

**AH VE DH KALİTE GEMİ SACLARININ DEĞİŞİK KAYNAK YÖNTEMLERİ VE
KAYNAK POZİSYONLARINDAKİ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE
MİKROYAPILARININ İRDELENMESİ.**

Nuri ÖZAKIN

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

ZONGULDAK

Şubat 2010

KABUL:

Nuri ÖZAKIN tarafından hazırlanan "AH VE DH KALİTE GEMİ SAÇLARININ DEĞİŞİK KAYNAK YÖNTEMLERİ VE KAYNAK POZİSYONLARINDAKİ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE MİKROYAPILARININ İRDELENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 05/02/2010

Başkan: Prof. Dr. Ercan CANDAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Handan BAYCIK (ZKÜ)
(Tez Danışmanı)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fisun MÜFTÜOĞLU (ZKÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım. / / 2010



Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Nuri ÖZAKIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AH VE DH KALİTE GEMİ SAÇLARININ DEĞİŞİK KAYNAK YÖNTEMLERİ VE KAYNAK POZİSYONLARINDAKİ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE MİKROYAPILARININ İRDELENMESİ

Nuri ÖZAKIN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Handan BAYCIK

Şubat 2010, 181 sayfa

Gemi sacları çeşitli kaynak yöntemleriyle ve değişik kaynak pozisyonlarında birleştirilir. Kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri kaynak kalitesini doğrudan etkileyen faktörler olduğundan, farklı kaynak yöntemleri ve parametreleri de ısı girdisini değiştireceğinden, buna bağlı iç yapı ve mekanik özellikler de değişecektir. Gemi sektöründe en sık kullanılan kaynak yöntemleri elektrik ark, tozaltı ve MAG kaynağıdır. Bu tezde, 12 mm kalınlığında AH36 ve DH36 kalite yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) gemi sacları, farklı kaynak pozisyonlarında (alın, yatay, dik ve tavan) rutil ve bazik elektrotla elektrik ark kaynağı, tozaltı ve MAG kaynak yöntemleriyle birleştirilmiştir. Ana metal, ITAB ve kaynaklı bölgeden alınan numunelerin çekme, eğme, sertlik, çentik darbe deneyleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca her kaynak dikişi için ısı girdisi hesabı yapılmıştır. Farklı kaynak yöntemi ve pozisyonlardaki mekanik özellikler, ısı girdileri ve mikroyapı incelemeleriyle birlikte değerlendirilmiş ve karşılaştırılarak irdelenmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Anahtar Sözcükler: Yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) tekne yapım çelikleri, kaynak yöntemleri, kaynak pozisyonları, mekanik özellik, mikroyapı, ısı girdisi

Bilim Kodu: 625.02.05

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXAMINATION OF MECHANICAL CHARACTERISTIC AND MICROSTRUCTURE OF AH AND DH GRADE HIGH STRENGTH HULL STEELS IN DIFFERENT WELDING METHODS AND POSITIONS

Nuri ÖZAKIN

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Asst. Prof. Handan BAYCIK

February 2010, 181 pages

Hull steels are joined by several welding methods and different welding positions. Welding methods and parameters are factors that directly affect the welding quality. Different welding methods and parameters will change the heat input and as a reason of this the microstructure and mechanical properties will change. In the shipbuilding industry the most used welding methods are manual metal arc, submerged arc and MAG weldings . In this thesis, 12 mm thick AH36 and DH36 grade high strength low alloy hull steels have been joined by rutile and basic electrode mauel metal arc welding, submerged arc welding and MAG welding in different welding positions (flat, horizontal, vertical, overhead). Tensile, bending, hardness, impact testing and microstructure examinations have been done for the samples which are taken from the base metal, HAZ and welding area. Furthermore, for each welding seam heat input has been calculated. Comparable study has been done by being evaluation together of mechanical properties, heat input and microstructure of different welding methods and positions.

ABSTRACT (continued)

Key Words: High Strength Low Alloy Hull Steels, welding methods, welding positions, mechanical properties, microstructure, heat input.

Science Code: 625.02.05

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında her türlü desteği ve katkıyı esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Handan BAYCIK’a (ZKÜ), deneysel çalışmalarına destek sağlayan ZKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine, malzeme temini ve test parçalarının kaynaklarının yapılmasında Ustaoglu Yat ve Gemi Sanayi Ltd. Şti’ne, numunelerin işlenmesinde yardımcı olan Cengiz Şahin ve Mehmet Şahin’e ve mekanik testlerin yapılmasında yardımcı olan Erdemir T.A.Ş yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Öncelikle eniştem Halit ARMAĞAN’a, eğitim ve çalışma hayatım boyunca bana her türlü desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
BÖLÜM 3 GEMİ YAPIMINDA KULLANILAN ÇELİK SACLAR.....	7
3.1 NORMAL MUKAVEMETLİ TEKNE YAPIM ÇELİĞİ.....	8
3.2 YÜKSEK MUKAVEMETLİ TEKNE YAPIM ÇELİĞİ.....	10
3.3 DÜŞÜK SICAKLIKLARDA KULLANILAN TEKNE YAPIM ÇELİĞİ.....	11
BÖLÜM 4 ELEKTRİK ARK KAYNAĞI.....	15
4.1 ARK	15
4.1.1 Ark Üflemeesi	17
4.1.1.1 Ark Üflemesinin Nedenleri ve Giderilmesi	17
4.2 KAYNAK SONRASI OLUŞAN İÇ YAPILAR.....	22
4.3 KAYNAK ELEKTRODLARI	27
4.3.1 Erimeyen Elektrodlar	28

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.3.2 Eriyen Elektrodlar	28
4.3.2.1 Çıplak Elektrodlar	28
4.3.2.2 Özlü Elektrodlar	28
4.3.2.3 Örtülü Elektrodlar	28
 BÖLÜM 5 GAZALTI ARK KAYNAĞI	33
 5.1 MIG/MAG KAYNAK YÖNTEMİ	35
5.2 MIG/MAG KAYNAK PARAMETRELERİ	42
 BÖLÜM 6 TOZALTI KAYNAĞI	51
 6.1 TOZALTI KAYNAK TOZLARI VE TELLERİ	53
6.2 TOZALTI KAYNAK PARAMETRELERİ	55
 BÖLÜM 7 KAYNAK HATALARI VE GİDERİLMESİ	59
 BÖLÜM 8 TAHRİBATLI MUAYENELER	67
 8.1 ÇEKME DENEYİ	67
8.2 EĞME DENEYİ	73
8.3 ÇENTİK DARBE DENEYİ	75
8.3.1 Charpy Deneyi	77
8.3.2 İzod Deneyi	78
8.4 SERTLİK DENEYİ	78
8.4.1 Rockwell Sertlik Deneyi	79
8.4.2 Brinell Sertlik Deneyi	80
8.4.3 Vickers Sertlik Deneyi	82
8.4.4 Mikrosertlik Deneyi	83
 BÖLÜM 9 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	85

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

9.1	KULLANILAN SACLAR VE ELEKTRODLAR.....	85
9.2	TEST PARÇALARININ HAZIRLANMASI VE KAYNATILMASI	87
9.3	TAHRİBATLI MUAYENE NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI	95
BÖLÜM 10 DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER		101
10.1	MİKROYAPI İNCELEMELERİ	101
10.2	ISI GİRDİSİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	111
10.3	ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ	113
10.4	EĞME DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	120
10.5	ÇENTİK DARBE DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	129
10.6	MİKROSERTLİK DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	134
BÖLÜM 11 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		141
KAYNAKLAR.....		145
EK AÇIKLAMALAR A NUMUNELERİN İTAB VE KAYNAKLI BÖLGELERİNİN MİKROYAPI GÖRÜNTÜLERİ.....		153
EK AÇIKLAMALAR B ÇENTİK DARBE NUMUNELERİNİN İTAB VE KAYNAK BÖLGESİ KIRILMA YÜZEYLERİ FOTOĞRAFLARI		163
EK AÇIKLAMALAR C NUMUNELERİN ANA METAL, İTAB VE KAYNAK METALİ MİKROSERTLİK GRAFİKLERİ		173
ÖZGEÇMİŞ		181

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
4.1	Elektrik ark kaynağı çalışma prensibi	15
4.2	Ark akım akışı	16
4.3	Ark karakteristiği	16
4.4	Paralel iki iletkenin akım geçmesi halinde meydana gelen manyetik kuvvet alanları. a) akım yönü aynı, b) akım yönü ters	18
4.5	Elektrodun eğik tutulmasıyla arkın yön değiştirmesi.....	18
4.6	Kaynak yapılan parçadaki akım yönünden ark üflemesine etkisi	18
4.7	a) Büyük bir çelik kütlenin bulunduğu yöne ark üfleme ve manyetik alan çizgileri, b) Kaynak ağızlarının içersinde yapılmış olan dikişe doğru ark üfleme ve manyetik alan çizgileri	19
4.8	Birden fazla kaynakçının aynı parça üzerinde beraber çalışması halinde akım üfleme yönleri.....	19
4.9	Kaynak yaparken elektroda eğim vererek ark üfleminin önlenmesi	20
4.10	Kaynak dikişlerinde adım yönteminin uygulanışı	20
4.11	Hatalı ve doğru puntalama	21
4.12	İlave demir kütlelerin kullanılması	22
4.13	Elektron mikroskobunda çekilmiş dendritlerin oluşumu	22
4.14	Aşağıdan yukarı doğru dendrit morfolojisinin değişimi	23
4.15	Kaynak sonrası oluşan iç yapı a) şematik, b) elektron mikroskobu altındaki görüntüsü	24
4.16	Kaynak metalinin ve ITAB'ta oluşan tane yapılarının şematik gösterimi	26
4.17	Önemli örtü türlerinin analizleri ve damla geçişleri.....	29
5.1	MIG/MAG kaynak yönteminin şematik gösterimi	36
5.2	MIG/MAG kaynak donanımının şematik gösterimi	36
5.3	a) Su soğutmalı, b) hava soğutmalı MIG/MAG kaynak torçları.....	37
5.4	İki rulolu tel sürme tertibatı.....	38
5.5	Dört rulolu tel sürme tertibatı.....	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
5.6	Planet veya dönel tel sürme tertibatı 39
5.7	Yatay karakteristikli MIG/MAG kaynak makinesinin V-I ilişkisi..... 39
5.8	Δ -i ayarı ile ark boyunun kaynak süresince sabit kalması 40
5.9	MIG/MAG akım üretici ve ayarlar 41
5.10	Akım şiddeti, tel çapı ve erime gücü arasındaki ilişki 42
5.11	Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profilinin gösterimi 43
5.12	MIG/MAG kaynağında gerilim ve tel besleme hızının (akım şiddeti) dikiş profiline etkisi 45
5.13	Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi 46
5.14	Yatay oluk pozisyonunda çok paso ile kaynakta torç hareketleri 47
5.15	Korniş pozisyonunda torç hareketleri 47
5.16	Dik kaynak pozisyonunda aşağıdan yukarıya torç hareketleri..... 48
5.17	Dik kaynak pozisyonunda yukarıdan aşağıya torç hareketleri..... 48
5.18	Tavan pozisyonunda torç hareketleri 49
6.1	Tozaltı kaynak yönteminin prensip şeması 51
6.2	Tozaltı kaynağında ark banyosu..... 52
6.3	Tozaltı kaynağında akım şiddetinin dikiş formun etkisi 55
6.4	Tozaltı kaynağında gerilimin dikiş formun etkisi 56
6.5	Tozaltı kaynağında kaynak hızının dikiş formuna etkisi 56
6.6	Tozaltı kaynağında kaynak teli çapının dikiş formun etkisi 57
7.1	Nüfuziyet azlığının şematik ve radyografik görüntüsü 60
7.2	Yetersiz erimenin şematik ve radyografik görüntüsü 60
7.3	Kaynak dikişinde sıcak çatlama örneği 61
7.4	Kaynak dikişinde mikroskobik çatlaklar 62
7.5	a) Enine gerilme oluşabilecek kaynak pozisyonu, b) çatlağın mikroskop altında görüntüsü 62
7.6	Çeşitli gözenekli kaynak dikişleri ve radyografik görüntüleri 63
7.7	Kalıntıların kaynak dikişinde şematik ve radyografik görüntüsü 64
7.8	Çeşitli yanma oluklarının şematik ve radyografik görüntüsü 65
7.9	Aşırı metal yağmanın şematik ve radyografik görüntüsü 66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
7.10	Eksen kaymasının ve açısal distorsiyonun şematik ve radyografik görüntüsü 66
8.1	DIN 50120 standardına göre kaynaklı birleştirmeler için yassı test parçası 68
8.2	Çekme deneyinin yapılışının şematik olarak gösterilişi..... 68
8.3	Yumuşak bir çeliğe ait gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı..... 69
8.4	Çeşitli malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirme diyagramları a) yüksek mukavemetli çelik (yarı sünek), b) düşük karbonlu çelik (sünek), c) kır dökme demir (gevrek), d) bakır (sünek)..... 70
8.5	Elastisite modülünün tespiti 71
8.6	Çekme numunesinde kesit daralması ve yüzde uzama 72
8.7	Çekme deneyinde rezilyans tespiti 72
8.8	Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi..... 73
8.9	Eğme deneyi prensip şeması 73
8.10	DIN 50121 standardına göre kaynaklı numuneler için test parçası standartları 74
8.11	Geçiş sıcaklığının belirlenmesi için elde edilmiş sıcaklık-kırılma enerjisi diyagramı.. 76
8.12	Farklı yapılı malzemelerin kırılma enerjisi ilişkisi Elastisite modülünün tespiti..... 77
8.13	Charpy testi numune ölçüleri ve çarpma yönü..... 77
8.14	Çentik darbe testi düzeneği 78
8.15	İzod testi numune ölçüleri ve çarpma yönü 78
8.16	RSD-C'nin yapılışı..... 80
8.17	Brinell sertlik deneyinde kullanılan bilya şeklinde batıcı uç 81
8.18	Vickers sertlik deneyinde kullanılan piramit şeklinde batıcı uç 82
8.19	Mikrosertlik deneyinin yapılışı 83
9.1	Elektrik ark kaynağında kullanılan ESAB Origo Arc 650C marka redresör 88
9.2	ESAB Origo Mig L405 marka gazaltı kaynak makinesi..... 89
9.3	ESAB A2 Multitrac A6 PEH kontrollü tel sürme ünitesi 89
9.4	1G, 2G, 3G ve 4G kaynak pozisyonlarının gösterimi 91
9.5	Kaynaklı test parçalarından çıkarılan numuneler..... 96
9.6	Kaba ölçülerde kesilen çekme ve eğme numuneleri 96
9.7	EN 895/ISO 4136 (DIN 50120-1) standardına göre yassı çekme numunesi ölçüleri ... 97

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
9.8	Çekme numunelerinin bor soğutma sıvısı kullanılarak CNC tezgahında işlenmesi 97
9.9	EN10045 (DIN50115) standardına göre çentik darbe numunesi ölçüleri ve hazırlanmış hali 98
9.10	Çentik yerlerinin olması gereken yerler a) Kaynak metalinden, b) ITAB'tan 98
9.11	Çentik darbe numunelerinin hazırlanma aşaması 98
9.12	DIN 50121 standardına göre eğme numunesi ölçüleri 99
10.1	METKON marka sıcak bakalit kalıp presi ve zımparalama-parlatma cihazı 102
10.2	METKON IMM-901 optik mikroskobu 102
10.3	AH36 kalite sacın matris mikroyapısı a) 100X b) 250X büyütme 103
10.4	DH36 kalite sacın matris mikroyapısı a) 100X b) 250X büyütme 103
10.5	1 Nolu numunenin (DH36 1G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri 104
10.6	2 Nolu numunenin (DH36 1G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri 105
10.7	3 Nolu numunenin (DH36 1G T) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri 105
10.8	4 Nolu numunenin (DH36 1G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri 106
10.9	5 Nolu numunenin (AH36 1G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri 107
10.10	6 Nolu numunenin (AH36 1G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri 108
10.11	7 Nolu numunenin (AH36 1G T) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgeleri mikroyapı görüntüleri 109
10.12	8 Nolu numunenin (AH36 1G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri 110
10.13	Test parçalarının ısı girdileri grafiği 112
10.14	Çekme numunelerinin akma ve çekme dayanımları 114
10.15	Çekme numunelerinin yüzde uzama grafiği 115
10.16	1G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların çekme deneyi verileri grafiği 118
10.17	2G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların çekme deneyi verileri grafiği 118

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
10.18	3G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların çekme deneyi verileri grafiği 119
10.19	4G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların çekme deneyi verileri grafiği 119
10.20	Ana metalden kopan çekme numunesi örneği (No.19 AH36 3G E B) 119
10.21	Çekme numunelerin kırılma yüzeyleri a) 6 nolu numune (AH36 1G E B) b) 19 nolu numune (AH36 3G E B) c) 22 nolu numune (DH36 4G E B) d) 1 nolu numune (DH36 1G E R) 120
10.22	Eğme testi mandrel ve mesnet ölçüleri 121
10.23	Maksimum eğme dayanımlarının grafik halinde gösterimi 123
10.24	Hasara uğramamış 19 nolu numune (AH36 3G E B) 123
10.25	Hem kök hem de kep eğmede çatlak meydana gelen 15 nolu numune (DH36 3G E R) 124
10.26	Kep eğmede çatlak meydana gelen 18 nolu numune (AH36 3G E R) 124
10.27	1G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların eğme deneyi verileri grafiği 127
10.28	2G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların eğme deneyi verileri grafiği 127
10.29	3G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların eğme deneyi verileri grafiği 128
10.30	4G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların eğme deneyi verileri grafiği 128
10.31	Çentik darbe dayanımlarının grafik halinde gösterimi 130
10.32	2 Nolu numune (DH36 1G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 131
10.33	3 Nolu numune (DH36 1G T) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 132
10.34	1G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların darbe deneyi verileri grafiği 132
10.35	2G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların darbe deneyi verileri grafiği 133
10.36	3G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların darbe deneyi verileri grafiği 133
10.37	4G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların darbe deneyi verileri grafiği 134
10.38	Mikrosertlik ölçümlerinin alındığı noktalar 134
10.39	Ortalama sertlik değerleri grafiği 137
10.40	1 Nolu numune (DH36 1G E R) sertlik dağılımı 137
10.41	2 Nolu numune (DH36 1G E B) sertlik dağılımı 138
10.42	3 Nolu numune (DH36 1G T) sertlik dağılımı 138
10.43	4 Nolu numune (DH36 1G G) sertlik dağılımı 138
10.44	5 Nolu numune (AH36 1G E R) sertlik dağılımı 139
10.45	6 Nolu numune (AH36 1G E B) sertlik dağılımı 139

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
10.46 7 Nolu numune (AH36 1G T) sertlik dağılımı	139
10.47 8 Nolu numune (AH36 1G G) sertlik dağılımı	140
A.1 9 Nolu numunenin (DH36 2G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri	154
A.2 10 Nolu numunenin (DH36 2G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri	154
A.3 11 Nolu numunenin (DH36 2G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri	155
A.4 12 Nolu numunenin (AH36 2G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	155
A.5 13 Nolu numunenin (AH36 2G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri	156
A.6 14 Nolu numunenin (AH36 2G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	156
A.7 15 Nolu numunenin (DH36 3G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	157
A.8 16 Nolu numunenin (DH36 3G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	157
A.9 17 Nolu numunenin (DH36 3G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	158
A.10 18 Nolu numunenin (AH36 2G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	158
A.11 19 Nolu numunenin (AH36 3G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	159
A.12 20 Nolu numunenin (AH36 3G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	159
A.13 21 Nolu numunenin (DH36 4G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	160
A.14 22 Nolu numunenin (DH36 4G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.....	160

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
A.15	23 Nolu numunenin (DH36 4G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri..... 161
A.16	24 Nolu numunenin (AH36 4G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri..... 161
A.17	25 Nolu numunenin (DH36 4G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri..... 162
A.18	26 Nolu numunenin (AH36 4G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri..... 162
B.1	1 Nolu numune (DH36 1G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 164
B.2	2 Nolu numune (DH36 1G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 164
B.3	3 Nolu numune (DH36 1G T) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 164
B.4	4 Nolu numune (DH36 1G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 165
B.5	5 Nolu numune (AH36 1G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 165
B.6	6 Nolu numune (AH36 1G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 165
B.7	7 Nolu numune (AH36 1G T) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 166
B.8	8 Nolu numune (AH36 1G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 166
B.9	9 Nolu numune (DH36 2G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 166
B.10	10 Nolu numune (DH36 2G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 167
B.11	11 Nolu numune (DH36 2G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 167
B.12	12 Nolu numune (AH36 2G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 167
B.13	13 Nolu numune (AH36 2G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 168
B.14	14 Nolu numune (AH36 2G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 168
B.15	15 Nolu numune (DH36 3G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 168
B.16	16 Nolu numune (DH36 3G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 169
B.17	17 Nolu numune (DH36 3G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 169
B.18	18 Nolu numune (DH36 3G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 169
B.19	19 Nolu numune (DH36 3G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 170
B.20	20 Nolu numune (DH36 3G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 170
B.21	21 Nolu numune (DH36 4G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 170
B.22	22 Nolu numune (DH36 4G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri..... 171
B.23	23 Nolu numune (DH36 4G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri 171

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
B.24 24 Nolu numune (AH36 4G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.....	171
B.25 25 Nolu numune (AH36 4G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.....	172
B.26 26 Nolu numune (AH36 4G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri	172
C.1 9 nolu numune (DH36 2G E R) mikrosertlik değerleri grafiği	174
C.2 10 nolu numune (DH36 2G E B) mikrosertlik değerleri grafiği	174
C.3 11 nolu numune (DH36 2G G) mikrosertlik değerleri grafiği.....	174
C.4 12 nolu numune (AH36 2G E R) mikrosertlik değerleri grafiği	175
C.5 13 nolu numune (AH36 2G E B) mikrosertlik değerleri grafiği	175
C.6 14 nolu numune (AH36 2G G) mikrosertlik değerleri grafiği.....	175
C.7 15 nolu numune (DH36 3G E R) mikrosertlik değerleri grafiği	176
C.8 16 nolu numune (DH36 3G E B) mikrosertlik değerleri grafiği	176
C.9 17 nolu numune (DH36 3G G) mikrosertlik değerleri grafiği.....	176
C.10 18 nolu numune (AH36 2G E R) mikrosertlik değerleri grafiği	177
C.11 19 nolu numune (AH36 3G E B) mikrosertlik değerleri grafiği	177
C.12 20 nolu numune (AH36 3G G) mikrosertlik değerleri grafiği.....	177
C.13 21 nolu numune (DH36 4G E R) mikrosertlik değerleri grafiği	178
C.14 22 nolu numune (DH36 4G E B) mikrosertlik değerleri grafiği	178
C.15 23 nolu numune (DH36 4G G) mikrosertlik değerleri grafiği.....	178
C.16 24 nolu numune (AH36 4G E R) mikrosertlik değerleri grafiği	179
C.17 25 nolu numune (DH36 4G E B) mikrosertlik değerleri grafiği	179
C.18 26 nolu numune (AH36 4G G) mikrosertlik değerleri grafiği.....	179

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.1	Normal mukavemetli çeliklerinin genel kimyasal bileşimleri	9
3.2	Normal mukavemetli çeliklerinin genel mekanik özellikleri	9
3.3	Yüksek mukavemetli tekne yapım çeliklerinin genel kimyasal bileşimleri.....	10
3.4	Yüksek mukavemetli tekne yapım çeliklerinin genel mekanik özellikleri	11
3.5	0°C ve -55°C arası sıcaklıklarda çalışacak C-Mn çeliğinin kimyasal bileşimi.....	12
3.6	0°C ve -55°C arası sıcaklıklarda çalışacak C-Mn çeliğinin mekanik özellikleri	12
3.7	Servis sıcaklığına göre çentik darbe deney sıcaklıkları, çelik özellikleri ve Ni miktarları	13
4.1	Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklıklarının belirlenmesi	27
5.1	MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar	44
6.1	Tel içerisine katılan alaşımların kaynağa kazandırdığı özellikler	54
6.2	Tozaltı kaynak parametrelerinin kaynak dikişi kalitesine etkisi	55
9.1	Testte kullanılan sacların ve ilave metallerin kimyasal bileşimleri	86
9.2	Testte kullanılan sacların ve ilave metallerin mekanik özellikleri	86
9.3	ESAB Origo Arc 650C marka redresörün teknik özellikleri	88
9.4	ESAB Origo Mig L405 marka gazaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri	89
9.5	ESAB LHF 1200 redresörün teknik özellikleri	90
9.6	Kaynaklı parçaların kodlanması	90
9.7	1G (oluk) pozisyonunda test parçalarının kaynak parametreleri	92
9.8	2G (korniş) pozisyonunda test parçalarının kaynak parametreleri	93
9.9	3G (dik) pozisyonunda test parçalarının kaynak parametreleri	94
9.10	4G (tavan) pozisyonunda test parçalarının kaynak parametreleri	95
10.1	Kaynaklı parçalarının toplam ısı girdi değerleri	111
10.2	Çekme numunelerinin deney verileri	113
10.3	Eğme testi maksimum eğme gerilme (σ_{emax}) verileri	122
10.4	Numunelerin kaynak metali ve ITAB bölgesindeki kırılma enerjileri	129
10.5	Ana metal, ITAB ve kaynak metali mikrosertlik (HV ₁₀) değerleri	135

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
A NUMUNELERİN ITAB VE KAYNAKLI BÖLGELERİNİN MİKROYAPI GÖRÜNTÜLERİ	153
B ÇENTİK DARBE NUMUNELERİNİN ITAB VE KAYNAK BÖLGESİ KIRILMA YÜZEYLERİ FOTOĞRAFLARI	163
C NUMUNELERİN ANAMETAL, ITAB VE KAYNAK METALİ MİKROSERTLİK GRAFİKLERİ	173

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	:	Akım
Al	:	Alüminyum
Al_2O_3	:	Alümina
C	:	Karbon
$CaCO_3$	:	Kalsiyum karbonat
CaF_2	:	Kalsiyum fluorit
CO	:	Karbonmonoksit
CO_2	:	Karbondioksit
Cr	:	Krom
Cu	:	Bakır
FeO	:	Demir oksit
Fe_3O_4	:	Magnetit
HV	:	Vickers sertliği
J	:	Joule
kg	:	Kilogram
MgO	:	Magnezyum oksit
mm	:	Milimetre
Mn	:	Mangan
MnO	:	Mangan oksit
Mo	:	Molibden
MPa	:	Mega Pascal
N	:	Azot
N	:	Newton
Na_2O	:	Sodyum oksit
Nb	:	Niobyum
Ni	:	Nikel
O	:	Oksijen

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

P	:	Fosfor
S	:	Kükürt
Si	:	Silisyum
SiC	:	Silisyum karbür
SiO_2	:	Silisyum dioksit
TiO_2	:	Titanyum dioksit
TiO	:	Titanyum oksit
V	:	Gerilim (Voltaj)
μm	:	Mikrometre
$^{\circ}C$	:	Santigrat derece
σ	:	Gerilme
$\%$	:	Yüzde

KISALTMALAR

ABS	:	American Bureau of Shipping
ASTM	:	American Society for Testing and Material
AWS	:	American Welding Society
DIN	:	Deutsches Institut für Normung
EGW	:	Electro Gas Welding
ESW	:	Electro Slag Welding
FSW	:	Friction Stir Welding
FZ	:	Fusion Zone
HAZ	:	Heat Affected Zone
HMK	:	Hacim Merkezli Kübik
HSLA	:	High Strength Low Alloy
ITAB	:	Isı Tesiri Altındaki Bölge
KM	:	Kaynak Metali
LNG	:	Liquefied Natural Gas
LPG	:	Liquefied Petroleum Gas
MAG	:	Metal Active Gas
MIG	:	Metal Inert Gas

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

TIG	:	Tungsten Inert Gas
TW	:	Thermit Welding
YMK	:	Yüzey Merkezli Kübik

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kaynak ve gemi inşanın geçmişi ilk çağlara kadar dayanır, fakat bu ikisinin birbirleriyle buluşması yakın zamanda, özellikle de I. Dünya Savaşından sonra gerçekleşmiştir. Sacların gemilerde kullanılması ilk olarak 19.yy'da olmuştur; “Aaron Manby” İngilizlerin 1821 yılında yaptığı ve buharla çalışan ilk gemi olarak tarihe geçmiştir (Kemp 1976). Fakat tamamı kaynaklı birleştirme ile oluşan ilk gemi 1907 yılında yine İngilizlerin yaptığı “Fulagar” adlı gemidir (URL-10 2008). Özellikle I. Dünya Savaşından sonra kaynak teknolojisi sadece bir tamir yöntemi olarak değil, aynı zamanda üretim aracı haline de gelmiştir (Anık 1991).

Asıl gelişme ise II. Dünya Savaşı sırasında olmuştur. İngiltere “Empire” adı verilen bir seri gemi inşa etmiştir (Mitchell and Sawyer 1990), fakat asıl atılımı A.B.D. yapmıştır, o zamana kadar gemilerde perçinli birleştirme kullanan A.B.D. kaynak teknolojisini kullanarak 5000’den fazla çeşitli savaş gemileri inşa etmiştir (Lane 2001, Davis 2004, Irving 2005). Kaynak tekniğinin özellikle II. Dünya Savaşından sonraki hızlı gelişmesi, dünya milletleri arasında 1948 yılında "Uluslararası Kaynak Enstitüsü"nün (International Institute of Welding IIW-Institut International de la Soudure MS) kurulmasına sebep olmuştur (Anık 1991) ve kaynak teknolojisinin bugünkü gelişimine büyük katkı sağlamıştır.

II. Dünya Savaşında sırasında inşa edilen “Liberty” serisi gemilerin bir kısmı aniden ortadan ikiye bölünerek batmıştır ve bir çoğu hasar görmüştür (Bhadeshia and Honeycombe 2006, Black and Kohser 2007), bu olayın sebebi olarak 2-3 yıl süren araştırmalardan sonra anlaşılmıştır ki, geminin çok rijit ve çok az plastik şekil değiştirebilen çelikten imal edilmiştir. Bunun sonucunda gemi güvertesi ısınma sonucu genişmekte, buna karşılık su altında kalan kısım, suyun sıcaklığının yaklaşık sabit kalmasından dolayı aynı kalmakta ve gerilmeler oluşmaktadır, bunu takiben de gemi sanki katlanıyormuş gibi bir etkiye maruz kalmaktadır. Bu gerilmeler var olan mikro çatlakları veya kaynak hatalarını genişleterek çatlak oluşturmakta ve bu çatlaklar kaynak boyunca ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) de hızla

ilerleyerek gemiyi iki parçaya ayırmıştır (Kaluç 1999). Bu olay gevrek kırılma, kaynak kabiliyeti gibi kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerin önemini ve günümüzde tekne yapım çeliklerine ve kaynak teknolojisine ışık tutmuştur.

Günümüzde ise gemi inşa sanayi bir çok sanayi dallarını ilgilendiren yapılardan oluştuğu için son teknolojik gelişmeler bu sektörü yakından ilgilendirmektedir, tabii ki çelik sanayi ve kaynak sektöründeki gelişmeler bunlardan en önemlisidir. “Liberty” olayından sonra istenen mekanik özelliklerde tekne yapım çelikleri adı altında bir çok sac geliştirilmiştir. Öyle ki her gemi sınıflandırma cemiyetinin kendine özgü farklı tekne yapım çelikleri vardı, fakat 1959 yılında önemli gemi sınıflandırma cemiyetleri bu olaya bir standardizasyon getirerek ortak bir kalitede buluşarak A, B, C, D ve E kalite olarak tekne yapım çeliklerini sınıflandırdılar (Eyres 2001). Bu kalitedeki çelikler normal mukavemetli düşük karbonlu az alaşımlı, yumuşak çeliklerdir, ağırlıktan tasarruf etmek amacıyla bu çeliklere bazı alaşımlar eklenerek yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) çelik elde edilerek de kullanılmaktadır (ASM International 2001, Eyres 2001).

Gemiler dinamik yükler altında çalıştıklarından dolayı kaynaklı bağlantıların yeterince emniyetli ve güvenilir olması istenir. Geçmişte örtülü elektrod ile ark kaynağı, basit uygulama şekli ve kullanımı kolay makinelerle olması nedeniyle çok kullanılmaktaydı. Fakat gelişen teknolojiyle bu yöntemin birçok dezavantajı tespit edilmiş ve sonra yarı-otomatik bir kaynak yöntemi olan MIG-MAG kaynağı kullanılmaya başlanmıştır. MIG-MAG kaynağında sürekli bir tel elektrod bulunması kaynak hızının artmasına, ısı girdisinin azalmasına, otomasyon sistemlerine rahatlıkla uygulanmasını sağlamıştır. Bu yöntemde kullanılan kaynak makinelerinin yatay karakteristikli olması, kaynak parametrelerinin ayarlanmasına yardımcı olduğundan, kaynakçıların kullanmasını da kolaylaştırır (Anık 1991). Tozaltı yöntemi ise genellikle panel yapılmak istenen iki farklı sacın alın birleştirmesinde tercih edilmektedir. Yüksek akımla kaynak yapılması, yüksek nüfuziyet elde edilmesini sağlamıştır. Dikiş görüntüsü diğer kaynak yöntemlerine göre çok daha iyidir.

Gemi yapımında en çok kaynak yapımı için zaman harcandığından, bu konuda yapılacak yeni bir buluş ya da geliştirilecek yeni bir yöntemle gemi yapım sürecini minimuma indirmek, zamandan ve maliyetten tasarruf etmek olacaktır. Son yıllarda yukarıda adı geçen üç yöntemden başka elektrikli cürufaltı kaynağı (ESW), elektrikli gaz kaynağı (EGW), termit

kaynağı (TW), sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) gibi bir çok kaynak yöntemi gemi inşa sanayisinde kullanılmaya başlanmıştır.

Kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri kaynak kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Farklı kaynak yöntemleri ve parametreleri ısı girdisini değiştireceğinden, buna bağlı iç yapı ve mekanik özellikleri de değişecektir.

Bu çalışmada, son yıllarda sağladığı avantajlardan dolayı sıkça kullanılan iki farklı kalitede yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) tekne yapım çeliği değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarında birleştirilmiş ve mekanik davranışlarının dışında sacların mikroyapıları da incelenerek, seçilen kaynak yönteminin ve pozisyonun iç yapıya nasıl etki ettiği irdelenmiştir. Bu irdelemelerin sonucunda konstrüksiyon aşamasında çıkan kaynak problemlerinin sebeplerinin bulunması ve iyileştirmelere gidilmesi hedeflenmiştir.

Deneyisel çalışmada, 12mm kalınlığında AH36 ve DH36 kalite yüksek mukavemetli gemi sacları, farklı kaynak pozisyonlarında (alın, yatay, dik ve tavan) rutil ve bazık elektrodla elektrik ark kaynağı, tozaltı ve MAG kaynak yöntemleriyle birleştirilmiştir. Ana metal, ITAB ve kaynaklı bölgeden alınan numunelerin çekme, eğme, sertlik, çentik darbe deneyleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Her ne kadar düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynaklarında pek problemle karşılaşılmasına rağmen, Svensson (1994) parça kalınlığı ve ısı girdisinin orantılı olmasından dolayı, ısı çevrimine bağlı olarak oluşabilecek istenmeyen mikroyapılar nedeniyle bazı problemler ortaya koymuştur. Bu problemlerin başında ITAB'ın tane irileşme bölgesinde martenzit oluşumu gelmektedir.

Kaynak işlemi sonucunda, katılaşmış durumdaki kaynak metalinin mikroyapısı incelendiğinde iki değişik bölge ile karşılaşılır. ITAB'a yakın olan kaynak metali kolonsal bir tane yapısı, kaynak merkez çizgisine yakın olan kaynak metali ise ısı dağılımının karmaşıklığından dolayı eşeksenel ve dendritik taneler içerir (Savage 1965, David et al. 2003). Qin (1991) yaptığı araştırmasında, normal mukavemetli düşük karbonlu A kalite tekne yapım çeliğini kaynatmış ve ana metal, kaynak bölgesi ve ITAB'ı incelemiştir. ITAB'da tane irileşmesine rastlamış ve tokluk değerleri ana metal değerlerinden daha kötü çıkmıştır ve bunu o bölgede oluşan beynitik tane irileşmesine bağlamış, fakat yine de kaynak kabiliyetini tatmin edici bulmuştur.

A₃ sıcaklığının altındaki soğuma hızlarına bağlı olarak düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynak metalinde oluşacak yapılar; ötektoidaltı ferrit, widmanstatten ferrit, asiküler ferrit, beynit ve mikrofazlar (martenzit, kalıntı östenit ve perlit) olarak belirtilmiştir (Dolby 1983, Bhadeshia and Honeycombe 2006). Mikroyapıda oluşan bu fazlar malzemenin özelliklerini belirlemektedir. Örneğin, ince taneli asiküler ferrit çatlama oluşumuna ve büyümesine daha yüksek direnç sağlar (Lee et al. 2000), beynitin ise, korozyon hasarına azaltıcı yönde etkisi vardır (Babu and Natarajan 2008).

Easterling (1992), Svensson (1994), Oliveira et al. (2007), Shome (2007), Sabzevar et al. (2008) ve Shi (2008) yaptıkları çalışmalarda, kaynakta ısı girdisinin kaynak bölgesinde oluşan mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Durmuşoğlu (2006) çalışmasında, yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) çeliği farklı kaynak parametrelerinde MAG kaynak yöntemi ile kaynatmış ve bu parametrelerin kaynak kalitesine ve mikroyapıya etkisini incelemiştir. Kılınçer (1998) ise düşük karbonlu çelikleri tozaltı kaynağı ile birleştirmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir.

Radaj (1992) yaptığı çalışmada, kaynak bölgesinin dayanımının oluşan mikroyapılara bağlı olduğunu ifade etmiş ve kaynak ısı girdisinin ayarlanarak dayanıma müdahale edilebileceğini göstermiştir. Nitekim Eroğlu (1995) yaptığı çalışmada, düşük karbonlu ve az alaşımlı çeliğe farklı ısı girdileri uygulayarak kaynak ve ITAB bölgesinin iç yapılarının değiştiğini gözlemlemiştir. Gery et al. (2005) ve Durgutlu vd. (1999) yaptıkları çalışmalarda, farklı kaynak hızlarında kaynakta oluşan ısı girdisinin ve soğumanın etkisini araştırmış, mikroyapının ve ITAB sınırlarının farklılık gösterdiği sonucuna varmıştır.

Karbon eşdeğeri ($C_{eş}$) büyüdükçe kaynaktan sonra soğumanın yavaşlatılması gerekmektedir. Bunun için de tek çözüm, parçaya kaynaktan önce bir ön tavlama uygulanarak soğuma hızını yavaşlatmaktır (Cebekan 1988, Asarkaya 2006, Dikicioğlu 2006). Mor (2001) yaptığı araştırmada, kaynak öncesi öntavlama konusunu elektrik ark kaynağında incelemiş ve düşük karbonlu çeliklerde olumlu sonuçlar elde etmiştir.

Yüksek mukavemetli çelikler için $C_{eş}=0,40$ civarında veya üstünde olabilir. Bu da kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkiler. Sannomiya et al. (1985) yaptıkları çalışmada, AH36, DH36 ve EH36 yüksek mukavemetli tekne yapım çeliklerinde çeliğin mukavemet değerlerinden ödün vermeden üretim aşamasında özel bir kontrollü soğutma ile (Multipurpose Accelerated Cooling System MACS) $C_{eş}$ 0,43'ten 0,38'e kadar düşürmeyi başarmışlardır.

BÖLÜM 3

GEMİ YAPIMINDA KULLANILAN ÇELİK SACLAR

Çelik, günümüzde en fazla oksijen üfleme ve elektrik ark yöntemi ile elektrik ark fırınlarında elde edilir. Çelik, kaynar çelik (rimmed steel), yarı sakınleştirilmiş (semi killed) ve sakınleştirilmiş (fully killed) olmak üzere üç farklı şekilde üretilebilir. Ana unsurları büyük ölçüde demir ve kontrollü miktarda karbondur. Üretimde metal bazlı olmayan kükürt, silisyum ve fosfor gibi elementlerin miktarının en azda tutulması önemlidir. Çelik malzemelerin mekanik özellikleri kimyasal bileşim değişikliği ile sağlanır. Örneğin; çekme mukavemeti çelikteki karbon miktarını değiştirerek veya kimyasal yapıya krom, nikel, mangan gibi alaşım elementleri katılarak değiştirilebilir (Bhadeshia and Honeycombe 2006, Eyres 2001).

Gemi inşaatında genelde kullanılan çelik saclar, dinamik yükler altında rahatça çalışabilecek ve kaynak kabiliyeti yüksek olan %0.15 ila %0.23 karbon içeren ve mangan alaşımı açısından zengin olan “yumuşak çelik (mild steel)” malzemedir. Bu tür malzemede kaynak kabiliyetine olumsuz yönde etki ettiği için fosfor ve kükürt minimum seviyede tutulur (%0.05’den az) ayrıca oluşan sülfür haddeleme işlemi sırasında çatlamaya sebep verebilir. Soğuk ve sıcak şekil vermeye ve kaynağa uygun olan bu malzemenin işleme sıcaklıklarında mekanik özelliklerinde önemli bir değişme gözlenmez. Ancak çok düşük sıcaklıklarda darbe dayanımını kaybeder, kırılganlık kazanır ve gevrek kırılma oluşabilir. Bir çeliğin gemi inşaatında kullanılabilmesi için gemiyi belgeleyecek klas kurumunca denetlenmiş, test edilmiş ve soğuk damgalanmış olması gerekmektedir.

1959 yılından sonra dünyada önde gelen gemi klas kuruluşları tarafından gemi inşasında kullanılan saclar standartlaştırılmıştır. Şu an gemi inşa sektöründe üç farklı çelik türü kullanılmaktadır; karbon çelikleri, yüksek mukavemetli ve ekstra yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler.

Karbon çelikleri, normal mukavemetli çeliklerdir ve A, B, D ve E kalite (grade) olarak sınıflandırılmışlardır. Bunların içinde gemi sektöründe en sık kullanılan A kalite normal yumuşak çeliktir, B kalite sac A kalite sacdan daha iyi bir kalitede yumuşak çeliktir ve genelde daha kritik yerlerde kalın saclar olarak kullanılır. C, D ve E kalite saclar ise darbe dayanımı daha iyi olan çeliklerdir. Normal mukavemetli yumuşak çeliklerin yanı sıra gerilmelerin yüksek olduğu büyük tanker ve dökme yük gemileriyle ağırlığın önemli olduğu savaş gemileri, ro-ro ferri ve yolcu gemileri gibi konstrüksiyonlarda yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) tekne yapım çeliği kullanılır. Yüksek mukavemetli tekne yapım çelikleri üç ayrı mukavemet değerinde 32, 36 ve 40 (kg/mm²) olmak üzere sınıflandırılır ve tokluklarına göre AH, DH, EH ve FH olarak adlandırılır. Benzer şekilde düşük sıcaklıklarda kullanılacak olan, örneğin soğutularak sıvılaştırılmış LPG ve LNG taşıyan gemilerin tanklarında soğuk ortamda kırılmalanmayan; korozyon etkisi yüksek maddeler taşıyan tankerlerin tanklarında ise ekstra yüksek mukavemetli az alaşımlı korozyona dayanıklı çelik saclar kullanılır (Eyres 2001, Zielinski and Domzalicki 2003, American Bureau of Shipping ABS 2006, Türkloydu 2008).

3.1 NORMAL MUKAVEMETLİ TEKNE YAPIM ÇELİĞİ

Normal mukavemetli tekne yapım çeliği gemi yapımında en sık kullanılan sacdır. Yüksek mukavemet istenmeyen bölgelerde kullanılan bu saclar gemilerde dış bordada, üst yapılarda, ambar içlerinde ve denizde seyir etmeyecek yani dalga kuvvetine maruz kalmayacak nehir tipi gemilerde en sık kullanım yerleridir.

Normal mukavemetli tekne yapım çeliği C değeri yaklaşık %0.20 civarındadır ve Mn değeri % 0.5 ila 1 arasındadır. Normal mukavemetli sacların değışen kalitelerine göre kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Normal mukavemetli tekne yapım çeliklerinde bulunan bazı alaşım elementlerinin görevleri şunlardır; Mn ve Si, dayanımı ve sertliği artırır. Al’un, tane inceltici etkisi vardır. Cu, α - γ geçiş sıcaklığını düşürür. Cr, aşınma ve korozyon direncini artırır. Ni, düşük sıcaklıklarda tokluğu artırır. Mo ise, yüksek sıcaklıklarda dayanımı artırır (Bhadeshia and Honeycombe 2006, Klepaczko et al. 2009).

Normal mukavemetli tekne yapım çeliklerin en üst anma akma sınırı değeri (σ_A) en az 235 N/mm² ve çekme mukavemeti (σ_C) ise, 400-520 N/mm² değerleri arasındadır. Çentik darbe enerjileri sırasıyla +20, 0, -20, -40 °C’deki özelliklerine göre normal tekne yapım çeliği

sağlamlık özellikleri birbirinden farklı olan A, B, D, E kalitelerine göre gruplandırılır. Çizelge 3.2’de bu çeliklerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Normal mukavemetli çeliklerinin genel kimyasal bileşimleri (Türkloydu 2008).

Kalite	A	B	D	E
Deoksidasyon Yöntemi	$t \leq 50$ mm için sakınleştirilmemiş çelik hariç diğer yöntemler $t > 50$ mm için tamamen sakınleştirilmiş	$t \leq 50$ mm için sakınleştirilmemiş çelik hariç diğer yöntemler $t > 50$ mm için tamamen sakınleştirilmiş	$t \leq 25$ mm için tamamen sakınleştirilmiş, $t \leq 25$ mm için tamamen sakınleştirilmiş ve taneleri inceltirilmiş	Tamamen sakınleştirilmiş ve taneleri inceltirilmiş
Kimyasal bileşim (%) (eriyik örnekleri)(3)	(Karbon + 1/6 Mangan) %0.40’ı aşmamalıdır			
C_{maks}	0,21 (1)	0,21	0,21	0,18
Mn_{min}	2,5xC	0,80	0,60	0,70
Si_{maks}	0,50	0,35	0,35	0,25
P_{maks}	0,035	0,035	0,035	0,035
S_{maks}	0,035	0,035	0,035	0,035
Al (asitle çözülebilir) _{min}	-	-	0,015 (1) (2)	0,015 (2)
(1) 25 mm kalınlığın üstündeki D kalite çelik için (2) Kalite E ve kalınlığı 25 mm üzerinde Kalite D için asitle çözeltilebilir kısmı yanma alüminyumun toplam miktarı belirlenebilir. Bu durumda alüminyumun toplam miktarı %0,020’den az olmamalıdır. (3) Eriyikte, aşağıdaki alınanlar için verilen üst sınır değerleri aşılamaz. Cu: %0,30; Cr: %0,20; Ni: %0,40; Mo: %0,08				

Çizelge 3.2 Normal mukavemetli çeliklerinin genel mekanik özellikleri (Türkloydu 2008).

Kalite	Akma Dayanımı (N/mm ²) min.	Çekme Dayanımı (N/mm ²) min.	Kopma Uzaması (%) min.	Çentik darbe testleri						
				Test Sıcaklığı (°C)	Darbe enerjisi (J)					
					t≤50 mm		50<t≤70 mm		70<t≤100 mm	
					Boyuna	Enine	Boyuna	Enine	Boyuna	Enine
A	235	400-520	22 (1)	+20	-	-	34	24	41	27
B				0	27	20	34	24	41	27
D				-20	27	20	34	24	41	27
E				-40	27	20	34	24	41	27

t= mamul kalınlığı

(1) Genişliği 25 mm ölçü uzunluğu 200 mm ve kalınlığı mamul kalınlığında olan düz çekme test parçalarında kopma uzaması, aşağıdaki minimum değerlere erişmelidir.

Kalınlık (mm)	≤5	>5 ≤10	>10 ≤15	>15 ≤20	>20 ≤25	>25 ≤30	>30 ≤40	>40 ≤50
Kopma uzaması (%)	14	16	17	18	19	20	21	22

3.2 YÜKSEK MUKAVEMETLİ TEKNE YAPIM ÇELİĞİ

Yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) çeliklerin akma sınırının yüksekliği, daha ince cidar kalınlıklarının kullanılabilmesi ile, hem gemi ağırlıklarını azaltır, hem de yüksek gerilmeye maruz alanlarda kalın plakalar kullanımını engeller. Dolayısıyla kaynak zamanından tasarruf edilir. Ayrıca, yüksek korozyon dayanımı istenilen bölgeler için de çok sık kullanılır (Nasser and Guo 2003, Asarkaya 2006).

Yüksek mukavemetli tekne yapım çelikleri, çekme mukavemetinin, sertliğin ve korozyon dayanımının artması için Mn ve Cu alaşımı açısından zengindir. Buna bağlı olarak akma ve çekme dayanımları normal tekne yapım çeliğinden yüksektir. Normal mukavemetli tekne yapım çeliğinden farklı olarak eklenen Nb, V, Ti ve N alaşım elementlerinin dayanımı, sertliği, korozyon direncini artırıcı ve tane büyümesini engelleyici özellikleri vardır (Klepaczko et al. 2009). Çizelge 3.3'te yüksek mukavemetli tekne yapım çeliklerinin genel kimyasal bileşimleri, Çizelge 3.4'de de mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 Yüksek mukavemetli tekne yapım çeliklerinin genel kimyasal bileşimleri (Türkloydu 2008).

Kalite	AH32, DH32, EH32 AH36, DH36, EH36 AH40, DH40, EH40	FH32 FH36 FH40
Deoksidasyon Yöntemi	Tamamen sakinleştirilmiş ve taneleri inceltirilmiş	
Kimyasal bileşim (%) (Pota analizi)		
C _{maks}	0,18	0,16
Mn	0,90-1,60	0,90-1,60
Si _{maks}	0,50	0,50
P _{maks}	0,035	0,025
S _{maks}	0,035	0,025
Al (asitte çözülebilir) _{min}	0,015	0,015
Nb	0,02-0,05	0,02-0,05
V	0,05-0,10	0,05-0,10
Ti _{maks}	0,02	0,02
Cu _{maks}	0,30	0,30
Cr _{maks}	0,20	0,20
Ni _{maks}	0,40	0,80
Mo _{maks}	0,08	0,08
N _{maks}	-	0,009 (0,012 Al uygulanırsa)

Çizelge 3.4 Yüksek mukavemetli tekne yapım çeliklerinin’de genel mekanik özellikleri (Türkloydu 2008).

Kalite	Akma Dayanımı (N/mm ²) min.	Çekme Dayanımı (N/mm ²) min.	Kopma Uzaması (%) min.	Çentik darbe testleri						
				Test Sıcaklığı (°C)	Darbe enerjisi (J)					
					t≤50 mm		50<t≤70 mm		70<t≤100 mm	
					Boyuna	Enine	Boyuna	Enine	Boyuna	Enine
AH32	315	440-570 (2)	22 (1)	0	31	22	38	26	46	31
DH32				-20	31	22	38	26	46	31
EH32				-40	31	22	38	26	46	31
FH32				-60	31	22	Kullanılamaz			
AH36	355	490-630 (2)	21 (1)	0	34	24	41	27	50	34
DH36				-20	34	24	41	27	50	34
EH36				-40	34	24	41	27	50	34
FH36				-60	34	24	Kullanılamaz			
AH40	390	510-660 (2)	20 (1)	0	41	27	Kullanılamaz			
DH40				-20	41	27				
EH40				-40	41	27				
FH40				-60	41	27				

t= mamul kalınlığı

(1) Genişliği 25 mm ölçü uzunluğu 200 mm ve kalınlığı mamul kalınlığında olan düz çekme test parçalarında kopma uzaması, aşağıdaki minimum değerlere erişmelidir.

Kalınlık (mm)		≤5	>5	>10	>15	>20	>25	>30	>40
			≤10	≤15	≤20	≤25	≤30	≤40	≤50
Kopma uzaması (%)	AH32, DH32, EH32, FH32	14	16	17	18	19	20	21	22
	AH36, DH36, EH36, FH36	13	15	16	17	18	19	20	21
	AH40, DH40, EH40, FH40	12	14	15	16	17	18	19	20

(2) Termo-mekanik haddelenmiş çeliklerde çekme mukavemetinin alt sınırı 30 N/mm²’den fazla aşılmamalıdır.

3.3 DÜŞÜK SICAKLIKLARDA KULLANILAN TEKNE YAPIM ÇELİĞİ

Özellikle sıvılaştırılmış gaz taşınması için amaçlanan tanker gemilerinde özel nitelikli saclar kullanılır. Bu tür çelikler servis sıcaklıklarına göre 4 gruba ayrılır.

Servis sıcaklığı en az 0°C’de çalışacak çelikler, normalize edilmiş veya su verilmiş ve temperlenmiş, üst akma sınırı 410 N/mm²’yi aşmayan, ortalama darbe dayanımları 27J olan tamamen sakinleştirilmiş C-Mn saclardır.

Servis sıcaklığı 0°C ve -55°C arası çalışacak çelikler, genellikle tamamen sakinleştirilmiş normalize edilmiş, ince taneli C-Mn saclardır. Çizelge 3.5’de C-Mn çeliğinin kimyasal bileşimi, Çizelge 3.6’da ise mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5 0°C ve -55°C arası sıcaklıklarda çalışacak C-Mn çeliğinin kimyasal bileşimi (ABS, 2010).

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	V
%0.16 max.	%0.70- 1.60	%0.10- 0.50	%0.035 max.	%0.035 max.	%0.80 max.	%0.25 max.	%0.08 max.	%0.35 max.	%0.05 max.	%0.10 max.

Çizelge 3.6 0°C ve -55°C arası sıcaklıklarda çalışacak C-Mn çeliğinin mekanik özellikleri (ABS, 2010).

Servis Sıcaklığı	0°C	-55°C
Çekme dayanımı	400-490 N/mm ²	490-620 N/mm ²
Akma sınırı (min.)	235 N/mm ²	355 N/mm ²
Uzama (%)	21-24	19-22
Darbe dayanımı (ort.)	27 J	27 J

Servis sıcaklığı -55°C ve -196°C arası çalışacak çelikler, genellikle ince taneli ferritik Ni alaşımlı çeliklerdir. Fakat, östenitik paslanmaz çelik veya Al alaşımları da kullanılabilir (ABS, 2010). Ni alaşımı düşük sıcaklıklarda tokluğu artırır, ısıtılma sıcaklıklarını artırır, çeliğin kritik sıcaklıklarını düşürür (Oğuz 1989). Bu servis sıcaklığında çalışacak çelikler çekme ve çentik darbe dayanımları her sıcaklık için test edilmelidir. Çizelge 3.7’de, servis sıcaklığına göre kullanılması gereken çelikler ve çentik darbe deneyinin hangi sıcaklıkta yapılması gerektiği verilmiştir (ASTM standardına göre).

Servis sıcaklığı -196°C altında çalışacak çelikler, östenitik düşük karbonlu (%0.10 den az) paslanmaz çelikler ve alüminyum alaşımlarıdır. Kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri kullanılacak malzemeye göre değişmektedir (ABS 2006).

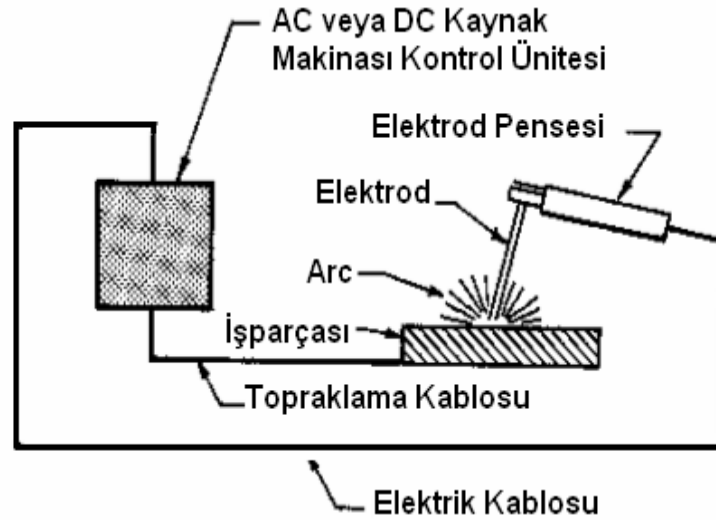
Çizelge 3.7 Servis sıcaklığına göre çentik darbe deney sıcaklıkları, çelik özellikleri ve Ni miktarları (ABS 2006).

Minimum servis sıcaklığı (°C)	Kimyasal bileşimi ve ısıt işlemleri	Darbe deneyi sıcaklığı (°C)
-60	%1,5 nikel çelik- normalize edilmiş	-65
-65	%2,25 nikel çelik- normalize edilmiş veya normalize edilmiş ve temperlenmiş.	-70
-90	%3,5 nikel çelik- normalize edilmiş veya normalize edilmiş ve temperlenmiş.	-95
-105	%5 nikel çelik- normalize edilmiş veya normalize edilmiş ve temperlenmiş.	-110
-165	%9 nikel çelik- iki kere normalize edilmiş ve temperlenmiş veya su verilmiş ve temperlenmiş.	-196
-165	Östenitik çelik, 304, 304L, 316, 316L, 321 ve 347 gibi çözündürme işlenmiş.	-196
-165	Alüminyum alaşımları; tavlanmış 5083 gibi	Gerek yok
-165	Isıt işlenmiş Fe-Ni alaşımlı östenitik (%36 nikel) çelik	Gerek yok

BÖLÜM 4

ELEKTRİK ARK KAYNAĞI

Metalik parçaların, elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesi özelliğinden yararlanıp ergitilerek, aynı cins elektrodla ek yerlerinden birleştirilmesidir (MEGEP 2005). Kaynaklı bağlantı için gerekli ısı, elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark vasıtasıyla sağlanır (Anık vd. 1991). Şekil 4.1’de elektrik ark kaynağının çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.

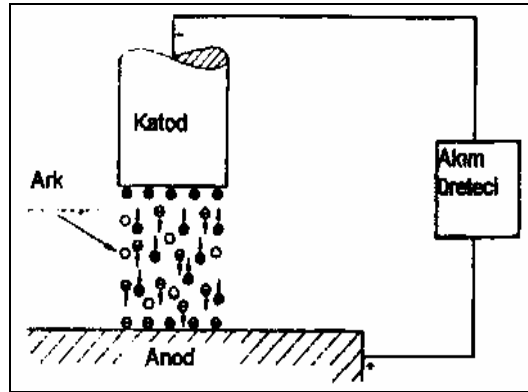


Şekil 4.1 Elektrik ark kaynağı çalışma prensibi (Anık vd. 1991).

4.1 ARK

Kızgın bir katottan yayılan elektronların yüksek hızla anot kutbunu bombardıman etmesi neticesinde, nötr moleküller iyonize olup yüksek bir ısı enerjisi meydana getirir. Bu duruma ark denir ve enerjinin % 85'i ısı, % 15'i de ışık enerjisine dönüşür. Kaynak arkı, yüksek akım şiddetli, alçak gerilimli, yüksek bir elektron yoğunlaşmasını gerektiren arktır (Anık vd. 1991, Cho et al. 1999, Weman 2003). Ark içindeki elektronlar ve iyonlar, yük taşıyıcı olarak görev yaparlar. Pozitif ve negatif yük taşıyıcılar, ark içinde kendilerine uygun kutba doğru hareket

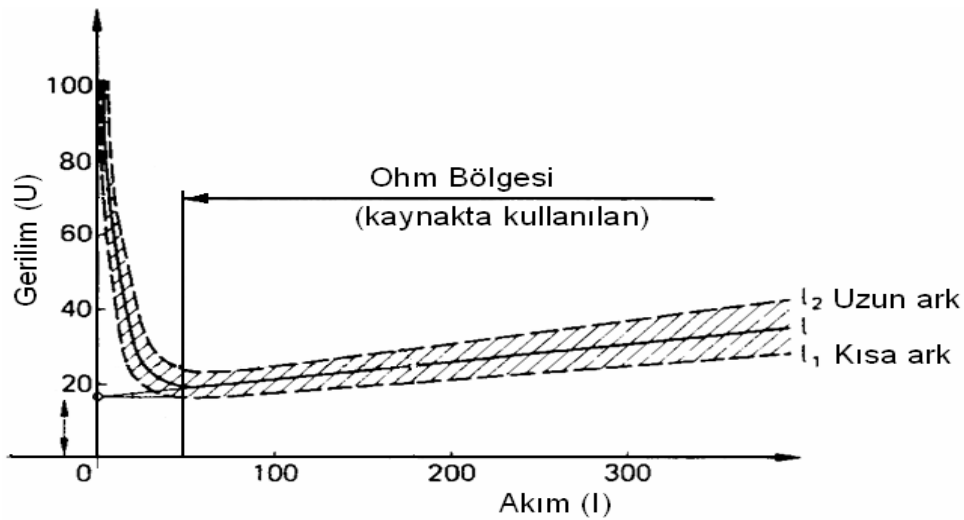
ederler; diğer bir deyişle elektronlar anoda (pozitif kutba) doğru giderken iyonlar katoda (negatif kutba) doğru hareket eder (Şekil 4.2) (Anık vd. 1991, Benli 2004).



Şekil 4.2 Ark akım akışı (Anık vd. 1991).

Ark oluşmasında elektrod ile iş parçası arasındaki mesafenin önemi büyüktür. Birçok kaynak uygulamasında ark boyunun anılması, ark boyları arasındaki farkın kavranmasını gerekli kılmaktadır. Buna göre; ark boyu elektrod çapına eşit olduğu takdirde, normal ark boyu olarak anılması gerekir. Ark boyu elektrod çapından büyük olduğu takdirde ismi; uzun ark olur. Elektrod çapından küçük mesafeler ise, kısa ark boyu olarak anılmaktadır.

Arkta akımın ve gerilimin değişimi, arkın karakteristik eğrisi ile gösterilir. Düşük akım bölgesinde artan akımla gerilim çok fazla düşerken, kaynağa uygun Ohm Bölgesinde ark geriliminin artmasıyla akım da artar (Şekil 4.3). Uzun bir ark, kısa arka göre aynı akım şiddetinde ancak daha yüksek gerilimde yanar (Weman 2003, Pelerin et al. 2005, URL-1 2009).



Şekil 4.3 Ark karakteristiği (İTÜ 2009).

4.1.1 Ark Üfleme

Elektrik arkı ve akımı içeren bütün kaynak işlemlerinde manyetik alanların yarattığı bozulmalara rastlanır. Bunun sebebi arkı oluşturan elektronların manyetik alan etkisi ile bir dağılma göstermesidir. Kaynak sırasında manyetik alan genellikle kaynak ağzı boyunca oluşur ve ark sapar. Ark yansımaları kendi manyetik alanını oluşturur ve bu alan çeliğin kendi manyetik alanı ile etkileşir ve bazı durumlarda ark tamamen dağılır (Aydın 1994).

Ark üfleme yalnız doğru akımla yapılan kaynakta ortaya çıkar; alternatif akım kaynağında pratik olarak ark üfleme yoktur. Manyetik alan ferromanyetik malzemelerde çok kuvvetli olduğundan özellikle çeliğin kaynağında ark üfleme daha fazla kendini gösterir. Ark üfleme istenmeyen bir olaydır. Çünkü bu üfleme, hatasız kaynak yapma olanağını kısıtlar. Kaynakçı cürufun akışına hakim olamaz ve sonuçta cüruf kalıntısı içeren yetersiz bir birleşme, hatalı dikiş formu, nüfuziyetsiz zayıf bağlantılar elde edilir. Diğer yandan ark üfleme, kaynak hızını azalttığı gibi birleşmenin kalitesini de derinden etkiler. Ark üfleme kaynağın başlangıç ve bitim yerlerinde, iç ve dış köşe kaynaklarında, derin dolgu kaynaklarında ve yüksek akım ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde, daha sık açığa çıkar (Weman 2003, Kaluç 2004, Goyal 2008, URL-1 2009).

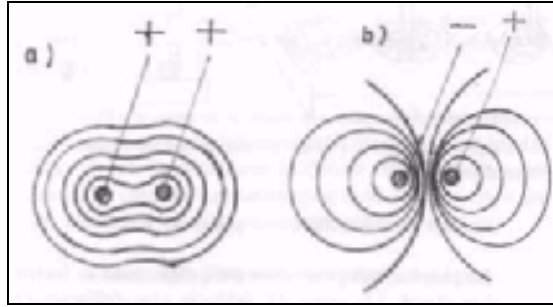
4.1.1.1 Ark Üfleminin Nedenleri ve Giderilmesi

Ark üflemesine sebep olan başlıca faktörler şunlardır;

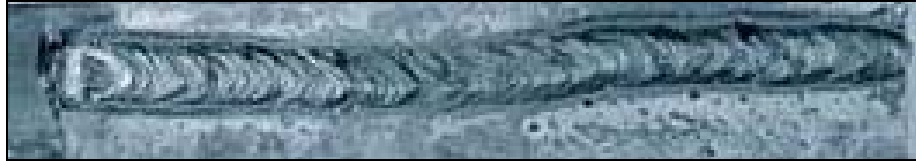
- Paralel iki iletkendeki akım yönü
- Akım geçen bir iletkenin eğimi
- Parçadaki akım yönü
- Manyetik iletkenlerin etkisi
- Birden fazla kaynakçının aynı parça üzerinde beraber çalışması
- Hava akımının etkisi

Şekil 4.4 paralel iki iletkendeki akım yönüne bir örnektir. Burada yan yana paralel duran iki iletkenden akım geçtiği zaman, akım yönü aynı olursa, meydana gelen kuvvet alanları birleşir (Şekil 4.4a). Akım yönü ters olursa, kuvvet alanları ayrılır (Şekil 4.4b) (Takacs 1999, Kaluç 2004).

Akım geçen bir iletkenin eğik olması halinde, kuvvet hatları arkın yönünü değiştirir (Kaluç 2004). Şekil 3.5'te elektrodun eğik tutulması ark yönünün sapmasına sebep olmuştur.

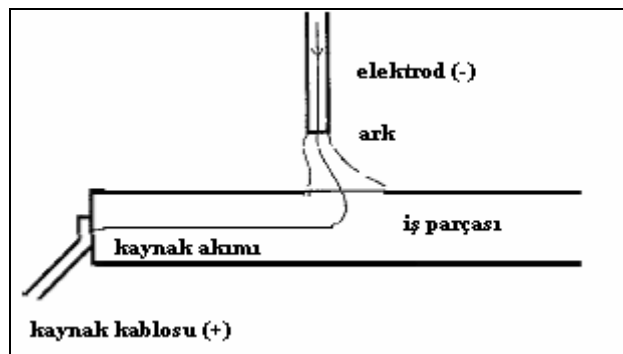


Şekil 4.4 Paralel iki iletkenden akım geçmesi halinde meydana gelen manyetik kuvvet alanları. a) akım yönü aynı, b) akım yönü ters (Anık ve Tülbentçi 1986).



Şekil 4.5 Elektrodun eğik tutulmasıyla arkın yön değiştirmesi (Anon).

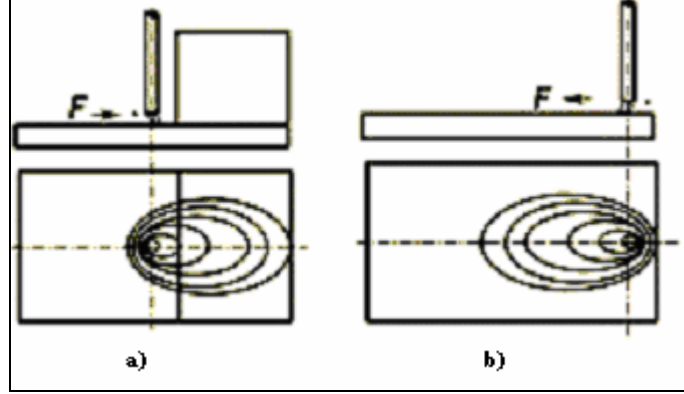
Arkın yön değiştirmesine etkiyen önemli etmenlerden bir tanesi de kaynak yapılan parçadaki akımın yönüdür. Bu konuda kaynak makinesinin pozitif kutbunun (kablosunun) parçaya bağlandığı yerin pozisyonu arkın sapma yönünü belirler (Şekil 4.6) (Weman 2003, Kaluç 2004).



Şekil 4.6 Kaynak yapılan parçadaki akım yönünden ark üflemesine etkisi (Weman 2003).

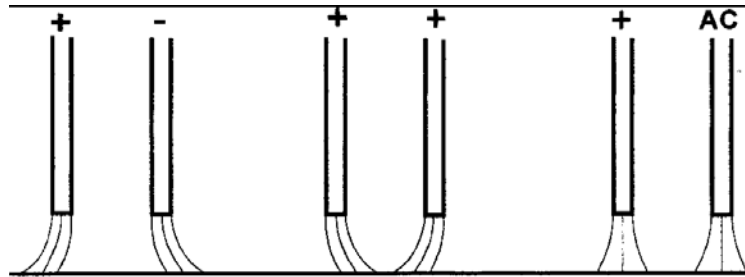
Demir, manyetik kuvvet çizgilerini havadan çok daha iyi iletir. Bir parçada kaynağa başlarken, uçta kuvvet çizgileri daha sıktır, parçanın ortasına doğru seyrekleşir. Parçanın ortasında çizgiler, normal bir dağılım gösterir; parçanın sonunda ise çizgiler, yine parçaya

doğru seyrek ve son uçta sıktır. Bu olaylar arkın, kaynatılan parçanın başında, ortasında ve sonunda çeşitli yönlerde üflemesine neden olur. Nitekim Şekil 4.7a’da büyük bir çelik kütlenin bulunduğu yöne doğru ark üflemesi ve oluşan manyetik alan çizgileri, Şekil 4.7b’de ise kaynak ağzlarının içersinde yapılmış olan dikişe doğru ark üflemesi ve oluşan manyetik alan çizgileri gösterilmiştir (Karadeniz ve Karaoğlu 1997, Tusek et al. 2002).



Şekil 4.7 a) Büyük bir çelik kütlenin bulunduğu yöne ark üflemesi ve manyetik alan çizgileri, b) Kaynak ağzlarının içersinde yapılmış olan dikişe doğru ark üflemesi ve manyetik alan çizgileri (Tusek et al. 2002).

Birçok kaynakçının aynı parça üzerinde birbirine yakın olarak çalışması da, arkların yön değiştirmesine neden olur (Şekil 4.8). Birbirine paralel iletkenlerden aynı yönde akımın geçmesi durumunda, oluşan kuvvet alanları birleşir, akım yönü ters olursa kuvvet alanları ayrılır. Birden fazla kaynakçının aynı parça üzerinde birbirlerine yakın çalışması halinde, arklar birbirlerine doğru yönelir (Weman 2003, Kaluç 2004).



Şekil 4.8 Birden fazla kaynakçının aynı parça üzerinde beraber çalışması halinde akım üfleme yönleri (Weman 2003).

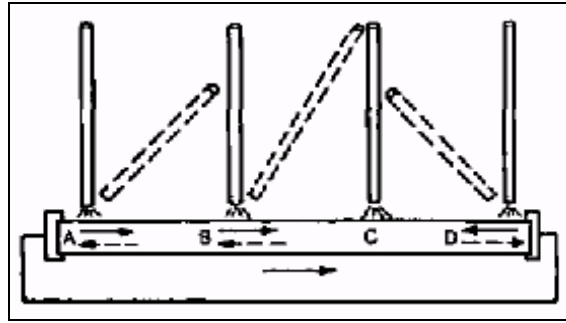
Kaynak esnasında arkın yön değiştirmesine hava akımının da etkisi vardır. Kaynak yaparken sürekli olarak bir hava akımı oluşur, arkın sıcaklığı ile ısınan hava yukarıya doğru çıkar ve bunun yerini aşağıdan gelen soğuk hava alır. Bu olayın arkın üflemesine neden olması çok az

rastlanan bir durumdur. Uygulamada, ark üflemesine yukarıda açıklanmış olan çeşitli nedenler beraberce, çeşitli şiddetlerde etkiyerek neden olmaktadır (Kaluç E 2004).

Ark üflemesine sebep olan bu olayların giderilmesi için alınması gereken önlemler şunlardır;

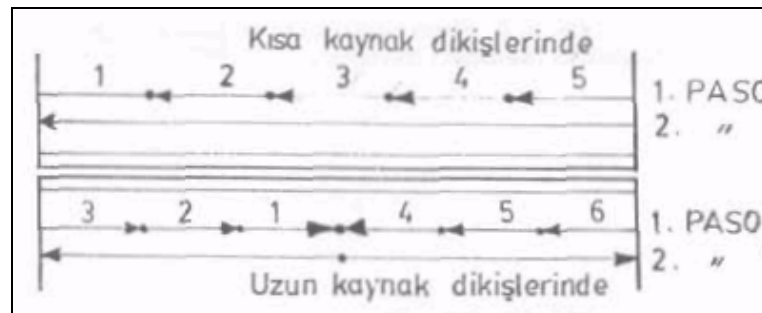
- Elektroda uygun eğimin verilmesi
- İlk pasonun adım yöntemiyle kaynak yapılması
- Yeri değişebilen bir kutup bağlantısının kullanılması
- Dikişin puntalanması
- Kısa ark boyu ile kaynak yapılması
- Alternatif akım kullanılması
- İlave demir kütleler kullanılması
- İnce çaplı elektrodlarla kaynak yapmak

Elektroda uygun eğim verilmesi ark üflemesini engellemek için uygulanan en sık ve en kolay yöntemdir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Kaynak yaparken elektroda eğim vererek ark üflemesinin önlenmesi (Anık ve Tülbentçi 1986).

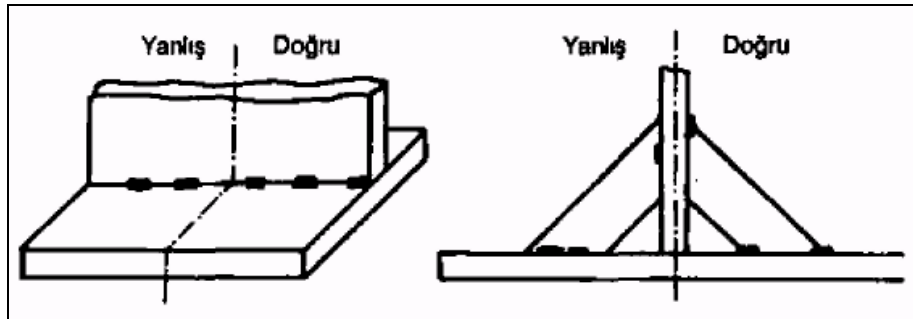
İlk pasonun adım yöntemi ile adım adım kaynak yapılması ark üflemesini engeller (Takacs 1999, Anık ve Tülbentçi 1986). Şekil 4.10'de adım usulü ile kaynak yapılan bir dikişteki kaynak sırası verilmiştir.



