

**S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE FARKLI
TOZALTI KAYNAK TELLERİNİN KAYNAK
KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Engin CELASUN

**S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE FARKLI TOZALTI KAYNAK
TELLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Engin CELASUN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ekim 2012

Engin CELASUN tarafından hazırlanan “S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE FARKLI TOZALTI KAYNAK TELLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç. Dr. Fatih HAYAT

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 02 / 10 / 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih HAYAT (KBÜ)



..... / / 2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

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.”

Engin CELASUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE TOZALTI KAYNAK TELLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Engin CELASUN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Fatih HAYAT

Ekim 2012, 124 sayfa

Bu çalışmada; %0.14 C, %1,54 Mn, %0,36 Si, %0,02 P, %0,022 S kimyasal içeriğe sahip ve 389 N/mm² akma mukavemetine, 597 N/mm² çekme mukavemetine sahip S355J2 kalite çelik kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan parçaların yarısı 780 °C sıcaklıkta ısıl işlem uygulanmış ve suda soğutularak çift-fazlı yapı elde edilmiştir. Isıl işlem sonrasında elde edilen 780 S malzemeler ve ısıl işlem görmemiş S355J2 genel yapı çeliği S1 ve S2Mo tozaltı kaynak telleri ile kaynatılmış ve kaynaklı numunelerden standartlara uygun parçalar kesilmiş, tahribatlı ve tahribatsız muayeneleri gerçekleştirilmiştir. Tahribatlı muayenelerde; numunelerin çekme, darbe çentik, eğme testleri ve sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Tahribatsız muayenelerde; numunelerin gözle kontrol, ultrasonik muayene, manyetik parçacık muayene, mikroyapı, makroyapı ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin gözle kontrol, ultrasonik ve manyetik parçacık muayene kontrollerinde herhangi kaynak hatasına rastlanmamıştır. Çekme testlerinde ise kaynaklı numunelerin hepsi ısı tesiri

altında kalan bölgeden (ITAB) kopmuştur. Eğme testlerinde kaynaklı numunelerde herhangi çatlama görülmemiştir. Çentik darbe testlerinde ise S2Mo kaynak teli ile kaynatılan numunelerin tokluk değerlerinin belirgin bir şekilde S1 kaynak teli ile kaynatılanlardan yüksek olduğu görülmüştür. Çentik darbe testi ve çekme testlerinin kopma yüzeylerine SEM incelemesi, ayrıca kaynak bölgelerinin mikroyapı, makroyapı ve SEM incelemeleri yapılarak iç yapı analizi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Tozaltı kaynağı, genel yapı çeliği, çift-fazlı çelik, S355J2, ısıl işlem.

Bilim Kodu : 915.3.019

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HEAT TREATMENT AND WELDING OF S355J2 STEEL WITH DIFFERENT SUBMERGED ARC WELDING WIRES AND INVESTIGATION OF THEIR EFFECT ON WELDABILITY

Engin CELASUN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Fatih HAYAT

October 2012, 124 pages

In this study, S355J2 steel with a chemical composition of 0.14 % C, 1.54 % Mn, 0.36 % Si, 0.02 % P, 0.022 % S and mechanical properties of 389 N/mm² yield strength and 597 N/mm² tensile strength were used. Half of the specimens in this study were obtained at 780 °C heat treatment temperature and water-cooled dual phase steel. S355J2 and 780 S steels were welded with S1 and S2Mo submerged arc welding wires. Test pieces were taken from the welded specimens for destructive and non-destructive tests according to related standards and performed mentioned tests. As destructive tests; tensile, notch toughness, bending tests and hardness tests were performed. As non-destructive tests; visual inspection, ultrasonic testing, magnetic particle testing, microstructure, macrostructure and SEM analysis were performed. There were no welding defects after visual inspection of the samples, ultrasonic and magnetic particle testing methods. As a result of tensile tests, all of the welded

tensile test pieces ruptured from heat affected zone. After bending tests, there were no cracks on the welded test specimens. Impact toughness tests showed that pieces welded with S2Mo submerged arc welding wire were higher impact toughness value than those welded with S1 submerged arc welding wire. From fracture surface of impact toughness test and tensile test specimen were observed by SEM examination. Also welding zone, HAZ and base material zone of welded specimens were microstructure and macrostructure analyzed and observed by SEM examination.

Key Words : Submerged arc welding, general structural steel, dual phase steel, S355J2, heat treatment.

Science Code : 915.3.019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince yardımları ile beni yönlendiren danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Fatih HAYAT'a, yardımlarını esirgemeyen ve yüksek lisans eğitimim boyunca beni yapıcı anlamda yönlendiren ve kıymetli bilgilerinden yararlandığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a, deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŐAHİN'e, tez çalışmalarım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen çok değerli iş arkadaşım Başmühendis Mutlu UZUN'a ve test parçalarının hazırlanması, kaynaklanmasında ekipmanların kullanılmasında yardımlarını esirgemeyen Kardemir A.Ő. bağı ortaklarından Karçel A.Ő'ne, numunelerin deneylerinin yapılmasında laboratuvarlarından istifade ettiğim Kardemir A.Ő'ne, deney numunelerinin işlenerek hazırlanmasında tezgahlarından istifade ettiğim Çınar Boru A.Ő. ve Kalite Yönetim Sorumlusu Ali Őükrü KAYIKÇI'ya ve SEM analizlerinin yapılmasında laboratuvarlarından yararlandığım Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xx
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	4
ÇELİKLER	4
2.1. GENEL YAPI ÇELİKLERİ	5
2.2. ÇİFT-FAZLI ÇELİKLER	6
2.2.1. Çift-Fazlı Çeliklerin Isıl İşlemi	7
2.2.2. Çift-Fazlı Çeliklerin Mekanik Özellikleri	11
2.2.2.1. Çift-Fazlı Çeliklerin Akma ve Pekleşme Davranışı	11
2.2.2.2. Akma ve Çekme Mukavemeti	12
2.2.2.3. Süneklik	13
2.2.2.4. Temperleme ve Deformasyon Yaşlanması	14
2.2.3. Çift-fazlı Çeliklerde Mikroyapının Mekanik Özelliklere Etkisi	15
2.2.3.1. Martenzitin Mekanik Özelliklere Etkisi	15
2.2.3.2. Ferritin Mekanik Özelliklere Etkisi	17
BÖLÜM 3.	18
GENEL YAPI ÇELİKLERİNİN VE ÇİFT-FAZLI ÇELİKLERİN KAYNAĞI	18

	<u>Sayfa</u>
3.1. GENEL YAPI ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI	18
3.1.1. Genel Yapı Çeliklerinin Kaynak Kabiliyeti	18
3.1.1.1. Karbon Eşdeğeri	20
3.1.2. Kaynakta Isı Girdisi	21
3.1.3. Kaynak Bölgesinin Yapısı	23
3.1.3.1. Ergime Bölgesi	23
3.1.3.2. Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)	23
3.1.3.3. İnküzyonların Tesiri	23
3.2. ÇİFT-FAZLI ÇELİKLERİN KAYNAĞI	24
BÖLÜM 4.	26
TOZALTI KAYNAK YÖNTEMİ	26
4.1. KAYNAĞIN TARİFİ VE ÖNEMİ	26
4.1.1. Kaynağın Tarifi	26
4.1.2. Kaynağın Önemi	26
4.2. TOZALTI KAYNAĞI	26
4.2.1. Tozaltı Kaynağının Çalışma Prensibi	28
4.2.2. Tozaltı Kaynağının Kullanım Alanları	29
4.2.3. Tozaltı Kaynağı İle Kaynak Edilebilen Metal ve Alaşımları	30
4.2.4. Tozaltı Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	30
4.2.4.1. Tozaltı Kaynağının Avantajları	30
4.2.4.2. Tozaltı Kaynağının Dezavantajları	33
4.2.5. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Yöntemler	34
4.2.6. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri ve Tozları	34
4.2.6.1. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri	34
4.2.6.2. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları	36
4.2.7. Tozaltı Kaynağında Dikiş Geometrisi	38
4.2.7.1. Tozaltı Kaynağında Dikiş Geometrisine Etki Eden Faktörler	38
4.2.8. Tozaltı Kaynağında Oluşan Kaynak Hataları	42
BÖLÜM 5.	44
DENEYLERDE KULLANILAN MUAYENE YÖNTEMLERİ	44

	<u>Sayfa</u>
5.1. TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENELER	44
5.1.1. Tahribatlı Muayeneler	44
5.1.1.1. Çekme Deneyi.....	44
5.1.1.2. Eğme Deneyi.....	46
5.1.1.3. Çentik Darbe Deneyi.....	46
5.1.1.4. Sertlik Ölçme Deneyi.....	48
5.1.2. Tahribatsız Muayeneler	49
5.1.2.1. Gözle Muayene	50
5.1.2.2. Ultrasonik Muayene.....	50
5.1.2.3. Manyetik Parçacık Muayenesi	53
 BÖLÜM 6.	 55
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	55
6.1. GİRİŞ.....	55
6.2. MALZEMENİN KİMYASAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	55
6.2.1. Kaynak İşleminde Kullanılan Kaynak Teli ve Tozunun Özellikleri	56
6.3. DENEY PARÇALARININ ISIL İŞLEMİ	56
6.4. BİRLEŞTİRME İŞLEM BASAMAKLARI	58
6.4.1. Birleştirilecek Levhaların Belirlenmesi	58
6.4.2. Karbon Eşdeğerliğinin Belirlenmesi	58
6.4.3. Kaynak Prosedürlerinin (WPS) Hazırlanması	58
6.4.4. Kaynak Levhalarının Hazırlanması	61
6.4.5. Deney Parçalarının Kaynatılması	62
6.5. KAYNAKLI PARÇALARIN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ.....	63
6.5.1. Gözle Muayene.....	63
6.5.2. Ultrasonik Muayene	64
6.5.3. Manyetik Parçacık Muayenesi.....	65
6.6. KAYNAKLI PARÇALARDAN NUMUNELERİN KESİLMESİ.....	65
6.7. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU	66
6.8. MAKROYAPI İNCELEMELERİ.....	67
6.9. TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİ.....	67
6.10. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ	67

6.11. ÇENTİK DARBE DENEYİ.....	68
6.12. ÇEKME DENEYİ NUMUNESİNİN HAZIRLANMASI VE UYGULANMASI.....	70
6.12.1. Ana Metal ve Isıl İşlem Uygulanmış Parçaların Çekme Deneyi Numunesinin Hazırlanması ve Uygulanması	70
6.12.2. Kaynaklı Bağlantıların Çekme Deneyi.....	72
6.12.3. S1 ve S2Mo Telleri İle Kaynatılan Kaynak Metalinden Çıkarılan Deney Parçalarının Çekme Deneyi	72
6.13. EĞME DENEYİ.....	74
BÖLÜM 7.	75
DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	75
7.1. KAYNAKLI PARÇALARIN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ.....	75
7.1.1. Gözle Muayene.....	75
7.1.2. Kaynaklı Deney Parçalarının Ultrasonik Muayenesi	75
7.1.3. Kaynaklı Deney Parçalarının Manyetik Parçacık Muayenesi	75
7.2. KAYNAKLI DENEY PARÇALARININ TAHRİBATLI MUAYENESİ....	78
7.2.1. Sertlik Ölçümleri	78
7.2.2. Çekme Deneyi Sonuçları	79
7.2.2.1. Kaynaksız Numunelerin Çekme Deneyi	79
7.2.2.2. Kaynaklı Bağlantıların Çekme Deneyi (Levha Kesitli).....	81
7.2.2.3. S1 ve S2Mo Kaynak Telleri Mukayeseli Çekme Deneyi (Silindirik).....	85
7.3. EĞME DENEYİ NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI VE UYGULANMASI.....	87
7.4. ÇENTİK DARBE DENEYİ	87
7.5. MAKROYAPI İNCELEMELERİ	90
7.6. MİKROYAPI İNCELEMELERİ	92
7.7. KIRILMA VE KOPMA YÜZEYLERİNİN SEM İNCELEMELERİ	97
7.7.1. Darbe Çentik Numunelerinin SEM Analizleri	98
7.7.2. Çekme Deneyi Kopma Yüzeyi SEM İncelemesi	102
7.7.2.1. S1 Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan Silindirik Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi....	102

7.7.2.2. S2Mo Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan Silindirik Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi....	103
7.7.2.3. S1 Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan 780 S Malzemenin Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi....	104
7.7.2.4. S1 Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan S355J2 Malzemenin Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi	105
7.7.2.5. S2Mo Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan 780 S Malzemenin Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi	106
7.7.2.6. S2Mo Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan S355J2 Malzemenin Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi	107
7.8. KAYNAKLI PARÇALARIN SEM İNCELEMELERİ	107
7.8.1. S1 Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan 780 S Malzemenin SEM İncelemesi	108
7.8.1.1. Kaynak Bölgesi SEM İncelemesi	108
7.8.1.2. Kaynak-ITAB Geçiş Bölgesi SEM İncelemesi.....	109
7.8.1.3. ITAB Bölgesi SEM İncelemesi	110
7.8.1.4. Ana Malzeme Bölgesi SEM İncelemesi	111
7.8.2. S2Mo Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan 780 S Malzemenin SEM İncelemesi	112
7.8.2.1. Kaynak Bölgesi SEM İncelemesi	112
7.8.2.2. Kaynak-ITAB Geçiş Bölgesi SEM İncelemesi.....	113
7.8.2.3. ITAB Bölgesi SEM İncelemesi	114
7.8.2.4. Ana Malzeme Bölgesi SEM İncelemesi	115
BÖLÜM 8.	116
SONUÇ VE ÖNERİLER	116
8.1. SONUÇLAR	116
8.2. ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	124

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çift-fazlı çeliğin mikroyapısı.....	7
Şekil 2.2. Fe-C faz diyagramı	8
Şekil 2.3. Çift-faz mikroyapısının elde edilmesinin şematik izahı	8
Şekil 2.4. Çift-faz ısıtma işlemleri için sıcaklık aralıklarının şematik olarak gösterimi..	9
Şekil 2.5. Farklı çift-faz ısıtma işlem teknikleri sonucu elde edilen mikroyapılar	10
Şekil 2.6. % 1,5 Mn çeliğinde ferrit-martenzit oranına göre akma ve çekme mukavemetleri.....	12
Şekil 2.7. 750 °C'den farklı sıcaklıklarda su verilmiş 0,1 C - 0,2 Si – 2 Mn çeliğinde seçilen özelliklerin değişimi	13
Şekil 2.8. 1 Saat süreyle 200 °C'de temperlemenin, farklı oranlarda martenzite sahip % 1,5 Mn içeren % 0,06 ve % 0,20 C çeliklerinin gerilme-birim şekil değişimine etkisi.....	15
Şekil 2.9. ($\alpha+\gamma$) Bölgesinde tavlama yapılmış çelikte, karbon miktarının ve tavlama sıcaklığının martenzit hacim oranına etkisi.....	16
Şekil 3.1. Kaynak kabiliyetinin temel faktörler ve özelliklerle ilişkisi.....	18
Şekil 3.2. Genel yapı çeliklerinin kaynağa uygunluğu	20
Şekil 3.3. Kaynaklı imalatta en çok rastlanan durumlar için eşsıcaklık eğrileri (düzlemsel)	21
Şekil 3.4. Kaynaklı imalatta en çok rastlanan durumlar için eşsıcaklık eğrileri (hacimsel)	22
Şekil 3.5. H60 çeliği için a) ZSD ve b) Kaynak-ZSD diyagramlarının karşılaştırılması	22
Şekil 3.6. Östenit tane boyutuna bağlı olarak tane sınırı ferrit oranı değişimi.....	24
Şekil 4.1. Tozaltı kaynak makinesinin şematik gösterimi.....	28
Şekil 4.2. Elektrik ark ve tozaltı ark kaynağında ısı bilançosu	28
Şekil 4.3. Tozaltı kaynak yönteminde telin yanma miktarı.	31
Şekil 4.4. Tozaltı kaynak yönteminde dolgu miktarı	32
Şekil 4.5. Alın kaynağı dikiş formu	38
Şekil 4.6. Tozaltı ark kaynak akımının, dikiş geometrisine ve nüfuziyete etkisi.....	39
Şekil 4.7. Tozaltı kaynak yönteminde gerilimin dikiş geometrisi üzerindeki etkisi	40

Şekil 4.8. Tozaltı kaynak yönteminde hızın dikiş geometrisi üzerindeki etkisi.....	41
Şekil 5.1. Çekme deneyinin şematik olarak uygulanması.....	45
Şekil 5.2. Çekme deneyinde gerilim-gerinim eğrisi.....	45
Şekil 5.3. Eğme deneyi şeması.....	46
Şekil 5.4. Çentik-darbe deneyinin çalışma prensibi.....	47
Şekil 5.5. Mikro sertlik deneyinin yapılaş şeması.....	49
Şekil 5.6. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi.....	51
Şekil 5.7. Kaynak dikişinin ultrasonik muayenesi.....	52
Şekil 5.8. Manyetik parçacık muayene uygulama biçimleri.....	54
Şekil 6.1. Protherm marka kamara tipi ısıtma fırını.....	57
Şekil 6.2. 780 °C'deki sıcaklıklarda ısıtma işlemi görmüş deney numuneleri.....	57
Şekil 6.3. S2Mo kaynak teli ile kaynatılan 780 S ve S355J2 malzemeye ait kaynak prosedürü.....	59
Şekil 6.4. S1 kaynak teli ile kaynatılan 780 S ve S355J2 malzemeye ait kaynak prosedürü.....	60
Şekil 6.5. Kaynak öncesi frezede kaynak ağzı açılmış deney parçalarının ölçüleri.....	61
Şekil 6.6. Deney parçalarının puntalanması ve seramik altlığın kullanımı.....	61
Şekil 6.7. Kaynatılacak parçaların kaynak planı.....	62
Şekil 6.8. Kaynak işleminin yapıldığı Lincoln marka tozaltı kaynak makinası.....	62
Şekil 6.9. Gözle muayene edilen parçaların kep ve kök kısmı.....	64
Şekil 6.10. Ultrasonik muayene işlemi.....	64
Şekil 6.11. Manyetik parçacık muayene işlemi.....	65
Şekil 6.12. Kaynaklı levhalardan deney parçalarının çıkarılma planı.....	66
Şekil 6.13. Deneylerde kullanılan optik mikroskop.....	67
Şekil 6.14. Zwick Rockwell marka sertlik ölçüm cihazı.....	68
Şekil 6.15. Yatay ve dikey ekseninde sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar.....	68
Şekil 6.16. Çentik darbe deneylerinin yapıldığı test cihazı.....	69
Şekil 6.17. TS EN 10045-1 standardına göre çentik darbe deney parçası ölçüleri.....	69
Şekil 6.18. TS EN 10045-1 standardına göre çentik darbe deney numunesi.....	70
Şekil 6.19. Dikdörtgen kesitli makinede işlenmiş çekme deneyi numunesi.....	70
Şekil 6.20. Çekme deneyi numunelerinin hazırlandığı tezgah.....	71
Şekil 6.21. Çekme deneyinin yapıldığı tezgah.....	71

Sayfa

Şekil 6.22. Mekanik işlenerek hazırlanmış çekme deneyi numuneleri.....	72
Şekil 6.23. TS EN ISO 6892-1'e göre yuvarlak kesitli deney parçası ölçüleri.....	72
Şekil 6.24. Silindirik çekme deneyi numunelerinin kaynaklı parçalardan çıkarılması ve TS EN ISO 6892-1'e göre hazırlanması.....	73
Şekil 6.25. Kaynak metalinden çıkarılmış ve TS EN ISO 6892-1'e göre hazırlanmış çekme deneyi numunelerinin görüntüleri.....	73
Şekil 6.26. Eğme deneylerinin yapıldığı tezgah.....	74
Şekil 7.1. Kaynaklı deney parçalarına ait ultrasonik muayene raporu.....	76
Şekil 7.2. Kaynaklı deney parçalarına ait manyetik parçacık muayene raporu	77
Şekil 7.3. Kaynaklı numunenin yatay ekseninden alınan sertlik ölçümlerinin grafiği	78
Şekil 7.4. Kaynak metalinin dikey ekseninden alınan sertlik ölçümlerinin grafiği .	78
Şekil 7.5. 780 S kopmuş numune fotoğrafları	79
Şekil 7.6. 780 S malzemenin çekme deneyi sonucu	80
Şekil 7.7. S355J2 malzemenin çekme deneyi sonucu.....	80
Şekil 7.8. Kaynaklı bağlantıların karşılaştırmalı çekme deneyi sonuçları.....	81
Şekil 7.9. S1-780 S kaynaklı malzemenin çekme deneyi sonucu	82
Şekil 7.10. S1-S355J2 kaynaklı malzemenin çekme deneyi sonucu	82
Şekil 7.11. S2Mo-780 S kaynaklı malzemenin çekme deneyi sonucu	83
Şekil 7.12. S2Mo-S355J2 kaynaklı malzemenin çekme deneyi sonucu.....	83
Şekil 7.13. Çekme deneyi sonucu koparılan numune fotoğrafları.....	84
Şekil 7.14. Çekme deneyi sonrası çekme numunelerinin kopma yüzeyleri.....	84
Şekil 7.15. Sadece kaynak bölgesinin çıkarıldığı parçalardan hazırlanmış silindirik çekme deneyi numunelerinin kopma bölgeleri	85
Şekil 7.16. Kaynak metalinden çıkarılan numunelerin “cup and cone” tarzı kopmuş yüzey görüntüleri.....	86
Şekil 7.17. Eğme deneyi sonucu numunelerin görüntüleri	87
Şekil 7.18. Çentik darbe deneyi sonuçlarının sıcaklıklara göre dağılımı.....	88
Şekil 7.19. Çentik darbe deneyi sonucu numunelerin kırılma yüzeyleri	89
Şekil 7.20. Çentik Darbe deneyi sonucu kopmuş numunelerin toplu görünümü	89
Şekil 7.21. S1 teli ile birleştirilmiş S355J2 ve 780 S numunelerinin makroyapı fotoğrafları	90
Şekil 7.22. S2Mo teli ile birleştirilmiş S355J2 ve 780 S numunelerinin makroyapı fotoğrafları	91

Sayfa

Şekil 7.23. S355J2-S1 kaynaklı bağlantısının mikroyapı fotoğrafları	92
Şekil 7.24. S355J2-S2Mo kaynaklı bağlantısının mikroyapı fotoğrafları.....	93
Şekil 7.25. 780 S-S1 kaynaklı bağlantısının mikroyapı fotoğrafları.....	94
Şekil 7.26. 780 S-S2Mo teli ile kaynaklı bağlantısının mikroyapı fotoğrafları.....	95
Şekil 7.27. 20 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S – S1 numunesinin SEM analizi	98
Şekil 7.28. -40 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S – S1 numunesinin SEM analizi.....	99
Şekil 7.29. 20 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S – S2Mo numunesinin SEM analizi.....	100
Şekil 7.30. -40 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S – S2Mo numunesinin SEM analizi.....	101
Şekil 7.31. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri	102
Şekil 7.32. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri	103
Şekil 7.33. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri	104
Şekil 7.34. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan S355J2 malzemenin kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri.....	105
Şekil 7.35. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri.....	106
Şekil 7.36. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan S355J2 malzemenin kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri.....	107
Şekil 7.37. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak bölgesi SEM görüntüleri	108
Şekil 7.38. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak-ITAB bölgesi SEM görüntüleri	109
Şekil 7.39. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin ITAB bölgesi SEM görüntüleri.....	110
Şekil 7.40. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin ana malzeme bölgesi SEM görüntüleri	111
Şekil 7.41. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak bölgesi SEM görüntüleri	112
Şekil 7.42. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak-ITAB bölgesi SEM görüntüleri.....	113

Sayfa

Şekil 7.43. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin ITAB bölgesi SEM görüntüleri	114
Şekil 7.44. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin ana malzeme bölgesi SEM görüntüleri.....	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler	19
Çizelge 4.1. EN 756'ya göre kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri	35
Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemenin spektral analiz sonuçlarına göre kimyasal bileşimi.....	55
Çizelge 6.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemenin mekanik özellikleri.....	55
Çizelge 6.3. Kullanılan ilave kaynak tellerinin ve kaynak tozunun kimyasal bileşimleri.....	56
Çizelge 6.4. Kullanılan ilave kaynak tellerinin mekanik özellikleri.....	56
Çizelge 6.5. Tozaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri.....	62
Çizelge 6.6. Yassı çekme deneyi parça boyutları	71
Çizelge 6.7. Yuvarlak kesitli çekme deneyi parça boyutları.....	73
Çizelge 7.1. Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	81
Çizelge 7.2. S1 ve S2Mo telleri ile kaynatılan kaynak metali çekme deneyi sonuçları	85
Çizelge 7.3. Çentik darbe deneyi sonuçları.....	88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C _{eş}	: Krom eşdeğerliliği
Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
V	: Vanadyum
S	: Kükürt
P	: Fosfor
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
C	: Karbon
Fe	: Demir
Ac1	: Alt kritik sıcaklık çizgisi
Ac3	: Üst kritik sıcaklık çizgisi
HV	: Vickers Sertlik Değeri
HRC	: Rockwell Sertlik Değeri
Fe ₃ C	: Sementit
E	: Young modülü (Elastisite modülü)
A1,A3	: Demir – karbon diyagramındaki kritik sıcaklık aralığının gösterimi
M _s	: Martenzit başlangıç sıcaklığı
M _f	: Martenzit bitiş sıcaklığı
α	: Ferrit fazı, alfa demiri
γ	: Östenit fazı, gama demiri
δ	: Delta demiri

ppm	: (parts per million) milyonda bir parçacık
$\Delta t_{8/5}$: 800-500°C arası soğuma süresi
HB	: Brinell sertlik değeri
f	: Frekans
I	: Amper
V	: Volt
AC/DC	: Alternatif akım/doğru akım
S1	: Tozaltı kaynak teli (masif tel)
S2Mo	: Tozaltı kaynak teli (molibden ilaveli)
J	: Joule

KISALTMALAR

NDT	: Non-Destructive Test (tahribatsız test)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
SAW	: Submerged Arc Welding (tozaltı ark kaynağı)
AWS	: American Welding Society (Amerikan Kaynak Cemiyeti)
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Enstitüsü Normları)
EN	: Euronorm (Avrupa Normu)
IIW	: International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
TS	: Türk Standardı
ZSD	: Zaman Sıcaklık Dönüşüm
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
SEM	: Scanning Electron Microscope (taramalı elektron mikroskobu)
CEN	: European Committee for Standardization (Avrupa Standartlar Komitesi)
WPS	: Welding Procedure Specifications (Kaynak Prosedürü)
HSLA	: High Strength Low Alloy (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım)
HMK	: Hacim merkezli kübik

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Aynı, benzer veya farklı alaşımli maddelerin, ilave bir malzeme (kaynak teli, tozu vb.) kullanımı ile ya da kullanılmadan ısı, basınç veya ikisinin birden kullanımı ile birleştirilmesine “kaynak” denilir.

İnsanoğlu günümüzden yaklaşık 3500 yıl kadar önce, iki metal parçasını sıcak veya soğuk halde çekileyerek kaynak edip birleştirmeyi gerçekleştirmişler. Bu işlem “Demirci Kaynağı” olarak isimlendirilmiştir. Batılı tarihçiler, demirci kaynağı yardımıyla demirin, M.Ö. 1400 yıllarında Ön Asya’da yaygın bir şekilde birleştirildiğini yazmaktadır.

Kaynak yönteminin endüstriyel uygulamaları ise 19. y.y’ın ikinci yarısında başlamıştır. Oksijenin endüstriyel çapta eldesi, özellikle tamir işlerinde oksii-asetilen kaynağının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Elektrik arkı 18. y.y’ın sonlarında Volta tarafından keşfedilmiş fakat bu enerji ancak 19. y.y’ın son çeyreğinde kaynakta kullanılmaya başlanmıştır. 1920-1940 yılları arasında, örtülü elektrotların geliştirilmesi, elektrik ark kaynağının popülaritesini arttırmış ve bütün metallerin kaynağı için bilinen yöntemlerin geliştirilmesine ve yeni yöntemlerinin keşfine neden olmuştur [1].

Tozaltı kaynak yöntemi ilk defa 1933 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde uygulanmaya başlamıştır. Yöntem daha sonraları 1937 yılında Avrupa’da kullanılmaya başlamış ve bugünkü şeklini ise 1946 yılında Rusya’da almıştır. Yöntemin Türkiye’ye girişı 1960’lı yıllara rastlar. Bugün ülkemizde kaynaklı imalat yapan büyük kuruluşların tümünde tozaltı kaynağı yapılmaktadır.

