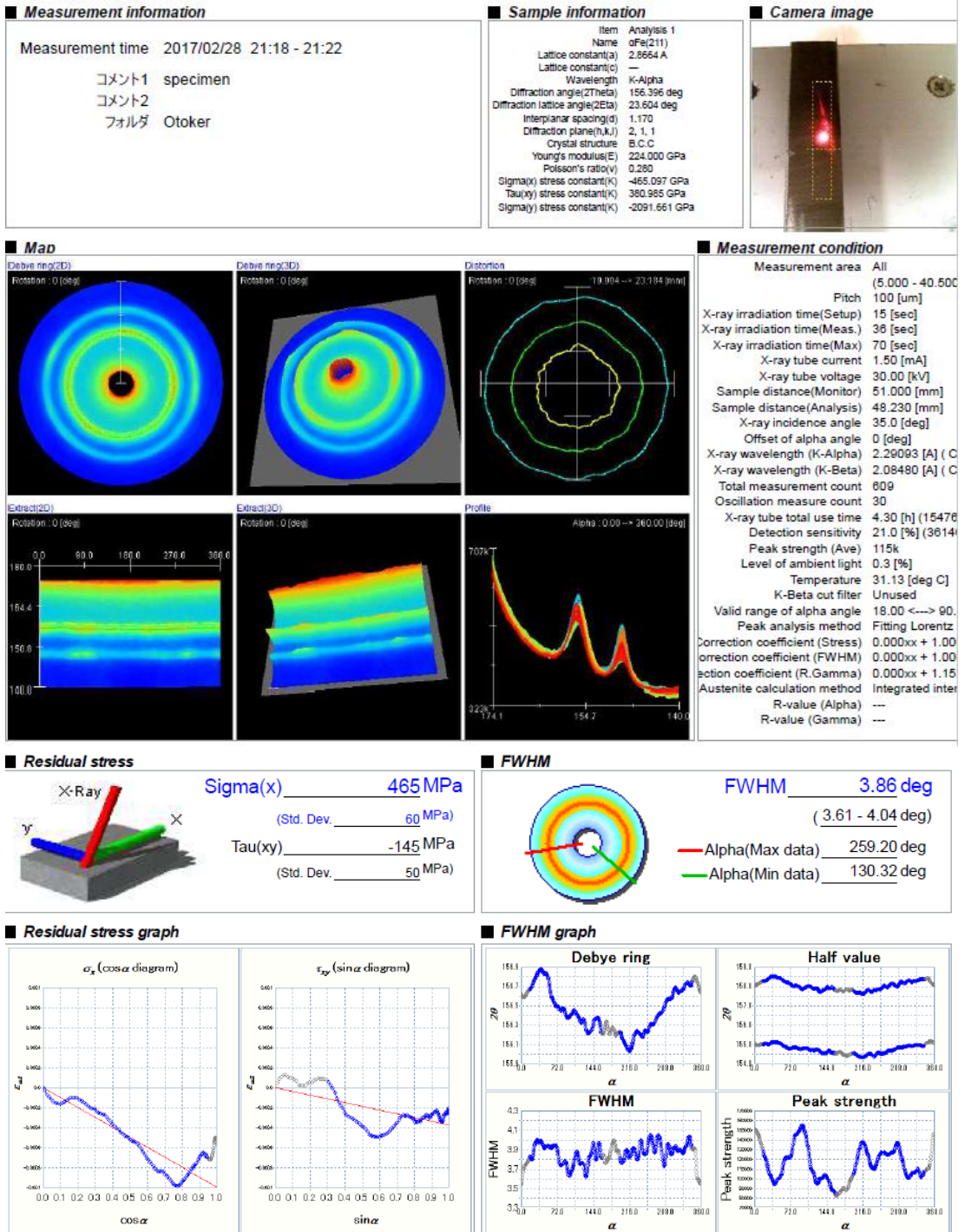
İmalatını yapmış olduğumuz malzemelerde kalıntı gerilimin hangi seviyede olduğunu tespit edebilmek için imalatın her aşamasında test yapılmıştır. Testler sonucunda anlaşıldığı üzere imalatı yapılan kaynaklı parçaya yapılmış olan her işlem sonunda kalıntı gerilim ölçümü yapılmış ve her ölçümde artış olduğu görülmüştür. PUSTEC u-X360s marka Xray cihazıyla kaynak öncesi lazer kesim dışında herhangi bir işlem görmemiş plakanın kalıntı gerilim ölçüm sonucu Şekil 8.47.'de, kaynaklı imalat sonrası plakadan alınan ölçüm sonucu Şekil 8.48.'de, Çentik darbe testi için hazırlanan numuneden alınan ölçüm sonucu Şekil 8.49.'da verilmiştir.