Şekil 4.10 Kaynak dikişlerinde adım yönteminin uygulanışı (Anık ve Tülbentçi 1986).

Kaynak yaparken, yeri değişebilen bir kutup bağlantısı kullanılması ile ark üflemesi uygun bir hale dönüşebilir. Bunun için de parçaya bağlanan kablo daima yeri kolayca değişebilecek bir düzenle bağlanır. Böylece pozitif kutup istenen noktaya getirilerek kuvvet çizgilerinin kontrol altında tutulması ile ark üflemesinin yönüne etkide bulunmak mümkün olur (Tusek et al. 2002, Kaluç 2004).

Kaynak yapılan parçalar çeşitli yerlerinden puntalarla uygun bir biçimde bağlandığında, hava aralığı küçüleceğinden, ark üflemesi de azalır. Ancak, bu puntalama belirli bir sıra ile düzgün yapılmalıdır. şekil 4.11’de örnekler üzerinde yanlış ve doğru puntalama biçimleri verilmiştir (Karadeniz ve Karaoğlu 1997, Kaluç 2004).

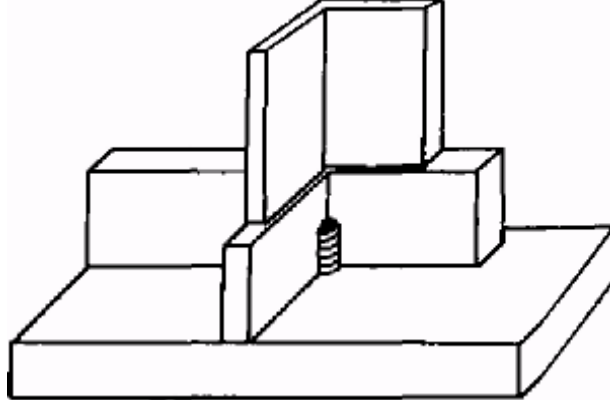


şekil 4.11 Hatalı ve doğru puntalama (Anık ve Tülbentçi 1986).

Kısa ark ile çalışmakta ark üflemesini önler. Uygulamada uzun ark boyu ile çalışıldığında, ark üflemesinin, kısa ark boyuna oranla, daha kuvvetli olduğu grlmştir; bu nedenle ark üflemesini önlemek için, daima kısa ark boyu ile çalışılmalıdır (Anık ve Tülbentçi 1986, Goyal 2008).

Alternatif akımda kaynak yaparken, ark üflemesi, doğru akıma oranla çok daha az bir şiddette, uygulamada hissedilemeyecek bir derece ortaya çıkar. Bu bakımdan, ark üflemesinin önlenmesinin güç olduğu hallerde alternatif akım ile kaynak yapılması önerilir (Anık ve Tülbentçi 1986).

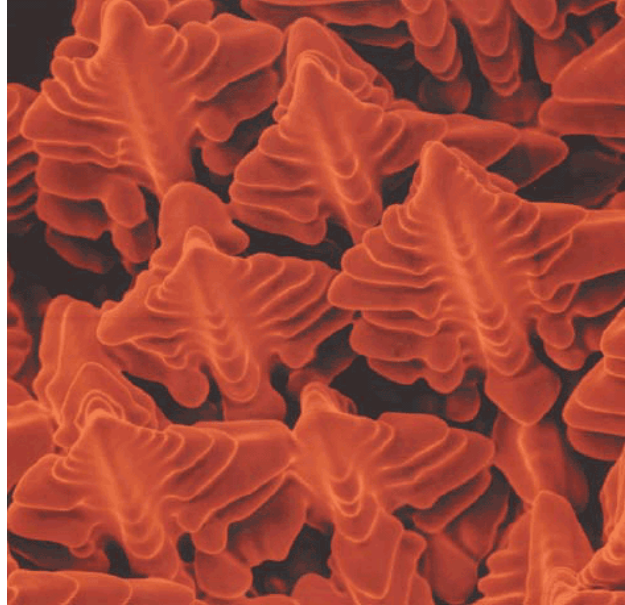
Önceden belirtilmiş olduğu gibi manyetik kütleler arkı kendi yönlerine çekmektedir. Örneğin; kaynak yapılan bir yerin uç kısmında ark, parçanın orta kısmına doğru üflenmektedir. Bu şekilde kaynak yaparken üfleme yönünün ters tarafına iri demir kütleleri koyarak ark üflemesi kontrol altına alınabilmektedir (şekil 4.12) (Takacs 1999, Kaluç 2004).



Şekil 4.12 İlave demir kütlelerin kullanılması (Anık ve Tülbentçi 1986).

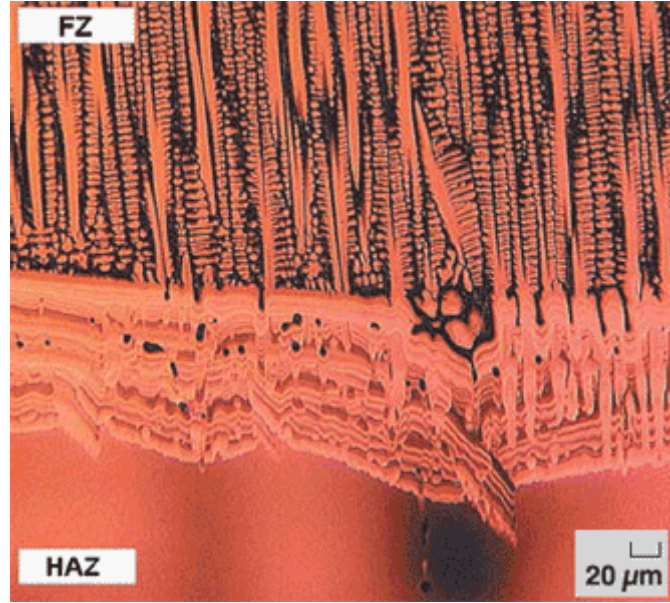
4.2 KAYNAK SONRASI OLUŞAN İÇ YAPILAR

Ergitme kaynaklarında aşırı ısıtılmış kaynak metali ana malzemenin ergime yüzeyleri üzerine yığılır ve hızlı bir şekilde soğumaya başlar. Kaynak banyosu içinde soğuma esnasında, önce ısının çekildiği yöne paralel doğrultuda kolonsal şekilli tanecikler oluşur. Bunlar, katılaşmadan ve birbirlerine değip tane sınırları oluşturmadan önce, soğuma yönüne bağlı olarak kolonlar üzerinde bir takım dallar oluşur ve çam ağacını andıran bu yapılara dendrit adı verilir (Şekil 4.13) (David et al. 2003, Goyal et al. 2008).



Şekil 4.13 Elektron mikroskobunda çekilmiş dendritlerin oluşumu (David et al. 2003).

Dendritlerin dalları katılaşıp birbirlerine değeri ve bu şekilde taneler oluşur. Bu olay, dendritik büyüme olarak adlandırılır. Şayet ısı dağılımı çok hızlı değilse, gaz kaynağı veya elektro-cüruf kaynağında olduğu gibi, kolonsal şekilli taneler azalır. Ezilmiş şekilli ve kaynağın merkezine eş eksenli taneler oluşabilir. Şekil 4.14'te optik mikroskop yardımıyla bu değışim gösterilmektedir. Eş eksenli taneler, aynı ölçüde eksenlere sahiptirler ve küreye benzerler (Cebekan 1988, ASM International 2001, Asarkaya 2006).



Şekil 4.14 Aşağıdan yukarı doğru dendrit morfolojisinin değışimi (David et al. 2003).

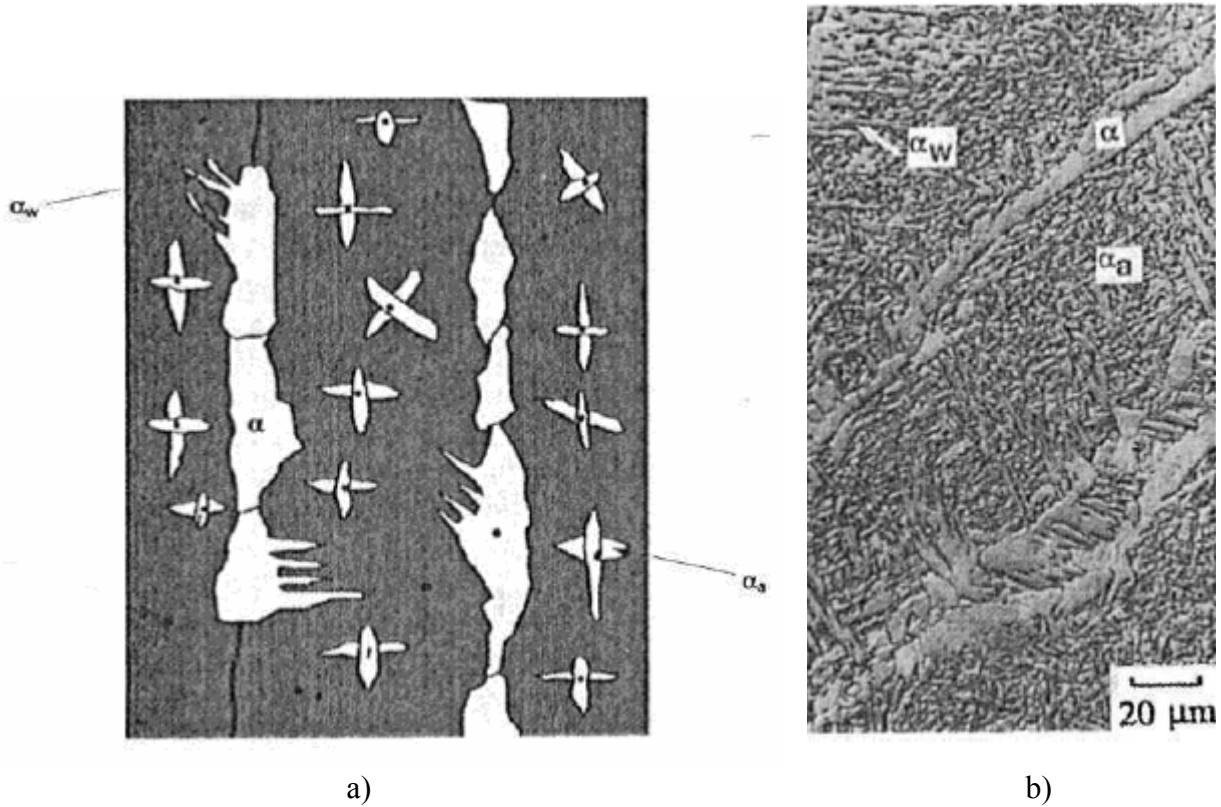
Kaynak bağlantısının bulunduğu ve kaynak esnasında tatbik edilen ısıdan etkilenen bölgelerin tümüne kaynak bölgesi ismi verilir. Bu bölge erime bölgesi ve ITAB olmak üzere iki kısımdan meydana gelmiştir (Bhadeshia and Honeycombe 2006).

Erime bölgesi kaynak esnasında tatbik edilen ısının tesiri ile eriyen ve kaynağı takiben katılaşıp bölgedir ve kaynak metali ve ana metalin karışımından ibarettir. ITAB'a erime çizgisi adını verdiğimiz, kaynak esnasında erimiş ve erimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır parlatılmış ve dağlanmış bir kaynak bağlantısı enine kesiti üzerinde çıplak gözle dahi görülebilir (ASM International 2001).

ITAB, kaynak metali ile ana metalin birleştiği sınırdan itibaren kaynak işlemi esnasında sıcaklığın iç yapıya, dolayısıyla metalin özelliklerine tesirinin görüldüğü bölgedir. Çeliklerin kaynağında, bu bölgede sıcaklık 1450°C ilâ 700°C arasında değışmektedir. Erişilen

maksimum sıcaklığa bağlı olarak çeşitli iç yapı ve özellik gösteren kısımlar mevcuttur. Kaynak esnasında, ITAB süratli bir şekilde ısınmakta ve sonra da parça kalınlığı, kaynağa tatbik edilen enerji ve ön sıcaklığının fonksiyonu olarak oldukça hızlı soğumaktadır; çeliğin bileşimine göre bu soğuma hızı, kritik soğuma hızını aştığında, genellikle 900°C'nin üstündeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert, dolayısıyla kırılğan bir yapı elde edilir. Genellikle ITAB diye isimlendirilen bu kısım kaynak bağlantısının en kritik bölgesini teşkil eder ve bir çok çatlama ve kırılmalar ve bölgede meydana gelir (Smallman and Bishop1999, Dikicioğlu 2006, Fujii et al. 2006, Black and Kohser 2007, Cabrera et al. 2008, Shi et al. 2008).

Kaynak banyosu ortam sıcaklığına kadar soğuduğunda oluşan iç yapı; ferrit, Widmanstatten ferrit ve asiküler ferrittir, ayrıca az sayıda martenzit, artık östenit veya perlite rastlanabilir. Şekil 4.15'te kaynak sonrası oluşan iç yapıların şematik ve elektron mikroskobu altındaki görüntüsü verilmiştir (Bhadeshia and Honeycombe 2006).



Şekil 4.15 Kaynak sonrası oluşan iç yapı a) şematik, b) elektron mikroskobu altındaki görüntüsü. α , α_w ve α_a sırasıyla ferrit, widmanstatten ferrit ve asiküler ferriti ifade eder (Bhadeshia and Honeycombe 2006).

Genelde kaynaktan sonra 4 farklı iç yapı oluşur. **İri taneli bölge**; Erime bölgesine bitişik olan ve kaynak esnasında 1450 ilâ 1150°C arasındaki bir sıcaklığın etkisinde kalmış olan bölgedir.

Perlit içinde ferrit yapıya rastlanır (Şekil 4.16) (Cebekan 1988, Bhadeshia and Svensson 1993).

Bilindiği gibi metaller yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa ısıtıldıklarında tane büyümesi adı verilen bir olay meydana gelir. Bazı taneler büyür ve kısmen veya tamamen küçük tanelerin yerine geçer. Bunun neticesi olarak da ortalama tane boyutu büyür. Tane büyümesi hızı sıcaklık arttıkça artar ve metalin solidüsüne yaklaşıldığında büyüme çok hızlanır. İri taneli yapılar, ince taneli yapılara nazaran daha gevrek ve kırılgan olduklarından varlıkları arzu edilmez (Cebekan 1988, Weman 2001, Vural vd. 2003, Nandan et al. 2008).

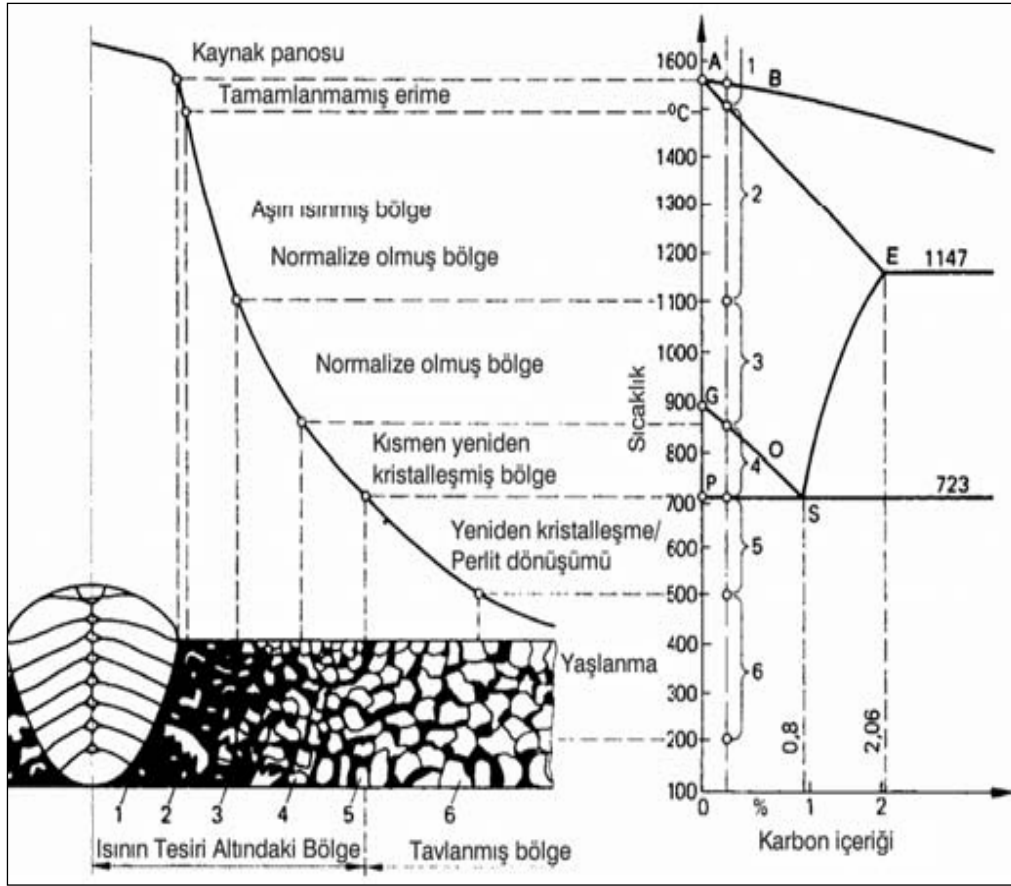
İnce taneli bölge; Kaynak esnasında 900 ilâ 1150°C arasında bir sıcaklığa maruz kalmış bölgede tane büyümesine rastlanmaz. Bu bölgede de östenit teşekkül etmiş olduğundan, soğuma esnasında, soğuma hızı ve çeliğin bileşimine bağlı olarak aynen iri taneli bölgede görülen iç yapıya benzer bir iç yapı görülür ve perlit ve ferrit yapılar ayrı ayrı görünür (Şekil 4.17) (Cebekan 1988, Bishop and Smallman 1999, ASM International 2001).

Kısmen dönüşmüş bölge; İnce taneli bölgenin devamı olan bu bölge, kaynak işlemi esnasında A₃ ilâ A₁ arası bir sıcaklığa kadar ısınmıştır. Dolayısıyla kısmi bir östenitizasyona uğramıştır ve soğuma esnasında östenit dönüşüme uğrar ve dolayısıyla yapısındaki östenit miktarına bağlı olarak ilk iki bölgeyi andıran bir iç yapı gösterir ve ferrit içinde sementite rastlanır (Şekil 4.18) (Cebekan 1988, Weman 2001, Fujii et al. 2006).

İç yapı değişikliğine uğramayan bölge; Bu bölgenin sıcaklığı, kaynak esnasında Fe₃C denge diyagramında A₁ noktasının altında bulunur ve genellikle iç yapı değişime uğramamıştır ve perlit yapı lameller halinde görülür (Şekil 4.19) (Cebekan 1988, Weman 2001, Bhadeshia and Honeycombe 2006, Fujii et al. 2006).

Şekil 4.16’da %0.3 C içeren bir çeliğin kaynak metalinin ITAB’ta oluşan tane yapıları gösterilmiştir.

ITAB’ın özelliklerinin önceden belirlenebilmesi için kaynak yapılan malzemenin bileşiminin, kaynaktan önce geçirmiş olduğu ısıl işlemlerin ve kaynak esnasında sıcaklığın dağılımı ve değişiminin bilinmesi gereklidir (Bishop and Smallman 1999, ASM International 2001).



Şekil 4.16 Kaynak metalinin ITAB'ta oluşan tane yapıların şematik gösterimi (Vural vd. 2003).

Bütün eritme kaynak usullerinde ve bilhassa elektrik ark kaynağında soğuma hızı, sertleşme kabiliyetine sahip çeliklerde, gereken önlemler alınmadığı zaman, ITAB'da martenzit oluşabilir. Kaynak metali için, yani erime bölgesi için böyle bir tehlike mevcut değildir; zira kaynak metalinin bileşimi elektrod imalatçıları tarafından hızlı soğuma halinde dahi sertleşme meydana gelmeyecek şekilde ayarlanmıştır (Vural vd. 2003, Bhadeshia and Honeycombe 2006).

ITAB'de sert ve kırılgan bir yapının ortaya çıkması, soğuk çatlakların oluşmasına sebep olmaktadır. Kaynaktan sonra ortaya çıkan iç gerilmelerin, çalışma şartlarındaki zorlamaların ve kaynak banyosundan yayılan hidrojenin etkilerinin birbiri üzerine çakışması ve sertleşen bölgenin plastik şekil değiştirme özelliğinin olmaması nedeni ile kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Genellikle yüzeyden görülmeyen bu çatlaklar, zamanla bir kritik büyüklüğe erişince hiç beklenmedik bir anda, parçanın kaynak dikişine paralel olarak, büyük bir süratle (takriben çelik içindeki ses hızının 1/3'ü kadar) boydan boy kırılmasına sebep olur.

Kaynakta çeliğin sertleşme eğilimini belirten bir değer sayısının bulunması ve bununla çeliğin bileşimine dayanarak, kaynak kabiliyetini belirten bir formülün elde edilmesi için birçok çalışma yapılmış ve alaşım elementlerinin verdiği sertleşmeye eş değerde sertliği sağlayan karbon miktarı saptanmıştır. Karbon eşdeğerine bağlı olarak ön tavlama sıcaklıkları saptaması Çizelge 4.1’de verilmiştir (Cebekan 1988, ASM International 2001, Asarkaya 2006, Dikicioğlu 2006).

Çizelge 4.1 Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklıklarının belirlenmesi (Weman 2003).

Karbon eşdeğeri (%)	Ön tav sıcaklığı °C
0.45’den küçük	Normal atmosfer şartlarında ihtiyaç yoktur.
0.45 ilâ 0.60	100 ilâ 200
0.60’dan büyük	200 ilâ 350

Karbon eşdeğer hesaplama formülü ise aşağıda verilen formülle hesaplanır.

$$\% Ceş = \% C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (4.1)$$

Uluslararası Kaynak Enstitüsü’nün belirlediği çatlamaya karşı bir emniyet olarak ITAB’da sertliğin 350 VSD’ni asmamasını önemle tavsiye etmektedir. ITAB bölgesi sertliğini düşürmek için uygulanan en güvenli yol kaynaktan önce tavlama ve bu sıcaklık derecesinde kaynağı yapmaktır. Kaynaktan sonra normalizasyon tavlama yapılsa ITAB’da martenzite rastlanmaz (David et al. 2003, Asarkaya 2006).

4.3 KAYNAK ELEKTRODLARI

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrodlar, kaynağın amacına göre birleştirme ve dolgu kaynağı elektrodları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Birleştirme kaynağında kullanılan elektrodların oluşturduğu kaynak metalinin yüksek dayanım değerine sahip, tok ve sünek olması istenir; buna karşın dolgu kaynağında kaynak metalinin sert ve aşınmaya dayanıklı olması arzu edilir.

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrodların bir grubu sadece ark oluşturmak, diğer bir grubu ise hem ark hem de ek kaynak metalini sağlamak amacı ile üretilmişlerdir. Bu bakımdan kaynak yönteminde kullanılan elektrodları, eriyen ve erimeyen elektrodlar olmak

üzere de iki ana grup altında toplamak mümkündür (Anık vd. 1991, Eyres 2001, Weman 2003 Nowacki and Rybicki 2005).

4.3.1 Erimeyen Elektrodlar

Bu elektrodlar sadece arkı oluşturmak için kullanılır; gerekli hallerde kaynak metali, bir tel çubuk halinde, aynen oksiasetlen kaynak yönteminde olduğu gibi kaynak bölgesine dışarıdan katılır. Elektrik ark kaynağında bu tür elektrodlar karbondan ve tungstenden yapılır. Karbon elektrodlar ince sacların kaynağında ve bazı özel kaynak yöntemlerinde kullanılır, genellikle dairesel kesitli olan karbon elektrodlar amorf, grafit ve elektrografit olmak üzere üç türdür. Grafit ve elektro grafit elektrodlar, grafit kömüründen üretilir ve amorf elektrodlardan daha yüksek bir akım şiddeti ile yüklenebilirler. Ömürleri de amorf elektrodlerden daha uzundur. En ucuzları amorf ve en pahalı olanları da elektrografit elektrodlardır. Tungsten elektrodlar ise bir gaz altı kaynak yöntemi olan TIG kaynağında kullanılmaktadırlar (Anık vd.1991, Eyres 2001, Weman 2003).

4.3.2 Eriyen Elektrodlar

Bu elektrodlar hem arkın oluşmasını hem de eriyerek gerekli kaynak metalini sağlarlar. Çeliklerin kaynağında kullanılan çıplak, özlü ve örtülü olmak üzere üç ayrı türde üretilirler (Anık vd. 1991).

4.3.2.1 Çıplak Elektrodlar

Bu tür elektrodlar, belirli alaşımlardan hazırlanmış, tozaltı, MIG-MAG kaynağı için kangala sarılmış, TIG ve oksiasetlen kaynağı için belirli boylarda kesilmiş dolu tel çubuklardır. Günümüzde artık elektrik ark kaynağı için çıplak tel elektrod üretimi yapılmamaktadır (Anık vd. 1991, Weman 2003).

4.3.2.2 Özlü Elektrodlar

Bu elektrodlar da bir tür çıplak elektrodur, yalnız bunlar bir boru şeklinde üretilmiş ve içlerinde öz diye adlandırılan, arkın stabilizasyonunu ve kaynak metalinin alaşımlanmasını sağlayan bir madde vardır. Özün yanması ile oluşan gaz dolayısı ile bu elektrodlarda havanın, kaynak banyosuna olumsuz etkisi daha azdır. Özlü elektrodların çubuk halinde olanları ancak

bazı özel sert dolgu işlemleri için üretilmektedir. Genellikle bugün MIG-MAG yöntemleri için çok çeşitli türde makaraya sarılı tel halinde özlü tel üretimi yaygındır (Anık 1991, Weman 2003).

4.3.2.3 Örtülü Elektrodlar

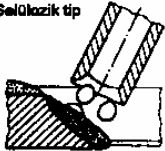
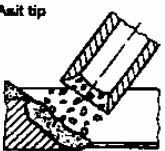
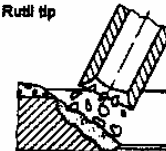
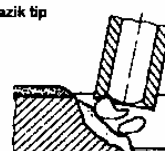
İlk defa, İsveçli Oscar Kjelberg tarafından 1904 yılında üretilmiş olan örtülü elektrodlarda, çıplak kaynak telinin üzerine sarma, daldırma ve ekstrüzyon ile geçirilmiş bir örtü maddesi (kabuk) vardır. Örtülü elektrodları elde etmek için, yukarıda belirtilmiş yöntemlerin hepsi olumlu sonuçlar vermelerine karşın, bugünün endüstrisi, birçok üstünlükleri nedeni ile üretim tekniği olarak, ekstrüzyon yöntemini uygulamaktadır (Anık vd. 1991, Weman 2003, Nowacki and Rybicki 2005).

Elektrod örtüsünün sağladığı faydaları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Arkın tutuşmasını ve teşekkülünü kolaylaştırır. Kaynağın hem doğru ve hem de alternatif akımla yapılmasını sağlar.
- Ergiyen metal damlalarının düzey gerilimine ve viskozitesine tesir ederek gerek tavan ve gerekse düşey kaynaklarda çalışmayı kolaylaştırır.
- Bir gaz atmosferi meydana getirerek kaynak dikişini atmosferin olumsuz tesirlerinden korur.
- Kaynaktan sonra dikişin üzerini bir cüruf tabakası ile örterek dikişin yavaş soğumasını sağlar.
- Gerekli hallerde kaynak dikişini alaşımlandırır.

TS 563 EN 499'a göre dört temel örtü türü vardır. Bunlar rutin, bazik, selülozik ve asittir.

Şekil 4.17, bu örtülerin bileşimlerini ve damla geçiş türlerini vermektedir.

Selülozik tip	Asit tip	Rutil tip	Bazik tip
			
Selülozik tip	Asit tip	Rutil tip	Bazik tip
Selüloz 40	Magnetit Fe_3O_4 50	Rutil TiO_2 45	Florid CaF_2 45
Rutil TiO_2 20	Kuartz SiO_2 25	Magnetit Fe_3O_4 10	Kireçtaşı $CaCO_3$ 40
Kuartz SiO_2 25	Kireçtaşı $CaCO_3$ 10	Kuartz SiO_2 25	Kuartz SiO_2 25
Fe-Mn 15	Fe - Mn 20	Kireçtaşı $CaCO_3$ 10	Fe - Mn 5
Cam suyu	Cam suyu	Fe - Mn 15	Cam suyu
		Cam suyu	

Şekil 4.17 Önemli örtü türlerinin analizleri ve damla geçişleri (URL-2 2009).

Rutil (Titandioksit) Elektrodlar

Bu tip elektrodlarda örtülerinde esas madde olarak çoğunlukla rutil şeklinde bulunan titandioksit veya ilmenit (demir ve titanoksit) ve bununla birlikte elektrodları kolay kullanılır duruma getiren yüksek oranda iyonlaştırıcı maddeler içerir (Oğuz 1989).

Muhtelif örtü kalınlıklarında imal edilen rutil elektrodlarda ergiyen kaynak metali örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde geçer ve aynı zamanda artan örtü kalınlığı dikişin mekanik özelliklerine de olumlu yönde tesir eder. Bu tip örtüler dikişi tamamen örten, oldukça kalın, rengi kahverenginden siyaha kadar değişen, çabuk katılaşan bir cüruf meydana getirir. Cürufun özellikleri örtüyü meydana getiren maddelerin miktar değişmesine bağlıdır. Örtüye ilave edilmiş olan feldspat, asbest ve gibi silisli maddeler çok akıcı bir cüruf veren titandioksit ile karışarak cürufun uygun akıcılıkta kalmasını sağlar (Anık ve Tülbentçi 1986, Weman 2003).

Rutil tip örtülü elektrodların özellikleri:

- Kaynak işlemi kolaydır.
- Çok yönlü kullanım imkanına sahiptir.
- Yumuşak bir arkla yanar ve sıçraması azdır.
- Yukarıdan aşağı hariç her pozisyonda kaynağa müsaittir.
- AC ve DC kaynak makinelerinde yakılabilir.
- Kaynak dikişinin görünümü güzel olur ve cüruf kendiliğinden kalkar.
- Rutubete karşı hassas değildir.
- Dikiş metali dövülebilir.
- St. 42'ye kadar olan genel yapı çeliklerin kaynağında kullanılabilir.

Bazik Elektrodlar

Bir ülkede bazik tip elektrod tüketim oranı, o ülkenin “makine imalat endüstrisi” seviyesinin önemli bir göstergesidir. Gelişmiş, endüstrileşme sürecini tamamlamış ülkelerde bu oran %50'nin üzerindedir. Günümüz teknolojisinde karşılaşılan en önemli sorunlardan bir tanesi “Gevrek Kırılma”dır. Gevrek kırılmaya karşı en dayanıklı kaynak dikişleri bazik tip elektrodlarla elde edilir (URL-3 2009).

Bazik karakterli elektrodların örtüsünde kalsiyum ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları ile bir miktarda kalsiyum flüorür bulunur. Özellikle kalın örtülü olarak üretilirler. Kaynak sırasında metale orta irilikte damlalar halinde geçer. Cüruf kahverengiden siyaha kadar değişen bir renk taşır. Cürufun katılaşma aralığı 1150 °C ile 1170 °C arasında olup, kalkması diğer elektrodlara nazaran daha güçtür (Anık vd. 1991).

Bazik elektrodlar genel olarak doğru akımda pozitif kutba bağlanarak kaynak yapılır, bazı türleri alternatif akımda da kullanılabilir. Ancak bunları örtülerinde potasyum bileşiklerinin olması gereklidir. Bazik elektrodlar bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. Aralık doldurma yetenekleri çok iyidir ve bu elektrodların mekanik özellikleri diğer elektrodlardan daha yüksektir. Bazik elektrodlar 0°C'nin altında bile sünekliği gayet iyi dikişler verir.

Genel olarak bazik elektrodların örtüsünde hidrojen oluşturacak bir madde bulunmadığından, dikişin absorbe ettiği hidrojen miktarı çok azdır. Bağlayıcı madde olarak kullanılan silikatın içinde kalabilecek herhangi bir rutubet kalıntısının önlenmesi içinde bu elektrodlar ayrıca 400-500°C'lik bir pişirme işlemine tabii tutulur. Özellikle hidrojenin, kaynak dikişinin geçiş bölgelerinde ince çatlaklar meydana getirdiği dikkate alınırsa, önleme bakımından, bazik elektrodların kullanılması büyük bir önem taşır (Oğuz 1989, Weman 2003, Asarkaya 2006, URL-3 2009).

Selülozik Elektrodlar

Selülozik elektrodların örtü formülünün %30 kadarını selüloz ve diğer organik maddeler oluşturur. Bunların ark içinde yanması CO ve CO₂ koruyucu gazlarını oluşturur. Ark güçlüdür, nüfuziyet diğer elektrodlara oranla fazladır. Organik maddelerin tam yanması için su yardımına gerek vardır, bu nedenle selülozik elektrodların örtüsünde % 5'e kadar bir nem oranı aranır. Bu nem ihtiyacı elektrodun depolanmasında bir avantaj oluşturur, tekrar fırınlamak gerekmez, hatta zararlı olabilir. Selülozik elektrodlar güçlü ark nedeniyle, yukarıdan aşağı dahil, her pozisyonda rahat kaynak yaparlar, derin nüfuziyet de güçlü bir kaynak dikişi oluşturur. Ancak bu elektrodların kaynağı sıçramalıdır ve çok duman çıkarır, kaynağın hareleri de kaba olur. Selülozik elektrodlar açık havada gemi inşa sanayi ve petrol boru hatları (pipe-line) kaynaklarında güvenle kullanılır. Özellikle röntgen kontrolü istenen kaynaklarda tercih edilir (Oğuz 1989, Weman 2003, URL-4 2009).

Asit Elektrodlar

Bu tip elektrodların örtüsü fazla miktarda ferromangan, demiroksit, kuartz ve diğer deoksidan maddeler ihtiva ederler. Bu elektrodlar genel olarak kalın örtülü olarak imal edilir ve kaynak esnasında kaynak metalinin geçişi artan örtü kalınlığı ile incelir. Cüruflarının katılaşma aralığı fazladır; çabuk akan ve düz dikişler veren bir elektroddur. Düşey kaynak hariç (yukarıdan aşağıya doğru) diğer pozisyonlarda kullanılabilirler. Cürufunun arka taraftan görünüşü bir bal peteğini andırır, çok gözenekli ve gevrekli. Hem doğru hem de alternatif akımda kullanılabilen bu elektrodların aralık doldurma kabiliyetleri iyi değildir. Kaynak ağızlarının iyi hazırlanması ve birbirlerine iyi uyması gereklidir (Anık ve Tülbentçi 1986, Weman 2003).

BÖLÜM 5

GAZALTI ARK KAYNAĞI

Gazaltı kaynağı, kaynak bölgesini havanın ve çevrenin olumsuz etkilerinden korumak amacıyla çeşitli koruyucu gazlar yardımıyla korunduğu kaynak yöntemidir. Kaynak bölgesi hava ile temas ederse, kaynak işlemi sağlıklı olmaz.

Bu yöntemde kullanılan gazlar aynı zamanda yanmayı hızlandırarak daha fazla ısının açığa çıkmasını sağlar, bu da kaynak nüfuziyetini artırır. Kaynak işleminde kullanılan gaz ve elektrod cinsi kaynağa adını verir (Anık ve Vural 1996).

Gazaltı ark kaynağı esas olarak kullanılan elektrod türüne göre sınıflandırılmıştır, bunlar erimeyen ve eriyen elektrodlar olarak gruplandırılabilir. Erimeyen elektrodlar tungsten mamul olduğundan dolayı “Gazaltı Tungsten Ark Kaynağı” olarak adlandırılmıştır. Eriyen elektrodlar ise hem ark taşıyıcı hem de ilave metal görevi yaptığından ve genellikle kaynak yapılan metalle aynı kimyasal bileşime sahip olduğundan, bu yöntem “Gazaltı Metal Ark Kaynağı” olarak adlandırılır. Bunlarda kendi içlerinde kullanılan koruyucu gaza göre tekrar sınıflandırılır.

Gazaltı tungsten ark kaynağında Argon-Hidrojen karışımları, ancak çoğu uygulamada da soy (inert) gazlar kullanılır. TIG kaynağında (Tungsten Inert Gas) bunlardan sadece argon, helyum veya ikisinin karışımı kullanılmaktadır. Kaynak için gerekli sıcaklık elektrod ucundaki arkta elde edilir, ark sonucu oluşan ısı etkisiyle parçalar kaynatılır. Elektrod olarak wolfram kullanıldığında, WIG kaynağı (Wolfram Inert Gas) adını alır. TIG ve WIG kaynağında elektrodun görevi ark oluşturmaktır. Gazaltı metal ark kaynağında hem soy hem de aktif gazlar kullanılabilir. Bu nedenle gazaltı metal ark kaynağı, Metal Inert Gaz (MIG) kaynağı ve Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı olarak ayrılır (Anık ve Vural 1996, Quimby and Ulrich 1999, Ay ve Demircioğlu 2006, Weman 2003).

Aşağıda gazaltı kaynak yönteminin avantajları ve dezavantajları sıralanmıştır (Anık ve Vural 1996, Quimby and Ulrich 1999, Weman 2003, Nadzam 2006);

Avantajları ;

- Gazaltı kaynağı örtülü elektrod ark kaynağına göre daha hızlı bir kaynak yöntemidir. Çünkü;
 - Tel şeklindeki kaynak elektrodu kaynak bölgesine sürekli beslendiği için kaynakçı örtülü elektrod ark kaynak yönteminde olduğu gibi tükenen elektrodu değiştirmek için kaynağı durdurmak zorunda değildir.
 - Cüruf oluşmadığı için örtülü elektrodlardaki gibi her paso sonrası cüruf temizliği işlemi yoktur ve kaynak metalinde cüruf kalıntısı oluşma riski olmadığından, daha kaliteli kaynaklar elde edilir.
 - Örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düşük çaplı elektrodlar kullanıldığından, aynı akım aralığında yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek metal yığılma hızına sahiptir.
- Gazaltı kaynağı ile elde edilen kaynak metali düşük hidrojen miktarına sahiptir, bu özellikle sertleşme özelliğine sahip çeliklerde önemlidir.
- Gazaltı kaynağında derin nüfuziyet sağlanabildiği için bazen küçük köşe kaynakları yapmaya izin verir ve örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düzgün bir kök penetrasyonu sağlar.
- İnce malzemeler çoğunlukla TIG kaynak yöntemi ile ilave metal kullanarak veya kullanmadan birleştirilse de, gazaltı kaynağı ince malzemelerin kaynağına örtülü elektrod ark kaynağından daha iyi sonuç verir.
- Hem yarı otomatik hem de tam otomatik kaynak sistemlerinde kullanıma çok uygundur.

Dezavantajları ;

- Gazaltı kaynak ekipmanları, örtülü elektrod ark kaynağı ekipmanlarına göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zordur.
- Gazaltı kaynak torcu iş parçasına yakın olması gerektiği için örtülü elektrod ark kaynağı gibi ulaşılması zor alanlarda kaynak yapmak kolay değildir.
- Sertleşme özelliği olan çeliklerde gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmeleri çatlamaya daha eğilimlidir çünkü, örtülü elektrod ark kaynağında olduğu gibi kaynak metalinin soğuma hızını düşüren bir cüruf tabakası yoktur.

- Gazaltı kaynağı, gaz korumasını kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir. Bu nedenle, örtülü elektrod ark kaynağına göre açık alanlarda kaynak yapmaya uygun değildir.

5.1 MIG/MAG KAYNAK YÖNTEMİ

MIG kaynağında kaynak dikişi, sürekli olarak ergiyen kaynak teli ile ergiyen ana malzemeden meydana gelir. Dikişin biçim ve boyutları, ark gücü, kaynak telinin ergime oranı ve ana malzemenin fiziksel özelliklerine bağlı olarak oluşur.

Yöntem ilk defa 1948 yılında bulunmuş, önce alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, sonra da yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağında, bakır ve alaşımlarının kaynağında ve karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmıştır (Nadzam 2006).

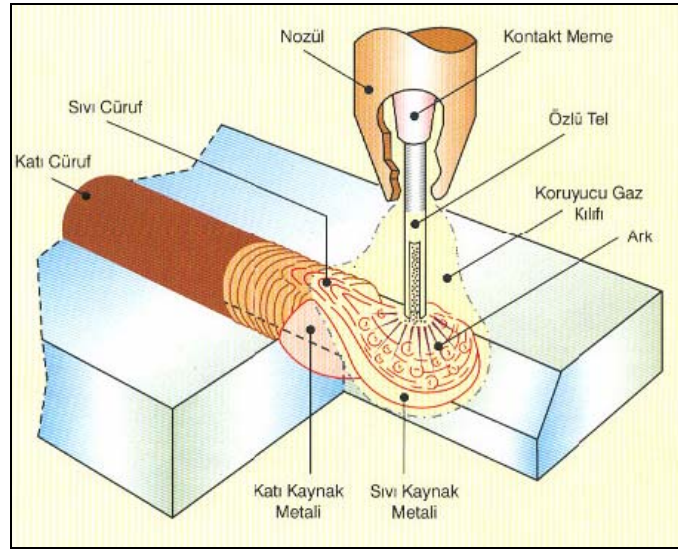
Yöntemin avantajları olarak, derin nüfuziyet, yüksek ergime verimi, kaynak hızının yüksek olması, sıçrama ve yanma kayıplarının küçük olması sayılabilir. Kaynak cihaz ve donatıları için bakım gerekmesi, koruyucu gazların maliyete etkimesi, yoğun ark ışın demetinin insan gözü üzerindeki zararlı etkileri ise yöntemin dezavantajlı yönleridir (Quimby and Ulrich 1999, Pellerin et al. 2005, Nadzam 2006)

MAG kaynağı ise MIG kaynağına benzemekle beraber kullanılan koruyucu gaz yönünden bu yöntemden ayrılmaktadır. Ayrıca, katı CO₂'in kaynak tabancasına gelmesi için, özel bir elektrik ısıtıcılı, basınç düşürücülü bir ventil ile donatılmıştır.

Yöntem kullanılan gazlara bağlı olarak MAGC (CO₂), MAGM (karışım gazları), MAGCI (ayrı kanallardan beslenen gazlar) şeklinde değişik sembolik gösterilişlerle adlandırılmaktadır (Tülbentçi 1990, Anık ve Vural 1996).

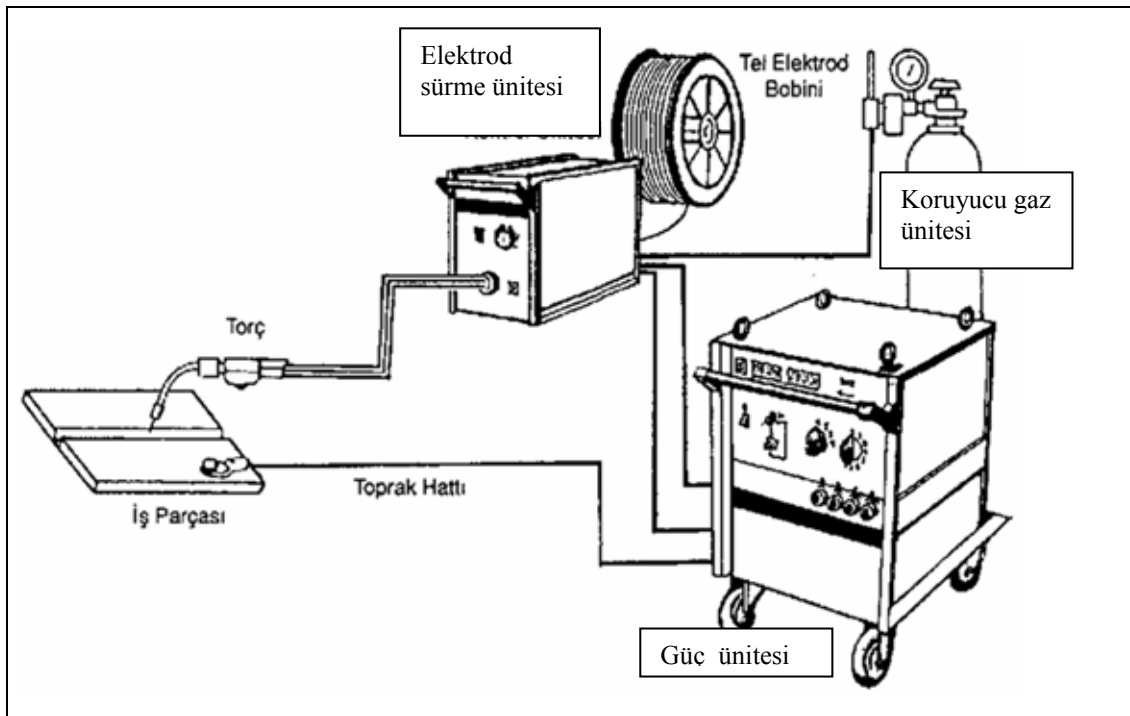
Şekil 5.1, MIG/MAG kaynağının prensibini vermektedir. Bu yöntemde ark, eriyen bir tel elektrod ile iş parçası arasında yanar; koruyucu gaz soy ve aktif olabilir. Bir tel makarasından gelen tel, torca iletilir. Telin bu dış ucunda akım kontak borusu yer alır. Kontak borusu, gaz memesinin içinde eşeksenli olarak bulunur. Kontak borusunun alt ucundan arka kadar olan tel boyu olarak tarif edilen serbest tel boyunun uzunluğu, mm cinsinden tel çapının 10 ila 12 katı olmalıdır. Kontak borusu mesafesi, serbest tel boyu ile ark boyunun toplamıdır. Ark ve

kaynak bölgesi, gaz memesinden çıkan koruyucu gaz tarafından örtülür. Koruyucu gazın akış debisi, l/dak cinsinden olmak üzere tel çapının 10 ila 12 katı arasındadır.



Şekil 5.1 MIG/MAG kaynak yönteminin şematik gösterimi (Asarkaya 2006).

MIG/MAG kaynak yönteminde, kaynak torcu ve kablosu, elektrod besleme ünitesi, güç ünitesi/Akım üretici ve koruyucu gaz ünitesi olmak üzere dört donanım grubundan oluşur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 MIG/MAG kaynak donanımının şematik gösterimi (MEGEP 2005).

Kaynak torçları, MIG/MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi ve kaynak bölgesine iletilmesi , ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir.

Kaynak işleminde kullanılan akımın şiddetine ve yöntemin otomatik veya yarı otomatik olma haline göre çeşitli tür ve büyüklüklerde torçlar geliştirilmiştir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gereklidir; düşük akım şiddetinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı gerekli soğutmayı yapabilmektedir. Büyük çaplı elektrodlar , yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde ise ($I > 250A$) su ile soğutma sistemi gerekmektedir. Şekil 5.3'te hava soğutmalı bir MIG/MAG kaynak torcu gösterilmiştir (Tülbentçi 1990, Anık ve Vural 1997, Kaluç 2004).



Şekil 5.3 a) Su soğutmalı, b) hava soğutmalı MIG/MAG kaynak torçları (ESAB 2009).

Tel sürme tertibatı, Tel elektrod sürme tertibatı, teli makaradan sağıp, önceden saptanmış bir hızla ark bölgesine gönderen bir mekanizmadır. Çalışma sistemlerine göre çekme, itme türü tertibatlar diye adlandırılırlarsa da prensip olarak çalışma bakımından birbirlerinden pek farkları yoktur. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirilerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir. Günümüzde daha çok bu ikinci sistem tercih edilmektedir (Kaluç 2004, Nadzam 2006).

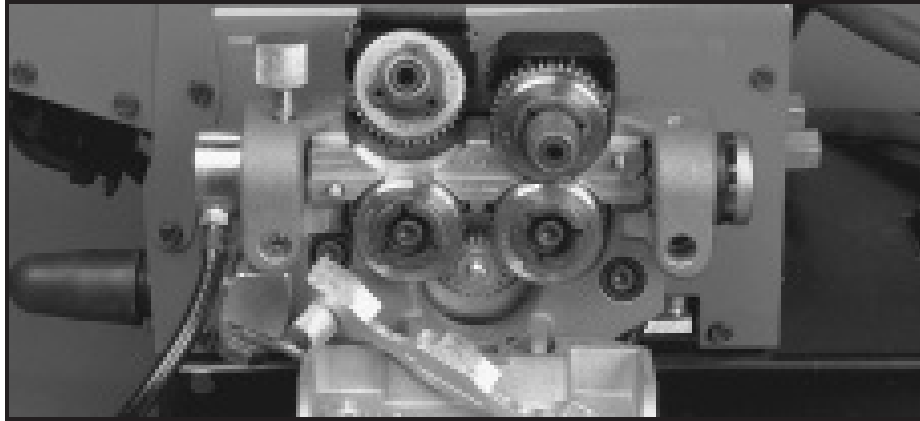
Tel sürme tertibatları çalışına prensibi bakımından, rulolu tertibatlar ve planet tertibatlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Rulolu tertibat, tel iki veya dört rulo arasından geçer; bunlardan alt rulolar arzu edilen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönerler ve üzerlerinde tel çapına uygun bir kanal

açılmıştır, üst rulolar avara döner, bunların bazıları düz, diğer bazılarına ise kanal açılmıştır; kullanılan elektrodun sert olması halinde rulolara teli kaydırmamaları için tırtıllar da açılmıştır. Rulolu tel sürme tertibatlarının tek kusuru makaradan sağılan teli tam olarak doğrultamamalarıdır. Dört rulolu tertiplerde tel bir dereceye kadar düzelir, iki rulolu tertibatlarda, sürme mekanizmasından önce bir tel doğrultma ruloları grubuna gerek vardır (Tülbentçi 1990, Weman 2003, Nadzam 2006). Şekil 5.4'te iki rulolu tel sürme tertibatı, Şekil 5.5'te ise 4 rulolu tel sürme tertibatı gösterilmektedir.



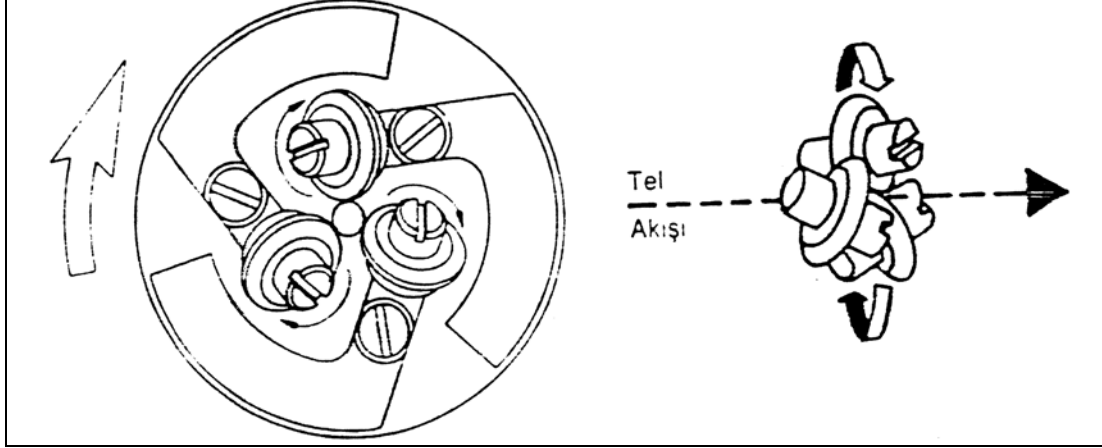
Şekil 5.4 İki rulolu tel sürme tertibatı (Nadzam 2006).



Şekil 5.5 Dört rulolu tel sürme tertibatı (Nadzam 2006).

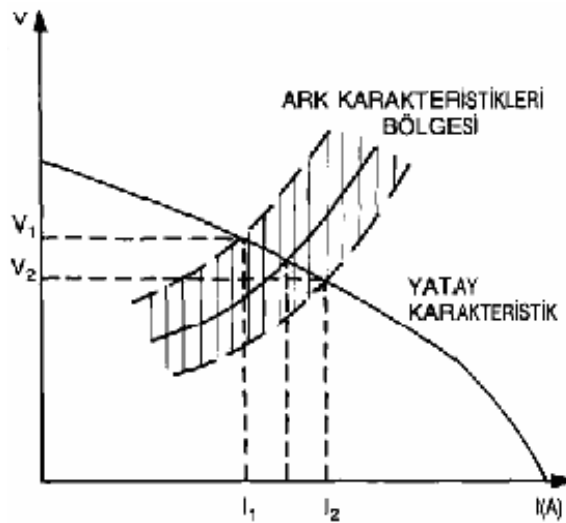
Dönel veya planet sistemi tel sürme tertibat, eksenleri birbirlerine göre çarpık üç rulo vardır, tel bunların arasından geçer, ruloların bağlı olduğu gövde döndürülür ve bu şekilde ruloların temas noktası tel üzerinde bir helis çizer; tel dönmediği için de ilerleme hareketi yapar. Bu sistemin en büyük avantajı tel elektrodu çok iyi bir şekilde doğrultmasıdır.

Planet sistemi tel sürme mekanizmaları, teli çok iyi doğrulttuğundan, tel ile spiral kılavuz arasındaki sürtünme azalır ve dolayısı ile daha uzun hortumlar kullanmak mümkün olur; bu tertibatla hortum boyu 6 m'ye kadar uzatılabilir. Yalnız bu sistem ince ve yumuşak metallere yapılmış tel elektrodlar ile özlü elektrodlar için uygun değildir (Tülbentçi 1990, Nadzam 2006). Şekil 5.6'da dönel tel sürme tertibatı şematik olarak gösterilmiştir.



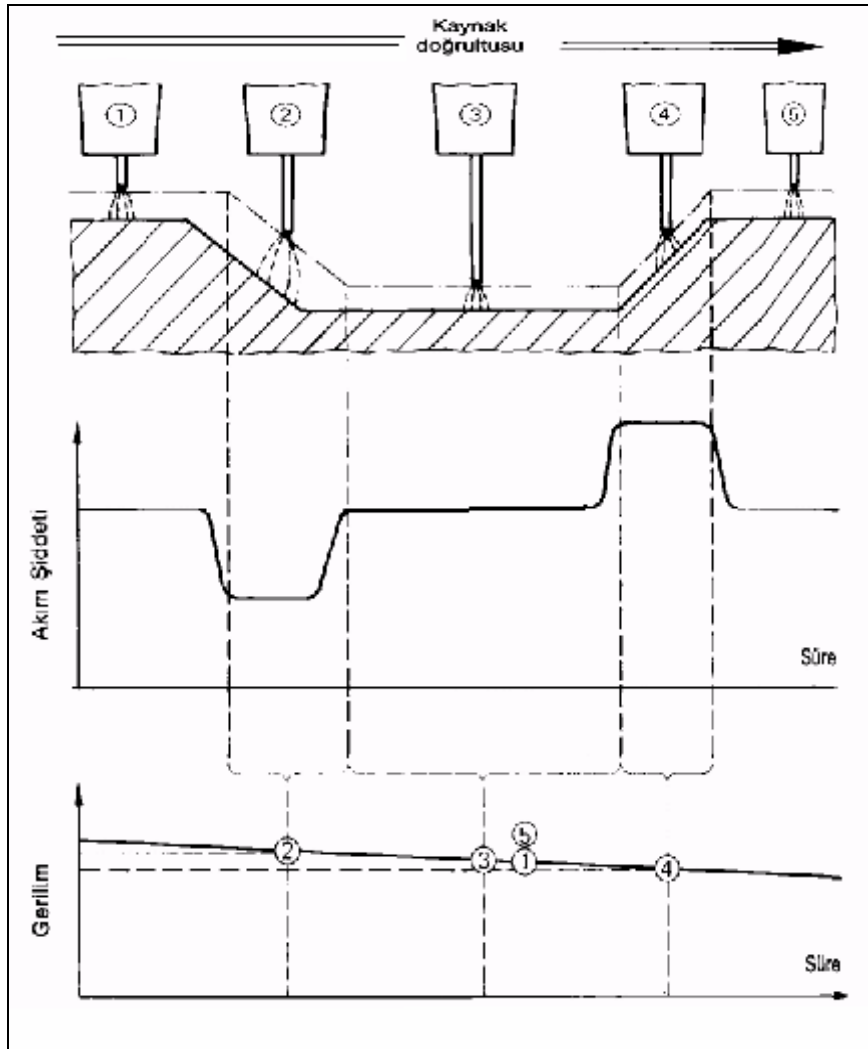
Şekil 5.6 Planet veya dönel tel sürme tertibatı (Tülbentçi 1990).

MIG/MAG kaynak makineleri, yatay karakteristiğe sahip (sabit gerilimli) makinelerdir (Şekil 5.7). Bu tip kaynak akım üreteçlerinde Δ -i ayarı (iç ayar) diye isimlendirilen ark boyu ayarı vardır, ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Tel ilerletme motoru, seçilmiş sabit bir devirde döner, yani diğer bir deyimle tel hızı sabittir (Tülbentçi 1990, Nadzam 2006).



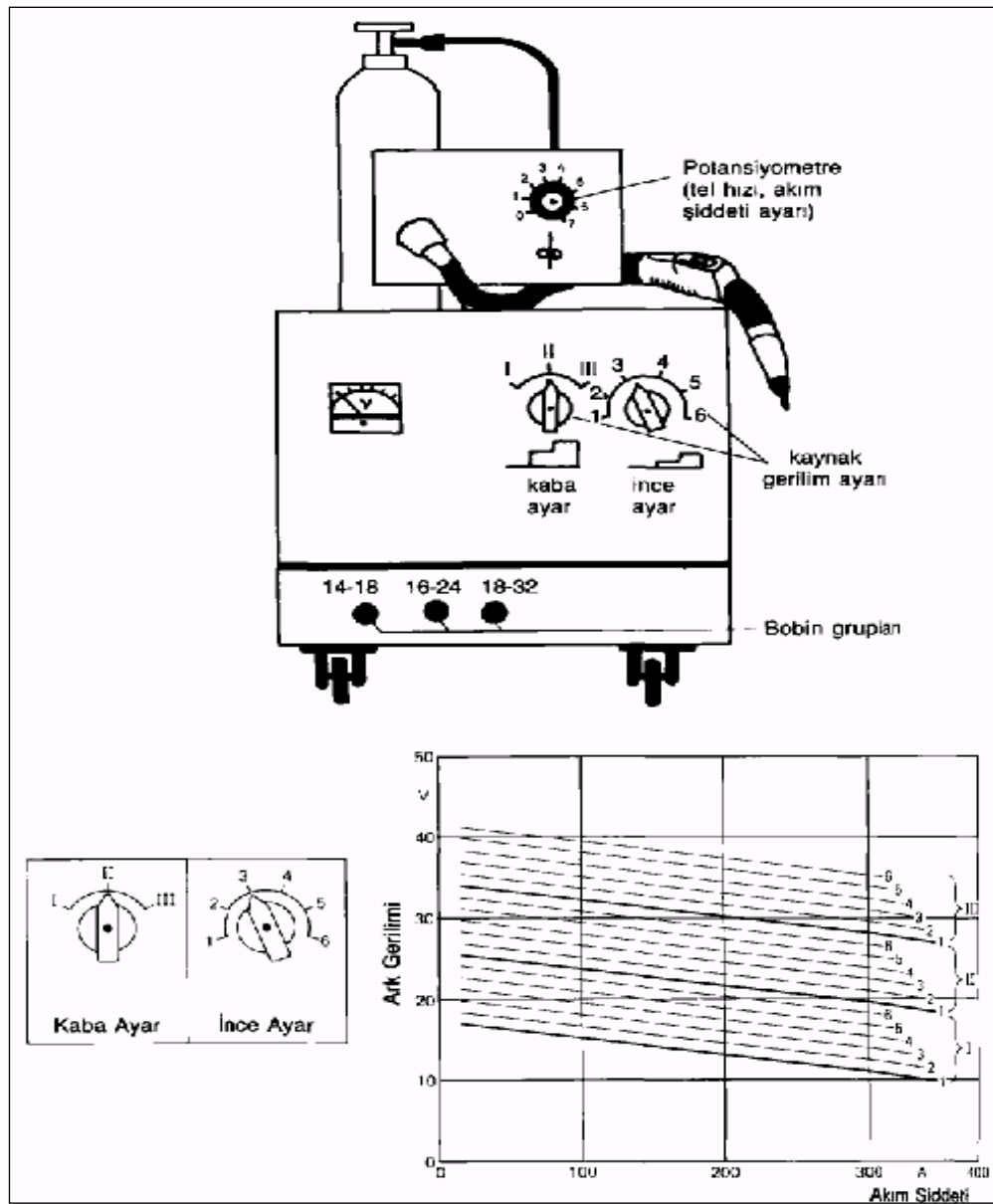
Şekil 5.7 Yatay karakteristikli MIG/MAG kaynak makinesinin V-I ilişkisi (Tülbentçi 1990).

Normal şartlarda kaynak akımı ile gerilimi denge halindedir. Kaynak esnasında herhangi bir nedenle, ark boyu uzadığında ark gerilimi artar. Ark geriliminin artması, akım şiddetinin azalmasına neden olur. Tel elektrod iş parçasına sabit hızla geldiği için akım şiddeti azaldığında, ergime gücü de azalır. Ergime gücünün azalması da sabit hızla ilerleyen telin, iş parçasına yaklaşmasına neden olur. Tel iş parçasına yaklaştığında, ark boyu statik karakteristik gereği düşer ve ergime gücü artar, tel daha fazla ergir. Tel boyu kısalır ve ark boyu eski değerine gelir, bu durum Şekil 5.8’de izah edilmeye çalışılmıştır. Gerekli iç ayar nedeniyle kaynak makineleri gerilim karakteristikli veya hafifçe düşen statik karakteristiklidir. Karakteristik eğrisi ne kadar yataysa yapılabilen ark boyu değişimlerinde akım şiddetinin ulaşılan ayar bölgesi o derece büyük olur (Anık ve Vural 1997).



Şekil 5.8 Δ -i ayarı ile ark boyunun kaynak süresince sabit kalması (Tülbentçi 1990).

MIG/MAG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında akım şiddeti ve gerilimi gelir. Sabit gerilimli veya diğer bir deyimle yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirlerinden bağımsız olarak ayarlanabilir. Genel olarak standart akım üreteçlerinde 3 kaba ayar ve 5 adet de ince ayar vardır, bu da toplam 15 kademede gerilim ayar olanağı sağlar. Şekil 5.9'da gösterildiği gibi, Romen rakamıyla yazılanlar kaba ayar düğmeleridir, bununla kaba ayarı yapıldıktan sonra ince ayar ile de hassas ayar yapılır, bu da Latin rakamlarıyla ifade edilir. Şeklin altındaki diyagramda da gösterildiği gibi çalışılmak istenen akım ve gerilim ayarlanır.

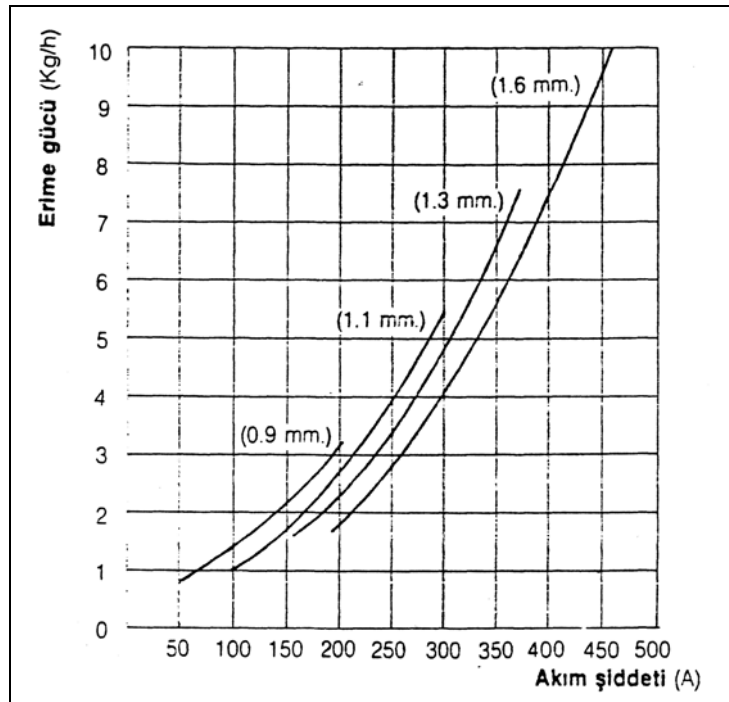


Şekil 5.9 MIG/MAG akım üreteci ve ayarlar (Tülbentçi 1990).

5.2 MIG/MAG KAYNAK PARAMETRELERİ

Elektrod Çapı

Her tür elektrod bileşimi için çapa bağlı olarak bir akım şiddeti aralığı vardır. Büyük çaplı elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirler ve daha yüksek bir erime gücüne sahiptirler ve daha derin nüfuziyetli dikişler oluştururlar. Erime gücü akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur, eş çaplı iki elektrod farklı akım şiddetlerinde kullanıldıklarında, yüksek akım şiddeti ile yüklenende, akım yoğunluğu büyük olduğundan, daha yüksek bir erime gücü elde edilir. Akım şiddeti, tel çapı ve erime gücü arasındaki ilişkiler Şekil 5.10'da görülmektedir. Dikişin nüfuziyeti de, akım yoğunluğuna bağlıdır, aynı akım şiddetinde, küçük çaplı elektrodla daha derin nüfuziyetli dikişler elde edilir. Büyük çaplı elektrod halinde ise kaynak dikişi daha büyük olur (Tülbentçi 1990, Nadzam 2006, ESAB 2009).



Şekil 5.10 Akım şiddeti, tel çapı ve erime gücü arasındaki ilişki (Tülbentçi 1990).

Koruyucu Gaz

Gazaltı kaynağında çeşitli türlerde gazlar kullanılır ve her gazın oluşturduğu erime gücü, dikiş biçimi ve nüfuziyet birbirlerinden farklıdır. MIG kaynağında soygaz kullanılır (helyum, argon veya karışım gazları), MAG kaynağında ise aktif gaz (CO_2 veya karışım gazları) kullanılır. Koruyucu gaz türünün aynı zamanda kaynak esnasında sıçrama miktarına, kaynak hızına,

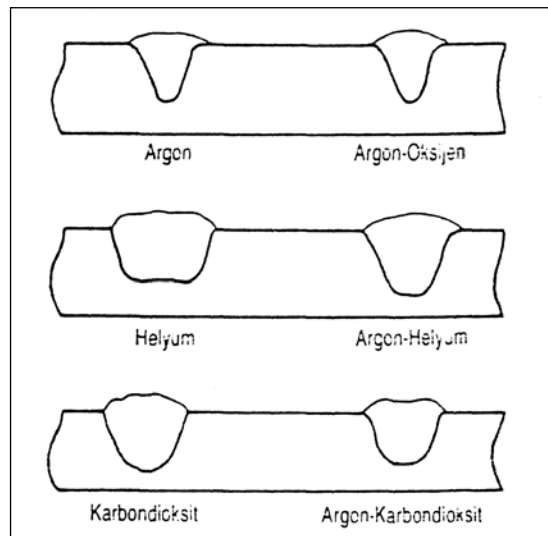
kaynak metalinin arktaki transfer şekline ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır (Pellerin 2005, Nadzam 2006, ESAB 2009).

Demir esaslı metallerin kaynağında *saf karbondioksit* ile *argon-karbondioksit* ve *argon-oksijen* karışımları kullanılır.

Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde aynı akım şiddeti için en büyük erime gücü en derin nüfuziyet, en geniş ve en dışbükey kaynak dikişi elde edilir. Karbondioksit en ucuz koruyucu gaz olmasına karşın en fazla sıçrama kaybı ve en fazla duman oluşturan gazdır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oluşan yüksek ısı girdisi dolayısıyla aynı akım şiddeti için daha yüksek hızlarda kaynak yapmak mümkün olabilmektedir (Pellerin 2005) .

Argon ve argon-oksijen karışımı gazlar, kaynak esnasında karbondioksitin tam bir karşıtı özellik gösterirler; bu gazlar ile en düşük erime gücü, en az nüfuziyet, en dar ve en az yüksek kaynak dikişi elde edilir. Argon-oksijen karışımı gazlar aynı zamanda en az duman ve en az sıçrama oluşturan bir kaynak işlemi sağlarlar. Argon-karbondioksit karışımı gazlar ise karbondioksit ve argon-oksijen karışımı arasında bir özellik gösterirler (Tülbentçi 1990).

Şekil 5.11’de çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profili şematik olarak gösterilmiştir. Çizelge 5.1’de ise hangi malzemelerde hangi koruyucu gazların kullanıldığı verilmiştir.



Şekil 5.11 Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profilinin gösterimi (Tülbentçi 1990).

Çizelge 5.1 MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar (Tülbentçi K 1990).

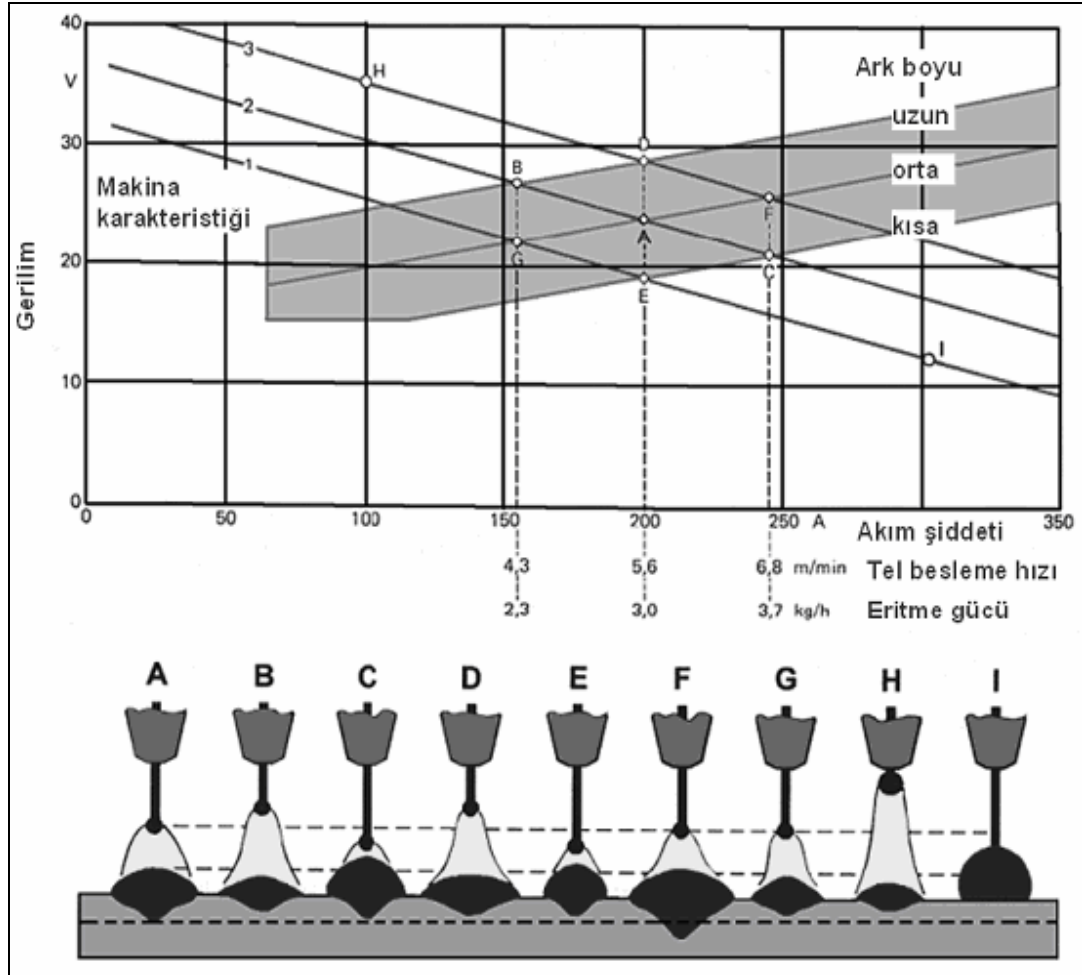
Kaynak usulü	Gazın karakteri	Gazın işareti DIN32526	Gazın bileşimi	Kullanım yeri
MIG	Asal	1.1	Ar % 100	Demir dışı metallerin kaynağında.
	Asal	1.2	He % 100	Cu ve Al alaşımları
	Asal	1.3	He % 25-75 – Geri kalan Ar	Cu ve Al alaşımları
Karışım Gazlar	Hafif Oksitleyici	M 1.1	O ₂ % 1-3 – geri kalan Ar.	Paslanmaz çelikler
		M 1.2	CO ₂ % 2-5 – geri kalan Ar.	Paslanmaz çelikler
		M 1.3	CO ₂ % 6-14 – geri kalan Ar.	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler.
	Oksitleyici	M 2.1	CO ₂ % 15-25 – geri kalan Ar.	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler (özlü elektrod ile)
		M 2.2	CO ₂ % 15-25 O ₂ % 1-3 – geri kalan Ar.	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler.
	Kuvvetli Oksitleyici	M 3.1	CO ₂ % 26-40 – geri kalan Ar.	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler.
		M 3.2	CO ₂ % 5-20 O ₂ % 4-6 – geri kalan Ar.	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler.
		M 3.3	O ₂ % 9-12 – geri kalan Ar.	Alaşımsız çelikler.
MAG		C	CO ₂ % 100	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler.

Kaynak Akım Şiddeti

Kaynak akımı, belirli bir elektrod çapı, bileşimi ve serbest elektrod boyu (kontak borusu mesafesi) için elektrod ilerleme (besleme) hızı ile orantılıdır. Uygun ölçüde bir sabit gerilimli akım üretici, belirli bir ark geriliminde (ark boyunda) elektrodu belirli bir hızda eritir, bu ilişki Şekil 5.12’de verilmiştir. Belirli bir elektrod çapı için diğer kaynak parametreleri sabitse, kaynak akımının değiştirilmesi aşağıdaki temel etkileri yapar (Anık ve Vural 1997, Asarkaya 2006, ESAB 2009).

- Kaynak akımının arttırılması, elektrod yığma hızını arttırır.
- Kaynakta akımının arttırılması, nüfuziyetleri arttırır.