Her kaynak yönteminin kendine özgü bir takım karakteristikleri vardır. Tozaltı kaynak yöntemini karakterize eden, tercih edilmesinde sebep olan özelliklerinden en önemlisi, hızlı kaynak yapılabilmesi, tel ve toz kombinasyonu iyi seçildiği ve kaynak parametreleri uygun saptandığında en az hatalı ve en güzel görünümlü kaynak dikişleri vermesidir. Bu amaca ulaşabilmek için tozaltı kaynağında, kaynaktan önce çok iyi bir hazırlığın yapılması, kaynak ağızlarının normlara uygun olarak açılmış olması, yağlı, paslı olmaması ve uygun bir altlığın seçilmiş olması gerektiğini de unutmamak gerekir [2].

Günümüzde metal, konstrüksiyon yapımında, en çok düşük-orta dayanımlı, az ve düşük alaşımlı (ötektoit altı) çelikler kullanılmaktadır. Bu türlü konstrüksiyonların yapımında kaynak kullanılır. Bundan dolayı bu konstrüksiyonların en tehlikeli bölgesi kaynak dikişi sayılır. Çünkü kaynak dikişi elde edildikten sonra çok küçük bir hacimde esas metal ve elektrot metali ergime sıcaklığına kadar getirilir. Kaynak banyosu küçük hacimde metale sahip olduğundan hızla soğur ve meydana gelen metalin iç yapısı dengeden kayar yani plastikliği azalır ve dayanım artar. Bundan başka banyo metalinin kristalizasyonu süresince çeşitli iç ve dış noksanların meydana gelme ihtimali yükselir. Böylelikle iç yapıda mekanik özelliklerin sertleşmesi çeşitli mikro ve makro hataların meydana gelmesi dış kuvvet etkisinden kaynak dikişinin kırılmasına sebep olabilir. Bu nedenlerin başında dikiş metalinin dayanımı, plastiklik ve süneklik özelliklerine etki ederek akma gerilimine etki etmesidir. Bütün metal konstrüksiyonların projeleri dikiş metalinin akma gerilimine göre hesaplanır. Söz konusu olan çelikler HMK yapıya sahip olduğundan onlar gevrek kırılmaya daha yatkındır yani sıcaklığın azalması gerilim şemasının bir eksenenden iki-üç eksenliliğe değişmesinden, dinamik etkilerden sünek ve yüksek plastikliğe sahip olan dikiş metalinin, akma geriliminin değişmesi nedeni ile gevrek hale geçmesi mümkündür [3].

Genel yapı çeliklerinin kullanım alanları en fazla ofis binaları, iş merkezleri, alışveriş merkezleri, terminal binaları, okullar, konutlar, otoparklar, spor ve sergi salonları, stadyumlar gibi endüstriyel sektörde, ayrıca köprü, çelik konstrüksiyon, çimento fabrikaları, termik santrali, beton santrali gibi inşaat sektöründe de geniş kullanım

alanlarına sahiptir. Gerek iş güvenliği, gerekse de maddi zararlar açısından bu yapıların sağlamlığı oldukça önem arz etmektedir.

Çift-fazlı çelikler günümüz uygulamalarında özellikle otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Örneğin çift-fazlı çeliklerin yüksek dayanım ve iyi şekillenebilirlik özelliklerinden yararlanarak tampon, tekerlek jantı, jant kapakları, kayış kasnakları, kapı panelleri ve koltuk çerçevesi gibi otomobil parçaları imal edilmektedir [4].

Bu çalışmada, yapıların en çok dikkat edilmesi gereken bölgeleri olan kaynaklı bölgeler ele alınmış S355J2 kalite genel yapı çeliğinin ve bu çeliğin ısıtılma işlemi ile elde edilen çift-fazlı malzemenin farklı tozaltı kaynak telleri ile kaynatılmasının kaynak kabiliyetine etkisi incelenmiştir.

BÖLÜM 2

ÇELİKLER

Çelik, malzemeler içinde en fazla kullanılandır. Öyle ki, kullanılan çelik miktarı diğer bütün mühendislik malzemeleri mertebesinde veya daha fazladır. 18. y.y'da sanayi devrinin başlamasına hem doğrudan, hem de dolaylı olarak çelik sanayi ön ayak olmuştur. Yaklaşık son iki yüzyıl demir-çelik devri olarak nitelendirilebilir.

Çeliklerde karbon oranı % 0,02 ila % 2 arasında değişmektedir. Çeliklerde karbon oranı yükseldikçe iç yapıda yumuşak ferrit fazının yanında sert ve gevrek olan demir-karbür fazının miktarı artar. Bu sebepten dolayı şekil değiştirme zorlaşır. Az karbonlu çeliklerde dayanım düşük, yüksek karbonlu çeliklerde ise dayanım yüksektir [5].

Genel anlamda çelikler içerdikleri karbon oranına göre üç kısma ayrılır:

1. Düşük Karbonlu Çelikler: % 0,25'e kadar karbon içerirler. Bu çelikler soğuk şekillendirmeye ve kaynak edilmeye elverişlidir
2. Orta Karbonlu Çelikler: İçerdikleri karbon miktarı % 0,25 ila % 0,55 arasındadır. Bu çeliklerin yapı ve özellikleri büyük ölçüde değiştirilebilir. Kaynak olma özellikleri yüksektir. Orta karbonlu çelikler; mil, tel, dingil, ray, ray tekeri, silindir yapımında ve özellikle otomasyon sektöründe kullanılırlar
3. Yüksek Karbonlu Çelikler: Karbon miktarı % 0,55 ila % 2 arasındadır. Yüksek dayanım gerektiren yerlerde kullanılırlar [5,6].

Diğer yandan %0.8 karbon içeren çelikler ötektoid çelik adını alır ve bunun nedeni, bu bileşimdeki östenitin yavaşça ötektoid sıcaklığın altına soğutulması halinde tamamı α ferrit ve sementitten oluşan bir yapının meydana gelmesidir. Çeliğin

%0.8'den az karbonu olması halinde ötektoid altı çelik, %0.8'den fazla karbonlu olması halinde ötektoid üstü çelik adını alır [6].

2.1. GENEL YAPI ÇELİKLERİ

Çekme dayanımına göre ifade edilen yapı çelikleri, öncelikli olarak çekme gerilmeleri ve akma sınırı değerleri dikkate alınan, çelik konstrüksiyon, köprü yapımı, stadyum, alışveriş merkezleri, ofis binaları, basınçlı kap ve donanımları, taşıt imalatı ve makine konstrüksiyonlarında kullanılmak üzere tercih edilir. Bu çelikler genellikle alaşımsız çelik olarak tanımlanır, mekanik özellikler daha çok karbon miktarına bağlıdır. Fakat azot ve fosfor gibi elementler başta olmak üzere, üretim hammaddelerinden ve üretim şekillerinden kaynaklanan mangan, silisyum, bakır ve kükürt elementleri de oldukça etkilidir. Genel yapı çelikleri kalite gruplarına göre sınıflandırılırlar. Standartlarda yapılan yeni düzenlemeler sonucunda;

1. Birinci kalite grubuna yalnızca S185 çeliği verilmektedir. S185 çeliğinde kimyasal analiz değerleri verilmez, üretim yöntemi ve döküm tarzı serbest bırakılmıştır. Denilebilir ki; 1. kalite grubundaki çelikler itinalı şekilde ergitilmezler.
2. İkinci grubundaki çelikler, en fazla %0,050 P ve %0,050 S içerirler ve daha çok kaynak konstrüksiyonlarında tercih edilirler. Silisyum ve mangan miktarı da belirlenmiştir. S235 çeliği kaynar, sakin dökülmüş veya yarı sakin dökülmüş olarak dökülebilir. S275, S355, E335 ve E360 çelikleri mutlaka sakin ya da yarı sakin dökülürler.
3. Üçüncü kalite grubundaki çelikler yaşlanmaya dayanıklı ve ince taneli çelik olarak, özellikle sakinleştirilerek dökülürler. Fosfor ve kükürt miktarları %0,040 ile sınırlandırılmıştır. Genellikle 0,020 Al ile deokside edilirler.

Genel yapı çeliklerinin talaşlı şekillendirilmesinde, ağırlıklı olarak daha çok normal tavlı veya soğuk şekillendirilmiş malzeme tercih edilmelidir. Normal tavlama ve yaklaşık 600 - 650 °C sıcaklığında uygulanan gerilim giderme tavlama dışında, genel yapı çeliklerine ısı işlem uygulanmaz. Bunun nedeni, yapı içerisinde

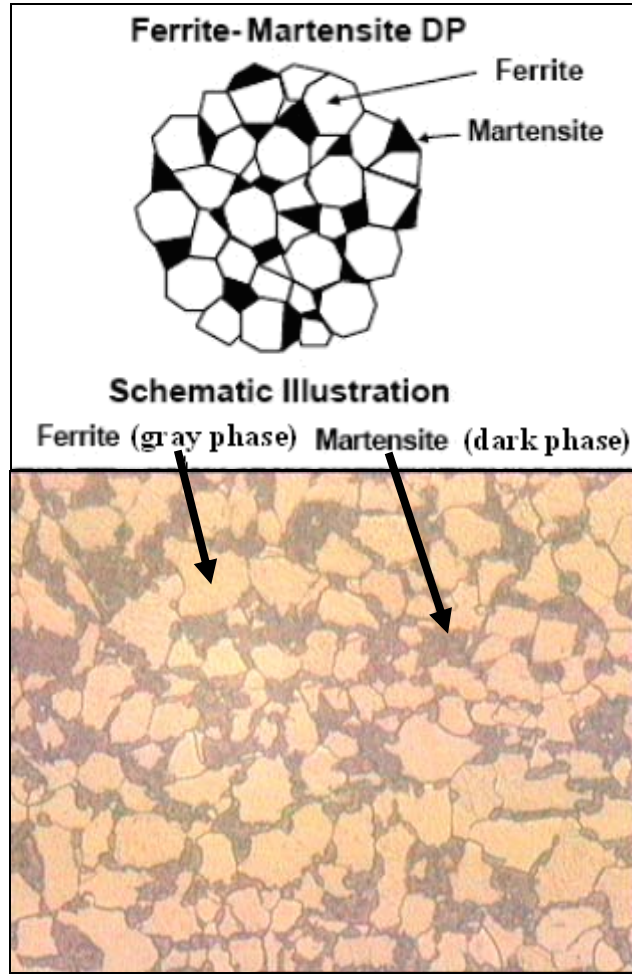
istenmeyen elementlerin fazla oluşu; bunun neticesinde oluşan kuvvetli çökelmeler ve sertleştirme çatlaklarıdır [7].

2.2. ÇİFT-FAZLI ÇELİKLER

Ülkemizde ve dünyada bol miktarda üretilmekte olan yapı çelikleri diğer çelik türlerine göre daha ucuzdur. Yapı çeliklerine ısıtma işlemleriyle çift-fazlı mikroyapı kazandırarak malzeme tasarrufu ve imalat tekniği açısından önemli avantajlar sağlanmaktadır. Yapısında ferrit ve martenzit fazlarını bulunduran çift-fazlı çelikler ferritten dolayı yüksek sünekliğe ve martenzit nedeniyle de yüksek mukavemete sahiptir [8].

Çift-fazlı çelik kavramı, 1937 yılında Grabe'nin, yeni bir yatak malzemesinin üretimi için % 0,25 karbonlu bir çeliği kritik sıcaklıklar arasındaki bölgeden soğutması sonucunda çift-fazlı yapıyı elde etmesi ve patent almasıyla tanınmıştır. Grabe'nin ardından Herres ve Lorig, çift-fazlı çelik üretimini kısmi östenitleştirme işlemi olarak nitelemiş bu işlemin yüksek alaşımlı östenit adalarının oluşumuna ve ardından martenzit oluşumuna yol açtığını 1947 yılında söylemişlerdir. 1960'larda ise Davies tarafından yapılan kalay kaplamalarda çift-fazlı şerit yapının geliştirilmesi bu alandaki ilk ciddi çalışmalar sayılmaktadır. 1970'lere kadar çok az sayıda araştırmacının ilgisini çeken çift-fazlı çelikler, bu yıldan sonra özellikle yaşanan ekonomik darboğazların ardından bilim adamlarının otomotiv endüstrisine sunduğu alternatif çözümler olarak üzerinde etraflıca çalışılan bir alan olmuştur. Tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon, kapı panelleri, şasi gibi presle biçimlendirilen otomobil parçaları ve bazı bağlantı elemanları yapımında kullanılan çift-fazlı çelikler, 1980 yılından sonra ticari olarak büyük tonajlarda üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde ticari olarak çift-fazlı çelik üreten ülkeler üretimlerini genellikle sürekli tavlama hatlarında yapmaktadırlar. Çift-fazlı çelik yapısı esas olarak, söz konusu çeliklerin Fe-Fe₃C faz diyagramında A1-A3 sıcaklık aralığında (ferrit-östenit bölgesinden) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bir süre tutulup östenitin martenzite dönüşebileceği hızlarda soğutulmasıyla üretilirler [9].

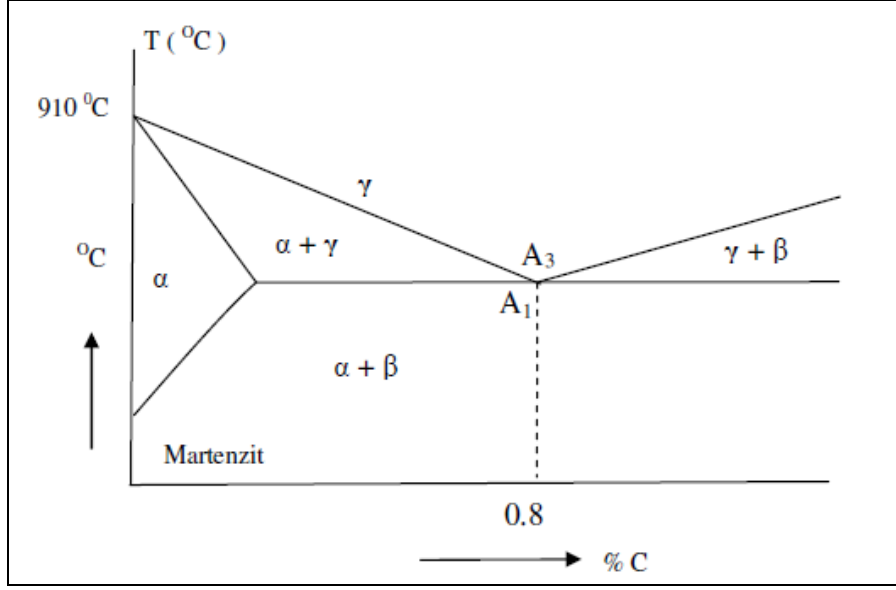
Çift-fazlı çelikler yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerin bir çeşididir. Mikroyapılarında, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, ferrit matris içinde adacıklar şeklinde martenzit fazı içermektedirler. Ayrıca soğuma hızına bağlı olarak çift-faz mikroyapısında ferrit ve martenzitin yanı sıra arzu edilmeyen beynit, perlit ve kalıntı östenit fazları da bulunmakla birlikte bu yapıların oluşumu mümkün olduğunca önlenmeye çalışılır [4].



Şekil 2.1 Çift-fazlı çeliğin mikroyapısı [10, 11].

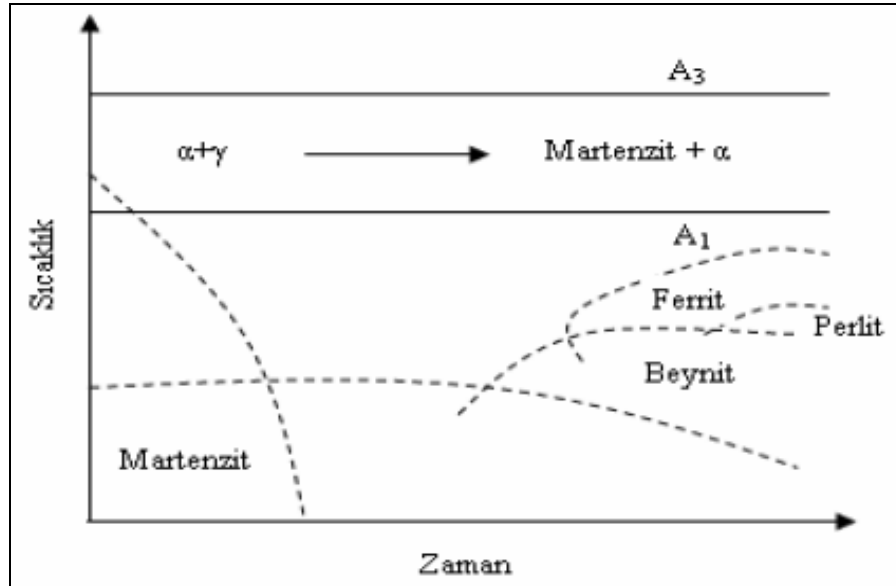
2.2.1. Çift-Fazlı Çeliklerin Isıl İşlemi

Çift-fazlı çelikler esas olarak, az alaşımlı veya alaşımsız az karbonlu çeliklerin Fe-C faz diyagramındaki A1-A3 sıcaklık aralığında (ferrit + östenit bölgesinde) bir süre tutulup, bu sıcaklıkta ferrit ile birlikte bulunan östenitin uygun hızdaki soğutma ile martenzite dönüşmesiyle üretilirler (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Fe – C faz diyagramı [12].

Çeliklerde çift-faz mikroyapısı, Şekil 2.3’de şematik olarak gösterildiği gibi, A_1 - A_3 kritik sıcaklık arasında ısıtılmayı izleyen, çeliğin sertleşme kabiliyetine bağlı olarak, uygun bir hızda soğutulmasıyla elde edilir.



Şekil 2.3. Çift-faz mikroyapısının elde edilşinin şematik izahı [12].

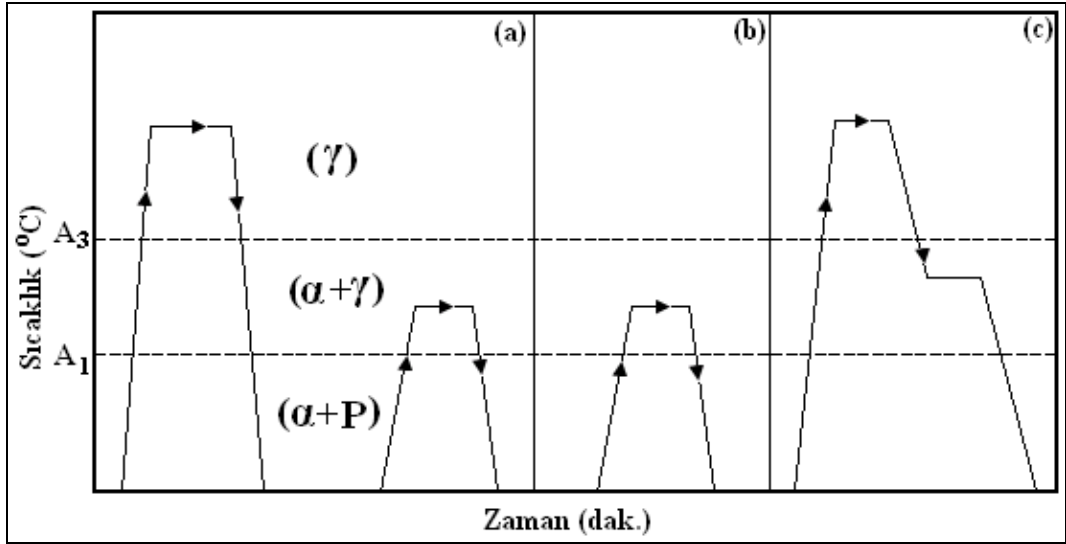
Kritik sıcaklıklar arasında oluşan östenitin, perlit veya beynite dönüşmeden, martenzit yapısının ortaya çıkmasına izin verecek şekilde soğutma hızı seçilir.

Martenzit dönüşümü olurken de östenitin bir kısmı kalıntı östenit olarak dönüşmeden kalır. Elde edilen mikroyapıda östenit, martenzit ve ferrit bulunur. Çift-fazlı çelik mikroyapısının ferrit ve martenzitten meydana geldiği kabul edilmektedir. Genellikle az karbonlu olarak üretilen bu çeliklerde ferrit ve martenzitin yanı sıra mikroyapıda perlit, beynit, sementit ve kalıntı östenit de bulunabilir [12].

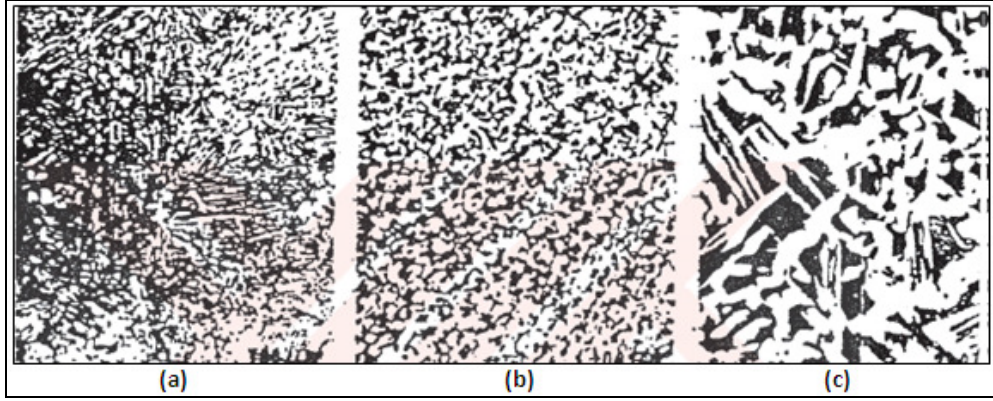
Çift-fazlı çeliklerin mikroyapıları dönüşüm yoluna bağlı olduğundan, değişik ısı işlemlerle elde edilen mikroyapılar arasında önemli farklar mevcuttur. Çift-faz elde etmek için uygulanan başlıca ısı işlemler;

1. Ara su verme,
2. Kritik sıcaklıklar arası bölgede ($\alpha+\gamma$) tavlama,
3. Kademeli (basamaklı) su verme

olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Şekil 2.4’de bahsedilen aşamaların şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.4. Çift-faz ısı işlemleri için sıcaklık aralıklarının şematik olarak gösterimi, a) Ara su verme b) Kritik sıcaklıklar arası bölgede tavlama c) Kademeli (basamaklı) su verme [9].



Şekil 2.5. Farklı çift-faz ısıtım teknikleri sonucu elde edilen mikroyapılar, a) Ara su verme b) Kritik sıcaklıklar arası bölgede tavlama c) Kademeli (basamaklı) su verme [9].

Şekil 2.5 (a)'da görülen ara su verme işleminde östenit bölgesinden su verilmiş malzemenin tekrar iki fazlı bölgeye ısıtılması, primer martenzit dilim sınırları boyunca östenitin çekirdeklenmesine neden olur. Bu işlem sonucu lifli martenzit, ferrit matris içerisinde dağılmaktadır.

Şekil 2.5 (b)'de $\alpha+\gamma$ bölgesinde tavlama işleminde malzemenin başlangıç mikroyapısı ötektoidaltı ferrit ve perlitten oluşmaktadır. İkili bölgede tavlama ile oluşan östenit, ferrit-sementit (karbür) ara yüzeyinde çekirdeklenir ve büyür. Su verildikten sonra mikroyapı, ferrit sınırları boyunca ince küresel martenzitten oluşmaktadır.

Şekil 2.5 (c)'de görülen kademeli su verme işleminden önce östenitleme yapılır, sonra $\alpha+\gamma$ bölgesine malzeme soğutulur. Sıcaklık iki fazlı bölgeye düşüncü ferrit, primer östenit tane sınırları boyunca çekirdeklenir ve büyür. Ferrit (α) ve östenitten (γ) oluşan yapı hızla soğutulduğunda ferrit yapı tarafından çevrelenmiş kaba martenzit parçacıkları meydana gelmektedir [9].

Yukarıda değinilen farklı ısıtım yöntemleriyle üretilen çift-fazlı çeliklerin mekanik özellikleri, mikroyapılarından dolayı birbirlerinden oldukça farklıdır. Aynı martenzit hacim oranına sahip, ara su verme ile üretilmiş yapının homojen ve toplam birim şekil değışimi değeri, kademeli su verme ile üretilmiş yapının homojen ve toplam birim şekil değışimi değeriyle daha yüksektir. Kademeli su verme ile

üretilem çift-fazlı yapının, diğere metotlarla üretilem çift-fazlı yapılardan daha düşük süneklige sahip olması, deformasyonun erken aşamalarında çatlak oluşması ve hızla ilerlemesinden kaynaklanmaktadır [13].

2.2.2. Çift-Fazlı Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Çift-fazlı çeliklerin klasik düşük karbonlu çeliklere olan üstünlüğü mekanik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çift-fazlı çeliklerin mekanik davranışları; mikroyapıyı oluşturan fazların hacim oranlarından, martenzit fazının morfolojisinden, fazların ayrı ayrı süneklilik ve mukavemet değerlerinden, fazların tane boyutu ve fazların tanecikleri arasındaki uzaklıklardan etkilenmektedir.

Çift-fazlı çelikler, sürekli akma davranışı, düşük akma mukavemeti, yüksek pekleşme hızı ve yüksek toplam birim şekil değiştirme gibi tipik mekanik özelliklere sahiptirler [14].

2.2.2.1. Çift-Fazlı Çeliklerin Akma ve Pekleşme Davranışı

Çift-fazlı çelikler genel olarak sabit bir akma noktası göstermeyip sürekli akış sergilemektedirler. Ferritteki yüksek hareketli dislokasyon yoğunluğu ile yüksek gerilmelerin kombinasyonu düşük plastik şekil değiştirmelerde bile plastik akmanın kolaylıkla oluşmasına neden olur. Sonuç olarak, ferritin etrafındaki birçok bölgede akma görülür (Şekil 3.19). Çift-fazlı çeliklerin sürekli akma davranışı göstermelerini östenit martenzite dönüşürken oluşan % 2-4 arasındaki hacim genişemesinin ferrit fazında neden olduğu mobil dislokasyonlar olduğu düşünülmektedir [14].

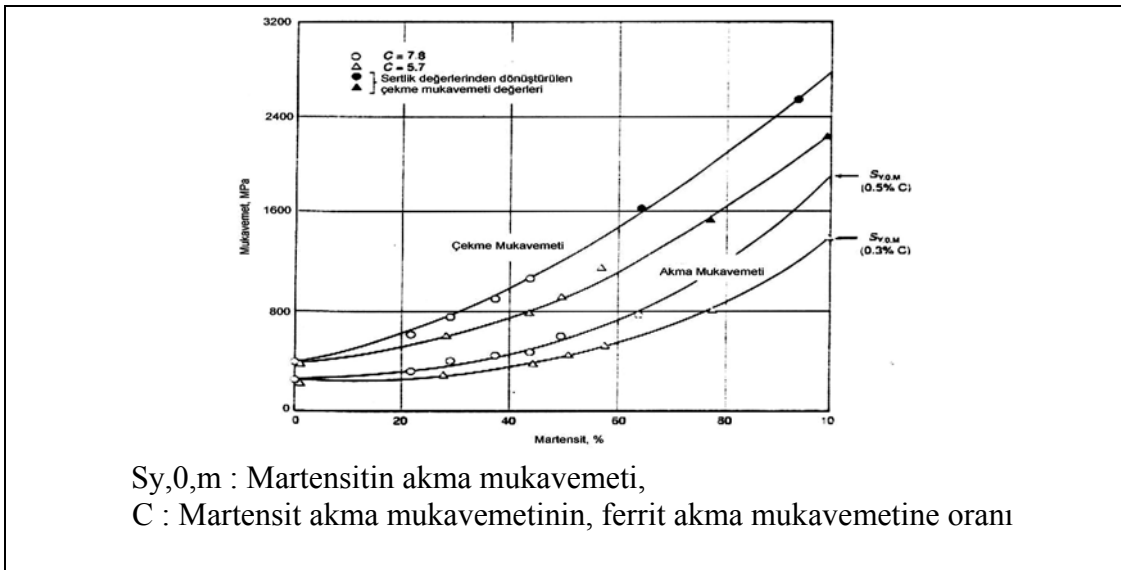
Deformasyon sertleşmesi olayı bir kaç kademede açıklanabilir. İlk safada % 0,1-0,5 birim şekil değişimi değerleri arasında hızlı bir deformasyon yaşanması görünür. Bu durum kalıntı gerilmenin ortadan kalkması ve iki fazın plastik uyumsuzluklarından kaynaklanan hızlı bir birim şekil değişimi oluşması ile açıklanabilir. İkinci safhada da % 0,5-4 birim şekil değişimi değerleri arasında kalıntı östenitin dönüşümü gerçekleşir. Son safada olan % 4-18 birim şekil değişiminde ise dislokasyon

hücrelerinin oluşumu ve dinamik toparlanma ve çapraz kayma (martenzitin akması) daha fazla miktarda ferrit içerisinde deformasyona sebep olur.