Şekil 8.47. Kaynak öncesi plaka kalıntı gerilim ölçüm sonucu.



Şekil 8.48. Kaynak sonrası plaka kalıntı gerilim ölçüm sonucu.



Şekil 8.49. Çentik darbe numunesi kalıntı gerilim ölçüm sonucu.

BÖLÜM 9. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapmış olduğumuz bu çalışmada Armox 500T zırh çeliğinin farklı kaynak parametrelerinde kaynak edilebilirliği ve kaynak sonrasında mekanik özellikleri ve meydana gelen faz değişimleri incelenmiştir. Yapılan testlerden sonra elde edilen sonuçlar ve yapmış olduğumuz öneriler benzer konularda araştırma yapacak olan araştırmacılar için yol gösterme açısından aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

9.1. Sonuçlar

Tüm parçalarına yapılan çekme testlerinde beklenildiği gibi kopma dolgu metalinden olmuştur. Bunun sebebi dolgu metalinin mekanik özelliklerinin ana metalden daha zayıf olmasıdır.

Çekme testi sonucunda parametreler yükseldikçe test parçalarında akma değerleri yükselmiş ve çekme değerlerinde düşüş görülmüştür.

Çentik darbe testleri sonucunda parametreler arttıkça sonuçlarda yükselme meydana gelmiştir.

Sertlik değerleri tüm parçalarda dolgu metali bölgesinde birbirine yakın ve ana malzemenin sertliğinden çok düşük değerlerdedir.

Isı tesiri altında kalan bölgede parametreler yükseldikçe sertlik değerlerinde artış olduğu ve ana malzemenin sertlik değerlerinin çok altında kaldığı görülmüştür.

Tüm parçalardan alınan sertlik değerlerinin toplamının alınan sertlik adedine bölümünde sertlik değerlerinin parametrenin artışıyla doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Tüm parçalara yapılan mikroyapı incelemelerinde kaynak bölgesindeki ergime hattı ve geçiş bölgeleri net bir şekilde gözlenmiştir. Bu geçişler daha fazla netleşmiştir. Ergime hattında ise küçük oranda delta-ferrit ve ağırlıklı östenitik yapı görülüyor. Kaynak metalinin yapısı incelendiğinde ise yine östenitik matriksin içinde yayılmış ve ergime hattına oranla daha belirgin delta-ferrit yapıları görülüyor.

Kalıntı gerilimi inceleme sonucunda kaynak sonrası büyük bir artış ve işleme sonrasında ise malzemedede aşırı derecede gerilim olduğu tespit edilmiştir.