- Aşırı kaynak akımı, az nüfuziyetli dışbükey kaynak dikişleri oluşturur.
- Yetersiz kaynak akımı, çok büyük damla transferi ve aşırı sıçramaya yol açar.
- Serbest elektrod boyu uzadıkça, kaynak akımı düşer, kısaldıkça artar.



Şekil 5.12 MIG/MAG kaynağında gerilim ve tel besleme hızının (akım şiddeti) dikiş profiline etkisi (İTÜ 2009).

Kaynak Gerilimi (Ark Boyu)

Ark gerilimi ve ark boyu, birbiriyle alakalı kavramlardır. Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üreticinde ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrod ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir. Bir uygulama için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrod çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve ana metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanır.

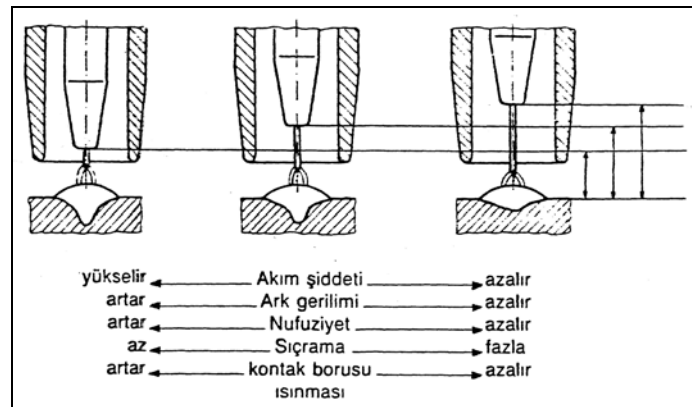
Her koşulda aynı kaynak dikişini veren bir sabit ark boyu mevcut değildir. Örneğin, ark boyu, aynı gerilim için helyum ve karbondioksit kullanılması halinde, argonun koruyucu gaz olarak kullanılması haline nazaran çok daha uzundur. Bütün diğer parametreler sabit tutulmak koşulu ile ark geriliminin artması, halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır (Anık ve Vural 1997, Pellerin 2005, Asarkaya 2006).

Kaynak Hızı

Kaynak hızı, kaynak dikişinin nüfuziyetini ve dikiş formunu belirler. Diğer faktörler sabitken düşük hızlardaki nüfuziyet, yüksek hızlara göre daha fazladır. Yüksek kaynak akımında düşük kaynak hızında kaynak yapmak, kaynak metalinin aşırı ısınmasına neden olur. Bu da cürufaların kaynak metali içinde hapsolmesinden dolayı dikişin görünüşünün bozulmasına veya ana metalin aşırı erimesine yol açar. Yüksek kaynak hızları ise düzensiz dikişlere neden olmaktadır (Tülbentçi 1990, ESAB 2009).

Serbest Tel Uzunluğu

Elektrod serbest tel uzunluğu, torç içindeki kontak borusunun en uç noktası ile tel elektrodun uç kısmı arasındaki mesafe olarak tarif edilir. Bu boyun uzaması sonucu elektrodun elektrik direnci artar ve elektrodun ön ısınması diye tanımlanan sıcaklığı yükselir ve dolayısıyla da elektrodun uç noktasını eritebilmek için gerekli akım şiddetinde azalma ortaya çıkar. Serbest tel uzunluğunun artması erime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur, sonuç olarak serbest tel uzunluğunun aşırı artması, fazla miktarda soğuk kaynak metalinin (düşük sıcaklıkta) kaynak dikişine yığılmasına neden olur (Tülbentçi 1990). Şekil 5.13'te serbest tel uzunluğunun kaynak dikişine etkisi şematik olarak gösterilmiştir.

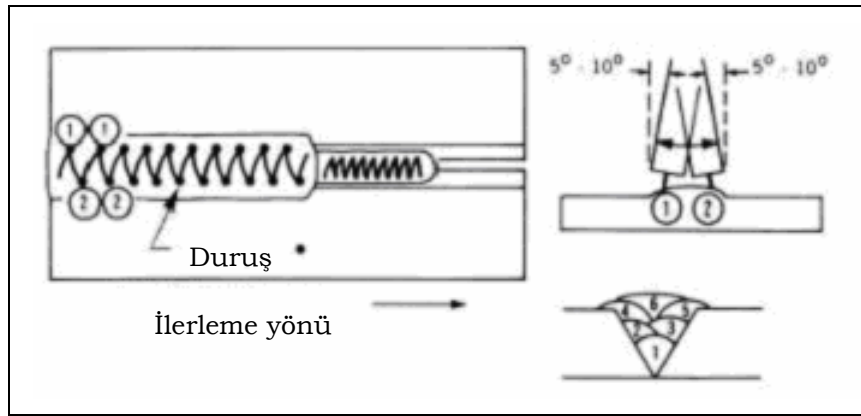


Şekil 5.13 Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (Tülbentçi 1990).

Torç Hareketleri

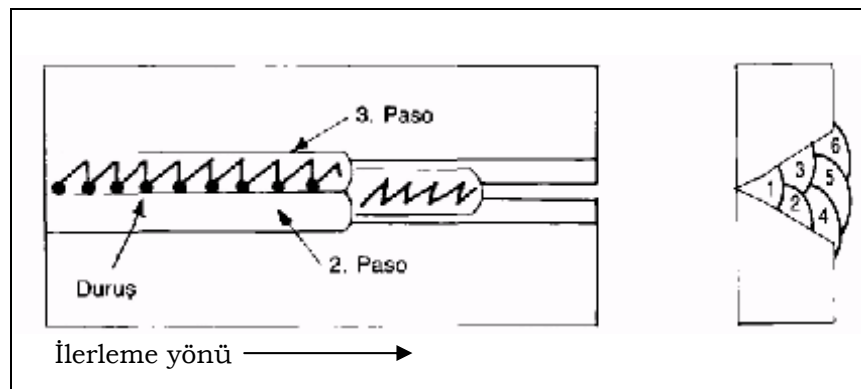
Elektrodun ağız içinde ilerlemesi el ile sağlanan tüm eritme kaynağı yöntemlerinde, bağlantının başarısını etkileyen en önemli etmenlerden bir tanesi de torç hareketleridir.

Şekil 5.14'ten Şekil 5.18'e kadar farklı kaynak pozisyonlarına göre uygulanması gereken torç hareketleri verilmiştir. Buna göre, Şekil 5.14'de yatay oluk pozisyonunda (AWS'ye göre 1G pozisyonu) çok pasolu kaynak bağlantısı halinde kök pasolarda, kök aralığını doldurmak için hafif bir sarkaç hareketi, dolgu ve ara pasolarında ise gene aynı hareket daha geniş olarak uygulanır ve kenarlarda gereken erimeyi yapacak ve bu kısımların iyi bir biçimde dolmasını sağlayacak biçimde durulur (Tülbentçi 1990, ESAB 2009).



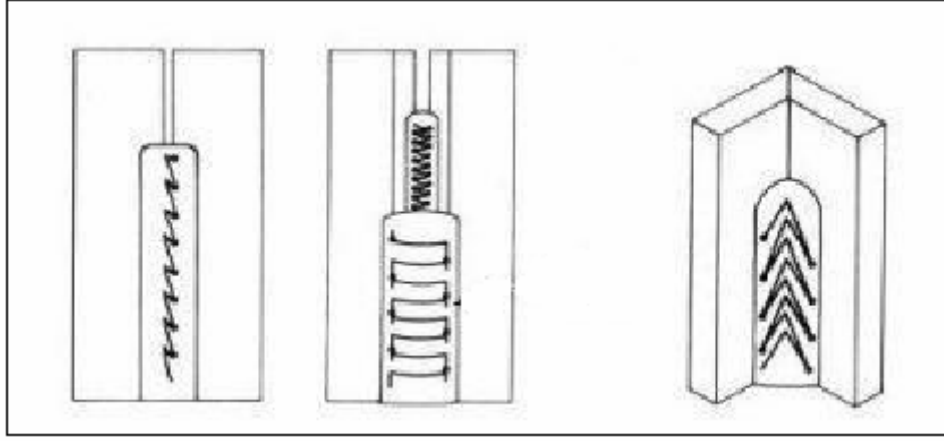
Şekil 5.14 Yatay oluk pozisyonunda çok paso ile kaynakta torç hareketleri (URL-7).

Şekil 5.15'te, korniş pozisyonundaki (AWS'ye göre 2G pozisyonu) kaynak bağlantılarında gerek kök pasoda ve gerekse de dolgu pasolarında elektrodun ucu testere ağzını andıran zig-zag hareketi yapar. Dolgu pasolarında zigzag bir evvelki dikişe yandan yaklaştığında uygun bir bekleme yapar (Tülbentçi 1990, Nadzam 2006).

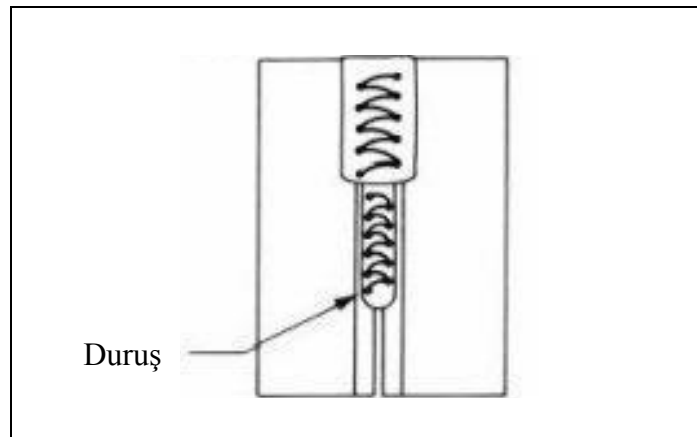


Şekil 5.15 Korniş pozisyonunda torç hareketleri (Tülbentçi 1990).

Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de, dik pozisyondaki (AWS’ye göre 3G pozisyonu) kaynak birleştirmelerine işlemin yukarıdan aşağı veya aşağıdan yukarı gerçekleştirme haline göre uygun torç manipölasyonları verilmiştir. Aşağıdan yukarı küt alın birleştirme halinde hafif zig-zaglı ileri geri bir elektrod hareketi tavsiye edilir. Çok pasolu kaynak halinde hafifçe ay biçiminde ve dikiş kenarlarında kısa bir geri adım yapan bir elektrod ucu hareketi uygulanır. Burada uygulanan geri adımın boyu elektrod çapı kadardır. İç köşe dikişi halinde, sedir çamını andıran kenarlarda az beklemeli bir hareket tercih edilir. Yukarıdan aşağıya dik kaynak halinde elektroda kenarlarda durmalı açık tarafı aşağıya bakan U şeklinde bir hareket verilir. Yalnız bu pozisyonda kaynak yaparken erimiş metalin arkın önüne akmasına mani olacak derecede bir hızla kaynak gerçekleştirilir (Tülbentçi K 1990, Nadzam 2006).

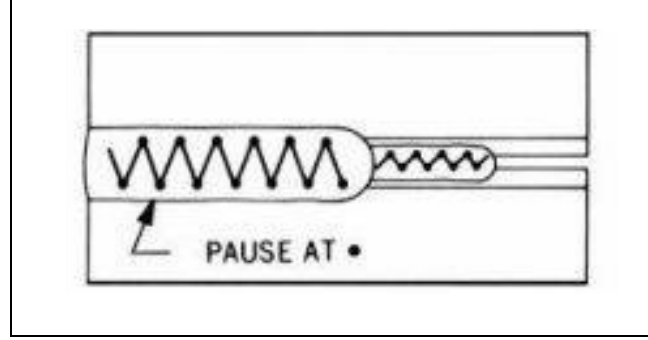


Şekil 5.16 Dik kaynak pozisyonunda aşağıdan yukarıya torç hareketleri (URL-7).



Şekil 5.17 Dik kaynak pozisyonunda yukarıdan aşağıya torç hareketleri (URL-7).

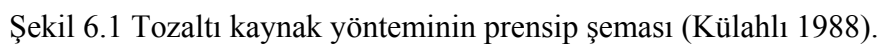
Şekil 5.18’de tavan kaynağında (AWS’ye göre 4G pozisyonu) (elektrod ucu kenarlarda az durmalı sağ sol düzgün bir zig-zag hareketi yapar, bu hareket gerek kök ve gerekse dolgu ve kapak pasolarında aynen uygulanır.

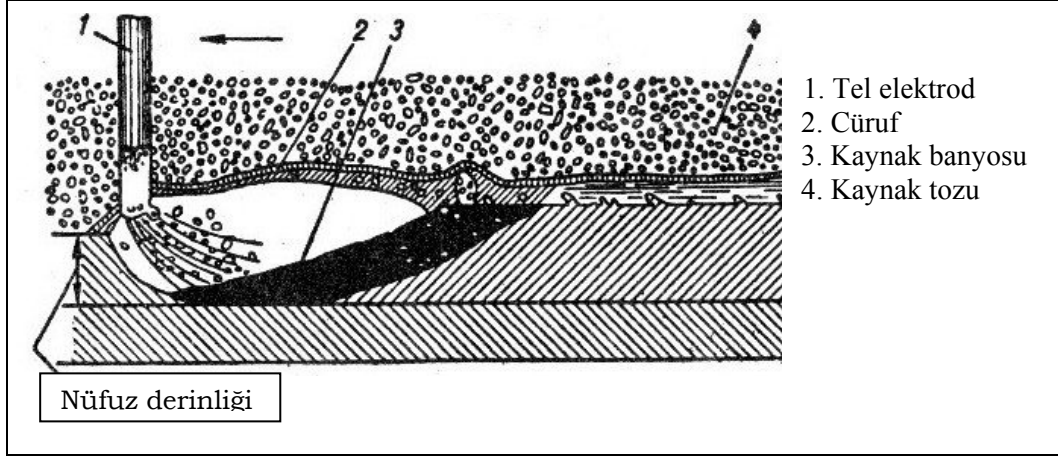


Şekil 5.18 Tavan pozisyonunda torç hareketleri (URL-7).

TOZALTI KAYNAĞI

Şekil 6.1’de, tozaltı kaynağının prensip şeması verilmektedir. Bir tel makarasından sağılan tel elektrod, toz yığınının içine girer, ark ya ana metale temas yoluyla ya da yüksek gerilim darbeleriyle tutuşturulur ve aynı anda hem ana metali, hem ilave teli hem de çevresindeki kaynak tozunu eritir. Eriyen kaynak tozundan oluşan kaynak gazları basınçları nedeniyle arkın çevresinde bir boşluk oluşturur. Tel bu boşlukta erir ve damlalar halinde kaynak metaline geçer. Tozun eriyen kısmı, ark ilerledikçe kaynak banyosunun hemen arkasında katılaşarak cüruf oluşturur. Erimeyen toz kütlesi, belirli bir mesafe geriden kaynak kafasını takip eden bir emici hortum tarafından emilerek toz haznesine geri doldurulur. Şekil 6.2 bu durumu şematik olarak izah etmektedir (Külahlı 1988, MEGEP 2006).





Şekil 6.2 Tozaltı kaynağında ark banyosu (Weman 2003).

Otomatik bir kaynak usulü olmasından dolayı ve sadece yatay pozisyonda kaynak yapılabilirliğinden dolayı günümüzde pek fazla uygulama alanı olmasa da özellikle kalın ve büyük parçaların birleştirilmesi ve dolgu kaynağı işlemlerinde (gemi gövdeleri, ağır iş makineleri, büyük çaplı kazanlar, LPG tankları vb.) kullanılmaktadır (Eyres 2001, Weman 2003, Babu and Natarajan 2008).

Tozaltı kaynak yönteminde kaynak parametreleri uygun seçildiğinde hatasız ve güzel görünümlü kaynak dikişleri elde edilmesi mümkündür. Bunun yanında, bu yöntemin birçok avantajları ve belirleyici dezavantajları aşağıdakiler gibi sıralanabilir: (Eyres 2001, Weman 2003, Babu and Natarajan 2008).

Avantajları;

- Kaynak arkı, kaynak tozu tarafından örtüldüğünden ark ışınlarından korunmak için maske kullanmaya gerek yoktur.
- Yüksek ergitme gücü (200 ile 1200 Amper arasında) ve yüksek kaynak hızı, derin nüfuziyet, 14 mm'ye kadar kaynak ağzı açmadan 2 pasoda kaynak yapılabilir.
- Yüksek ark stabilitesi sağlar, özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaz .
- Isının çok azı ana metal tarafından absorbe edildiği için büyük enerji tasarrufu sağlar, sıçrama kaybı olmadığı ve yüksek akım yoğunluğundan çalışılabilmesinden dolayı elektrod ekonomisi sağlar .
- Emniyetli ve düzgün kaynak dikiş görüntüsü elde edilir ve boya yüzeyi açısından problem teşkil etmez, kaynak dikişinin kalitesine kaynakçının diğer yöntemlere göre etkisi daha azdır.

- Kaynak dikişinde elde edilen derin nüfuziyet sayesinde, yüksek dayanıma sahip bağlantıları gerçekleşmesi için gerekli kaynak metali miktarı azalmakta, tozaltı kaynağında yüksek akımlarda hızlı dolgu (saatte 45 kg'ın üstünde metal yığılma hızı) kaynağı yapılabilir.
- Kaynak tellerinin ve tozlarının kaynak banyosunda meydana getirdiği temizleyici etkiler sayesinde hatasız, ana metalden çok daha iyi mekanik özelliklere sahip saf kaynak metalleri elde edilmektedir.

Dezavantajları;

- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- İnce saclar için uygun bir yöntem değildir.
- Kaynak pozisyonları sınırlıdır, sadece yatay pozisyonda iyi sonuç alınabilmektedir.

6.1 TOZALTI KAYNAK TOZLARI VE TELLERİ

Örtülü elektrodarda ve gaz altı kaynaklarındaki örtünün ve gazın görevi, tozaltı kaynağında kullanılan tozun görevi, kaynak bölgesini havanın zararlı ortamından korumak, kaynak dikişinin istenilen özellik ve kalitede olmasını sağlamaktır. Tozaltı kaynağında yüksek nüfuziyet ve derinlik kazandıran toz çeşitleri, kaynağın amacına, üretim şekline, kimyasal özelliklerine ve yapısında bulunan Mn miktarına göre 4 sınıfta sınıflandırılır (MEGEP 2006).

Kaynağın amacına göre;

- Kaynak süresini hızlandıran tozlar,
- Dikişin derinliğini artıran tozlar,
- İnce parçaların kaynağında kullanılan tozlar,
- Dolgu kaynaklarında kullanılan tozlar.

Üretim şekillerine göre;

- Ergimiş kaynak tozları,
- Aglomere kaynak tozları,
- Karışık kaynak tozları.

Kimyasal özelliklerine göre;

- Asit yapılı tozlar,
- Nötr yapılı tozlar,
- Bazik yapılı tozlar.

Yapısında bulunan Mn miktarına göre;

- İçerisinde Mn bulundurmayan tozlar,
- İçerisinde orta miktarda Mn bulunduran tozlar,
- İçerisinde yüksek oranda Mn bulunduran tozlar.

Kaynak tozunun kaynağa fiziksel ve kimyasal etkileri vardır;

Fiziksel etkileri, koruyucu toz olarak kullandığımız gereçlerin yoğunluğu kaynak yapılan gerecin yoğunluğundan azdır. Yoğunluğu az olan gerecin bir kısmı kaynak ergiyik havuzu içerisine karışırken, diğer kısmı kaynak bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı yüzeyde toplanır. Yüzeyde toplanan kaynak tozu cüruf tabakasını oluşturur. Bu tabaka kaynak yüzeyinin ani soğumasını önler ve bu sırada kaynak içerisinde oluşan gazların dışarı çıkmasını sağlar. Bu esnada kaynak dikişine fiziksel olarak biçim vererek kaynak yüzeyinin düzgün olmasını sağlar.

Kaynak tozlarının kaynağa *kimyasal etkileri* ise, kaynak tozunun özelliklerini kaynağın bileşimine iyi yönde verir, koruyucu toz olarak kullandığımız malzeme sayesinde kaynak dikişinin özellikleri istenildiği gibi değiştirilebilir, kaynak banyosunun hacimce genişlemesini sağlar ve kaynak dikişi üzerinde yapısal değişikliklere yol açar (Weman 2003, MEGEP 2006).

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan çıplak elektrodlar kaynak teli olarak adlandırılır. Bu teller diğer kaynaklarda kullanılan tellerle benzerlik gösterir. Tozaltı kaynak telleri yüksek manganlı özel çeliklerden üretilir ve üzerleri bakırla kaplanır. Bu tellerin içerisine aynı zamanda karbon, silisyum, mangan, krom, nikel gibi alaşım elementleri de katılır. Bu elementlerin kaynak bölgesine kattığı etkiler Çizelge 6.1’de gösterilmiştir (Külahlı 1988, MEGEP 2006).

Çizelge 6.1 Tel içerisine katılan alaşımların kaynağa kazandırdığı özellikler (MEGEP 2006).

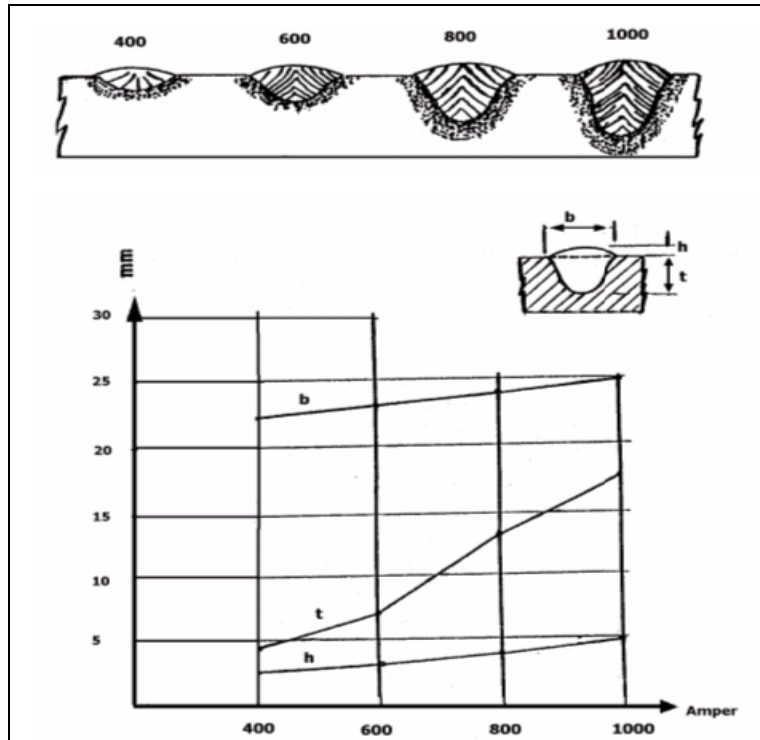
Alaşım	Kaynağa kazandırdığı özellik
Karbon (C)	Sertliğini artırır, dayanımını yükseltir.
Silisyum (Si)	Desokside eder, işleme ve kaynak kabiliyetini artırır.
Mangan (Mn)	Çekme ve çentik darbe dayanımını artırır (Uzama).
Molibden (Mo)	Sıcaklığa karşı dayanımını artırır
Krom (Cr)	Sertliğini yükseltir ve sıcaklığa karşı dayanımını artırır.
Nikel (Ni)	Düşük sıcaklıklarda dayanımı artırır.

6.2 TOZALTI KAYNAK PARAMETRELERİ

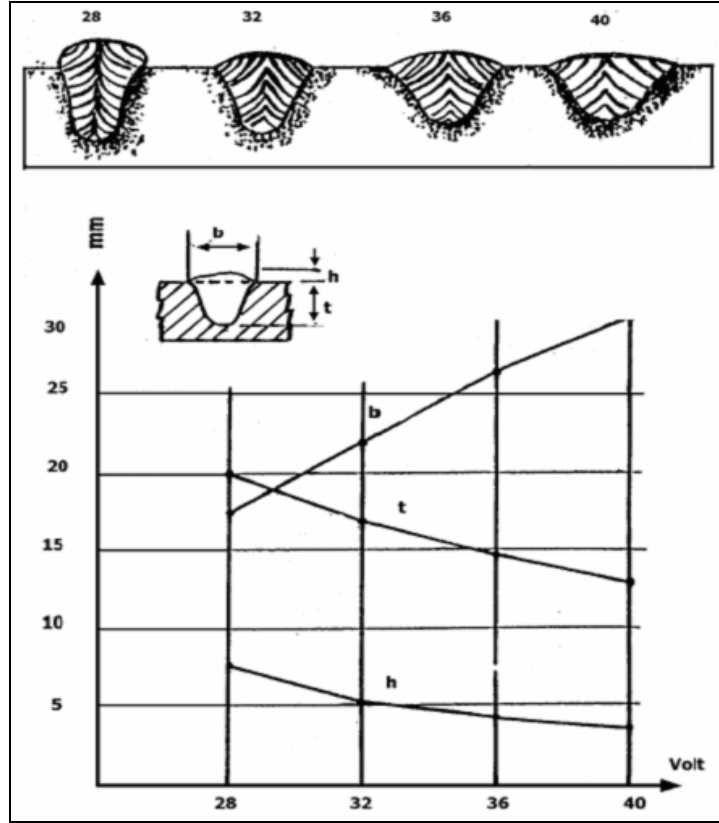
Kaynak parametreleri kaynak işlemini etkileyen ve kaynak edilen bağlantının kalitesini belirleyen en önemli etkenlerdir. Değişik kaynak parametrelerinin, nüfuziyete ve dikiş formuna etkileri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 Tozaltı kaynak parametrelerinin kaynak dikişi kalitesine etkisi (Kaluç 2004).

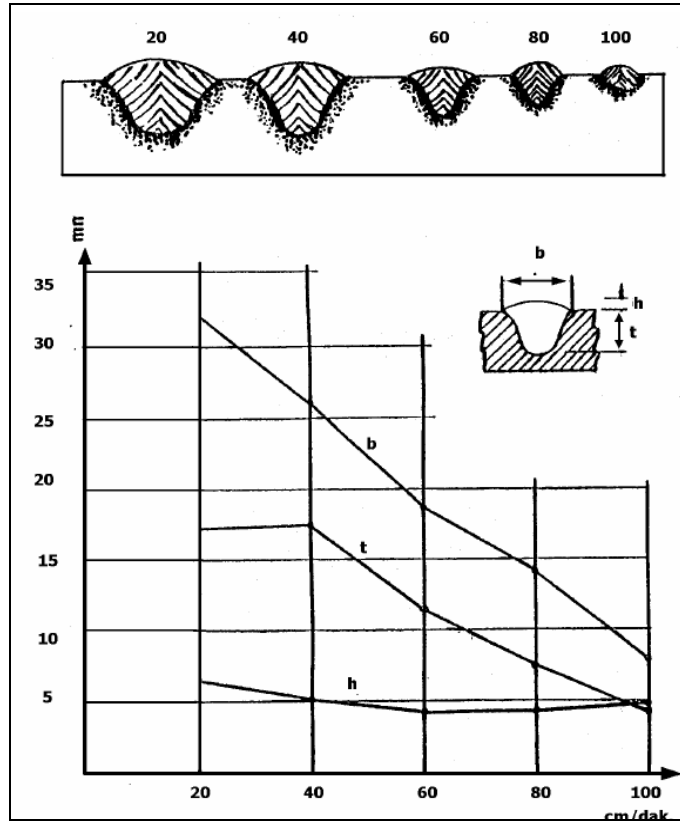
Kaynak parametreleri (yükseldikçe)	Nüfuziyet	Dikişin eni	Dikişin yüksekliği
Akım şiddeti (A) (Şekil 6.3)	Fazla miktarda artar	Artar	Fazla miktarda artar
Ark gerilimi (V) (Şekil 6.4)	Azalır	Fazla miktarda artar	Azalır
Kaynak hızı (cm/dak) (Şekil 6.5)	Önce artar sonra sabitleşir, yüksek hızlarda sistematik azalır.	Fazla miktarda azalır	Belli bir hıza kadar azalır, sonra artar.
Kaynak teli çapı (mm) (Şekil 6.6)	Fazla miktarda azalır	Fazla miktarda artar	Azalır
Parçanın eğimi aşağı doğru	Fazla miktarda azalır	Artar	Azalır
Parçanın eğimi yukarı doğru	Fazla miktarda artar	Azalır	Fazla miktarda artar
Kaynak telinin kaynak yönüne eğimi (°)	Fazla miktarda azalır	Artar	Azalır
Meme mesafesi (mm)	Az miktarda azalır	Artar	Azalır veya artar
Ağız açısı (°)	Değişmez	Artar	Azalır veya artar
Alın aralığı (mm)	Az miktarda azalır	Artar	Azalır veya artar
Tozun tane iriliği (mm)	Az miktarda azalır	Az miktarda artar	Az miktarda artar



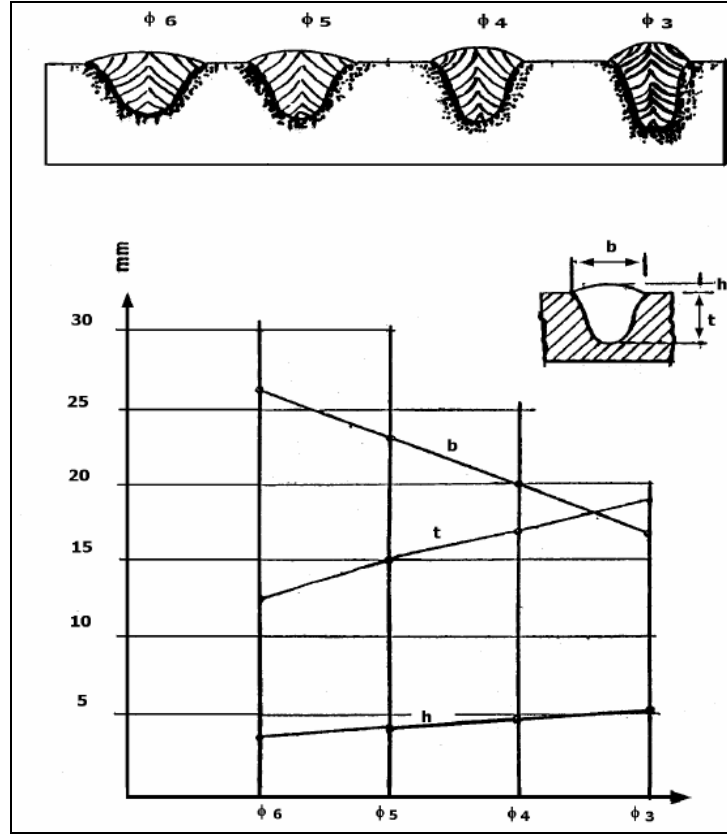
Şekil 6.3 Tozaltı kaynağında akım şiddetinin dikiş formunun etkisi (Anık 1991).



Şekil 6.4 Tozaltı kaynağında gerilimin dikiş formun etkisi (Anık 1991).



Şekil 6.5 Tozaltı kaynağında kaynak hızının dikiş formun etkisi (Anık 1991).



Şekil 6.6 Tozaltı kaynağında kaynak teli çapının dikiş formun etkisi (Anık 1991).

BÖLÜM 7

KAYNAK HATALARI VE GİDERİLMESİ

Bir kaynak bağlantısının güvenilir olabilmesi için dikişte hiçbir kaynak hatası bulunmamalıdır; bu bakımdan kaynaklı konstrüksiyonlarda kaynak dikişlerinin kontrolü çok önemlidir. Kaynak dikişlerinde iki ana grup hataya rastlanabilir. Birinci gruba giren hatalar dış hatalar diye adlandırılır ve çıplak göz veya büyüteçle saptanabilir, ikinci gruba giren hatalar ise göz kontrolü ile saptanması olanaksız iç hatalardır; bunlar ancak X ışınları veya ultrasonik muayne ile kontrol edilebilirler (Silva et al. 2001, Weman 2003).

Genel olarak ark kaynaklarında karşılaşılan başlıca kaynak hataları, bunların oluşum nedenleri ve giderilmesi aşağıda açıklanmıştır.

Nüfuziyet Azlığı

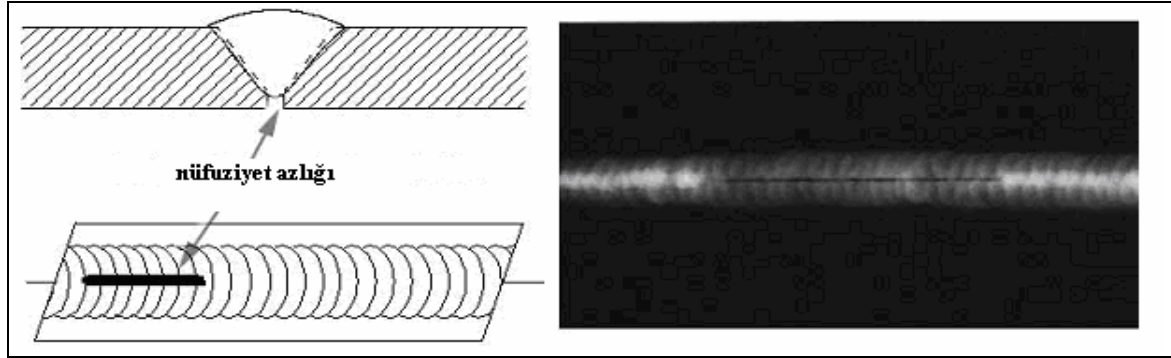
Erimenin bütün malzeme kalınlığı boyunca olmaması şeklinde ortaya çıkan, kaynaklanmamış kısımların bulunmasıdır. Genellikle bu hata, aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana gelir:

- Uygun elektrod çapının seçilmemesi,
- Uygun akım şiddetinin seçilmemesi,
- Kaynak ağzının uygun olmaması,
- Kök pasosunun kötü çekilmesi.

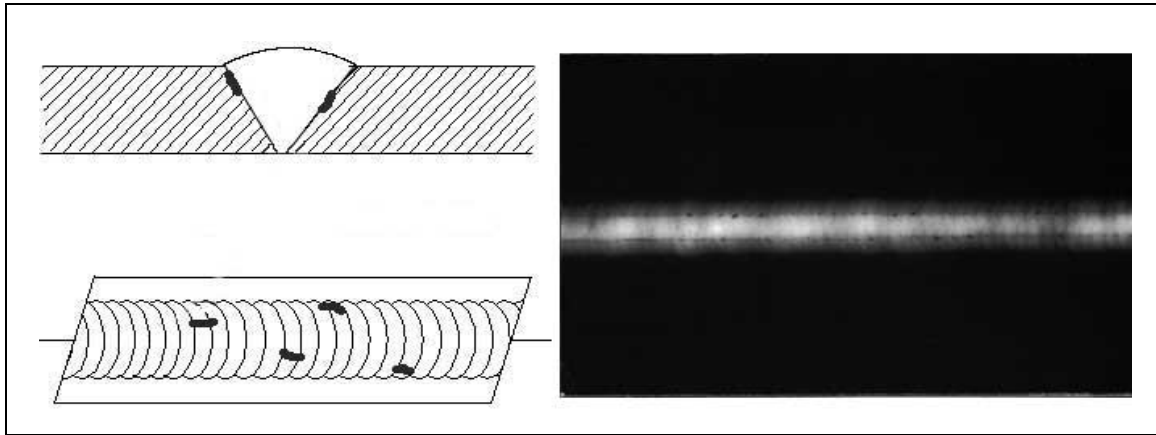
Bu hatanın önlenmesi için; uygun akım şiddeti ve elektrodun seçilmesi, uygun kaynak ağzının yapılması lazımdır (Bull 2000, Padua et al. 2004). Şekil 7.1’de nüfuziyet azlığı, şematik olarak ve neticesinde radyografik görüntüsü verilmiştir.

Yetersiz Erime

Kaynak metali ile ana metal veya çok pasolu birleştirmede pasolar arasında ortaya çıkan birleşme azlıklarıdır (Bull 2000). Bu problemin şematik görüntüsü ve radyografik film görüntüsü şekil 7.2’de verilmiştir.



şekil 7.1 Nüfuziyet azlığının şematik ve radyografik görüntüsü (URL-5).



şekil 7.2 Yetersiz erimenin şematik ve radyografik görüntüsü (URL-5).

Oksi-asetilen kaynağında, uygun gte üfleç kullanılmaması sebebiyle ortaya çıkan yetersiz erimenin, ark kaynağındaki nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Cüruf, oksit ve diğer metalsel olmayan kalıntıların bulunması,
- Elektrodun yanlış bir aı ile tutulması.

Yetersiz erimenin önlenmesi için oksi-asetilen kaynağında, uygun gte üfleç kullanılması gerekirken; elektrik ark kaynağında şu tedbirler alınmalıdır:

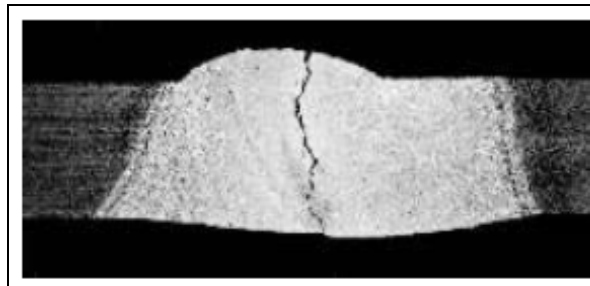
- Uygun akım şiddetinin seçilmesi,
- Kısa ark boyu ile çalışılması,
- Kaynak hızının çok yüksek olmaması,
- Elektrod tutuş açısının doğru olması.

Kaynak kesitindeki birleşme azlığı; statik ve dinamik zorlamalar karşısında, dikişin mukavemetini düşürür (Oğuz 1991, Carasco and Mery 2005).

Çatlaklar

En tehlikeli kaynak hatasıdır. Eritme kaynağında; ana metalde, kaynak metalinde veya ısıнын tesiri altındaki bölgede ortaya çıkabilir (Silva et al. 2001, Padua et al. 2004).

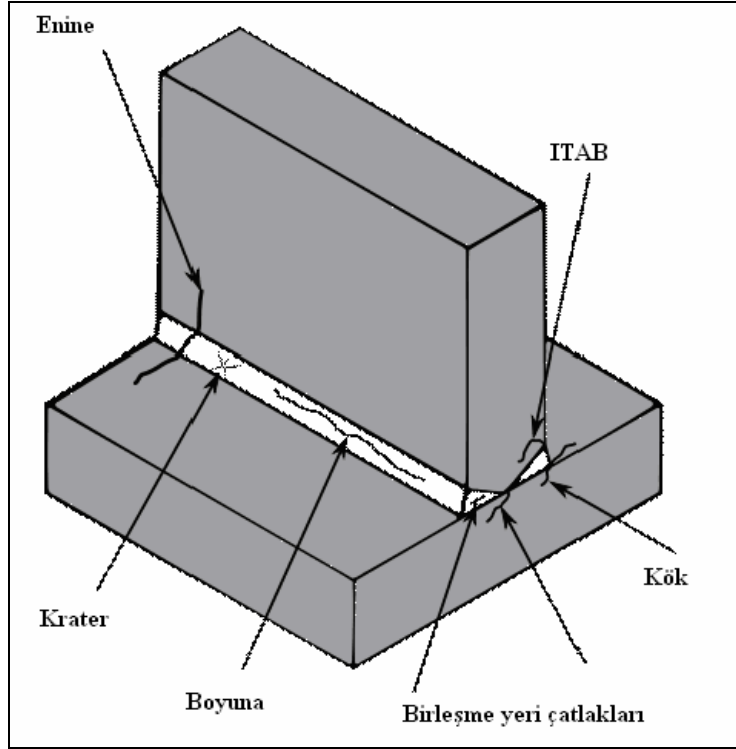
Sıcak çatlaklar, kaynağın soğuması esnasında oluşan gerilmelerden dolayı oluşan çatlaklar (Bull et al. 2001). Şekil 7.3' kaynak dikişinde soğuma esnasında meydana gelen çatlama gösterilmiştir



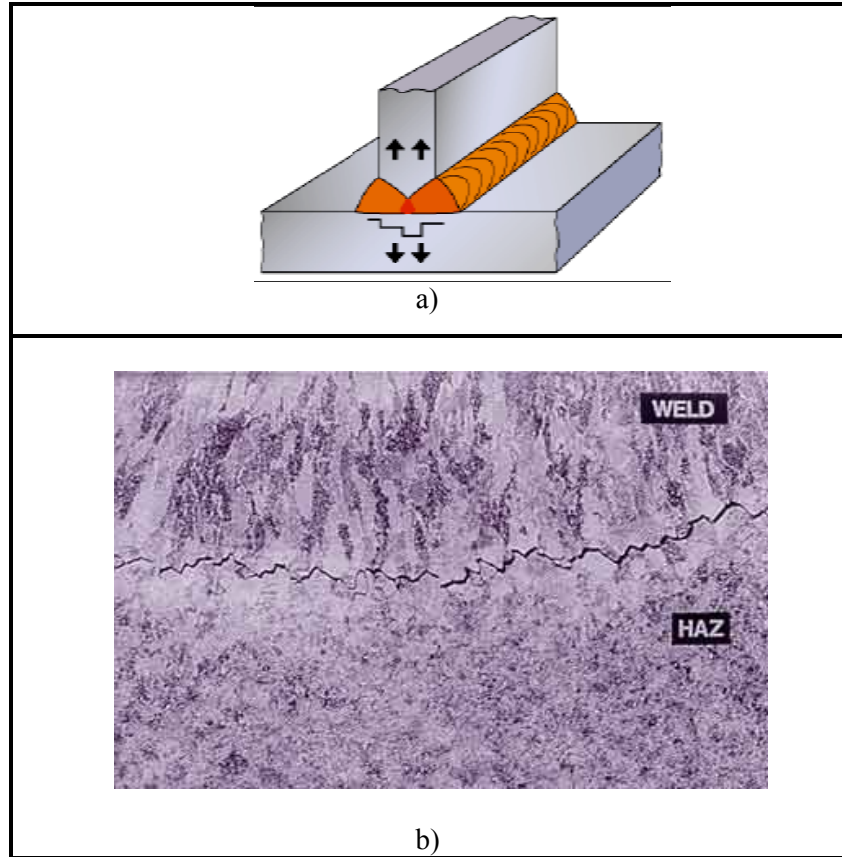
Şekil 7.3 Kaynak dikişinde sıcak çatlama örneği (URL-5).

*Soğuk çatlama*ya hidrojen kırılması da denir. Genelde ferritik malzemelerde nemli ortamlarda ortaya çıkan bir çatlaktır. Hidrojenin metalin içersine nüfuz etmesiyle meydana gelen moleküler hidrojen kombinasyonu malzemenin zorlanmasını geciktirerek şekil değiştirmeden anlık kırılmasına neden olur (Weman 2003, Carasco and Mery 2005). Şekil 7.4'te soğuk çatlama örnekleri ve oluşabilecek yerleri verilmiştir.

Mikroskobik (kılcal) çatlaklar, gözle görülememesinden dolayı tehlikeli çatlaklardır. Kaynaklı parçalar gerilme oluşturdıklarından dolayı, enine çekme gerilmesi oluşması durumunda ortaya çıkan çatlaklardır. Genelde ana metal ve ITAB arasında meydana gelir (Silva et al. 2001, Weman 2003). Şekil 7.5'te enine gerilme oluşabilecek kaynak pozisyonu ve oluşan çatlağın mikroskop altında görüntüsü verilmiştir.



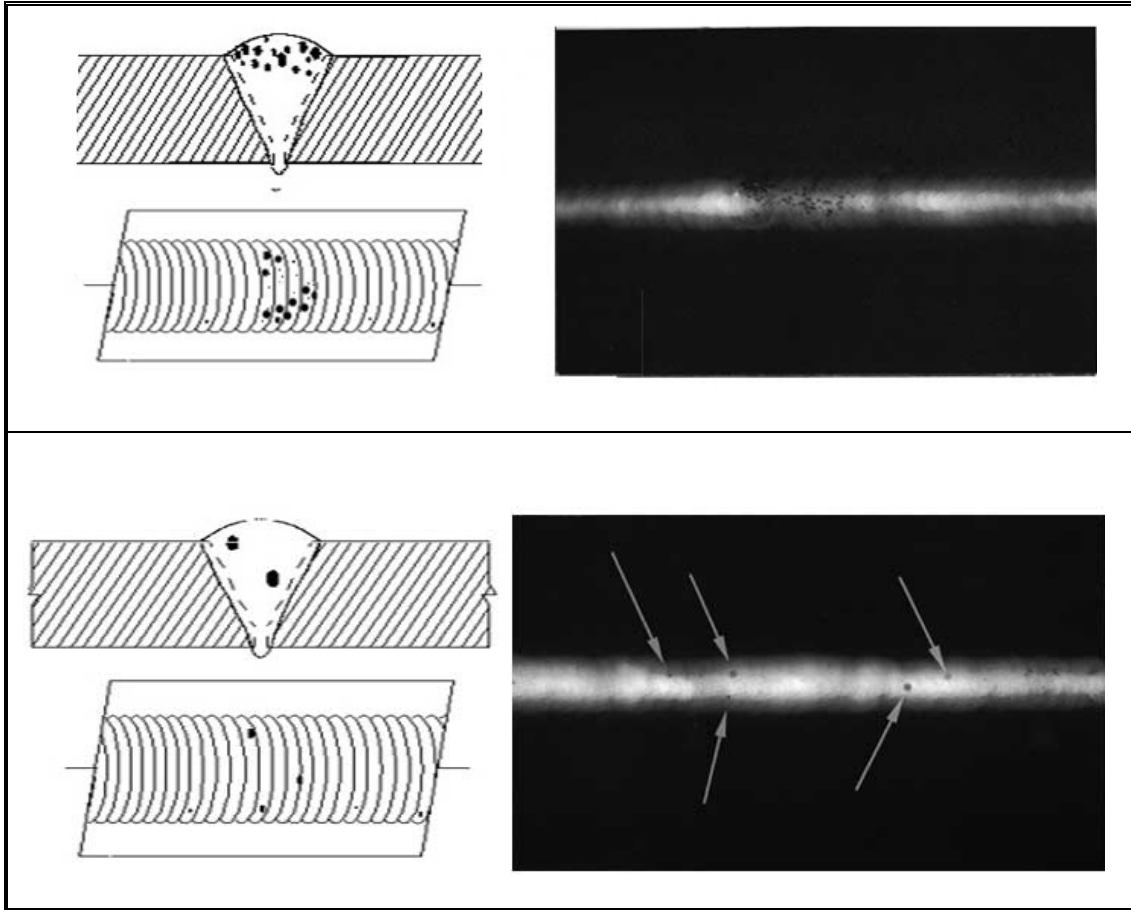
Şekil 7.4 Kaynak dikişinde mikroskobik çatlaklar (URL-5).



Şekil 7.5 a) Enine gerilme oluşabilecek kaynak pozisyonu, b) çatlakın mikroskop altında görüntüsü (URL-6).

Boşluklar

Gözenek olarak da adlandırılan bu hatalar; kaynak esnasında meydana gelen gazların dikişi terk edemeyip, içerde hapis olması veya tam yüzeyde iken katılaşmanın tamamlanması neticesinde ve bazen de metalin kendini çekmesi dolayısıyla meydana gelirler. Boşluklar düzenli veya gelişigüzel dağılmış yuvarlak şekilli, kanallar şeklinde metal içerisinde veya dikiş yüzeyinde bulunabilirler (Şekil 7.6) (Silva et al. 2001, Carasco and Mery 2005).



Şekil 7.6 Çeşitli gözenekli kaynak dikişleri ve radyografik görüntüleri (URL-5).

Kaynak metalinde meydana gelen boşlukların oluşumunda aşağıdaki faktörler etkili olmaktadır:

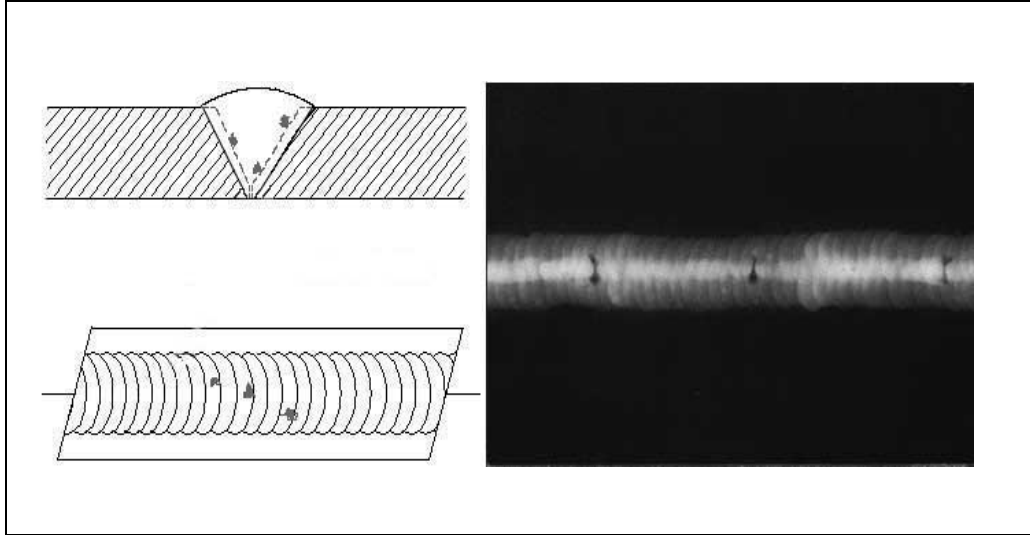
- Ana metal kimyasal bileşimi,
- İlâve metalin (kaynak teli veya elektrod) kimyasal bileşimi,
- Ana metal ve ilâve metalin, kükürt miktarının fazla olması,
- Elektrod örtüsünün rutubetli olması,
- Düşük akım şiddeti ile kaynak yapılması,

- Çok uzun veya kısa ark boyu ile kaynak yapılması,
- Erimiş kaynak banyosunun çabuk soğuması,
- Kaynak ağızlarının kirli olması,

Kaynak dikişinde bulunan gözenekler; dikiş kesitini azaltmanın yanında, gerilme yığılmalarına ve çentik oluşumuna sebep olurlar. Bu nedenle bağlantının mukavemetini azaltırlar. Gözeneklerin meydana gelmemesi için yukarıda sayılan sebeplerin ortadan kaldırılması gerekir. Yani gaz meydana gelmesi veya meydana geldiği takdirde dikişi kolayca terk etmesi temin edilmelidir (Oğuz 1991, URL-5).

Kalıntılar

Kalıntılar; kaynak metalinde bulunabilecek ve kaynak tozu kalıntıları, oksit kalıntıları ve ağır metal kalıntılarıdır. Örnek olarak; alüminyumun kaynağında oluşan Al_2O_3 'ün kaynak metali içerisinde kalması, tungsten kalıntıları verilebilir. Elektrik ark kaynağında; elektrod örtüsü veya kaynak tozundan oluşan cüruf parçacıkları, devamlı veya kesikli hatlar şeklinde kaynak metali içerisinde kalabilir (Şekil 7.7).

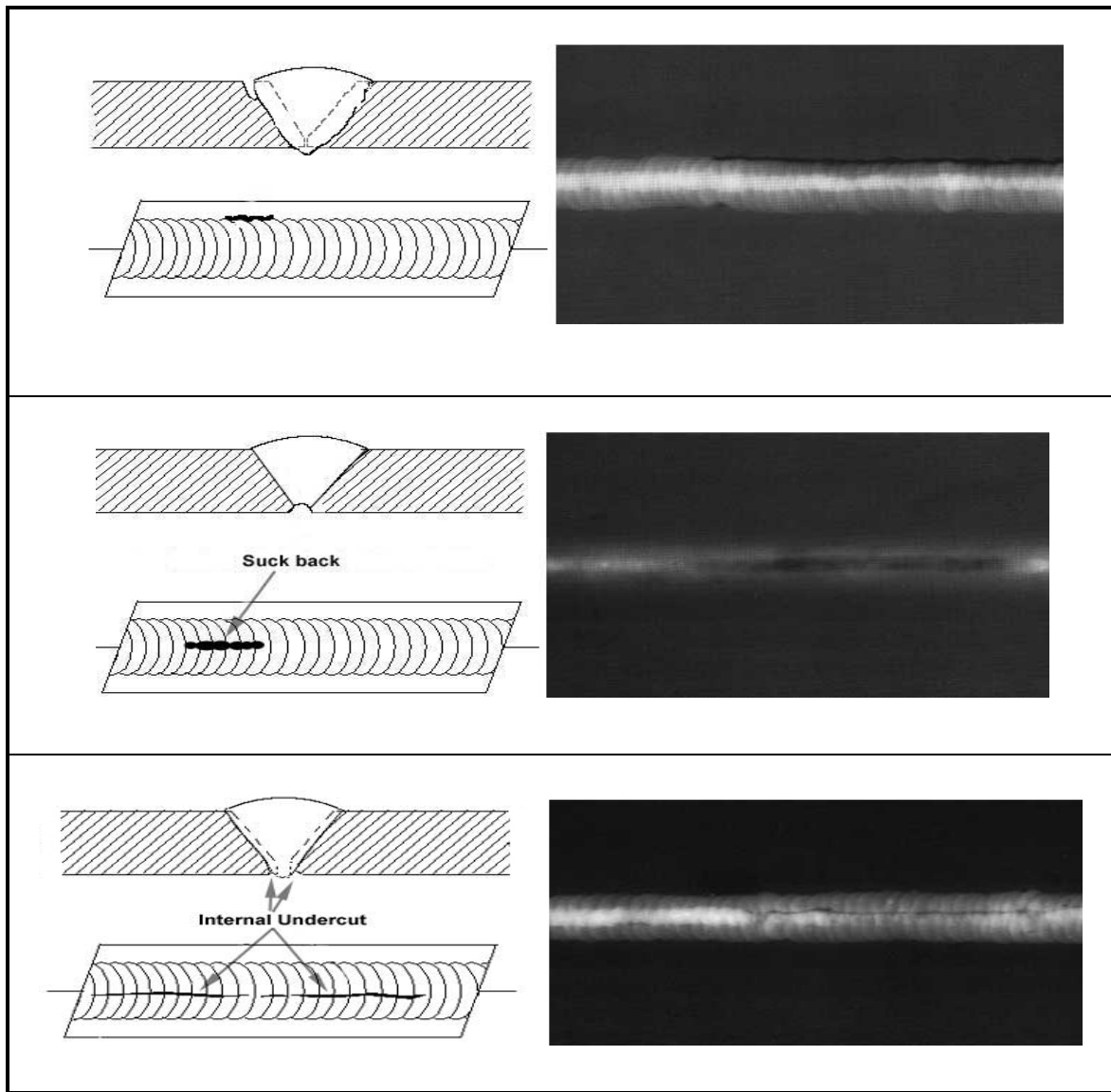


Şekil 7.7 Kalıntıların kaynak dikişinde şematik ve radyografik görüntüsü (URL-5).

Çok pasolu kaynakta; pasolar arasındaki cürufların tam olarak temizlenmemesi, kalıntılara sebep olur. Cüruf kalıntıları, mukavemeti düşürür ve çatlakların oluşumuna sebep olur. Kalıntıların önlenmesi için; erimiş banyo hareketlerinin kontrolü, pasolar arasında cürufların iyi temizlenmesi gerekir (Oğuz 1991, Vural 2007).

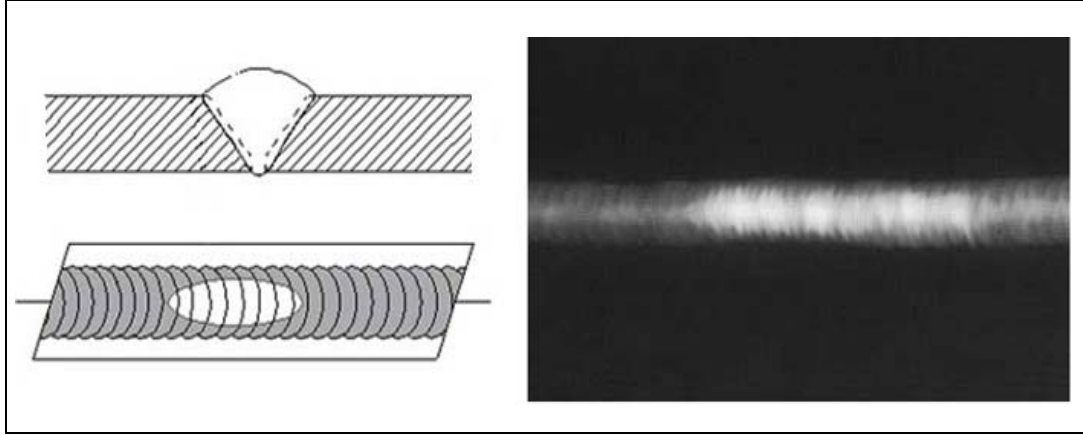
Dış Yüzey Hataları

Bu tür hatalar genelde kaynakçıdan kaynaklanan hatalardır. Standartların gerektirdiği gibi kaynak yapılmamasından dolayı kaynaklanır. Bu tür hatalardan biri yanma oluklarıdır. Ana malzeme ve dikiş kenarlarında yanmadan dolayı meydana gelen oluk ve çentiklerdir. Buna, akım şiddetinin yüksek olması, hızlı kaynak yapılması, elektrod veya üflecin büyük olması, elektrod kaynak teli veya üflecin fazla zikzaklı hareketler yapması, elektrodun yanlış açı ile tutulması veya ana metalin aşırı derecede paslı ve elektrodun rutubetli olması neden olur. Önlenmemesi durumunda kaynakta çentik etkisi yapar (Anık 1991, Bull 2000, URL-5). Şekil 7.8’de yanma oluklarının şematik ve radyografik görüntüsü verilmiştir.



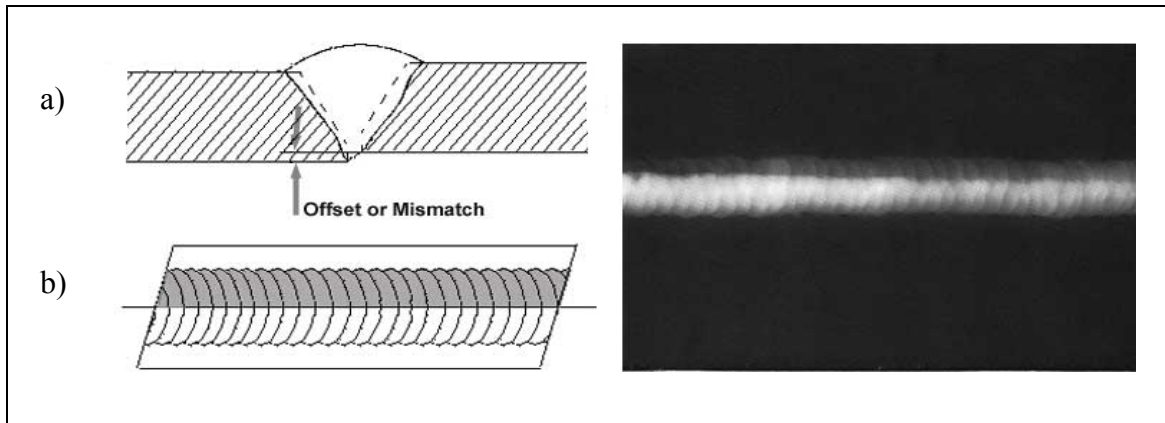
Şekil 7.8 Çeşitli yanma olukların şematik ve radyografik görüntüsü (URL-5).

Metal yığıma, dış yüzey hatasıdır ve dikiş üzerine gereğinden fazla kaynak metali yığılmasıdır (Şekil 7.9). Aşırı metal yığıma, malzeme israfından başka; gerilme dağılımını da bozar. Kaynak hızının veya elektrod çapının yanlış seçilmesi neticesinde ortaya çıkar (Anık 1991, Oğuz 1991, URL-5).



Şekil 7.9 Aşırı metal yığıma şematik ve radyografik görüntüsü (URL-5).

Eksen kayması ve açısız distorsiyon, bir başka dış yüzey hatasıdır. Eksen kayması, birleştirilecek levhaların eksenleri tam çakışmadan kaynaklanması veya katılma tamamlanmadan levhaların hareket ettirilmesi neticesinde meydana gelir (Şekil 7.10a). Levhaların eksenlerinin kaynaktan sonra açısız konum değiştirmesi, açısız distorsiyona sebep olur (Şekil 7.10b) (Silva et al. 2001, Weman 2003).



Şekil 7.10 Eksen kaymasının ve açısız distorsiyonun şematik ve radyografik görüntüsü (URL-5).

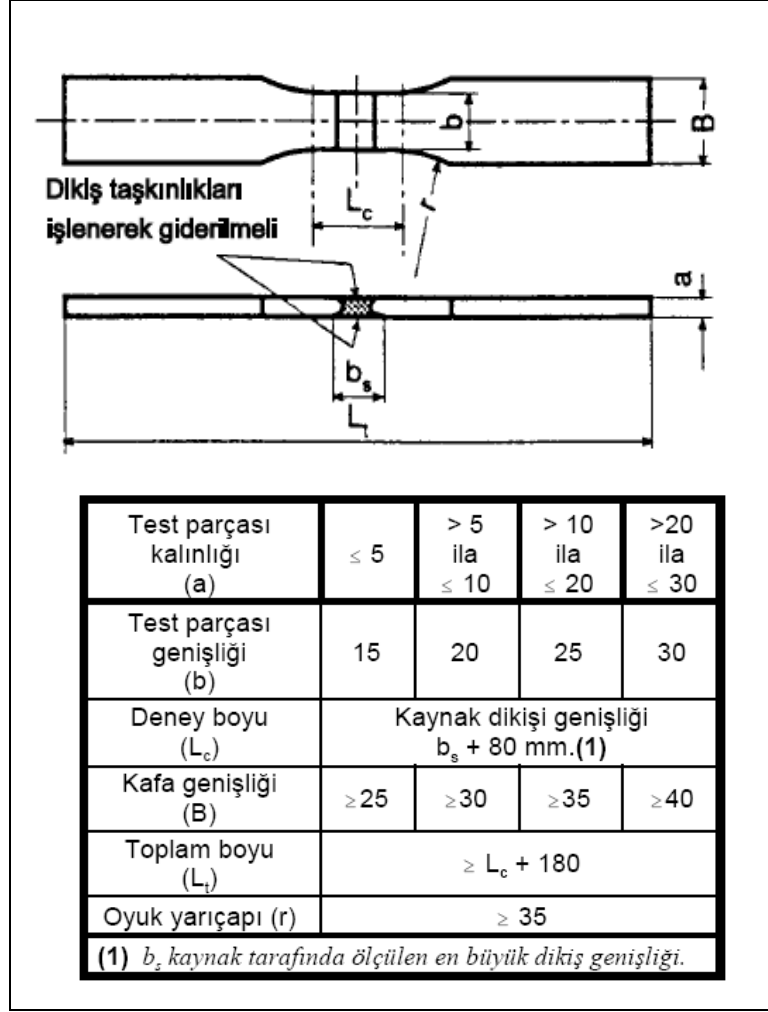
BÖLÜM 8

TAHRİBATLI MUAYENELER

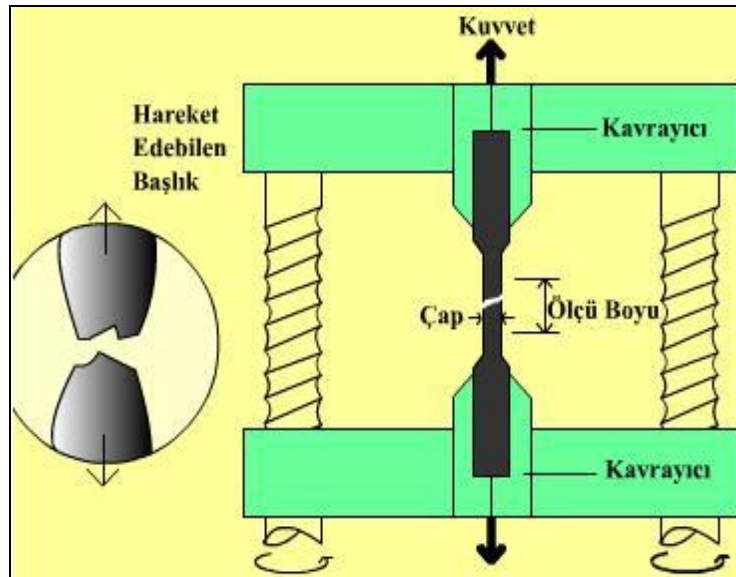
Malzemelerin sertlik, süneklik ve mukavemet gibi mekanik özellikleri temel olarak içyapılarına bağlıdır. Bu nedenle malzemelerin içyapı özellikleri iyi bilinmelidir. Malzemelerin iç yapıları ısıtılma işlemi değiştirilerek mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Malzemelere istenilen özelliklerin kazandırılabilmesi için uygun ısıtılma işlemlerin uygulanması gerekir. Uygulanan ısıtılma işleminin uygun olup olmadığı genellikle tahribatlı muayene ile belirlenir. Tahribatlı malzeme muayenesi adından da belli olacağı gibi malzemeyi tahribata uğratarak yani kalıcı şekil değişikliklerine uğratarak mekanik deneylerle gerçekleştirilir. Malzemelerin çekme ve basma dayanımları, uygulanan yüklere gösterdiği direnç ile belirlenir. Malzemelerin kopmaya karşı dayanımları uygulanan darbelere karşı gösterdikleri dirençle belirlenir. Malzemelerin eğmeye karşı gösterdikleri dayanım ise iki mesnet parçası arasına uygulanan kuvvete karşı gösterdiği direnç ile belirlenir.

8.1 ÇEKME DENEYİ

Çekme deneyi, malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini sağlamak ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla yapılır. Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemelerin; elastiklik sınırı, akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma uzaması, kopma büzülmesi, rezilyans ve tokluk değerleri bulunur. Standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin (Şekil 8.1) tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığından, aynı esnada numunenin uzaması kaydedilir ve bir gerilme-birim şekil değiştirme diyagramında gösterilir (Anık 1999, Black and Kohser 2007). Çekme deneyi şematik olarak Şekil 8.2’de gösterilmiştir.



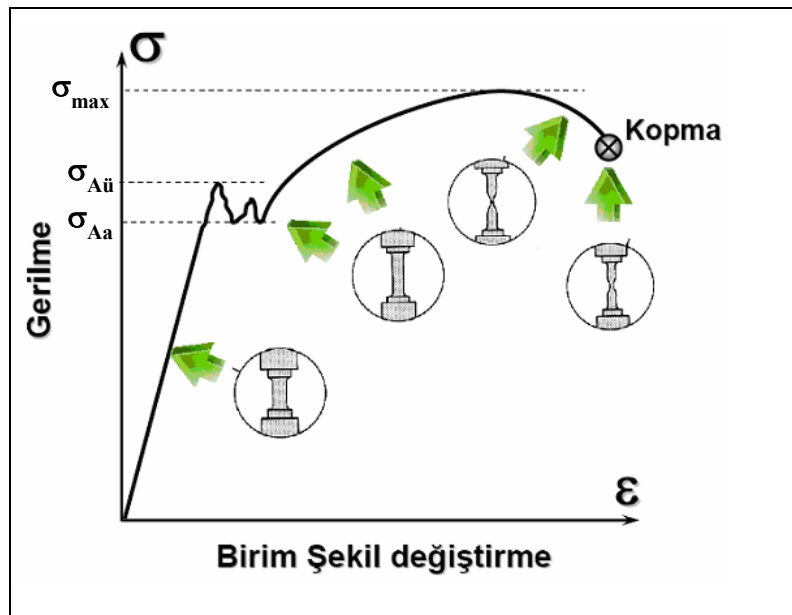
Şekil 8.1 DIN 50120 standardına göre kaynaklı birleştirmeler için yassı test parçası (Türkloydu 2008).



Şekil 8.2 Çekme deneyinin yapılışının şematik olarak gösterilişi (URL-8).

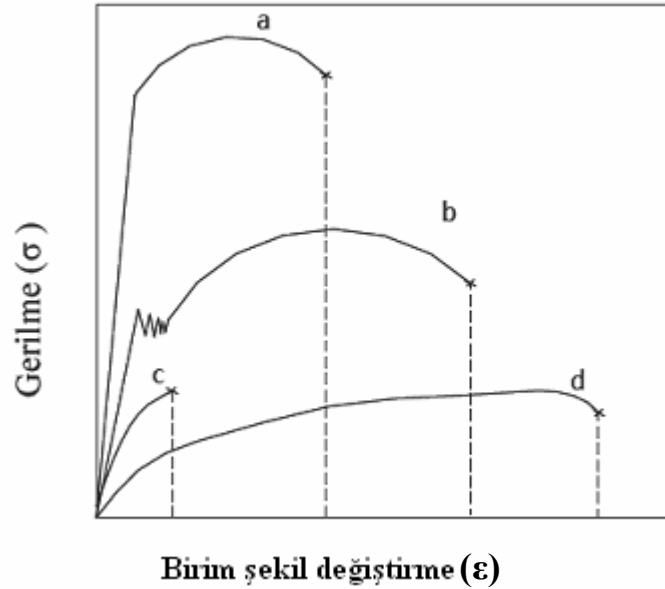
Çekme deneyinde numuneye yük uygulanmaya başlandığında numunede uzama ikiye ayrılır; *Elastik uzama*; numuneye yük uygulandığında akma sınırına gelinceye kadar bir miktar uzama görülür. Yük kaldırıldığında bu uzama kaybolur ve numune eski haline döner. *Plastik uzama*; yük akma sınırından sonra uygulanmaya devam edildiğinde numunede kalıcı şekil değişimi meydana gelir. Yani yük kaldırıldığında numune eski haline dönemmez (Anık 1999).

Çekme diyagramına gerilme-birim şekil değişimi diyagramı adı da verilir. Her malzemenin özelliğine göre gerilme-birim şekil değişimi eğrisi farklılık göstermektedir. Gevrek malzemeler plastik şekil değişimi göstermeden kırılırken, sünek malzemeler ise plastik şekil değişimi gösterirler ve belirli bir uzamaya sahiptirler. Çekme testi esnasında uygulanan gerilmenin etkisiyle malzeme üst akma noktasına geldiğinde akmaya yani büzülmeye başlar, daha sonra uygulanan gerilme, malzeme içerisindeki dislokasyonların etkilemesiyle üst akma ve alt akma noktası arasında bir zig-zag davranış gösterir. Uygulanan kuvvetin etkisiyle alt akma noktasından sonra malzemede kalıcı (plastik) bir şekil değişimi olur. Şayet akma noktasının altında bir gerilme değerinde test cihazı boşaltılırsa şekil değişimi kalıcı olmaz, bu duruma da elastik şekil değişimi denir. Şekil 8.3’de yumuşak bir çelikte belirgin bir şekilde görülebilen bu davranışlar verilmiştir. σ_{Aa} alt akma noktasını, $\sigma_{Aü}$ üst akma noktasını, σ_C maksimum çekme gerilmesini, σ_K ise kopma noktasını ifade etmektedir (MEGEP 2007, Ün 2007, ASM International 2001).



Şekil 8.3 Yumuşak bir çeliğe ait gerilme-birim şekil değişirme diyagramı (Ün 2007).

Şekil 8.4'te çeşitli malzemeler için gerilme-birim şekil değişimi ilişkisi verilmiştir. Buna göre "a" Yüksek mukavemetli çelik (yarı sünek); gerilmesi fazla fakat buna karşı birim uzaması az, "b", düşük karbonlu çelik (sünek), "c" kır dökme demir (gevrek); elastik şekil değiştirme çok az, "d" bakır (sünek); az bir gerilme ile çok yüksek birim uzama gösterir.



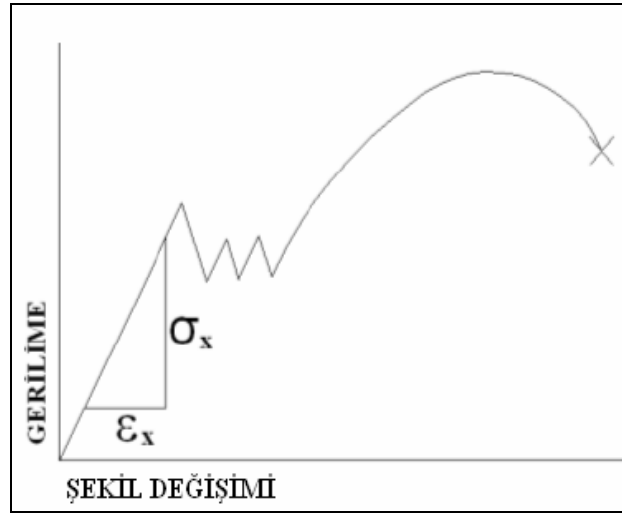
Şekil 8.4 Çeşitli malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirme diyagramları a)yüksek mukavemetli çelik (yarı sünek), b) düşük karbonlu çelik (sünek), c) kır dökme demir (gevrek), d) bakır (sünek) (MEGEP 2007).

Çekme deneyi sonucunda, gerilme – birim şekil değiştirme diyagramından malzemeye ait, elastisite modülü, elastiklik sınırı, akma dayanımı, çekme dayanımı, kesit daralması ve yüzde uzama, rezilyans, tokluk gibi özellikler bulunur.

Elastisite modülü (E), çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan eğrinin eğimine eşittir. Belirgin akma göstermeyen ahşap, kauçuk, deri gibi bazı malzemelerin çekme diyagramı böyle bir eğri bulunmadığından sabit bir E değeri yerine, belirli bir noktadaki teğetin eğimi alınır (Asarkaya 2006, Anık 1999). Bu durumda $E = \sigma/\epsilon$ olan oranıdır. Şekil 8.5'te E değerinin tespiti gösterilmiştir (Black and Kohser 2007).

Elastiklik sınırı (σ_e), malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin meydana geldiği en yüksek gerilme değeridir. Genellikle, elastiklik sınırı oranı sınırına eşit kabul edilir. Pratikte σ_e yerine %0,01

veya %0,005’lik plastik uzamaya karşı gelen gerilme ($\sigma_{0,01}$ veya $\sigma_{0,005}$) değerleri alınır (ASM International 2001).