Çift-fazlı çeliklerde özellikle ilk safhadaki deformasyon sertleşmesi davranışı çok karmaşıktır. Buna rağmen, aynı mukavemet değerine sahip yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerle karşılaştırıldığında yüksek miktarda bir ilk deformasyon verildiğinde deformasyon sertleşmesi sayesinde iyi bir şekillendirilebilme kabiliyeti kazandırılabilir. Buna ek olarak çift-fazlı çeliklerde akma noktasının olmayışı lüder bandları oluşumunu engeller. Bu sayede şekillendirmeden sonra yüzey düzgün olur [13].

2.2.2.2. Akma ve Çekme Mukavemeti

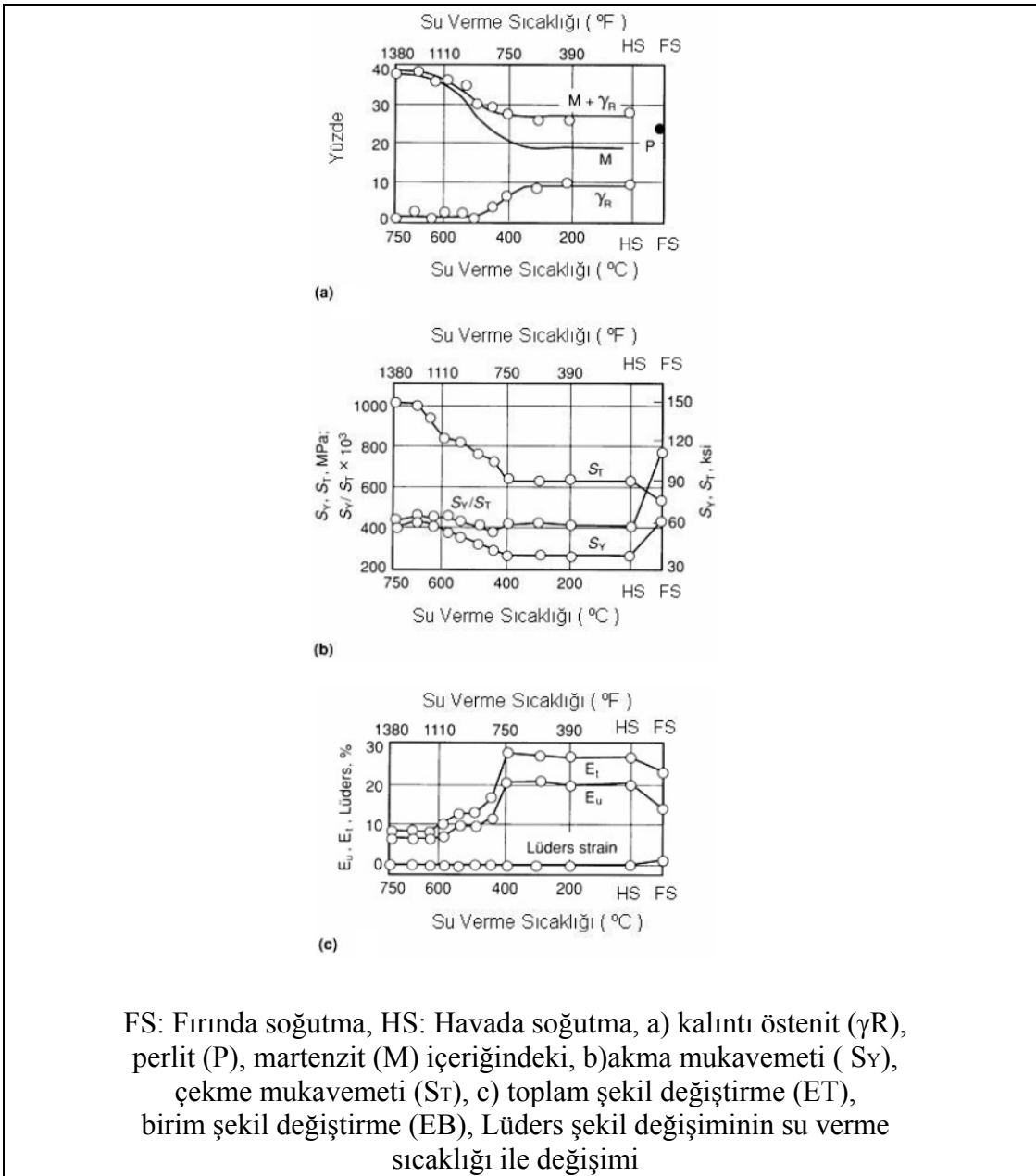
Çift-fazlı çeliklerde kompozit teorisine uygun olarak akma ve çekme mukavemeti sert ve mukavemetli faz olan martenzitin mikroyapıdaki faz yüzdesinin artması veya martenzit fazının sertliğinin artması ile artar. Martenzit fazının mukavemetinin temel artış nedeni olan karbon içeriği, çeliğin orijinal karbon yüzdesi ve interkritik tavlama şartlarına bağlıdır. Özellikle % 1,5 manganlı çelikler bu teoriyi desteklemektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. % 1,5 Mn çeliğinde ferrit-martenzit oranına göre akma ve çekme mukavemetleri [15].

Aynı zamanda matris fazı olan ferrit fazının mukavemetinin artışında çeliğin mukavemetinin artışına sebep olur. Ferrit fazının mukavemetinin artışında temel olarak fazın tane boyutunun küçültülmesi ve katı eriyik sertleşmesi ile çökelen alaşım elementleri neden olur. Sonuç olarak çift-fazlı çeliklerin mukavemet artışının kontrolü için karmaşık modeller ve sürekli mekanik etkilere ihtiyaç vardır [13].

2.2.2.3. Süneklik

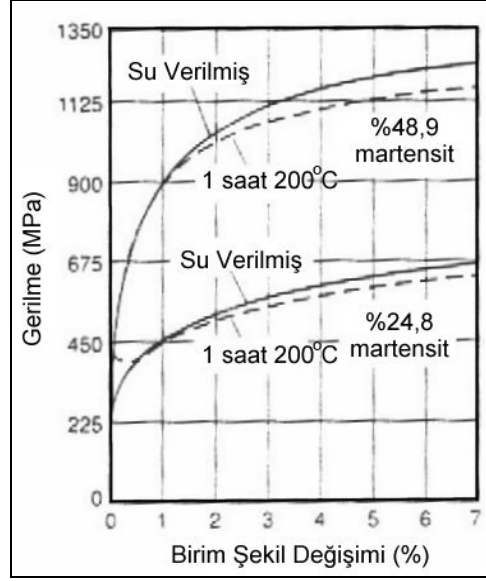


Şekil 2.7. 750 °C'den farklı sıcaklıklarda su verilmiş 0,1 C - 0,2 Si - 2 Mn çeliğinde seçilen özelliklerin değişimi [14].

Çift-fazlı çeliklerin gelişmiş sünekliği, ferritin düşük karbon içeriği, martenzit fazının plastiklik özelliği, yeni (eş eksenli) ferritin ve kalıntı östenitin miktarı gibi birçok nedene dayandırılabilir. Bu nedenlerden herhangi birisinin tek başına etkisini izole olarak tespit edebilmek oldukça zordur. Bununla birlikte bu faktörlerden kalıntı östenit daha fazla kabul görmektedir. Kritik tavlama adımının kontrolü ile kalıntı östenit miktarının artırılması halinde sünekliğin maksimum değere ulaştığı görülmüştür (Şekil 2.7.) [14].

2.2.2.4. Temperleme ve Deformasyon Yaşlanması

Sürekli tavalanma prosesinde yeni gelişmeler sayesinde, yüksek mukavemetli fırın sertleşmesine uygun çift-fazlı çeliklerin üretilmesi mümkün olmaktadır [13]. Su verilmiş çift-fazlı çelik sacların temperlenmesi sıcak daldırma ile galvanizleme sırasında veya boya pişirme sırasında yapılabilir. Boya pişirme sırasında, sac önceden deforme edilmiş olduğundan, deformasyon yaşlanması oluşabilir. Üretim hattında temperleme aşırı temperlenmeyi önlemek için uygulanabilir. Bu tür bir temperleme işleminde, her iki faz da farklı davranışlar gösterir. Yüksek karbon içeren martenzit fazında hatalı yapının toparlanması, karbürlerin çökmesi ve kalıntı östenitin dönüşümü beklenir. Ferrit fazında ise, dislokasyonlarda karbonun segregasyonu olması ve karbürlerin çökmesi beklenir. İki fazın bir arada bulunması nedeniyle kalıntı gerilmeler ve ferritte yüksek dislokasyon yoğunluğu mevcuttur. Bu nedenle dislokasyonlarda karbonun segregasyonu olması ve ferritin hacimsel büzülmesi nedeniyle kalıntı gerilmelerin giderilmesi temperleme işleminde önemlidir. 200 °C civarında yapılan temperlemede, karbonun dislokasyonlarda segregasyonu olması ve kalıntı gerilmelerin yok olması nedeniyle akma mukavemetinde bir artış olur ve eğer çeliğin martenzit içeriği %30'un altında ise süreksiz akmaya geçiş olur (Şekil 2.8). Genel olarak, çift-fazlı çelikler oda sıcaklığında yaşlanmazlar ve 270 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda yavaş bir yaşlanma davranışı gösterirler. Ancak soğuk işlem veya çekme nedeniyle oluşan deformasyon yaşlanma işlemini hızlandırır [15].



Şekil 2.8. 1 Saat süreyle 200 °C'de temperlemenin, farklı oranlarda martenzite sahip % 1,5 Mn içeren % 0,06 ve % 0,20 C çeliklerinin gerilme-birim şekil değişimine etkisi [15].

2.2.3. Çift-Fazlı Çeliklerde Mikroyapının Mekanik Özelliklere Etkisi

Çift-fazlı çelikler genel olarak düşük akma, yüksek çekme dayanımı, pekleşme hızı, yüksek üniform ve toplam uzama gibi çekme özellikleri ile tanımlanmaktadır. Üretildikleri yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler ile karşılaştırıldıklarında benzer çekme dayanımına sahiptirler, üniform ve toplam uzama değerleri ise çok üstün bir düzeydedir. Bu özellikler ile çift-fazlı çelikler YMDA çeliklerine göre iyi şekillendirilebilme ve şekillendirme sonrası yüksek dayanım gibi önemli özelliklere sahiptirler.

Çift-fazlı çeliklerin benzer sınıftaki çeliklerle kıyaslandıklarında sahip oldukları üstün çekme özellikleri, mikroyapılarını oluşturan ferrit ve martenzit fazlarından ileri gelmektedir [16].

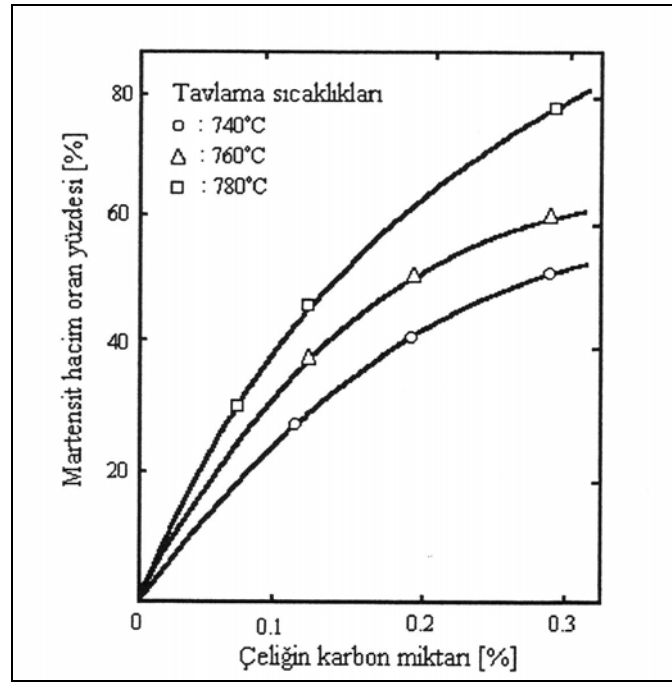
2.2.3.1. Martenzitin Mekanik Özelliklere Etkisi

Çift-fazlı çeliklerin mekanik özelliklerini kontrol eden en önemli mikroyapı bileşeni martenzit fazıdır. Çelik mikroyapısında martenzitin, perlitin yerini alması akma ve

çekme mukavemetini arttırmaktadır. Çift-fazlı çeliklerin mekanik özelliklerini belirleyen en önemli mikroyapı bileşeni olan martenzit hacim oranı aşağıdaki özelliklere bağlıdır;

1. Çeliğin karbon içeriği,
2. Tavlama sıcaklığı,
3. Östenit tanelerinin sertleşme kabiliyeti [12].

Çift-fazlı çeliklerin yapısında bulunan martenzit hacim oranı, çeliğin bileşimindeki karbon miktarının artması ve tavlama sıcaklığının artması ile artmaktadır [13]. Fakat, tavlama sıcaklığının artması, martenzit fazda karbon içeriğinin azalmasına sebep olmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. ($\alpha+\gamma$) Bölgesinde tavllanmış çelikte, karbon miktarının ve tavlama sıcaklığının martenzit hacim oranına etkisi [12].

Martenzit fazının miktarını etkileyen diğer bir değişken, ($\alpha+\gamma$) bölgesinde tavlama ile oluşan östenit tanelerinin sertleşme kabiliyetidir. Bu özellik soğutma hızı ile kontrol edilebilir. Yüksek soğutma hızı ile östenit martenzite dönüşmekte ve artan soğutma hızı ile martenzit miktarı da artmaktadır [12].

2.2.3.2. Ferritin Mekanik Özelliklere Etkisi

Çift-fazlı çeliklerde ferritin kristal boyutu küçüldükçe hem mukavemet hem de süneklik artmaktadır. En uygun çift-faz çelikleri, ferrit tanelerinin eş eksenli ve ferrit tane boyutunun mümkün olduğunca küçük ($<5\mu\text{m}$) tutulması ile sağlanmaktadır [12]. Fakat bazı çift-fazlı çeliklerin kompozisyonlarından dolayı düşük dönüşüm sıcaklığı sonucu oluşan iğnesel ferrit, çeliğin mukavemetini arttırırken sünekliğin düşmesine sebep olur. Ayrıca akma mukavemeti, ferritin tane boyutuna bağlıdır. Çift-fazlı çelikler için ferrit tane boyunun küçültülmesi, optimum özelliklerin eldesi için çok önemlidir. Fakat tane boyutunun küçülmesi geçiş sıcaklığının düşüşüne sebep olmaktadır. Ferrit içerisinde bulunan dağılmış karbür ve karbonitrür partiküllerinin bulunması, çeliğin sünekliğinde düşüşe neden olur. Fakat çeliğin bileşiminde bulunan karbür yapıcı elementler çökelme hızını arttırmaktadır. Buna ek olarak da çeliğin sünekliğinin yüksek olması için ferrit fazının temiz olması istenir. Çünkü $\alpha + \gamma$ bölgesinde; soğutma hızının düşük olması durumunda ferrit fazından sementit partiküllerinin çökmesi gerçekleşmektedir [13].

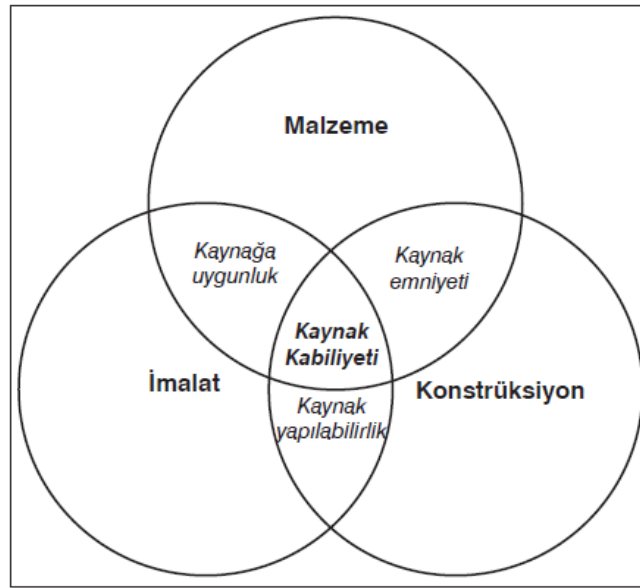
BÖLÜM 3

GENEL YAPI ÇELİKLERİNİN VE ÇİFT-FAZLI ÇELİKLERİN KAYNAĞI

3.1. GENEL YAPI ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI

3.1.1. Genel Yapı Çeliklerinin Kaynak Kabiliyeti

Kaynaklı yapı elemanlarının imalat amacı, mümkün olan en düşük maliyette imal edilmesi, fonksiyonunu tam olarak yerine getirmesi ve işletmede uzun süreli kullanılmasıdır. Metalik malzemeden bir yapı elemanın kaynak prosesinde, belirli bir kaynak yönteminin kullanıldığı uygun bir imalat sürecinde, maddelerin kaynakla birleştirilmesi söz konusudur. Burada kaynak bölgesinin yerel özelliklerinin ve birleştirilen parçaların tüm konstrüksiyona etkilerinin, önceden belirlenmiş koşulları sağlaması gerekir. Kaynak kabiliyeti, üç temel faktöre, malzeme, konstrüksiyon ve imalata aynı ağırlıkla bağlıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kaynak kabiliyetinin temel faktörler ve özelliklerle ilişkisi [17].

Kaynak kabiliyeti ile bu temel faktörler arasında, aşağıdaki üç özellik yer alır;

1. Malzemelerin kaynağa uygunluğu
2. Konstrüksiyonun kaynak emniyeti
3. İmalatın kaynak yapılabilirliği.

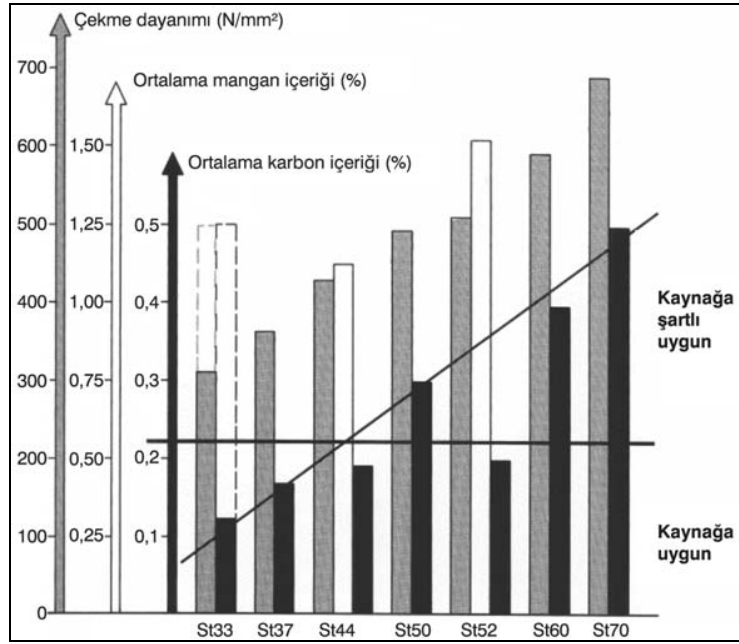
Bu özelliklerin her biri, kendi içinde malzemeye, konstrüksiyona ve imalata bağlı olmasına rağmen ağırlıkları birbirinden farklıdır. Bir malzeme, eğer belirli bir konstrüksiyon ve imalat şeklindeki özellikleri, kendisinden beklenen her talebe uygun bir kaynak kalitesine ulaşabiliyorsa, o malzeme kaynağa uygun demektir. Bir konstrüksiyon, eğer belirli malzeme ve imalat yöntemleri ile oluşturulduktan sonra, önceden tespit edilmiş işletme şartları altında kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirebiliyorsa, kaynak emniyetine sahip demektir. Bir kaynaklı imalat, belirli malzemelerden oluşturulmuş bir konstrüksiyon halinde, önceden tespit edilmiş imalat şartları altında, kolayca imal edilebiliyorsa, kaynak yapılabilirliğe sahip demektir [17]. Çizelge 3.1’de yukarıda sayılan faktörler bir arada verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler [17].

Malzeme (Kaynağa uygunluk)	Kimyasal bileşim	Sertleşme eğilimi Yaşlanma Gevrek kırılma Sıcak çatlama Kaynak metali karışım oranı
	Metalurjik özellikler	Segregasyon Kalıçıklar Tane büyüklüğü İçyapı Anizotropi
	Fiziksel özellikler	Genleşme özelliği Isıl iletkenlik Erime sıcaklığı Mukavemet Tokluk
Konstrüksiyon (Kaynak emniyeti)	Konstrüktif şekillendirme	Kuvvet hatlarının akışı Dikişlerin konumu Parça kalınlığı Çentik etkisi Rijitlik farklılıkları
	Gerilme durumu	Gerilmelerin tür ve şiddeti Gerilmelerin eksen sayısı Zorlanma hızı Sıcaklık Korozyon
İmalat (Kaynak yapılabilirlik)	Kaynağa hazırlık	Kaynak yöntemi İlave malzemenin türü Birleştirme türü Ağız biçimi Ön tavlama İklim koşulları
	Kaynağın uygulanması	Isı girdisi Isının uygulanışı Kaynak sırası
	Kaynaktan sonraki işlemler	Isıl işlem Taşlama Dekapaj, temizleme

Yapı çeliklerin karbon yüzdesi % 30'dan azdır. Kaynak edilecek kesitlerin 25 mm'den ince olması ve şiddetli bir bağlantı zorlanması altında olmaması şartıyla bu çelikler, ön ve son tavlama ve özel bir tedbir almadan kaynak edilebilirler. Kaynağa uygunluğu iyi olan bu çeliklerde 0 °C civarında veya daha düşük bir sıcaklık altında kaynak yapılırken elin ılık olarak hissedebileceği bir sıcaklık aralığında ön tavlama yapmak gerekebilir. Kaynağa uygunluğu iyi olan çeliklerde, büyük et kalınlıklarında ($t > 20$ mm) örneğin S 355 ve aynı kalitede çeliklerde 20 ile 150 °C arasında ön ısıtma yapmak gerekebilir [18].

Şekil 3.2'de, kaynaklı imalatta kullanılan yapı çeliklerinin kaynağa uygunluğu gösterilmiştir [17].



Şekil 3.2. Genel yapı çeliklerinin kaynağa uygunluğu [17].

3.1.1.1. Karbon Eşdeğeri

Sertlik artışına etki eden en önemli faktör, ana metalin kimyasal bileşimidir. Alaşım sız çeliklerin sertleşme kabiliyetleri üzerinde oldukça etkin olan başlıca elementler C ve Mn'dır. Az alaşımlı çeliklerde ise Cr, Mo, V ve Mn gibi alaşım elementleri düşük C oranlarında bile kaynak sonrası ITAB bölgesinde sertlik artışına neden olurlar. Kaynak sırasında 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 eşdeğer sertliği sağlayacak C miktarı saptanmıştır. Bu şekilde saptanan ve çeliğin bileşimindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliği veren C miktarına karbon eşdeğeri (C_{eş}) adı verilmiştir. Günümüze kadar bu konuda birçok çalışma yapılmış ve oldukça fazla sayıda karbon eşdeğeri formülü geliştirilmiştir. Ancak, bunlardan en yaygın olarak kullanılanı Uluslararası Kaynak Enstitüsü Kaynak Kabiliyeti Komisyonuna (IIW) göre düzenlenmiş olan formüldür [18].

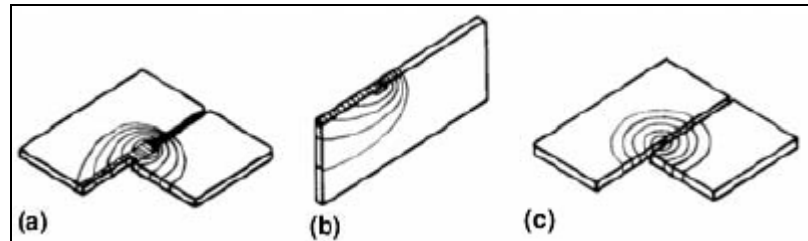
$$C_{eş} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (3.1)$$

3.1.2. Kaynakta Isı Girdisi

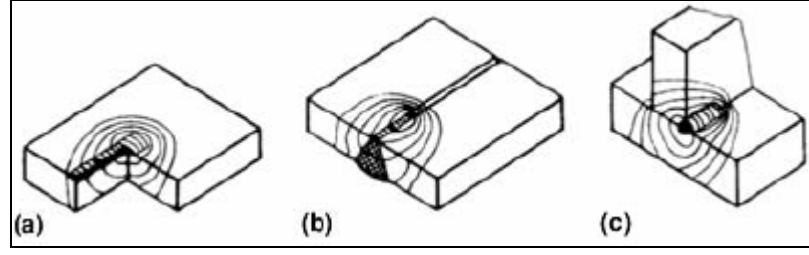
Kaynak işlemi, genel ısıl işlemlerden aşağıdaki bakımlardan ayrılır:

1. Yüksek ısınma hızı
2. Kısa tutma süresinde maksimum sıcaklık
3. Yüksek soğuma hızı.

Güç yoğunluğuna, kaynak hızına ve malzeme türüne göre maksimum sıcaklık yüksek veya daha düşük ve esas malzemenin sıcaklığına düşüş hızlı veya yavaş olabilir. Bu davranışlar, kaynak bölgesindeki eşsıcaklık eğrileri ile gösterilebilir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4, sabit tutulan bir tx sıcaklığı için sıcaklık alanlarını göstermektedir.

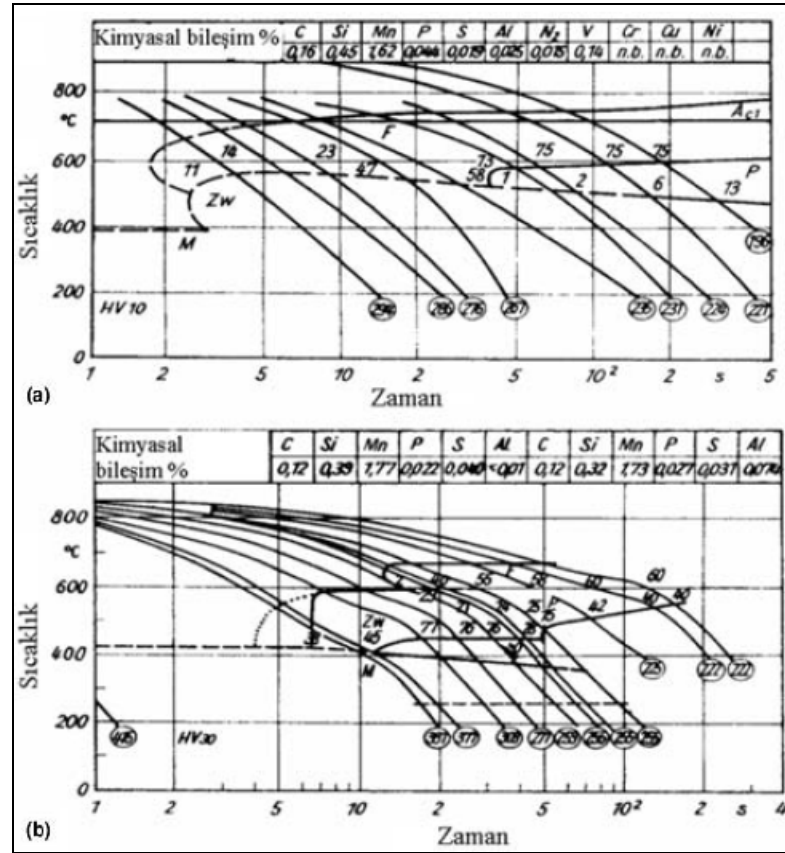


Şekil 3.3. Kaynaklı imalatta en çok rastlanan durumlar için eşsıcaklık eğrileri (kaynakta düzlemsel sıcaklık alan örnekleri) a) İnce saçlarda alın kaynağı, b) İnce bir sacın kenarında, kaynak, c) İnce saçlar arasındaki birleştirme kaynağı [17].