9.2. Öneriler

- Yapmış olduğumuz bu çalışma farklı zırh malzemelerin üzerinde araştırılıp mekanik ve fiziksel özellikleri incelenebilir.
- Bizim çalıştığımız amper değerleri dışında farklı amper değerleri ve farklı malzeme kalınlıklarında türevi çalışmalar yapılabilir.
- İstenilen mekanik özelliklere göre Armox 500T zırh malzemesi için farklı koruyucu gaz kompozisyonları çalışılarak incelemek mümkündür.
- Yapmış olduğumuz bu çalışmada ön ısıtma uygulanmamıştır. Daha kalın malzemelerde ön ısıtma uygulanıp mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.
- Kaynak yöntemi değiştirilerek elektrik ark, TIG ve tozaltı kaynak yöntemleri ile çalışılarak mekanik özelliklere etkileri karşılaştırılabilir.
- Yapılan bu kaynaklı deney parçalarına EDS analizleri yapılarak kimyasal fazların kimyasal kompozisyonları araştırılabilir.
- Yapmış olduğumuz bu çalışmada elde edilen kaynaklı yapılarda askeri araçların kullanım şartlarına göre yorulma davranışları incelenebilir.
- Çekme ve darbe-çentik testi sonrası oluşan kırılma yüzeylerinin morfolojileri ve mikro analizleri araştırılabilir.
- Farklı dolgu metalleri kullanılarak mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.
- Daha farklı kaynak ağız şekilleri ve farklı kök aralık açıklıklarında çalışmalar yapıp mekanik özelliklere etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yumak N., Pekbey Y., Aslanta K., Zırh Tasarımında Kullanılan Kompozit malzemelerin Deformasyon Karakteristiğinin Araştırılması, 2014.
- [2] Savunma Bilimleri Dergisi The Journal of Defense Sciences Kasım/November 2012, Cilt/Volume 11, Sayı/Issue 2, 159-171.
- [3] Karagöz, Ş., Atapek, Ş. H., Yılmaz, A., Zırh Çeliklerinde Perforasyon ve Balistik Korumanın Anlaşılması Açısından Fraktografik Etüt, Metal Dünyası, 2008.
- [4] Manganello, S. J., Wilson, A.D., Direct Quenching and its Effectson High-Strength Armor Plate, Int. Symp. Low Carbon Steels for the 90's,Ed. R. Asfahani, G. Tither, The Minerals, Metals & Materials Society, 1993.
- [5] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Zırh>, Erişim Tarihi: 23.03.2017.
- [6] Yakut, V., Zırh Çeliklerinin Ferritik ve Östenitik Dolgu Malzemeleri ile Kaynağının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Sakarya 2015.
- [7] MIL-A-46100E, Armor Plate, Steel, Wrought, High-Hardness, U.S. Military Specification, 2008.
- [8] <http://www.ssab.com.tr/products/brands/armox/armox-500t#!accordion=downloads>., Erişim Tarihi: 06.12.2016.
- [9] TSE Tahribatsız Görsel Muayene Eğitim Notları, 2016.
- [10] www.tmmndt.com Erişim Tarihi: 04.01.2017.
- [11] TSE ISO EN 3452-1 (Tahribatsız Muayene- Penetrant Muayenesi- Bölüm 1 : Genel Kurallar).
- [12] Ark Kaynağı Burhan Oğuz, Oerlikon Yayını, 1989.
- [13] MEB, Uçaklarda Tahribatsız Muayene, 525 MT0004 2012.
- [14] TSE Tahribatsız Radyografik Muayene Eğitim Notları, 2016.
- [15] <http://www.gilardoni.it/pdf/mltf.pdf>., Erişim Tarihi: 18.02.2017.