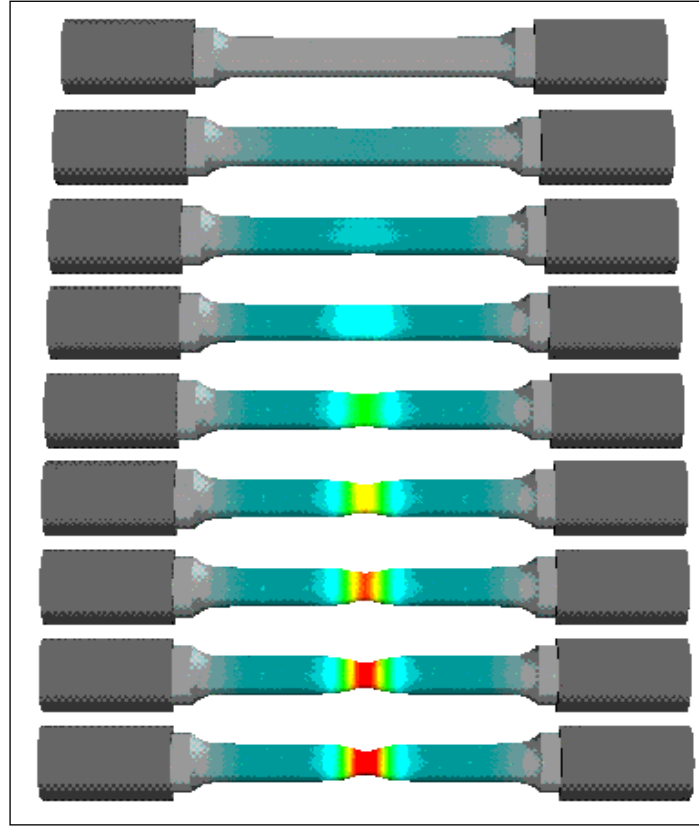
Şekil 8.5 Elastisite modülünün tespiti (Asarkaya 2006).

Akma dayanımı (σ_a), uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünsüzlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir. Bu değer akma kuvvetinin (F_a) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle ($\sigma_a = F_a/A_0$) bulunur. Düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler, deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler. Malzemelerin belirgin akma göstermemesi durumunda, genelde %0,2’lik plastik uzamaya ($\epsilon_{plastik} = 0,002$) karşı gelen çekme gerilmesi akma sınırı veya akma dayanımı olarak alınır (ASM International 2001).

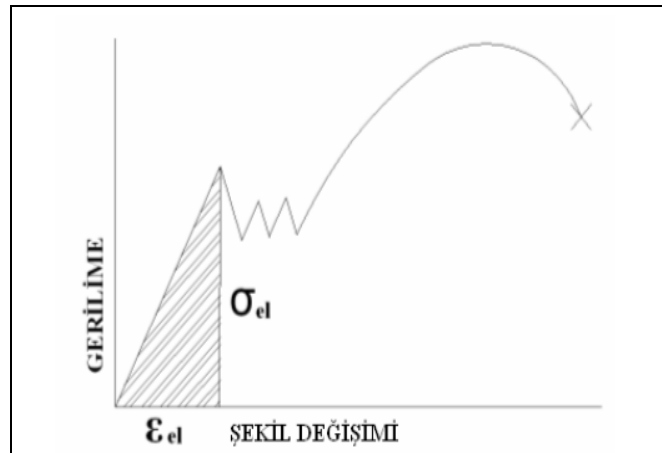
Çekme dayanımı (σ_c), bir numunenin kopmadan ve kırılmadan dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, maksimum yükün ilk kesit alanına oranı ile tespit edilir. Kopma uzaması ise numune boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama miktarına denir (ASM International 2001).

Kesit daralması ve yüzde uzama, numunenin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme miktarıdır, yüzde uzama ise çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. (ASM International 2001). Çekme deneyi sonrası oluşan kesit daralması ve yüzde uzama Şekil 8.6’da görülmektedir.

Rezilyans, numunenin yalnızca elastik şekil değişimi için harcanan enerji veya elastik şekil değişimi sırasında numunenin depolandığı enerji anlamına gelir. Bu enerji, gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin elastik kısmının altında kalan alanına eşittir ve malzeme kırıldığında bu enerji geri verilir (ASM International 2001). Şekil 8.7’de rezilyans bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 8.6 Çekme numunesinde kesit daralması ve yüzde uzama (ASM International 2001).



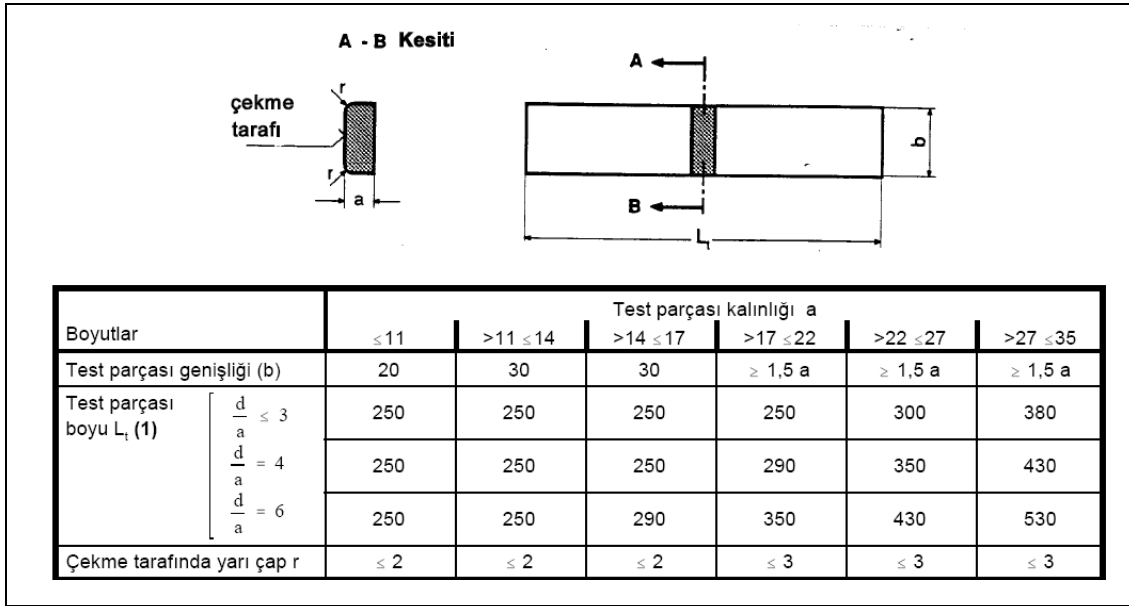
Şekil 8.7 Çekme deneyinde rezilyans tespiti (Asarkaya 2006).

$$\int_0^{\varepsilon_k} \sigma \cdot d\varepsilon \quad (8.1)$$

8.2 EĞME DENEYİ

73

Şekil 8.10’da DIN 50121 standardına göre kaynaklı numuneler için hazırlanması gereken enine test parçalarının şartları verilmiştir.



Şekil 8.10 DIN 50121 standardına göre kaynaklı numuneler için test parçası standartları (Türkloydu 2008).

Eğme Gerilmesi Hesabı

Deneyin herhangi bir anındaki eğme gerilmesi aşağıdaki bağıntı ile bulunur. Burada M_e eğme momenti, W mukavemet momentidir.

$$\Sigma_e = \frac{W}{M_e} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (8.2)$$

Deneyde F , yükü, L_s ise mesnet noktaları arasındaki uzaklığı temsil ederse,

$$M_e = \frac{F \times L_s}{4} \quad (\text{N.m}) \quad (8.3)$$

Dikdörtgen kesitli bir çubuğun mukavemet momenti aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. Burada b , çubuğun enini, h , çubuğun kalınlığı temsil eder.

$$W = \frac{b.h^2}{6} \quad (8.4)$$

Şayet çapı d olan bir yuvarlak kesitli çubuğun mukavemet momenti hesaplanacaksa aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (8.5)$$

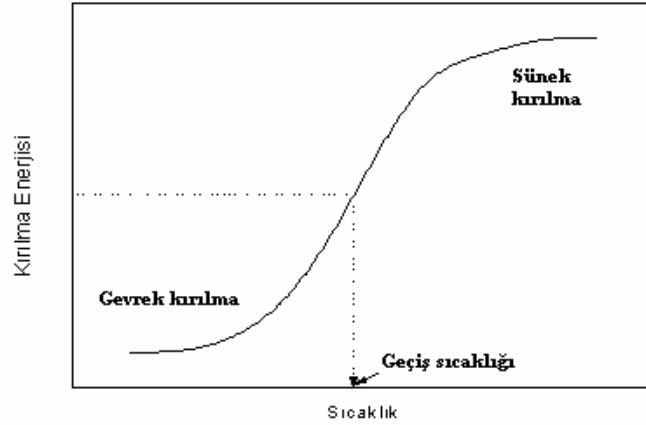
Kırılma esnasında etkiyen maksimum eğme gerilmesi değeri numunenin eğme dayanımını (σ_e) verir.

$$\Sigma_{ek} = \frac{M_e(\max)}{W} \Rightarrow \sigma_e = \frac{F_{\max} \cdot L_s}{4 \cdot W} \quad (N/mm^2) \quad (8.6)$$

8.3 ÇENTİK DARBE DENEYİ

Darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesinde bulunabilecek bir gerilme birikiminin darbe esnasında numunede suni olarak oluşturup, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci ölçmektir. Darbeli yüklere maruz kalan malzemelerin göstereceği direnci ölçmek için yapılan bir deneydir, bir başka deyişle malzemenin tokluk veya süneklik özelliklerinin belirlenmesidir. Bu malzemelerin çarpma dayanımları, yavaş yükleme durumundaki dayanımlarından çok daha düşüktür. Deneyden elde edilen sonuçlar malzemelerin sınıflandırılması için kullanılır. Tasarıma yönelik mühendislik hesaplamalarında kullanılmaz. Deneyin yapılabilmesi için numuneler belirli ölçülerde ve gerilme yığılması oluşturmak için belirli çentik şekilleriyle hazırlanır. Genellikle bir malzemenin gerilme- birim şekil değişimi eğrisi altında kalan alan ne kadar fazla ise o malzeme o kadar çok darbeye karşı direnç gösterir (Smallman and Bishop 1999, Black and Kohser 2007, Jung et al. 2008).

Malzemelerin kırılma enerjileri sıcaklık karşısında da değişim göstermektedir. Malzemelerin kırılma enerjisi sıcaklık düştükçe düşer. Kırılma enerjisinin farklı sıcaklıklarda yapılmasıyla malzemenin geçiş sıcaklığı belirlenir. Geçiş sıcaklığı malzemenin sünek kırılmadan gevrek kırılmaya geçişin olduğu sıcaklıktır. Bu genellikle malzemedeki % 50 gevrek % 50 sünek kırılmanın olduğu noktadaki sıcaklık olarak bilinir. Şekil 8.11’de sıcaklığa bağlı olarak bir malzemenin geçiş sıcaklığı gösterilmiştir (Ün 2007).



Şekil 8.11 Geçiş sıcaklığının belirlenmesi için elde edilmiş sıcaklık-kırılma enerjisi diyagramı (Ün 2007).

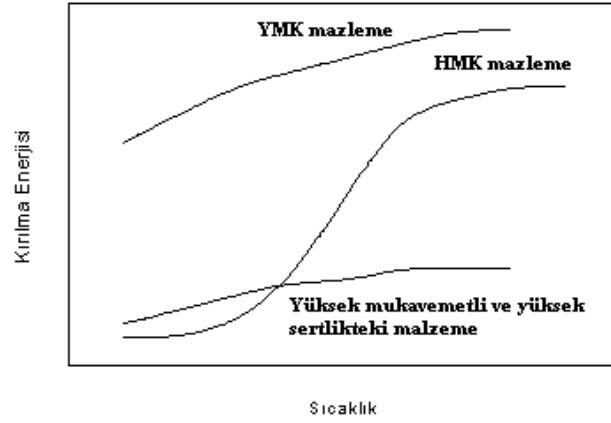
Bir malzemede geçiş sıcaklığının düşük olması istenir. Çünkü o malzemenin kullanıldığı ortam sıcaklığı çok düşük olabilir. Bu durumda oda sıcaklığında normal bir darbe dayanımı gösterse bile geçiş sıcaklığının altında kırılma riski önemli ölçüde artacaktır. Bu nedenle tasarım mühendisleri bu durumu dikkate alarak geçiş sıcaklığı düşük olan malzeme seçimi yapmak zorundadırlar (Black and Kohser 2007).

Metalik malzemelerin geçiş sıcaklıkları ve darbe dayanımları kristal yapılarına göre değişir. Çoğunlukla YMK yapıli malzemelerin kırılma enerjileri daha fazladır. HMK yapıli malzemelerde daha belirgin bir geçiş sıcaklığı tespit edilebilir. Malzemenin sertlik ve dayanımının yüksek olması o malzemenin kırılma enerjilerinin daha az olabileceğine işaret eder. Kırılma enerjisinin arttırılması için o malzemenin yüksek süneklik göstermesi gerekir (Smallman and Bishop 1999, ASM International 2001, Black and Kohser 2007). Şekil 8.12’de farklı kristal yapıli malzemeler için genel kırılma enerjisi ilişkisi verilmiştir.

Malzemelerin geçiş sıcaklıkları kristal yapısına, mikroyapısına (ince, kaba taneli, martenzitik, ferritik vs), kimyasal bileşimine, uygulanan ısıli işleme ve yüzey kalitesine bağıli olarak değişir. Mikroyapıda ikinci sert fazlar varsa bunların morfolojisi de darbe dayanımlarını etkiler. Bu sert kırılğan fazlar keskin köşeli ve sivri uçlu ise darbe dayanımlarını zayıflatır (ASM International 2001, Ün 2007).

Darbe deneyi iki türde yapılır:

- Charpy deneyi
- İzod deneyi



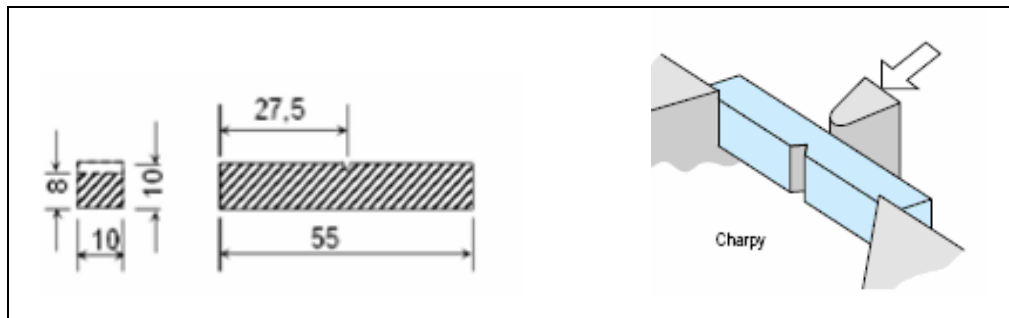
Şekil 8.12 Farklı yapıları malzemelerin kırılma enerjisi ilişkisi (Ün 2007).

8.3.1 Charpy Deneyi

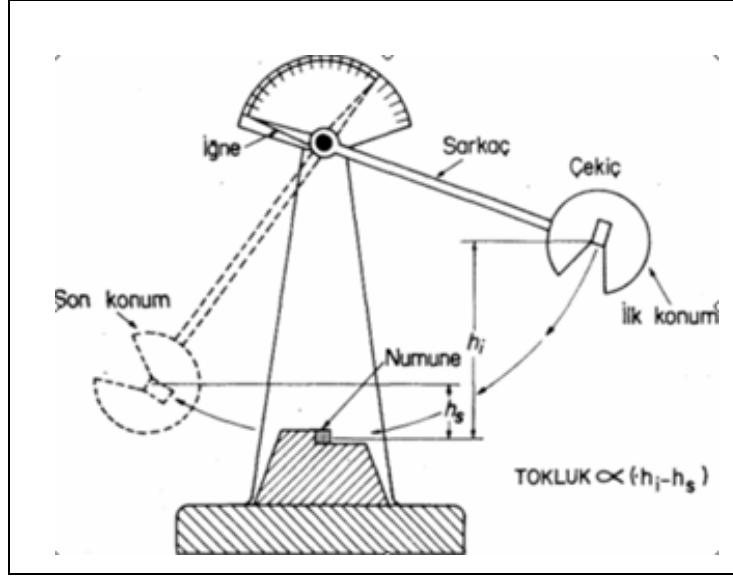
Deneyde belirli ağırlıktaki tokmaklı bir çekiç belirli bir h_i yüksekliğinden serbest olarak daha aşağıda mesnet üzerine konmuş, malzeme örneği üzerine düşürülür. Tokmak yörüngesi üzerindeki örneği zayıflatılmış kesitinden kırarak yoluna devam eder ve çarpma nedeniyle potansiyel enerjinin bir kısmını kaybettiğinden h_i 'den küçük bir h_s yüksekliğine çıkar. P ile çekicinin ağırlığı, W ile malzemenin kırılması için harcanan iş gösterilirse ve sürtünme gibi diğer etkiler ihmal edilirse;

$$P \times h_i = (P \times h_s) + W \Rightarrow W = P (h_i - h_s) \quad (8.7)$$

Deney aletindeki özel bir düzenek ile darbe dayanımı skaladan ya da dijital ekrandan okunur (Black and Kohser 2007). Şekil 8.13'te Charpy deneyinde kullanılan numunenin standartlara uygun ölçüleri ve çarpma yönü verilmektedir ve Şekil 8.14'te çentik darbe düzeneği verilmektedir.



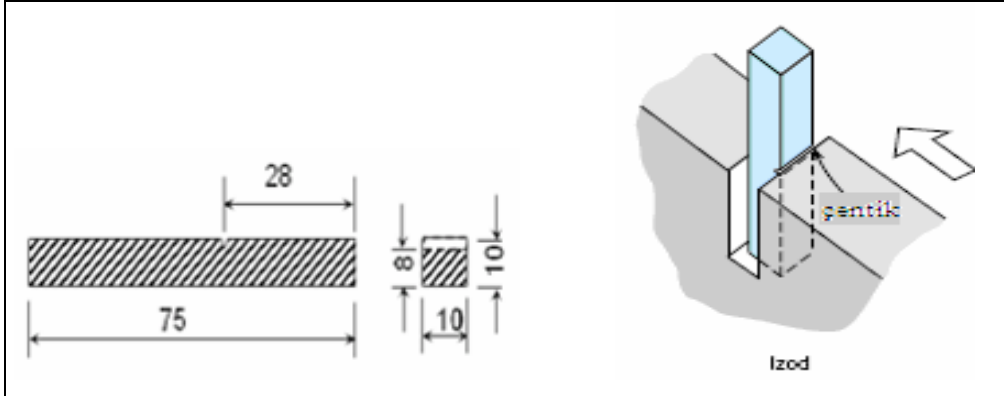
Şekil 8.13 Charpy testi numune ölçüleri ve çarpma yönü (Ün 2007).



Şekil 8.14 Çentik darbe testi düzeneği (Ün 2007).

8.3.2 İzod Deneyi

İzod deneyinin Charpy deneyinden tek farkı, deney numunesinin boyutu, çentiğin yeri, mesnetlenme ve yüklenme şeklidir. Şekil 8.15'te numunenin boyutları, mesnetlenme ve yüklenme şekli verilmiştir (Black and Kohser 2007).



Şekil 8.15 İzod testi numune ölçüleri ve çarpma yönü (Ün 2007).

8.4 SERTLİK DENEYİ

Sertlik, malzemelerin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir. Sertlik ölçme genellikle, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Uygun olarak seçilen sert uç, uygulanan yük altında

malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğüyle ters orantılıdır (Ün 2007).

Bir malzemenin sertliğini bilmek, malzemenin;

- Kökeni hakkında bilgi verir.
- Malzemenin diğer özellikleri hakkında fikir verir. Örneğin, sertlik malzemenin işlenebilme özelliğini gösterebilir. Genellikle sertlik ile işlenebilme özelliği arasında ters bağıntı vardır. Diğer bir deyişle, sert malzemeleri işlemek zordur.

Günümüzde, malzemenin sertliğini ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır, bunlardan en sık kullanılanları Rockwell, Brinell ve Vickers sertlik ölçme yöntemleridir. Bunları birbirinden ayıran özellik; batıcı uç, yükleme kuvveti ve ölçme değeriyle sertlik değerinin meydana getirilmesidir.

8.4.1 Rockwell Sertlik Deneyi

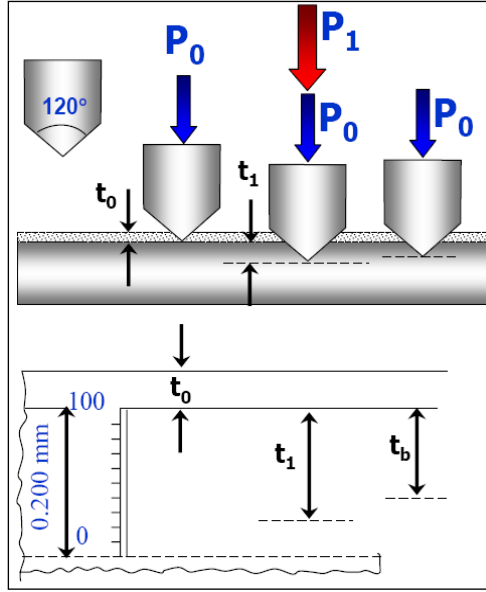
Rockwell sertliği, koni ya da küre biçiminde bir ucun belli bir yük altında bir malzeme üzerinde oluşturduğu izin derinliğinden yararlanarak ölçülen sertlik değeridir.

Rockwell sertlik ölçme yönteminde batıcı uç olarak tepe açısı 120° olan elmas uç veya konik ya da küresel çaplı çelik bilya kullanılır. Kullanılan batıcı ucun türü, yöntemin simgesinde belirtilir. Elmas uç kullanıldığında yöntem HRC ve HRA olarak ifade edilir. Çelik bilyada ise HRB ve HRF ifadeleri kullanılır. Bunlar arasındaki fark deney esnasında uygulanan kuvvet değerleridir. En çok kullanılan Rockwell sertlik ölçekleri B ve C ölçekleridir. Ölçü saati üzerindeki iki sıra numaralardan biri kırmızı, diğeri de siyahtır. Siyah renkli numaralarla Rockwell (A), (C) ve (D) sertlikleri, kırmızı renkli numaralarla diğer Rockwell sertlikleri ölçülür (MEGEP 2006).

Bu yöntemde batma derinliği ölçüleceği için yüzey pürüzlülüğü sonuçları etkileyebilir. Bu sakıncayı gidermek için önce batıcı uç küçük bir yükü [P_0 = ön yük (10kg)] malzemeye daldırılarak alet sıfır düzeyine ayarlanır (t_0). Daha sonra toplam yüke tamamlanacak şekilde ilave yük (P_1) uygulanır (t_1). Son olarak ilave yük (P_1) kaldırılır (t_b). Meydana gelen kalıcı

izdeki derinlik artışı bulunarak mevcut göstergeden Rockwell sertlik değeri okunur (Şekil 8.16).

Batıcı uç olarak çelik bilya kullanıldığı zaman ilave yük 100 kg olarak alınır, fakat gerektiği zaman diğer yükler de kullanılır. Uç olarak küresel konik elmas kullanıldığı zaman ilave yük, genel olarak 150 kg'dır (Ün 2007).



Şekil 8.16 RSD-C'nin yapılışı (Ün 2007).

Rockwell sertlik değeri boyutsuzdur. Ucun malzeme içine her 0.002 mm batışı bir sertlik değerinin düşmesi olarak alınır. Ön yük uygulandıktan sonra ucun konumu ile ilave yük kaldırıldıktan sonra ucun konumu arasındaki batma derinliği t_b olmak üzere RSD-C aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

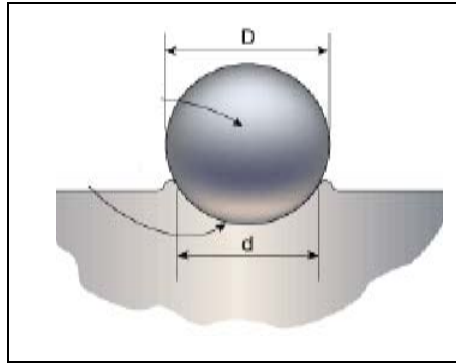
$$\text{RSD-C} = 100 - \frac{t_b}{0.002} \quad (8.8)$$

8.4.2 Brinell Sertlik Deneyi

Bu ölçme, sertlik ölçme cihazı yardımı ile deneyi yapılacak malzemenin yüzeyine belirli bir yükün, belirli çaptaki sert malzemeden yapılmış bir bilya yardımıyla belirli süre uygulanmasından ve sonuç olarak meydana gelen izin çapının ölçülmesinden ibarettir (Şekil

8.17). Standart deney şartlarında bilya çapı 10 mm, uygulanan yük 3000 kg, tatbik süresi 10-15 saniye kadardır. Standard Brinell deneyinde kullanılan yükler 500, 1500 veya 3000 kg'dır. Yük, malzemeye yavaş yavaş artacak şekilde uygulanmalı, darbeli yüklemeler önlenmelidir. Ayrıca yükün numuneye dik gelecek şekilde uygulanmasına dikkat edilmelidir. Yükün uygulama süresi, yumuşak metaller dışında genellikle 10 -15 saniyedir. Yumuşak metaller için bu süre 30 saniye ve daha fazla olabilir. Meydana gelen izin çapı $0,2D < d < 0,7D$ (Bilya çapının % 25'i ile % 60'ı) arasında olacak şekilde deney yükü seçilir. İz çapında böyle bir alt sınırın belirtilmesi gereklidir, çünkü iz çapı küçüldükçe, deneydeki hata oranı artar. İz çapının üst sınırı da, bazı deney cihazlarında ucun hareket miktarı ile sınırlanmıştır.

Meydana gelen izin birbirine dik iki yönde çapı taksimatlı büyüteç ile ölçülür ve Brinell sertlik değerini tayin ederken bu iki ölçmenin ortalaması kullanılır. İz çapı en az 0,02 mm'lik bir doğrulukta ölçülür (Ün 2007).



Şekil 8.17 Brinell sertlik deneyinde kullanılan bilya şeklinde batıcı uç (Ün 2007).

Brinell sertlik değeri şu şekilde hesaplanır;

$$\text{Brinell Sertlik Değeri BSD (HB)} = \frac{2F}{\pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} = \frac{F}{A} \quad (8.9)$$

Burada;

F : Uygulanan yük

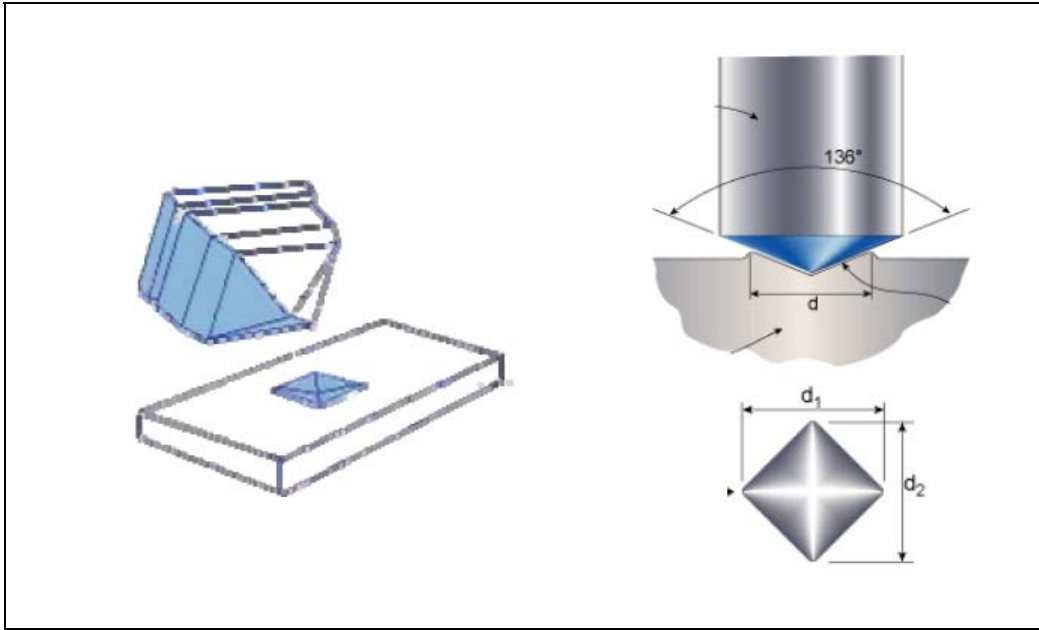
D : Bilyanın çapı

d : Oluşan izin çapı

Gelişen teknolojiyle günümüzde bu hesaplamalara gerek kalmamaktadır. Sertlik değeri makine üzerindeki göstergeden (skala) okunabilmektedir (MEGEP 2006).

8.4.3 Vickers Sertlik Deneyi

Brinell sertlik deneyi, sertliği çoğunlukla 65-450 HB arasında olan yumuşak elik veya yapı çeliğinin muayenesinde kullanılır. Malzeme daha sert olunca deneyde kullanılan elik bilyanın şekil değişimi de önem kazanır, bu nedenle daha değişik yöntemler kullanmak gerekir. Bunların en önemlisi Vickers sertlik deneyidir. Bu yöntemde metal yüzeyine batıcı uç olarak tabanı kare kesitli ve tepe açısı 136° olan elmas piramit bir uç kullanılır (şekil 8.18) (n 2007).



şekil 8.18 Vickers sertlik deneyinde kullanılan piramit şeklinde batıcı uç (n 2007).

Piramidin bıraktığı izin köşegeni (d), her iki köşegen uzunluğunun milimetrenin 1/1000'i duyarlılıkta mikroskopla llmesi ve ortalamasının alınması ile tespit edilir. Vickers sertliği (VSD) aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır:

$$\text{VSD (HV)} = 1.8544 \frac{F}{d^2}, \quad d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (8.10)$$

Burada;

F: uygulanan kuvvet

d₁ ve d₂ : köşegen uzunlukları

8.4.4 Mikrosertlik Deneyi

Bu deney, özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini ölçmede elverişlidir. Karbürize, dekarbürize ve azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deney ile tespit edilebilir. Ayrıca, metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılgan malzemelerin sertliklerini ölçmede de kullanılır. Deney malzemesinin sertliğine göre seçilen uygun yükler için, batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik hiç bir zaman 1 mikronu geçmez. Mikrosertlik aleti hassas bir alet olup kontrolü otomatiktir. Diğer sertlik ölçme aletlerinden farklı olan yanı, aletin komple metal mikroskobunu ihtiva etmesidir.

Sekil 8.19’da mikrosertlik deneyinin yapılışının şematik gösterimi verilmektedir. Mikrosertlik deneyi için iki standart uç kullanılır. Birincisi 136°’lik tabanı kare olan piramit uç (Vickers uç) dur. Diğeri ise, Knoop ucu diye bilinen 172°30’ piramit uçtur (Asarkaya 2006, URL-9, URL-11).



Şekil 8.19 Mikrosertlik deneyinin yapılışı (URL-11).

BÖLÜM 9

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Gemi yapımında en önemli ve sorun çıkaran aşama kaynaktır. Gemiler dinamik yükler altında çalıştıklarından dolayı kaynaklı bağlantıların yeterince emniyetli ve güvenilir olması istenir. Son yıllarda değişik kaynak yöntemleri gemi inşa sektöründe kullanılsa da, örneğin cürufaltı kaynağı (ESW), elektrikli gaz kaynağı (EGW), termit kaynağı (TW) ve sürtünme kaynağı (FSW) gibi. Yine de en çok kullanılan geleneksel kaynak yöntemleri olan elektrik ark, gazaltı, tozaltı kaynak yöntemlerinden vazgeçilmemektedir.

Gemi sacları bu kaynak yöntemleriyle ve değişik kaynak pozisyonlarında birleştirilir. Kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri kaynak kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Farklı kaynak yöntemleri ve parametreleri ısı girdisini değiştireceğinden, buna bağlı iç yapı ve mekanik özellikler de değişecektir. Gemi endüstrisinde iç yapı değişiklikleri büyük önem arz etmektedir. Fakat gelişmiş kaynak teknolojilerine ülkemiz tersanelerinde yeteri kadar önem gösterilmemekte ve gerekli çalışmalar sınırlı sayıda yapılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yüksek mukavemetli iki farklı gemi sacının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonu ile birleştirilmesi ve mikroyapılarının, mekanik özelliklerinin irdelenmesidir. Bu irdelemelerin sonucunda konstrüksiyon aşamasında çıkan kaynak problemlerinin sebeplerinin bulunması ve iyileştirmelere gidilmesi hedeflenmiştir.

9.1 KULLANILAN SACLAR VE ELEKTRODLAR

Deneysel çalışmada, farklı pozisyonlarda elektrik ark (rutil ve bazik), gazaltı (MAGC) ve tozaltı kaynak yöntemleriyle birleştirilen 12 mm kalınlığında ASTM A131 standardına göre AH36 ve DH36 kalite yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) gemi sacları kullanılmıştır. HSLA çeliklerinde akma sınırının yüksekliği nedeniyle daha ince cidar kalınlıkları kullanılabildiğinden dolayı, hem gemi ağırlıklarını azaltmak, hem de yüksek gerilmeli

alanlarda kalın plakalar kullanımını engeller, dolayısıyla kaynak zamanından tasarruf edilmiş olunur. Ayrıca yüksek korozyon dayanımı istenilen bölgeler için de tercih edilmektedir.

Test parçalarının kaynağında elektrik ark kaynağı için ESAB OK48.60 bazik örtülü ve ESAB OK 43.33 rutil örtülü elektrodlar kullanılmıştır. MAG kaynağı için 1,2 mm kalınlığında ESAB Dualshield 7100LH bazik özlü elektrod ve tozaltı kaynağı için ESAB OK Autorod 12.20 (S2) tozaltı teli ve toz olarak ESAB OK10.71 bazik karakterli aglomere toz kullanılmıştır. Kullanılan sacların ve ilave elektrodların kimyasal bileşimleri Çizelge 9.1’de ve mekanik özellikleri Çizelge 9.2’de verilmiştir.

Çizelge 9.1 Testte kullanılan sacların ve ilave metallerin kimyasal bileşimleri (ESAB 2009, Ilyich Steel & Iron Works 2009).

Malzeme	%									
	C	Mn	Si	Al	Cu	Cr	Ni	P	S	Mo
AH36	0,149	1,444	0,181	0,037	0,031	0,024	0,019	0,016	0,007	0,002
DH36	0,16	1,451	0,176	0,04	0,03	0,26	0,029	0,017	0,008	0,003
Bazik örtülü elektrod	0,07	1,1	0,5	–	–	–	–	0,02	0,015	–
Rutil örtülü elektrod	0,1	0,5	0,5	–	–	–	–	–	–	–
Bazik özlü gazaltı teli	0,06	1,35	0,05	–	–	–	–	–	–	–
Tozaltı teli	0,05	1,35	0,3	–	–	–	–	–	–	–
	Al ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaF ₂	MgO	FeO	TiO	Na ₂ O		
Bazik karakterli aglomere toz	31,1	6,1	18,2	10,1	27,3	3,5	1,2	2,5		

Çizelge 9.2 Testte kullanılan sacların ve ilave metallerin mekanik özellikleri (ESAB 2009, Ilyich Steel & Iron Works Co. 2009).

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Çentik Darbe Dayanımı Min.
AH36	402	531	22	0°C 60J
DH36	423	592	21	– 20°C 63J
Bazik örtülü elektrod	420	540	22	– 20°C 54J
Rutil örtülü elektrod	420	510	25	0°C 47J
Bazik özlü gazaltı teli	460	570	22	– 20°C 54J
Tozaltı teli	410	510	22	– 20°C 80J

Kaynak kabiliyeti sacın karbon eşdeğeri ile doğrudan orantılı olduğu için kullanılan sacların karbon eşdeğerleri formül 3.1’e göre hesaplanmıştır.

AH36 kalite sac için ;

$$\% C_{eş} = \% 0,149 + \frac{1,444}{6} + \frac{(0,024 + 0,002 + 0)}{5} + \frac{(0,019 + 0,031)}{15} = 0,398$$

DH36 kalite sac için;

$$\% C_{eş} = \% 0,0,16 + \frac{1,451}{6} + \frac{(0,26 + 0,003 + 0)}{5} + \frac{(0,029 + 0,03)}{15} = 0,457$$

9.2 TEST PARÇALARININ HAZIRLANMASI VE KAYNATILMASI

Lloyd Register sertifikalı 12 mm AH36 ve DH36 kalite gemi saclarından 150 mm x 500 mm ebatında toplam 26x2=52 adet test parçası Nümerik Kontrollü (NC) alevle kesme tezgahlarında kesilmiştir. Kaynak ağızları, EN ISO 9692-1 standardına göre elektrik ark ve MAG kaynağı için “Y” kaynak ağızı açılmıştır ve kök açıklığı verilmiştir. Tozaltı ile kaynatılacak test parçaları ise EN ISO 9692-2 standardına göre kaynak ağızı açılmamıştır. Herhangi bir kaynak hatasına sebebiyet vermemek için kaynak ağızlarındaki çapaklar taşılama ile tamamen temizlenmiştir. Kaynak esnasında parçanın maruz kalacağı yüksek ısı girdisinden dolayı deformasyon ve çarpılmaları önlemek için tüm test parçaları birbirlerine puntalanmıştır.

Kaynak öncesi hazırlıklar tamamlandıktan sonra kaynak işlemine geçilmeden önce DH36 çeliğinin karbon eşdeğeri 0,457 olduğu için üfleç ile öntav yapılmıştır. Ayrıca, kaynak esnasında pasolar arası kaynak bindirmelerinde bir önceki kaynak pasosunun soğuması beklenerek aşırı ısı girdisi önlenmeye çalışılmıştır.

Deneylerde, elektrik ark kaynağında kullanılan ESAB Origo Arc 650C marka düşey karakteristikli redresörün fotoğrafı Şekil 9.1’de ve teknik özelliği Çizelge 9.3’te verilmiştir.

Gazaltı kaynak makinesi olarak, 405 amperlik yatay karakteristikli, su soğutmalı 5 kaba, 6 ince ayar kademeli 30 gerilim basamaklı doğru akım ESAB Origo Mig L405 marka kaynak makinesi kullanılmıştır (Şekil 9.2). Tel sürme tertibatı olarak kaynak makinesinin üstünde

bulunan 4 kademeli ve 1,5 ila 22,0 m/dak hızlarında tel sürme tertibatı olarak Origo Feed L304 kullanılmıştır. Gazaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri Çizelge 9.4’te verilmiştir.



Şekil 9.1 Elektrik ark kaynağında kullanılan ESAB Origo Arc 650C marka redresör (ESAB 2009).

Çizelge 9.3 ESAB Origo Arc 650C marka redresörün teknik özellikleri (ESAB 2009).

Şebeke gerilim(3 faz 60 Hz)	550 V
Akım ve gerilim ayar aralığı	20A/20V-650A/44V
Kaynak akımı/gerilimi (%35)	650A/44V
Kaynak akımı/ gerilimi (%60)	490A/40V
Kaynak akımı/gerilimi (%100)	400A/36V
Boşta çalışma gerilimi	56V
Kaynak kablo kesiti	4x10 mm ²

Tozaltı kaynağında da yatay karakteristikli ESAB LHF 1200 redresör ve A2 Multitrac A6 PEH kontrollü tel sürme ünitesi kullanılmıştır (Şekil 9.3). Redresörün teknik özellikleri Çizelge 9.5’te verilmiştir.

Test parçaları kaynaklanmadan önce marka kalemi ile tek tek markalanmıştır. Çizelge 9.6’da markalanan test parçalarının kodlaması verilmiştir.



Şekil 9.2 ESAB Origo Mig L405 marka gazaltı kaynak makinesi (ESAB 2009).

Çizelge 9.4 ESAB Origo Mig L405 marka gazaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri (ESAB 2009).

Şebeke gerilim(3 faz 50 Hz)	500 V
Akım ve gerilim ayar aralığı	40A/16V-400A/43V
Kaynak akımı/gerilimi (%50)	400A/34V
Kaynak akımı/ gerilimi (%60)	365A/32V
Kaynak akımı/gerilimi (%100)	280A/28V
Kaynak kablo kesiti	4x2,5 mm ²



Şekil 9.3 ESAB A2 Multitrac A6 PEH kontrollü tel sürme ünitesi (ESAB 2009).

Çizelge 9.5 ESAB LHF 1200 redresörün teknik özellikleri (ESAB 2009).

Şebeke gerilim(3 faz 50 Hz)	400 V
Akım ve gerilim ayar aralığı	100A/15V-1200A/75V
Nominal kaynak akımı (%50)	1200A
Nominal kaynak akımı (%60)	1000A
Nominal kaynak akımı (%100)	800A
Kaynak kablo kesiti	4x10 mm ²

Çizelge 9.6 Kaynaklı parçaların kodlanması.

Numune	Kodlama	Açıklama
1	DH36 1G E R	DH36, 1G pozisyonunda, Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı
2	DH36 1G E B	DH36, 1G pozisyonunda, Bazik elektrodla elektrik ark kaynağı
3	DH36 1G T	DH36, 1G pozisyonunda, Tozaltı kaynağı
4	DH36 1G G	DH36, 1G pozisyonunda, Gazaltı kaynağı (MAG)
5	AH36 1G E R	AH36, 1G pozisyonunda, Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı
6	AH36 1G E B	AH36, 1G pozisyonunda, Bazik elektrodla elektrik ark kaynağı
7	AH36 1G T	AH36, 1G pozisyonunda, Tozaltı kaynağı
8	AH36 1G G	AH36, 1G pozisyonunda, Gazaltı kaynağı (MAG)
9	DH36 2G E R	DH36, 2G pozisyonunda, Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı
10	DH36 2G E B	DH36, 2G pozisyonunda, Bazik elektrodla elektrik ark kaynağı
11	DH36 2G G	DH36, 2G pozisyonunda, Gazaltı kaynağı (MAG)
12	AH36 2G E R	AH36, 2G pozisyonunda, Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı
13	AH36 2G E B	AH36, 2G pozisyonunda, Bazik elektrodla elektrik ark kaynağı
14	AH36 2G G	AH36, 2G pozisyonunda, Gazaltı kaynağı (MAG)
15	DH36 3G E R	DH36, 3G pozisyonunda, Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı
16	DH36 3G E B	DH36, 3G pozisyonunda, Bazik elektrodla elektrik ark kaynağı
17	DH36 3G G	DH36, 3G pozisyonunda, Gazaltı kaynağı (MAG)
18	AH36 3G E R	AH36, 3G pozisyonunda, Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı
19	AH36 3G E B	AH36, 3G pozisyonunda, Bazik elektrodla elektrik ark kaynağı
20	AH36 3G G	AH36, 3G pozisyonunda, Gazaltı kaynağı (MAG)
21	DH36 4G E R	DH36, 4G pozisyonunda, Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı
22	DH36 4G E B	DH36, 4G pozisyonunda, Bazik elektrodla elektrik ark kaynağı
23	DH36 4G G	DH36, 4G pozisyonunda, Gazaltı kaynağı (MAG)
24	AH36 4G E R	AH36, 4G pozisyonunda, Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı
25	AH36 4G E B	AH36, 4G pozisyonunda, Bazik elektrodla elektrik ark kaynağı
26	AH36 4G G	AH36, 4G pozisyonunda, Gazaltı kaynağı (MAG)

Şekil 9.4’te 1G, 2G, 3G ve 4G kaynak pozisyonları gösterilmiştir. 1G, 2G, 3G ve 4G kaynak pozisyonlarında doğru akım ve artı kutupta kaynatılan parçalarının her kaynak pozisyonu için kaynak parametreleri Çizelge 9.7, 9.8, 9.9 ve 9.10’de verilmiştir. Ayrıca tablolarda, her paso için hesaplanan ısı girdileri verilmiştir. Isı girdisi hesabı EN 1011-1 standardına göre aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$Q = \left(\frac{UxI}{vx1000} \right) x \eta \quad (9.1)$$

Q= Isı girdisi (kJ/mm)

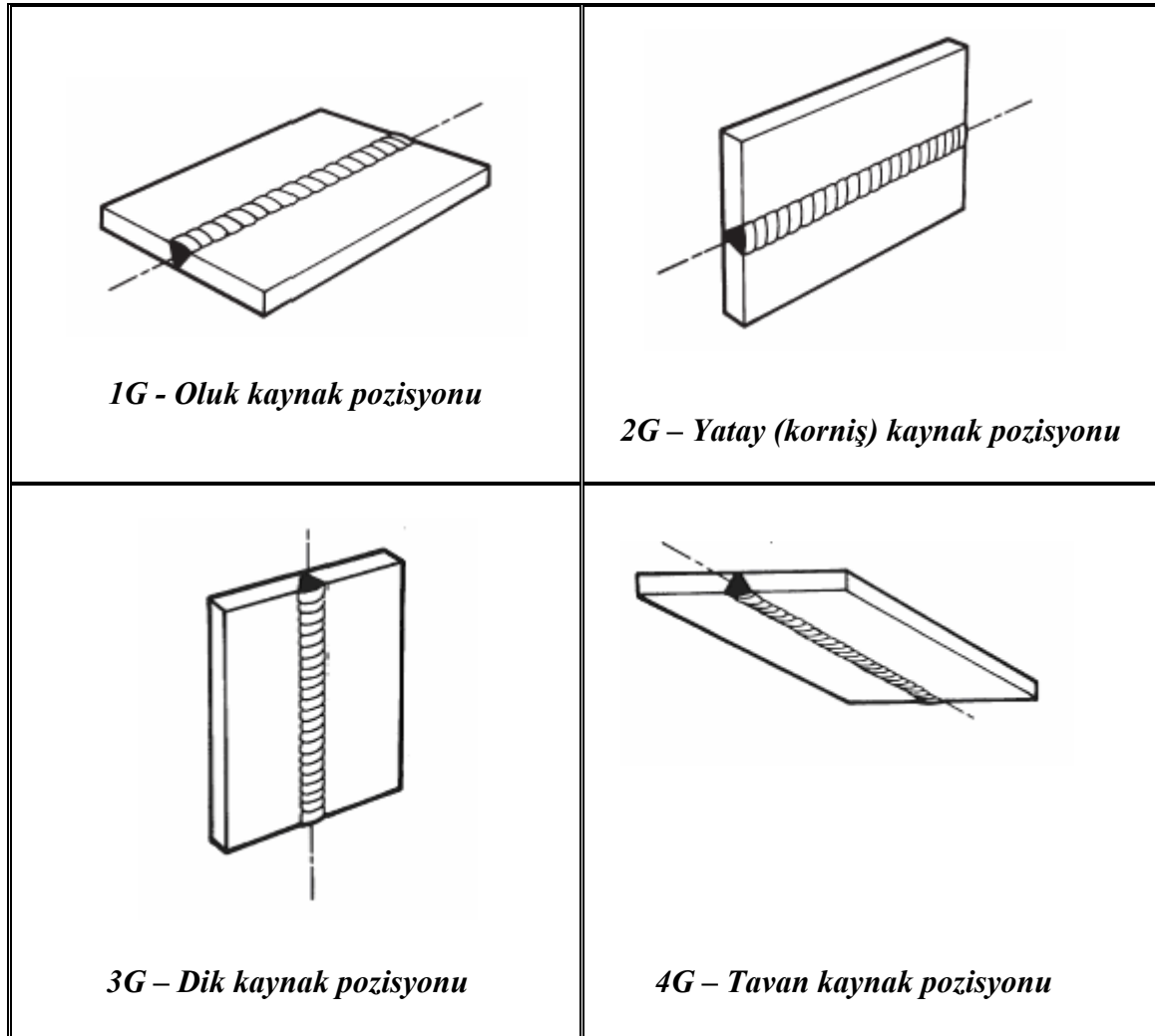
U= Ark gerilimi (V)

I= Kaynak akımı (A)

v= Kaynak hızı (mm/s)

η = Verim

Kaynak verimi boyutsuz bir sayıdır. Elektrik ark kaynağı için ark verimi 0,75, tozaltı kaynağı için 0.90, gazaltı MAG kaynağı için ise 0,90 olarak kabul edilmektedir (Weman 2003).



Şekil 9.4 1G, 2G, 3G ve 4G kaynak pozisyonlarının gösterimi (URL-12).

Çizelge 9.7 1G (oluk) pozisyonunda test parçalarının kaynak parametreleri.

No.1 (DH36 1G E R) Rutil Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
<i>paso</i>	<i>Dolgu metal çapı (mm)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Gerilim (V)</i>	<i>Kaynak Hızı (mm/s)</i>	<i>Isı Girdisi (kJ/mm)</i>	
1	3,25	112-115	19-23	2,6	0,76	
2	3,25	112-115	19-23	3,5	0,56	
No.2 (DH36 1G E B) Bazik Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
<i>paso</i>	<i>Dolgu metal çapı (mm)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Gerilim (V)</i>	<i>Kaynak Hızı (mm/s)</i>	<i>Isı Girdisi (kJ/mm)</i>	
1	3,25	112-115	19-23	2,72	0,73	
2	3,25	112-115	19-23	3,45	0,58	
3	3,25	112-115	19-23	3,1	0,64	
No.3 (DH36 1G T) Tozaltı Kaynağı						
<i>paso</i>	<i>Dolgu metal çapı (mm)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Gerilim (V)</i>	<i>Kaynak Hızı (mm/s)</i>	<i>Makine Hızı (cm/dak)</i>	<i>Isı Girdisi (kJ/mm)</i>
1	5	620	32,3	10	52	1,8
2	5	620	32,3	11	55	1,64
No.4 (DH36 1G G) MAG kaynağı						
<i>paso</i>	<i>Dolgu metal çapı (mm)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Gerilim (V)</i>	<i>Tel Besleme hızı (m/min)</i>	<i>Kaynak Hızı (mm/s)</i>	<i>Isı Girdisi (kJ/mm)</i>
1	1,2	190-200	27-28	12,5	8,33	0,6
2	1,2	200-220	29-30	12,5	2,34	2,53
3	1,2	190-205	30-31	11	3,27	1,75
No.5 (AH36 1G E R) Rutil Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
<i>paso</i>	<i>Dolgu metal çapı (mm)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Gerilim (V)</i>	<i>Kaynak Hızı (mm/s)</i>	<i>Isı Girdisi (kJ/mm)</i>	
1	3,25	112-115	19-23	2,8	0,71	
2	3,25	112-115	19-23	3,6	0,55	
No.6 (AH36 1G E B) Bazik Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
<i>paso</i>	<i>Dolgu metal çapı (mm)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Gerilim (V)</i>	<i>Kaynak Hızı (mm/s)</i>	<i>Isı Girdisi (kJ/mm)</i>	
1	3,25	112-115	19-23	2,71	0,73	
2	3,25	112-115	19-23	3,6	0,55	
3	3,25	112-115	19-23	3,1	0,64	
No.7 (AH36 1G T) Tozaltı Kaynağı						
<i>paso</i>	<i>Dolgu metal çapı (mm)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Gerilim (V)</i>	<i>Kaynak Hızı (mm/s)</i>	<i>Makine Hızı (cm/dak)</i>	<i>Isı Girdisi (kJ/mm)</i>
1	5	620	32,5	10	51	1,81
2	5	620	32,5	11	55	1,64
No.8 (AH36 1G G) MAG Kaynağı						
<i>paso</i>	<i>Dolgu metal çapı (mm)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Gerilim (V)</i>	<i>Tel Besleme hızı (m/min)</i>	<i>Kaynak Hızı (mm/s)</i>	<i>Isı Girdisi (kJ/mm)</i>
1	1,2	190-200	27-28	12,5	7,14	0,71
2	1,2	200-220	29-30	12,5	2,17	2,74
3	1,2	190-205	30-31	11	4,17	1,37

Çizelge 9.8 2G (korniş) pozisyonunda test parçalarının kaynak parametreleri.

No.9 (DH36 2G E R) Rutil Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	4	131-135	20-26	3,8	0,69	
2	4	131-135	20-26	4,45	0,59	
3	3,25	112-115	19-23	3,56	0,56	
No.10 (DH36 2G E B) Bazik Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	3,25	112-115	19-23	2,68	0,74	
2	3,25	112-115	19-23	3,8	0,52	
3	3,25	112-115	19-23	3,4	0,58	
No.11 (DH36 2G G) MAG Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Tel Besleme hızı (m/dak)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	1,2	204-212	27-28	11,5	3,7	1,44
2	1,2	207-210	27-28	11	3,33	1,59
3	1,2	181-197	27-28	10	6,17	0,8
4	1,2	182-200	27-28	10	7,81	0,65
5	1,2	182-200	27-28	10	16,6	0,3
No.12 (AH36 2G E R) Rutil Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	4	131-135	20-26	3,71	0,71	
2	4	131-135	20-26	4,6	0,57	
3	3,25	112-115	19-23	3,33	0,6	
No.13 (AH36 2G E B) Bazik Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	3,25	112-115	19-23	2,4	0,83	
2	3,25	112-115	19-23	3,9	0,51	
3	3,25	112-115	19-23	3,36	0,59	
No.14 (AH36 2G G) MAG Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Tel Besleme hızı (m/dak)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	1,2	205-214	27-28	11,5	3,57	1,51
2	1,2	207-210	27-28	11	5,56	0,95
3	1,2	181-200	27-28	10	7,14	0,71
4	1,2	182-198	27-28	10	8,33	0,6
5	1,2	182-200	27-28	10	16,6	0,3

Çizelge 9.9 3G (dik) pozisyonunda test parçalarının kaynak parametreleri.

No.15 (DH36 3G E R) Rutil Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	4	150	27	1,67	1,82	
2	4	150	27	1,67	1,82	
3	4	138-140	28-30	1,95	1,62	
4	4	138-140	28-30	1,92	1,64	
5	4	132-134	28-30	1,82	1,66	
6	4	132-134	28-30	3,57	0,84	
7	4	132-134	28-30	2,38	1,27	
No.16 (DH36 3G E B) Bazik Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	3,25	125	25	1,39	1,69	
2	4	168-170	22-28	3,03	1,18	
3	4	156-160	22-28	2,82	1,19	
4	4	156-160	22-28	2,78	1,21	
5	3,25	118-120	17-21	1,4	1,35	
6	3,25	118-120	17-21	1,42	1,33	
No.17 (DH36 3G G) MAG Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Tel Besleme hızı (m/dak)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	1,2	173-186	24-25	10	2,17	1,93
2	1,2	175-190	24-25	10	3,03	1,41
3	1,2	175-190	24-25	10	6,25	0,68
No.18 (AH36 3G E R) Rutil Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	4	150	27	2,8	1,08	
2	4	150	27	4,4	0,69	
3	4	138-140	28-30	3,8	0,83	
4	4	138-140	28-30	4,1	0,77	
5	4	132-134	28-30	4,2	0,72	
6	4	132-134	28-30	3,9	0,77	
7	4	132-134	28-30	3,7	0,81	
No.19 (AH36 3G E B) Bazik Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	3,25	125	25	2,7	0,87	
2	4	168-170	22-28	3,3	1,08	
3	4	156-160	22-28	3,4	0,99	
4	4	156-160	22-28	3,4	0,99	
5	3,25	118-120	17-21	3,8	0,5	
6	3,25	118-120	17-21	4,1	0,46	
No.20 (AH36 3G G) MAG Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Tel Besleme hızı (m/dak)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	1,2	173-186	24-25	10	2,32	1,8
2	1,2	175-190	24-25	10	2,89	1,48
3	1,2	175-190	24-25	10	6,94	0,62

Çizelge 9.10 4G (tavan) pozisyonunda test parçalarının kaynak parametreleri.

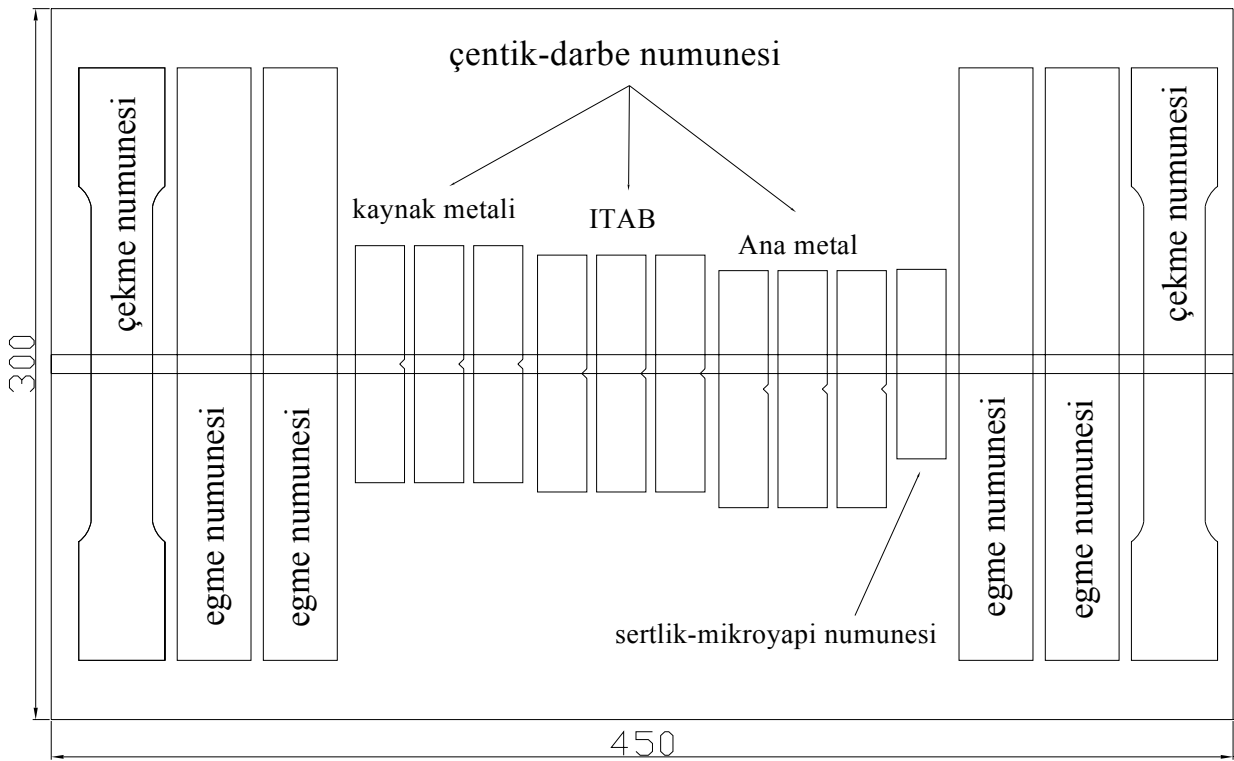
No.21 (DH36 4G E R) Rutil Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	4	137-140	29-30	2,22	1,42	
2	4	137-140	29-30	3,7	0,85	
3	4	137-140	29-30	3,7	0,85	
No.22 (DH36 4G E B) Bazik Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	3,25	118-120	17-21	1,92	0,98	
2	4	156-160	22-28	3,9	0,86	
3	4	156-160	22-28	4	0,84	
No.23 (DH36 4G G) MAG Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Tel Besleme hızı (m/dak)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	1,2	174-190	28-29	10	3,85	1,28
2	1,2	215-230	26-27	12,5	2,03	2,75
3	1,2	190-230	25-26	12,5	2,94	1,83
No.24 (AH36 4G E R)Rutil Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	4	137-140	29-30	2,11	1,49	
2	4	137-140	29-30	3,63	0,87	
3	4	137-140	29-30	3,7	0,85	
No.25 (AH36 4G E B) Bazik Elektrodla Elektrik Ark Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)	
1	3,25	118-120	17-21	1,97	0,96	
2	4	156-160	22-28	3,78	0,89	
3	4	156-160	22-28	3,9	0,86	
No.26 (AH36 4G G) MAG Kaynağı						
paso	Dolgu metal çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	Tel Besleme hızı (m/min)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	1,2	180-190	28-29	10	4,17	1,19
2	1,2	215-225	26-27	12,5	2,08	2,62
3	1,2	200-230	25-26	12,5	2,78	1,94

9.3 TAHRİBATLI MUAYENE NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Kaynaklı test parçalarından EN288-3/EN ISO 15614-1 standardına göre tahribatlı deney numuneleri hazırlanmıştır. Öncelikle parçalar standarda göre bor soğutma sıvısı kullanılarak şerit testere ile kaba ölçülerde kesilmişlerdir. Parçaların kaynak başlangıç ve bitiş noktalarında kaynak hataları oluşabileceğinden 50mm'lik kısımlar kesilmiştir. Her bir test parçasından 2 adet çekme, 4 adet eğme (2 adet kök ve 2 adet kep eğme), 9 adet çentik darbe (3 adet ana metalden, 3 adet ITAB'tan ve 3 adet kaynak metalinden) ve 1 adet mikroyapı ve

sertlik testleri için numuneler çıkarılmıştır. Şekil 9.5’de kaynaklı test parçalarından çıkartılan numuneler gösterilmektedir.

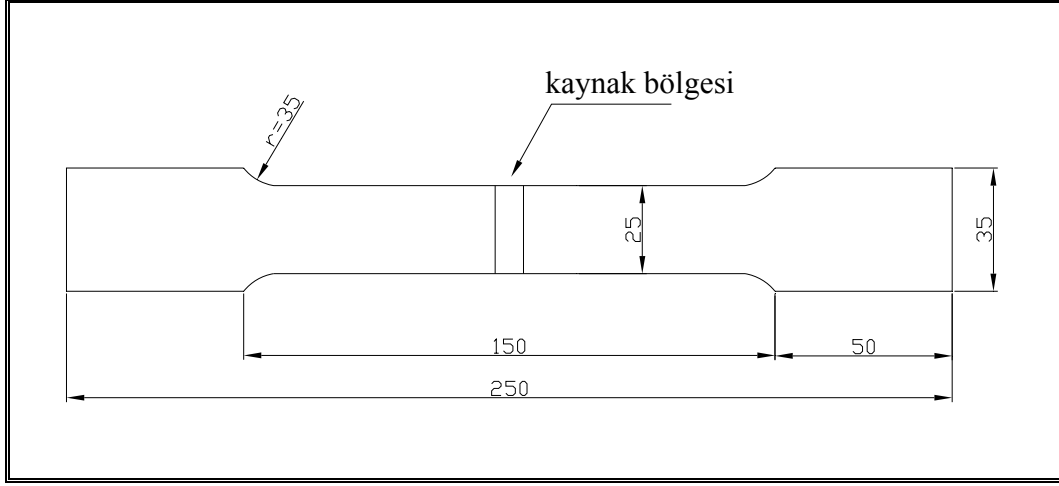
Şekil 9.6’da kaba ölçülerde kesilen çekme ve eğme numuneleri gösterilmiştir. Yassı çekme numuneleri EN 895/ISO 4136 (DIN 50120-1) standardına göre hazırlanmıştır. Şekil 9.7’de yassı çekme numunesinin ölçüleri verilmiştir. Öncelikle kaynak dikiş yüksekliklerinin test sonuçlarını etkilememesi için taşlanarak saca aynı seviyeye getirilmiştir ve sonrasında AWEA marka BM-1200 CNC dik işleme tezgahında istenen boyutlara getirilmiştir.



Şekil 9.5 Kaynaklı test parçalarından çıkarılan numuneler.



Şekil 9.6 Kaba ölçülerde kesilen çekme ve eğme numuneleri.



Şekil 9.7 EN 895/ISO 4136 (DIN 50120-1) standardına göre yassı çekme numunesi ölçüleri.

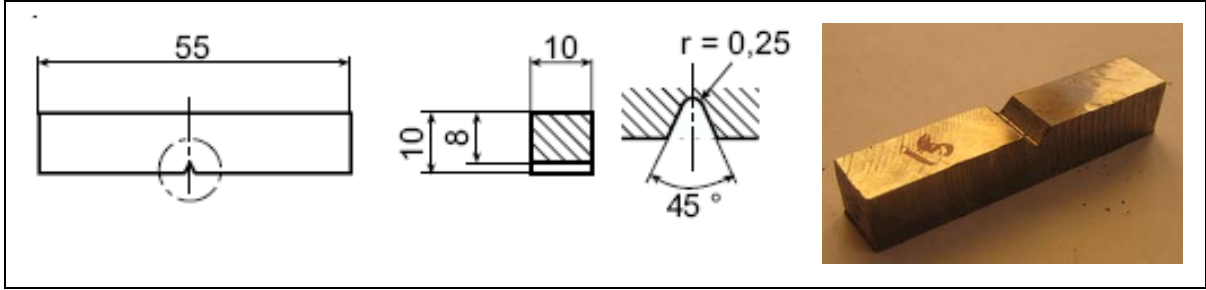
Şekil 9.8’de, çekme numunelerinin bor soğutma sıvısı kullanılarak işlenmesi gösterilmiştir.



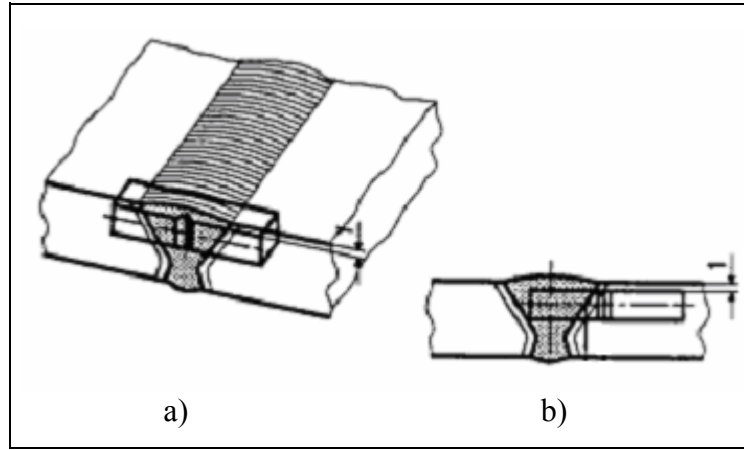
Şekil 9.8 Çekme numunelerinin bor soğutma sıvısı kullanılarak CNC tezgahında işlenmesi.

Çentik darbe numuneleri yine AWEA marka BM-1200 CNC dik işleme tezgahında işlenmiş ve EN10045 (DIN50115) standardının belirlediği ölçülere göre hazırlanmıştır (Şekil 9.9). Çentik darbe numuneleri hazırlanırken çentik yeri ana metal, ITAB ve kaynak bölgesinden olmak üzere 3 ayrı yerden ve kaynağa dik gelecek şekilde açılmıştır. Şekil 9.10’da çentik

yerlerinin olması gereken yerleri gösterilmiştir. Şekil 9.11’de ise çentik darbe numunelerinin hazırlanması gösterilmiştir.



Şekil 9.9 EN10045 (DIN50115) standardına göre çentik darbe numunesi ölçüleri ve hazırlanmış hali.



Şekil 9.10 Çentik yerlerinin olması gereken yerler a) Kaynak metalinden, b) ITAB’tan.

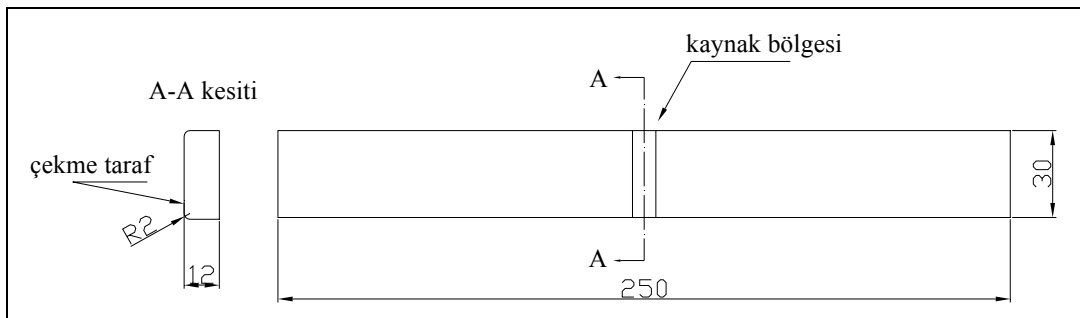


Şekil 9.11 Çentik darbe numunelerinin hazırlanma aşaması.



Şekil 9.11 (Devam ediyor).

Kaba ölçülerde kesilen eğme numuneleri ise kaynak yüksekliği ve çapakları tamamen taşlanmış ve DIN 50121 standardın belirlediği ölçülere getirilmiştir. Gerilme yığılmasını önlemek için çekme tarafından numunenin keskin kenarları 2 mm yuvarlatılmıştır. Hazırlanan 4 adet eğme numunesinden 2 adedi kök eğme, 2 adedi ise kep eğme numunesidir. Şekil 9.12’de DIN 50121 standardına göre eğme numunesi ölçüleri verilmiştir.



Şekil 9.12 DIN 50121 standardına göre eğme numunesi ölçüleri.

BÖLÜM 10

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bölüm 9’da açıklanan yöntem ve parametrelerle kaynatılan test parçaları mekanik testlere ve mikroyapı incelemelerine tabi tutulmuştur. Tüm kaynaklı test parçaları ilgili standarda göre test edilerek alınan veriler tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.

10.1 MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Mikroyapı incelemeleri yapmak için, her kaynaklı test parçasından 12x25x20 mm ebatında numuneler çıkartılmıştır. Bu numuneler, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Metalurji Laboratuvarında, METKON Metapress-A sıcak presleme cihazında 40 mm’lik kalıplarda bakalite alınmıştır. Sonra bu bakalitler sırasıyla 120, 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh SiC aşındırıcı kullanarak METKON Gripo-2V zımparalama ve parlatma tezgahında su ile zımparalanmıştır. En son olarak elmas solüsyon (6µm, 1µm) ve alümina (0,25µm) kullanılarak parlatma yapılmıştır. Şekil 10.1’de sıcak bakalit kalıp presi ve zımparalama-parlatma cihazı gösterilmiştir. Bu numuneler daha sonra % 2’lik Nital (%2 HNO₃ - %98 Etil alkol) ile dağlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Mikroyapı incelemeleri METKON IMM 901 marka optik mikroskop ve CLEMEX görüntü analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 10.2’de optik mikroskop gösterilmiştir.

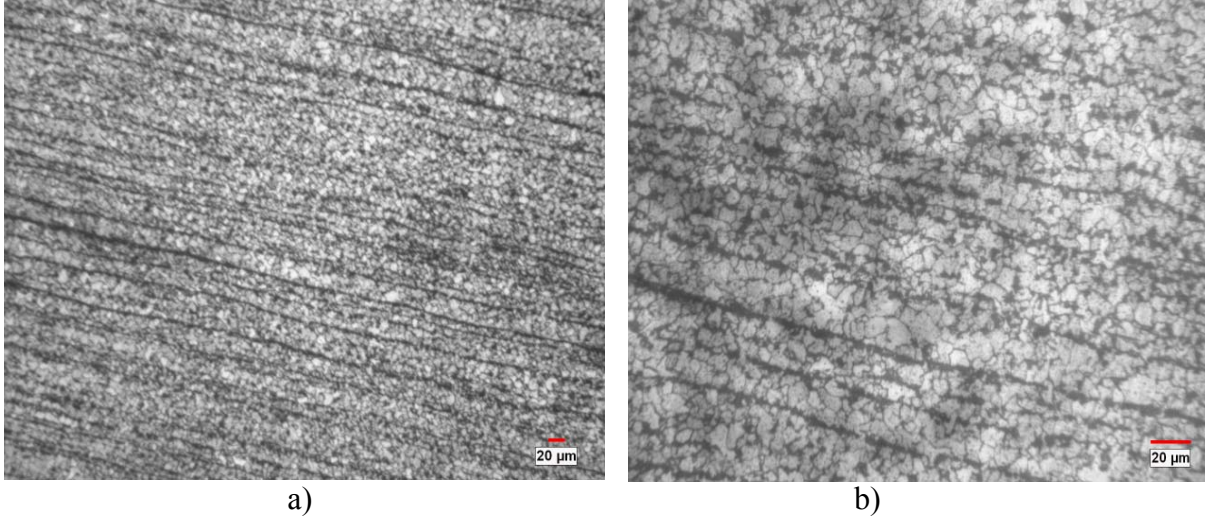
Her numune için, optik mikroskopta ana metal, ITAB ve kaynak bölgelerinden 100X ve 250X büyütmede görüntüler alınmıştır. Şekil 10.3’te AH36 kalite sacın, Şekil 10.4’de ise DH36 kalite sacın 100X ve 250X büyütmede matris mikroyapıları verilmiştir.



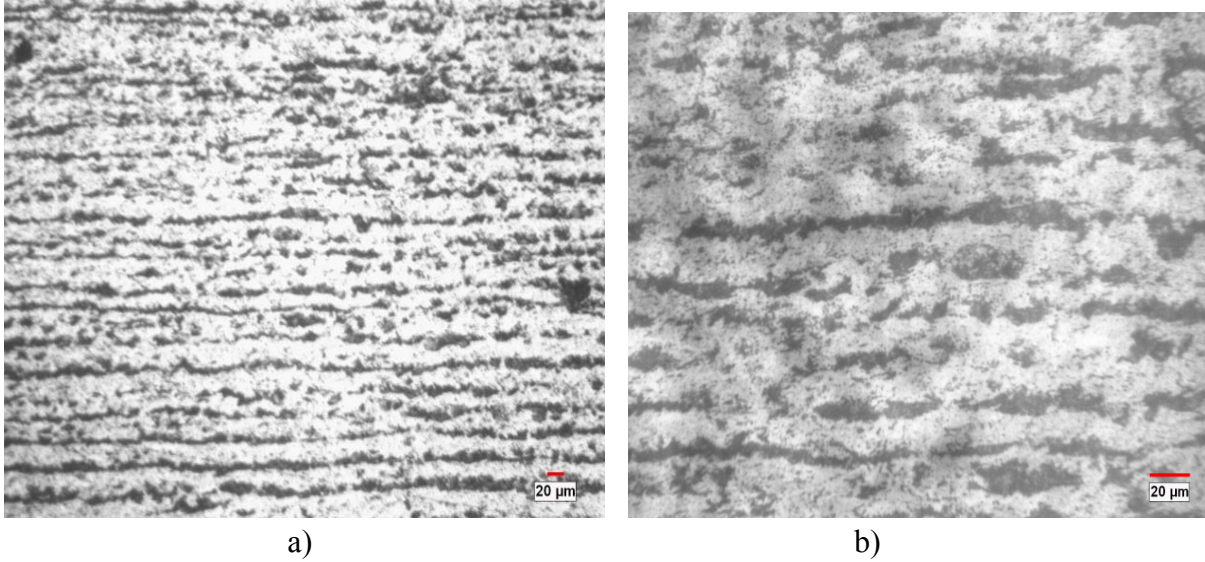
Şekil 10.1 METKON marka sıcak bakalit kalıp presi ve zımparalama-parlatma cihazı.



Şekil 10.2 METKON IMM-901 optik mikroskobu.



Şekil 10.3 AH36 kalite sacın matris mikroyapısı a) 100X b) 250X büyütme.