Şekil 3.4. Kaynaklı imalatta en çok rastlanan durumlar için eşsıcaklık eğrileri (Kaynakta hacimsel sıcaklık alan örnekleri) a) Kalın bir levha üzerinde bir dikiş kaynağı, b) Bir V-dikişin kök bölgesinde sonraki paso, c) Kalın levhalar arasında iç köşe kaynağı [17].

Esas metalin, kaynak metalinin ısısının tesiri altındaki bölgesindeki (ITAB) sıcaklık dağılımının ve soğuma hızının bilinmesi halinde, kaynaktan sonra bu bölgede meydana gelebilecek iç yapının tespiti mümkün olabilmektedir. Bu amaçla Kaynak-ZSD diyagramları kullanılır. Şekil 3.5’de H60 çeliğinin ZSD diyagramı ve Kaynak-ZSD diyagramı karşılaştırılmalı olarak verilmiştir [17].



Şekil 3.5. H60 çeliği için a) ZSD ve b) Kaynak-ZSD diyagramlarının karşılaştırılması [17].

3.1.3. Kaynak Bölgesinin Yapısı

Kaynak yapılan bir parçada kaynak bölgesini ergime bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) olmak üzere iki bölümde incelenebilir.

3.1.3.1. Ergime Bölgesi

Ergime bölgesi, kaynak anında oluşan ısının etkisi ile ergiyen ve kaynaktan sonra katılaştıran bölgedir. Isının tesiri altında kalan bölgeden, ergime çizgisi adını verilen ergimiş ve ergimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır bir kaynak bağlantısından çıkartılarak dağlanan ve parlatılan enine kesit üzerinde çıplak gözle dahi kolayca izlenebilir [19].

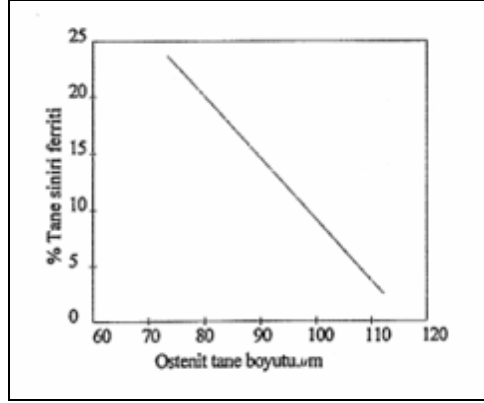
3.1.3.2. Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)

Ergime çizgisinin esas metal tarafında, kaynak sırasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısı çevrimlerinden etkilenmiş ve dolayısıyla iç yapı değişimine uğrayan bir bölge vardır. Bu bölgeye, ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) adı verilir.

Isı tesiri altında kalan bölge kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi anında sıcaklığın iç yapıyı, dolayısıyla metalin özelliklerini etkilediği bölgedir [19].

3.1.3.3. İnküzyonların Tesiri

Tane boyutu östenitin faz dönüşümünde etkili olmaktadır. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi östenit tane boyutu küçüldükçe tane sınırı ferrit faz oranı artar. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırı uzunluğu arttığından, ferrit çekirdek ihtimali arttığından ferrit oranı artmaktadır. Kaynak metali oksijen oranı çok az olduğu zaman (200-300 ppm) asüküler ferrit yerine beynit ve ferrit kenar levhalarının hacim oranı artmaktadır. Oksijen oranı azaldığında inküzyon hacim oranı azaldığından asüküler ferrit çekirdeklenmesi gerçekleşmemektedir [20].



Şekil 3.6. Östenit tane boyutuna bağlı olarak tane sınırı ferrit oranı değişimi [20].

3.2. ÇİFT-FAZLI ÇELİKLERİN KAYNAĞI

Otomotiv sanayi, gelişen teknolojiyi yakından takip eden ve her türlü gelişmeyi bünyesine adapte edebilme kolaylığına sahip bir endüstridir. Bir otomobilin üretilmesinde binlerce parça kullanılmakta ve yüzlerce farklı tipte işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerden belki de en önemlisi, araç kalitesini % 40 oranında etkileyen, aracın gövdesinin ortaya çıkarıldığı kaynak işlemleridir [4].

Gupta at al., düşük alaşımlı, az karbonlu çelikleri kritik bölgede tavlayarak ve de sıcak haddeye tabi tutarak çift-faz yapı oluşturmuşlardır. Araştırmalarında elde edilen bu çift-fazlı çeliklerin kaynak kabiliyetini incelemiştir. Bu iki çelikte de artan kaynak zamanıyla kopma mukavemetinin arttığı ve en yüksek değerlerine 0,5 sn'de ulaştıkları bildirilmiştir. Bu artış sıcak haddelenerek elde edilen çift-fazın, kritik bölgede tavlayarak elde edilen çift-faza göre daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Mikrosertlik değerlerinde de sıcak haddelenerek elde edilen çift-fazın değerleri daha fazla olduğu bildirilmiştir [21].

Sharma at al., %0,8 C içeren çelikten çift-faz elde etmişler ve çift-fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında eşit kaynak akımlarında, artan kaynak sürelerinde (30, 45, 50 (1çevrim: 0,1sn)) yorulma davranışını incelemiştir. Deney sonucunda artan kaynak süresiyle birlikte ferritin kaba bir hal aldığı ve sertliği arttırdığı bildirilmiştir. Yorulma zamanının arttığı da rapor edilmiştir. Ayrıca artan kaynak sürelerinde mikro

sertliğin arttığı kaynak merkezinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin düştüğü kaydedilmiştir [22].

Ghosh at al., %0,80 C içeren çelikten ürettikleri çift-fazlı çelik numunelerle elektrot gücü kaynak akımı ve kaynak sürelerinin etkilerini incelemişlerdir. Aynı akım ve elektrot kuvveti değerinde artan sürelerle çekme mukavemetinin arttığını belirlemişlerdir. En yüksek çekme dayanımına 75 çevrimde ulaşıldığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde en yüksek dayanıma sahip elektrot kuvvetinin değerinin 650 kg ve en yüksek dayanıma sahip kaynak akım değerinin de 6kA olduğu saptanmıştır [23].

Momoh at al., çift-fazlı çelikleri tozaltı kaynağı ile birleştirmişler, östenitleme sıcaklığında 1 saat bekleterek havada soğutmuşlar ve mekanik mukavemetlerini diğer geleneksel ısıtılmış çeliklerle karşılaştırmışlardır. Isıtılmış çeliklerin, geleneksel ısıtılmış çeliklere göre çekme mukavemetlerinin ve mikrosertlik değerlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Çekme testlerinde sürekli akma görmüşler, mikrosertlik değerlerinde ise kaynak metalinin, ITAB ve ana malzeme bölgesine göre daha yüksek değerlerde olduğunu saptamışlardır. Kaynak sonrası ısıtılmış çeliklerin tane yapılarının incelendiğini ve mekanik değerlerin arttığını görmüşlerdir [24].

BÖLÜM 4

TOZALTI KAYNAK YÖNTEMİ

4.1. KAYNAĞIN TARİFİ VE ÖNEMİ

4.1.1. Kaynağın Tarifi

Kaynak tatbik edileceği malzemenin cinsine göre, metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı olarak ele alınır.

Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir.

Aynı veya farklı cinsten termoplastik (sertleşmeyen plastik) malzemeyi ısı ve basınç kullanarak ve aynı cinsten bir plastik ilave malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye, "plastik malzeme kaynağı" adı verilir [25].

4.1.2. Kaynağın Önemi

Parçaların kaynakla birleştirilmesinin öneminin kavranabilmesi için, diğer imal usulleriyle mukayese edilmesi gerekir. Her ne kadar her usulün üstün olduğu sahalar varsa da, birbirine çok yakın oldukları uygulamalar da vardır [25].

4.2. TOZALTI KAYNAĞI

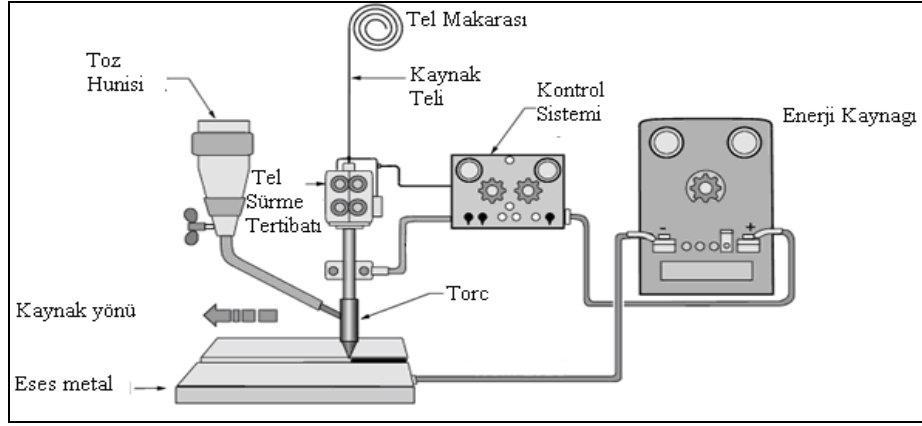
Tozaltı ark kaynağı yöntemi ilk olarak Mc Keesport, Pensilvanya'da kurulan bir boru fabrikası için National Tube firması tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem

borulardaki boyuna dikişlerin kaynağını yapmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu yöntemin patenti 1930'da Robinoff tarafından alınmış ve daha sonra Linde Air Products firmasına satılmıştır. Tozaltı ark kaynağı yöntemi 1930'ların sonlarında ve 1940'ların başlarında savunma yapılanması süresince tersanelerde ve savunma sanayinde kullanılmıştır. Bu yöntem en verimli kaynak yöntemlerinden birisidir ve günümüzde güncelliğini korumaktadır.

Tozaltı kaynağı, 1933 yılından itibaren Amerika'da yayılmaya başlamış. 1937'den itibaren de Avrupa'da uygulama alanı bulmuş ve özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra gelişerek endüstride büyük önem kazanmıştır. Türkiye'de ise likit (sıvılaştırılmış) petrol gazlarının kullanılmaya başlanmasıyla çok miktardaki LPG tüpünü imal etmek için 1960 yıllarında uygulanmaya başlanmıştır. Çelik malzemelerin kaynağı için elverişli olan bu metot gemi inşa sanayinde, kaynaklı boru imalatında, sanayi kazanlarının ve basınçlı kapların imalatlarında, çelik konstrüksiyon imalatında, dolgu kaynağı işlerinde ve metal kaplama işlerinde kullanılmaktadır [26].

Tozaltı kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen elektrot (veya elektrotlar) ile iş parçası arasında oluşan ark (veya arklar) sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Ark bölgesi kaynak tozu tabakası ile kaynak metali ve kaynağa yakın ana metal de eriyen kaynak tozu (curuf) ve kaynak dikişi tarafından korunur. Tozaltı kaynağında elektrik, arktan ve ergimiş metal ile ergimiş curuftan oluşan kaynak banyosundan geçer. Ark ısısı elektrodu, kaynak tozunu ve ana metali eriterek kaynak ağzını dolduran kaynak banyosunu oluşturur. Koruyucu görevi yapan kaynak tozu ayrıca kaynak banyosu ile reaksiyona girerek kaynak metalini deokside eder. Alaşımli çelikleri kaynak yaparken kullanılan kaynak tozlarında, kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu dengeleyen alaşım elementleri bulunabilir. Tozaltı kaynağı otomatik bir kaynak yöntemidir. Bazı tozaltı kaynak uygulamalarında iki veya daha fazla elektrot aynı anda kaynak ağzına sürülebilir. Elektrotlar yan yana (twin arc) kaynak banyosuna sürülebilir veya kaynak banyolarının birbirinden bağımsız katılmasını sağlayacak kadar uzaklıkta, arka arkaya sürülerek yüksek kaynak hızı ve yüksek metal yığıma hızına ulaşılabilir [27].

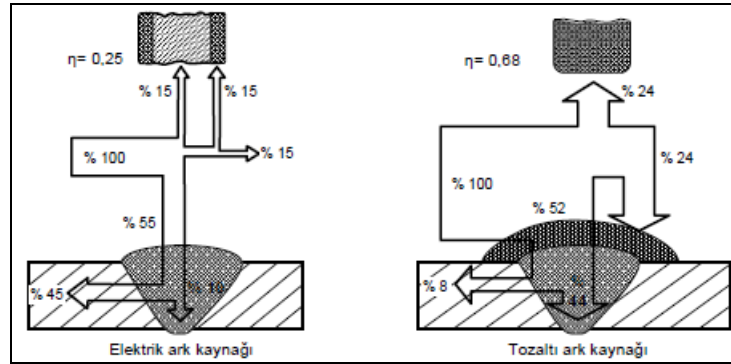
Tozaltı kaynak makinesinin şematik gösterimi Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Tozaltı kaynak makinesinin şematik gösterimi [28].

4.2.1. Tozaltı Kaynağının Çalışma Prensibi

Bu kaynak yönteminde, bir bobinden sağılan kaynak teli bir motorun tahrik ettiği makaralar arasından ve bir temas memesinden geçerek kaynak bölgesine gönderilir. Gerekli akımı temas memesinden alan tel ile iş parçası arasında ark oluşur ve ayrı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri içeren özel bir toz, ark bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korur. Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan arkın sıcaklığından tel ve esas metalin bir bölümü eriyerek istenen birleşmeyi sağlar. Ark, bir toz örtüsü altında bulunduğu için çevreye ışıyım yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin büyük bir bölümü (yaklaşık olarak % 68'i) doğrudan doğruya kaynak için tüketilmiş olur. Bu oran elektrik ark kaynağında %25'dir. Şekil 4.2’de, örtülü elektrot ark ve tozaltı ark kaynak ısı bilançoları verilmiştir [29].



Şekil 4.2. Elektrik ark ve tozaltı ark kaynağında ısı bilançosu [30].

Tozaltı ark kaynağı, otomatik ve yarı-otomatik olmak üzere ikiye ayrılır. Genellikle kullanılan otomatik tozaltı ark kaynağıdır.

Otomatik tozaltı ark kaynağı sisteminde tel besleme makaraları ve kaynak başlığı ark bölgesi yakınlarında birlikte çalıştıklarından büyük çaplı teller ile kaynak yapmak mümkündür. Yarı-otomatik tozaltı ark kaynak sistemlerinde ise, tel besleme makaraları ile kaynak başlığı arasında büyük bir mesafe bulunduğundan, tel çapı nispeten daha düşük tutularak esneklik sağlanır. Hem otomatik hem de yarı-otomatik tozaltı ark kaynak sistemlerinde ark, kaynak tozu ile örtülü olduğundan ergimiş metal banyosunda kaynak esnasında görmek olanaksızdır. Tozaltı ark kaynağında ark tümüyle kaynak tozunun altında gömülü olduğundan çok yüksek kaynak akımlarının uygulanması sıçramaya neden olmaz [28].

4.2.2. Tozaltı Kaynağının Kullanım Alanları

Tozaltı kaynağının başlıca uygulama alanları şunlardır:

1. Kaynak Otomasyon Sistemleri
2. Çelik Konstrüksiyonlar
3. Gemi İnşaatı
4. Kazan, depo, tank (içten ve dıştan kaynaklar)
5. Açık ve kapalı profiller
6. Ağır makine imalatı
7. Boru kaynakları (yuvarlak, boyuna, içten, dıştan, spiral boru kaynakları)
8. Köprü, kreyn, vinç imalatı
9. Metal kaplama
10. Dolgu kaynakları

Tozaltı ark kaynağı düşük karbonlu çelik ($< \%0,3$ C) varil ve pervazların kaynağı için çok uygundur. Ön ısıtma ve kaynak sonrası ısıl işlem uygulamaları ile orta karbonlu çelikler, alaşımlı çelikler, bazı dökme demirler, bakır alaşımları ve nikel alaşımları kaynaklanabilirler [31].

4.2.3. Tozaltı Kaynağı İle Kaynak Edilebilen Metal ve Alaşimleri

Normal yapı çelikleri, hafif alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, bakır ve bakır alaşımları bu yöntemle kaynatılabilirler. Alüminyum için uygun kaynak tozu son zamanlarda geliştirilmiş olmakla beraber henüz ticari uygulaması yoktur. Titanyum için de aynı şeyi söylemek mümkündür. Dökme demirin bu yöntemle soğuk kaynağı mümkün değildir. Yüksek ve orta karbonlu çelikler ile alaşımlı çeliklerin kaynağı da bu yöntemle yapılabilir, ancak uygulamada tercih edilmemektedir. Deneysel olarak bakır alaşımları, nikel alaşımları ve hatta uranyumun kaynağında kullanılmıştır [26].

4.2.4. Tozaltı Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

4.2.4.1. Tozaltı Kaynağının Avantajları

Tozaltı kaynağının avantajlarını şu başlıklar altında toplayabiliriz;

1. Yüksek kaynak gücü ve kaynak hızı
2. Derin nüfuziyet
3. Enerji ekonomisi
4. Elektrot ekonomisi
5. Güvenilir düzgün görünüşlü kaynak dikişi
6. Kaynak dikişi kalitesine kaynakçının bir faktör olarak etkimemesi
7. Yüksek ark kararlılığı
8. Özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaması
9. Sürekli kaynak yapılabilmesi
10. Birden çok tel ile kaynak yapılabilmesi [32,33].

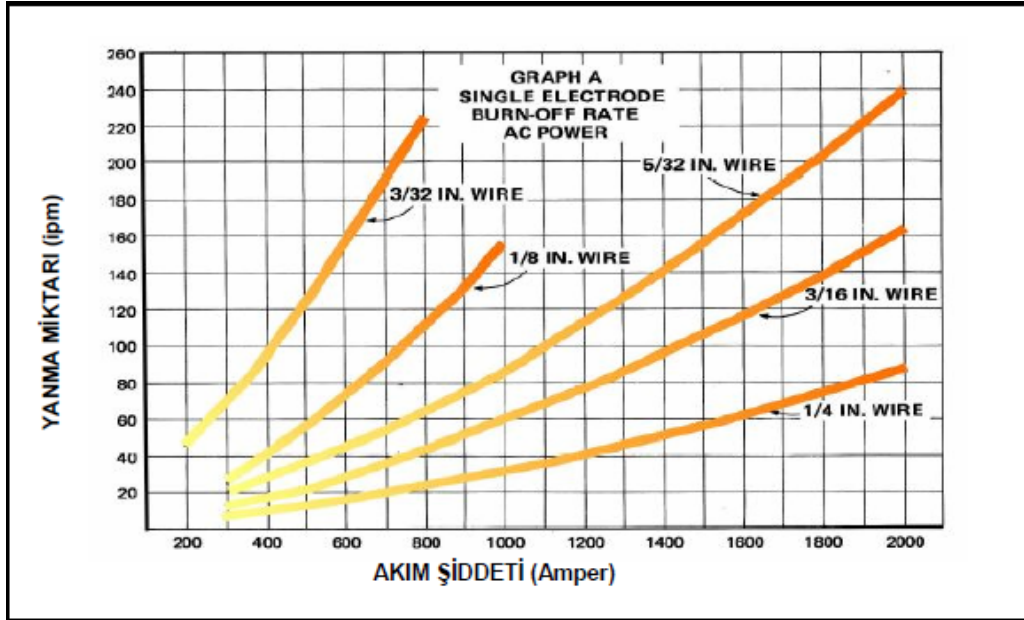
Yüksek Kaynak Gücü ve Kaynak Hızı

Tozaltı kaynak yönteminde 200 ile 5000 Amper arasında akım şiddeti ve 6 ile 300 m/saat arasında kaynak hızları kullanılır. Bu bakımdan, tozaltı kaynak yöntemi alışılmış kaynak yöntemleri ile karşılaştırılamayacak derecede yüksek bir ergime gücü ve kaynak hızına sahiptir [34]. Tozaltı kaynağında tel çapı ve akım şiddetine

bağlı olarak, telin yanma miktarı ve elde edilen dolgu miktarı Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.

Derin Nüfuziyet

Yöntemin derine işleme kabiliyeti iyi olduğundan daha dar ve daha az derin kaynak ağızları kullanılabilir. Bu daha az kaynak malzemesi kullanılması demektir. Kaynak akım şiddetinin yüksek olması nedeni ile bu yöntemde ağız açmadan bir paso ile 18 mm ve ağız açarak da iki paso ile 180 mm kalınlığındaki parçalar rahatlıkla kaynak edilebilir [32].



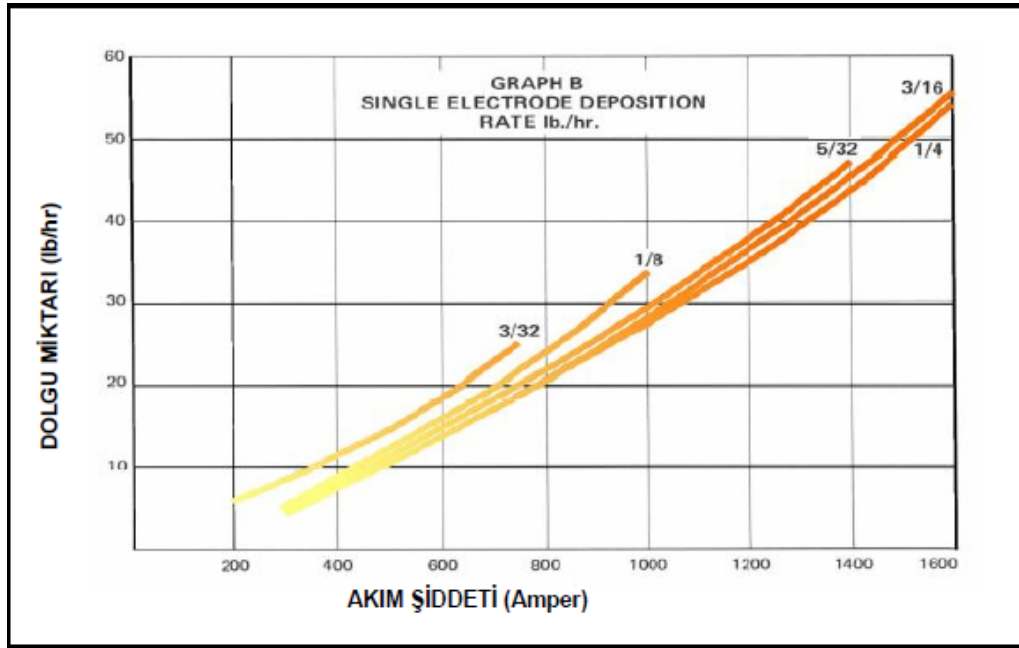
Şekil 4.3. Tozaltı kaynak yönteminde telin yanma miktarı [33].

Enerji Ekonomisi

Tozaltı kaynak yönteminde kaynak yerinin toz tarafından gayet iyi bir şekilde örtülmesi sebebiyle elektrik enerjisi kaybı çok azdır. Örtülü elektrot ile yapılan elektrik ark kaynağında elektrik enerjisinin % 25'i, tozaltı kaynağında ise % 68'i doğrudan kaynak için kullanılmaktadır. Bu nedenle tozaltı kaynak yönteminde büyük bir enerji ekonomisi sağlanmaktadır [34].

Elektrot Ekonomisi

Tozaltı kaynak yönteminde sıçrama kaybının olmayışı ve tel şeklinde elektrot kullanılması, koçan kaybını önlemektedir. Tozaltı kaynağında yüksek akım yoğunluğu nedeniyle ergiyen metalin 2/3'ünü esas metal ve 1/3'ünü ilave metal oluşturur. Bu sebepten ilave metal sarfiyatı oldukça azdır [35].



Şekil 4.4. Tozaltı kaynak yönteminde dolgu miktarı [33].

Yüksek Kaliteli Kaynak Dikişi

Kaynak yerinin düzgün bir şekilde curuflla örtülmesi emniyetli bir katılaşmayı sağlamaktadır. Kenarlarda yanma olukları görülmemekle birlikte kaynak formu düzgün çıkmaktadır. Kaynak metali, birleşme hatası ve curuf kalıntıları bakımından da emniyetlidir [34].

Kaynak Dikişi Kalitesine Kaynakçının Bir Faktör Olarak Etkimemesi

Tozaltı kaynak yönteminde elektro-mekanik ayar ve kontrol sisteminin varlığı, kaynakçı faktörünü ortadan kaldırmaktadır [34].

Yüksek Ark Kararlılığı

Ark bölgesinde buharlaşan curufun oluşturduğu atmosfer, arkın sürekliliğinin devamını sağlamakta ve çok yüksek hızlarda dahi yöntemin uygulanabilmesine imkan sağlamaktadır [35].

Özel Koruyucu Donanımlara Gerek Duyulmaması

Ark toz altında olduğundan zararlı ışınların etkisi olmaz. Gaz ve toz oluşumu da çok azdır. Bu nedenle özel koruyuculara gerek yoktur [32].

Sürekli Kaynak Yapılabilmesi

Tozaltı kaynak torcunun özel raylar veya paletler üzerinde hareket eden bir tertibat üzerinde olması sayesinde, hızı istenilen değerde sabit tutulabildiğinden sürekli kaynak yapma imkânı vardır. Ayrıca çevresel kaynak ve helisel kaynak yapılması da mümkündür [33].

Birden Çok Tel İle Kaynak Yapılabilmesi

Tozaltı kaynak yönteminde; paralel, seri ve tandem yöntemiyle veya bant elektrot kullanarak birden çok tel kullanılabilir. Bu sayede kaynak hızını, transfer olan metal miktarını ve kaynak verimini yükseltmek mümkündür [33].

4.2.4.2. Tozaltı Kaynağının Dezavantajları

1. Yöntemin ilk yatırım maliyeti yüksektir
2. Tozaltı ark kaynak tozları havadan nem almaya eğilimlidir, bu da kaynakta gözeneğe neden olur. Bu nedenle tozları kurutma ihtiyacı ortaya çıkar
3. Tozlar kaynaktan evvel 2-3 saat 300 °C'de ısıtılmalıdır
4. Yüksek kalitede kaynaklar elde edebilmek için ana metal düzgün olmalı, yüzeyinde yağ, pas ve kirlilikler olmamalıdır

5. Tozaltı kaynağı 5 mm'den ince malzemelerde yanma yapabileceği için genellikle uygun değildir
6. Yöntem özel bazı uygulamalar hariç, düz, yatay pozisyondaki alın kaynakları ve köşe kaynakları için uygundur [36].

4.2.5. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Yöntemler

Bir çok önemli kullanım avantajına sahip tozaltı kaynağının özel yöntemleri geliştirilmiştir.

1. Tandem tozaltı ark kaynağı yöntemi
2. Paralel tozaltı ark kaynağı yöntemi
3. Seri tozaltı ark kaynağı yöntemi
4. Bant elektrotla tozaltı ark kaynağı yöntemi
5. Kızgın tel usulü tozaltı ark kaynağı yöntemi
6. Dik (saat 3 yönünde) pozisyonda tozaltı ark kaynağı yöntemi [32].

4.2.6. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri ve Tozları

4.2.6.1. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan çıplak elektrotlar, kaynak teli diye adlandırılır. Tozaltı kaynak telleri, elektrik ark ocaklarında üretilen, kimyasal yapısı ile kaynak yerinin metalurjik güvenliği bakımından yüksek manganez (Mn) içeren özel çeliklerden imal edilirler. Çeşitli amaçlar için genellikle dairesel kesitli olarak 1,2 ile 12 mm çaplarında imal edilirler (Çizelge 4.2). Bazı istisnai durumlarda, örneğin kaplama kaynaklarında, dikdörtgen kesitli lama şeklinde imal edildiği görülür. Dairesel kesitli olanlar bakırla kaplanmış olarak kangal halinde piyasada bulunmaktadır [37].

Tellerin tamamen yuvarlak ve iyi kalibre edilmiş olmalarına ve ölçülerinin verilen toleranslar içinde bulunmalarına dikkat edilmelidir. Tozaltı kaynak elektrotlarının yüzeylerinin tamamen düz ve pürüzsüz, yağ, pislik ve pastan uzak, uygun olmalı ve

kaynak işlemi boyunca da uygun kalmalıdır. Bu da, akımın sabit bir şekilde arka gelmesine engel olduğundan, kaynak yerine verilen ısı miktarı değişir, sonuçta da dikişin hatalı çıkmasına neden olur [25,33].

Çizelge 4.1. EN 756'ya göre kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri [29].