- [16] <http://www.ugurndt.net/page/radyografik-kontrol-rt.html>., Erişim Tarihi: 10.03.2017.
- [17] <http://docplayer.biz.tr/11823474-Imal-usulleri-1-fatih-alibeyoglu-2.html>., Erişim Tarihi: 10.02.2017.
- [18] <https://enginacar.wordpress.com/tag/cekme-deneyi>., Erişim Tarihi: 18.12.2016.
- [19] <https://tr.scribd.com/document/77354149/Cekme-Deneyi> Erişim Tarihi: 18.12.2016.
- [20] Çiftçi M., Kayalarda Çentik Darbe Deneyinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi 2009.
- [21] <https://devotrans.com/centik-darbe-cihaz-ve-deneyi.html>., Erişim Tarihi: 09.03.2017.
- [22] Karadağ A., Alüminyum Alaşımlarının Tig kaynağında Kaynak Parametrelerinin Dikiş Geometrisine ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Sakarya Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [23] <http://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Informacion-general-acero>., Erişim Tarihi: 20.02.2017.
- [24] <http://muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wp-content/uploads/2013/09/lab2.pdf>., Erişim Tarihi: 09.01.2017.
- [25] <https://sayginer.com/files/public/archive/Nanoindentation-nano-iz.pdf>., Erişim Tarihi: 09.01.2017.
- [26] http://www.bulutmak.com/uploads/2/0/0/3/20037867/20121226__7267572284.pdf., Erişim Tarihi: 11.01.2017.
- [27] http://www2.cbu.edu.tr/muhendislik/malzeme/dersler/malzeme_lab/sertlik.pdf., Erişim Tarihi: 11.01.2017.
- [28] <http://bys.trakya.edu.tr/file/open/83587897>., Erişim Tarihi: 11.01.2017.
- [29] http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=hardness_test_methods., Erişim Tarihi: 11.01.2017.
- [30] <http://muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wpcontent/uploads/2013/09/Metalograf.pdf>., Erişim Tarihi: 11.01.2017.
- [31] <http://www.imkosan.com.tr/hizmetlerimiz/tahribatli-muayene-laboratuvari/makroskobik-muayene>., Erişim Tarihi: 12.01.2017.
- [32] Ersin R.C., Isı Girdisinin ve Kaynak Sonrası Gerilim Giderme Isıl İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2009.

- [33] Altınel M., Gemi Sacı Kaynaklı Bağlantılarında Kalıntı Gerilim Analizi Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi 2014.
- [34] Yelbay H.İ., Tahribatsız Yöntemlerle Kalıntı gerilim Ölçümündeki Gelişmeler ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araş./Uyg. Merkezi, Ankara.
- [35] Dilmeç M., Tabaka Kaldırma Yöntemi ile Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması Konya(Mühendis ve Makina • Cilt : 49 Sayı: 579).
- [36] Yünlü L., Yüksek Basınçlı Soğutma Sistemiyle İşlenmiş Titanyum Alaşımlardaki Kalıntı Gerilmelerin X-ışını Kırınımı Metodu ile İncelenmesi 2014.
- [37] <http://www.ankaanalitik.com.tr/x-isini-kirinimi.>, Erişim Tarihi: 07.03.2017.
- [38] https://tr.wikipedia.org/wiki/Plaka_zırh., Erişim Tarihi: 08.12.2016.
- [39] https://tr.wikipedia.org/wiki/TUSAŞ_T-129_Atak., Erişim Tarihi: 08.12.2016.
- [40] <https://www.otokar.com.tr/tr/urunler/cobra-ii-tekerlekli-zirhli-arac.>, Erişim Tarihi: 08.12.2016.
- [41] <http://weaponsman.com/?p=20902.>, Erişim Tarihi: 08.12.2016.
- [42] <http://www.alganmetal.com.tr/fronius-tps-600i-pulse.html.>, Erişim Tarihi: 20.03.2017.
- [43] <https://www.uludagsozluk.com/r/büyüteç-1294423.>, Erişim Tarihi: 19.12.2016.
- [44] <http://www.skywatcher.ro/MicroCel/micro360.htm.>, Erişim Tarihi: 19.12.2016.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Örenler, 10.02.1985 tarihinde Şanlıurfa' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Şanlıurfa' da tamamladı. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi bölümünden mezun oldu. Akabinde İstanbul ve Şanlıurfa' da çelik sektöründe NDT personeli olarak çalıştı. Tahribatsız muayene yöntemlerinden görsel, penetrant, ultrasonik ve radyografik test yöntemlerinden uluslararası geçerli seviye 2 sertifikalarına sahiptir. 2013 yılında göreve başladığı Otokar Otomotiv ve Savunma A.Ş. işletmesinde Altay milli ana muharebe tankı prototip geliştirme projesinde ve farklı Zırhlı araç projelerinde kaynak muayene sorumlusu olarak halen çalışmaktadır. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği bölümünden yüksek lisans derecesi almıştır. Orta derecede İngilizce bilgisine sahiptir. Evli ve 1 çocuk babasıdır.