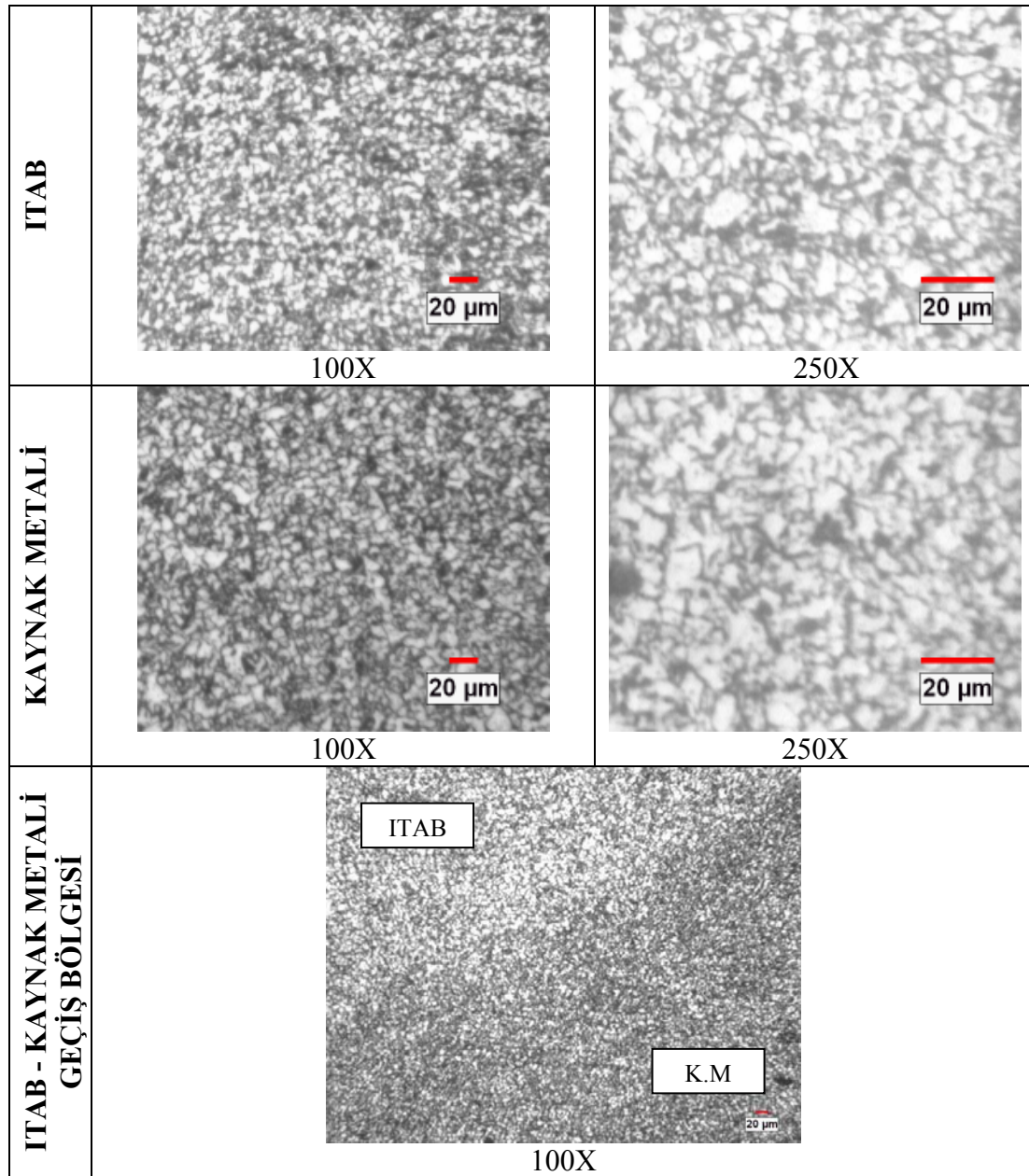


Şekil 10.4 DH36 kalite sacın matris mikroyapısı a) 100X b) 250X büyütme.

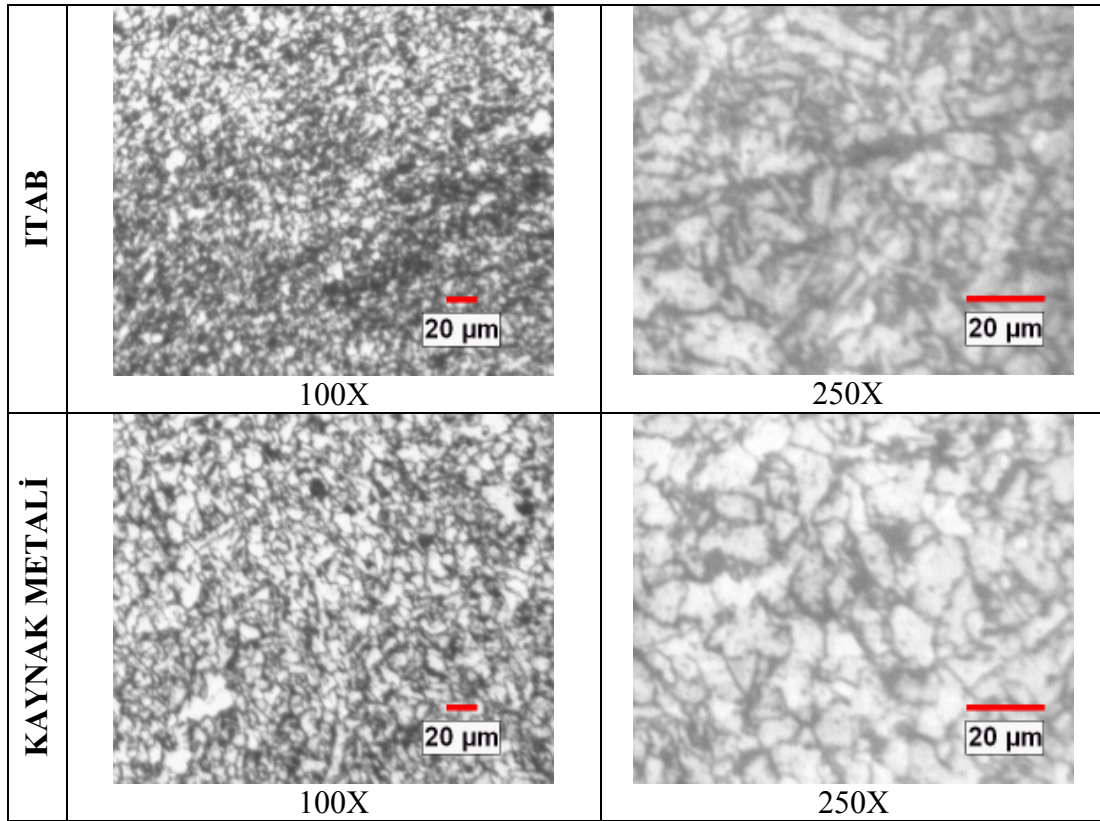
Şekil 10.3'te görüldüğü gibi, AH36 çeliği ferritik-perlitik mikroyapıya sahiptir. Haddelenme yönünde uzama gösteren oksit ve sülfür kalıntıları içeren bir yapı olduğu Lee et al. (2000) ve Zielinski and Domzalicki (2003) tarafından ifade edilmiştir.

Şekil 10.4'de gösterilen DH36 çeliğinin mikroyapısında beyaz bölgeler ferritleri, siyah bölgeler perlitleri göstermektedir. Perlit kolonileri eş eksenli ferritlerin arasında yer almaktadır (Sannomiya et al. 1985, Lienert et al. 2003, Nasser S N and Guo W G 2003, Xue et al 2009, Klepaczko et al. 2009).

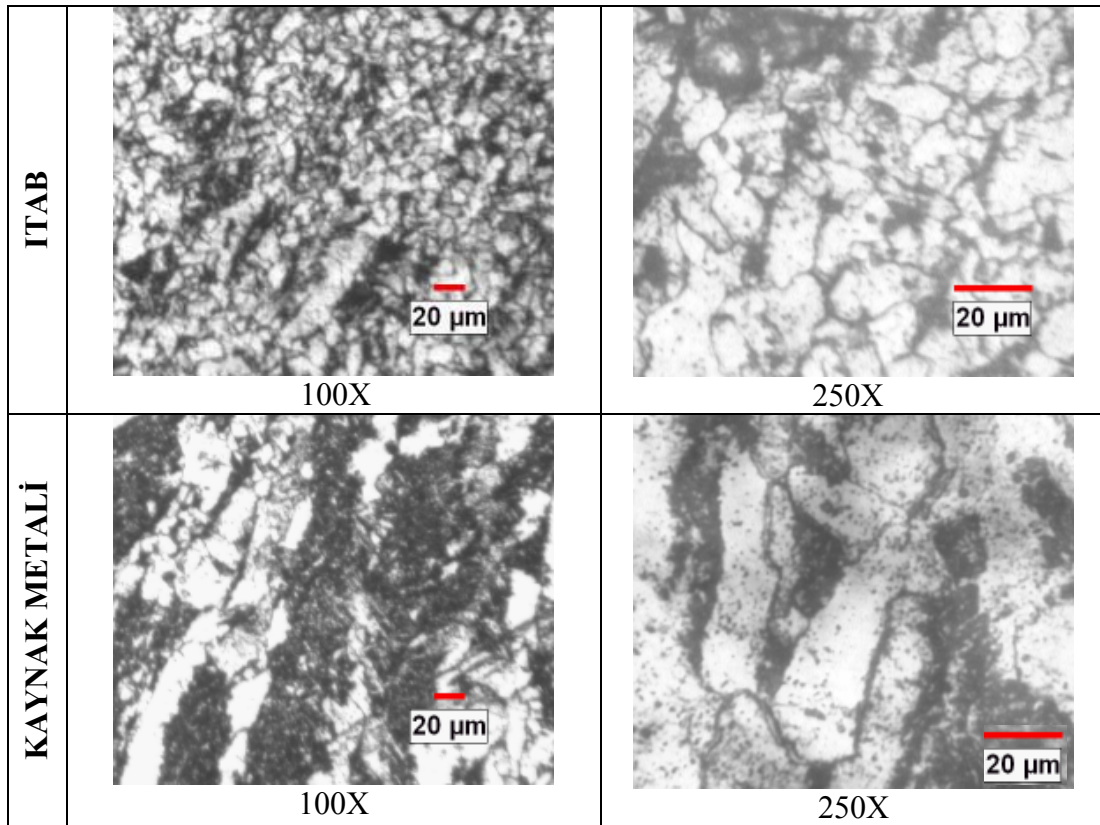
Her kaynak yöntemi ve pozisyonuna göre iki çeliğin mikroyapı incelemeleri, kaynak metali, ITAB ve geçiş bölgelerinden yapılmıştır. AH36 ve DH36 çeliklerin 1G pozisyonu ve uygulanan tüm kaynak yöntemleri için mikroyapıları Şekil 10.5 ila Şekil 10.12 arasında verilmiştir, diğer pozisyonların uygulanan tüm kaynak yöntemleri için mikroyapı görüntüleri Ek A'da verilmiştir. Literatürde, ITAB'ta değişen tane büyüklüklerinde çok eksenli ferrit, perlit ve biraz beynit olduğu; erime bölgesine yakın yerlerde östenitlerin kaba taneli, uzaklaştıkça tane boyutların küçüldüğü; ayrıca erime bölgesine yakın yerlerde ferrit, asiküler ferrit ve biraz beynitik mikroyapı olduğu ifade edilmiştir (Lee et al. 2000).



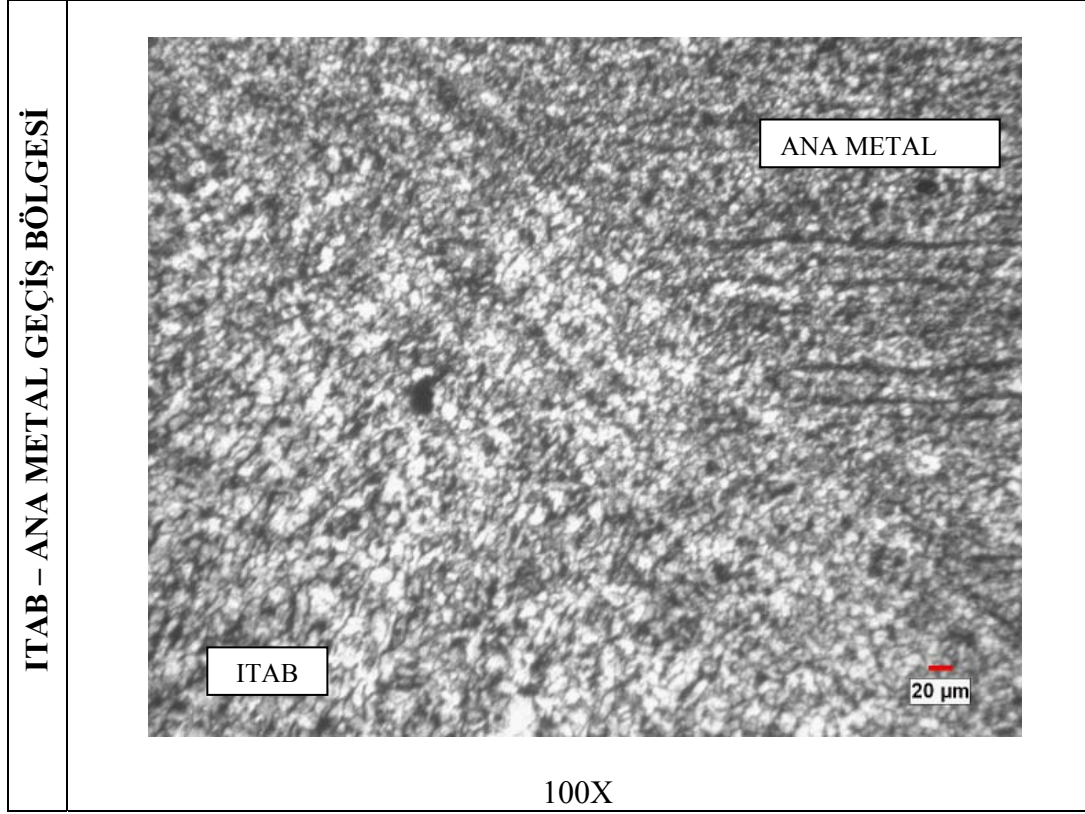
Şekil 10.5 1 Nolu numunenin (DH36 1G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri.



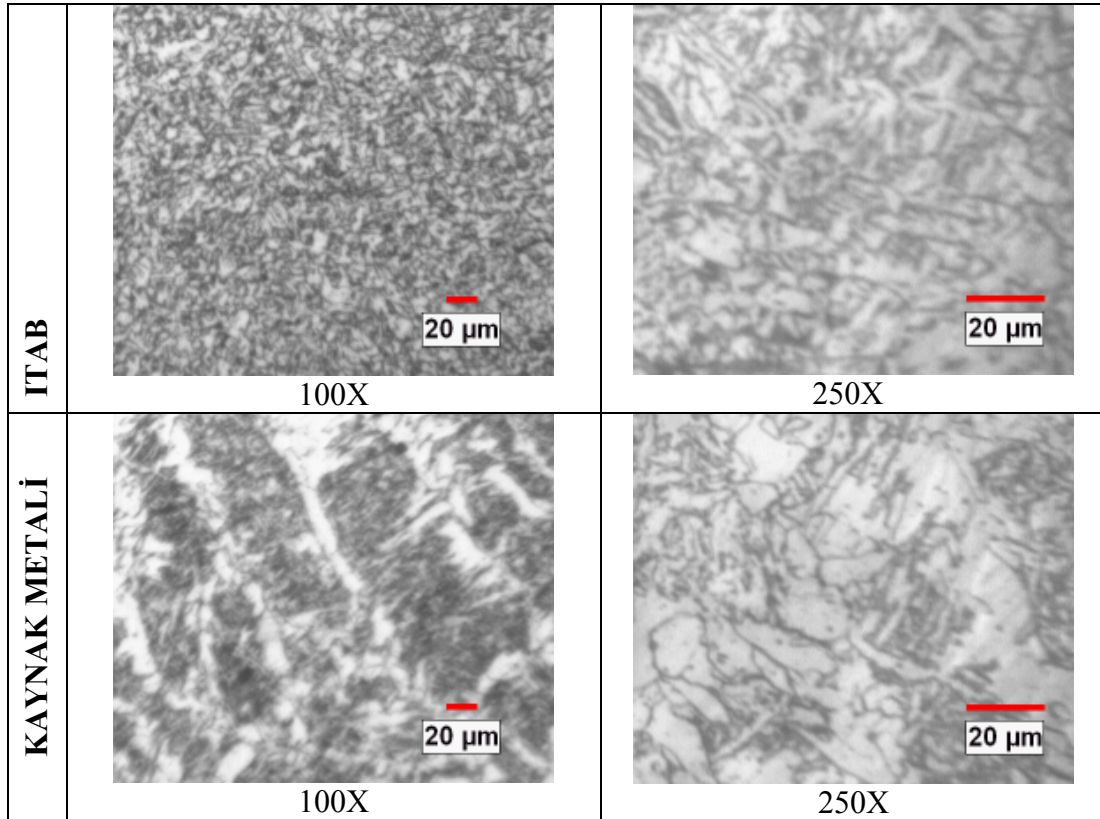
Şekil 10.6 2 Nolu numunenin (DH36 1G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



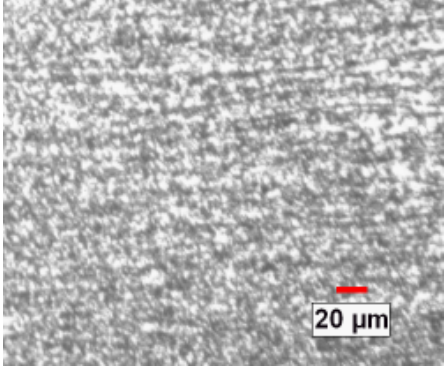
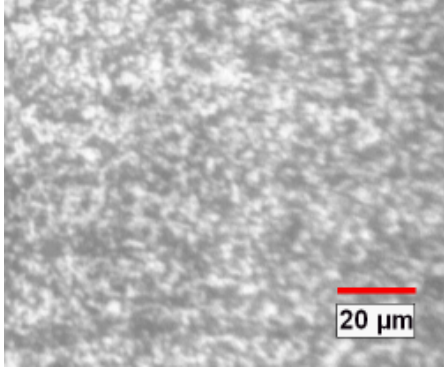
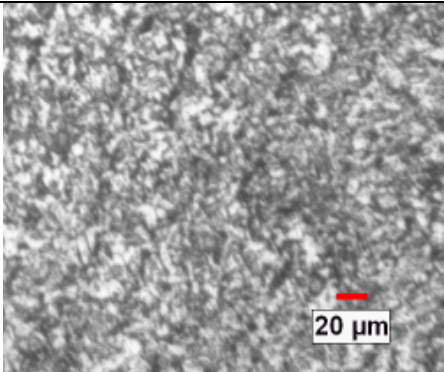
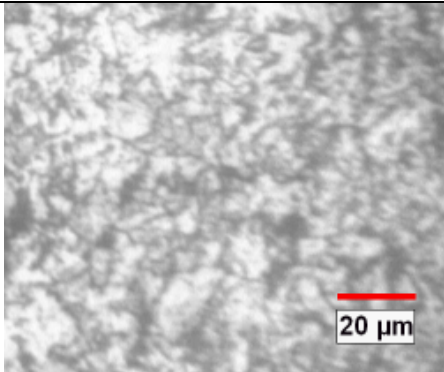
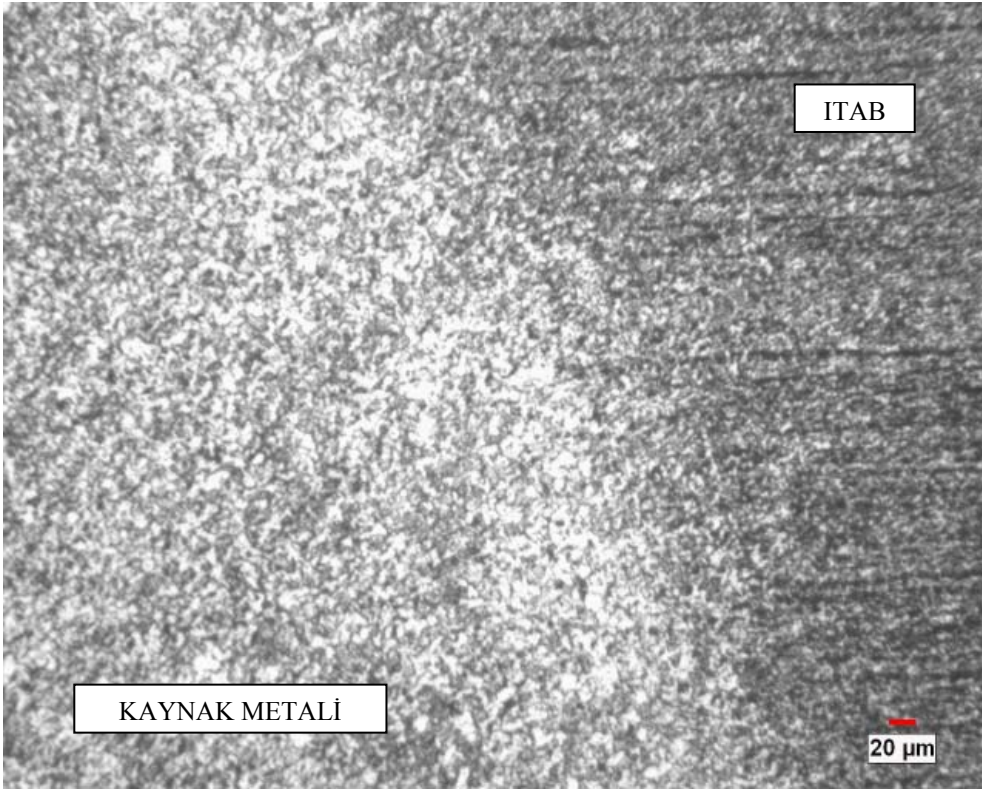
Şekil 10.7 3 Nolu numunenin (DH36 1G T) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri.



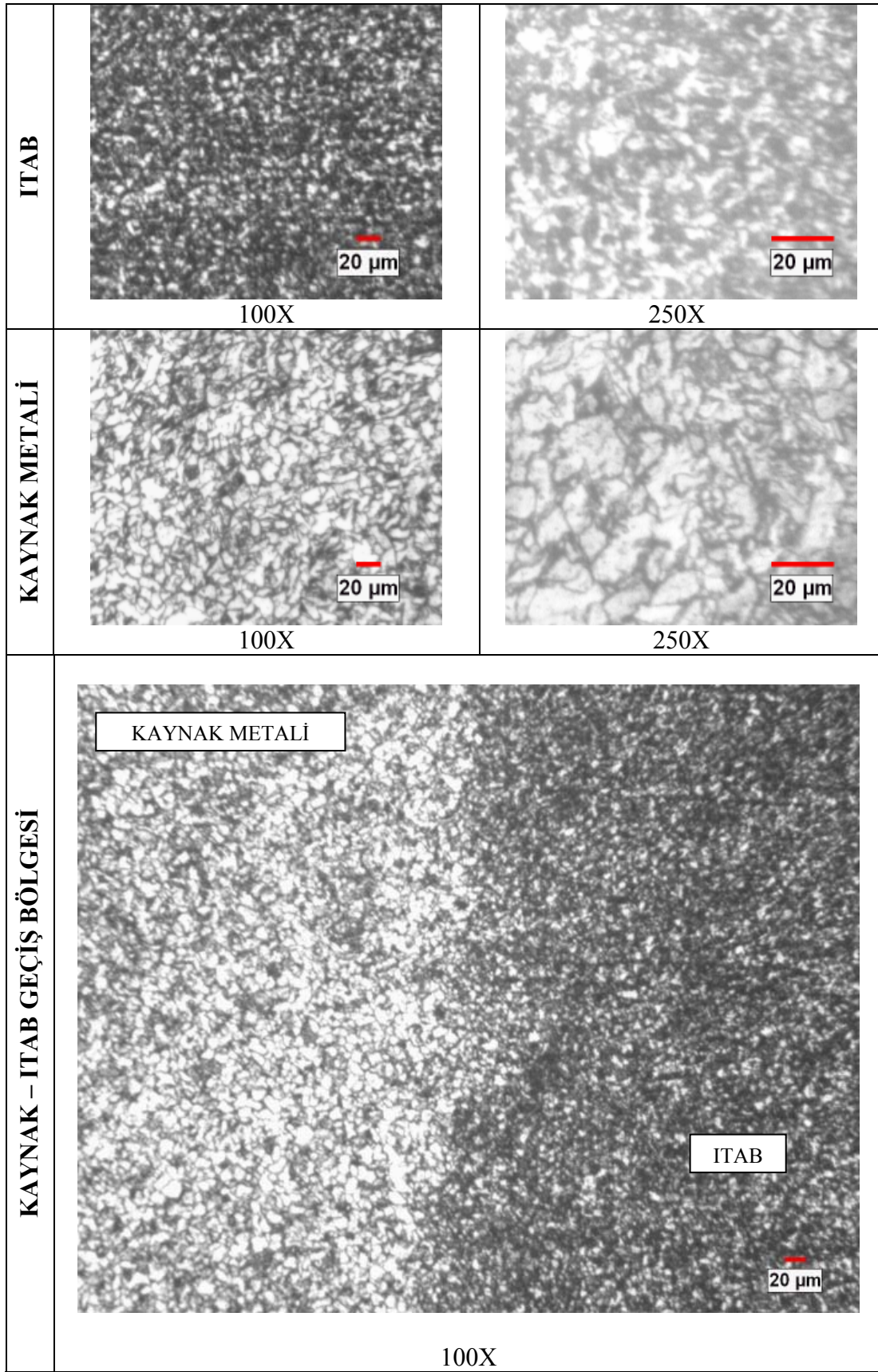
Şekil 10.7 (devam ediyor).



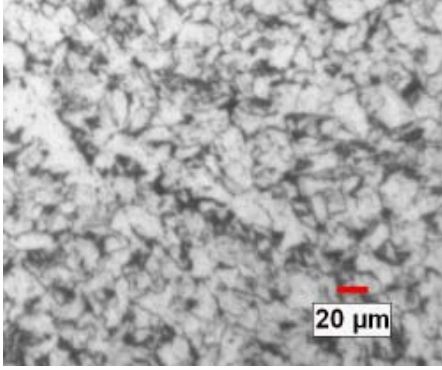
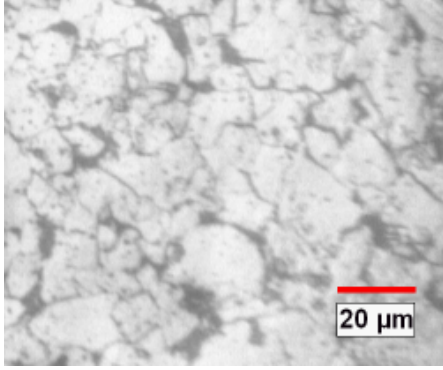
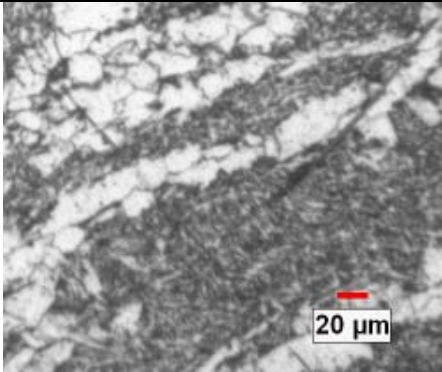
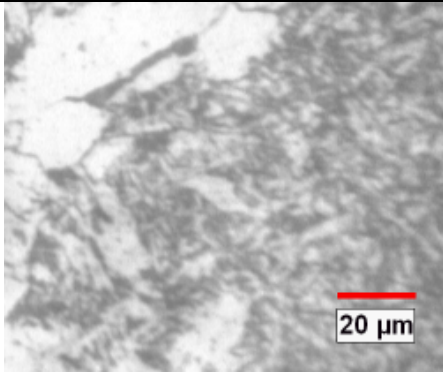
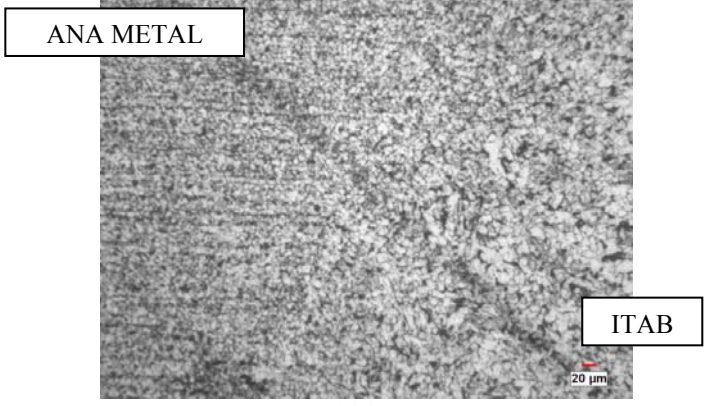
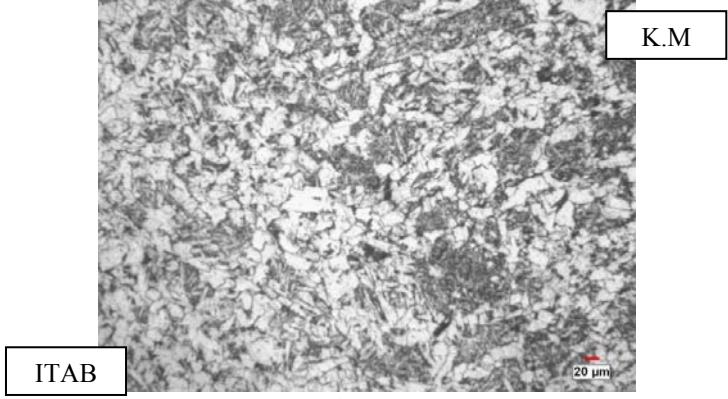
Şekil 10.8 4 Nolu numunenin (DH36 1G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.

ITAB	 100X	 250X
KAYNAK METALİ	 100X	 250X
KAYNAK METALİ – ITAB GEÇİŞ BÖLGESİ	 100X	

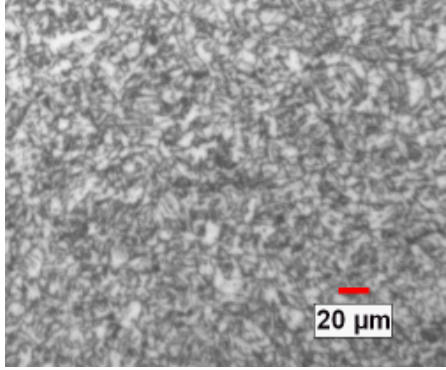
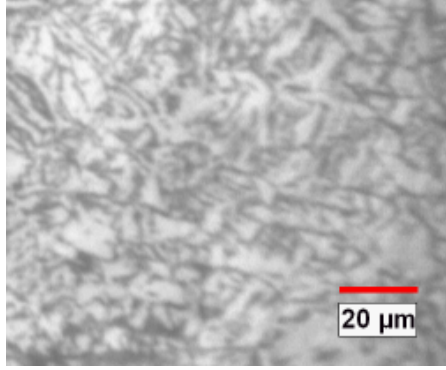
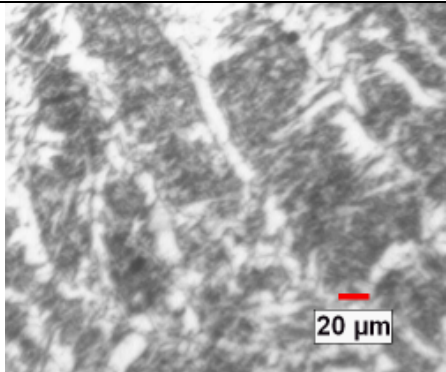
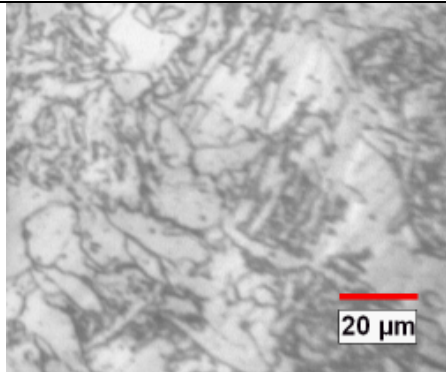
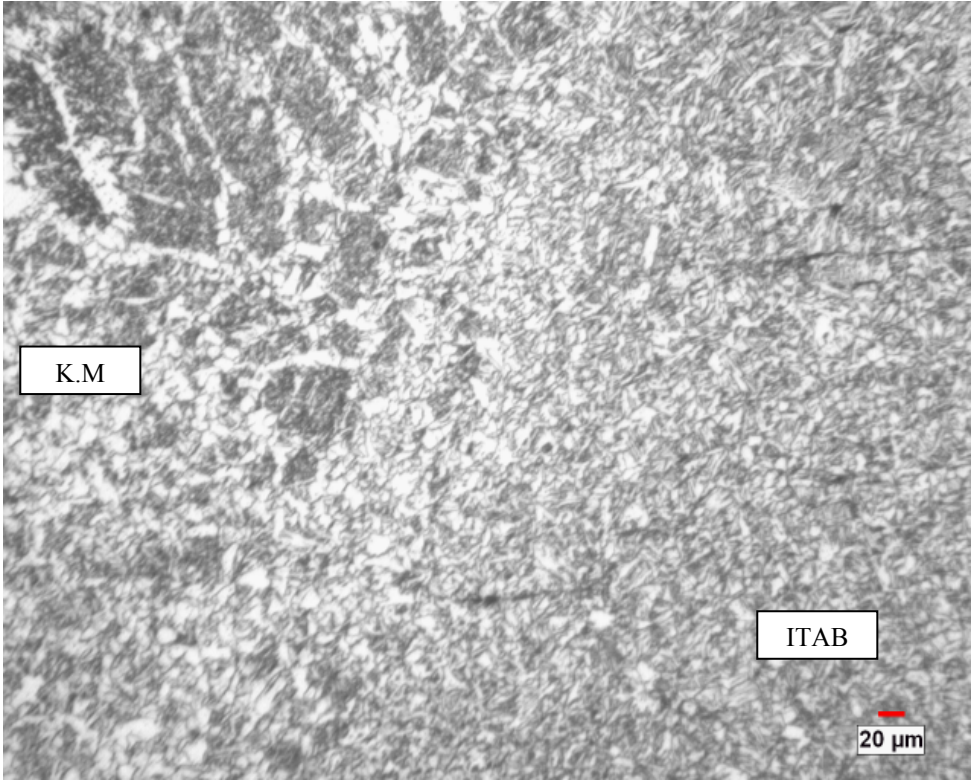
Şekil 10.9 5 Nolu numunenin (AH36 1G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metal ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri.



Şekil 10.10 6 Nolu numunenin (AH36 1G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri.

ITAB	 100X	 250X
KAYNAK METALİ	 100X	 250X
ITAB – ANA METAL GEÇİŞ BÖLGESİ	 100X	
ITAB – KAYNAK METAL GEÇİŞ BÖLGESİ	 100X	

Şekil 10.11 7 Nolu numunenin (AH36 1G T) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

ITAB	 100X	 250X
KAYNAK METALİ	 100X	 250X
ITAB – KAYNAK METALİ GEÇİŞ BÖLGESİ	 100X	

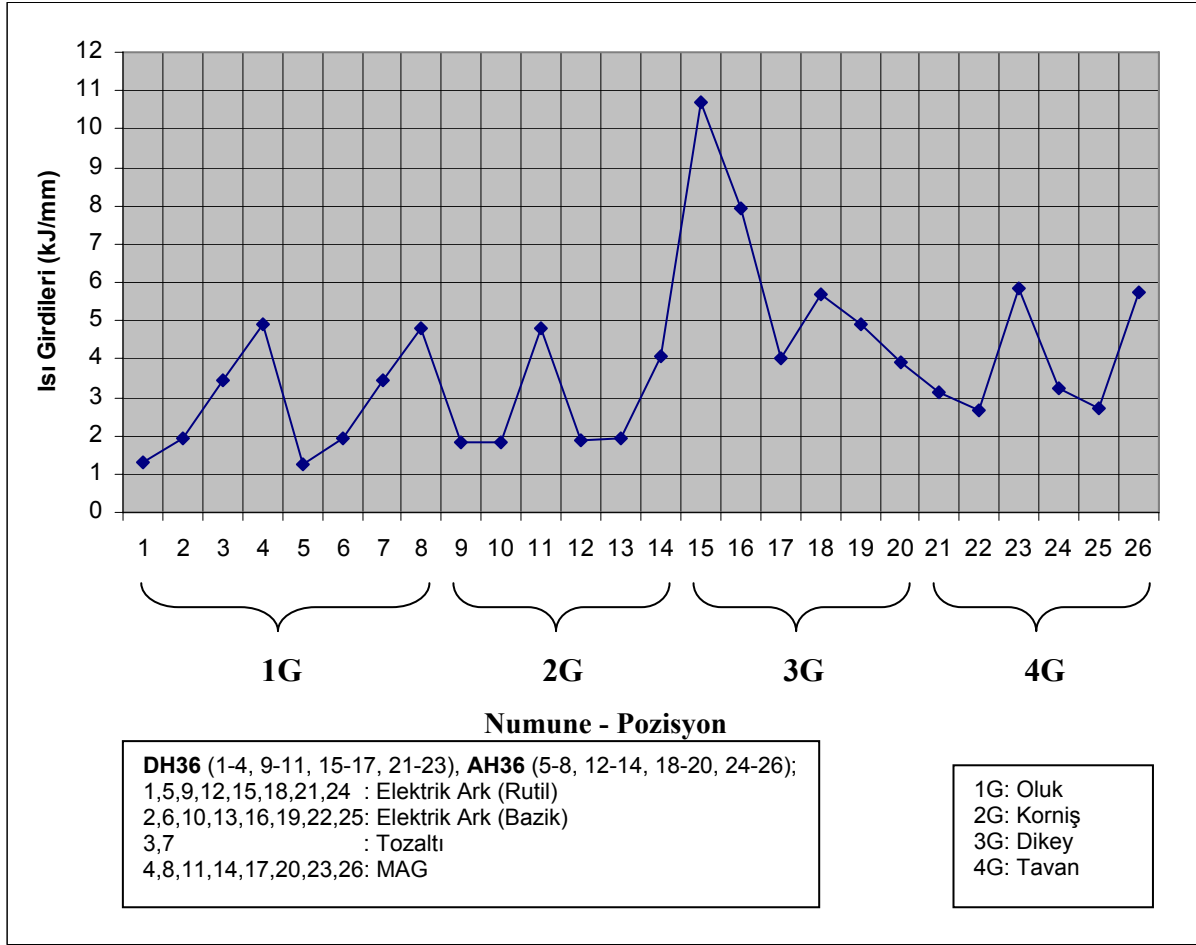
Şekil 10.12 8 Nolu numunenin (AH36 1G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB, kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapı görüntüleri.

10.2 ISI GİRDİSİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Kaynaklı parçaların toplam ısı girdi değerleri Çizelge 10.1’de grafiği ise Şekil 10.13’te verilmiştir.

Çizelge 10.1 Kaynaklı parçalarının toplam ısı girdi değerleri.

Numune	Kod	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	DH36 1G E R	1,32
2	DH36 1G E B	1,95
3	DH36 1G T	3,44
4	DH36 1G G	4,88
5	AH36 1G E R	1,26
6	AH36 1G E B	1,92
7	AH36 1G T	3,44
8	AH36 1G G	4,82
9	DH36 2G E R	1,84
10	DH36 2G E B	1,84
11	DH36 2G G	4,78
12	AH36 2G E R	1,88
13	AH36 2G E B	1,93
14	AH36 2G G	4,07
15	DH36 3G E R	10,67
16	DH36 3G E B	7,95
17	DH36 3G G	4,02
18	AH36 3G E R	5,67
19	AH36 3G E B	4,89
20	AH36 3G G	3,9
21	DH36 4G E R	3,12
22	DH36 4G E B	2,68
23	DH36 4G G	5,86
24	AH36 4G E R	3,21
25	AH36 4G E B	2,71
26	AH36 4G G	5,75



Şekil 10.13 Test parçalarının ısı girdileri grafiği.

Çizelge 10.1'e göre, özellikle 3G pozisyonu için farklı saclarda aynı kaynak yöntem ve pozisyonunda farklı ısı girdileri hesaplanmıştır. Bu sonuç, malzeme özelliğinden başka örneğin, elektrik ark kaynağında elektrodun verimsiz kullanılmasından kaynaklanmış olabileceğini de düşündürmektedir.

Şekil 10.13 incelendiğinde, 3G pozisyonunda DH36 sac, elektrik ark kaynağı (rutil elektrod) 10,67 kJ/mm ile en yüksek ısı girdisine sahiptir. En düşük ısı girdisi ise, 1G pozisyonunda AH36 kalite sac elektrik ark kaynağı rutil elektrod (1,26 kJ/mm) ve DH36 kalite sac elektrik ark kaynağı bazik elektrod (1,32 kJ/mm) ile kaynatılan parçalar olmuştur. 3G kaynak pozisyonunda dik eksende kaynak yapıldığından dolayı, kaynak banyosu aşağıya doğru akmaktadır ve dolgu metalinin tümü dolgu malzemesi olarak kullanılamamaktadır. Bundan dolayı daha fazla pasoda parçalar birleştirildiğinden paso sayısı artarak ısı girdisini de arttırmaktadır. Fakat 1G pozisyonunda oluk pozisyonunda kaynak yapıldığından dolgu metalinin hepsi kaynak dikişini doldurmaktadır, dolayısıyla daha az pasoda kaynak

yapılabilmektedir, buna bağlı olarak da ısı girdisi düşük olmaktadır. Gazaltı kaynaklarında hep yüksek ısı girdileri elde edilmiştir. Gazaltı kaynağında ince elektrod (1,2 mm) kullanıldığından dolayı kaynak ağzını doldurmak için daha fazla paso gerekmiş ve dolayısıyla ısı girdisi artmıştır. Daha kalın elektrod kullanılarak daha az paso yapılarak ısı girdisi azaltılıp dayanım değerlerinin arttırılabileceği düşünülmektedir.

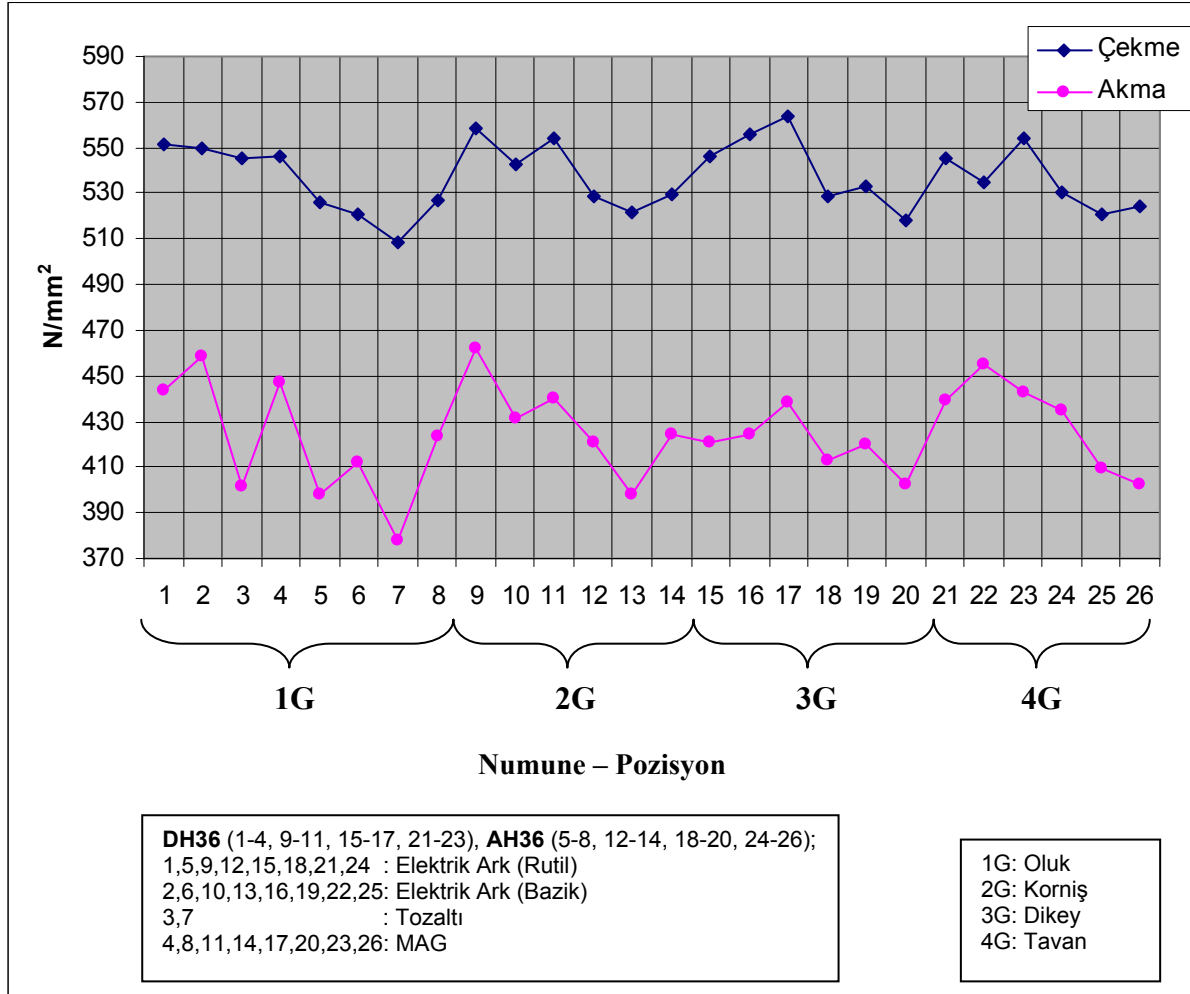
10.3 ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Çekme Numuneleri ERDEMİR T.A.Ş’de Metalurji ve Malzeme Bölümü, Mekanik Test Laboratuvarında ZWICK Z600 marka 60 ton kapasiteli çekme cihazı ile 60 mm/dak hızla çekmeye maruz bırakılmıştır. Çekme deneyi sonuçları Çizelge 10.2’de verilmiştir. Şekil 10.14’de numunelerin akma ve çekme dayanımları ve Şekil 10.15’te % uzama miktarları grafikler halinde verilmiştir.

Çizelge 10.2 Çekme numunelerin deney verileri.

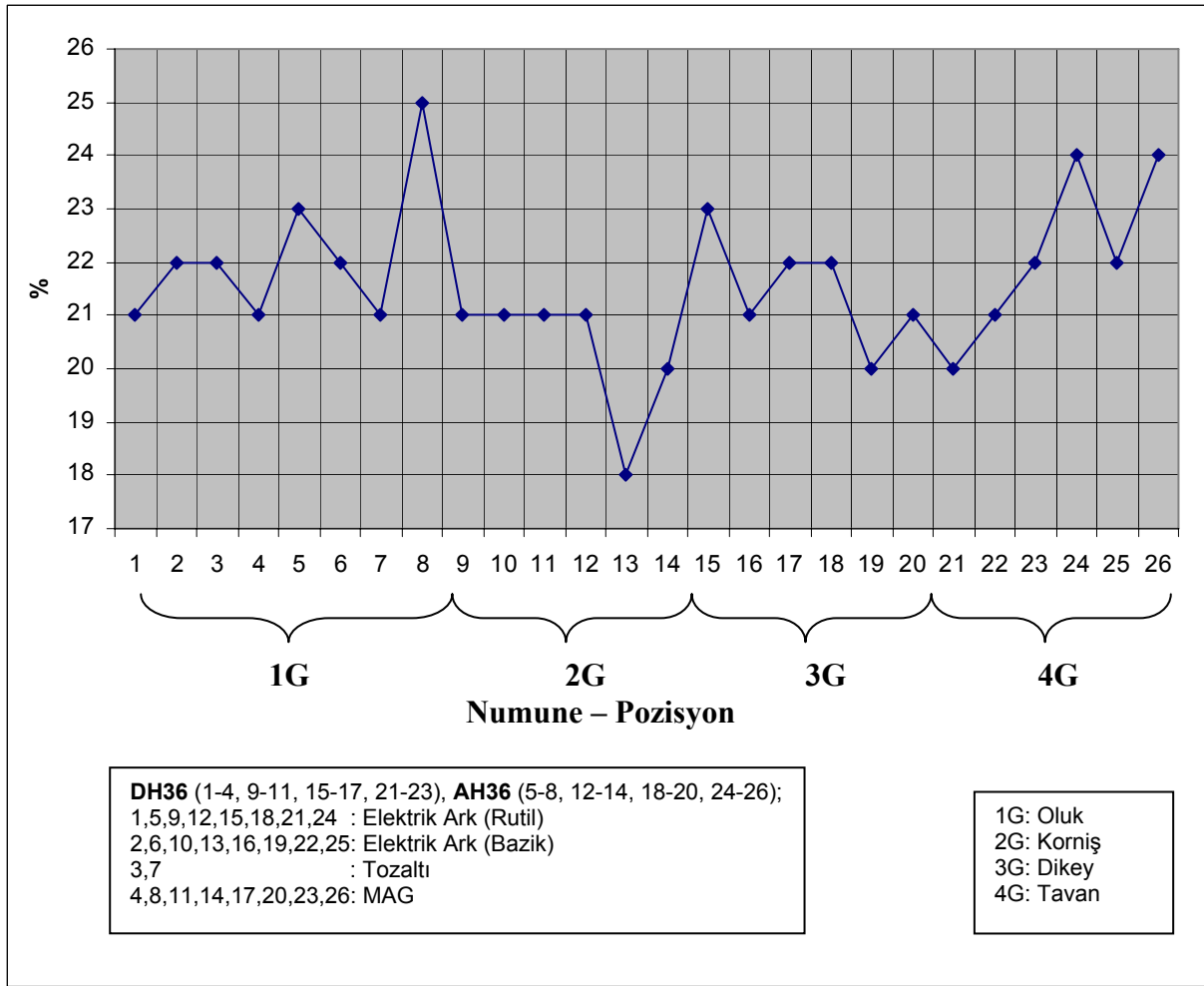
Numune	Kod	E-Modülü (kN/mm ²)	Akma Day. (N/mm ²)	Çekme Day. (N/mm ²)	Uzama (%)
1	DH36 1G E R	211,9	443,4	551,3	21
2	DH36 1G E B	146,0	458,1	549,4	22
3	DH36 1G T	160,3	401,2	545,4	22
4	DH36 1G G	175,5	447,3	546,4	21
5	AH36 1G E R	165,2	398,3	525,8	23
6	AH36 1G E B	94,1	412,0	520,9	22
7	AH36 1G T	179,8	377,7	508,2	21
8	AH36 1G G	192,9	423,8	526,8	25
9	DH36 2G E R	225,6	462,1	558,2	21
10	DH36 2G E B	146,7	431,6	542,5	21
11	DH36 2G G	159,9	440,5	554,3	21
12	AH36 2G E R	215,7	420,8	528,8	21
13	AH36 2G E B	307,6	398,3	521,9	18
14	AH36 2G G	154,4	424,8	529,7	20
15	DH36 3G E R	155,3	420,8	546,4	23
16	DH36 3G E B	141,0	424,8	556,2	21
17	DH36 3G G	153,3	438,5	564,1	22
18	AH36 3G E R	137,8	413,0	528,8	22
19	AH36 3G E B	146,7	419,9	532,7	20
20	AH36 3G G	197,0	402,2	518,0	21
21	DH36 4G E R	145,2	439,5	545,4	20
22	DH36 4G E B	143,3	455,2	534,6	21
23	DH36 4G G	177,7	442,4	554,3	22
24	AH36 4G E R	164,3	434,6	530,7	24
25	AH36 4G E B	187,9	409,1	520,9	22
26	AH36 4G G	138,2	402,2	523,9	24

DH36 kalite sacın 1G kaynak pozisyonunda, en yüksek akma dayanımı 458,1 N/mm² ile elektrik ark kaynağı bazik elektrod ile, fakat en yüksek çekme dayanımı 551,3 N/mm² ile elektrik ark kaynağı rutil elektrodla yapılan kaynakta saptanmıştır. MAG ile yapılan kaynakta da bu değerlere yakın değerler belirlenmiştir. Çekme dayanım değerlerinde diğer kaynak yöntemleriyle yakın değerler elde edilmesine rağmen en düşük akma dayanımı (401,2 N/mm²) ile tozaltı kaynağında saptanmıştır. Yüzde uzamalar ise 21-22 arasındadır.



Şekil 10.14 Çekme numunelerin akma ve çekme dayanımları.

AH36 kalite sacın 1G kaynak pozisyonunda, en yüksek akma ve çekme dayanım değerleri 423,8 N/mm² ve 526,8 N/mm² ile MAG kaynağında saptanmıştır. En düşük akma ve çekme dayanımları ise 377,7 N/mm² ve 508,2 N/mm² ile tozaltı kaynağında saptanmıştır. Rutil ve bazik elektrodla yapılan elektrik ark kaynağında MAG kaynağına yakın değerler elde edilmiştir. Uzama en fazla % 25 ile MAG kaynağında, en düşük ise % 21 ile tozaltı kaynağında saptanmıştır.



Şekil 10.15 Çekme numunelerin yüzde uzama grafiği.

DH36 kalite sacın 2G kaynak pozisyonunda, en yüksek akma ve çekme dayanımı 462,1 N/mm² ve 558,2 N/mm² ile rutil elektrodla yapılan elektrik ark kaynağında saptanmıştır. Bazik elektrodla yapılan elektrik ark kaynağında ise en düşük akma (431,6 N/mm²) ve çekme 542,5 N/mm²) dayanımları saptanmıştır. Uzamalar %21 ile hepsinde aynı bulunmuştur.

AH36 kalite sacın 2G kaynak pozisyonunda, MAG kaynağı en yüksek akma (424,8 N/mm²) ve çekme (529,7 N/mm²) dayanımlarını vermektedir. Bazik elektrodla yapılan elektrik ark kaynağı ise DH36 kalite sacın 2G pozisyonunda olduğu gibi 398,3 N/mm² ile en düşük akmayı 521,9 N/mm² ile de en düşük çekme dayanımını vermektedir. Uzamalar en düşük % 18 ile bazik elektrodla yapılan elektrik ark kaynağındadır.

DH36 kalite sacın 3G kaynak pozisyonunda, akma ve çekme dayanımlarında birbirlerine yakın değerler saptanmıştır. Fakat MAG kaynağında 438,5 N/mm² ve 564,1 N/mm² ile en

yüksek akma ve çekme dayanımı saptanmıştır. En düşük akma ve çekme dayanımını ise 420,8 N/mm² ve 546,4 N/mm² ile rutil elektrodla yapılan elektrik ark kaynağı vermiştir, en fazla uzama da %23 ile yine bu yöntemde saptanmıştır.

AH36 kalite sacın 3G kaynak pozisyonunda, en düşük akma ve çekme dayanımını 402,2 N/mm² ve 518,0 N/mm² ile MAG kaynağı vermiştir. En yüksek dayanımları ise bazik elektrodla yapılan elektrik ark kaynağı vermiştir (akma 419,9 N/mm² ve çekme 532,7 N/mm²). Uzunluklar ise % 20-22 arasındadır.

DH36 kalite sacın 4G pozisyonunda, akma , çekme ve uzama değerleri birbirlerine yakındır. Fakat, bazik elektrodla yapılan elektrik ark kaynağında 455,5 N/mm² ile en yüksek akma dayanımı saptanırken, 534,6 N/mm² ile de en düşük çekme dayanımı saptanmıştır. Uzunluklar ise % 20-22 arasındadır.

AH36 kalite sacın 4G kaynak pozisyonunda, rutil elektrodla yapılan elektrik ark kaynağında en yüksek akma (434,6 N/mm²) ve çekme (530,7 N/mm²) dayanımları saptanmıştır. MAG ve bazik elektrodla elektrik ark kaynağında akma ve çekme dayanımları birbirlerine yakın değerler vermiştir, MAG kaynağı 402,2 N/mm² ile en düşük akma dayanımını verirken 520,9 N/mm² ile en düşük çekme dayanımını bazik elektrodla yapılan elektrik ark kaynağı vermiştir. Uzunluklar ise AH36 kalite sacda yaklaşık % 22- 24 değerlerindedir.

En düşük akma ve çekme dayanımı AH36 kalite sacda, 1G kaynak pozisyonunda, tozaltı kaynağı yönteminde saptanmıştır, DH36 kalite sacın tozaltı kaynağı da düşük değerler vermiştir. Tozaltı kaynağı 2 pasoda kaynatılmıştır. Birinci paso kep bölgesinden kaynatıldıktan sonra parça ters çevrilip ikinci paso kök bölgesinden kaynatılmıştır. Bu iki paso kaynak merkezinde üst üste bineceğinden soğuma esnasında iki paso arası iç gerilme meydana gelecektir. Bu iç gerilmelerin çekme deneyinde düşük değerler elde edilmesine yol açtığı düşünülmektedir.

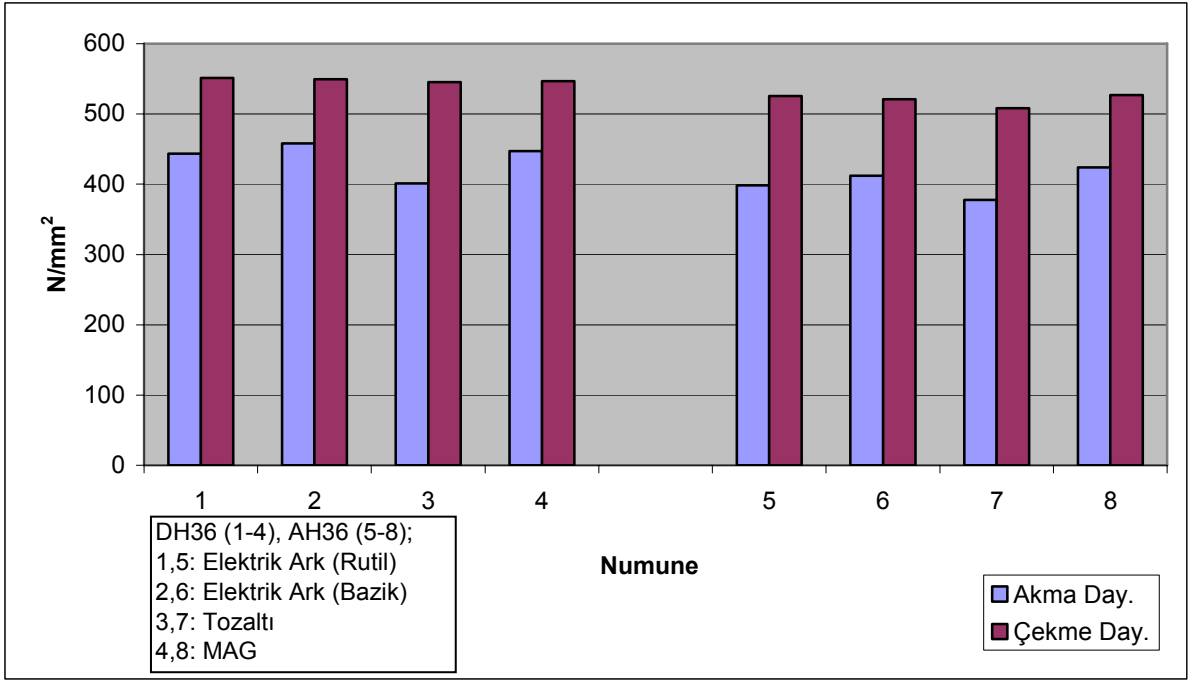
1G, 2G ve 4G kaynak pozisyonlarında elektrik ark kaynağı (hem Rutil, hem bazik) ile kaynatılan DH36 kalite saclar, hem 3G pozisyonu, hem de AH36 kalite saca göre daha yüksek akma ve çekme dayanımları vermiştir. 3G pozisyonun genel olarak daha düşük değerler vermesi ısı girdilerinin daha yüksek olmasına bağlanabilir. Her kaynak pozisyonunda AH36 sacın elektrik ark kaynakları DH36 kalite saca göre daha düşük değerler vermiştir. Aynı

durum MAG kaynakları için de geçerlidir. 3G ve 4G pozisyonlarında AH36 sacların MAG kaynakları elektrik ark kaynağından daha düşük değerler vermiştir. Gazaltı kaynağı CO₂ koruyucu gaz kullanılarak yapılmıştır. 3G ve 4G pozisyonlarında, dikey eksen ve baş üstünde kaynak yapıldığından ve CO₂'in yoğunluğu (1,98 kg/m³) havadan yaklaşık 1,5 kat daha ağır olduğundan dolayı, gaz aşağıya doğru eğimlenmekte ve kaynak banyosunu tam olarak örtememektedir. Dolayısıyla kaynak banyosu atmosfere açık hale gelerek havadaki hidrojeni içine almaktadır. Ayrıca kalıntılar kaynak banyosuna yapışarak cüruf oluşturabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, 3G ve 4G pozisyonlarında düşük değerler elde edildiği düşünülmektedir.

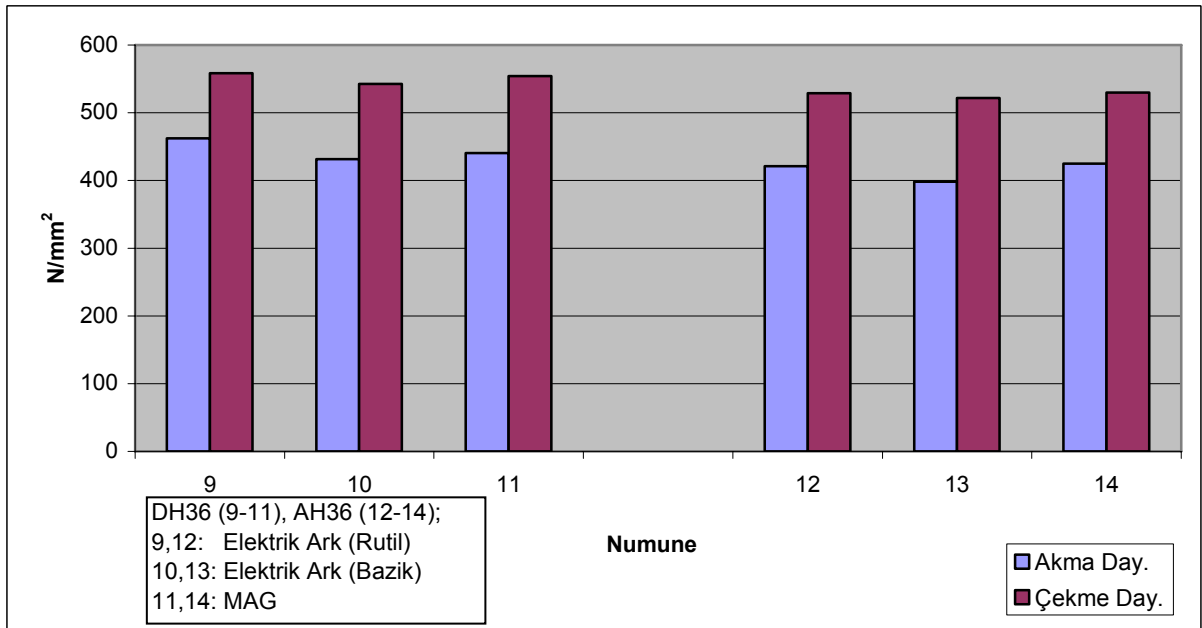
MAG kaynağında en yüksek çekme dayanımını 3G kaynak pozisyonunda DH36 kalite sac olduğu vermiştir, fakat en yüksek akma dayanımını 1G kaynak pozisyonunda DH36 kalite sac olduğu vermiştir.

Şekil 10.16 ila Şekil 10.19 arasında her kaynak pozisyonuna göre çekme deneyi verileri, ayrı ayrı grafikler halinde verilmiştir.

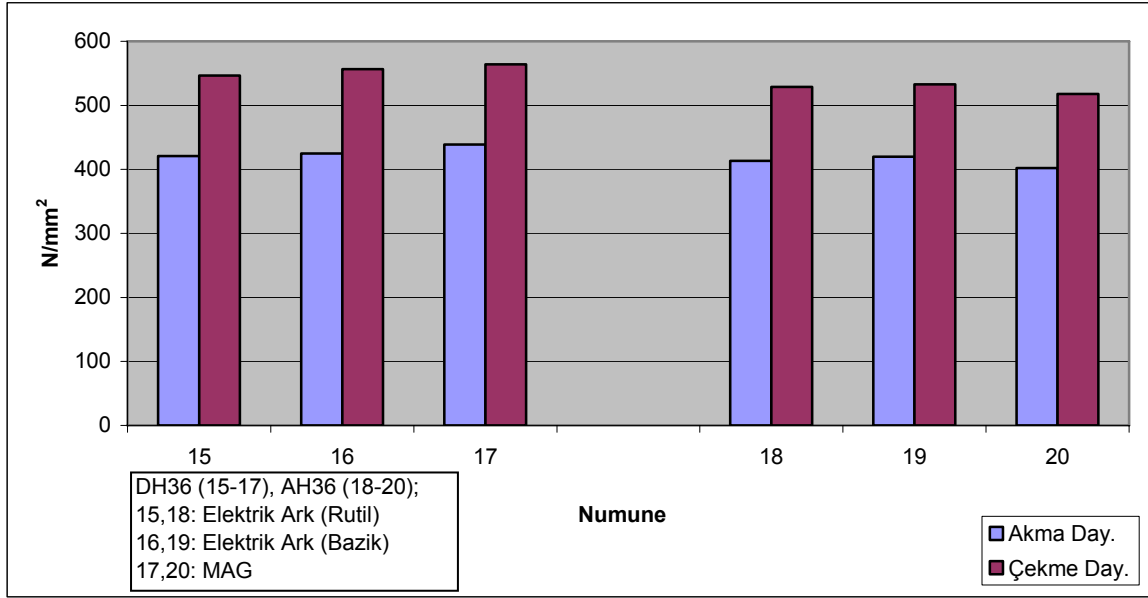
Çekme deneyi sonucunda tüm numuneler gösterildiği gibi ana metalden kopmuştur. Kaynak metalinde tane büyüklükleri çok küçüktür. Kaynak metalinden ana metale doğru gidildikçe tane boyutu büyümektedir. Tane büyümesi malzemeye gevreklik verdiği için dolayı kaynaklı parçaların ana metalden kopması olası bir durumdur (Şekil 10.20). Tüm numuneler çekme sonucunda sünek tip kırılma göstermiştir. Bunlardan 1, 6, 19 ve 22 nolu numuneler Şekil 10.21'de gösterilmiştir.



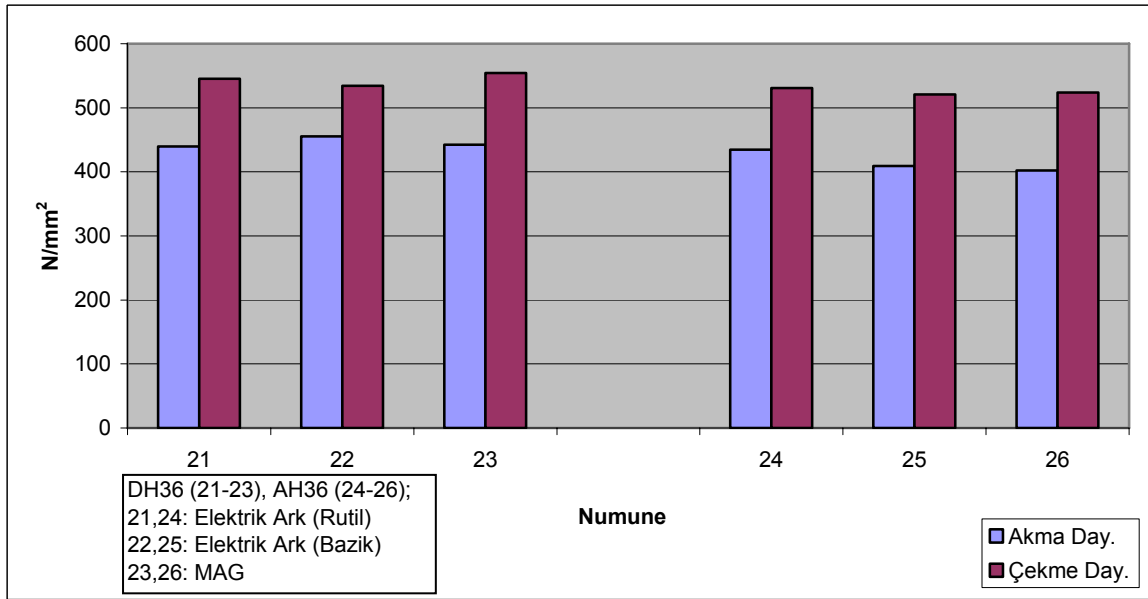
Şekil 10.16 1G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların çekme deneyi verileri grafiği.



Şekil 10.17 2G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların çekme deneyi verileri grafiği.



Şekil 10.18 3G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların çekme deneyi verileri grafiği



Şekil 10.19 4G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların çekme deneyi verileri grafiği.



Şekil 10.20 Ana metalden kopan çekme numunesi örneği (No.19 AH36 3G E B).



a)



b)



c)



d)

Şekil 10.21 Çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri a) 6 nolu numune (AH36 1G E B) b) 19 nolu numune (AH36 3G E B) c) 22 nolu numune (DH36 4G E B) 1 nolu numune (DH36 1G E R).

10.4 EĞME DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Eğme numuneleri, ERDEMİR T.A.Ş.'de Metalurji ve Malzeme Bölümü, Mekanik Test Laboratuvarında MFL FBD50 marka 500kN kapasiteli eğme makinesinde mandrel çapı 28mm, mesnet çapı 50mm ve mesnetler arası uzaklık 120mm olacak şekilde eğme testine tabi tutulmuştur (Şekil 10.22).

Çizelge 10.3'de formül (7.3) ve (7.5) kullanılarak hesaplanan kep eğme ve kök eğme için maksimum gerilme ($\sigma_{\max}$) değerleri verilmiştir.

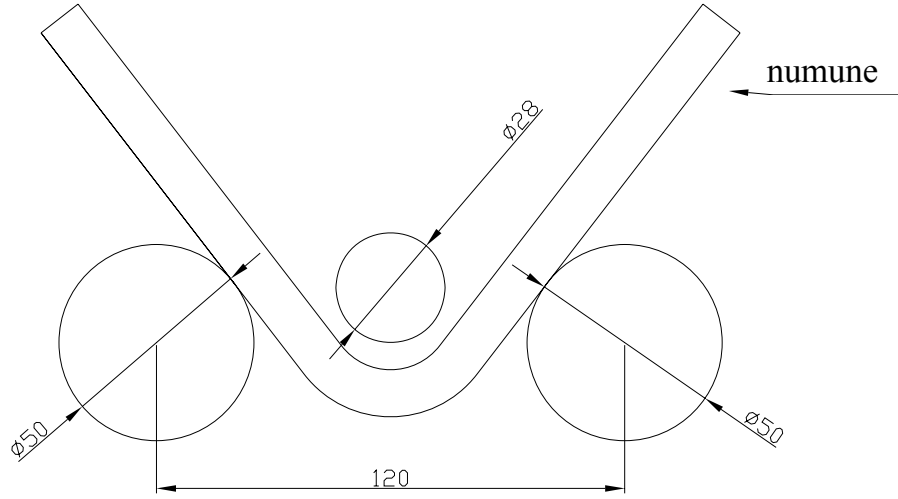
$$\sigma_{\text{emax}} = \frac{M_e(\text{max})}{W} \Rightarrow \sigma_{\text{ek}} = \frac{F_{\text{max}} \cdot L_s}{4 \cdot W} \text{ ve } W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (\text{dikdörtgen numune})$$

Burada sabit olan değerler;

L_s (mesnetler arası uzaklık) = 120 mm

b (numune eni) = 30 mm

h (numune kalınlığı) = 12 mm



Şekil 10.22 Eğme testi mandrel ve mesnet ölçüleri.

Tablo halinde verilen kep ve kök için maksimum eğme gerilmeleri, Şekil 10.23’de bir grafik halinde verilmiştir.

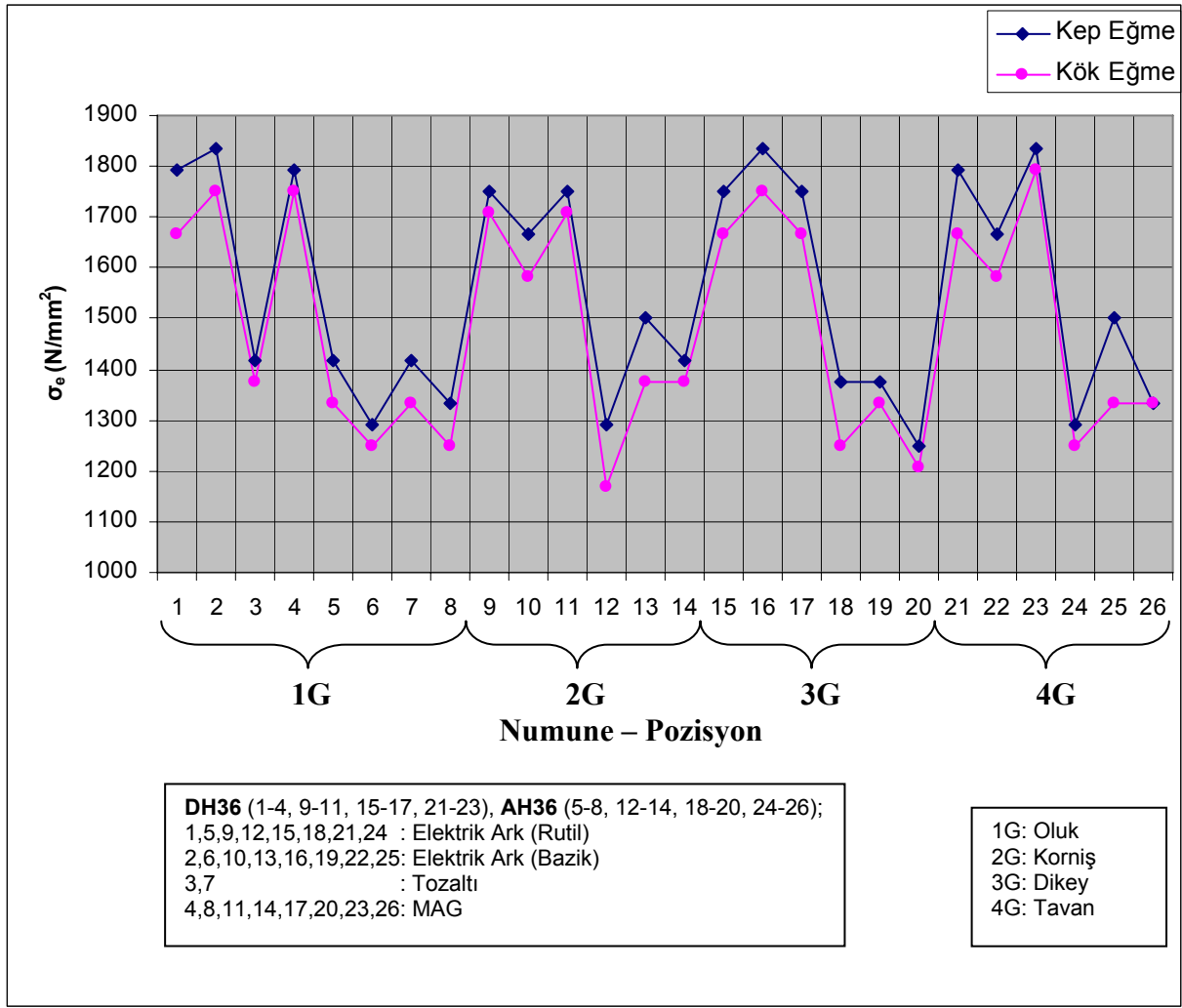
180°’ye kadar eğilen numunelerin çoğunda herhangi bir problem gözlenmemiştir, fakat 15 nolu (DH36 3G E R) (hem kep hem kök) ve 18 nolu (AH36 3G E R) (sadece kep) numunelerde ITAB’ta gözle görülebilen çatlaklara rastlanmıştır. Şekil 10.24’de hasara uğramadan eğilen, Şekil 10.25 ve Şekil 10.26’da ise hasara uğramış numunelerin fotoğrafları verilmiştir.