Tel türü	Alaşım elementinin miktarı							
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cr
S1	0,05-0,15	0,15	0,35-0,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S2	0,07-0,15	0,15	0,80-1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S3	0,07-0,15	0,15	>1,30-1,75	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S4	0,07-0,15	0,15	>1,75-2,25	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S1Si	0,07-0,15	0,15-0,40	0,35-0,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S2Si	0,07-0,15	0,15-0,40	0,80-1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S2Si ₂	0,07-0,15	0,15-0,60	0,80-1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S3Si	0,07-0,15	0,15-0,40	>1,30-1,85	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S4Si	0,07-0,15	0,15-0,40	>1,75-2,25	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S1Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	0,35-0,60	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15
S2Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15
S3Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	>1,30-1,75	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15
S4Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	>1,75-2,25	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15
S2Ni1	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,025	0,025	0,15	0,80-1,20	0,15
S2Ni1.5	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,20	0,20	0,15	>1,20-1,80	0,15
S2Ni2	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,20	0,20	0,15	>2,80-3,70	0,15
S2Ni3	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,20	0,20	0,15	1,20-1,80	0,15
S2Ni1Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,20	0,20	0,45-0,65	1,20-1,80	0,20
S3Ni1.5	0,07-0,15	0,15-0,25	>1,30-1,70	0,20	0,20	0,15	>1,20-1,80	0,20
S3Ni1Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	>1,30-1,80	0,20	0,20	0,45-0,65	1,20-1,80	0,20
S3Ni1.5Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	1,20-1,80	0,20	0,20	0,45-0,65	>1,20-1,80	0,20
S0	Üzerinde anlaşılan herhangi bir kimyasal bileşim							

ISO tozaltı kaynak tellerini 1,2-1,6-2-2,5-3-3,2-4-5-6-6,3-8 mm çaplarında sınıflandırmıştır. Günümüz endüstrisinde bu çaplardan 2,5 ile 6 mm arasındakiler en çok tercih edilenlerdir. Bu tellerin çap toleransları da DIN 668'e göre standartlaştırılmıştır. Yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere geliştirilen tozaltı kaynak tellerinin yanı sıra, ısıya ve sürtünmeye dirençli çeliklerin, paslanmaz ve yüksek sıcaklığa dirençli çeliklerin, nikel ve nikel alaşımlarının tozaltı kaynağı için geliştirilmiş standart teller de üretilmektedir [33].

4.2.6.2. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları

Tozaltı kaynağındaki kaynak tozları, el ile yapılan ark kaynağındaki elektrot örtüsünün görevini yerine getirir. Bu görev fiziksel olarak:

1. Kaynak banyosunu havanın zararlı etkisinden koruma
2. Dikişe uygun bir form verme
3. Dikişin yavaş soğumasının sağlanması olarak sıralanabilir.

Kaynak tozu metalurjik olarak da, kaynak banyosuna ilave ettiği elemanlarla yanma kaybını ortadan kaldırır ve dengeler. Tozaltı kaynağında kullanılan tozlar, çeşitli yönlerden sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırma aşağıdaki biçimde yapılabilir:

1. Kaynağın amacına göre;
 - 1.1 . Hızlı kaynak tozları
 - 1.2. Derin nüfuziyet kaynak tozları
 - 1.3. İnce sac kaynağı tozları
 - 1.4. Aralık doldurma kabiliyetine sahip kaynak tozları
2. İmal şekline göre;
 - 2.1. Erimiş kaynak tozları
 - 2.2. Sinterlenmiş kaynak tozları
 - 2.3. Aglomere kaynak tozları
3. Kimyasal karakterine göre;
 - 3.1. Asit karakterli tozlar
 - 3.2. Bazik karakterli tozlar
 - 3.3. Nötr karakterli tozlar

4. Manganez miktarına göre;

4.1. Yüksek manganezli tozlar

4.2. Orta manganezli tozlar

4.3. Manganezsiz tozlar

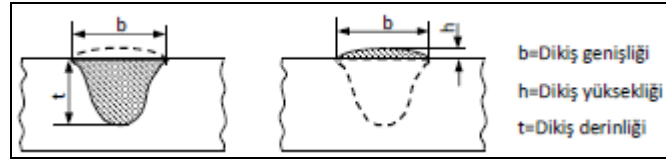
Erimiş tozlar, suni olarak eritilmiş silikatlardır ve katı hallerinde kristal karakterli amorf kütlelerdir. Bu tozların imalatında kuvars, manganez cevheri veya dolomit, kalkspat ve kil gibi maddeler uygun miktarlarda karıştırılarak eritilir. Eritme işleminde ark fırınları veya alevli fırınlar kullanılır. Sinterlenmiş tozların imalinde uygun bileşimdeki malzeme karışımı öğütülür. Daha sonra öğütülmüş tozlar belirli büyüklükte taneler halinde preslenir ve alevli fırınlarda sinterlenir. Sinterlenen taneler daha sonra tekrar ufaltılır ve istenen tane büyüklüğünde olanlar ayrılır. Aglomere tozlar, ince öğütülmüş toz halindeki hammaddeye belirli büyüklükte olan hammaddenin katılması ve bir yapıştırıcı ile aglomere edilmesiyle elde edilir. Aglomere olmuş bu karışım daha sonra neminin alınması için, bir tavlamaya tabi tutulur. Aglomere tozlar son zamanlarda genişçe kullanılmakta olup, erimiş tozlara göre çeşitli üstünlükleri vardır. Aglomere tozlarla kaynak metali daha iyi alaşımlandırılabilenmekte, toz sarfiyatı daha az olmaktadır [25].

Tozaltı tozundan beklenen özellikler:

1. Kararlı bir ark sağlanmalıdır. Özellikle alternatif akım ile kaynakta, akım yön değiştirirken arkın sönmesini önlemelidir.
2. İstenen kimyasal bileşim ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi vermelidir.
3. Uygun kaynak dikişinde, herhangi bir gözenek ve çatlak teşekkülüne sebep olmamalıdır.
4. Kök pasolarının ve dar aralıkların kaynağında, curufu kolayca kalkabilmelidir.
5. Gözenek oluşumuna sebep olacak organik maddeler ihtiva etmemelidir.
6. Az nem çekmelidir ve temiz bir iç yapı sağlamalıdır [32].

4.2.7. Tozaltı Kaynağında Dikiş Geometrisi

Kaynak dikiş formu denilince; dikiş genişliği, dikiş yüksekliği ve derinliği anlaşılır. Dikiş formu incelendiğinde iç ve dış dikiş formu olmak üzere iki form gözlenir (Şekil 4.5). Her dikiş formu nüfuziyet derinliği, ergime genişliği ve dikiş yüksekliği olmak üzere üç şekilde karakterize edilir. Tozaltı ark kaynağında dikişin formu çok geniş sınırlar içerisinde değişebilir. Eğer belli bir usulde, kaynak karakteristikleri yerinde seçilirse, belirli faktörlerin kaynak esnasındaki tesirlerini tespit etmek mümkün olur [29].



Şekil 4.5. Alın kaynağı dikiş formu [29].

4.2.7.1. Tozaltı Kaynağında Dikiş Geometrisine Etki Eden Faktörler

Tozaltı kaynağında dikişin formuna etki eden başlıca faktörler şöyle sıralanabilir;

1. Akım şiddeti
2. Ark gerilimi
3. Kaynak hızı
4. Kaynak ağız açısı
5. Kaynak yapılan parçanın bulunduğu düzlemdeki meyli
6. Akım yoğunluğu (tel çapı)
7. Kaynak kablosunun bağlantı yeri
8. Serbest tel boyu [29].

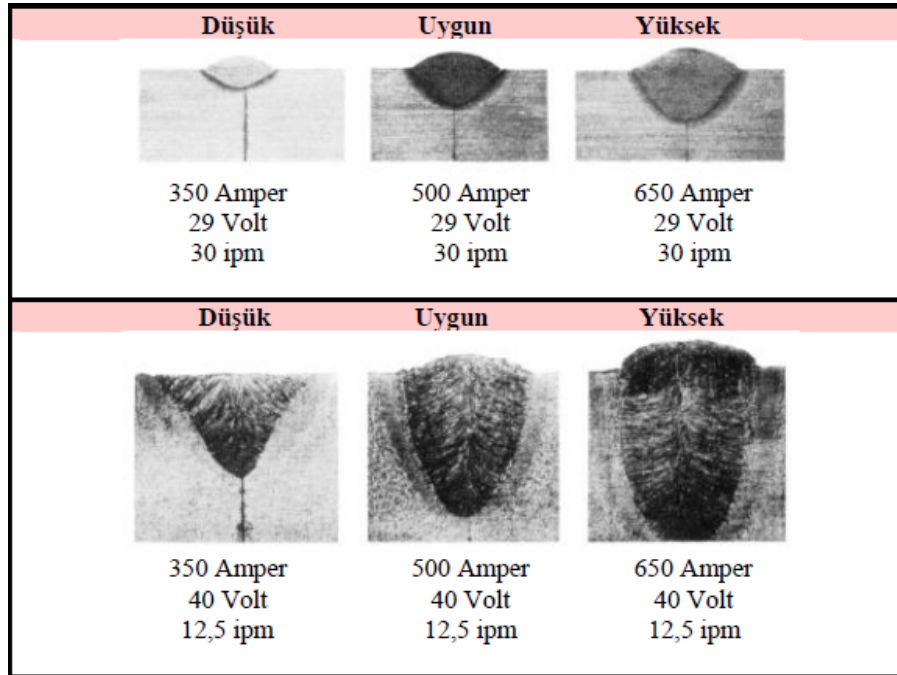
Akım Şiddetinin Etkisi

Akım şiddeti dikişin formu üzerine en büyük tesiri olan faktörlerden birisidir. Akım şiddeti arttıkça nüfuziyet artmaktadır (Şekil 4.6). Bu sebepten ötürü akım şiddeti

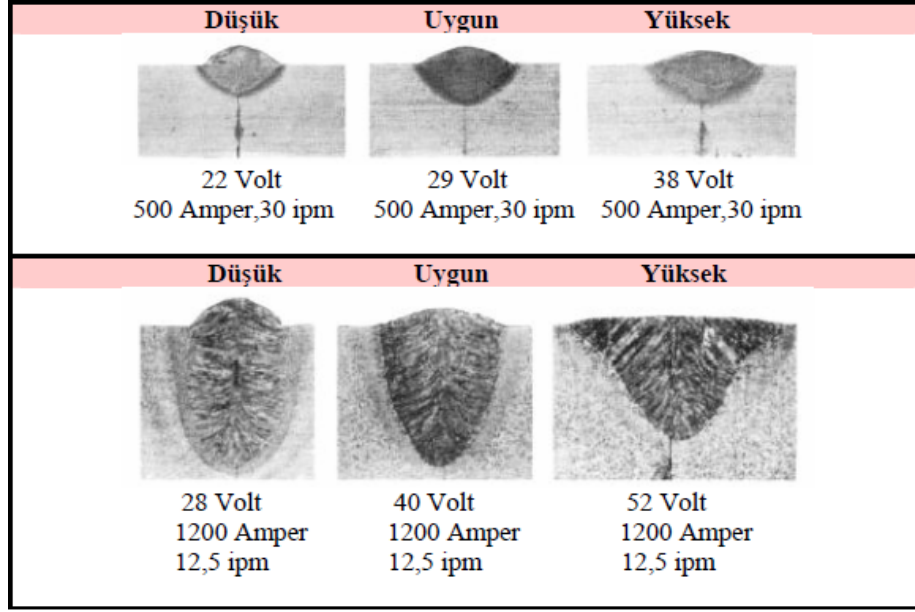
kaynak edilen parça kalınlığına uygun olarak tespit edilmelidir. Aksi halde nüfuziyet parça kalınlığından daha büyük olur ve parça delinir. Çok ufak olduğunda da iyi bir birleşme meydana gelmez [32].

Ark Geriliminin Etkisi

Gerilimin değişmesi ile arkın boyu da değişir. Bazı cins tozlar yüksek gerilim ile çalışmayı gerektirir. Bu gibi tozlarla düşük gerilimde çalışılırsa curuf dikişin üzerinden zor kalkar. Böyle bir durumda kaynakçı ark gerilimini yükseltmelidir. Yüksek bir ark gerilimi, uzun arkla çalışmayı gerektirdiğinden fazla miktarda tozun curuf haline geçmesine sebep olur. Bu ise kaynak dikişinin kimyasal bileşimine tesir eder. Örneğin asit karakterli bir tozla kaynak yapılması halinde, dikişin silisyum miktarı artar. Ark geriliminin çok düşük seçilmesi ise bazı kaynak hatalarının ortaya çıkmasına sebep olur. Ark boyunun artması ile arkın parça üzerinde kapladığı alan da artar. Bu ise kaynak dikişinin genişliğini arttırır. Gerilimin artması nüfuziyet ve dikiş yüksekliğine olumlu yönde tesir eder [32]. Şekil 4.7’de ark geriliminin dikiş geometrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



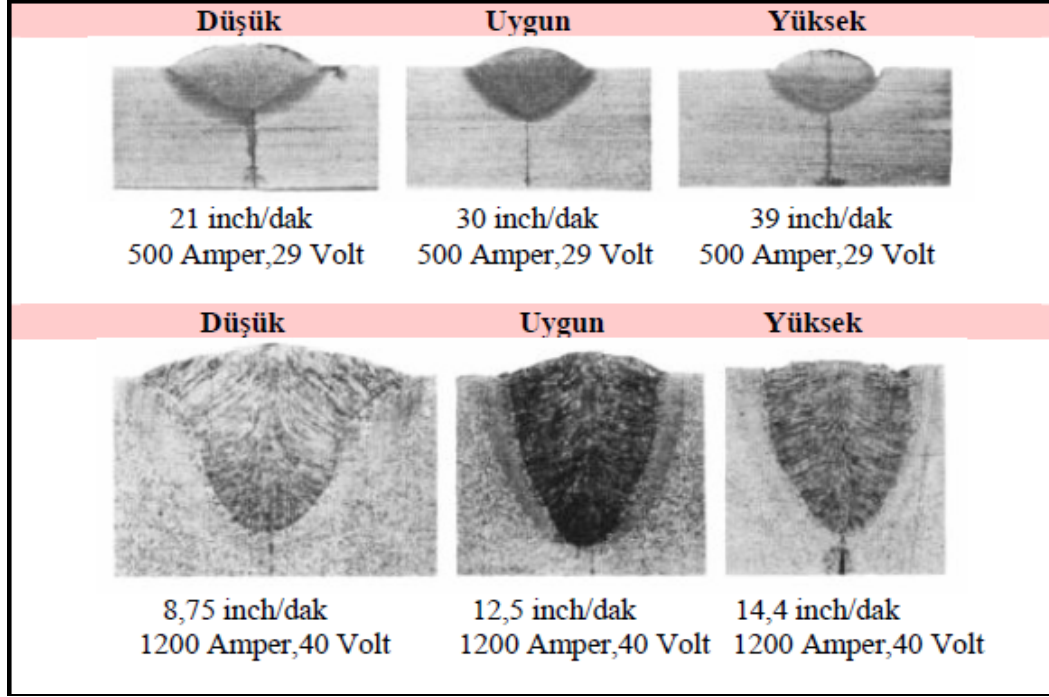
Şekil 4.6. Tozaltı ark kaynak akımının, dikiş geometrisine ve nüfuziyete etkisi [29].



Şekil 4.7. Tozaltı kaynak yönteminde gerilimin dikiş geometrisi üzerindeki etkisi [33].

Kaynak Hızının Etkisi

Düşük hızla yapılan kaynakta, ergiyen ilave metal miktarı artacağı için ergimiş banyonun miktarı büyür. Bu da kaba bir dikiş görünümü ve dikiş curuf katma gibi problemler oluşturabilir. Kaynak hızının azalması, dikiş boyuna verilen ısı miktarını yükselteceğinden, “ısının tesiri altında kalan bölge” (ITAB) genişler ve normal kaynak hızlarında delinmemesi gereken parçalarda delinme tehlikesi ortaya çıkar. Ayrıca düşük kaynak hızlarında gözenek oluşması riski azalır. Çünkü gaz çıkartan materyallerin buhar haline gelip, ergimiş kaynak banyosundan çıkması için yeterli zamanları vardır. Bununla birlikte gereğinden yavaş kaynak hızlarında yapılan kaynakta ise çatlakların fazlaca görüldüğü dikiş geometrisi oluşur. Son olarak kaynak hızının düşmesi, kullanılan tozun sarfiyatına etki eden önemli parametrelerden birisi olup, ergiyen toz miktarını artırmaktadır. Diğer taraftan kaynak hızı yükseldikçe, nüfuziyet ile dikiş genişliğinin azaldığı görülür. Kaynak hızının artması, dikişlerin daha dikkatli kaynak edilmesini gerektirir. Gereğinden fazla kaynak hızı, ark üflemesini, gözeneği ve çatlağı arttırır, dikişin şeklini bozar. Şekil 4.8’de kaynak hızının dikiş geometrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir [29].



Şekil 4.8. Tozaltı kaynak yönteminde hızın dikiş geometrisi üzerindeki etkisi [33].

Kaynak Ağız Açısının Etkisi

Birleştirilecek parçalara kaynak ağızı açmak, dikişin iç formuna tesir etmektedir. Kaynak ağızı açısı büyüdükçe de özellikle nüfuziyet artmakta ve dikişin yüksekliği de azalmaktadır [35].

Kaynak Yapılan Parçanın Bulunduğu Düzlemdeki Meyli

Tozaltı ark kaynağı genel olarak yatay pozisyonda yapılır. Burada bilhassa parçanın durumu ve kaynak yönü dikişin formu üzerine tesir eder. Kaynak yapılan parçanın bulunduğu yatay düzlemde 6°'ye kadar bir eğim olması çok önemli değildir. Fakat bu eğim 6°'yi geçerse, kaynağın yönüne göre dikişin formu da değişir. Örneğin, 6°'den daha büyük eğimli yüzeylerdeki düşey yapılan kaynaklarda nüfuziyet gayet az ve dikiş geniştir. Dikey yapılan kaynaklarda ise, nüfuziyet ve dikiş yüksekliği çok fazladır. Gerek dikey gerekse düşey yapılan her iki kaynak da istenmez. Bu bakımdan parçanın bulunduğu düzlem ile eğiminin, 6°'yi geçmemesine dikkat edilmelidir [38].

Akım Yoğunluğunun Etkisi

Akım yoğunluğu ($I / F = \text{Amper} / \text{mm}^2$), akım şiddetinin tel kesitine oranıdır. Akım yoğunluğunun artması ile akım şiddeti de artacağından dikişin nüfuziyeti artar. Ayrıca akım yoğunluğunun artmasıyla ergime gücü de fazlalaşacağından, dikiş yüksekliğinde bir artış görülür. Kaynak teli çapının artması genellikle akım yoğunluğunun azalması anlamını taşımaktadır [35].

Kaynak Kablosunun Bağlantı Yerinin Etkisi

Parçaya bağlanan kablonun bağlantı yeri daha ziyade ark üflemesine tesir eder. Bunun neticesinde de dikişin iç formu değişir ve yetersiz bir birleşme elde edilir. Kablonun bağlantı yeri ark üflemesini önleyecek şekilde seçilmelidir. Buda kaynak yapılan parçanın her birinin baş ve sonuna (dikişin sağına ve soluna) gelmek üzere dörtlü bir bağlantı yapmakla gerçekleştirilir [38].

Serbest Tel Boyunun Etkisi

Kaynak telinin bağlantı yeri veya telin dışarıda kalan kısmı (serbest tel boyu), kaynak memesinin parçaya olan mesafesi ile ifade edilir. Bu mesafe büyüdükçe telin dışarıda kalan kısmı da artar. Pratikte meme ile parça arasındaki ortalama mesafe tel çapının 10 misli olarak alınır. Tecrübeler, meme ile iş parçası arasındaki mesafenin kısılmasıyla daha kararlı ve sabit bir arkın elde edildiğini göstermiştir. Bu mesafe büyüdükçe özellikle nüfuziyetin azaldığı ve dikiş yüksekliğinin de arttığı görülmüştür [34].

4.2.8. Tozaltı Kaynağında Oluşan Kaynak Hataları

Tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi tozaltı kaynağında da kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi, uygun olmayan ek kaynak metali veya kaynak tozu kullanımı ve kaynak tekniğinin kötü uygulanması sonucunda istenmeyen bir dizi kaynak hatası ile karşılaşılması olasıdır. Tüm kaynak hataları, kaynak dikişinde

bir zayıflama ve süreksizlik oluşturarak bağlantının kullanımı sırasında geri dönüşü olanaksız çatlak, kırılma ya da performans eksikliğine neden olabilir [18].

Bir kaynak dikişinin arzu edilen sıhhatli bir birleştirmeyi sağlayabilmesi için hataların önüne geçilmesi gereklidir. Çünkü bu hatalar hem dikişin homojenliğini bozar hem de mukavemetini düşürür. Tozaltı kaynağında rastlanan başlıca kaynak hatalarını şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Çatlaklar
2. Gözenekler
3. Curuf kalıntıları
4. Birleştirme azlığı
5. Yanma oluşu ve çentikler
6. Delikler [34].

BÖLÜM 5

DENEYLERDE KULLANILAN MUAYENE YÖNTEMLERİ

5.1. TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENELER

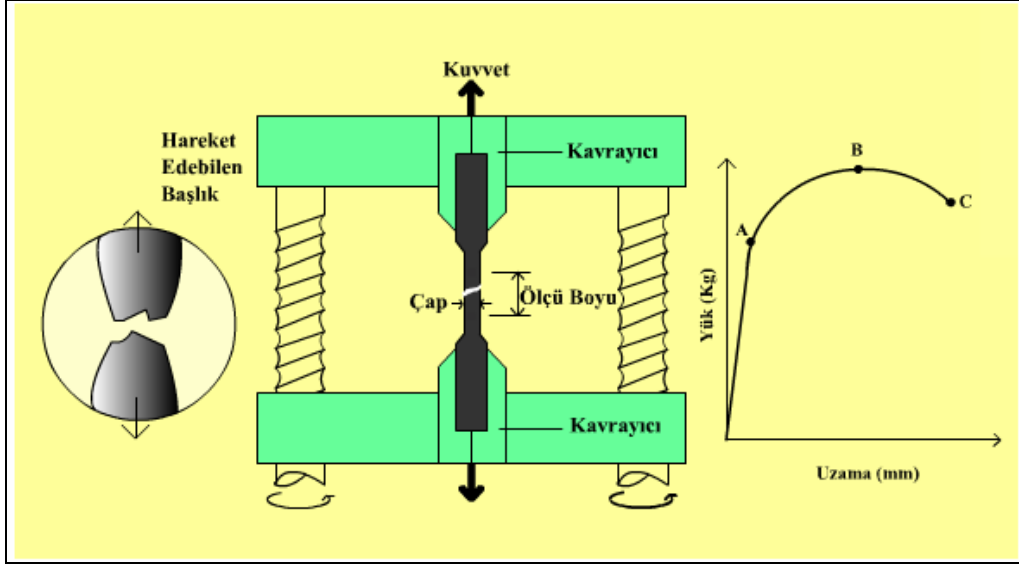
5.1.1. Tahribatlı Muayeneler

Test uygulanacak malzemeden çıkarılan numuneler tekrar kullanılamayacak duruma geldiklerinden dolayı bu yönleme tahribatlı muayene yöntemi denilmektedir. Tahribatlı muayeneler belirlenmiş olan standartlara göre yapılmaktadır [39].

5.1.1.1. Çekme Deneyi

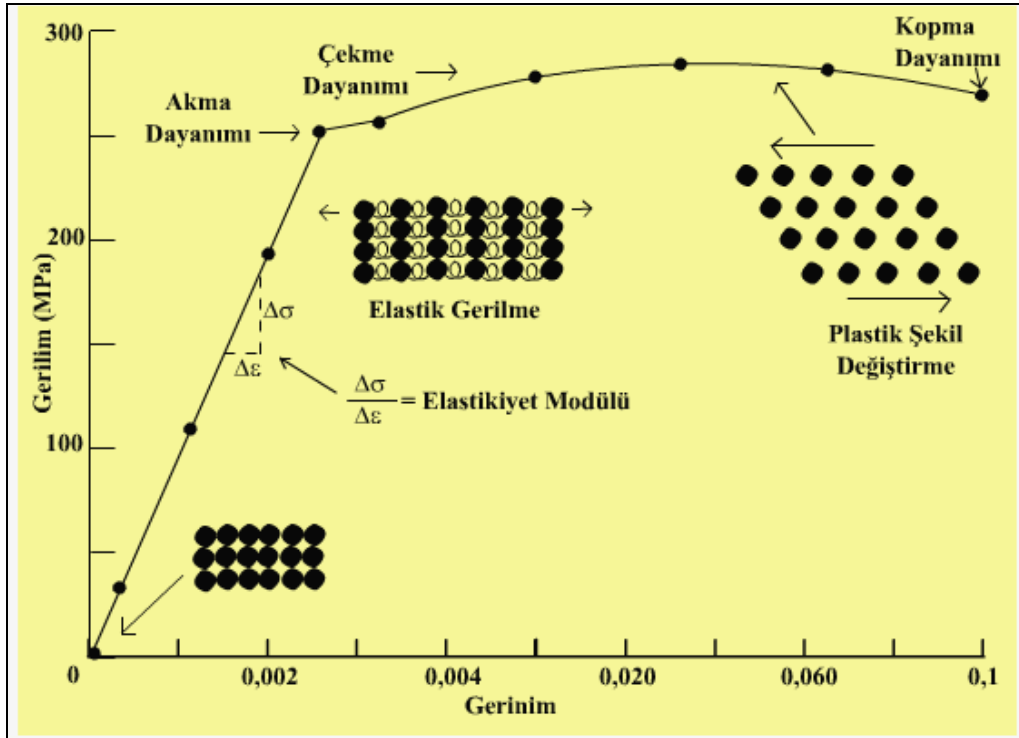
Statik yüklemeye maruz kalabilecek bir malzemenin maksimum tasarım gerilimi çekme deneyi ile saptanır. Malzemenin tek eksenli ve kesit üzerinde düzgün yayılan çekme gerilmesi ile zorlanması halinde davranışı, çekme deneyi ile tespit edilir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Bunun için çekme deney numunesi düzgün ve darbesiz olarak artan bir yüklemeye kadar çekilirken, bu sırada uygulanan kuvvet ve numunenin uzaması sürekli olarak ölçülmektedir. Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait aşağıdaki şu mekanik özellikler bulunabilir:

1. Elastik modül
2. Elastik sınır
3. Rezilyans
4. Akma gerilmesi
5. Çekme dayanımı
6. Tokluk
7. %Uzama
8. % Kesit daralması



Şekil 5.1. Çekme deneyinin şematik olarak uygulanması [27].

Çekme deneyleri; yuvarlak kesitli numuneler, dikdörtgen ve daraltılmış kesitli numuneler ve işlenmemiş numuneler için yapılabilir [35].

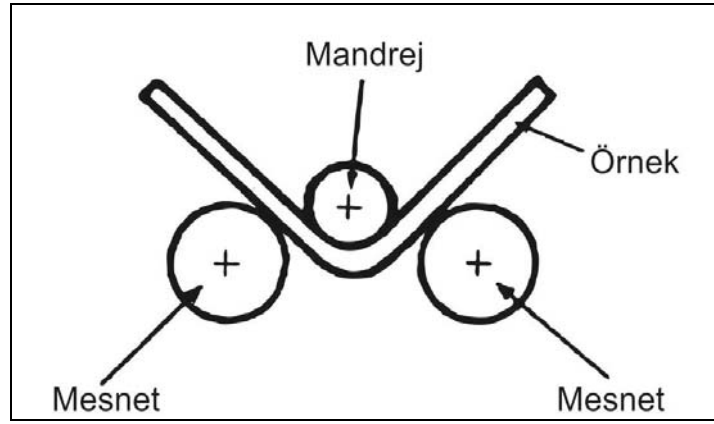


Şekil 5.2. Çekme deneyinde gerilim-gerinim eğrisi [39].

5.1.1.2. Eğme Deneyi

Eğme deneyi, iki ucu iki ayrı desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının, yön değiştirmeksizin orta noktasına (üç nokta eğme deneyi) veya her iki destekten eşit mesafede iki noktaya (dört nokta eğme deneyi) eğme kuvveti uygulanarak yapılan deneydir (Şekil 5.3). Eğme deneyinde soyut sonucun yanında eğme momenti, esneklik modülü ve eğme miktarı gibi somut değerler de hesaplanır. Eğme deneyleri genellikle dökme demir ve yüksek mukavemetli çelikler gibi gevrek ve kırılğan malzemeler için yapılır.

Deneyi yapılacak numuneye bir kuvvet etki ettiğinde numune kesitinin bir kısmında basma gerilmesi, numune kesitinin geri kalan kısmında ise çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Eğilme halindeki numunelerin kesitinde, yükün uygulandığı yüzeye yakın bölgelerde basma gerilmeleri, dış yüzeye yakın bölgelerde ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir [40].



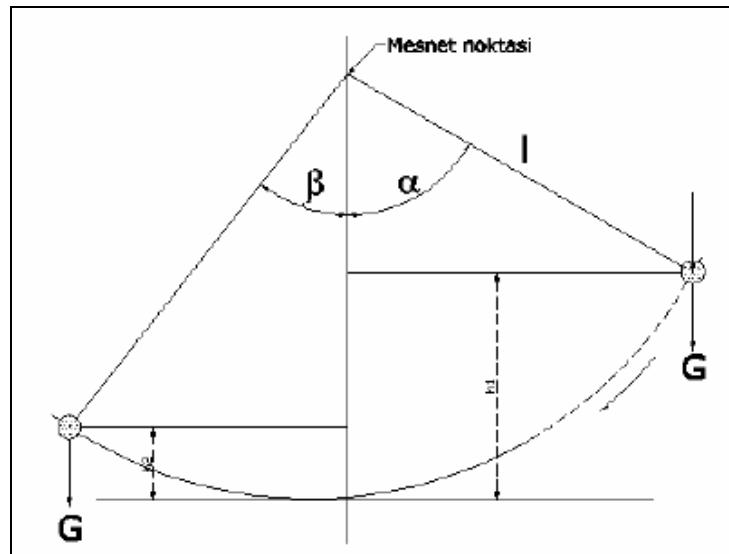
Şekil 5.3. Eğme deneyi şeması [39].

5.1.1.3. Çentik Darbe Deneyi

Mühendislikte darbe bir elemana ya da yapıya uygulanan dış yükün doğal titreşim periyodunun üçte birinden daha kısa zamanda uygulanması olarak tanımlanmaktadır. Bazı yapı elemanları veya makine parçaları çalışırken darbeli yüklere maruz kalırlar. Bu şekilde darbeli yüklemeye maruz kalan elemanların veya parçaların çarpma

dayanımları yavaş yükleme durumundaki statik mukavemet değerlerinden çok daha küçüktür.

Çentik darbe deneyi malzemelerin çarpma dayanımlarını ya da kırılma enerjilerini ölçmek amacıyla yapılır. Çentik darbe deneyi standart çentik içeren bir numunenin darbe etkisi ile kırılması için gerekli enerjinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Ölçülen bu enerji darbe dayanımı (direnci) olarak adlandırılır ve birimi Joule'dür. Uygulamada Charpy ve İzod olmak üzere iki çeşit darbe deneyi mevcuttur. Charpy deneyinin prensibi iki mesnede yatay olarak yaslanan basit bir kiriş durumundaki numunenin çentik tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapıp kırılması için harcanan enerjinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. İzod deneyinde ise numune kavrama çenesine dikey tespit edilir ve yüzeyine kavrama çenesinden belirli yükseklikte bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe uygulanır. Şekil 5.4'de Charpy deneyinin çalışma prensibi verilmektedir. Bu deneyde ağırlığı G olan bir sarkaç h_1 yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi Gxh_1 olur. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında düşey bir düzlem içerisinde örneğe çarparak onu kırar ve diğer yönde h_2 yüksekliğine kadar çıkar. Numunenin kırılmasından sonraki sarkacın sahip olduğu potansiyel enerji Gxh_2 olur. Sarkacın ilk durumundaki potansiyel enerjisi ile son durumundaki potansiyel enerjisi arasındaki fark örneğin kırılması için gerekli enerjiyi yani darbe direncini verir.



Şekil 5.4. Çentik-darbe deneyinin çalışma prensibi [41].

Kırılma enerjisi aşağıdaki eşitlikte verildiği şekilde ifade edilir:

$$K.E. = Gh_1 - Gh_2 = G l (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (5.1)$$

Burada h_1 (mm) düşme yüksekliği, h_2 (mm) çıkma yüksekliği, l (mm) sarkaç boyu, α (°) düşme açısı ve β (°) yükselme açısıdır.

Çentik darbe deneyi çelik malzemelerde uygulanan ısıl işlemin doğruluğunun kontrolünde kullanılır. Malzemenin bileşimi darbe direncine etki eden faktörlerdendir [41].

5.1.1.4. Sertlik Ölçme Deneyi

Sertlik ölçümü, malzemeye bilinen miktardaki bir yük ile başka bir malzeme tarafından yük uygulanması, bastırılması ile ölçülebilir. Malzemelerin plastik deformasyona karşı koyabilme direnci akma dayanımı ile alakalı olduğundan, böyle bir sertlik uygulanmasıyla sertlik göreceli olarak belirlenebilir. Batıcı uç olarak elmas gibi sert malzemelerin kullanılmasıyla deformasyon sadece kuvvetin uygulandığı malzemede (test numunesi) sınırlı tutulur. Metal endüstrisinde genellikle Rockwell, Brinell, Vickers ve Knoop's sertlik deneyleri kullanılmaktadır (Şekil 5.5). Bu deneyler belirli bir sürede belirli bir yük altında deforme olmayan bir küre veya koninin metal içine batma derinliğinin ölçülmesiyle yapılır [42].

Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney, sertliğinin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir. Diğer avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılıdır; dolayısıyla, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

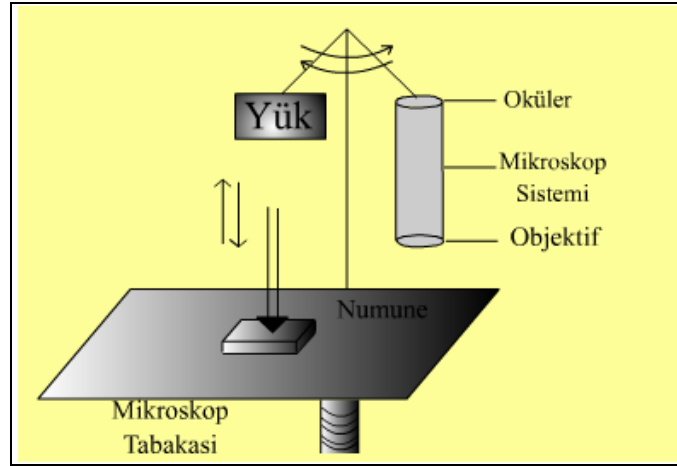
Sertlik izafi bir ölçü olup sürtünmeye, çizmeye, kesmeye ve plastik deformasyona karşı direnç olarak tarif edilir. Laboratuarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçümlerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir.

Sertlik ölçme genellikle, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Uygun olarak seçilen sert uç, tatbik edilen bir yük altında malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Genel deyimle malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır.

Bugün laboratuvarlarda uygulanan sertlik ölçme yöntemleri şunlardır;

1. Brinell sertlik ölçme yöntemi
2. Rockwell sertlik ölçme yöntemi
3. Vickers sertlik ölçme yöntemi
4. Mikrosertlik deneyi

Sertlik ölçmeleri yapılırken kullanılan ölçme yöntemi ne olursa olsun, numunelerin üzerinde birkaç ölçme yapıp ortalamasının alınması gerekir. Yapılan sertlik ölçümlerindeki değerler birbirinden çok farklı ise, farklı değer ortalamaya dahil edilmeyip bu farkın mevcudiyeti mutlaka belirtilmelidir [39].



Şekil 5.5. Mikro sertlik deneyinin yapılış şeması [39].

5.1.2. Tahribatsız Muayeneler

Tahribatsız muayene, bir malzeme ya da sistemin bütünlüğüne zarar vermeden malzemenin kullanılabilirliğini etkileyen herhangi bir süreksizliğin olup olmadığını

tespit etmek ya da diğer malzeme özelliklerini değerlendirmek için inceleme yapan tüm test yöntemlerini kapsamaktadır [43].

Kaynak işlemleri sırasında, kaynak dikişinde ve ısıdan etkilenen bölgede hataların oluşmaması veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması istenmektedir. Aksi takdirde, malzemenin servis koşullarında dayanımı olumsuz olarak etkilenecek ve beklenmeyen hasarlara neden olabilecektir. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan hataları tespit edebilmek için, istenilen kaynak kalitesine, malzemeye, kaynak dikişinin kalınlığına, kaynak yöntemine, kullanım yerine ve beklenen hatanın tipi ve konumuna bağlı olarak en uygun tahribatsız muayene yöntemi seçilmelidir [44].

5.1.2.1. Gözle Muayene

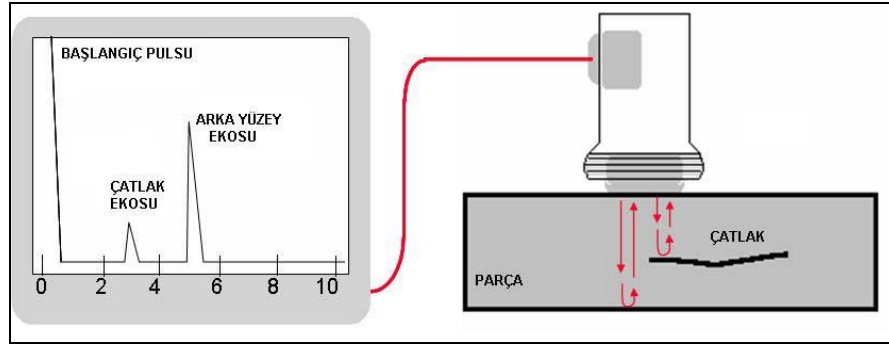
Gözle muayene, kaynak yüzeyinin dikkatlice incelenmesidir ve kaynak dikiş muayenesinde en önemli yeri tutar. Bu metot mümkün olan durumlarda kaynağın her iki tarafında da uygulanmalıdır. Bu metodun uygulanışı esas olarak kaynak gözetmeninin işi olup, bir kaynağın kalitesi hakkında ilk izlenimi verir. Kural olarak, kaynak tamamlandıktan sonra yapılmalıdır. Her ne kadar iç hatalar görülmesi de gözle muayene sonuçlarına göre bir kaynağın kabul edilmemesi söz konusu olabilir. Kaynak yüzeyinin iyi olması da her zaman kaynak kalitesinin yüksek olduğu anlamına gelmez. Yine de dış hatta belirtilerinin erken tespiti, imalat prosesinde hızlı bir geri beslemesi bilgisi sağlar. İmalat sırasında bilinen veya bilinmeyen kusurlar gözden kaçır ve parça galvanizleme, boyama, montaj vb. işlemlerine tabi tutulup teslim edilirse önemli bir tamir masrafı ortaya çıkabilir. Tamir gerektiren bir kaynağın üzerinde yanma olukları, kaynak sıçramaları ve ark yanıkları gibi kusurlar da gözleniyorsa böyle bir imalat yapan yer hakkında olumlu izlenimler beklenemez. Çelik malzemeler için genellikle EN ISO 5817 kullanılır. Kabul kriterleri, kaynak yapılan yerlerdeki gözle muayene uzmanları tarafından uygulanmalıdır [45].

5.1.2.2. Ultrasonik Muayene

Ultrasonik dalgaların malzeme içi hataların tespitinde kullanılması ilk defa 1931 yılında bir Alman patenti ile başlar. İlk ticari cihazlar 1940 senelerinde endüstriye

yayılmaya başlamıştır. Elektroniğin gelişimi bu tekniğin pratik bir muayene metodu olarak gelişmesine büyük katkısı olmuştur. Şimdi tahribatsız muayenenin temel metotlarından biri hâline gelmiştir [46].

Hacimsel yöntemlerden biri olan ultrasonik kontrolünün test prensibi, prob tarafından üretilen yüksek frekanstaki ses dalgalarının test malzemesi ortamında yayılması ve bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması esasına dayanır. Ultrasonik dalgalar ($f = 0,14\text{--}10\text{ MHz}$) probda kısa darbeler şeklinde ters piezoelektrik etki ile üretilir ve malzemeye girişi sağlanır. Ses dalgaları malzemede bir arka duvar ile karşılaşınca yansır. Yankı o anda pasif durumdaki proba ulaştığında tekrar elektrik sinyaline dönüşür ve ultrasonik muayene cihazına iletilir (Şekil 5.6). Sinyalin şiddetine göre uçuş zamanı ekseninde bir belirti oluşturur. Aşağıdaki resimde arka duvar yankısı ekranın sağında görülmektedir. Bu yankının başlangıç darbesine ekrandaki sol sinyal mesafe et kalınlığına karşılık gelmektedir. Ekranda arka duvardan beklenen yankı konumundan önce, yani bu yankının solunda kalan bir yankı görülmesi durumunda malzeme içinde bir süreksizlik olduğu anlaşılır [29].



Şekil 5.6. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi [29].

Kaynak Dikişi Muayenesi

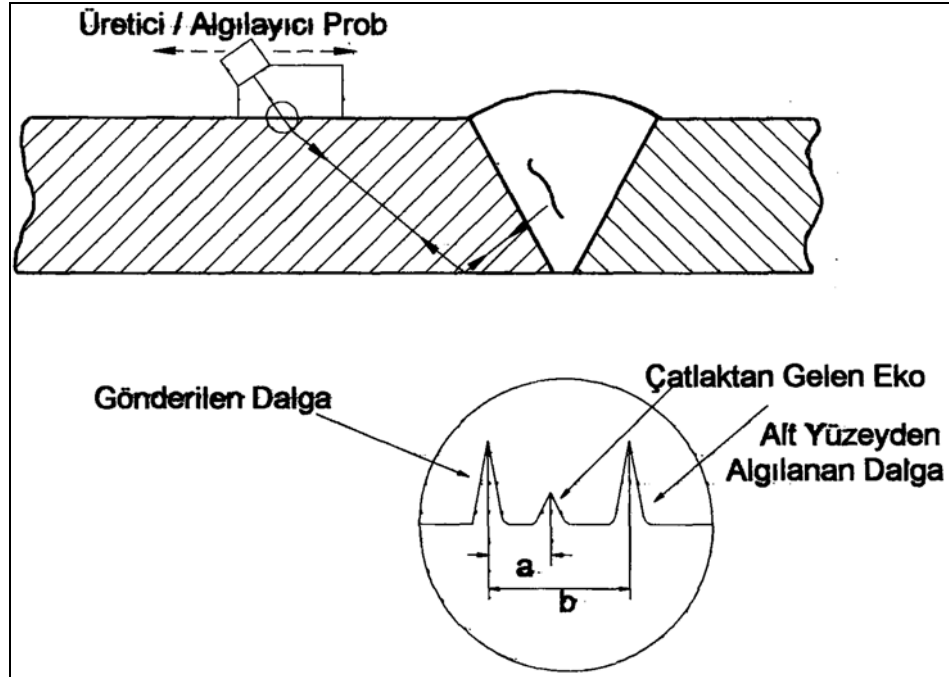
Muayene parçasının et kalınlığına göre muayene aralıkları hesaplanır ve muayenede kullanılacak prob büyüklükleri ve frekansları da et kalınlığına bağlı olarak seçilir. Plaka kaynaklarının muayenesinde plaka kalınlığına bağlı olarak genellikle önerilen prob açıları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Et kalınlığına göre önerilen prob açıları [35].

Kalınlık (mm)	Açı
5-30	70°
30-60	60°
>60	45°

Muayene probu kuru olarak numuneye takıldığı zaman ses dalgası ara yüzeyi (hava tabakası) geçemez. Bu nedenle hava, yoğunluğu daha yüksek olan bir madde tarafından ara yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Bağlantı maddeleri yağ, gliserin olabilir. Hatanın belirlenmesi bir katot ışını osiloskop ekranında olur. Osiloskop gerilim impulslarını “zıkkak”lar halinde gösterir. Osiloskoptaki yatay eksen dalganın gidiş-dönüş zamanını, dolayısıyla yansıma yüzeyinin uzaklığını gösterir.

Geniş bir uygulama alanına sahip olan ultrasonik muayene, kaynak dikişlerinin kontrolünde de (Şekil 5.7.) önemli ölçüde ve bazen zorunlu olmak üzere kullanılmaktadır [35].



Şekil 5.7. Kaynak dikişinin ultrasonik muayenesi [35].

Tespit Edilebilen Süreksizlikler

Ultrasonik test yöntemiyle, şartlar uygun olduğunda şu hatalar tespit edilebilir:

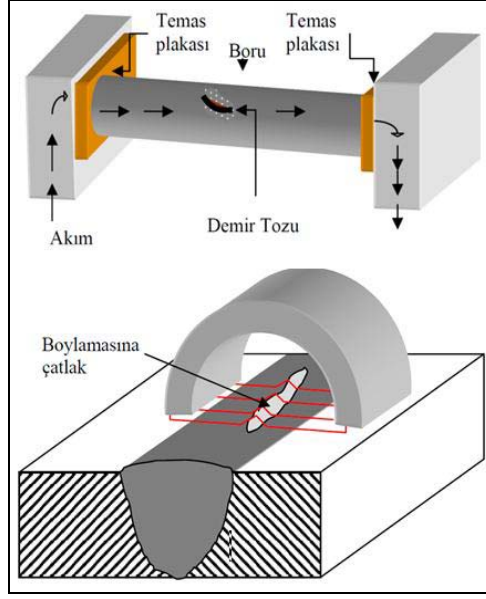
1. Çatlaklar, çentikler
2. Büyük gözenekler, gözenek gurupları, esas metaldeki katmer vb.
3. Kökte yetersiz ergime ve ergime hataları, teras çatlakları
4. Kökte yetersiz nüfuziyet [35,45].

5.1.2.3. Manyetik Parçacık Muayenesi

Bu yöntem ferromanyetik malzemeler (demir, nikel, kobalt gibi manyetikliği yüksek olan malzemeler) manyetize edildiğinde manyetik akımın yüzey süreksizliklerinde değişmesi veya kesilmesi esasına dayanır [47].

Manyetik parçacık muayenesi, çelik konstrüksiyon, otomotiv, petrokimya, güç santralleri, havacılık gibi çok farklı endüstriyel sektörde uygulama alanı bulmaktadır. Sualtı muayenesi (off-shore yapılar ve sualtı boru hatları), manyetik parçacık muayenesinin kullanılabileceği diğer bir alandır [48].

Muayene parçası önce bir sürekli mıknatıs veya bir elektro-magnet ile hatta muayene parçasının içinden veya etrafından elektrik akımı geçirilerek magnetize edilir. Böylece malzemede manyetik kuvvet çizgileri oluşur. Bu çizgileri kesen herhangi bir süreksizlik olması durumunda, kuvvet çizgileri süreksizliğin üzerinden atlayarak yoluna devam eder, dolayısıyla süreksizlik üzerinde yoğun bir kaçak manyetik alan oluşur. Süreksizliğin göz ile görünür hale gelmesi için muayene yüzeyine ince demir tozları serpilir. Yoğun kaçak alan demir tozlarını süreksizlik üzerinde toplayarak süreksizliğin görünür hale gelmesini sağlar. Böylece, süreksizliğin yeri, şekli ve boyutu tespit edilmiş olur [49]. Şekil 5.8’de manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri verilmiştir.



Şekil 5.8. Manyetik parçacık muayene uygulama biçimleri [50].

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, S355J2 (DIN10025-2) kalite çeliğin ve bu çelikten ısıl işlem yoluyla elde edilen çift-fazlı çeliğin S1 ve S2Mo tellerle tozaltı kaynak kabiliyetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kaynaklı numunelere tahribatsız muayene yöntemlerinden ultrasonik ve manyetik parçacık muayeneleri, tahribatlı muayene yöntemlerinden çekme, eğme, çentik darbe, mikrosertlik muayeneleri uygulanmıştır. Ayrıca kaynaklı birleştirme işlemi sonucunda malzemelerin makroyapı, mikroyapı karakterizasyonu ve SEM çalışmaları yapılmıştır.

6.2. MALZEMENİN KİMYASAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

DeneySEL çalışmada, 14 mm kalınlığında S355J2 (DIN10025-2) kalite yapı çeliğinden kesilmiş parçalar kullanılmıştır. Çizelge 6.1’de deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Çizelge 6.2’de S355J2 kalite çeliğine ait mekanik değerler verilmiştir.

Çizelge 6.1. DeneySEL çalışmalarda kullanılan malzemenin spektral analiz sonuçlarına göre kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kimyasal Bileşim (% ağırlıkça)					
	C	Mn	Si	P	S	Fe
S355J2	0,14	1,54	0,36	0,02	0,022	kalan

Çizelge 6.2. DeneySEL çalışmalarda kullanılan malzemenin mekanik özellikleri.

Malzeme	ReH	Rm	Uzama	Darbe Tokluğu	
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	°C	J
S355J2	389	597	27	-20	35

6.2.1. Kaynak İşleminde Kullanılan Kaynak Teli ve Tozunun Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan tozaltı kaynak tellerin ve tozunun kimyasal bileşimleri Çizelge 6.3’de, mekanik özellikleri Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Kullanılan ilave kaynak tellerinin ve kaynak tozunun kimyasal bileşimleri.

Malzeme	Kimyasal Bileşim (% ağırlıkça)								
	C	Mn	Ni	Si	Mo	Cr	Cu	Al	Fe
S 1 tel	0,08	0,58	0,07	0,1	-	0,08	0,14	0,02	kalan
S2Mo tel	0,1	1,03	0,05	0,12	0,48	0,07	0,08	0,003	kalan
Kaynak tozu	0,08	1,36	-	0,38	-	-	0,1	-	kalan

Çizelge 6.4. Kullanılan ilave kaynak tellerinin mekanik özellikleri.

Malzeme	ReH (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	Uzama (%)
S 1 tel	350	500	22
S2Mo tel	420	510	28

6.3. DENEY PARÇALARININ ISIL İŞLEMİ

Deney parçaları, 1200 °C kapasiteli fırında 780 °C sıcaklıkta 60 dakika bekletilmiş ve akabinde suda soğutulmuştur. Deney parçalarının ısıl işleminin uygulandığı kamara tipi ısıl işlem fırını Şekil 6.1’de ısıl işlem görmüş deney numuneleri ise Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Protherm marka kamara tipi ısıtma fırını.



Şekil 6.2. 780 °C'deki sıcaklıklarda ısıtma işlemi görmüş deney numuneleri.

6.4. BİRLEŞTİRME İŞLEM BASAMAKLARI

6.4.1. Birleştirilecek Levhaların Belirlenmesi


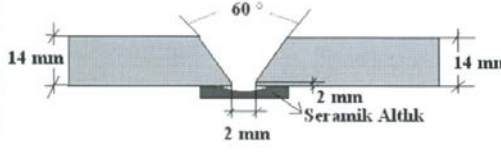

Birleştirme işlemi, S355J2 kalite yapı çeliğine ve bu çeliğe ısıtılma işlemi uygulanması ile elde edilmiş çift-fazlı çeliğe uygulanmıştır. Çift-faz ısıtılma işlemi için elikler 780 °C’de 1 saat süreyle tavlanmıŐ ardından suda soğutulmuştur. Her iki grup elik, S1 ve S2Mo kaynak telleri ile tozaltı kaynak yöntemi ile birleŐtirilmiŐtir. Kaynak işlemlerinde, DONGIL marka ve CBM-8061 kodlu seramik altlık kullanılmıştır.

6.4.2. Karbon EŞdeğerliğinin Belirlenmesi


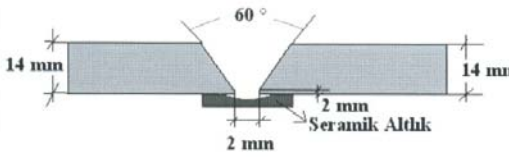


Karbon eşdeğeri kaynaklı birleştirmelerin kalitesine etki eden en önemli parametrelerdendir. Kaynak sırasında çeliğin sertleşme eğilimini belirlemek amacıyla alaşım elementlerinin verdiği sertleşmeye eşdeğer sağlayacak C miktarını saptamak amacıyla karbon eşdeğeri ($C_{eş}$) belirlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan S355J2 eliğinin karbon eşdeğeri $C_{eş} = 0,4$ olarak hesaplanmıŐ ve kaynağa engel olmayacağı anlaşılmıştır. Karbon eşdeğeri madde 3.1.1.1’de kapsamlı bir Şekilde açıklanmıŐtır.

6.4.3. Kaynak Prosedürlerinin (WPS) Hazırlanması

Kaynatılacak parçaların elik kalitesi, ölçüleri ve kaynak pozisyonlarına göre tüm işlem detaylarını ve kaynak parametrelerini içeren kaynak prosedürü (WPS) hazırlanmıştır. Kaynak prosedürü; kaynatılacak parçaların kaynak yöntemini, kaynak parametrelerini, kaynak teli ve tozu detaylarını, altlık kullanım detaylarını, kaynak paso sayılarını ve kaynak ağzı detaylarını içermektedir (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4).

 KARÇEL A.Ş.		KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU WELDING PROCEDURE SPECIFICATION		WPS No:KRC-KBUTEZ- 01				
S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE TOZALTI TELİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ İLE İLGİLİ TEZ ÇALIŞMASI				Tarih Date		10.09.2012		
Yöntem Testi WPAR No:		KTM-WPAR-07-161		Malzeme Spesifikasyonu Material Specification		S355J2+N & 780 S		
İlgili Standart Applicable Code		EN ISO 15614-1:2004		Kalınlık Aralığı(mm) Thickness Range		14		
Kaynak Yöntemi / Uygulama Welding Process/ Type		121		Dış Çap Outside Diameter (mm)		-		
Kaynak Tipi Joint Type		BW		Kaynak Pozisyonu Welding Position		PA Plaka / Plate		
Kaynak Dizaynı ve Sırası / Joint Design and Welding Sequence								
								
Paso Run	Dolgu Teli / Filler Metal		Akım/ Current (A)	Voltaj Voltage (V)	Polarite Polarity	Tel Sürme Wire feed (m/min)	Hız Travel Speed (mm/min)	Isı Girdisi Heat Input Max. (KJ/mm)
	Çap Size (mm)	Sınıf Class						
1	4	EN 756 S2Mo	620 - 650	28 - 30	DC (+)	3 - 3,5	300 - 320	2,86
2	4	EN 756 S2Mo	700 - 740	29 - 32	DC (+)	3,5 - 4,0	200 - 220	5,1
Gas / Flux : Flux Shielding		-		Kök Destek Parçası Backing		Var / Yes		
Gaz Debisi (L/min.) : Gaz Flow Rate:		-		Kök Destek Malzemesi Backing Material		SERAMİK ALTLIK / Ceramic Backing		
Tungsten Elektrot Tip/ Çap: Tungsten Electrode Type/Size:		-		Arkadan Yarma Back Gauging		-		
Kaynak Ağzının Hazırlanması Method of Prep. & Cleaning:		Mekanik İşleme ile / Machining		Arkadan Yarma Yöntemi Method of Back Gauging		-		
Ön Isıtma Preheat Temperature		-		Diğer Bilgiler Other Info:		Düz Paso / Stringer Bead		
Pasolar arası sıcaklık Interpass Temperature		-						
Kaynak Sonrası Isıl İşlem: Hayır Post Weld Heat Treatment		Isıtma Hızı/Heating Rate (°C/h)	Sıcaklık / Temp. (°C)	Bekleme Süresi / Holding Time (min)	Soğutma Hızı/ Cooling rate ((°C/h)			
		-	-	-	-			
İmalatçı / Subcontractor KARÇEL A.Ş. MONTAJ İNŞAAT NAHİYE TİCARET SANAYİ VE TİCARET Date / Signature								
KCF 65/ 00								

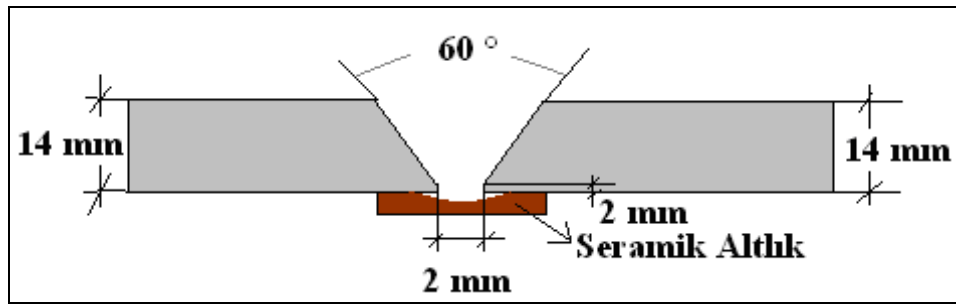
Şekil 6.3. S2Mo kaynak teli ile kaynatılan 780 S ve S355J2 malzemeye ait kaynak prosedürü.