Çizelge 10.3 ve Şekil 10.23 incelendiğinde, genellikle kep eğmenin kök eğmeden daha yüksek eğme dayanımına sahip olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni, kaynak ağzının açıldığı ve kaynak metalinin bulunduğu bölge kep bölgesidir. Dolayısıyla bu bölgede daha fazla dolgu metali vardır ve kaynak dikişi kep bölgesinde daha geniştir.

Çizelge 10.3 Eğme testi maksimum eğme gerilme (σ_{emax}) verileri.

Numune No.	Kod	KEP EĞME		KÖK EĞME	
		F_{max} (N)	σ_{emax} (N/mm ²)	F_{max} (N)	σ_{emax} (N/mm ²)
1	DH36 1G E R	43000	1792	40000	1667
2	DH36 1G E B	44000	1833	42000	1750
3	DH36 1G T	34000	1417	33000	1375
4	DH36 1G G	43000	1792	42000	1750
5	AH36 1G E R	34000	1417	32000	1333
6	AH36 1G E B	31000	1292	30000	1250
7	AH36 1G T	34000	1417	32000	1333
8	AH36 1G G	32000	1333	30000	1250
9	DH36 2G E R	42000	1750	41000	1708
10	DH36 2G E B	40000	1667	38000	1583
11	DH36 2G G	42000	1750	41000	1708
12	AH36 2G E R	31000	1292	28000	1167
13	AH36 2G E B	36000	1500	33000	1375
14	AH36 2G G	34000	1417	33000	1375
15	DH36 3G E R	42000	1750	40000	1667
16	DH36 3G E B	44000	1833	42000	1750
17	DH36 3G G	42000	1750	40000	1667
18	AH36 3G E R	33000	1375	30000	1250
19	AH36 3G E B	33000	1375	32000	1333
20	AH36 3G G	30000	1250	29000	1208
21	DH36 4G E R	43000	1792	40000	1667
22	DH36 4G E B	40000	1667	38000	1583
23	DH36 4G G	44000	1833	43000	1792
24	AH36 4G E R	31000	1292	30000	1250
25	AH36 4G E B	36000	1500	32000	1333
26	AH36 4G G	32000	1333	32000	1333

DH36 kalite sacın 1G kaynak pozisyonunda, bazik elektrod ile elektrik ark kaynağında 1833 N/mm² kep eğme ve 1750 N/mm² kök eğme ile en yüksek eğme dayanımı saptanmıştır. Rutil elektrodla elektrik ark kaynağı ve MAG ile yapılan kaynakta da bu değerlere yakın değerler saptanmıştır. 1417 N/mm² kep ve 1375 N/mm² kök eğme ile diğer kaynak yöntemlerinden oldukça düşük değerler tozaltı kaynağında saptanmıştır.



Şekil 10.23 Maksimum eğme dayanımlarının grafik halinde gösterimi.



Şekil 10.24 Hasara uğramamış 19 nolu numune (AH36 3G E B).



Şekil 10.25 Hem kök hem de kep eğmede çatlak meydana gelen 15 nolu numune (DH36 3G E R).



Şekil 10.26 Kep eğme de çatlak meydana gelen 18 nolu numune (AH36 3G E R).

AH36 kalite sacın 1G kaynak pozisyonunda, maksimum eğme dayanımı 1417 N/mm^2 ile rutil elektrod elektrik ark kaynağında ve tozaltı kaynağında rastlanmıştır. Maksimum kök eğme dayanımı ise 1333 N/mm^2 ile yine tozaltı kaynağında rastlanmıştır. En düşük kep ve kök eğme dayanımı 1292 N/mm^2 ve 1250 N/mm^2 ile bazik elektrodla yapılan elektrik ark kaynağında saptanmıştır.

DH36 kalite sacın 2G kaynak pozisyonunda, 1750 N/mm^2 ve 1708 N/mm^2 maksimum kep ve kök eğme dayanımın, rutil elektrodla yapılan elektrik ark ve MAG kaynağında olduğu saptanmıştır. 1667 N/mm^2 ve 1583 N/mm^2 kep ve kök eğme dayanımı ile bazik elektrodla elektrik ark kaynağı en düşük değeri vermiştir.

AH36 kalite sacın 2G kaynak pozisyonunda, bazik elektrodla elektrik ark kaynağı aynı kaynak pozisyonundaki DH36 kalite sacın kaynağı ise tam tersi bir karakter göstermiş ve 1500 N/mm^2 ve 1375 N/mm^2 kep ve kök eğme dayanımı ile en yüksek eğme dayanımı değerlerini vermiştir. MAG kaynağında kep eğme dayanımı 1417 N/mm^2 ile bazik elektrod elektrik ark kaynağına yakın bir değer verirken, 1375 N/mm^2 ile kök eğme dayanımı ile aynı değeri vermiştir. Rutil elektrodla yapılan elektrik ark kaynağı 1292 N/mm^2 ve 1167 N/mm^2 kep ve kök eğme dayanımı ile en düşük değerleri vermiştir.

DH36 kalite sacın 3G kaynak pozisyonunda, bazik elektrodla elektrik ark kaynağı 1833 N/mm^2 ve 1750 N/mm^2 kep ve kök eğme dayanımı değerleri ile en yüksek sonuçları vermiştir. Rutil elektrodla yapılan elektrik ark ve MAG kaynağı ise aynı yükler altında eğildiğinde 1750 N/mm^2 ve 1667 N/mm^2 eğme dayanımı ile en düşük değerleri vermişlerdir. Fakat rutil elektrod elektrik ark kaynağı ile kaynatılan test parçasında hem kep eğmede hem de kök eğmede gözle görülür çatlaklara rastlanmıştır (Şekil 10.25).

AH36 kalite sacın 3G kaynak pozisyonunda, hem bazik hem de rutil elektrodla elektrik ark kaynağında kep eğmede aynı dayanım değerlerinde (1375 N/mm^2) en yüksek değerleri vermişlerdir. Fakat rutil elektrod ile kaynatılan test parçasında çatlak meydana gelmiştir (Şekil 10.26). Kök eğmede ise 1333 N/mm^2 ile bazik elektrodla elektrik ark kaynağında en yüksek dayanım olduğu saptanmıştır. En düşük kep (1250 N/mm^2) ve kök (1208 N/mm^2) eğme dayanımı ise MAG kaynağında saptanmıştır.

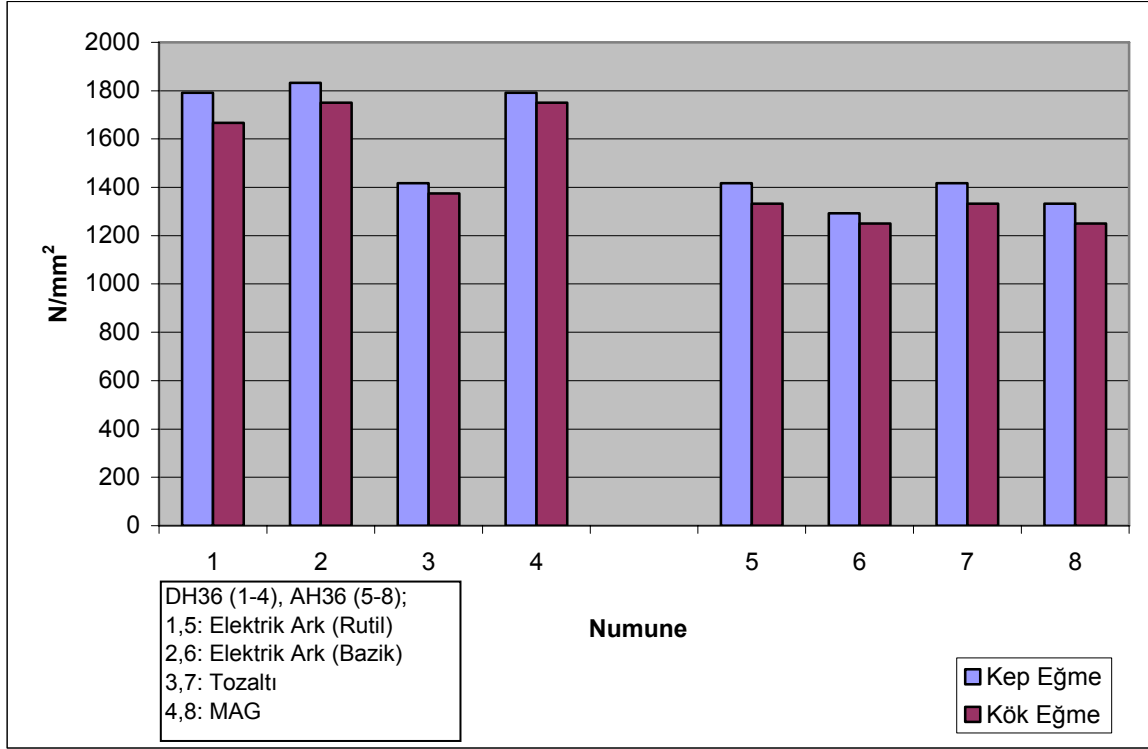
DH36 kalite sacın 4G kaynak pozisyonunda, 1833 N/mm² kep ve 1792 N/mm² kök eğme dayanımı ile en yüksek dayanım MAG kaynağında saptanmıştır. 1667 N/mm² kep ve 1593 N/mm² kök eğme dayanım ile bazik elektrodla elektrik ark kaynağı ise en düşük değeri vermiştir.

AH36 kalite sacın 4G kaynak pozisyonunda, 1500 N/mm² kep ve 1333 N/mm² kök eğme dayanımı ile en yüksek dayanım bazik elektrodla elektrik ark kaynağında saptanmıştır. 1292 N/mm² kep ve 1250 N/mm² kök eğme dayanımı ile rutil elektrodla elektrik ark kaynağı en düşük değeri vermiştir.

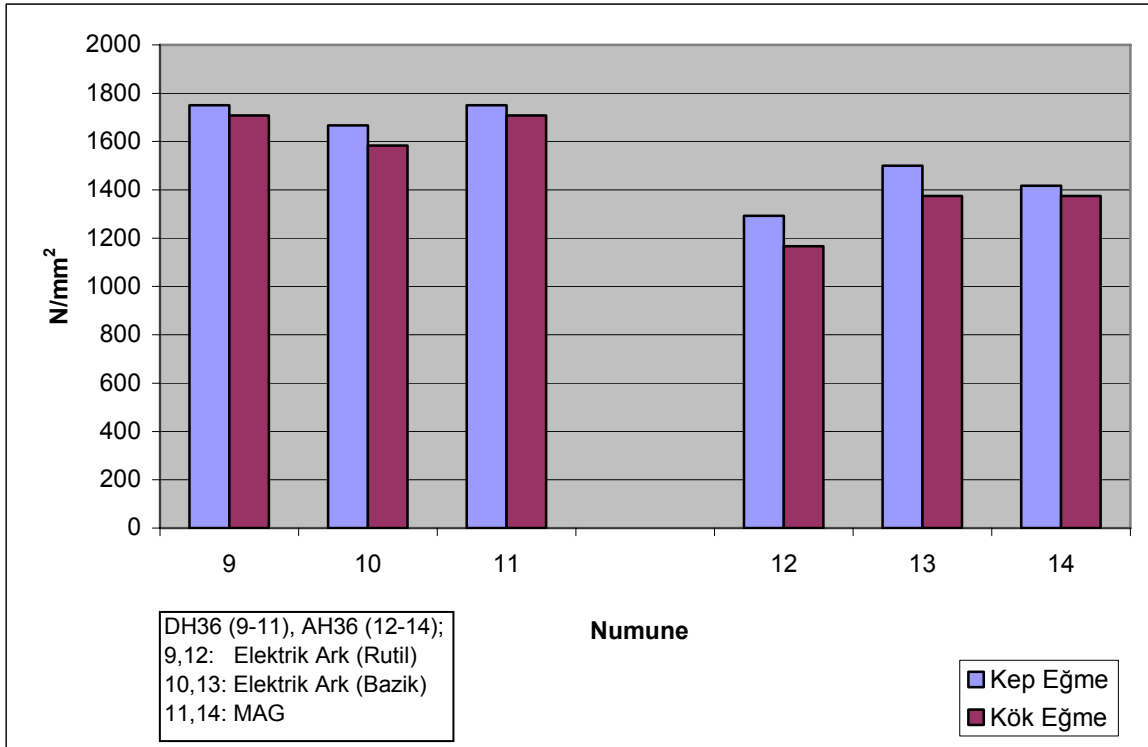
DH36 sacın mekanik özellikleri AH36 sacdan daha iyi olduğundan bu fark eğme deneyinde açıkça ortaya çıkmıştır. Bütün kaynak pozisyonlarınsa DH36 kalite sacın kaynakları hem kep eğmede hem de kök eğmede AH36 kalite saca göre daha yüksek eğme dayanım değerleri vermiştir.

Bazik elektrod kullanılarak elektrik ark kaynağı ile kaynatılan DH36 kalite saclar, 1G ve 3G pozisyonlarında en yüksek değerleri vermiştir. 2G ve 4G pozisyonlarında kaynatılan DH36 kalite saclar rutil elektrod ile elektrik ark ve MAG kaynağında en yüksek dayanımları vermiştir. AH36 kalite sacın rutil elektrod ile elektrik ark kaynağı 1G ve 3G pozisyon kaynaklarında en yüksek değerleri vermiştir. Bazik elektrod ile elektrik ark kaynağında 2G, 3G ve 4G pozisyonlarında iyi sonuçlar alınmıştır. Elektrik ark kaynağı ile kaynatılan parçaların daha az ısı girdileri olması, genel olarak eğme deneyinde elektrik ark kaynağının diğer kaynak yöntemlerinden daha iyi sonuç vermesine sebep olmuştur. 3G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçalarda çatlağa rastlanması ise, bu pozisyonda yüksek ısı girdileri elde edilmesinden ve olası kalıntılar ve kalıntı gerilmelerinden kaynaklandığını düşündürmektedir. Tozaltı kaynağında hem DH36 hem de AH36 kalite sac aynı dayanım değerlerini vermiştir.

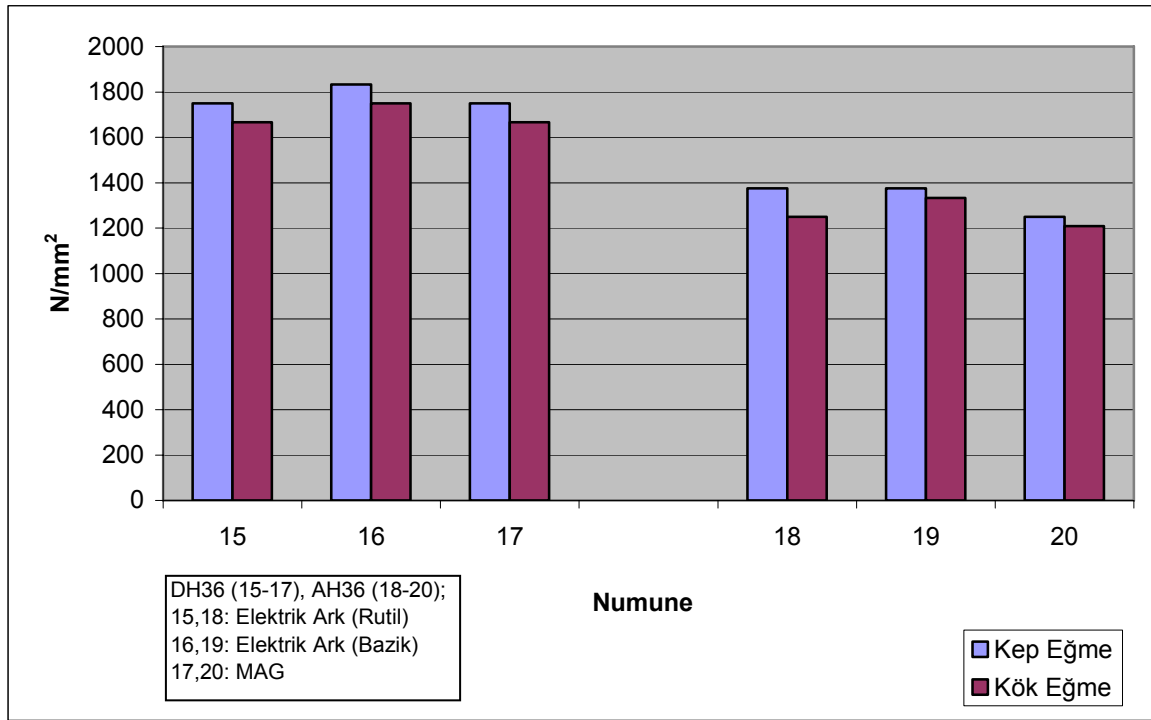
Şekil 10.27 ve Şekil 10.30 arası her kaynak pozisyonuna göre eğme deneyi verileri grafikler halinde verilmiştir.



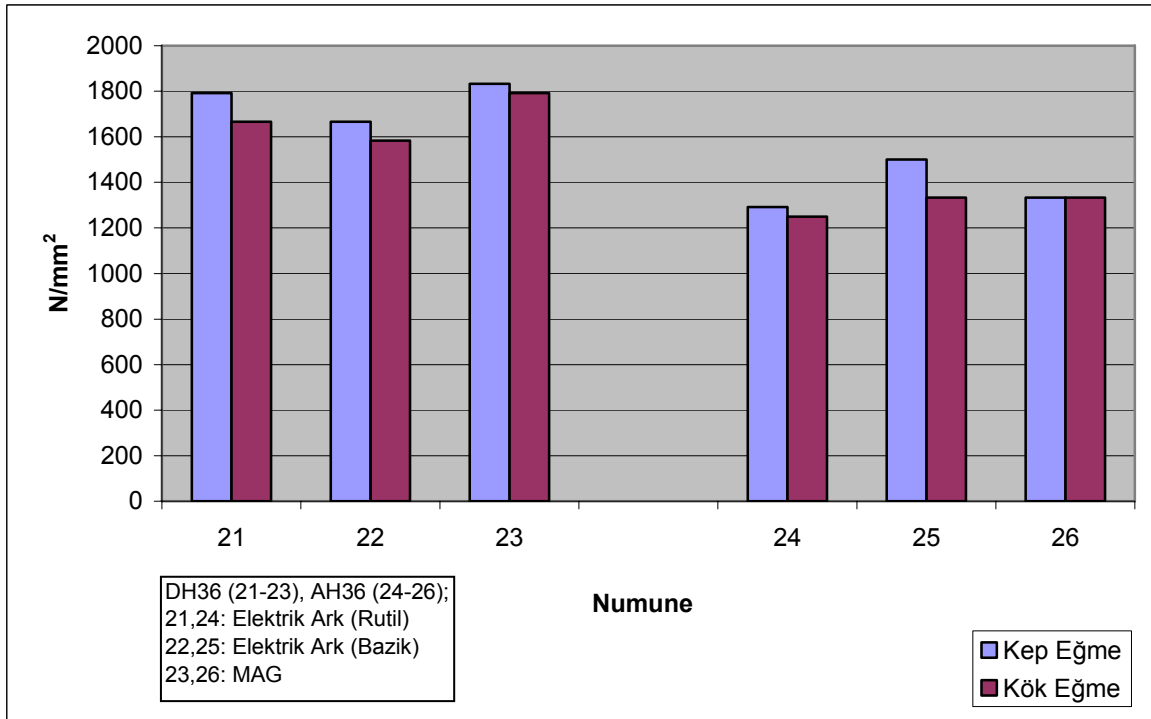
Şekil 10.27 1G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların eğme deneyi verileri grafiği.



Şekil 10.28 2G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların eğme deneyi verileri grafiği.



Şekil 10.29 3G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların eğme deneyi verileri grafiği.



Şekil 10.30 4G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların eğme deneyi verileri grafiği.

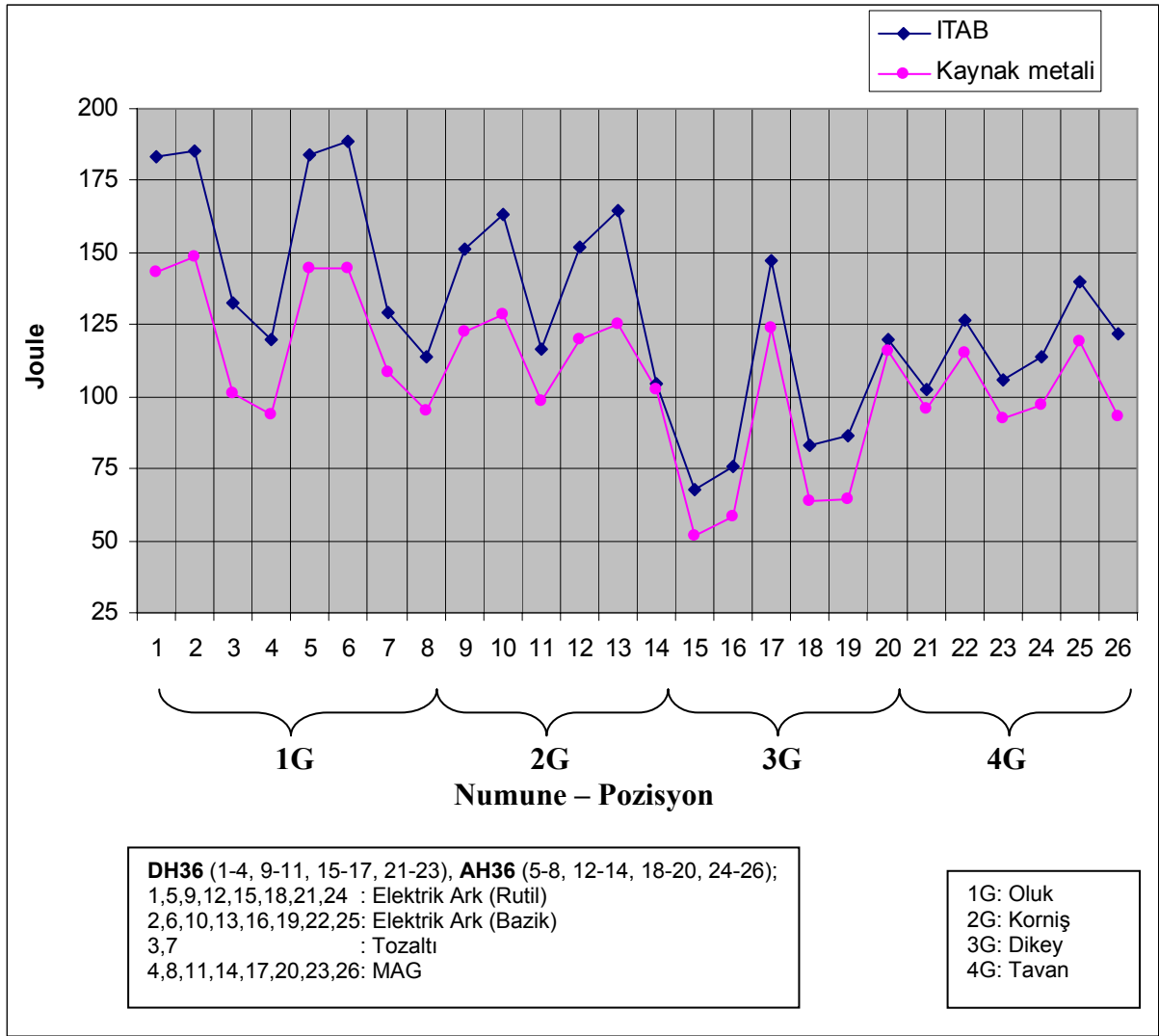
10.5 ÇENTİK DARBE DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çentik darbe deneyi, ERDEMİR T.A.Ş’de Metalurji ve Malzeme Bölümü, Mekanik Test Laboratuvarında ZWICK/5111 darbe cihazında Charpy test usulüne göre yapılmıştır. AH36 saclar 0°C, DH36 saclar ise -20°C’de darbeye maruz bırakılmıştır. Numuneleri istenilen sıcaklıklara getirmek için JULABO FB-50 marka soğutma cihazı kullanılmıştır. Çentik darbe numuneleri ITAB ve kaynak metalinden kaynağa dik olacak şekilde hazırlanmıştır. Çizelge 10.4’de numunelerin ITAB ve kaynak metali kırılma enerjileri verilmiştir. Şekil 10.31’de ise çentik darbe dayanımları grafikte gösterilmiştir. E_k (J)

Çizelge 10.4 Numunelerin kaynak metali ve ITAB bölgesindeki kırılma enerjileri.

No.	Kod	KAYNAK METALİ E_k (J)			ORT. E_k (J)	ITAB E_k (J)			ORT. E_k (J)
1	DH36 1G E R	136,7	151,3	141,9	143,3	177,9	191,7	180,4	183,3
2	DH36 1G E B	149,7	152,2	143,2	148,4	192,3	182,6	181,4	185,4
3	DH36 1G T	102,5	93,7	107,3	101,2	136,7	136,7	123,8	132,4
4	DH36 1G G	101	73,5	107,3	93,9	126,4	108,5	123,8	119,6
5	AH36 1G E R	136,7	154,8	141,9	144,5	182,4	187,9	181,8	184,0
6	AH36 1G E B	125,1	122,5	186,7	144,8	192,8	192,3	181,8	189,0
7	AH36 1G T	97,3	111,1	117,4	108,6	121,2	132,8	132,8	128,9
8	AH36 1G G	98,6	98,6	87,6	94,9	130,2	107,3	104,8	114,1
9	DH36 2G E R	141,9	114,9	109,8	122,2	153,5	149,7	149,7	151,0
10	DH36 2G E B	126,4	137,1	121,2	128,2	156,8	162,9	169,2	163,0
11	DH36 2G G	123,8	93,7	78,1	98,5	93,7	134,1	121,2	116,3
12	AH36 2G E R	123,8	117,4	118,7	120,0	180,3	152,3	123,5	152,0
13	AH36 2G E B	134,1	131,5	109,8	125,1	171,6	160	161,3	164,3
14	AH36 2G G	106	98,6	102,3	102,3	123,8	111,1	79,3	104,7
15	DH36 3G E R	44,6	62,3	48,6	51,8	79,3	80,5	42,6	67,5
16	DH36 3G E B	47,6	79,3	48,6	58,5	87,6	78,1	61,2	75,6
17	DH36 3G G	136,2	122,5	113,6	124,1	136,7	149,7	156,1	147,5
18	AH36 3G E R	62,3	71,6	56,9	63,6	85,2	91,7	72,3	83,1
19	AH36 3G E B	79,3	59	55,8	64,7	88,8	92,3	78,1	86,4
20	AH36 3G G	111,1	112,3	125,1	116,2	107,3	134,1	117,45	119,6
21	DH36 4G E R	94,9	82,2	109,8	95,6	70,1	114,9	122,5	102,5
22	DH36 4G E B	118,7	116,1	111,1	115,3	140,6	121,2	118,7	126,8
23	DH36 4G G	71,2	97,3	108,5	92,3	116,1	97,3	103,5	105,6
24	AH36 4G E R	111,2	96,1	84	97,1	111,1	117,4	112,3	113,6
25	AH36 4G E B	121,9	122,5	113,6	119,3	123,8	135,4	161,3	140,2
26	AH36 4G G	93,7	99,8	86,4	93,3	116,1	125,1	125,1	122,1

DH36 ve AH36 ana metal ortalama kırılma enerjileri sırasıyla 227,4 J ve 231,2 J değerleri vermiştir.



Şekil 10.31 Çentik darbe dayanımların grafik halinde gösterimi.

ITAB'daki kırılma enerjileri kıyaslandığında;

1G ve 2G kaynak pozisyonlarında hem DH36 hem de AH36 kalite sacda elektrik ark, MAG kaynağından daha yüksek kırılma enerjisi değerlerine sahiptir. Elektrik ark kaynaklarında ise bazik elektrodla kaynatılan parçalar rutil elektrodla kaynatılan parçalara az da olsa daha yüksek kırılma enerjisi değerleri vermiştir. Tozaltı ile kaynatılan parçaların kırılma enerjileri birbirine yakın ve MAG kaynağından daha yüksek değerler vermiştir, fakat elektrik ark kaynaklarından daha düşük kırılma enerjisine sahiptir.

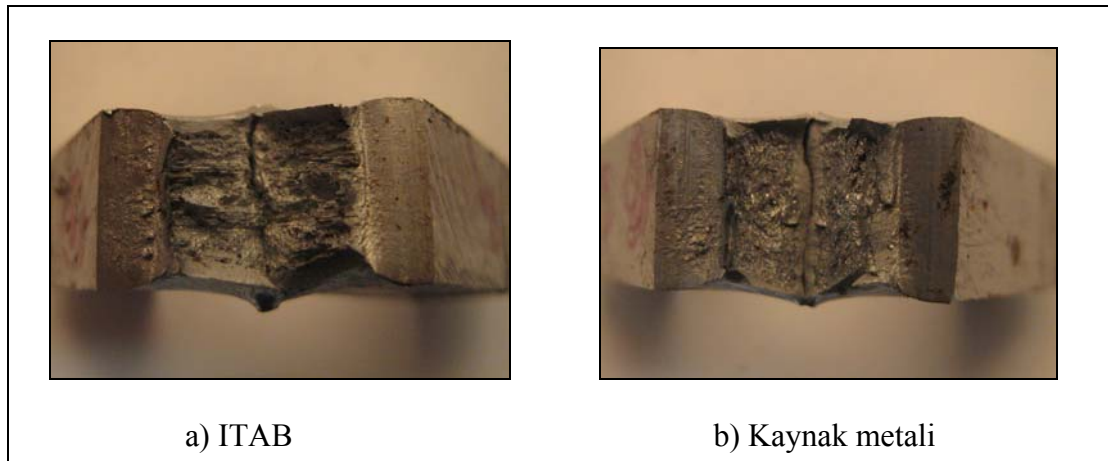
3G pozisyonu ile kaynatılan parçalarda ise MAG kaynağı en yüksek kırılma enerjisini vermiştir. Elektrik ark kaynakları kendi arasında kıyaslandığı zaman bazik elektrod az da olsa daha yüksek kırılma enerjisi ile kırılmıştır.

4G pozisyonu ile kaynatılan parçalarda, bazik elektrod ile kaynatılan parçalarda en yüksek kırılma enerjisini vermiştir. En düşük kırılma enerjisi ise rutil elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağında saptanmıştır.

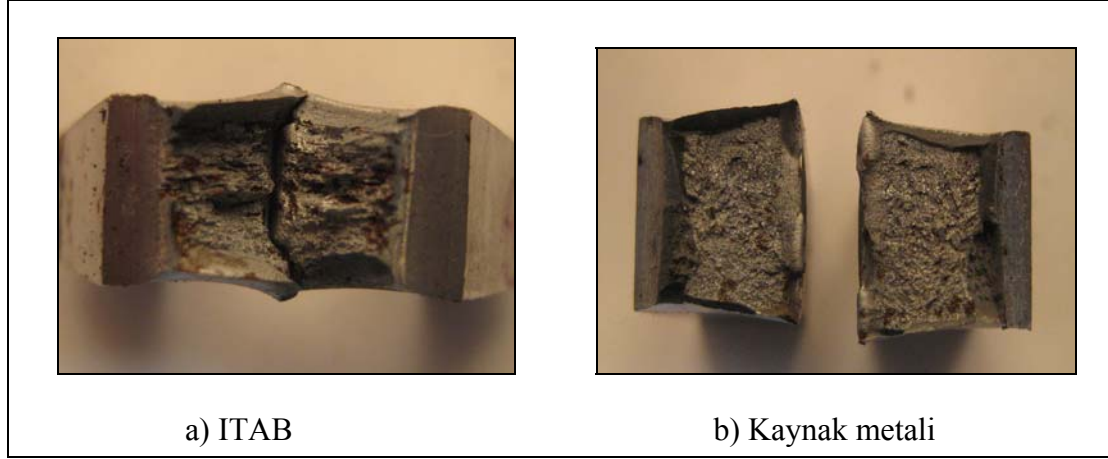
Kaynak metali kırılma enerjileri kıyaslandığında ise genelde ITAB kıyası ile aynı sonuçlar saptanmıştır. Fakat 4G pozisyonunda en düşük kırılma enerjisini MAG kaynağı vermiştir. 3G ve 4G pozisyonlarındaki kaynakların genel olarak darbe dayanımlarının düşük olmasının, pozisyonun zorluğundan dolayı verimli kaynak yapılamamasından ve koruyucu örtünün görevini tam olarak yerine getirememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bütün test parçalarında ITAB kırılma enerjisinin kaynak metali kırılma enerjisinden daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Çoğunlukla çentik darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri, ITAB'ta daha lifli bir kırılma gösterirken kaynak metalinde daha kristalimsi bir kırılma göstermiştir. Bu da, ITAB'ta daha sünek ve kaynak metalinde daha gevrek bir kırılma meydana geldiğinin göstergesidir. Şekil 10.32'de ve Şekil 10.33'te 2 nolu (DH36 1G E B) ve 3 nolu numunenin (DH36 1G T) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri verilmiştir. Diğer numunelerin kırılma yüzeyleri Ek B'de verilmiştir.

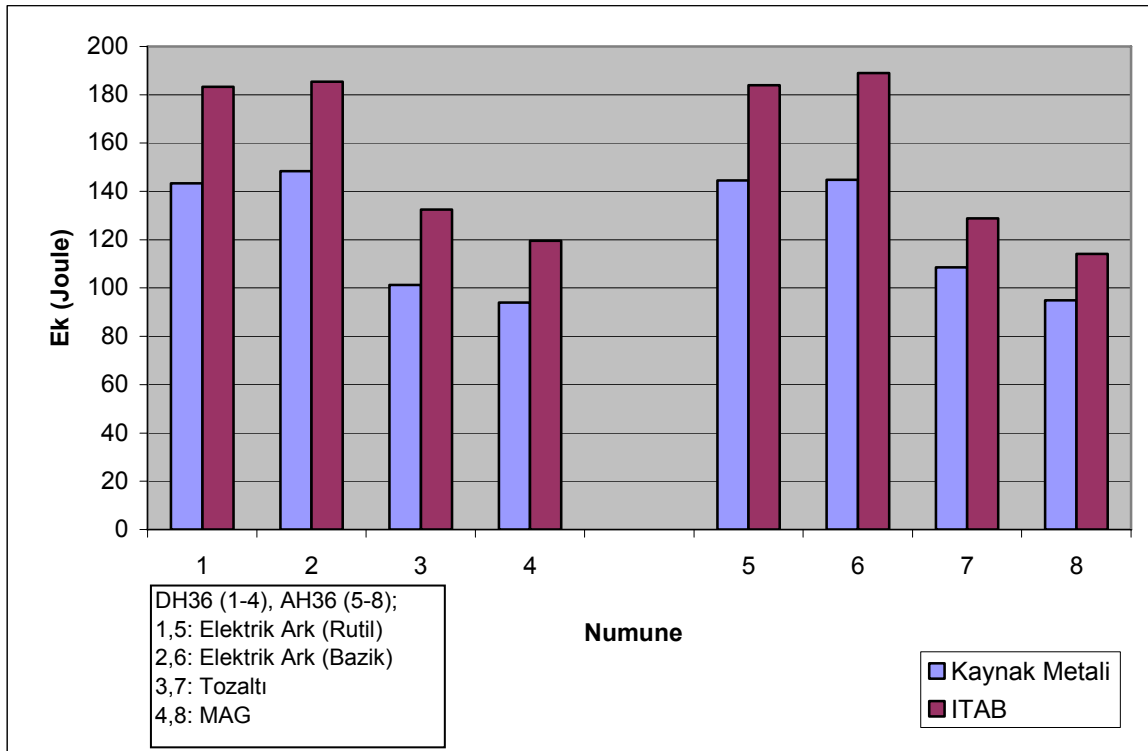


Şekil 10.32 2 Nolu numune (DH36 1G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.

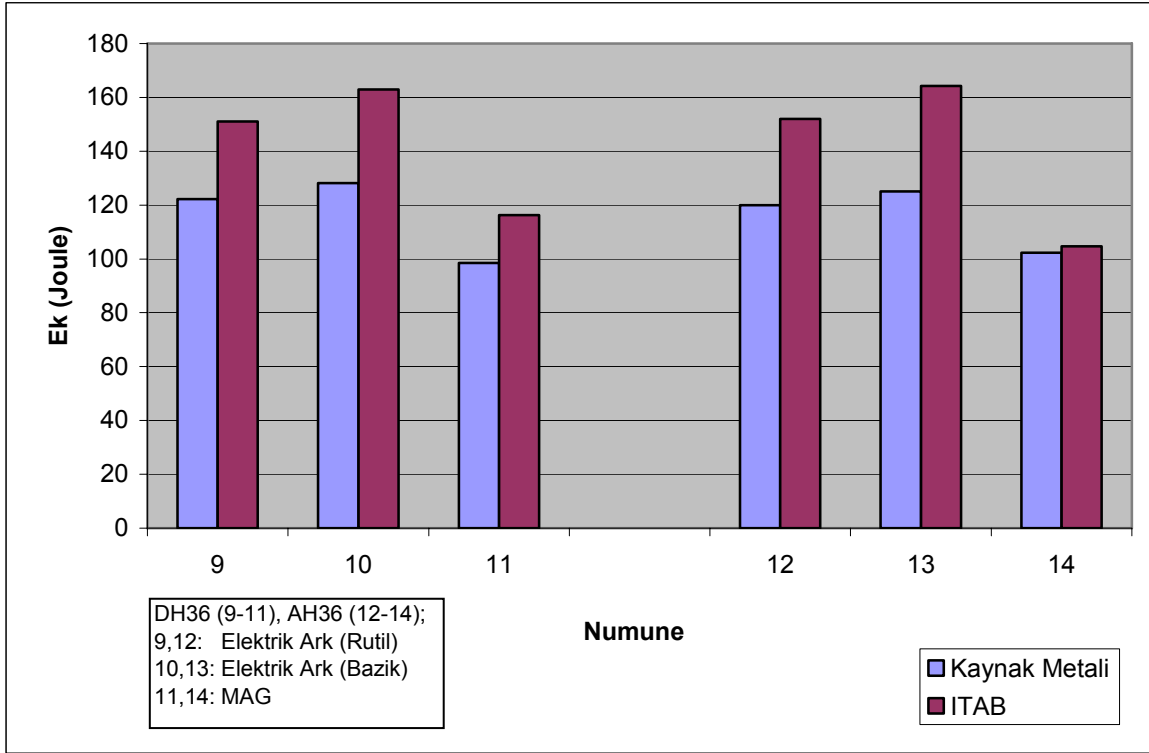


Şekil 10.33 3 Nolu numune (DH36 1G T) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.

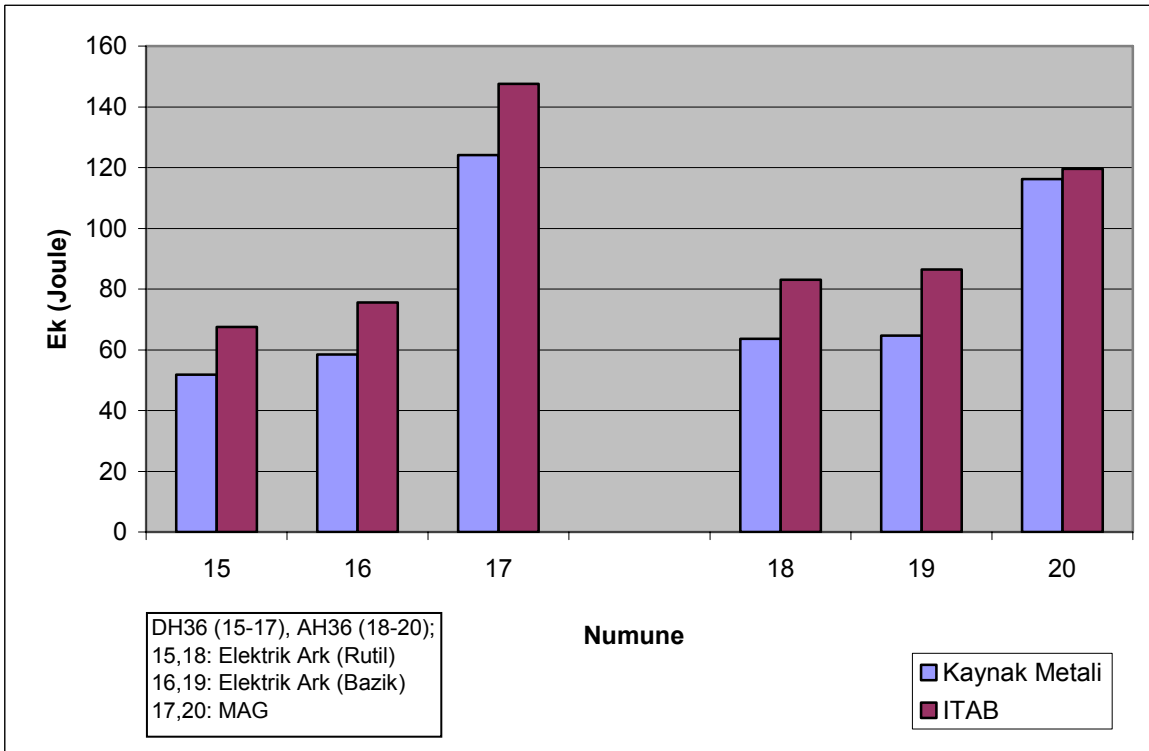
Şekil 10.34 – Şekil 10.37 arası her kaynak pozisyonu için çentik darbe dayanımları grafikler halinde verilmiştir.



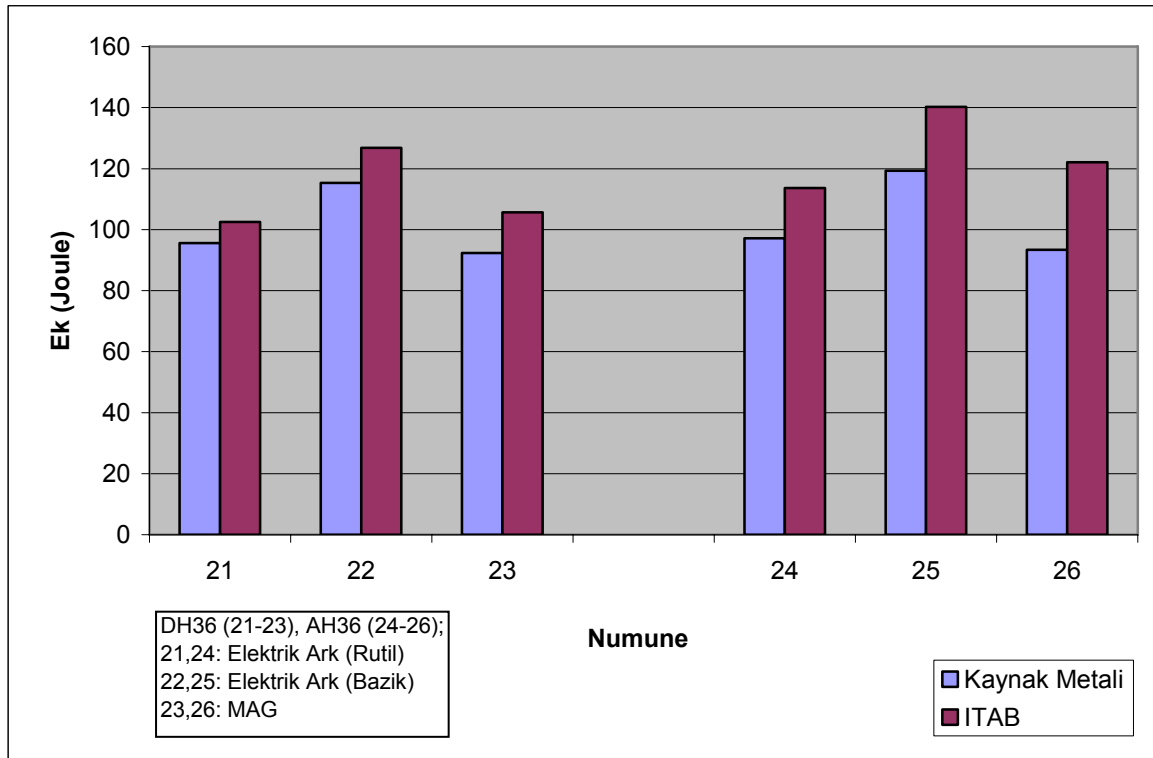
Şekil 10.34 1G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların darbe deneyi verileri grafiği.



Şekil 10.35 2G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların darbe deneyi verileri grafiği.



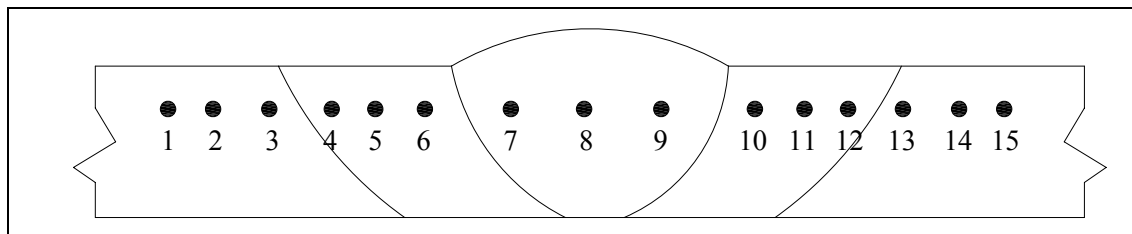
Şekil 10.36 3G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların darbe deneyi verileri grafiği.



Şekil 10.37 4G kaynak pozisyonunda kaynatılan parçaların darbe deneyi verileri grafiği.

10.5 MİKROSERTLİK DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mikrosertlik ölçümleri, ERDEMİR T.A.Ş.'de Metalurji ve Malzeme Bölümü, Mekanik Test Laboratuvarında FutureTech FM 700 marka mikrosertlik cihazında 10 kg test yükü ile Vickers uç kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler ana malzemedan, ITAB ve kaynak metali bölgelerinden yapılmıştır (Şekil 10.38). Çizelge 10.5'te ana metal, ITAB ve kaynak metalinden alınan mikrosertlik değerleri verilmiştir. Şekil 10.39'da ise her bölgeden ortalama sertlik değerleri alınarak grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 10.38 Mikrosertlik ölçümlerinin alındığı noktalar.

Şekil 10.40'tan Şekil 10.47'ye kadar 1G pozisyonunda kaynatılan parçaların sertlik ölçümleri grafik olarak verilmiştir, diğer numunelerin grafikler ise Ek C'de verilmiştir.

Çizelge 10.5 Ana metal, ITAB ve kaynak metali mikrosertlik (HV₁₀) değerleri.

	ANAMETAL (HV ₁₀)			ITAB (HV ₁₀)			KAYNAK (HV ₁₀)			ITAB (HV ₁₀)			ANAMETAL (HV ₁₀)		
No/İz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	174	175	178	184	187	189	198	199	197	188	185	184	177	176	173
2	164	165	166	176	179	180	184	187	186	180	176	175	167	163	163
3	171	173	176	181	185	186	192	195	194	186	184	181	173	172	172
4	167	169	170	182	185	187	193	193	190	186	187	181	169	167	166
5	160	162	166	172	176	181	192	193	190	185	183	179	170	166	159
6	169	170	172	180	184	187	192	195	194	186	185	181	173	171	168
7	167	172	175	180	181	185	190	193	192	184	182	180	178	171	170
8	169	170	178	181	182	183	194	197	193	189	185	182	179	176	170
9	163	165	170	175	178	180	192	199	196	185	181	180	170	166	165
10	170	171	177	181	182	188	195	197	196	193	190	188	183	179	176
11	184	184	186	190	193	195	205	208	202	196	195	193	190	185	183
12	160	161	166	171	177	181	187	190	189	181	180	179	169	166	159
13	167	169	176	182	185	187	189	193	190	186	187	181	169	167	166
14	166	169	177	181	185	187	189	193	191	186	184	181	178	170	169
15	165	169	170	184	186	187	190	193	191	187	183	181	171	170	166
16	176	177	181	182	185	187	191	195	193	188	185	182	181	176	170
17	153	156	165	171	172	177	183	184	184	179	178	175	169	164	159
18	168	169	170	174	176	185	194	197	196	189	185	184	179	177	177
19	167	169	176	182	185	187	189	193	190	186	187	181	169	167	166
20	160	169	172	185	185	187	193	193	189	185	185	184	177	176	170
21	161	165	167	171	172	178	185	187	187	180	177	175	170	169	167
22	170	174	177	180	182	185	190	193	192	187	186	180	170	169	168
23	168	168	170	174	176	185	194	197	196	189	185	184	179	177	175
24	158	160	161	174	175	177	187	187	186	178	176	174	168	163	160
25	164	165	166	176	179	180	184	187	186	180	176	175	167	163	163
26	167	169	169	179	182	187	189	193	192	189	187	181	169	167	166

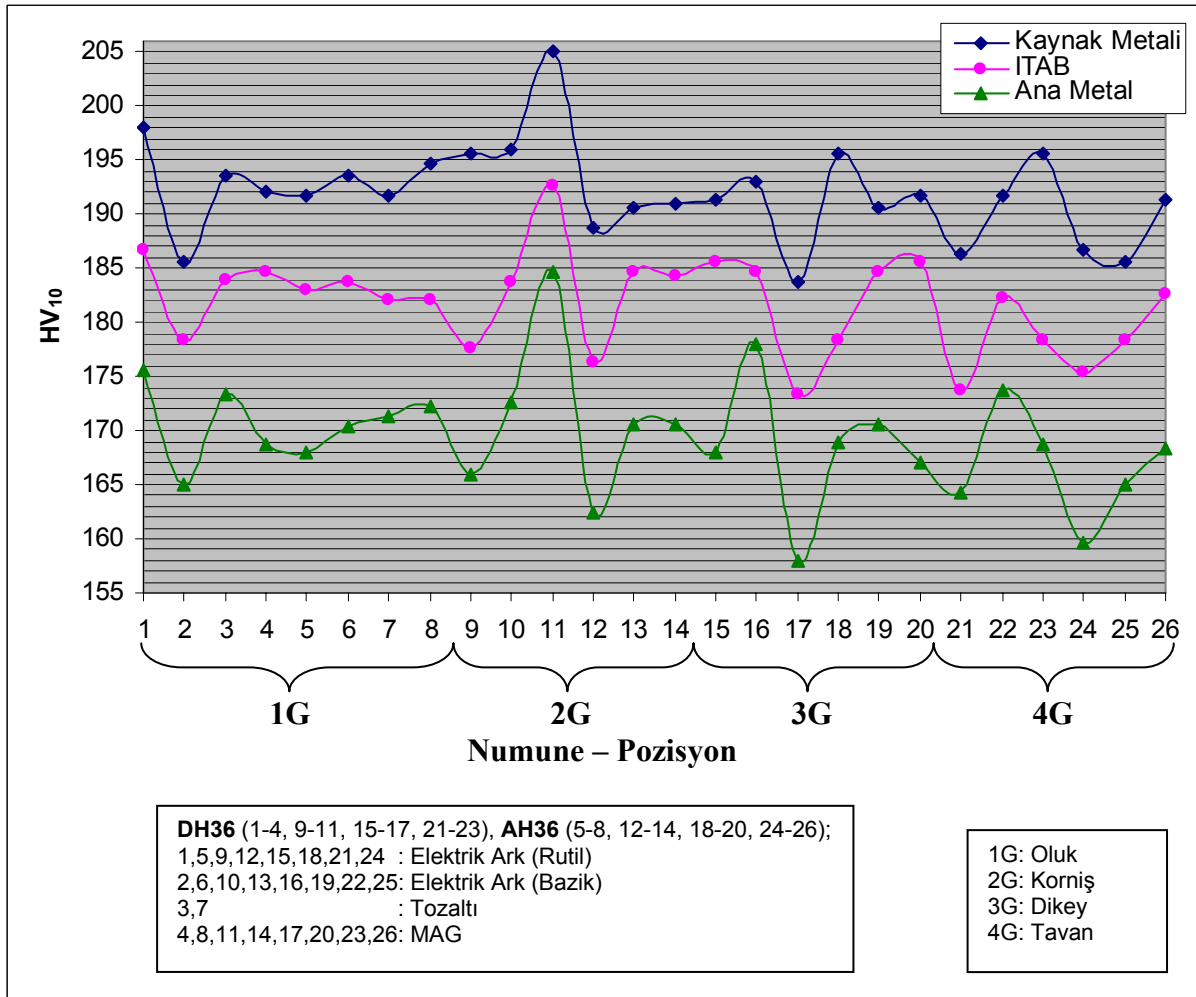
1G kaynak pozisyonunda sertlik değerleri birbirlerine yakın değerdedir. Fakat DH36 kalite sacın rutil elektrodla elektrik ark kaynağı yüksek değer verirken, bazik elektrodla elektrik ark kaynağı en düşük değeri vermiştir.

2G kaynak pozisyonunda, DH36 kalite sac kaynakları, AH36 kalite sacın kaynaklarından daha yüksek sertlik değerleri vermiştir, MAG, en yüksek sertliği veren kaynak yöntemi olarak saptanmıştır. DH36 kalite sacın MAG kaynağı diğer kaynak pozisyonlarına göre 204 HV₁₀ kaynak metali ortalama sertlik değeri ile en yüksek sertliği vermiştir.

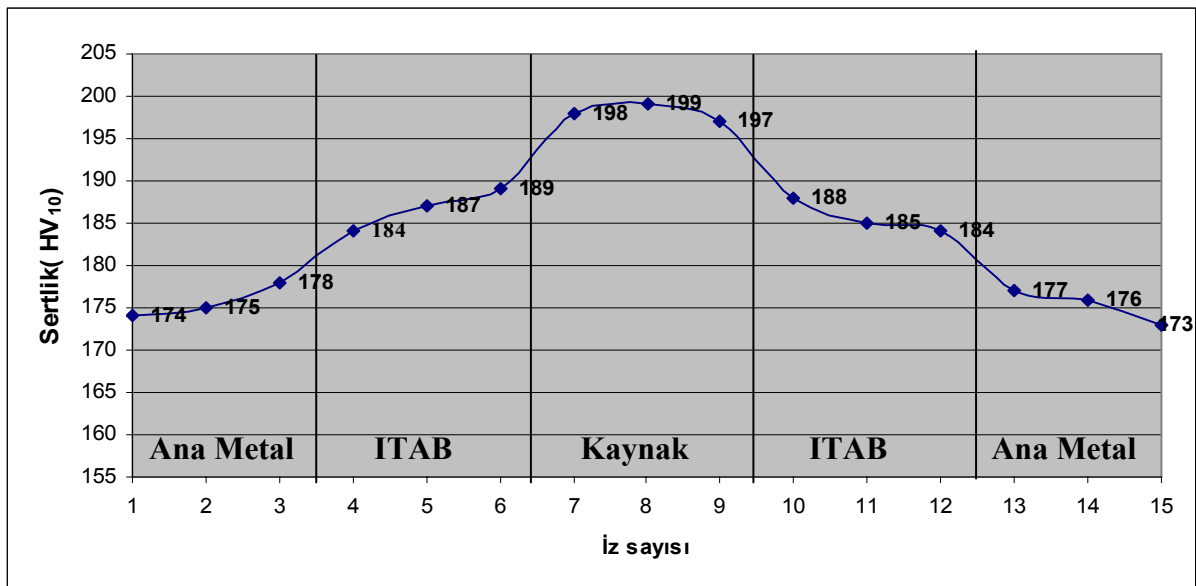
3G kaynak pozisyonunda, DH36 kalite sacın MAG kaynağı en düşük değeri vermiştir, 184 HV₁₀ kaynak metali ortalama sertlik değeri ile bütün kaynak pozisyonları arasında en düşük değeri vermiştir. Bu kaynak pozisyonunda, AH36 kalite sacın rutil elektrod ile elektrik ark kaynağı ise en yüksek sertlik değerini vermiştir.

4G kaynak pozisyonu için, her iki kalite sacın MAG kaynakları elektrik ark kaynağından daha yüksek sertlik değerleri vermiştir. En düşük değer ise DH36 kalite sacda rutil elektrod, AH36 kalite sacda ise bazik elektrod ile elektrik ark kaynağı vermiştir.

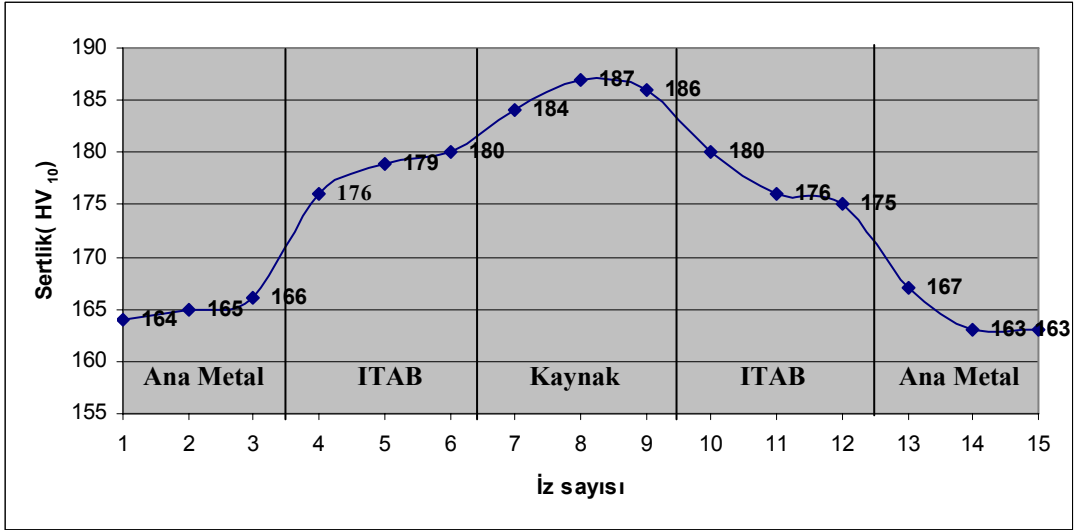
Tüm ortalama sertlik değerleri, ana metalde 158 HV₁₀ -185 HV₁₀ arasında, ITAB'da 173 HV₁₀ -193 HV₁₀ arasında ve kaynak metali 184 HV₁₀ - 205 HV₁₀ arasında olduğu saptanmıştır.



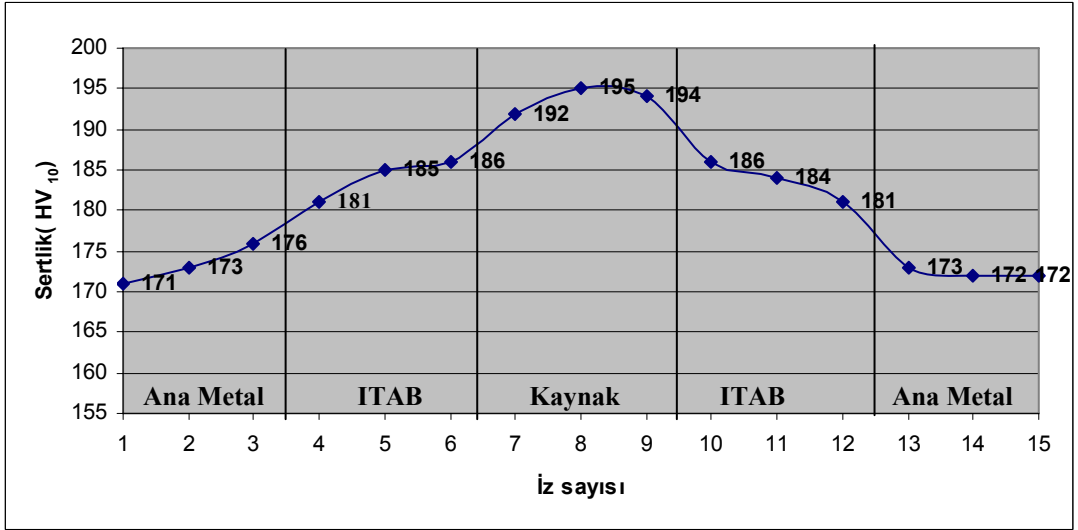
Şekil 10.39 Ortalama sertlik değerleri grafiği.



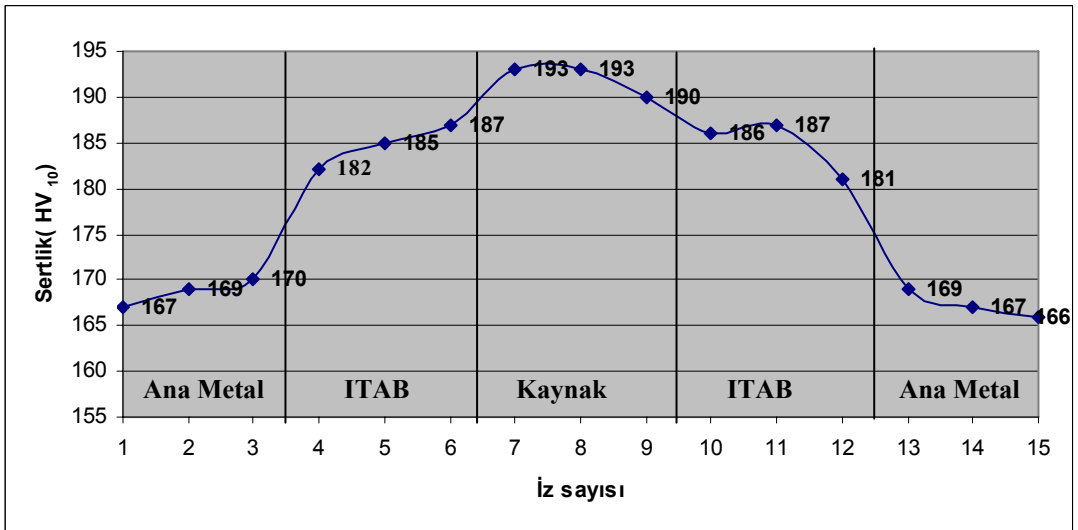
Şekil 10.40 1 Nolu numune (DH36 1G E R) sertlik dağılımı.



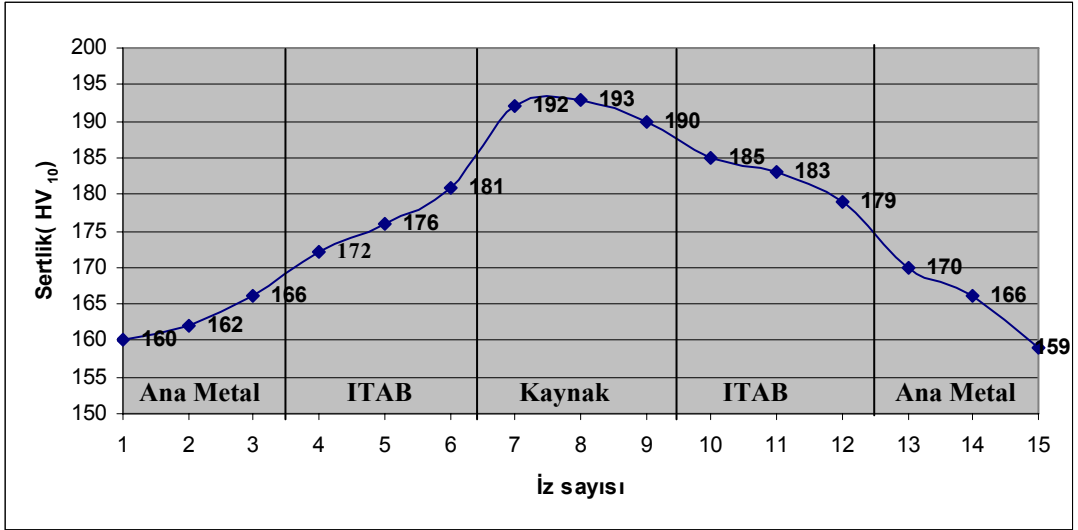
Şekil 10.41 2 Nolu numune (DH36 1G E B) sertlik dağılımı.



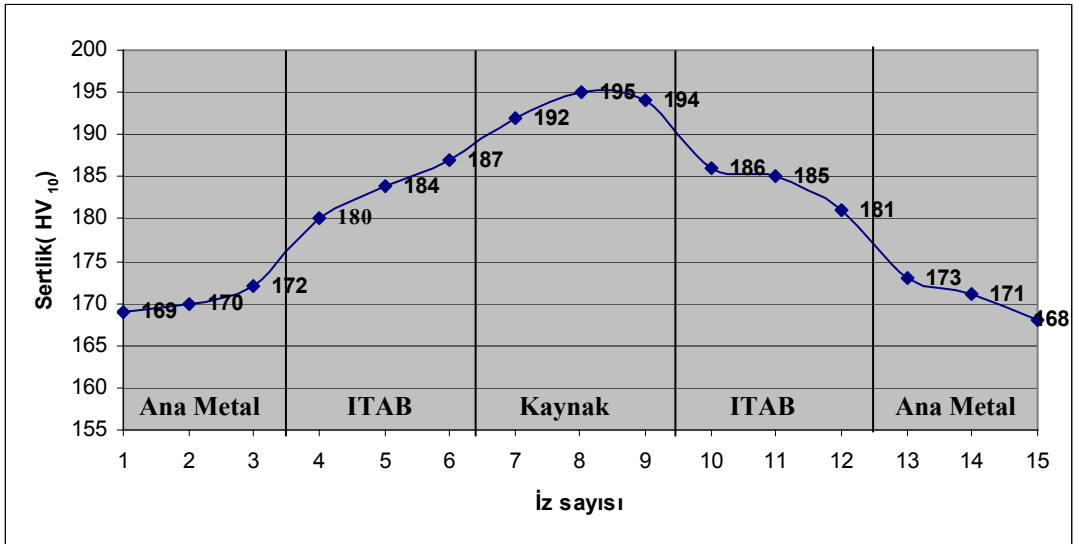
Şekil 10.42 3 Nolu numune (DH36 1G T) sertlik dağılımı.



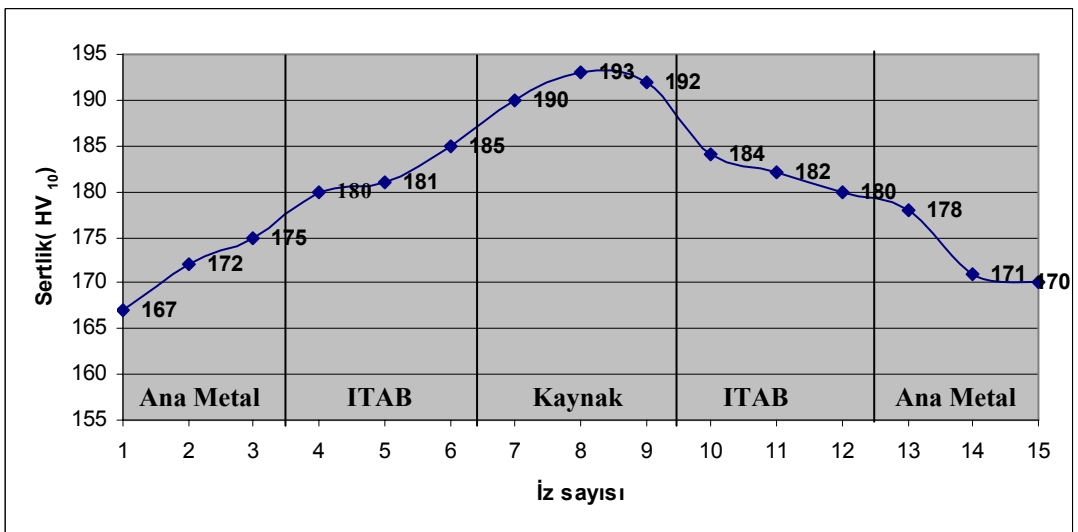
Şekil 10.43 4 Nolu numune (DH36 1G G) sertlik dağılımı.



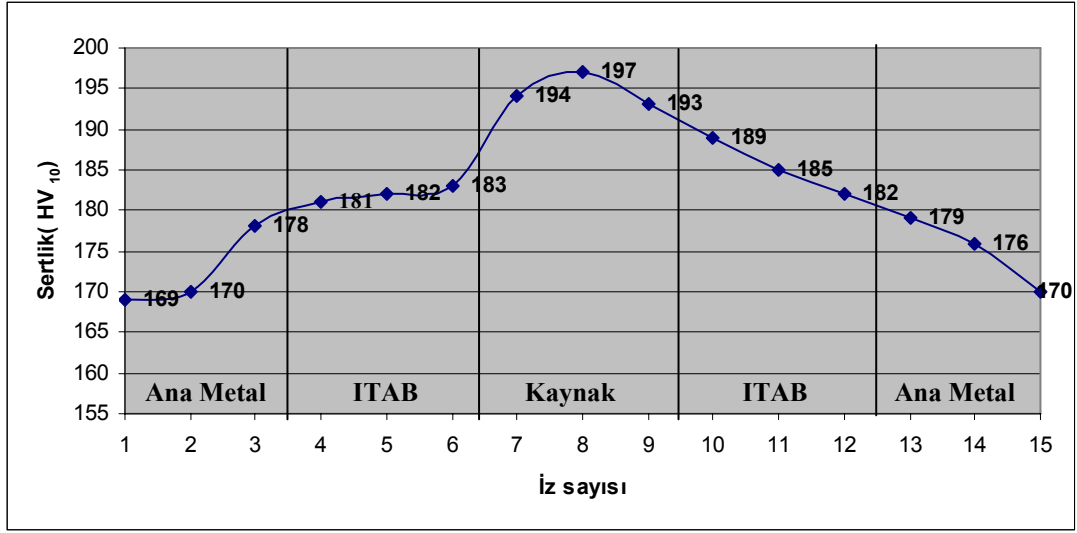
Şekil 10.44 5 Nolu numune (AH36 1G E R) sertlik dağılımı.



Şekil 10.45 6 Nolu numune (AH36 1G E B) sertlik dağılımı.



Şekil 10.46 7 Nolu numune (AH36 1G T) sertlik dağılımı.



Şekil 10.47 8 Nolu numune (AH36 1G G) sertlik dağılımı.

BÖLÜM 11

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gemi blok imalat aşamasında aynı bölge için standartlar dahilinde farklı kaynak yöntem ve pozisyonları uygulanmaktadır. Bu çalışmada, 1G yatay, 2G korniş, 3G dik ve 4G tavan kaynak pozisyonları için elektrik ark kaynağı, tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile AH36 ve DH36 kalite saclar birleştirilerek karşılaştırma yapılmıştır. Özellikle yapılması zor olan 3G ve 4G pozisyonları yerine, yapılması daha kolay olan 1G ve 2G pozisyonlarının genel olarak daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. Bundan dolayı, blok imalat aşamasında parçalar birbirine kaynatılırken mümkünse 1G ve 2G pozisyonlarında birleştirilmeleri tercih edilmelidir. Fakat pozisyon seçimi yapılamayan durumlarda, örneğin kızak montajı esnasında farklı kaynak yöntemleri uygulanabilir. Örneğin, 3G pozisyonlarında elektrik ark kaynağının gazaltı kaynağına göre dayanım değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

İç yapıdaki kalıntıların, yüksek kalıntı gerilmelerinin ve yüksek ısı girdilerinin kaynaklı bağlantıların dayanımını düşürdüğü, kırılmalara sebep olduğu bilinmektedir. Isı girdisi, kaynaklı bağlantılarda ana metal ile kaynak metali arasında fazla miktarda üniform olmayan sıcaklık dağılımına sebep olduğundan dolayı, ITAB'da östenit fazının büyüdüğü ve tokluk değerlerinin aşırı derecede düştüğü bilinmektedir (Gery et al. 2005, Shome 2007, Sabzevar et al. 2008). Çalışmada, 3G pozisyonunda elektrik ark kaynağında yüksek ısı girdisi ve dolayısıyla dayanım değerlerinin düşük olduğu saptanmıştır ve sonuçlar literatürle uyumludur.

Literatürde pozisyonlar arası karşılaştırmaya rastlanmamıştır.

AH36 çeliği DH36 çeliğine göre uygulanan kaynak yöntem ve pozisyonlarında genel olarak daha düşük değerler vermiştir. Tezde SEM ve XRD çalışmaları yapılamamıştır, fakat AH36

çeliğinin kırılma bölgelerini inceleyen Zielenski (2003), bu bölgelerde laminasyonlara, MnS kalıntılara ve fazla miktarda hidrojene rastladığını ifade etmiştir.

Bazı kaynak yöntem ve pozisyonlarında ise DH36 çeliği daha düşük dayanım değerleri vermiştir. DH36 çeliğinin Fe-Fe₃C denge diyagramına göre HMK kristal yapıya sahip olduğu, yani çeliğin özelliklerinin mikroyapısına bağlı olduğu, gerilme hassasiyeti içerdiği ve mekanik özelliklerinin kalıntılara da kuvvetle bağlı olduğu bilinmektedir (Sannomiya 1985, Nasser and Guo 2003). Bu durum yapılan çalışmayı desteklemektedir.