 KARÇEL A.Ş.		KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU WELDING PROCEDURE SPECIFICATION			WPS No:KRC-KBUTEZ- 02			
S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE TOZALTI TELİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ İLE İLGİLİ TEZ ÇALIŞMASI				Tarih Date		10.09.2012		
Yöntem Testi WPAR No:		KTM-WPAR-07-161		Malzeme Spesifikasyonu Material Specification		S355J2+N & 780 S		
İlgili Standart Applicable Code		EN ISO 15614-1:2004		Kalınlık Aralığı(mm) Thickness Range		14		
Kaynak Yöntemi / Uygulama Welding Process/ Type		121		Dış Çap Outside Diameter (mm)		-		
Kaynak Tipi Joint Type		BW		Kaynak Pozisyonu Welding Position		PA Plaka / Plate		
Kaynak Dizaynı ve Sırası / Joint Design and Welding Sequence								
								
Paso Run	Dolgu Teli / Filler Metal		Akım/ Current (A)	Voltaj Voltage (V)	Polarite Polarity	Tel Sürme Wire feed (m/min)	Hız Travel Speed (mm/min)	Isı Girdisi Heat Input Max. (KJ/mm)
	Çap Size (mm)	Sınıf Class						
1	4	EN 756 S1	620 - 650	28 - 30	DC (+)	3 - 3,5	300 - 320	2,86
2	4	EN 756 S1	700 - 740	29 - 32	DC (+)	3,5 - 4,0	200 - 220	5,1
Gas / Flux : Flux Shielding		-		Kök Destek Parçası Backing		Var / Yes		
Gaz Debisi (Lt/min.) : Gaz Flow Rate:		-		Kök Destek Malzemesi Backing Material		SERAMİK ALTLIK / Ceramic Backing		
Tungsten Elektod Tip/ Çap: Tungsten Electrode Type/Size:		-		Arkadan Yarma Back Gauging		-		
Kaynak Ağzının Hazırlanması Method of Prep. & Cleaning:		Mekanik İşleme ile / Machining		Arkadan Yarma Yöntemi Method of Back Gauging		-		
Ön Isıtma Preheat Temperature		-		Diğer Bilgiler Other Info:		Düz Paso / Stringer Bead		
Pasolar arası sıcaklık Interpass Temperature		-						
Kaynak Sonrası Isıl İşlem: Hayır Post Weld Heat Treatment		Isıtma Hızı/Heating Rate (°C/h)	Sıcaklık / Temp. (°C)	Bekleme Süresi / Holding Time (min)	Soğutma Hızı/ Cooling rate ((°C/h)			
		-	-	-	-			
İmalatçı / Subcontractor KARÇEL A.Ş. M. KARABULUTLU / İMALAT MONTAJ İNŞAAT NAHİYAT TURİZM Date / Signature:  SANAYİ VE TİCARET A.Ş.				KÇF 65/ 00				

Şekil 6.4. S1 kaynak teli ile kaynatılan 780 S ve S355J2 malzemeye ait kaynak prosedürü.

6.4.4. Kaynak Levhalarının Hazırlanması

Kaynak işlemi için 14x150x400 mm ebatlarında plazma kesim cihazında kesilmiş levhalar kullanılmıştır. Levhaların uzun kenarları 60° açıyla Şekil 6.5’de gösterildiği gibi freze tezgahında işlenerek kaynak ağzı açılmıştır. İşlenen levhalar, aralarında 2 mm kök aralığı bırakılarak V kaynak ağzı oluşturacak şekilde TS 3473/1980 standardı dikkate alınarak belirli aralıklarda puntalanmıştır. Parçaların kök kısmına seramik altlık yerleştirilmiştir.



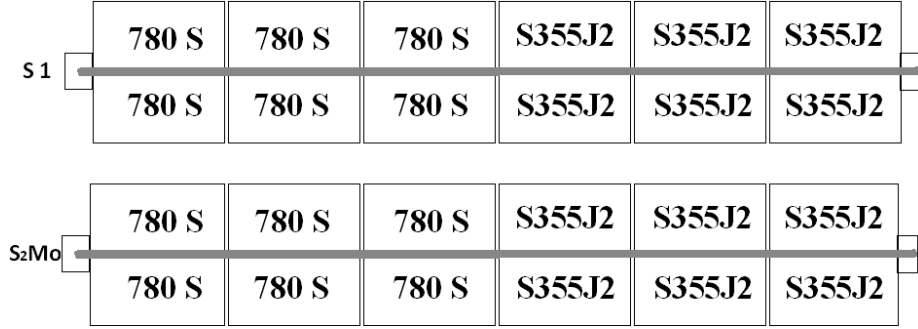
Şekil 6.5. Kaynak öncesi frezede kaynak ağzı açılmış deney parçalarının ölçüleri.

Parçaların kaynağa hazırlığı, puntalanması ve seramik altlık kullanımı Şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.6. Deney parçalarının puntalanması ve seramik altlığın kullanımı.

Şekil 6.7’de kaynatılacak parçaların bağlantı detayları verilmiştir.



Şekil 6.7. Kaynatılacak parçaların kaynak planı.

6.4.5. Deney Parçalarının Kaynatılması

S355J2 ve 780 °C sıcaklıkta ısıl işlem görmüş çift-fazlı çelik malzemeler Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’deki WPS’lere göre Karçel A.Ş. Fabrikasının kaynak tesislerinde teknik özellikleri Çizelge 6.5’de verilen Lincoln marka yarı otomatik tozaltı kaynak makinasında (Şekil 6.8) kaynatılmıştır.



Şekil 6.8. Kaynak işleminin yapıldığı Lincoln marka tozaltı kaynak makinası.

Çizelge 6.5. Tozaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri.

Marka	Model	Besleme Gerilimi	Sigorta Değeri	Kaynak Akımı	Akım Aralığı
Lincoln	SA-750	400V-3Faz-50 Hz	80 A.	1500A-44V-%100	200-1500 A

Deneysel çalışmada yapılan kaynak işlemlerinde kullanılan numuneler, kaynak telleri ve toz aşağıdaki gibi verilmiştir:

1. Parça S355J2 kalite malzeme S1 tozaltı kaynak teli ile ve alüminat-bazik özellikte aglometre tip tozaltı kaynak tozu ile kaynatılmıştır.
2. Parça 780 S malzeme S1 tozaltı kaynak teli ile ve alüminat-bazik özellikte aglometre tip tozaltı kaynak tozu ile kaynatılmıştır.
3. Parça S355J2 kalite malzeme S2Mo tozaltı kaynak teli ile ve alüminat-bazik özellikte aglometre tip tozaltı kaynak tozu ile kaynatılmıştır.
4. Parça 780 S malzeme S2Mo tozaltı kaynak teli ile ve alüminat-bazik özellikte aglometre tip tozaltı kaynak tozu ile kaynatılmıştır.

6.5. KAYNAKLI PARÇALARIN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ

Kaynaklanan parçalar tahribatlı muayeneler için kesilmeden önce gözle muayene, ultrasonik muayene ve manyetik parçacık muayene işlemlerine tabi tutulmuştur. Tahribatsız muayene yöntemi kaynaklı parçaların iç ve dış kaynak bölgelerinde kusurların tespiti için uygulanmaktadır. Tahribatsız muayeneler Karçel A.Ş'de sertifikalı uzman personel tarafından gerçekleştirilmiştir.

6.5.1. Gözle Muayene

Gözle muayene, kaynak kep ve kök bölgelerinin dikkatlice kontrol edilmesidir. Genelde kaynaklı bölgelerin muayenelerinde gerçekleştirilen ilk işlemdir. Özellikle kaynağın her iki yüzeyinde (kep ve kök) çatlak, yanma oluşu, yetersiz nüfuziyet, gözenek, kökte sarkma gibi kusurların kontrolü gerçekleştirilir (Şekil 6.9). Gözle muayene işlemleri Karçel A.Ş'de alanlarında uzman sertifikalı personel tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.9. Gözle muayene edilen parçaların kep ve kök kısmı (seramik altlığın kullanıldığı taraf).

6.5.2. Ultrasonik Muayene

Tozaltı kaynak işleminden sonra kaynaklı parçalar, GE marka USM 35 DAC LEMO model ultrasonik test cihazı ile EN 473'e göre seviye 2 sertifikalı uzman personel tarafından kontrol edilmiştir (Şekil 6.10). Ultrasonik muayene işlemi 45°, 60° ve 70° açılı problarla EN 1712, EN 1713 ve EN 1714 standartlarına göre Karçel A.Ş'de gerçekleştirilmiştir.



Şekil.6.10. Ultrasonik muayene işlemi.

6.5.3. Manyetik Parçacık Muayenesi

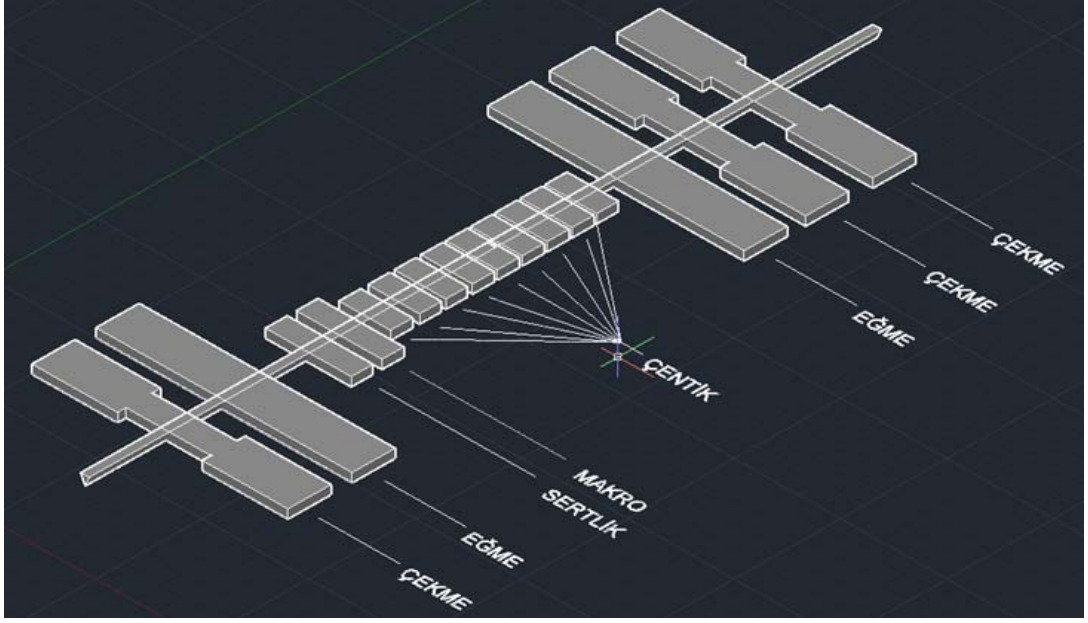
Kaynaklı parçalar, PARKER marka CONTOUR PROBE DA-400 S model 230 V, 50/60 Hz, 3 A, AC/DC özellikte manyetik parçacık muayene cihazı ile kaynak bölgesi ve her iki tarafı muayene edilmiştir. Uygulama Karçel A.Ş’de EN 473’e göre seviye 2 sertifikalı tecrübeli personel tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Manyetik parçacık muayene işlemi.

6.6. KAYNAKLI PARÇALARDAN NUMUNELERİN KESİLMESİ

Kaynaklı numunelere çekme, eğme, çentik darbe, mikrosertlik ve mikroyapılarının incelenmesi için standartlar çerçevesinde kesme işlemi uygulanmıştır. Kesme işlemi başlardan kaynaklı parçanın her iki tarafından 40 mm çıkarılarak yapılmıştır. Sebebi ise kaynak başlama ve bitiminde olası hatalardan kaçınmaktır. Deney numuneleri çıkarılırken soğutma sıvısı ile testerede kesilerek, frezede işlenerek standartlarda belirtilen ölçülere göre Şekil 6.12’de verilen plana göre hazırlanmıştır.



Şekil 6.12. Kaynaklı levhalardan deney parçalarının çıkarılma planı.

6.7. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

Deney numuneleri, standart metalografik usullerle (zımparalama, parlatma ve dağlama) metalografik inceleme için hazırlanmıştır. Kaynaklı numunelerin mikroyapı karakterizasyonu için hazırlanan numuneler sırasıyla 200-400-600-800-1000-1200 mesh'lik su zımparasıyla zımparalanarak pürüzsüz yüzey elde edilmiştir. Daha sonra bu yüzeyler sırasıyla 3 µm ve 1 µm elmas pasta ile keçede parlatılarak dağlanmaya hazır hale getirilmiştir. Dağlama işlemi için % 3 Nitrik Asit + % 97 Methanol (%3 Nital) çözeltisi kullanılmıştır. Dağlanan numunelerin yüzeyi methanol ile temizlenip kurutulmuştur. Mikroyapı incelemeleri için Nikon marka Epiphot 200 modeli mikroskop kullanılmıştır (Şekil 6.13).

Kaynaklı bağlantıların mikroyapı incelemeleri kaynak merkezlerinden bor yağı + su soğutmalı olarak kesilmiştir. Ardından yukarıda belirtilen işlem basamakları uygulanarak esas metal, ITAB ve kaynak metalinin mikroyapı karakterizasyonu yapılmıştır.



Şekil 6.13. Deneylerde kullanılan optik mikroskop.

6.8. MAKROYAPI İNCELEMELERİ

Kaynaklı parçalar ana malzeme, ITAB ve kaynak bölgesinin makro incelemelerinin yapılması için STRUERS markalı DISCOTOM-6 model kesme cihazı ile kesilmiş, metalografik numune hazırlama kurallarına uygun bir şekilde sırasıyla 400, 500, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımpara ile zımparalanmıştır. BUEHLER HADMET II markalı kaba parlatma cihazı, BUEHLER ECOMET III markalı ince parlatma cihazı ile parlatılmış ve % 3 Nital çözeltisi ile dağlanmış. Makroyapı görüntüleri Fuji marka dijital fotoğraf makinası ile çekilerek elde edilmiştir.

6.9. TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİ

Deneyisel çalışmalarda, kaynaklı parçaların çekme deneyi sonucu kopmuş yüzeylerinin ve darbe deneyi sonucunda oluşan kırılma yüzey görüntüleri, ayrıca çift-fazlı çeliklerin farklı tozaltı kaynak telleriyle kaynatılmış kaynak bölgeleri Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Philips XL 30 SFEG marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

6.10. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

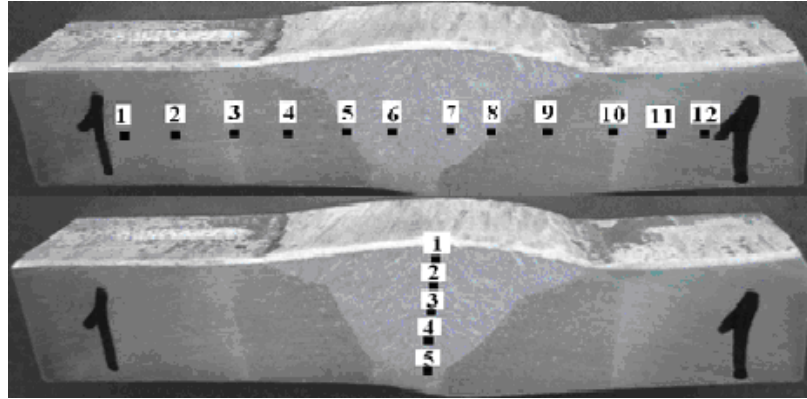
Deneyisel çalışmalarda iki farklı tel kullanılarak birleştirilmiş S355J2 ana malzeme ve ısıl işleme çift-fazlı çeliğe dönüştürülmüş 780 S kodlu çeliklerin kaynak yönüne

yatay ve dikey ekseninde sertlik değerleri Zwick Rockwell marka sertlik ölçüm cihazı ile alınmıştır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14. Zwick Rockwell marka sertlik ölçüm cihazı.

Sertlik testleri için, ZWICK / HZHU 3000 TOP marka cihazla Şekil 6.15’de belirtilen noktalardan mikrosertlik ölçüm değerleri alınmıştır.



Şekil 6.15. Yatay ve dikey ekseninde sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar.

6.11. ÇENTİK DARBE DENEYİ

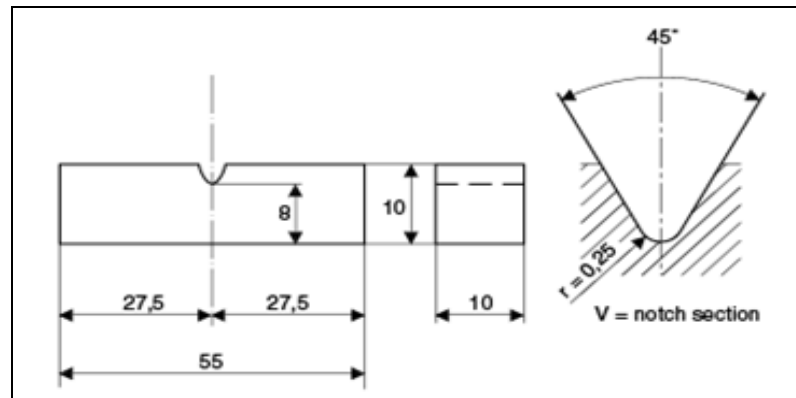
Deneyleerde S1 ve S2Mo tozaltı kaynak telleriyle birleştirilmiş numunelerin kaynak bölgesinin darbe dayanımları SCHENK TREBEL marka çentik darbe cihazı ile

ölçülmüştür (Şekil 6.16). Darbe dayanımını ölçmek için kaynak merkezinden standartlara uygun bir şekilde çentikler açılarak 20 °C, 0 °C ve -40 °C deney sıcaklıklarında darbe deneyi yapılmıştır. Eksi deney sıcaklığı için numuneler, LABO marka -40 °C soğutma kapasiteli kabinde soğutulmuştur.

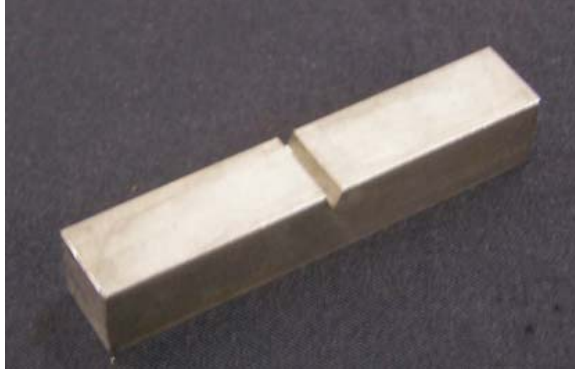
Kalınlığı frezeleme ile 10 mm'ye düşürülen numuneler yine frezeleme ile arka yüzeyden 2 mm derinliğinde ve ağız açısı 60° olacak şekilde çentik açılmıştır. Her bir deney çalışması için üçer adet numune kullanılmış ve ortalaması alınmıştır (Şekil 6.17. ve 6.18).



Şekil 6.16. Çentik darbe deneylerinin yapıldığı test cihazı.



Şekil 6.17. TS EN 10045-1 standardına göre çentik darbe deney parçası ölçüleri.

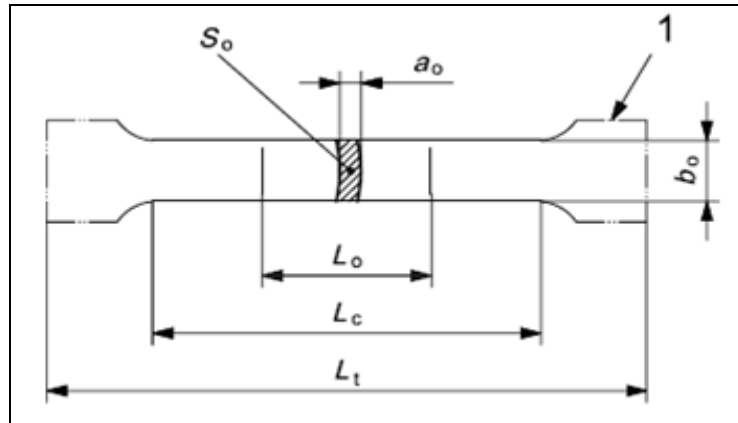


Şekil 6.18. TS EN 10045-1 standardına göre çentik darbe deney numunesi.

6.12. ÇEKME DENEYİ NUMUNESİNİN HAZIRLANMASI VE UYGULANMASI

6.12.1. Ana Metal ve Isıl İşlem Uygulanmış Parçaların Çekme Deneyi Numunesinin Hazırlanması ve Uygulanması

S355J2 kodlu malzemenin 780 °C sıcaklıkta ısıl işlemi ile elde edilen çift-fazlı çeliklerin mekanik özelliklerinin incelenmesi için çekme deneyi numuneleri TS EN ISO 6892-1 standardına göre (Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Çizelge 6.6) Çınar Boru'daki Üniversal Tezgahsan markalı frezede hazırlanmış (Şekil 6.21) ve çekme testleri TS EN ISO 6892-1 standardına göre Kardemir A.Ş. Mekanik-Metalografik Laboratuvarındaki 40 Tonluk AMSLER markalı çekme deneyi cihazında 2 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.21).



Şekil 6.19. Dikdörtgen kesitli makinede işlenmiş çekme deneyi numunesi [51].

Çizelge 6.6. Yassı çekme deneyi parça boyutları (TS EN ISO 6892-1 Mart 2011) [51].

Ölçüler mm 'dir			
Genişlik	İlk ölçü uzunluğu	En küçük gövde uzunluğu	Yaklaşık toplam uzunluk
b_0	L_0	L_c	L_t
40	200	220	450
25	200	215	450
20	80	90	300



Şekil 6.20. Çekme deneyi numunelerinin hazırlandığı tezgah.



Şekil 6.21. Çekme deneyinin yapıldığı tezgah.

6.12.2. Kaynaklı Bağlantıların Çekme Deneyi

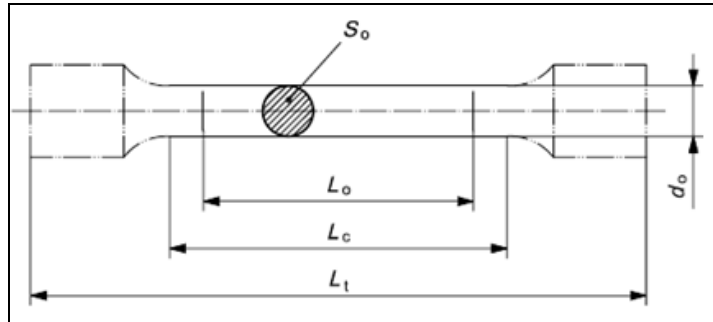
S355J2 malzeme ve bu malzemenin ısıl işlemleri ile elde edilen 780 S malzemelerin S1 ve S2Mo Tozaltı kaynak teli ile kaynaklanmış (S1-780S, S1-S355J2, S2Mo-780S, S2Mo-S355J2) parçaların (Şekil 6.22.) mekanik özelliklerinin incelenmesi adına çekme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 6.22. Mekanik işlenerek hazırlanmış çekme deneyi numuneleri.

6.12.3. S1 ve S2Mo Telleri İle Kaynatılan Kaynak Metalinden Çıkarılan Deney Parçalarının Çekme Deneyi

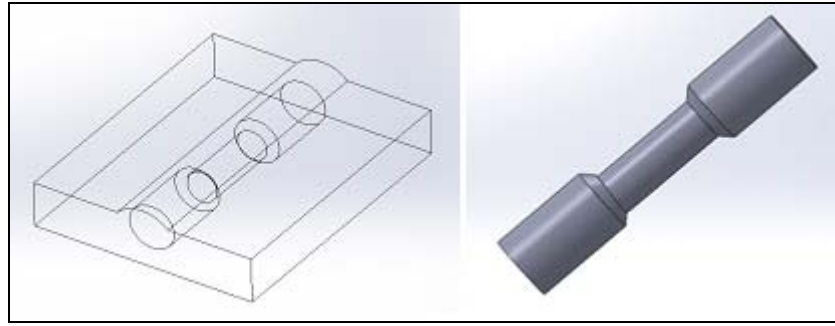
Kaynak metalinden çıkarılan silindirik çekme deneyi numunesi ölçüleri Şekil 6.23 ve Çizelge 6.7’de, çekme deneyi numunelerinin kaynak metalinden çıkartılması Şekil 6.24 ve 6.25’de gösterilmiştir.



Şekil 6.23. TS EN ISO 6892-1’e göre yuvarlak kesitli deney parçası ölçüleri [51].

Çizelge 6.7. Yuvarlak kesitli çekme deneyi parça boyutları (TS EN ISO 6892-1 Mart 2011) [51].

Oranlı Katsayısı	Çap d mm	İlk ölçü uzunluğu $L_0 = k\sqrt{S}$ mm	en küçük gövde uzunluğu L_c mm
5,65	20	100	110
	14	70	77
	10	50	55
	5	25	28



Şekil 6.24. Silindirik çekme deneyi numunelerinin kaynaklı parçalardan çıkarılması ve TS EN ISO 6892-1'e göre hazırlanması.



Şekil 6.25. Kaynak metalinden çıkarılmış ve TS EN ISO 6892-1'e göre hazırlanmış çekme deneyi numunelerinin görüntüleri.

6.13. EĞME DENEYİ

Eğme deneyleri Kardemir A.Ő. Mekanik Metalografik Laboratuvarında, ASTM E190 standardına göre, 3 noktadan 90 mm mandrel çapı ile 40 Ton kapasiteli AMSTEL marka 40 ton kapasiteli çekme cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.26).



Şekil 6.26. Eğme deneylerinin yapıldığı tezgah.

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. KAYNAKLI PARÇALARIN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ

7.1.1. Gözle Muayene

Kaynatılan parçaların her iki tarafı dikkatlice görsel olarak sertifikalı uzman personel tarafından kontrol edilmiştir. Gözle muayene sonucu kaynak kep ve kök kısımlarında çatlak, yanma oluşu, yetersiz nüfuziyet, yüzeyde gözenek gibi kusurlara rastlanmamıştır.

7.1.2. Kaynaklı Deney Parçalarının Ultrasonik Muayenesi

45°, 60° ve 70° açılı problemlerle EN 1712, EN 1713 ve EN 1714 standartlarına uygun bir şekilde gerçekleştirilen muayene sonucu kaynak bölgesinde çatlak, gözenek, kalıntı gibi hatalar saptanmamıştır. Uygulama EN 473'e göre seviye 2 sertifikalı tecrübeli personel tarafından gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır (Şekil 7.1).

7.1.3. Kaynatılan Deney Parçalarının Manyetik Parçacık Muayenesi

Kaynaklı parçalarda; manyetik parçacık muayenesi kaynak bölgesinin her iki tarafına uygulanmıştır. Uygulama EN 473'e göre seviye 2 sertifikalı tecrübeli personel tarafından gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır (Şekil 7.2).