Genel Sonuçlar:

- Mikroyapı incelemelerinde ana metallerin ferritik-perlitik yapıya sahip oldukları görülmüştür (Şekil 10.3 ve Şekil 10.4). Kaynaklı bağlantılarında ise farklı kaynak yöntem ve pozisyonları farklı mikroyapılar oluşturmuştur (Şekil 10.5 – Şekil 10.12 ve Ek A).
- Kaynak yöntem ve pozisyonlarına göre, parçalar standartlara göre farklı pasolarda kaynatılmıştır. En düşük ısı girdi değerleri, elektrik ark kaynağı 1G pozisyonlarında, en yüksek ısı girdi değerleri ise elektrik ark kaynağı 3G pozisyonlarında saptanmıştır. Paso sayısı arttıkça ısı girdileri de artmıştır.
- Çekme deneyinde, deney parçalarının tamamı kaynaklı bağlantılardan değil ana metalden kopma göstermiştir. Parçaların akma dayanım değerleri, genel olarak ana metalden daha fazla, çekme dayanım değerleri ise ana metallere yaklaşık değerler göstermiştir. Farklı kaynak yöntem ve pozisyonları için kaynaklı bağlantıların dayanımlarının ana malzemedenden daha yüksek olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 10.2).
- Eğme deneylerinde, kep eğme dayanımlarının kök eğme dayanımlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. DH36 sacına rutil elektrod ile 3G pozisyonunda yapılan elektrik ark kaynağı en yüksek ısı girdisine sebep olarak (10,67 kJ/mm) kep ve kök eğme deneyleri sonucunda çatlama görülmüştür. AH36 sacının da aynı kaynak yöntemi ve pozisyonunda ısı girdisi yüksek olup (5,67 kJ/mm) kep eğme deneyinde çatlama görülmüştür (Çizelge 10.3).

- Çentik darbe deneylerinde, ITAB'daki darbe dayanımlarının kaynak metaline göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Farklı kaynak yöntem ve pozisyonlarında, kaynaklı bağlantıların farklı darbe dayanımları verdiği sonuçlardan anlaşılmaktadır (Çizelge 10.4). Özellikle elektrik ark kaynağı yöntemi ile 3G pozisyonunda kaynatılan çeliklerin darbe dayanımlarının düşük değerler verdiği görülmektedir.
- Kaynaklı bağlantıların sertlik incelemesi yapıldığında, uygulanan kaynak yöntemleri ve pozisyonları için kaynak metali ve ITAB'ın ana metalden daha yüksek sertliklere sahip olduğu görülmüştür (Şekil 10.39).

ÖNERİLER:

- Gemi sektöründe çok kullanılan değişik kalınlıktaki saclar için aynı kaynak yöntem ve pozisyonlarının irdelenmesi araştırmacılara ışık tutacaktır.
- SEM, X-ışını difraksiyonu ve EDS analizleri yapıp mikroyapı, fazlar ve kalıntılar incelenerek dayanım değerlerinin detaylı irdelenmesi sağlanabilir.
- Kalıntı gerilmelerin ölçülmesi de çalışmayı derinleştirecektir.
- Dinamik yükler altında çalışan gemilerin yorulma dayanımlarının araştırılması da büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Anık S** (1991) *Kaynak Tekniği El Kitabı-Yöntemler ve Donanımlar*, GEV Yayınları, İstanbul
- Anık S** (1999) *Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri*, Birsen Yayın Evi, İstanbul
- Anık S ve Tülbentçi K** (1986) *Kaynak Teknolojisi I, Elektrik Ark Kaynağı*, Gedik Holding Yayını, İstanbul
- Anık S, Tülbentçi K ve Kaluç E** (1991) *Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı*, GEV Yayınları, İstanbul.
- Anık S ve Vural M** (1997) *Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG)*, Gedik Holding Yayını, Yayın No.3, İstanbul, 300 s.
- American Bureau of Shipping ABS** (2006) *Rules for Materials and Welding 2006 part 2*. ABS, Houston, 444 p.
- American Bureau of Shipping ABS** (2010) *Rules for Building and Classing, steel Vessels 2010 part 5c. Specific vessel types (chapters 7-10)* ABS, Houston, 958 p.
- Asarkaya M** (2006), *Gemi İnşasında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, Sakarya, 174 s.
- ASM International** (2001) *Metals Handbook, Desk Edition*, ASM International, Ohio, 2571 p.
- Ay İ ve Demircioğlu K** (2006) *İmalat Yöntemleri I*, Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Ders Notları (yayımlanmamış).
- Aydın V** (1994) *Manyetik Ark Üfleme, Sebepleri, Etkileri ve Önleme Yöntemleri. Mühendis ve Makine, Kaynak Özel Sayısı*, Eylül, s.52-55
- Babu S P K and Natarajan S** (2008), *Influence of Heat Input on High Temperature Weldment Corrosion in Submerged Arc Welded Power Plant Carbon Steel, Materials and Design (29)*, p. 1036-1042
- Benli S** (2004), *Kaynaklı parçalarda oluşan artık gerilmelerin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 65 s.
- Bhadeshia H K D H and Honeycombe R W K** (2006) *Steels Microstructure and Properties*. 3th edition, Elsevier, Oxford, 344 p.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Bhadeshia H K D H and Svensson L E** (1993) Modelling the evolution of microstructure in steel weld metal, *Institute of Materials*, London, p. 109-182
- Black J T and Kohser R A** (2007) *DeGarmo's Materials and Process in Manufacturing Tenth Ed.*, John Wiley & Sons Inc., USA, 1010 p.
- Bull S** (2000) *Welding faults and defects*, Joining Technology, p. 18
- Cabrera S V M, Gonzalez R C, Vela R J J and Baltazar R C** (2008) Effect of preheating temperature and filler metal type on the microstructure, fracture toughness and fatigue crack growth of stainless steel weld joints, *Material Science and Engineering* (452-453), p. 235-243
- Carasco M and Mery D** (2005) *Segmentation of welding defects using robot algorithm*, Federal Institute of Materials Research and Testing, Berlin
- Cebekan F** (1988) *Kaynak banyosunun katılaşması*, Gedik Kaynak Dünyası, İstanbul, 1988/1, s. 11-17
- Cho K K, Sun J G and Oh J S** (1999) An automated welding operation planning system for block assembly in shipbuilding, *Production Economics* (60-61), p. 203-209
- David S A, Babu S S and Vitek J M** (2003) Welding: Solidification and Microstructure, *Journal of Material*, 55 (6), p.14
- Davis J** (2004) 'Liberty' Cargo Ships, Feature Article, 164 p.
- Dikicioğlu A** (2006) Kaynaklı İmalat ve Tasarım, Ders Notları (yayımlanmamış).
- Dolby R E** (1983) *Advance in Welding Metallurgy of Steel*, Metals Technology, p. 349-362
- Durgutlu A, Gülenç B ve Tülbentçi K** (1999) Ark kaynağının kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi, *Journal of Engineering And Enviromental Science* (23), 251-259.
- Durmuşoğlu Ş** (2006) *Gazaltı Kaynağında Kaynak Kalitesine Tesir eden Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 160 s.
- Easterling K E** (1992) *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*, second ed., Butterworth-Heinemann, London
- Eroğlu M** (1995) *Düşük Karbonlu ve Düşük Alaşımlı bir Çelikte Kaynak Enerjisinin Isının Tesiri Altında Kalan bölge (ITAB)'nin Yapısına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 73 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

ESAB (2009) Ürünler Kataloğu

Eyres D J (2001) *Ship Construction. 5th edition, Steel*, Butterworth-Heinemann, Oxford, p.39-44

Fujii H, Cui L, Tsuji N, Maeda M, Nakata K and Nogi K (2006) Friction stir welding of carbon steels, *Materials Science and Engineering* (429), p.50-57

Gery D, Long H and Maropoulos P (2005), Effects of Welding Speed, Energy Input and Heat Source Distribution on Temperature Variations in Butt Joint Welding, *Journal of Materials Processing Technology* (167), p. 393-401

Ilyich Steel & Iron Works Co (2009) sac kalite sertifikası

Irving B (2005), *Welding's vital part in major American historical events*, American Welding Society.

İTÜ (2009) Makine Mühendisliği Bölümü, İmalat laboratuvarı Kaynak Deneyi Ders Notları (yayımlanmamış).

Jang Y C, Hong J K, Park J H, Kim D W and Lee Y (2008) Effects of notch position of the Charpy impact specimen on the failure behavior in heat effected zone, *Journal of Materials Processing Technology* (201), p. 419-424

Goyal V K, Ghosh P K and Saini J S (2008) Analytical studies on thermal behaviour and geometry of weld pool in pulsed current gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, p. 1-19

Kaluç E (2004) *Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt-1 Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri*, MMO/2004/356, Ankara, 358 s.

Kaluç E (1999) *Kaynak Teknolojisi Alanında Ulusal Örgütlenmeye Doğru*, Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, 8 s.

Karadeniz S ve Karaoğlu S (1997) kaynak arkına etkiyen kuvvetlerin damla geçişi ve kaynak kalitesine etkisi, *1. Ulusal kaynak Teknolojileri Kongresi*, Ankara, s. 59-67

Kemp P (ed) (1976) *The Oxford Companion to Ships and the Sea* , Oxford University Pres.

Kılınçer S (1998) *Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğin ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 128 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Klepaczko J R, Rusinek A, Rodriguez-Martinez J A, Pecherski R B and Arias A (2009)**
Modelling of thermo-viscoplastic behaviour of DH36 and Weldox 460-Estructural steels at wide ranges of strain rates and temperatures, comparison of constitutive relations for impact problems, *Mechanics of Materials* (41), p. 599-621
- Külahlı E (1988)** *Tozaltı Kaynak Yöntemi, Kaynak Bilimi*, Oerlikon Yayını, İstanbul, 12s.
- Lane F C (2001)** *A History of Shipbuilding under the U.S. Maritime Commission in World War II*, Johns Hopkins University Pres.
- Lee H K, Kim K S and Kim C M (2000)** Fracture Resistance of a Steel Weld Joint under Fatigue Loading, *Engineering Fracture Mechanics* (66), p. 403-419
- Lienert T J, Tang W and Kvidahl L G (2003)** Friction stir welding of DH-36 Steel, *4th Int Friction Stir Welding Symp*, Park City, Utah, USA
- MEGEP (2005)** *Temel Kaynak 2*, Mesleki Eğitim ve  ğretim Sisteminin Güçlendirme Projesi, TC Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara,
- MEGEP (2006)** *Metal Teknolojisi, Tozaltı Kaynağı*, Mesleki Eğitim ve  ğretim Sisteminin Güçlendirme Projesi, TC Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 26 s.
- MEGEP (2007)** *Metal Teknolojisi, Tahribatlı Muayenei*, Mesleki Eğitim ve  ğretim Sisteminin Güçlendirme Projesi, TC Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 40 s.
- Mitchell W H and Sawyer L A (1990)** *The Empire Ships of World War II*, London, New York, Hamburg, Hong Kong: Lloyd's of London Press Ltd. 120 p.
- Mor M O (2001)** * eliklerin Ark Kaynağında  ntavlama Sıcaklığının ITAB Mikroyapısına ve Sertliğine Etkileri Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 102 s.
- Nadzam J (ed.) (2000)** *Gas Metal Arc Welding Guidelines*, Lincoln Elelctric, 96 p.
- Nandan R, Debroy T and Bhadeshia H K D H (2008)** Recent advances in friction-stir welidng – Process, weldment structure and properties, *Progress in Material Science* (53), p. 980-1023
- Nasser S N and Guo W G (2003)** Thermomechanical response of DH36 structural steel over a wide range of strain rates and temperatures, *Mechanics of Materials* (35), p. 1023-1047
- Nowacki J and Rybicki P (2005)** the influence of welding heat input on submerged arc welded duplex steel joints imperfections, *Journal of Materials Processing Technology* (164-165)i p. 1082-1088

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Oğuz B** (1989) *Malzeme Bilgisine Giriş*, Oerlikon yayını.
- Oğuz B** (1989) *Ark Kaynağı*, Oerlikon Yayını, 22 s.
- Oğuz B** (1991) *Kaynak Teknolojisi, Kaynak Hataları I-II-III*, Oerlikon yayını, 40 s.
- Oliveira F L G, Andrade M S and Cota AB** (2007) Kinetic of Austenite Formation During Continuous Heating in a Low Carbon Steel, *Material Characteristics*. (58), p. 256–261.
- Pellerin N, Zielinska S, Pelerin S, Valensi F, Musiol K, Izarra C, Briand F and Richard F** (2005) Experimental investigations of the arc MIG-MAG welding, *American Institute of Physics*, p. 80-87
- Padua G X, Silva R R, Siqueira M H S, Rebello J M A and Caloba L P** (2004) Classification of welding defects in radiographs using traversal profiles to the weld seam, *16th World Conference on Nondestructive Testing*, Canada, 8 p.
- Qin W** (1991) *Microstructure and toughness of welded A710*, Ph.D, Lehigh University, Department of Materials Science and Engineering, 142 p.
- Quimby B J and Ulrich G D** (1999) Fume formation rates in gas metal arc welding, *Welding Research Supplement*, April, p. 142-149
- Radaj D** (1992) *Heat Effect of Welding*, Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, p. 21
- Sabzevar M H, Haerian A and Zadeh H S H** (2008) A Stochastic Model for Austenite Phase Formation During Arc Welding of a Low Alloy Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 10 p.
- Sannomiya Y, Nishizaki H, Nagai J, Shiga C, Terashima H and Sekine T** (1985), *Properties of YP 36-kgf/mm² Class Hull Structural Steel Plates Produced by Accelerated Control Cooling Process*, Kawasaki Steel Technical Report, September (13), 10 p.
- Shi Y and Han Z** (2008) Effect of weld thermal cycle on microstructure and fracture toughness of simulated heat affected zone for a 800MPa grade high strength low alloy steel, *Journal of Materials Processing Technology* (207), p.30-39
- Shome M** (2007) Effect of Heat-Input on Austenite Grain Size in the Heat Affected Zone of HSLA-100 Steel, *Materials Science and Engineering* (445-446), p. 454-460
- Silva da R R, Siqueira M H S, Caloba L P and Rebello J M A** (2001) *Radiographics pattern recognition of welding defects using linear classifiers*, *Insight* (43).
- Smallman R E and Bishop R J** (1999) *Modern Physical Metallurgy and Material Engineering 6th ed.*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 438 p.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

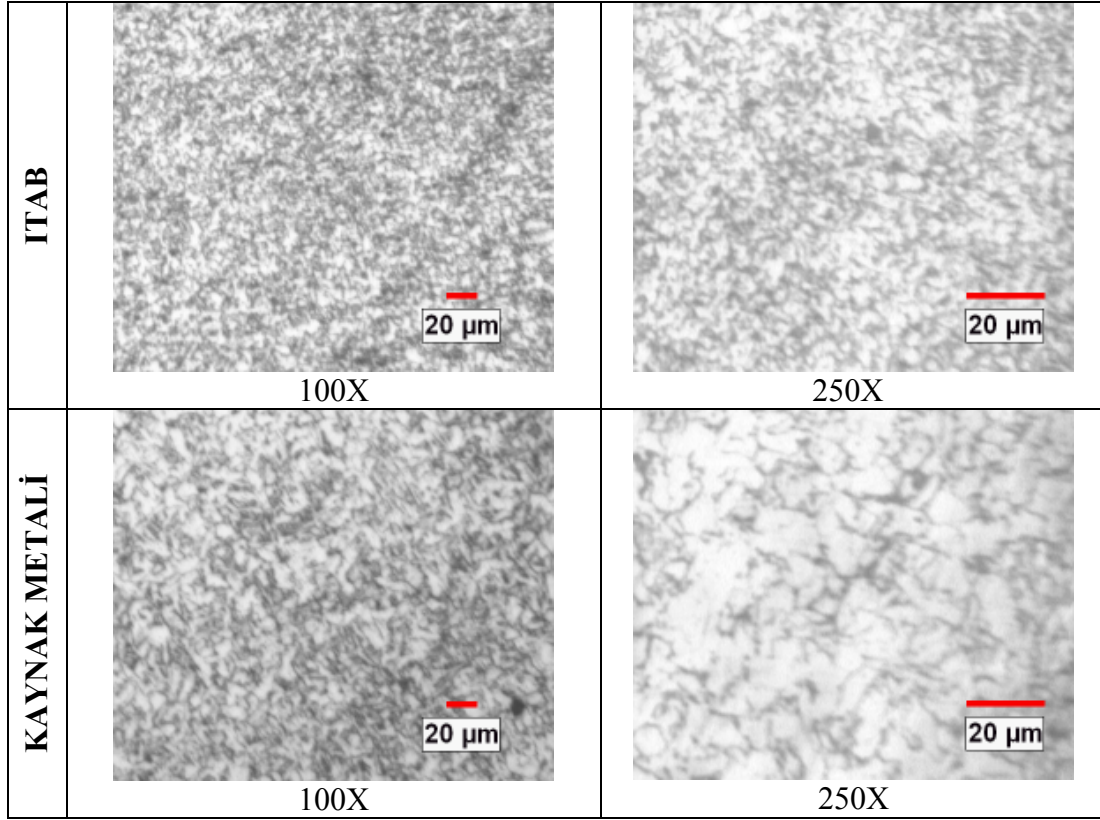
- Svensson L E** (1994) *Control of Microstructure and Properties in Steel Arc Welding*, CRC Press Inc, London
- Takacs J** (1999) Magnetism-A blow to welding, *Welding & Metal Fabrication*, p.1-4
- Tusek J, Rijar G and Rojc M** (2002) Discovering and preventing incomplete fusion, *The Fabricator*, March
- Tülbentçi K** (1990) MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, GEV Yayınları, İstanbul, 202 s.
- Tülbentçi K** (1988) *Tozaltı Kaynak Yönteminin stnlkleri ve Uygulama Alanları*, Kaynak Dünyası Dergisi, Gedik Holding A.S., İstanbul, Ocak 1988
- Türkloydu** (2008) *Bölüm 11 - Mekanik ve Teknolojik Testler*, TL, İstanbul, 7 s.
- URL-1** (2009) http://www.gupilya.freesevers.com/main_dosyalar/Page1039.htm, 02.11.2009
- URL-2** (2009) <http://www.nuveforum.net/attachments/25886d1241774998kaynak> 02.11.2009
- URL-3** (2009) http://www.arctech.com.tr/bazik_elektrod.htm, 04.11.2009
- URL-4** (2009) http://www.arctech.com.tr/selulozik_elektrod.htm, 07.11.2009
- URL-5** (2009) <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations/RadiographInterp.htm>, 22.11.2009
- URL-6** (2009) www.twi.co.uk/content/jk48.html, 10.12.2009
- URL-7** (2009) http://www.esabna.com/EUWeb/MIG_handbook/592mig7_17.htm, ESAB, MIG Welding Handbook, 17.11.2009
- URL-8** (2009) temagem.sdu.edu.tr/doc/insaat, TEMAGEM, lme ve Kontrol Sistemi P1, SD, 25.12.2009
- URL-9** (2009) teknolojikarastirmalar.com/meekanikdeneyler/sertlikolcme.htm, 01.12.2009
- URL-10** (2008) Sapp M E, *Welding Timeline 1900-1950*, WeldingHistory.org, http://www.weldinghistory.org/whistoryfolder/welding/wh_1900/1950.html, 05.12.2009
- URL-11** (2009) ASTM E 384 Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials, <http://www.wmtr.com/Content/ASTME384.htm>, 22.12.2009
- URL-12** (2009) <http://www.bakersgas.com/types-of-welds-welding-positions.html>, 22.12.2009
- n H** (2007) Malzeme Bilgisi Ders Notları (yayımlanmamış), PA

KAYNAKLAR (devam ediyor)

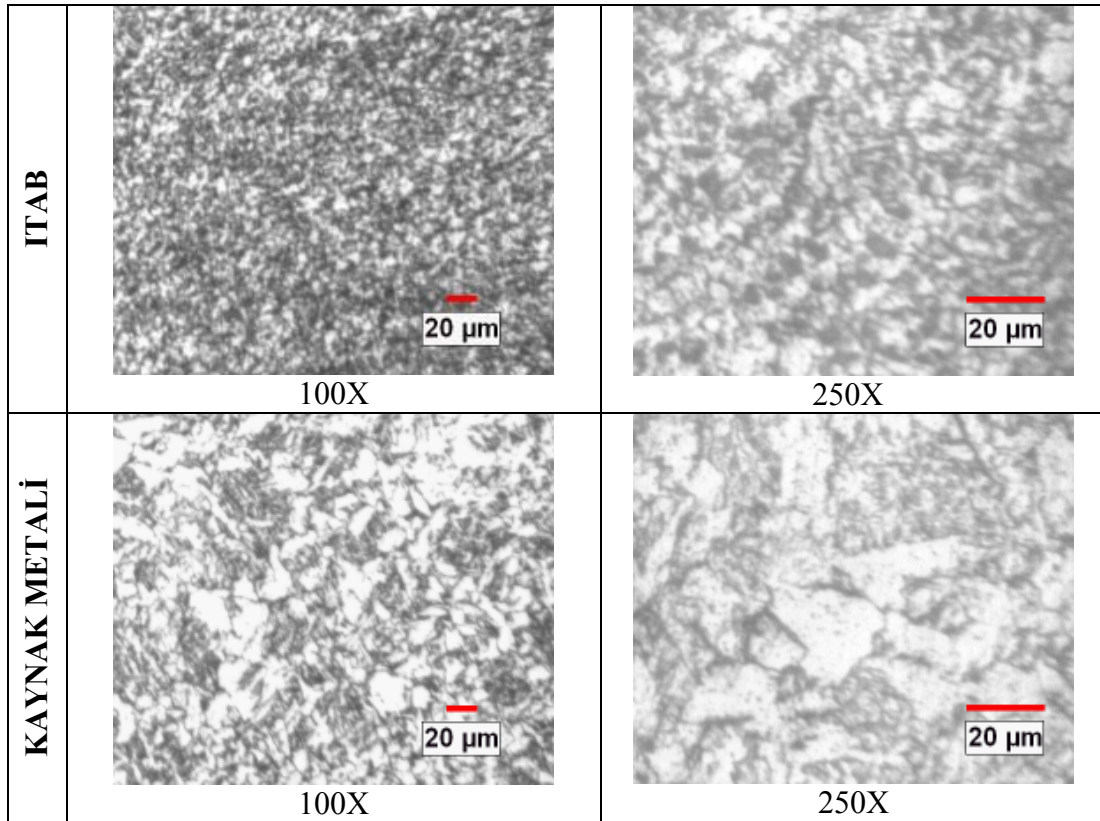
- Vural M** (2007) Kaynak ve Birleştirme Teknolojisi, İmal Usulleri Ders Notları yayımlanmamış).
- Vural M, Piroğlu F, Çağlayan Ö B ve Uzgider E** (2003) Yapı Çeliklerin Kaynaklanabilirliği, Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH) 426(4),İstanbul
- Weman K** (2003) *Welding Process Handbook*, Woodhead, Cambridge, 189 p.
- Xue Z, Pontin M G, Zok F W and Hutchinson J W** (2009) Calibration procedures for a computational model of ductile fracture, *Engineering Fracture Mechanics*, 18 p.
- Zielinski A and Domzalicki P** (2003) Hydrogen Degradation og High-Strenght Low-Alloyed Steels, *Journal of Materials Processing Technology* (133), p. 230-235

EK AÇIKLAMALAR A

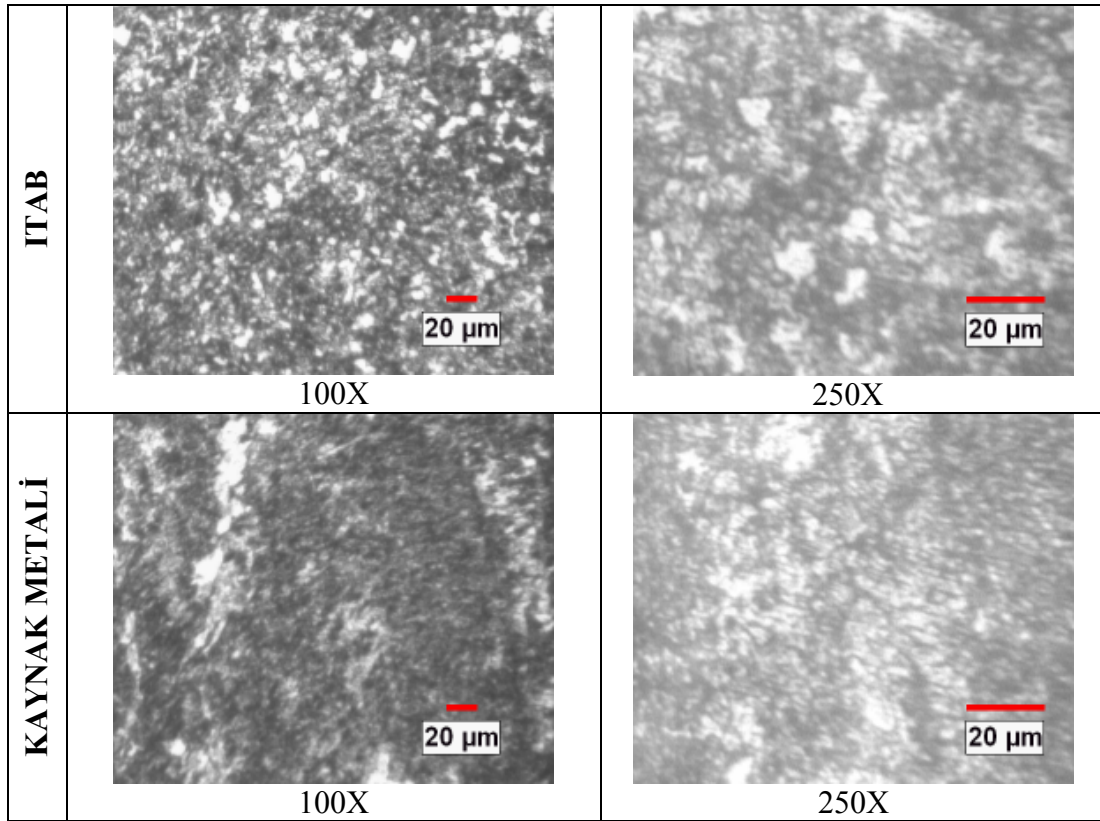
NUMUNELERİN İTAB VE KAYNAKLI BÖLGELERİNİN MİKROYAPI
GÖRÜNTÜLERİ



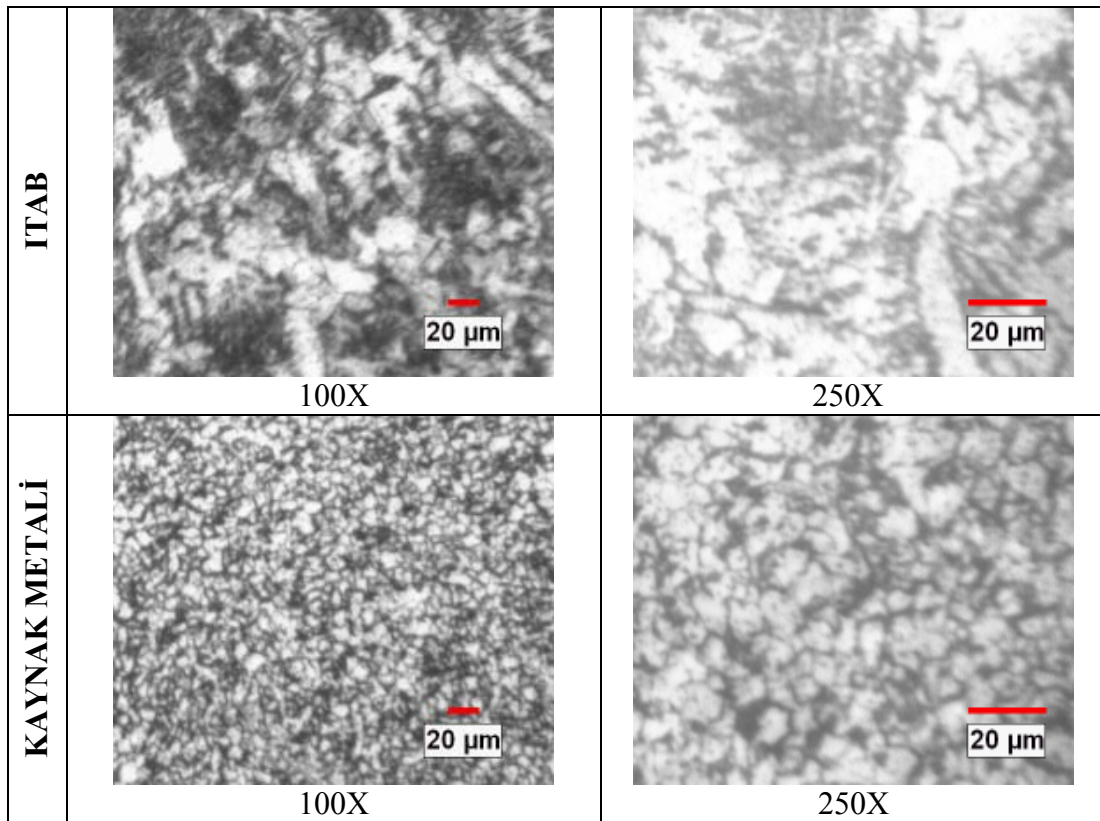
Şekil A.1 9 Nolu numunenin (DH36 2G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



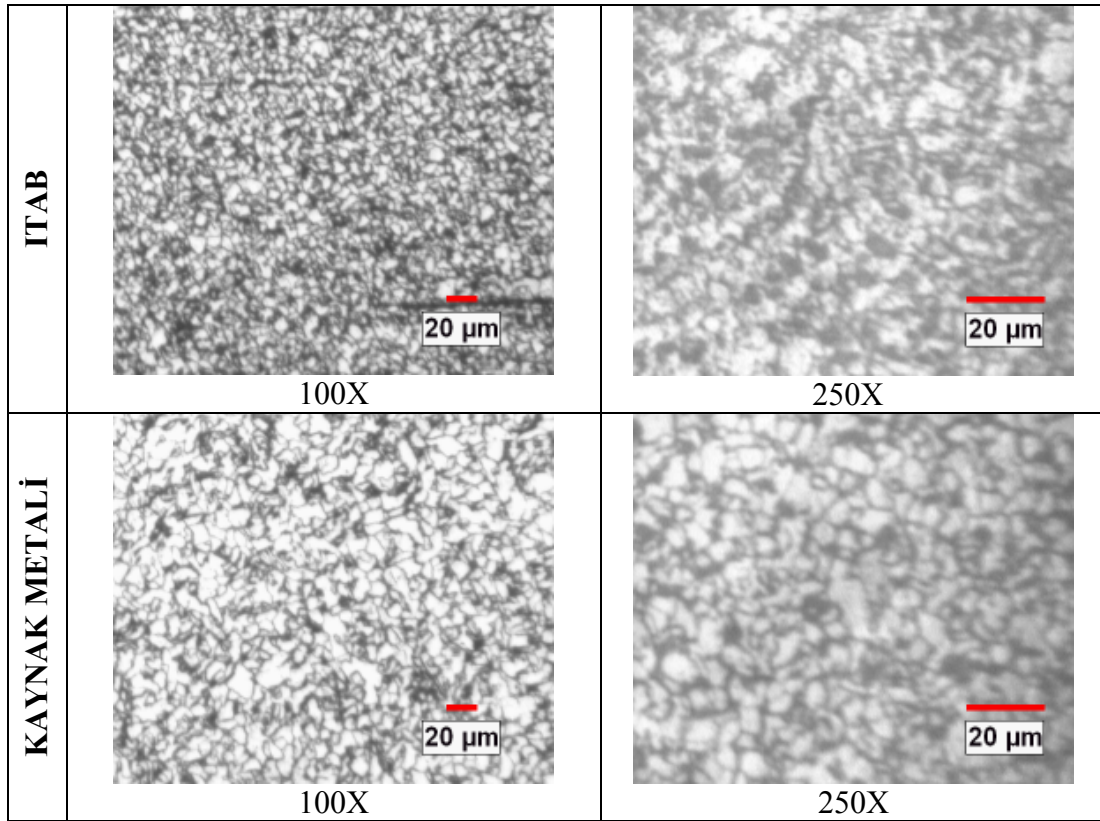
Şekil A.2 10 Nolu numunenin (DH36 2G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



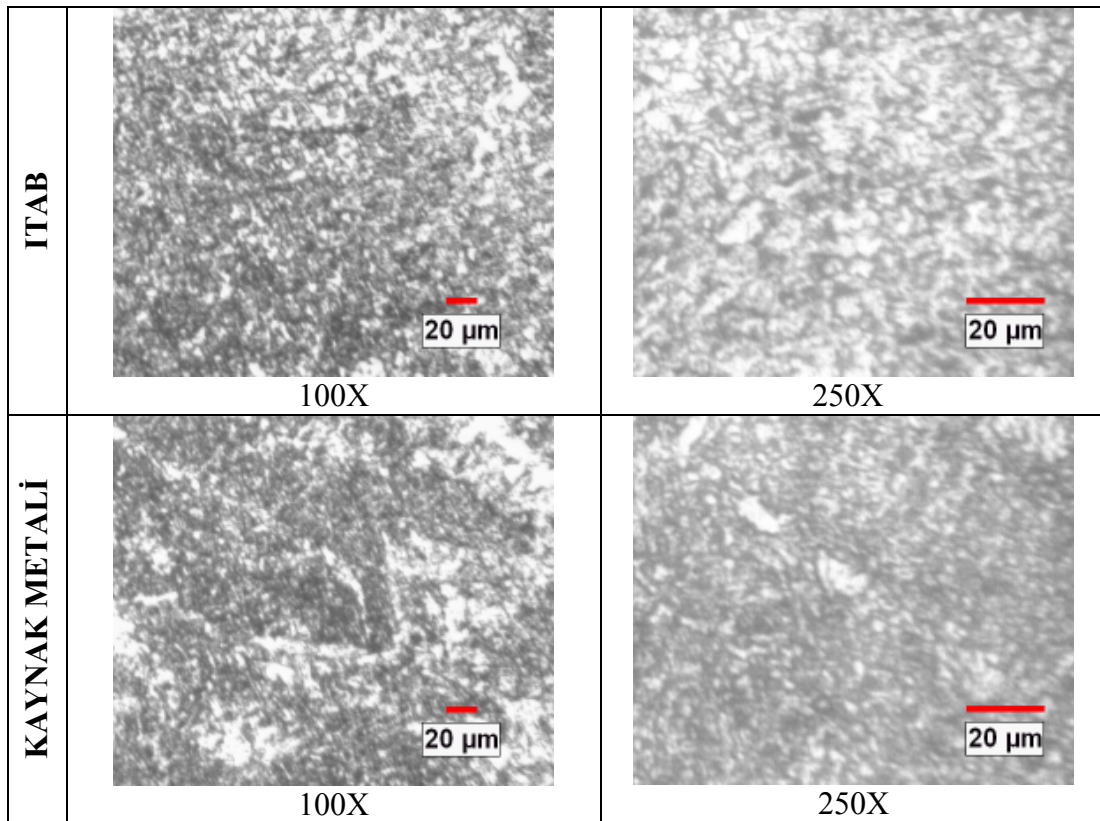
Şekil A.3 11 Nolu numunenin (DH36 2G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



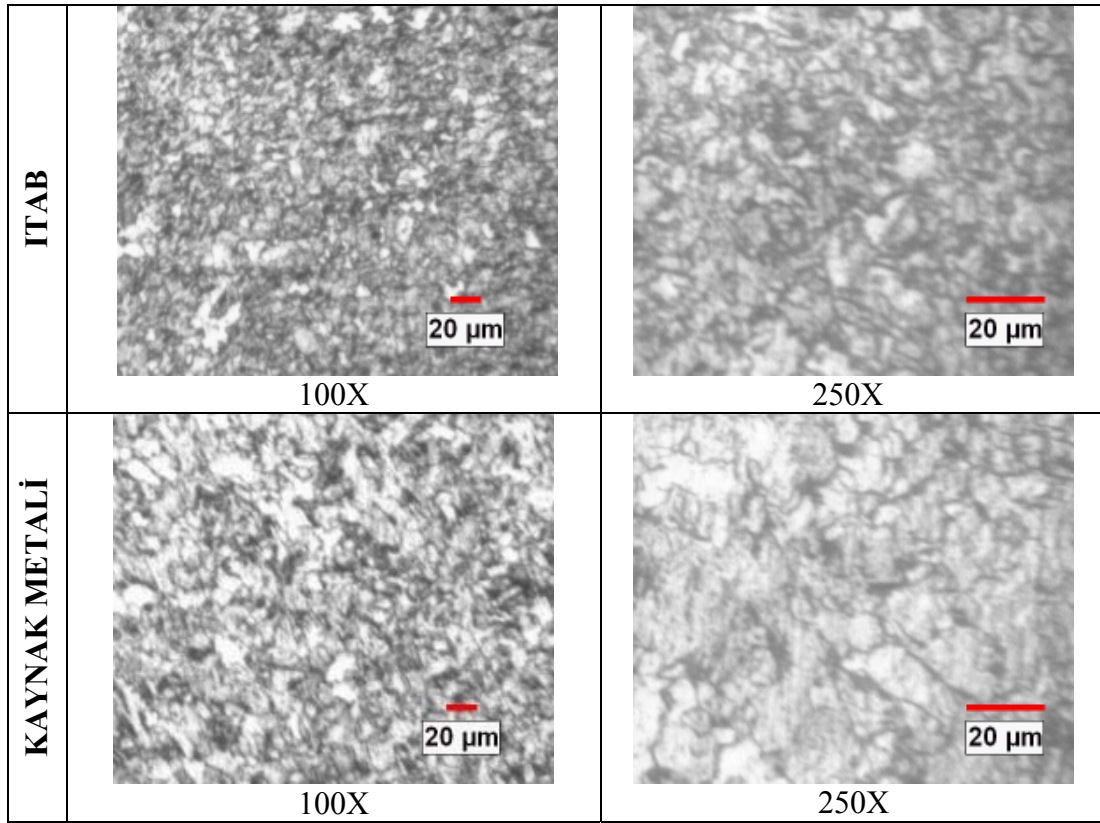
Şekil A.4 12 Nolu numunenin (AH36 2G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



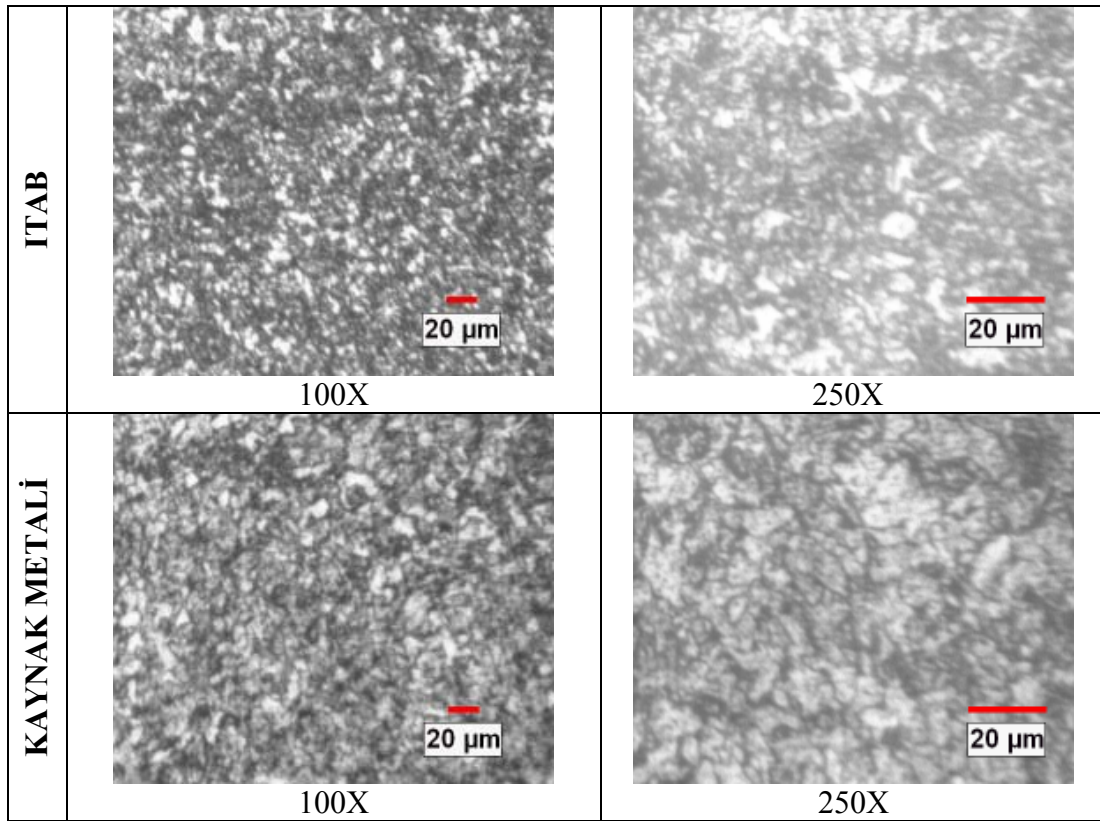
Şekil A.5 13 Nolu numunenin (AH36 2G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



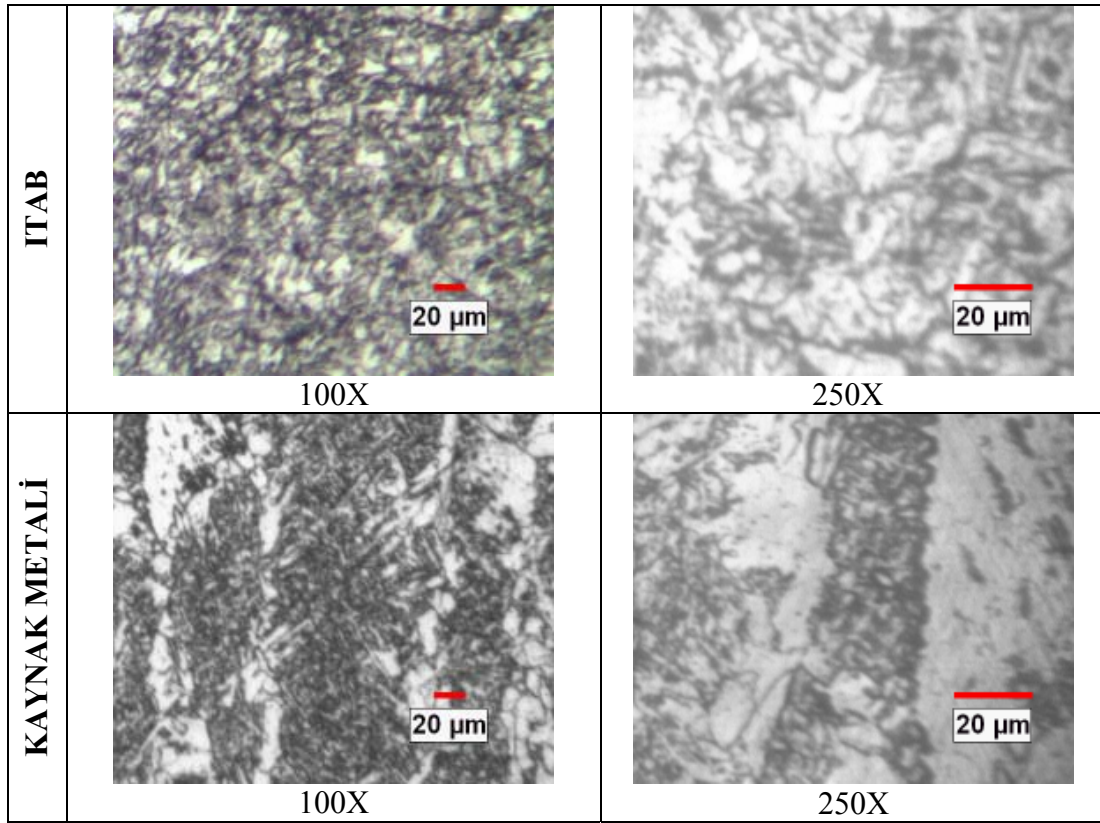
Şekil A.6 14 Nolu numunenin (AH36 2G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



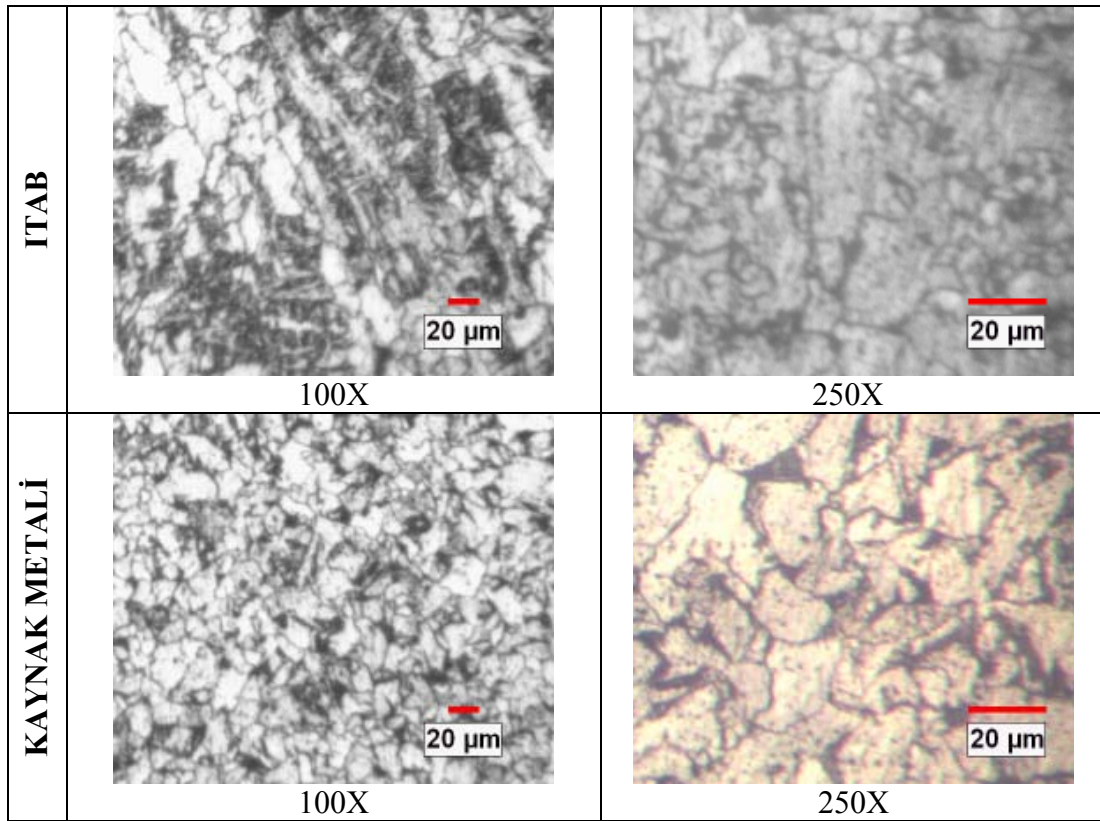
Şekil A.7 15 Nolu numunenin (DH36 3G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



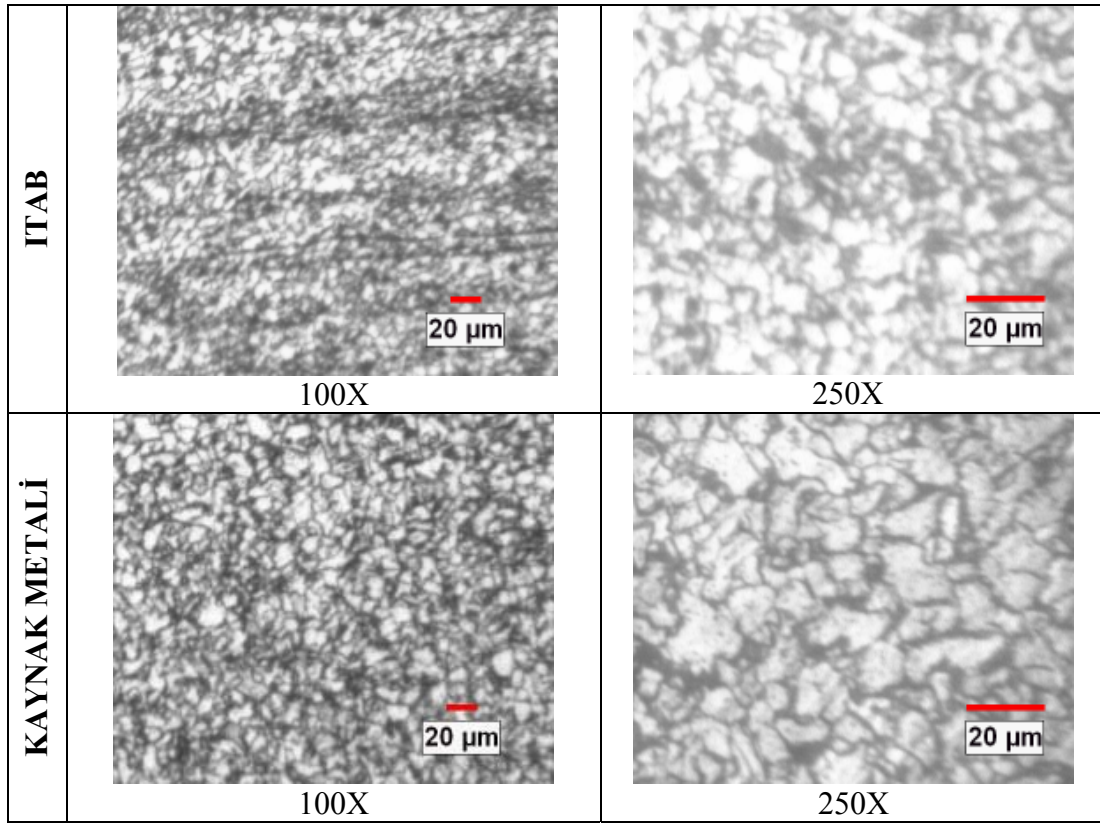
Şekil A.8 16 Nolu numunenin (DH36 3G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



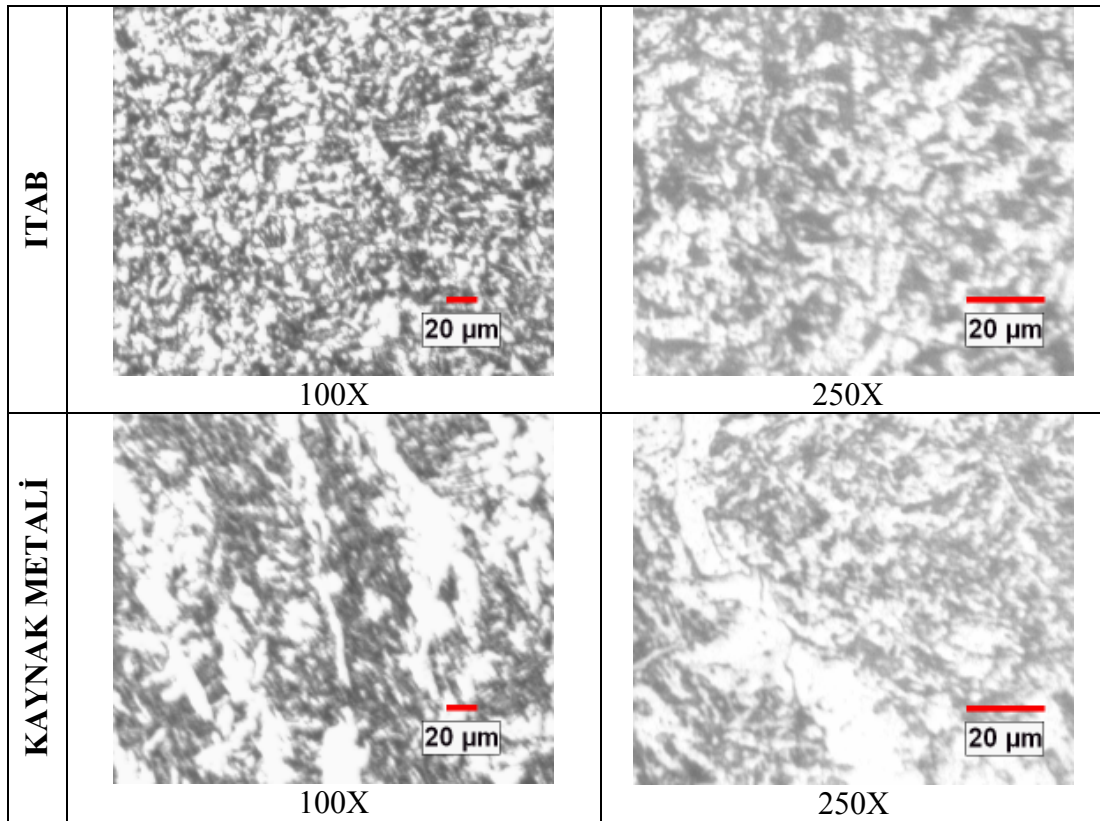
Şekil A.9 17 Nolu numunenin (DH36 3G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



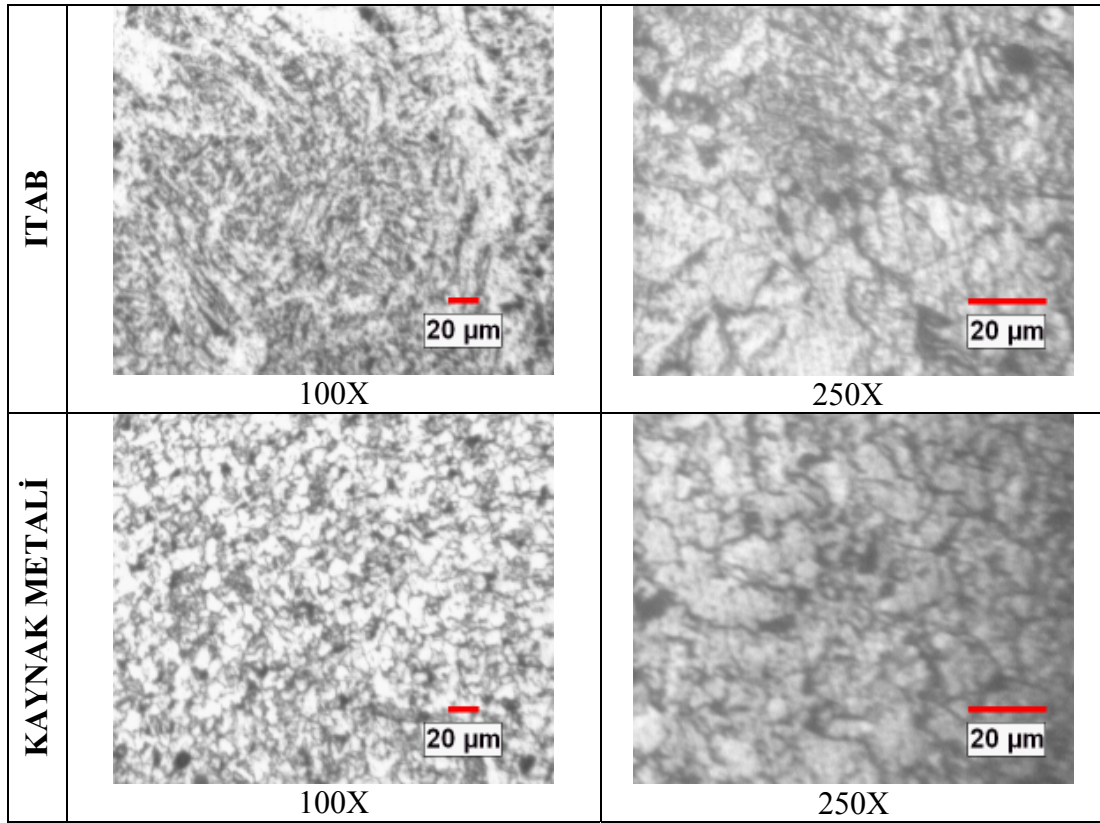
Şekil A.10 18 Nolu numunenin (AH36 2G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



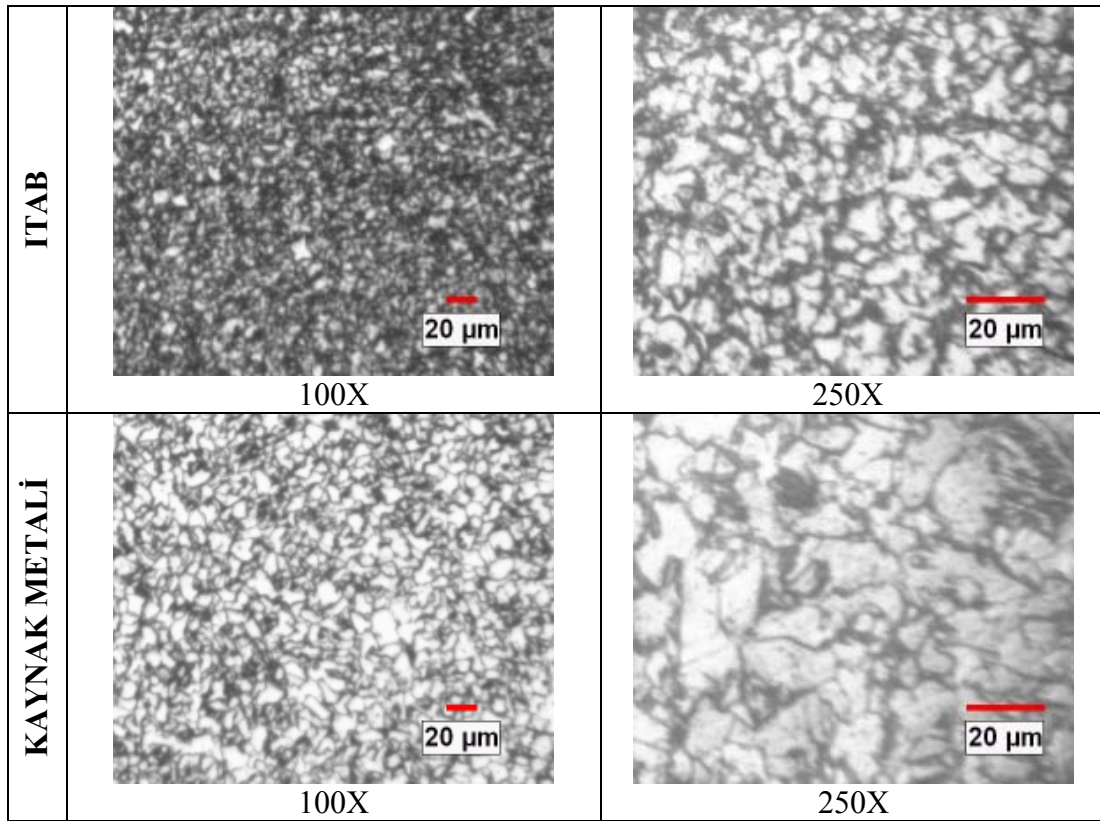
Şekil A.11 19 Nolu numunenin (AH36 3G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



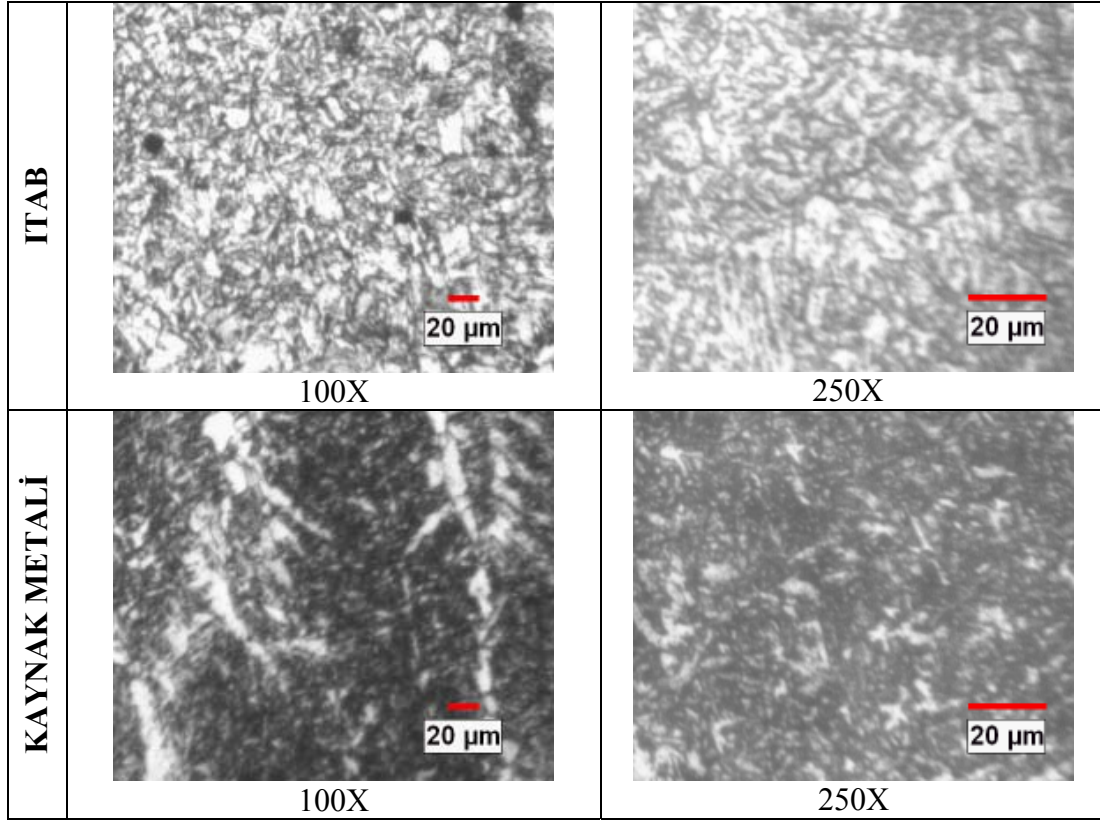
Şekil A.12 20 Nolu numunenin (AH36 3G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



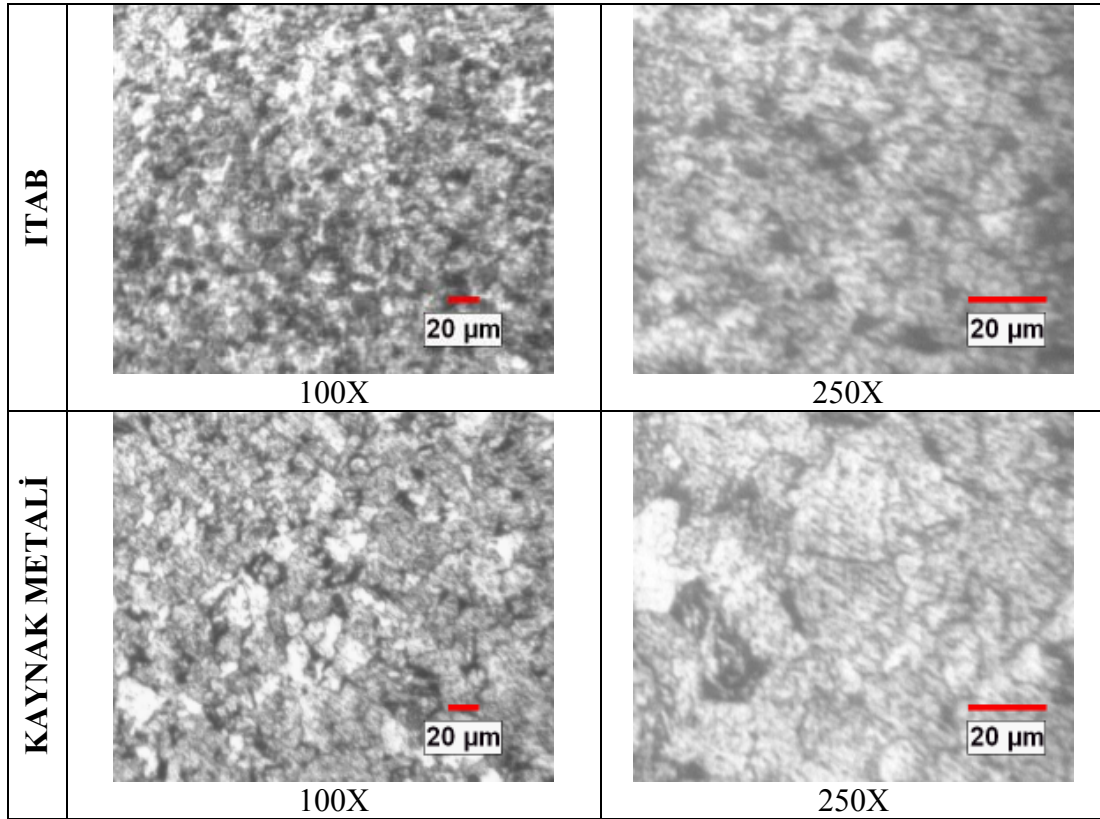
Şekil A.13 21 Nolu numunenin (DH36 4G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



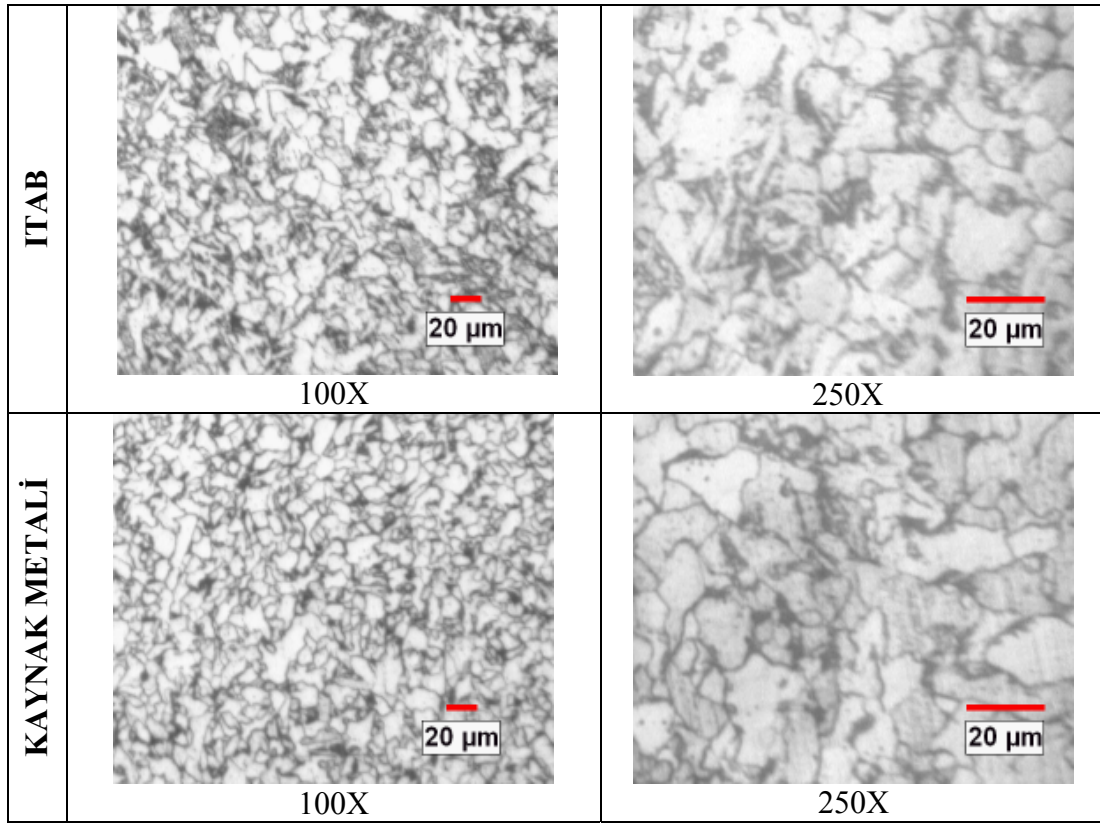
Şekil A.14 22 Nolu numunenin (DH36 4G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



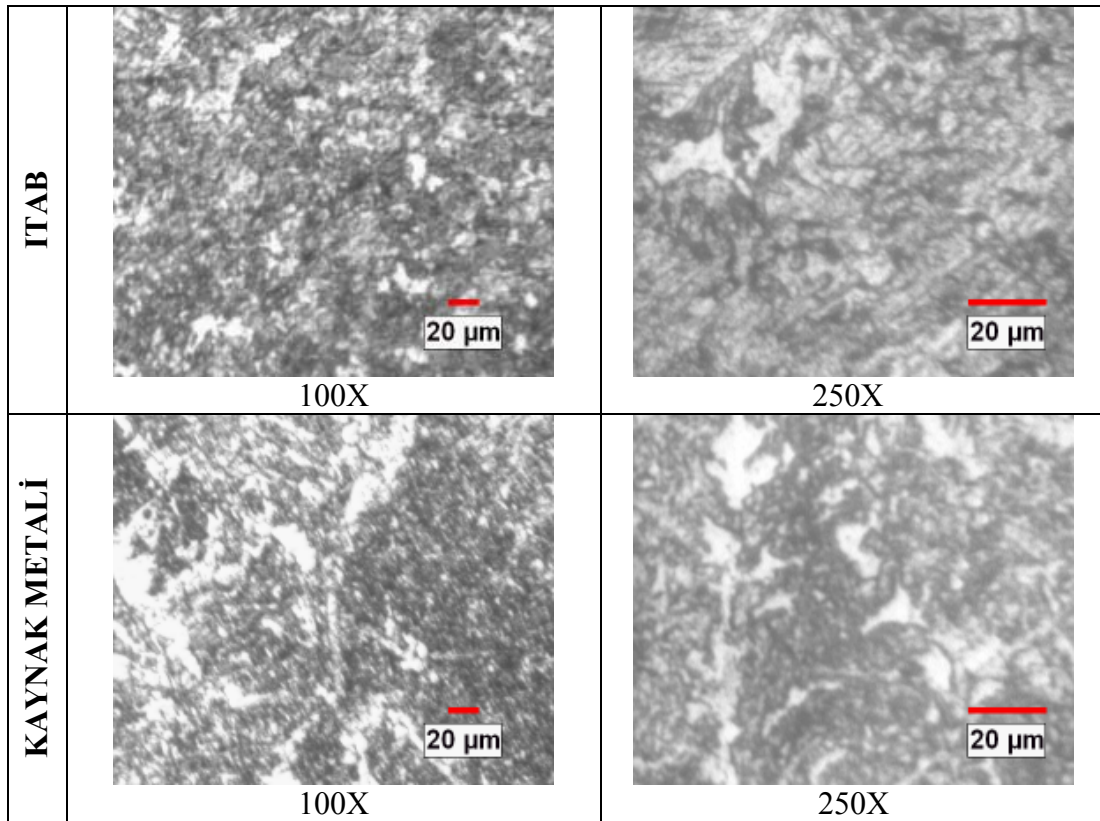
Şekil A.15 23 Nolu numunenin (DH36 4G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



Şekil A.16 24 Nolu numunenin (AH36 4G E R) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



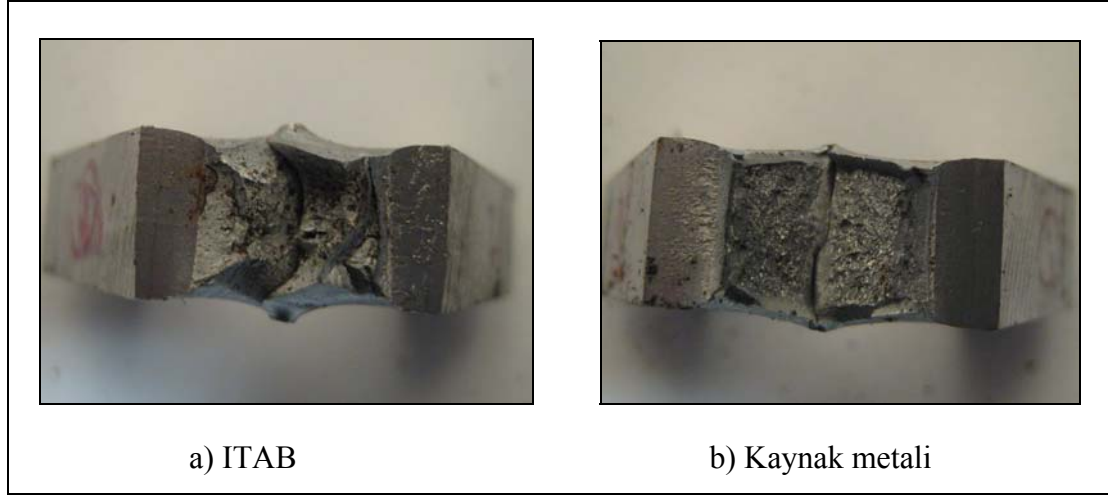
Şekil A.17 25 Nolu numunenin (DH36 4G E B) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.



Şekil A.18 26 Nolu numunenin (AH36 4G G) 100X ve 250X büyütmede ITAB ve kaynak metali mikroyapı görüntüleri.

EK AÇIKLAMALAR B

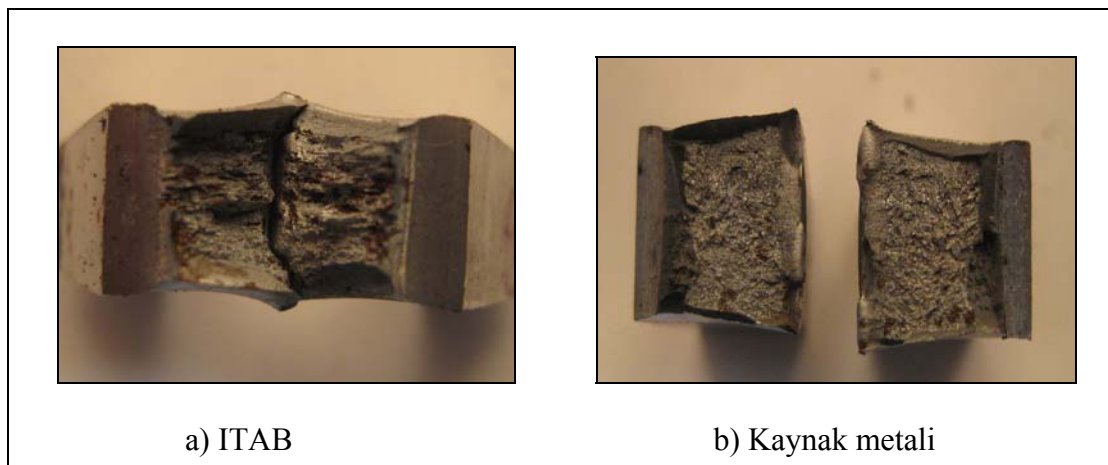
**ÇENTİK DARBE NUMUNELERİNİN İTAB VE KAYNAK BÖLGESİ KIRILMA
YÜZEYLERİ FOTOĞRAFLARI**



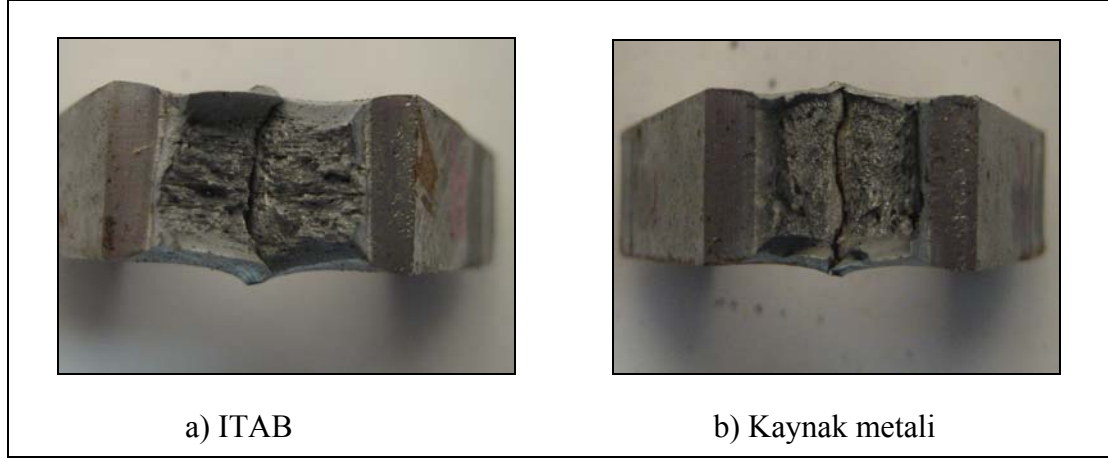
Şekil B.1 1 Nolu numune (DH36 1G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



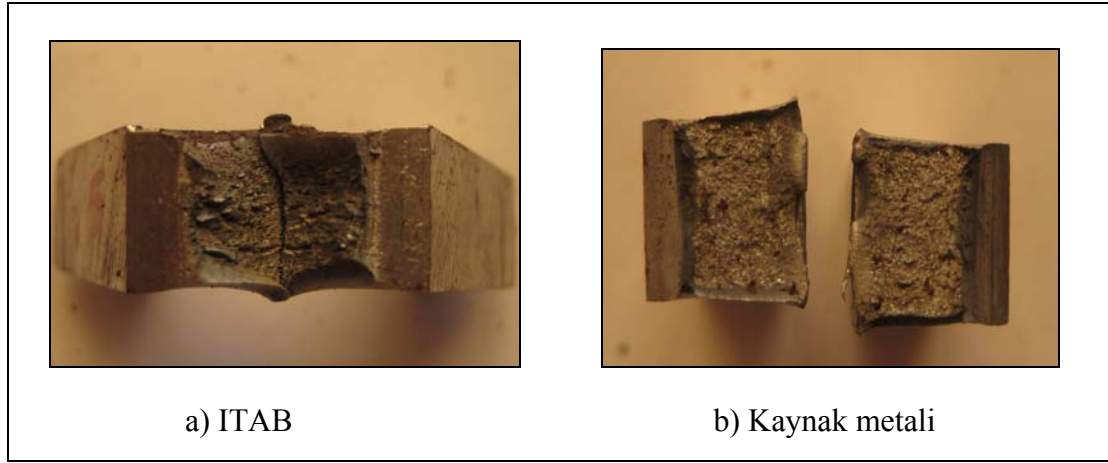
Şekil B.2 2 Nolu numune (DH36 1G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



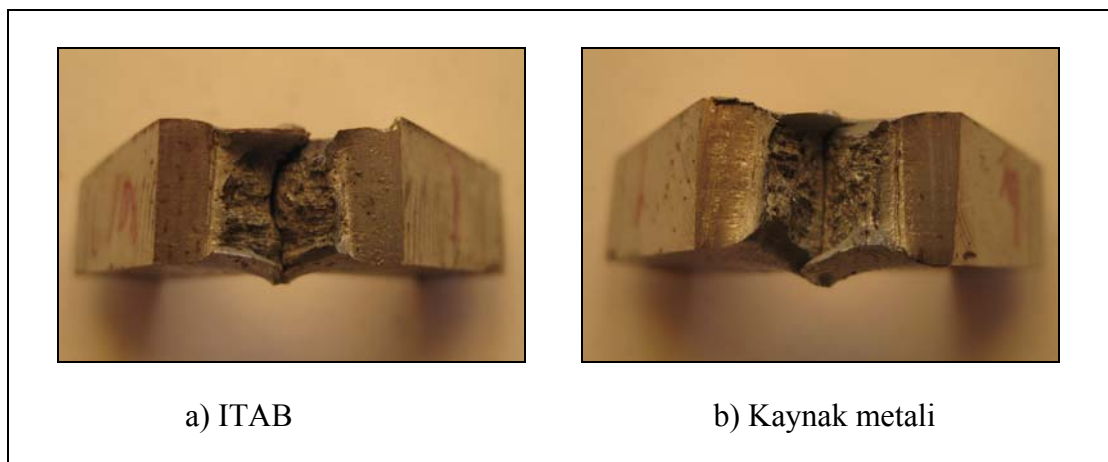
Şekil B.3 3 Nolu numune (DH36 1G T) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



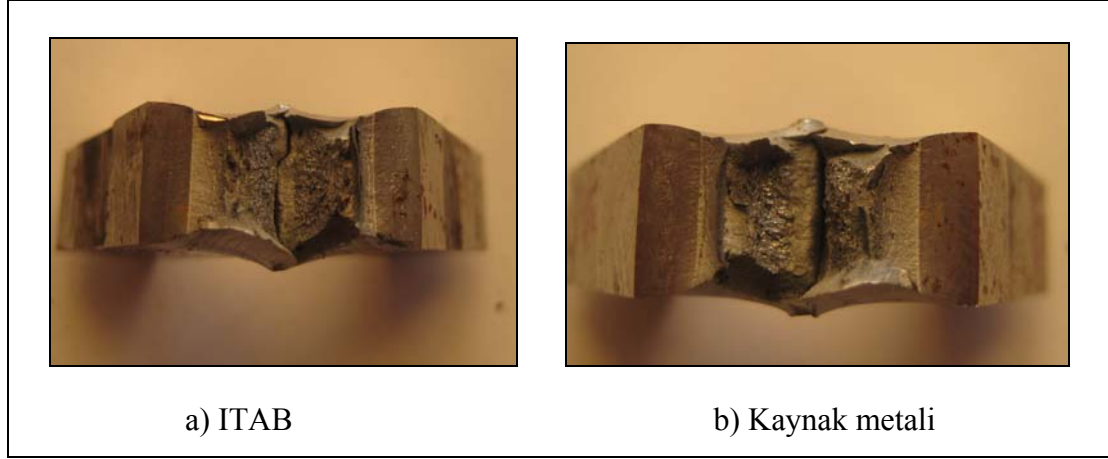
Şekil B.4 4 Nolu numune (DH36 1G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



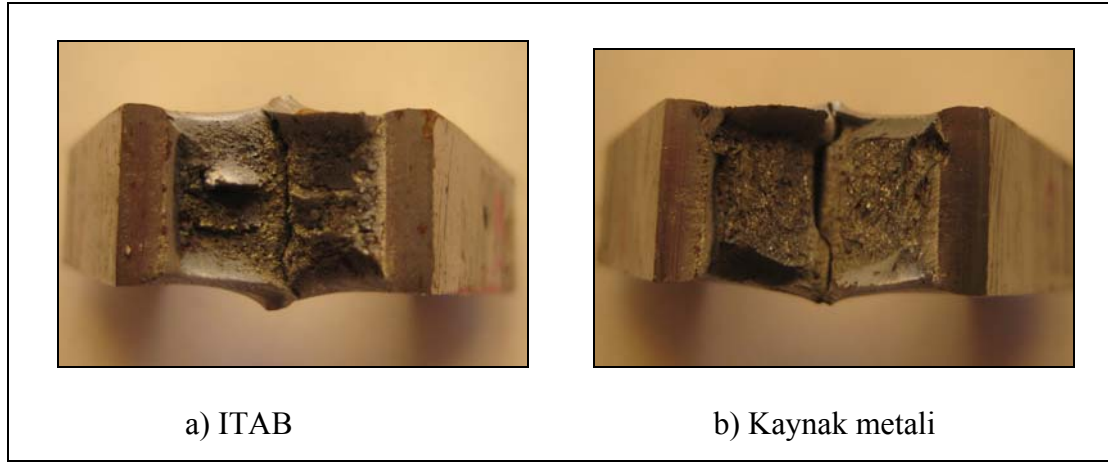
Şekil B.5 5 Nolu numune (AH36 1G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



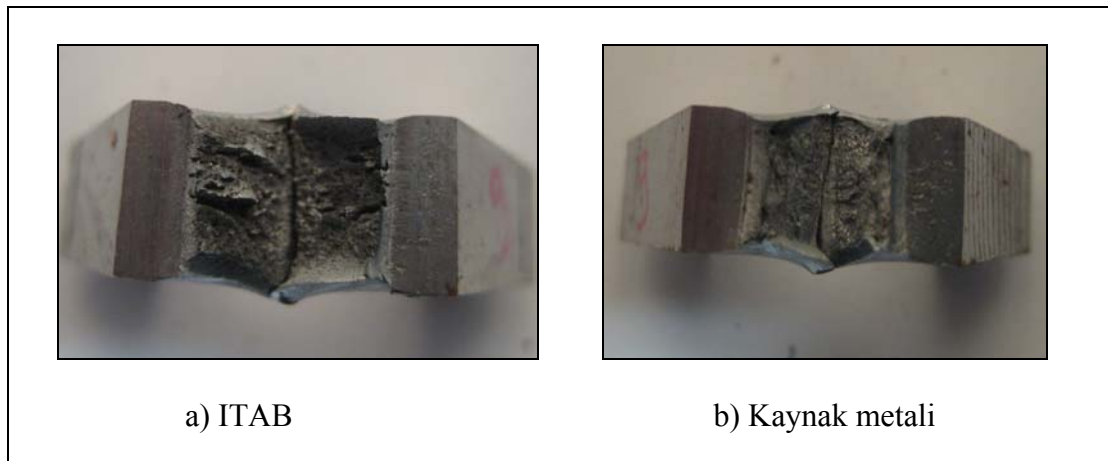
Şekil B.6 6 Nolu numune (AH36 1G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



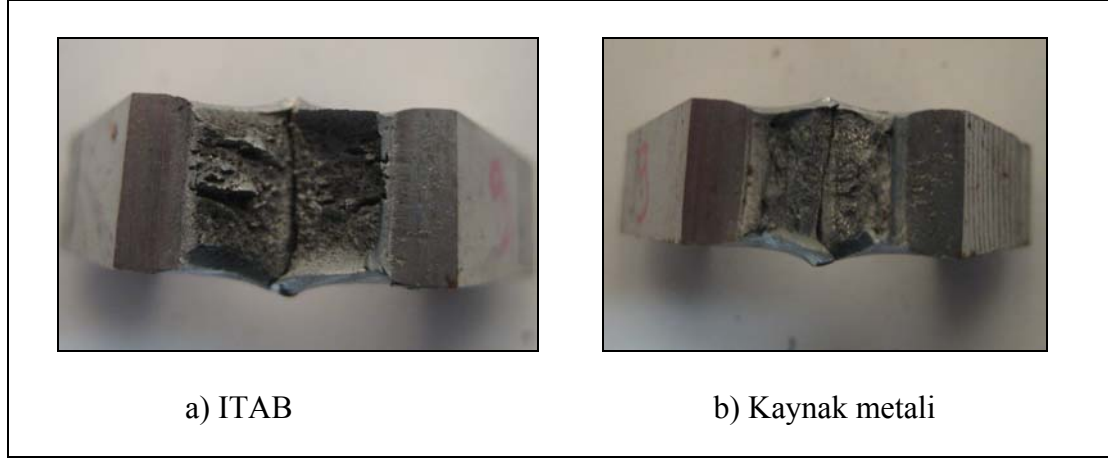
Şekil B.7 7 Nolu numune (AH36 1G T) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



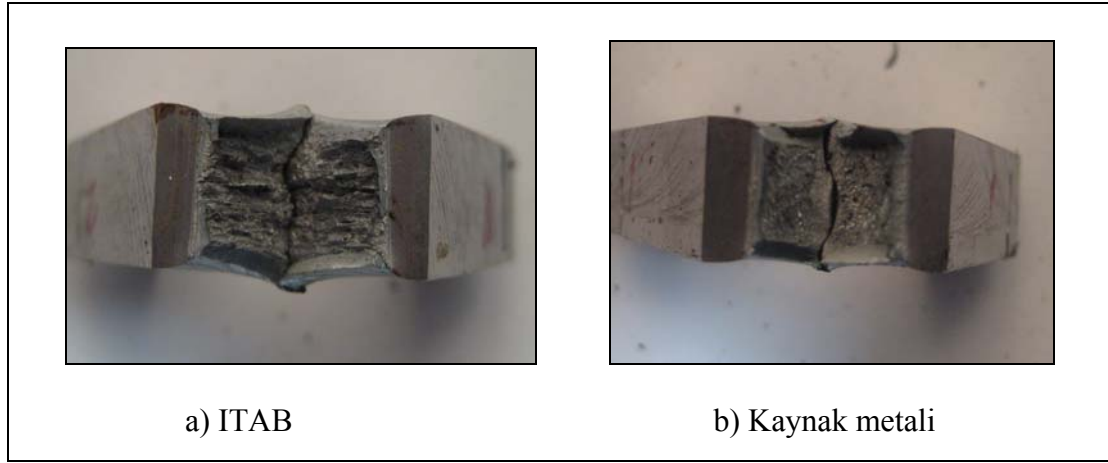
Şekil B.8 8 Nolu numune (AH36 1G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



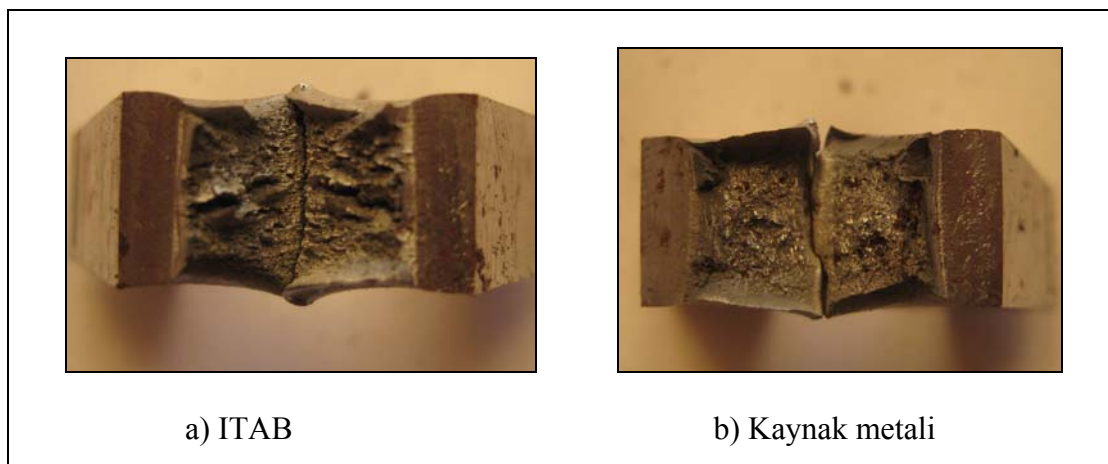
Şekil B.9 9 Nolu numune (DH36 2G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



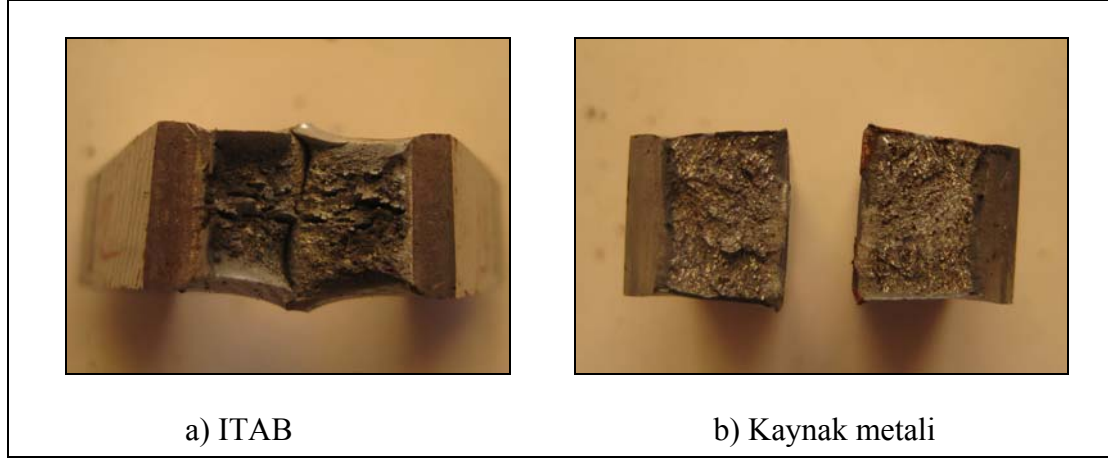
Şekil B.10 10 Nolu numune (DH36 2G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



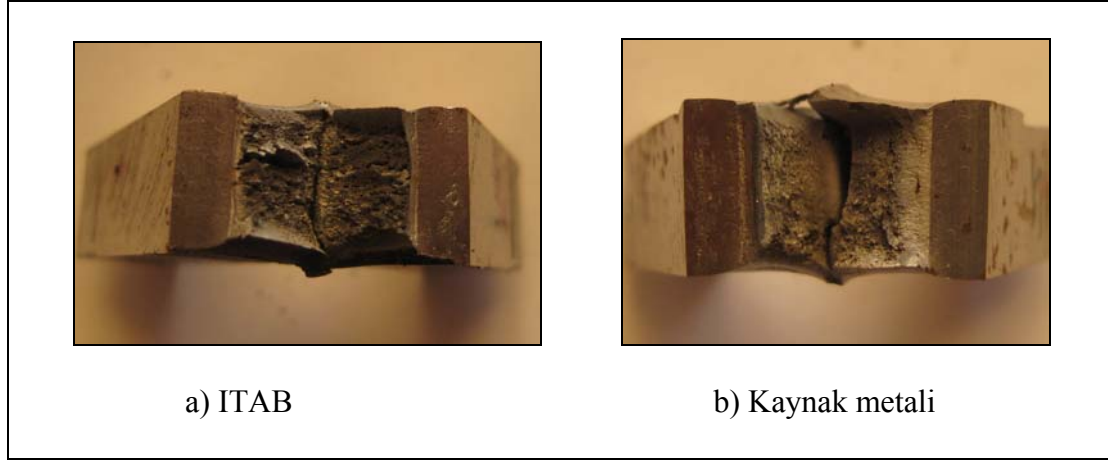
Şekil B.11 11 Nolu numune (DH36 2G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



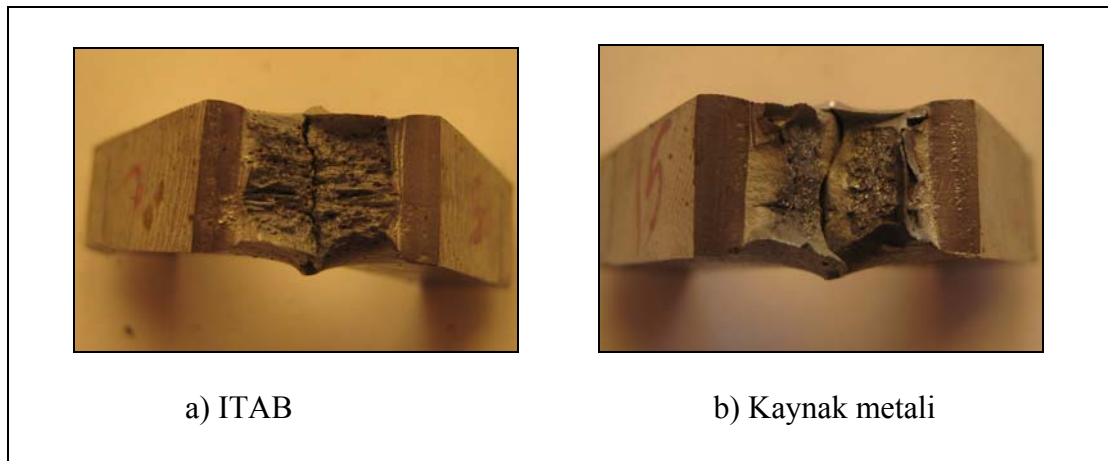
Şekil B.12 12 Nolu numune (AH36 2G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



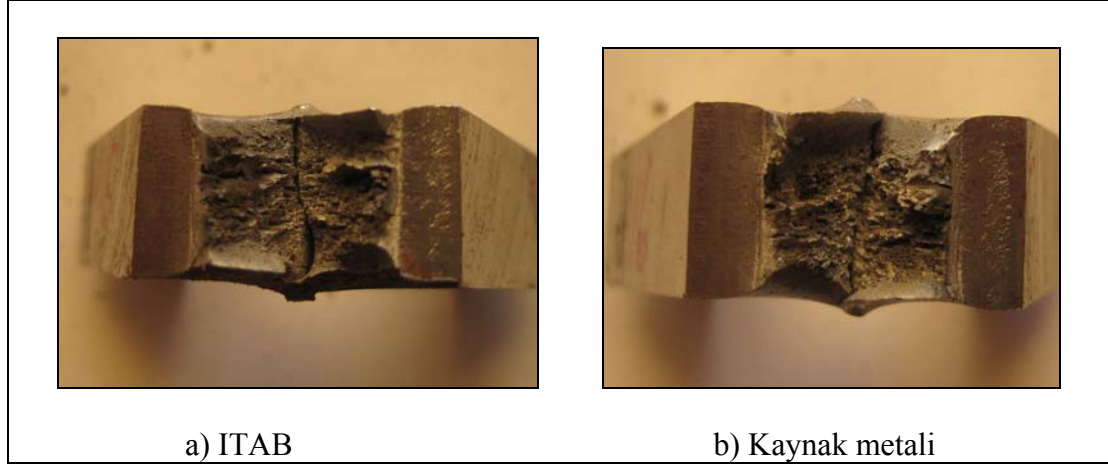
Şekil B.13 13 Nolu numune (AH36 2G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



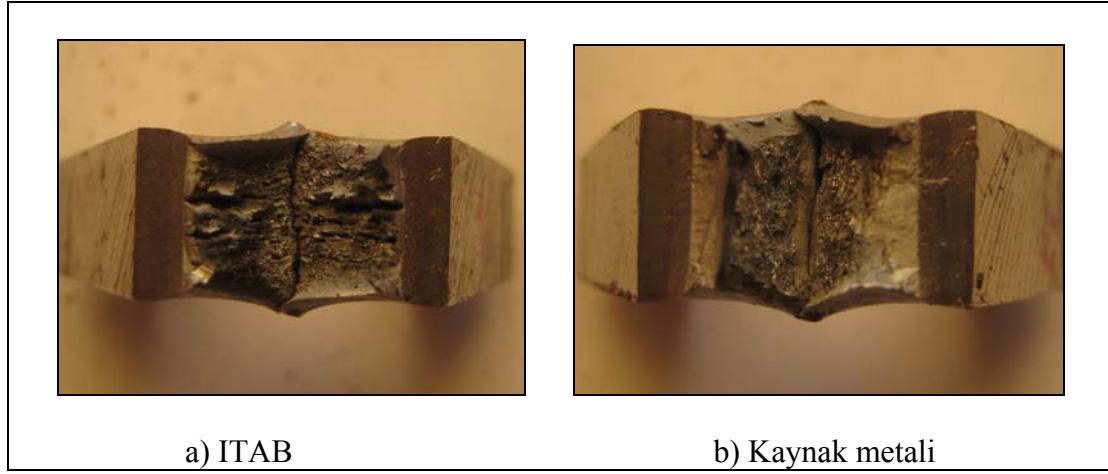
Şekil B.14 14 Nolu numune (AH36 2G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



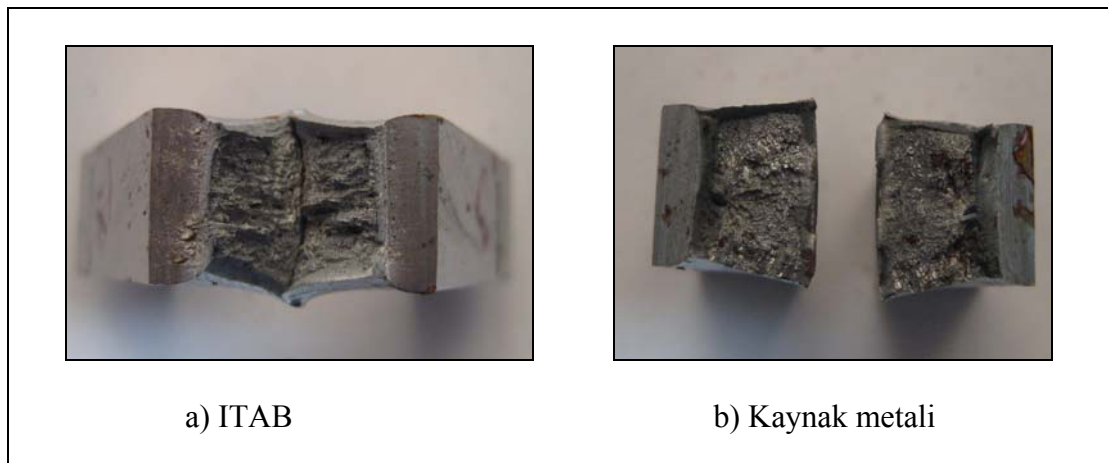
Şekil B.15 15 Nolu numune (DH36 3G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



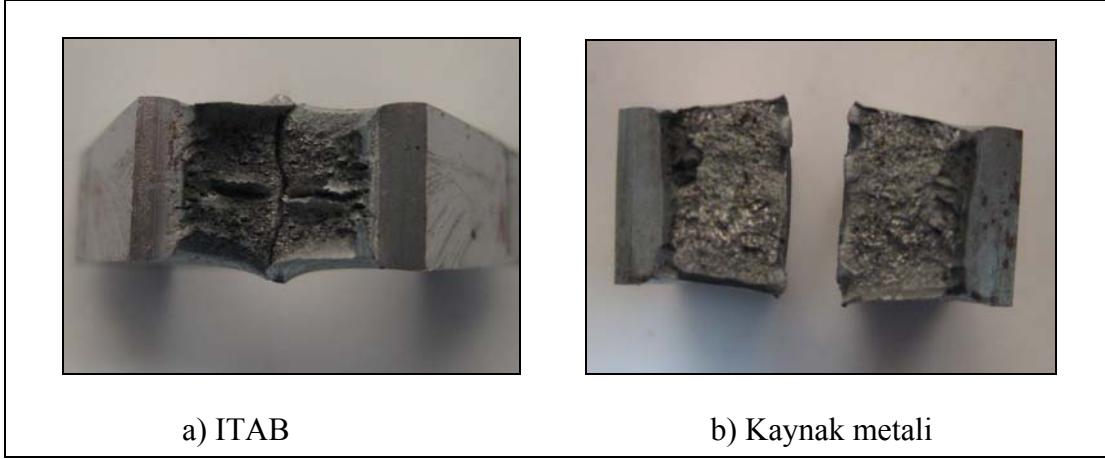
Şekil B.16 16 Nolu numune (DH36 3G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



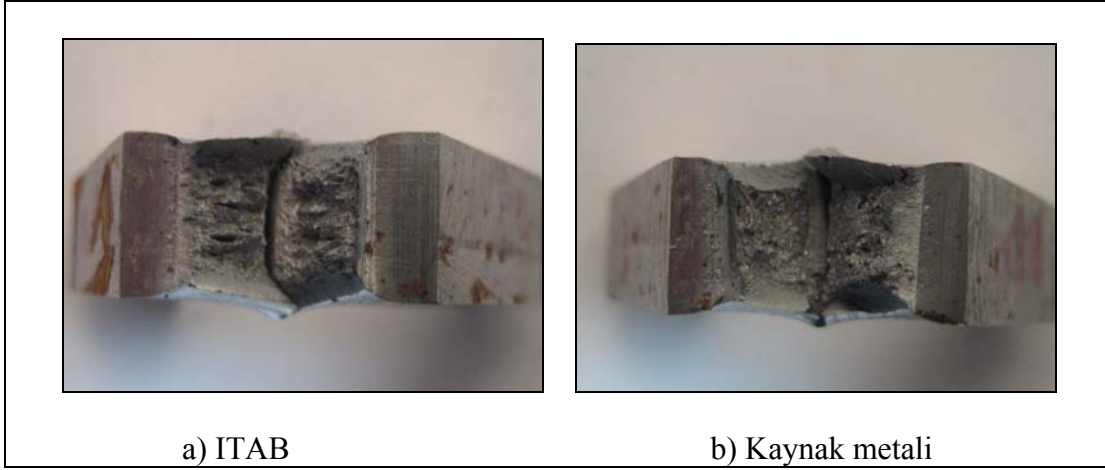
Şekil B.17 17 Nolu numune (DH36 3G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



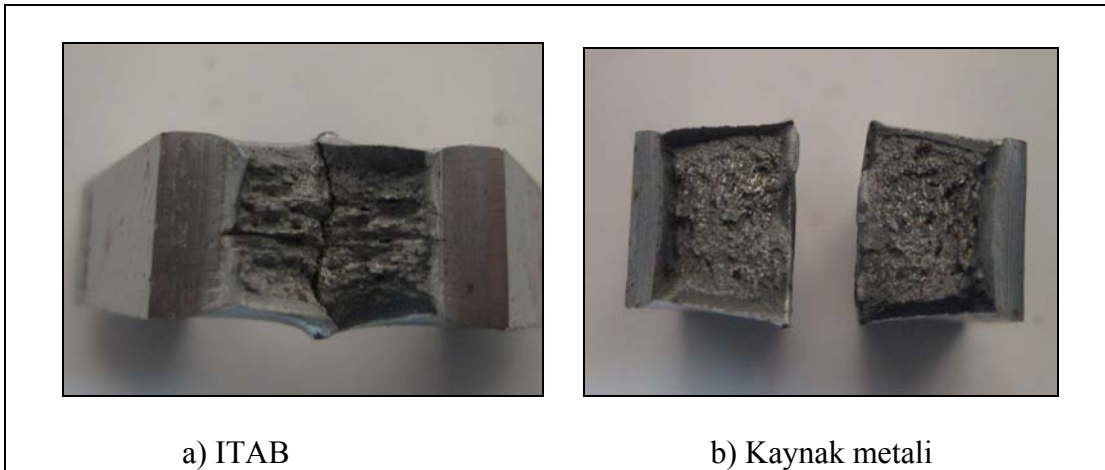
Şekil B.18 18 Nolu numune (DH36 3G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



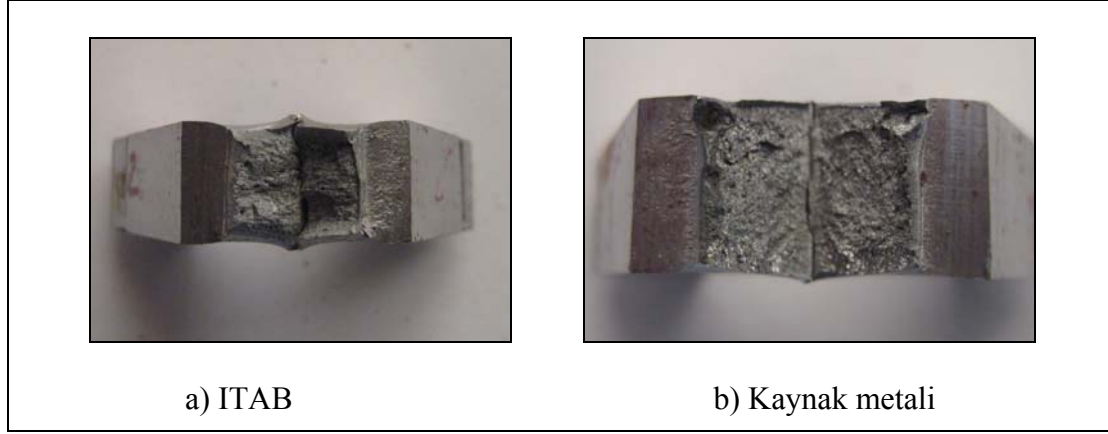
Şekil B.19 19 Nolu numune (DH36 3G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



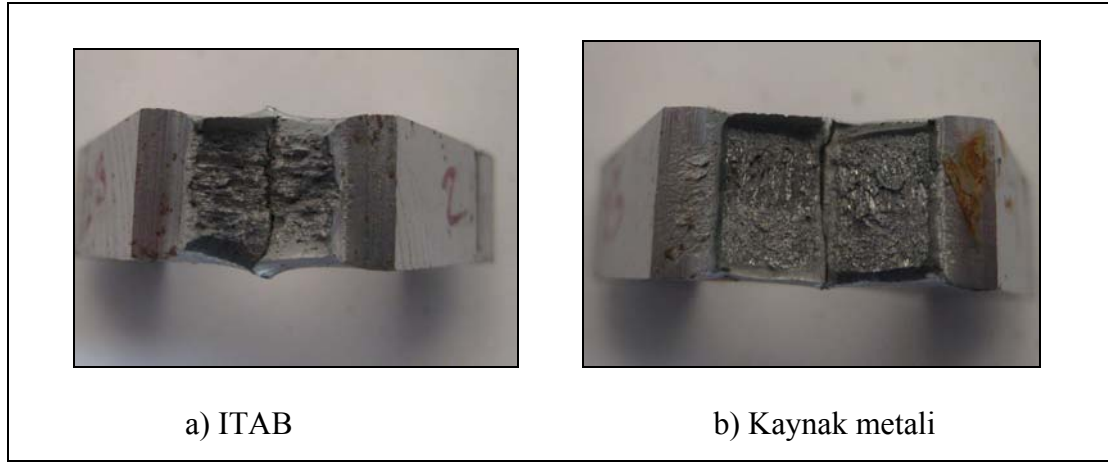
Şekil B.20 20 Nolu numune (DH36 3G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



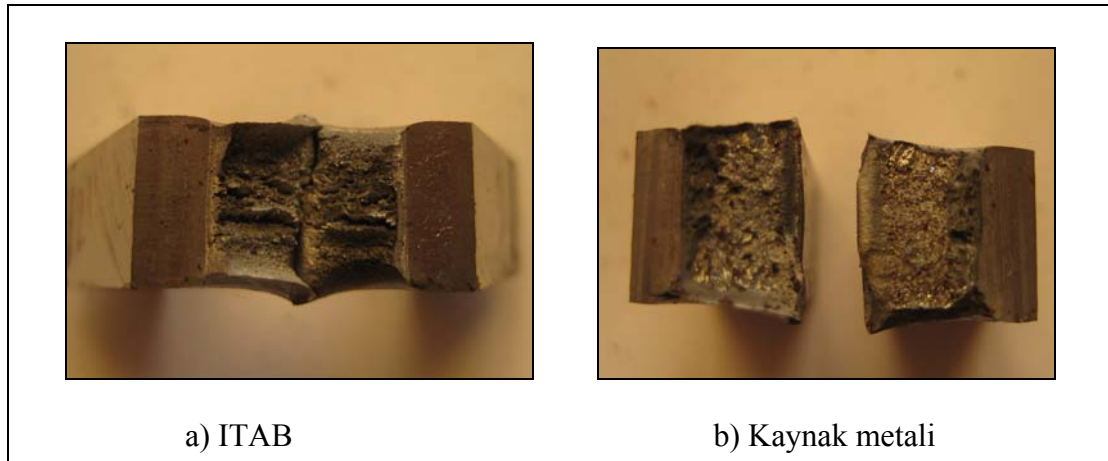
Şekil B.21 21 Nolu numune (DH36 4G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



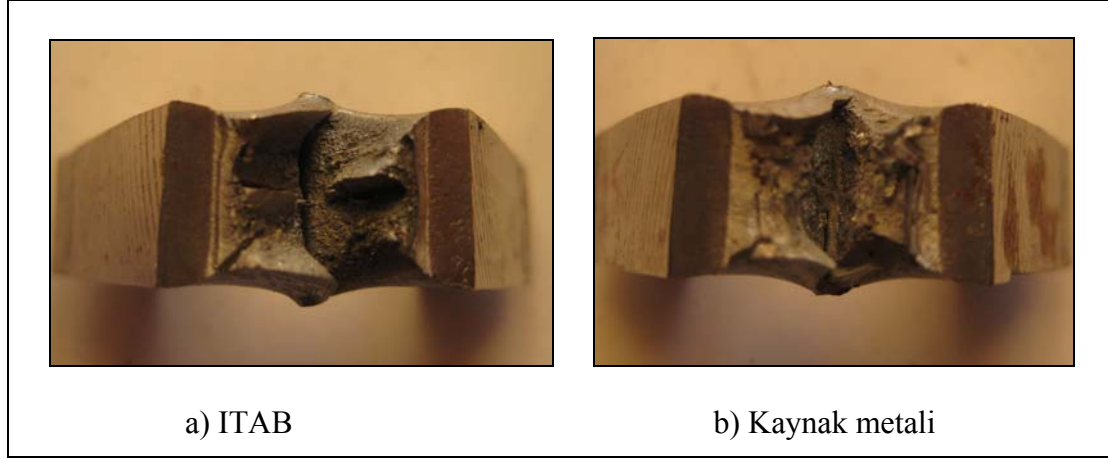
Şekil B.22 22 Nolu numune (DH36 4G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



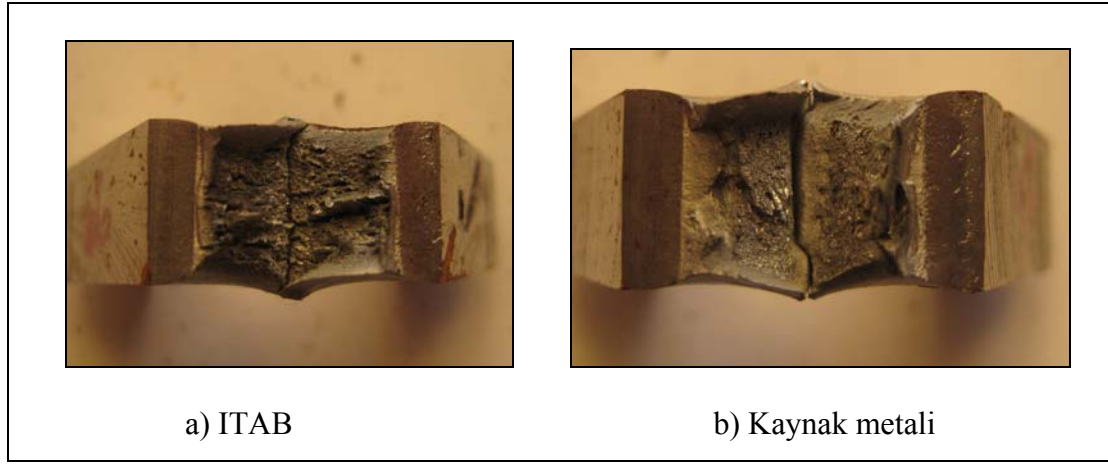
Şekil B.23 23 Nolu numune (DH36 4G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



Şekil B.24 24 Nolu numune (AH36 4G E R) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



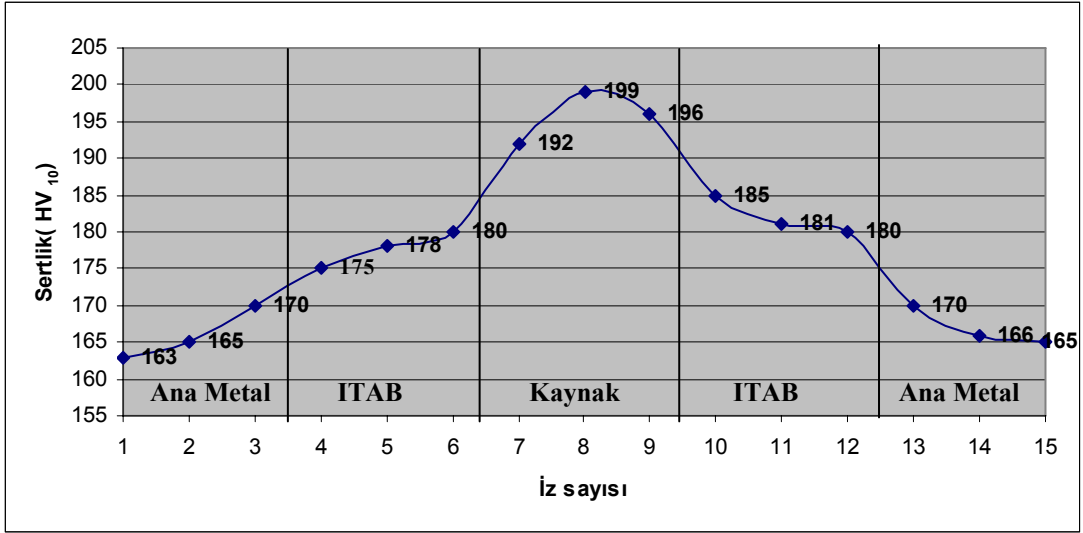
Şekil B.25 25 Nolu numune (AH36 4G E B) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.



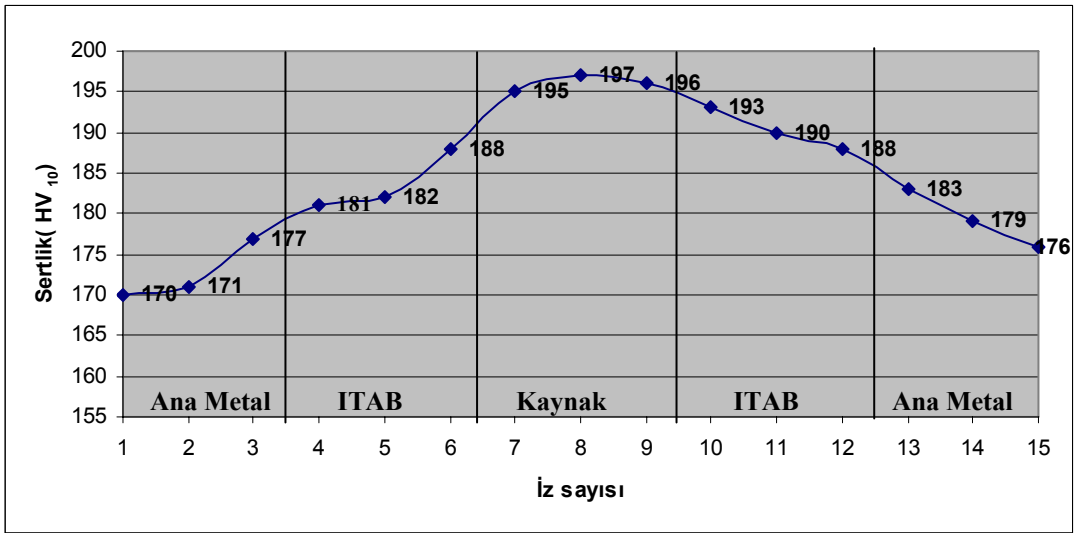
Şekil B.26 26 Nolu numune (AH36 4G G) ITAB ve kaynak metali kırılma yüzeyleri.

EK AÇIKLAMALAR C

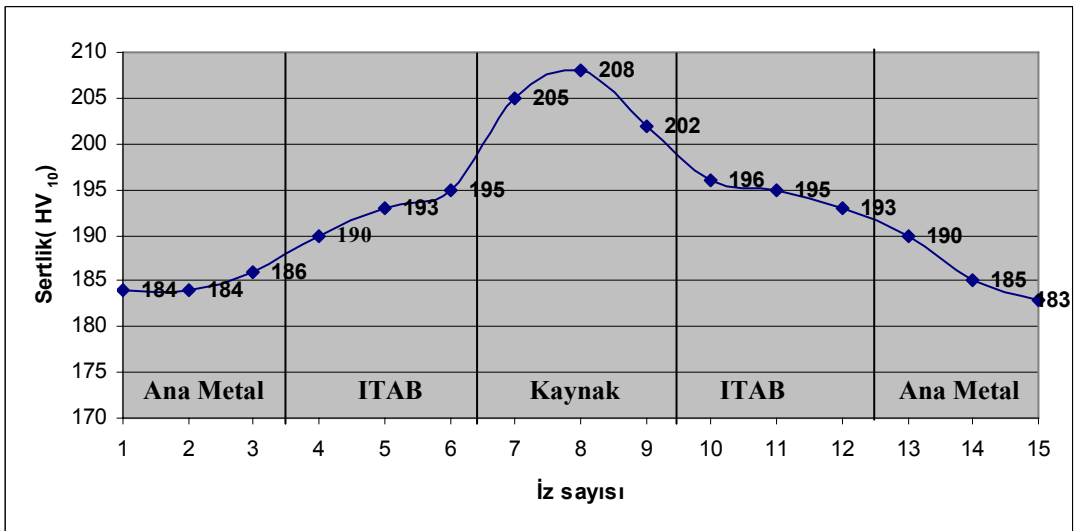
NUMUNELERİN ANAMETAL, ITAB VE KAYNAK METALİ MİKROSERTLİK GRAFİKLERİ



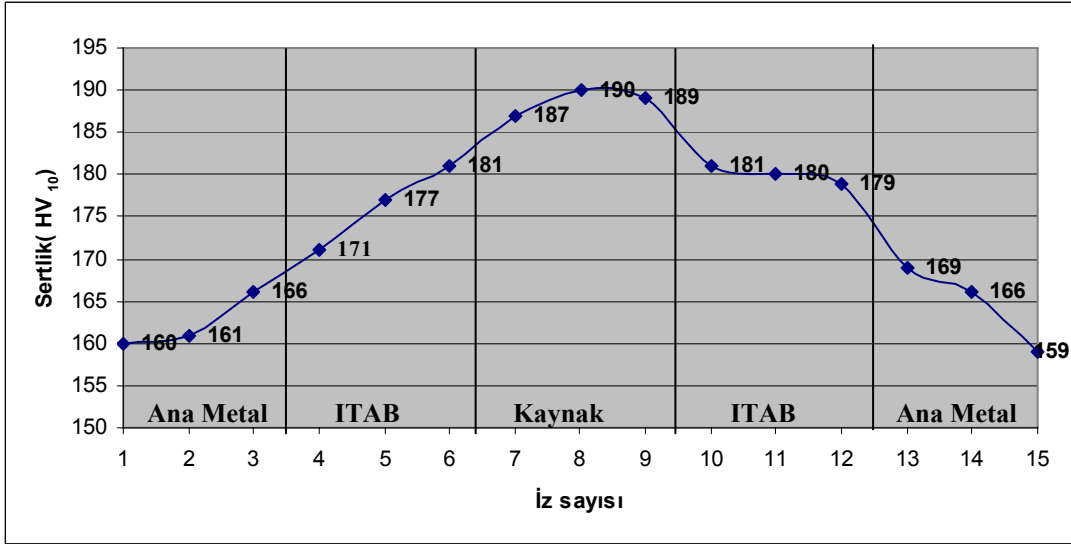
Şekil C.1 9 nolu numune (DH36 2G E R) mikrosertlik değerleri grafiği.



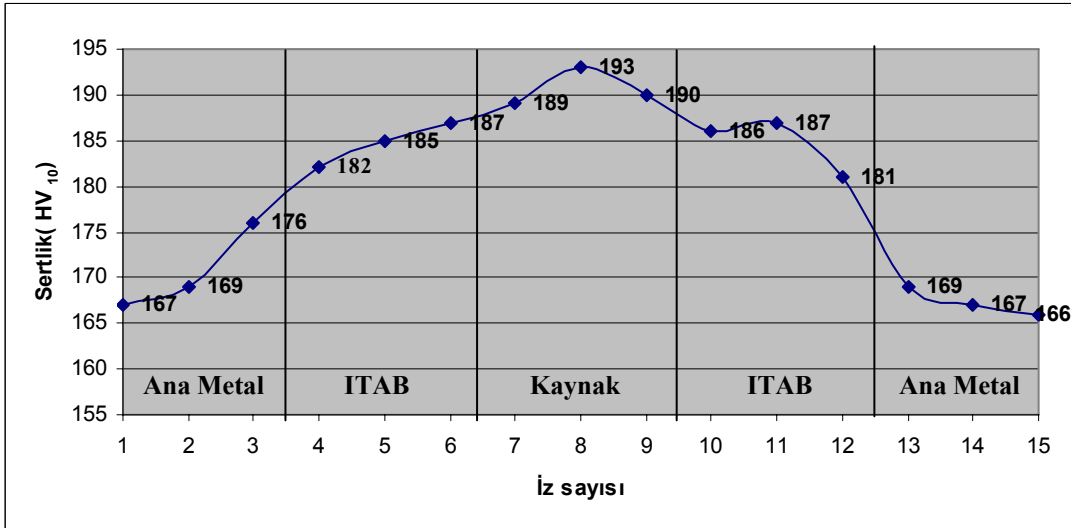
Şekil C.2 10 nolu numune (DH36 2G E B) mikrosertlik değerleri grafiği.



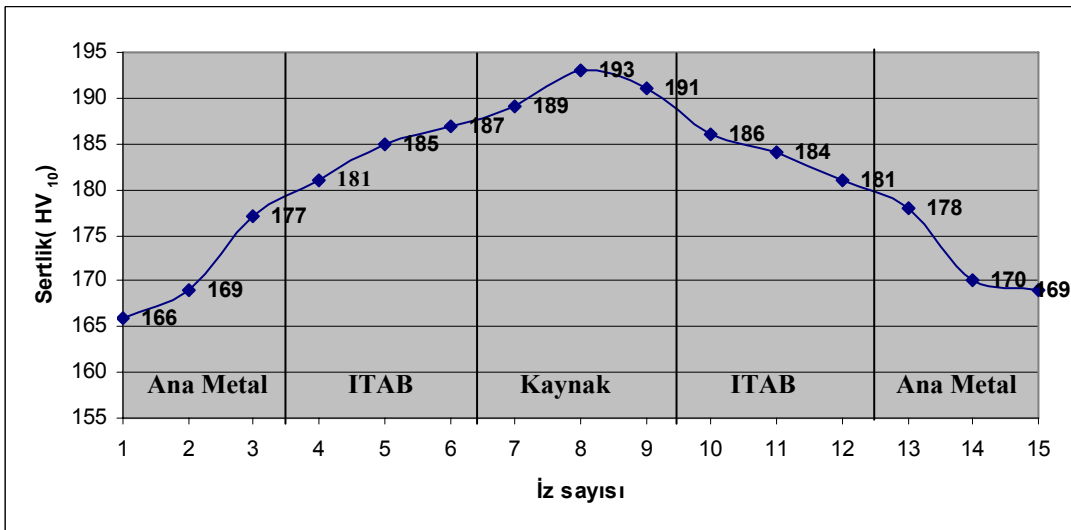
Şekil C.3 11 nolu numune (DH36 2G G) mikrosertlik değerleri grafiği.



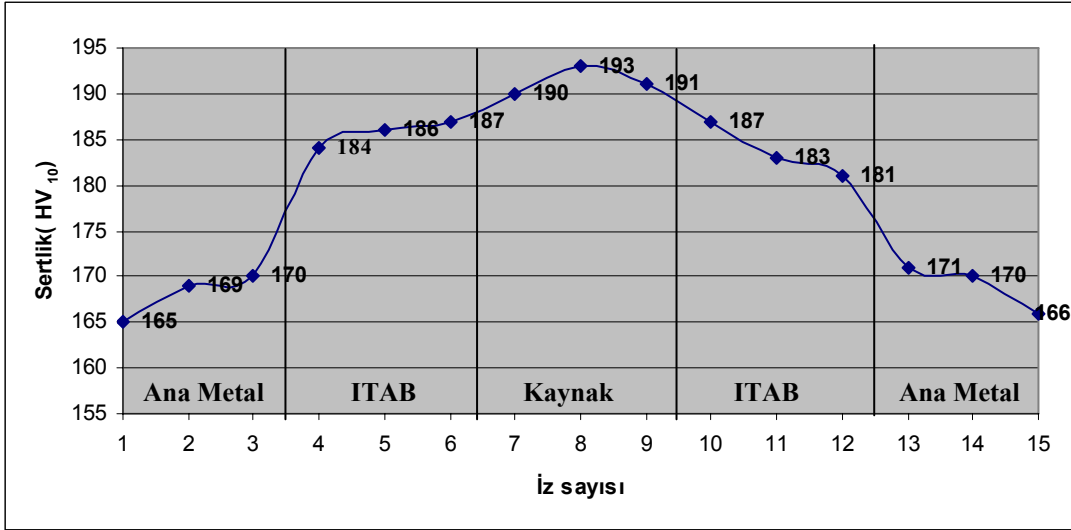
Şekil C.4 12 nolu numune (AH36 2G E R) mikrosertlik değerleri grafiği.



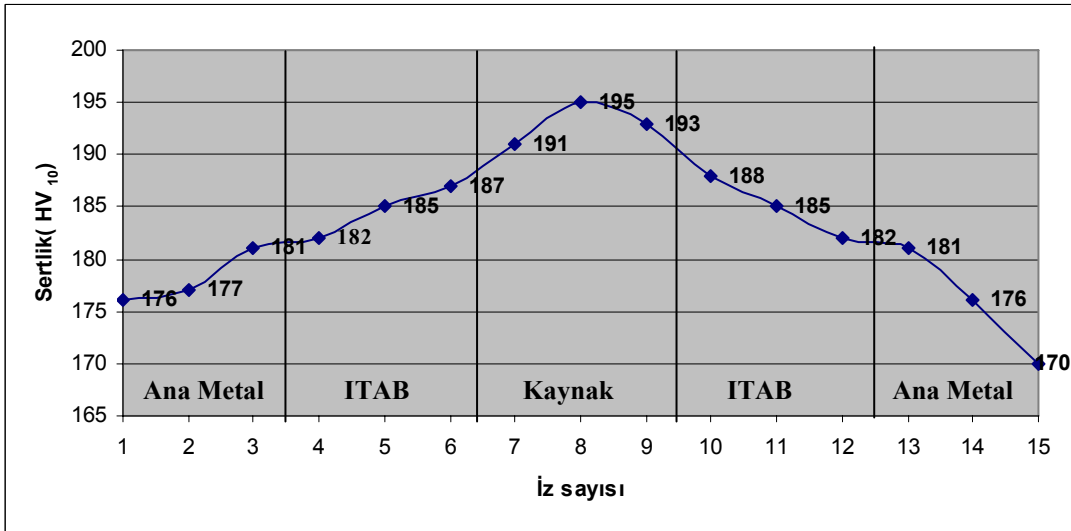
Şekil C.5 13 nolu numune (AH36 2G E B) mikrosertlik değerleri grafiği.



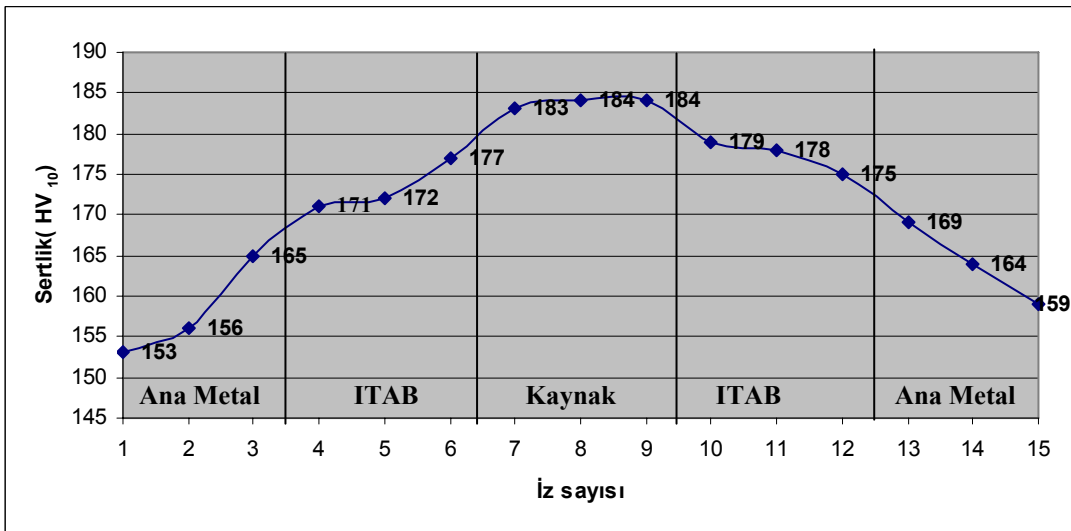
Şekil C.6 14 nolu numune (AH36 2G G) mikrosertlik değerleri grafiği.



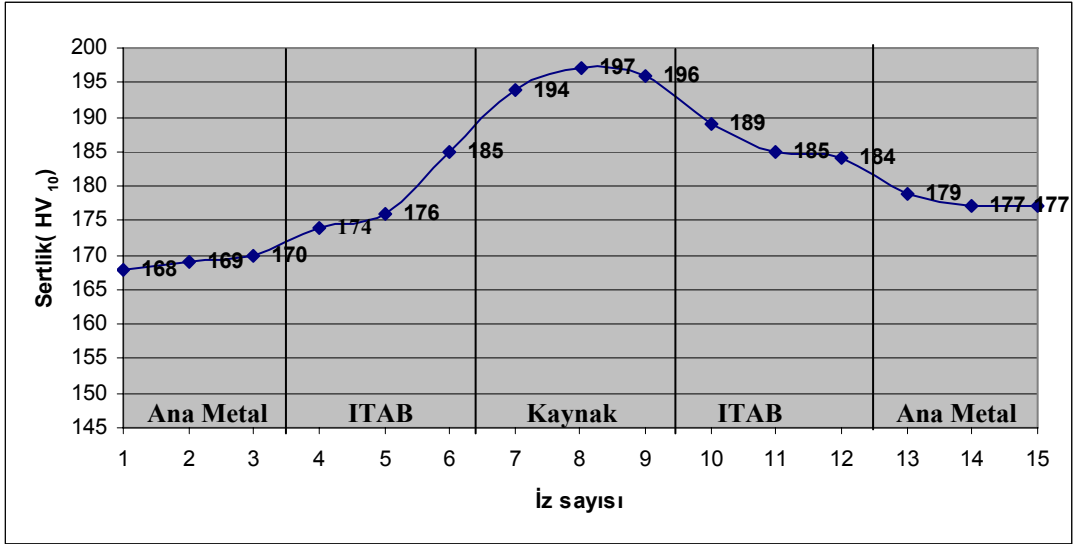
Şekil C.7 15 nolu numune (DH36 3G E R) mikrosertlik değerleri grafiği.



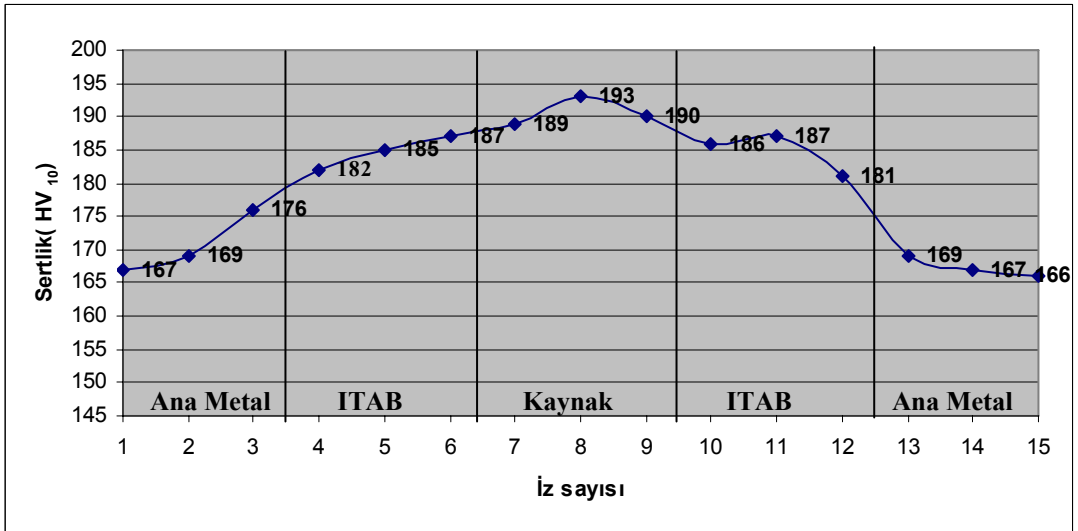
Şekil C.8 16 nolu numune (DH36 3G E B) mikrosertlik değerleri grafiği.



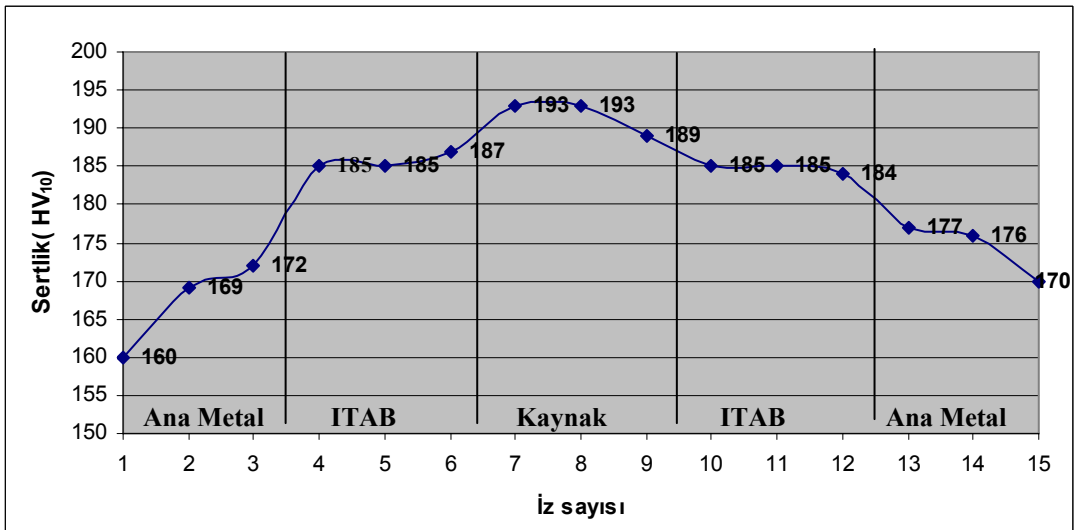
Şekil C.9 17 nolu numune (DH36 3G G) mikrosertlik değerleri grafiği.



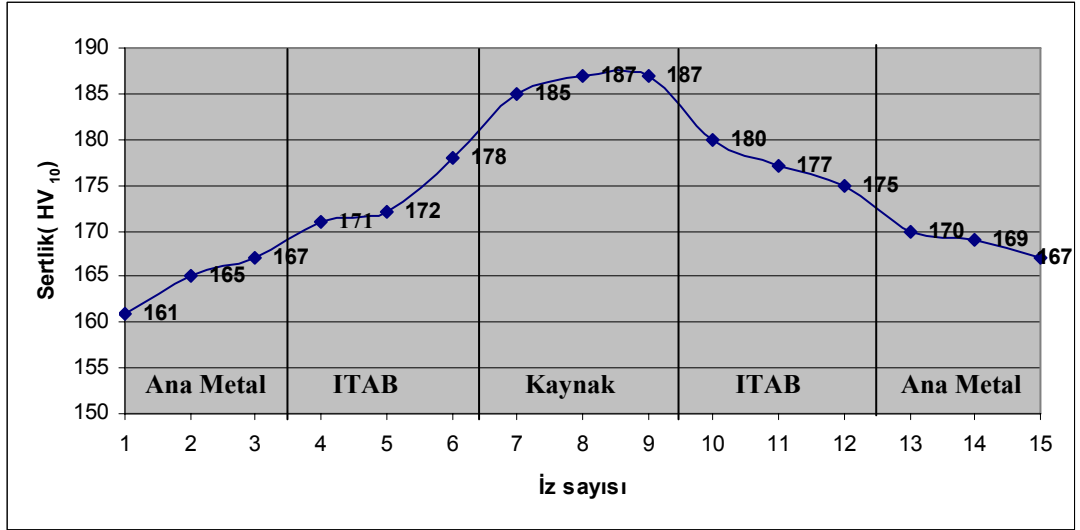
Şekil C.10 18 nolu numune (AH36 2G E R) mikrosertlik değerleri grafiği.



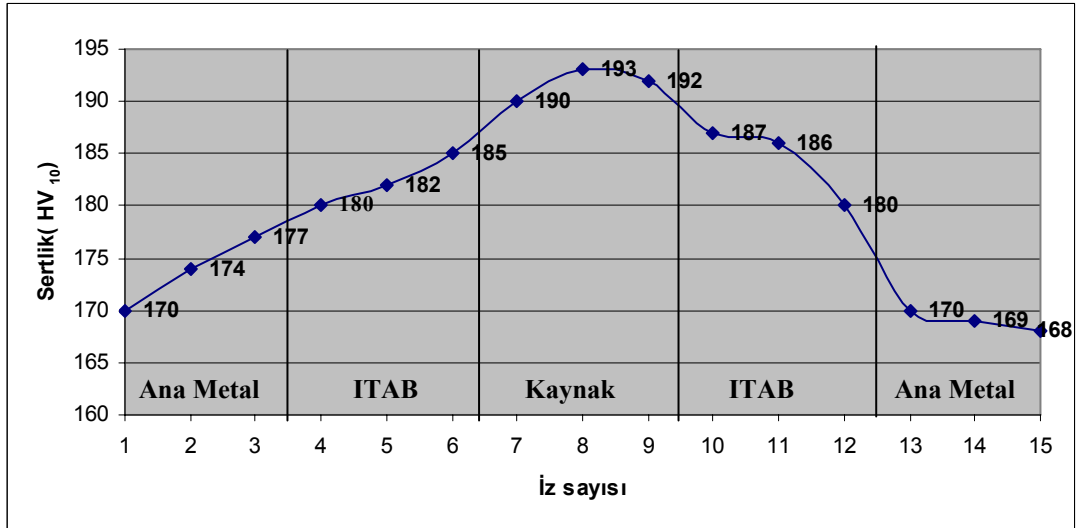
Şekil C.11 19 nolu numune (AH36 3G E B) mikrosertlik değerleri grafiği.



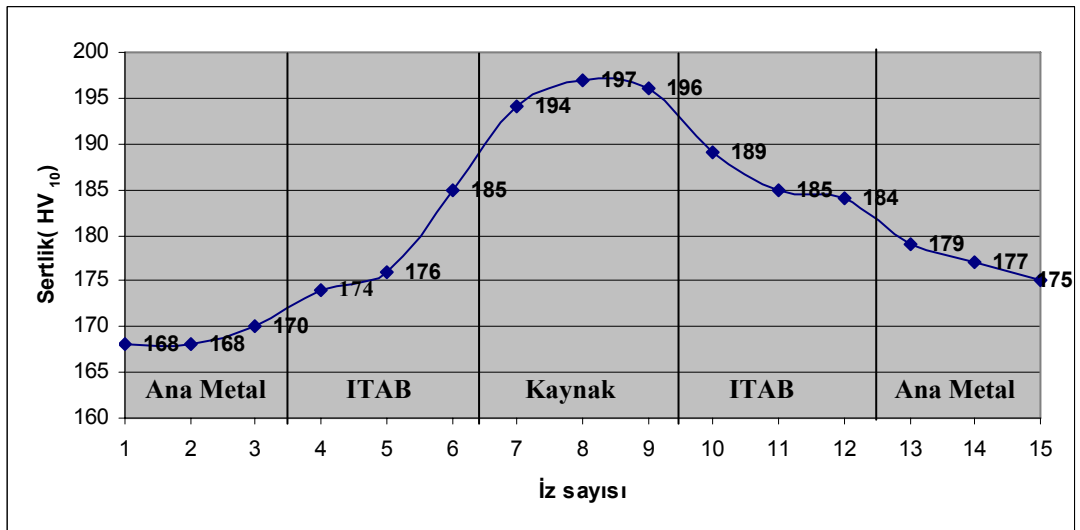
Şekil C.12 20 nolu numune (AH36 3G G) mikrosertlik değerleri grafiği.



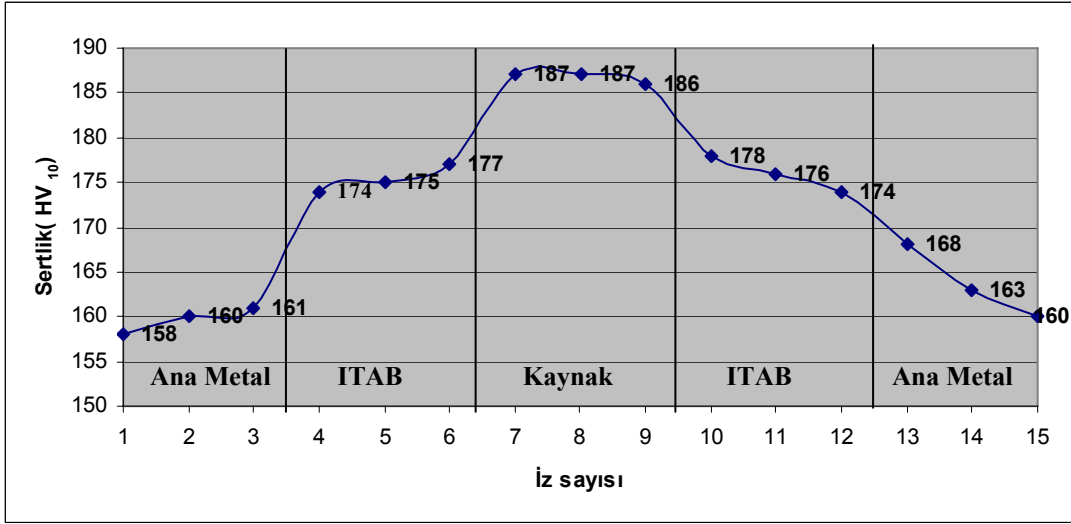
Şekil C.13 21 nolu numune (DH36 4G E R) mikrosertlik değerleri grafiği.



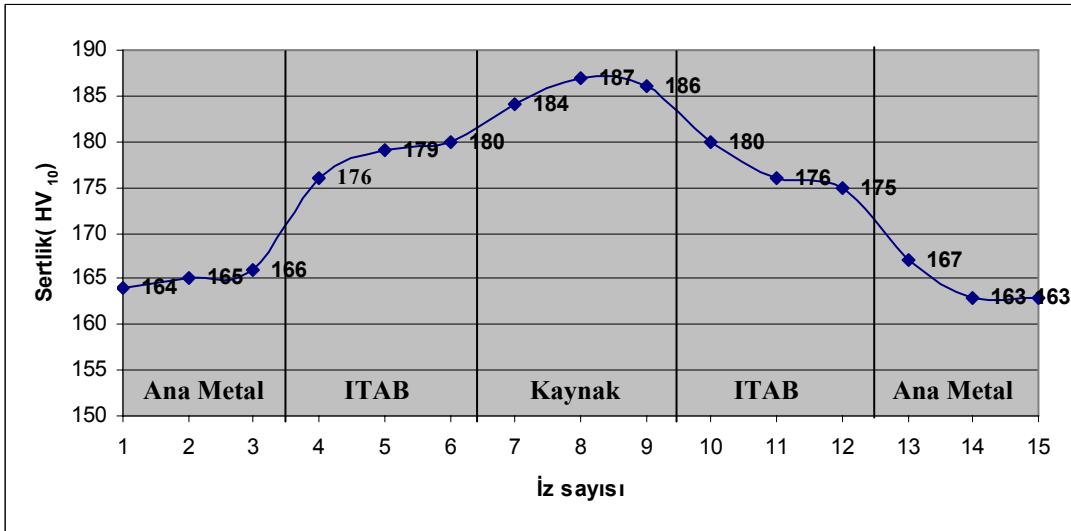
Şekil C.14 22 nolu numune (DH36 4G E B) mikrosertlik değerleri grafiği.



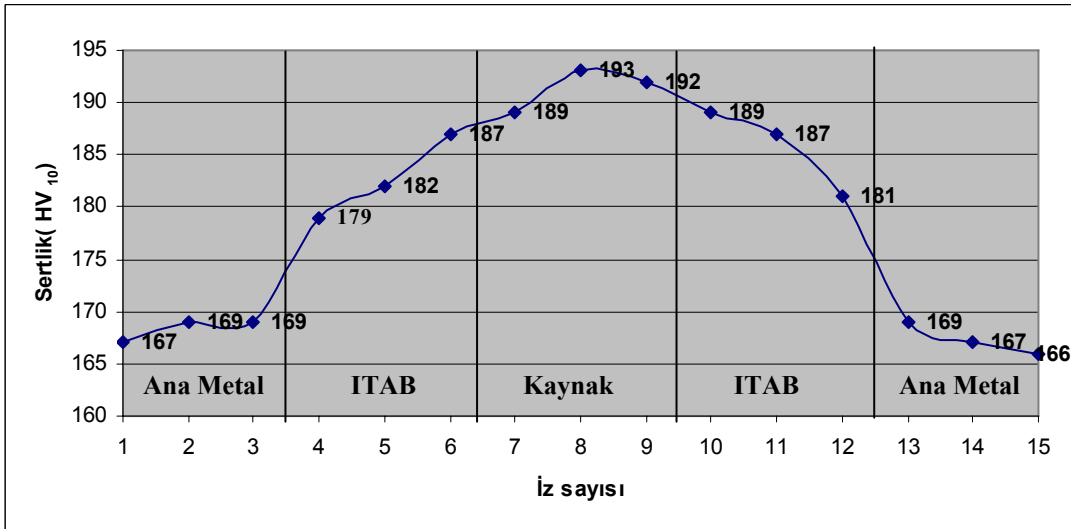
Şekil C.15 23 nolu numune (DH36 4G G) mikrosertlik değerleri grafiği.



Şekil C.16 24 nolu numune (AH36 4G E R) mikrosertlik değerleri grafiği.



Şekil C.17 25 nolu numune (DH36 4G E B) mikrosertlik değerleri grafiği.



Şekil C.18 26 nolu numune (AH36 4G G) mikrosertlik değerleri grafiği.

ÖZGEÇMİŞ

Nuri ÖZAKIN 1982’de Doesburg/Hollanda’da doğdu; ilk öğretimini Totempaal ve orta öğretimini Het Rhedens okullarında tamamladı; lise eğitimini Türkiye’de Kdz.Ereğli Yabancı Dil Ağırlıklı Süper Lisesinde tamamladı; 2002 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 2006 yılında mezun olduktan sonra Kdz. Ereğli’de Madenci Gemi Sanayi Ltd. Şti.’nde proje departmanında işe başladı. 2007-2009 yılları arasında Breko Marine Gemi İmalat ve Onarım Sanayi Ltd. Şti. (Hollanda) adına Ustaoglu Yat ve Gemi Sanayisinde yürütülen projelerde armatör temsilcisi olarak çalıştı. 2007 yılında girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Akarca mah. Fırıncı Ahmet sok.
Selvi apt. C blok kat.2 no.201
67300 Ereğli/ZONGULDAK

Tel: (372) 322 04 58

E-posta: dolunay600@hotmail.com