KARÇEL		ULTRASONIC TEST REPORT				Report No	01-12					
A.Ş.		ULTRASONİK TEST RAPORU				Rapor No						
						Sheet	1/1					
						Sayfa						
Project	S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE TOZALTI TELİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ İLE İLGİLİ TEZ ÇALIŞMASI				-	-						
Proje					-	-						
Customer	-				Drawing No	-						
Müşteri					Resim No	-						
Manufacturer	-				Component	-						
Üretici					Parça-Kısım	-						
Welding Process	Kaynak Metodu			Equipment	Cihaz	USM 35 DAC LEMO (GE)	NDT Specification	AASHTO / AWS D1.5				
PLAN				Reference Setting	45 dB	Reference Blocks	DAC (a material block; to slotted (Ø 1.5 mm) on the flank for DAC curve)					
				Referans seviyesi		Referans Bloğu						
				Scanning Extra	Tarama	12 dB	Calibration Block	IIW1/V1 - IIW2/V2				
				Ekstrası		Transfer Correction	-	Base Material	Ana			
				Transfer Düzeltmesi		Total	57 dB	Malzeme	S355J2+N & 780S			
				Toplam		Probe	MWB 45-4	Before / After Heat Treatment	İşil İşlem Öncesi/Sonrası			
				Probe	MWB 60-4	Surface Condition		Yüzey Durumu	To be Cleaned			
				Probe Angle	45° - 60° - 70°	Couplant		Temas Sıvısı	Methyl Cellulose			
				Prob Açısı		Frequency	4 MHz					
				Frekans								
Weld No	Welding Pr.	Direction	Location and Orientation of Indication / Bulguların Konumları ve Yönü						Result Sonuç		Evaluation Sonuç	
			Thickness	Dist. Fr. Ref.* Point (X) (mm) Ref. N. Uzaklık	Dist. Fr. Ref.* Point (Y) (mm) Ref. N. Uzaklık	Depth (mm)	Parallel	Trans-verse	dB above Recording Threshold	Recording Length or Area mm/mm ² Belirtilerin Uzunluğu/Alanı	Acceptable	Not Acceptable
Kayn.	Kaynak Yönt.	Kont. Yönü	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	Paralel	Enine	dB mm	mm	Uygun	Uygun Değil
1	SAW	1,2,3,4	14 - 14	-	-	-	-	-	-	-	OK	-
2	SAW	1,2,3,4	14 - 14	-	-	-	-	-	-	-	OK	-
3	SAW	1,2,3,4	14 - 14	-	-	-	-	-	-	-	OK	-
4	SAW	1,2,3,4	14 - 14	-	-	-	-	-	-	-	OK	-
Notes / Not												
Signature (H)			Mutlu UZUN									
			KARÇEL ÇELİK İNŞAAT TURİZM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.									
Date			27.09.2012									

Şekil 7.1. Kaynaklı deney parçalarına ait ultrasonik muayene raporu.

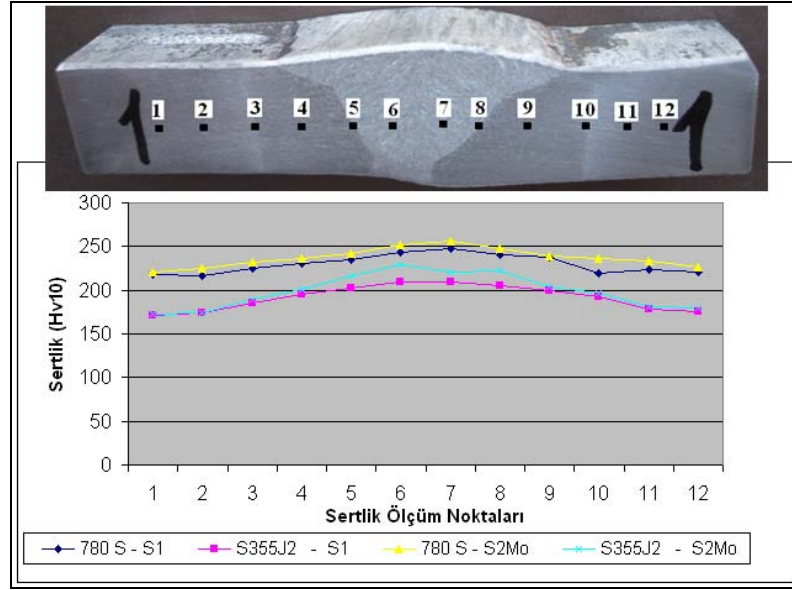
KARÇEL A.Ş.		MAGNETIC PARTICLE TEST REPORT MANYETİK PARTİKÜL TEST RAPORU				Report No	01.12	
						Rapor No		
						Sheet	1/1	
						Sayfa		
Project	S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE TOZALTI TELİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ İLE İLGİLİ TEZ ÇALIŞMASI			Drawing No				
Proje				Resim No				
Customer Müsteri				Object Obje				
Manufacturer Üretici				NDT Specification	EN 1090-2 / EN 17638 / EN 571-1			
MAGNETIC PARTICLE TEST MANYETİK PARTİKÜL TESTİ				MT				
Equipment Cihaz Adı	AKKE HANDY MAGNET		Model Model	A2 - D	Serial No: Seri No:	0002 MPI		
Magnetization Type	YOKE TYPE /	Duration of Force Application	7 sec.	Type of Current / Voltage	12 V	Field Intensity Alan Şiddeti	2-6 kA/m	
Manyetize Yöntemi	EL MAGNETİ	Süresi		Akım Tipi				
Test Medium	≥ 500 LUX	Type of Liquid	ASTME D-96	MP Suspension	DIN 45132			
Test Ortamı		Sıvı Çeşidi		Kontrolü				
Malzeme Cinsi	S355J2+N & DP910 & DP780	Surface Condition	CLEANING / TEMİZLEME	Preparation of Material Test Yüzeyi Hazırlığı	Clear / Temiz			
Test Technique / Test Yöntemi	Wet / Islak		Visual /Görünür	X	Heat Treatment	NON		
	Dry / Kuru		Flora / Florasan		/ Isıl İşlem			
MP Suspension Mark	BETA Ferromagna Spray			MP Suspension Serial No	Ferromagna: B.036P01			
Test Sıvısının Markası	BETA Black Dye Spray			Test Sıvısının Seri Numarası	Back Dye: B.083 P01			
Weld No	Pos+Pos	Evaluation / Değerlendirme		Defect Location (mm) Hata Yeri		TEST AREA / EXTENT OF TEST		Result
Kaynak No	Poz+Poz	Accept	Reject	From (mm) Başlangıç	End (mm) Bitiş	TEST BÖLGESİ / TEST İÇERİĞİ		Sonuç
1	14mm+14mm (S1 - 780 S)	OK		-	-	WELD SEAMS AND HAZ / %100		OK
2	14mm+14mm (S1 - S355J2)	OK		-	-	WELD SEAMS AND HAZ / %100		OK
3	14mm+14mm (S2Mo - 780 S)	OK		-	-	WELD SEAMS AND HAZ / %100		OK
4	14mm+14mm (S2Mo - S355J2)	OK		-	-	WELD SEAMS AND HAZ / %100		OK
Signature (H)	Ergin Coşkun			Signature (B)	Signature (BB)			
KARABÜK ÇELİK İNŞAAT MONTAJ İNŞAAT NAKİLLER TURİZM	Date SANAYİ 27.09.2012			Date	Date			

Şekil 7.2. Kaynaklı deney parçalarına ait manyetik parçacık muayene raporu.

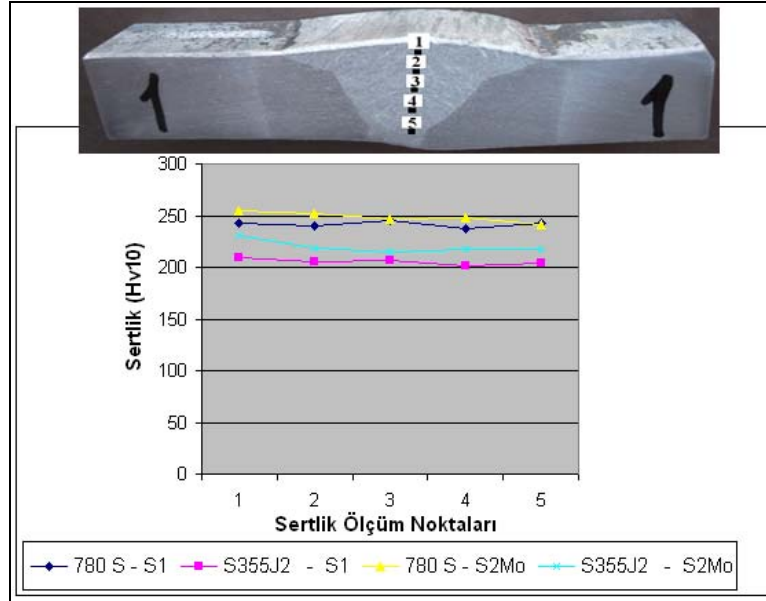
7.2. KAYNAKLI DENEY PARÇALARININ TAHRİBATLI MUAYENESİ

7.2.1. Sertlik Ölçümleri

Kaynaklı bağlantıların yatay ekseninden ve kaynak metalinin dikey ekseninden alınan sertlik ölçümleri sırasıyla Şekil 7.3 ve Şekil 7.4’de verilmiştir.



Şekil 7.3. Kaynaklı numunenin yatay ekseninden alınan sertlik ölçümlerinin grafiği.



Şekil 7.4. Kaynak metalinin dikey ekseninden alınan sertlik ölçümlerinin grafiği.

Özellikle düşük alaşımlı çeliklerde çatlama riski en fazla olan ITAB'da sertliğin 350 HV değerini aşmaması istenmektedir. Yapılan sertlik testlerinde bu değeri geçen herhangi bir değere rastlanmamıştır.

Şekil 7.7'de, kaynaklı bağlantılardan çıkarılan numunenin yatay ekseninde gerçekleştirilen sertlik değerlerinin ana malzemelerde daha düşük ITAB ve kaynak bölgelerinde bariz bir şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 7.8'de, kaynak metalinin dikey ekseninden alınan sertlik ölçümleri S2Mo tozaltı kaynak telinin kullanıldığı kaynak metali sertlik değerlerinin S1 teli kullanılanlara oranla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun en büyük sebebinin ise S2Mo telinin ihtiva ettiği molibden elementi ve içeriğinde mangan değerinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm kaynaklı malzemelerin ana malzeme bölgesinden alınan sertliklerde, 780 °C'de ısıtılmış ve suda soğutulmuş malzemelerin daha sert olduğu anlaşılmıştır. En düşük sertlik değeri 171 HV ile S355J2-S1 kaynaklı malzemenin ana malzeme bölgesinden alınmıştır. En yüksek değer ise 256 HV ile 780 S-S2Mo kaynaklı malzemenin kaynak bölgesinden alınmıştır.

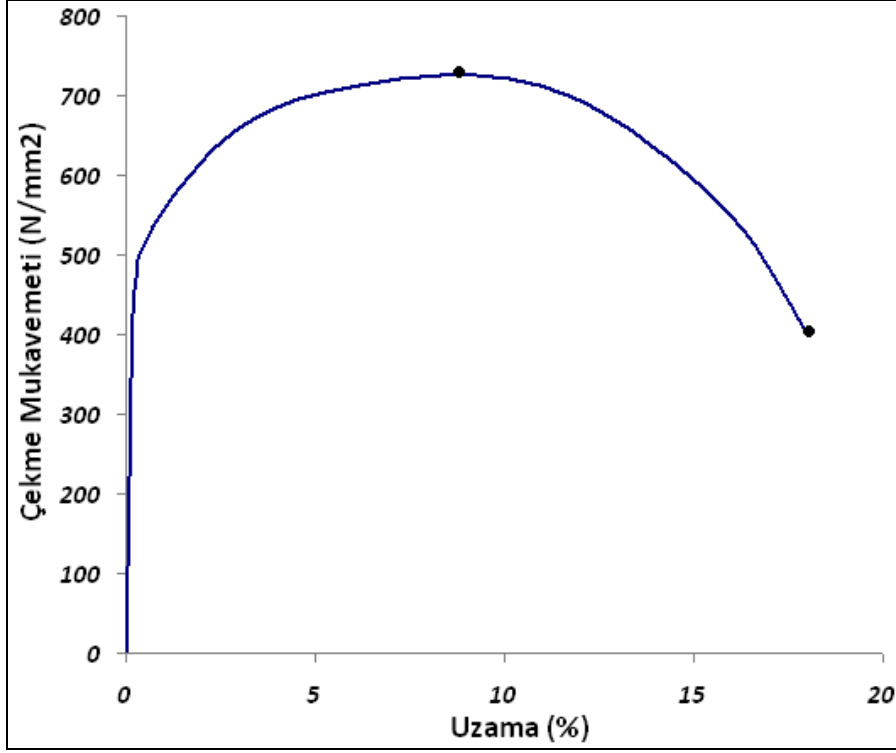
7.2.2. Çekme Deneyi Sonuçları

7.2.2.1. Kaynaksız Numunelerin Çekme Deneyi

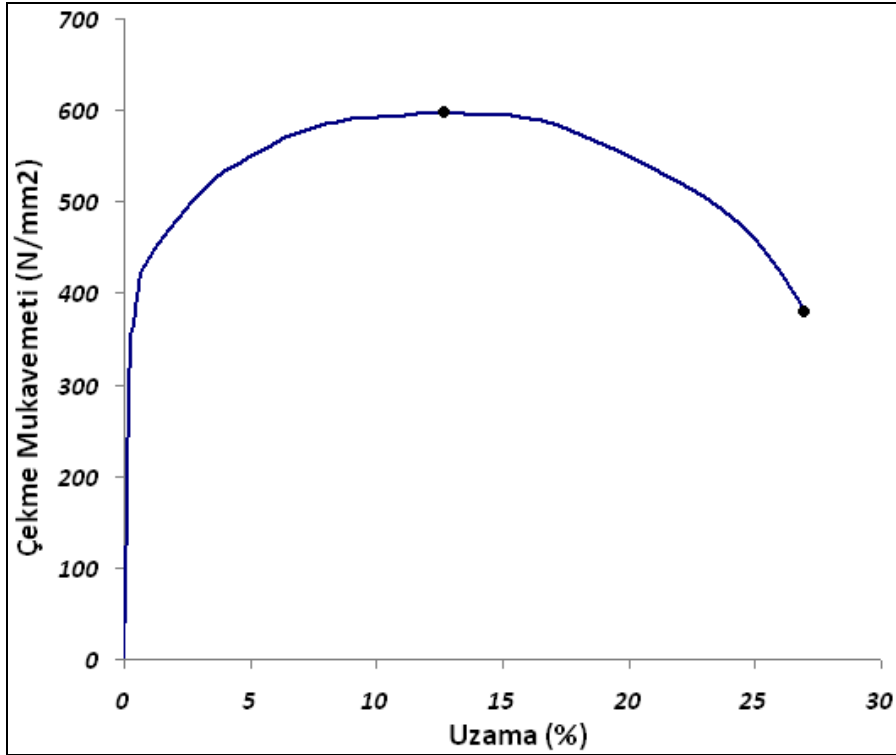
S355J2 numunesinin 597 N/mm^2 olan çekme dayanımı, ısıtılma sonucu (780 S) 715 N/mm^2 ye çıkmıştır. Bu sonuç yapılan ısıtılma sonucunda çift-fazlı çelik (martenzit + ferrit) oluşumunun kanıtı olmuştur. Şekil 7.5'de çekme deneyi sonucunda kopmuş numunelerin fotoğrafları, Şekil 7.6 ve 7.7'de çekme deney grafikleri verilmiştir.



Şekil 7.5. 780 S kopmuş numune fotoğrafları.



Şekil 7.6. 780 S malzemenin çekme deneyi sonucu.



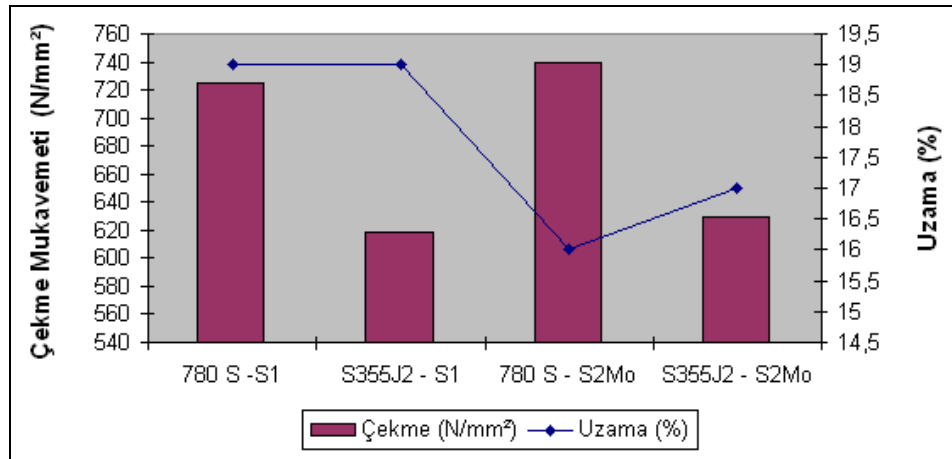
Şekil 7.7. S355J2 malzemenin çekme deneyi sonucu.

7.2.2.2. Kaynaklı Bağlantıların Çekme Deneyi (Levha Kesitli)

S1 ve S2Mo tel kullanılarak birleştirilen S355J2 ve 780 S çeliklerinin ilgili standartlara uygun olarak yapılan çekme deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 7.8 ve Çizelge 7.1’de verilmiştir. Her bir kaynaklı bağlantıdan üçer adet çekme deneyi numunesi hazırlanmış ve deney sonuçlarının ortalaması alınmıştır.

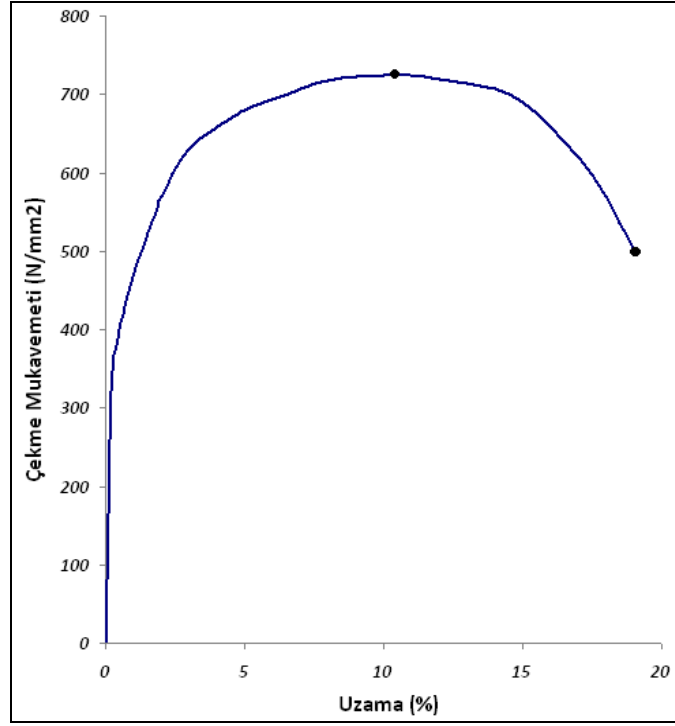
Çizelge 7.1. Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları.

KAYNAKLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI			
Malzeme	Deney No	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)
780 S-S1	1	719	17
	2	731	19
	3	725	20
	ORTALAMA	725	19
S355J2-S1	1	623	20
	2	612	17
	3	619	19
	ORTALAMA	618	19
780 S-S2Mo	1	739	16
	2	728	17
	3	749	16
	ORTALAMA	739	16
S355J2-S2Mo	1	636	19
	2	623	16
	3	631	17
	ORTALAMA	630	17

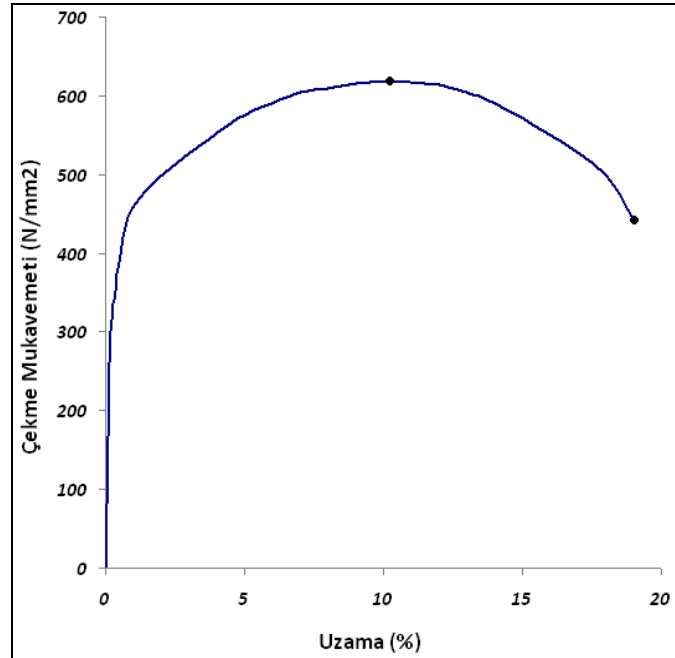


Şekil 7.8. Kaynaklı bağlantıların karşılaştırmalı çekme deneyi sonuçları.

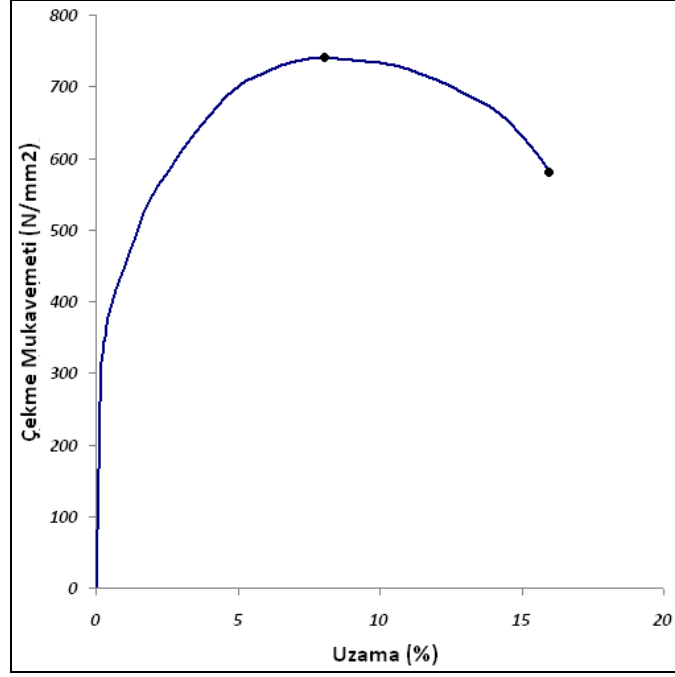
Çekme deneyine tabi tutulan numunelerin grafikleri Şekil 7.9-7.12’de verilmiştir.



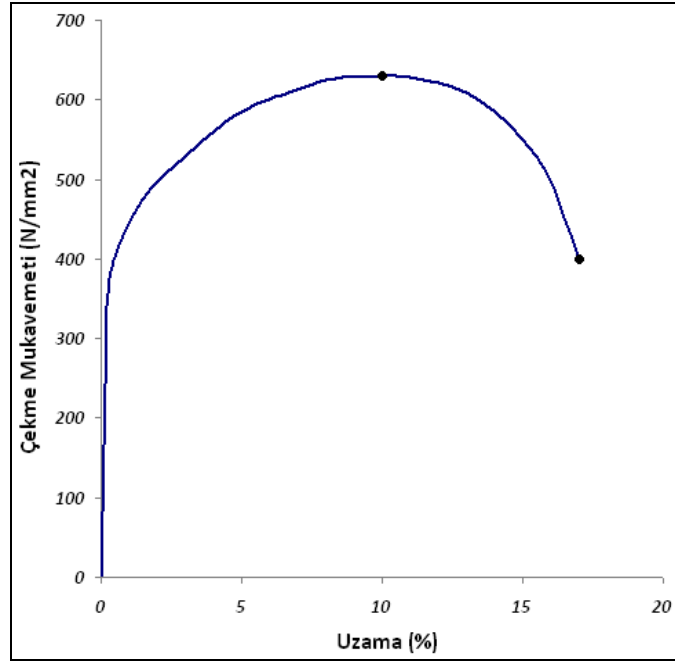
Şekil 7.9. S1-780 S kaynaklı malzemenin çekme deneyi sonucu.



Şekil 7.10. S1-S355J2 kaynaklı malzemenin çekme deneyi sonucu.



Şekil 7.11. S2Mo-780 S kaynaklı malzemenin çekme deneyi sonucu.

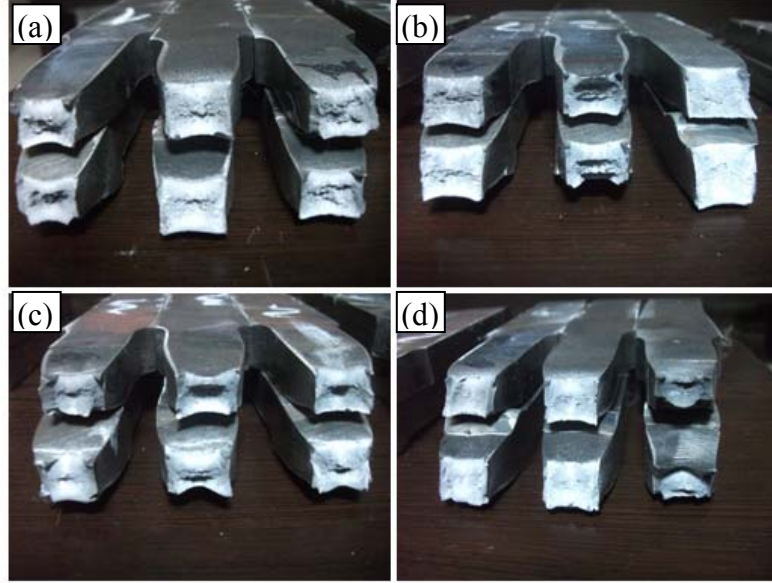


Şekil 7.12. S2Mo-S355J2 kaynaklı malzemenin çekme deneyi sonucu.

Çekme deneyine tabi tutulan numunelerin kopma bölgeleri ve kopma yüzeyleri sırasıyla Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'de verilmiştir.



Şekil 7.13. Çekme deneyi sonucu koparılan numune fotoğrafları.



Şekil 7.14. Çekme deneyi sonrası çekme numunelerinin kopma yüzeyleri; a) S1-780 S kaynaklı malzeme, b) S1-S355J2 kaynaklı malzeme, c) S2Mo-780 S kaynaklı malzeme, d) S2Mo-S355J2 kaynaklı malzeme.

Dört farklı kaynaklı bağlantılardan her birinden üçer adet çekme test numunesi hazırlanmış ve çekme sonuçlarının ortalaması alınmıştır. En yüksek çekme değeri 739 N/mm^2 ile 780 S-S2Mo bağlantısına ait olmuştur. En düşük çekme değeri ise 618 N/mm^2 ile S355J2-S1 bağlantısında görülmüştür.

Kaynaklı bağlantıların çekme testleri sonucu tüm kopmaların ITAB-ana malzeme bölgesinde olduğu görülmüştür. Kaynak metalinde kopma olmaması kaynak parametrelerinin uygun değerlerde ayarlanmış olduğunu göstermiştir.

7.2.2.3. S1 ve S2Mo Telleri Mukayeseli Çekme Deneyi (Silindirik)

S355J2 malzemelerden hazırlanmış numuneler, S1 ve S2Mo tozaltı kaynak telleri ile kaynaklanmış ve sadece kaynak metalini içeren silindirik çekme testi numuneleri çıkartılmış, mekanik değerleri karşılaştırılmıştır.

S1 ve S2Mo tellerinin kaynak yapıldıktan sonra bu bölgeden çıkarılması ile elde edilmiş numunelerin çekme test sonuçları ve görüntüleri sırasıyla Çizelge 7.2 ve Şekil 7.15’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. S1 ve S2Mo telleri ile kaynatılan kaynak metali çekme deneyi sonuçları.

KAYNAK TELİ İLE KAYNATILMIŞ VE SADECE KAYNAKLANAN KISMI KAPSAYAN SİLİNDİRİK MALZEME ÇEKME DENEY SONUÇLARI			
Malzeme	Deney No	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)
S1 TOZALTI KAYNAK TELİ	1	513	27
	2	529	23,5
	3	516	25,4
	ORTALAMA	519	25
S2Mo TOZALTI KAYNAK TELİ	1	610	20,5
	2	604	21,8
	3	603	20,2
	ORTALAMA	606	21



Şekil 7.15. Sadece kaynak bölgesinin çıkarıldığı parçalardan hazırlanmış silindirik çekme deneyi numunelerinin kopma bölgeleri.

S355J2 malzemeler, S1 ve S2Mo tozaltı kaynak telleri ile aynı kaynak parametreleri ile kaynatılmış ve sadece kaynak metalinden silindirik çekme testi numuneleri hazırlanmıştır. Her iki kaynaklı (S1 ve S2Mo) malzemelerden üçer adet çekme testi gerçekleştirilmiş ve ortalaması alınmıştır. Çekme testleri sonucu S2Mo tozaltı kaynak telini içeren çekme numunelerinin ortalaması 606 N/mm², S1 tozaltı kaynak telini içeren çekme numunelerinin ortalaması 519 N/mm² olmuştur. Sonuçlar beklendiği gibi çıkmıştır. S2Mo kaynak telinin mukavemetinin daha yüksek olmasının, içerdiği molibden elementi ve mangan oranının S1'e göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı görülmüştür.

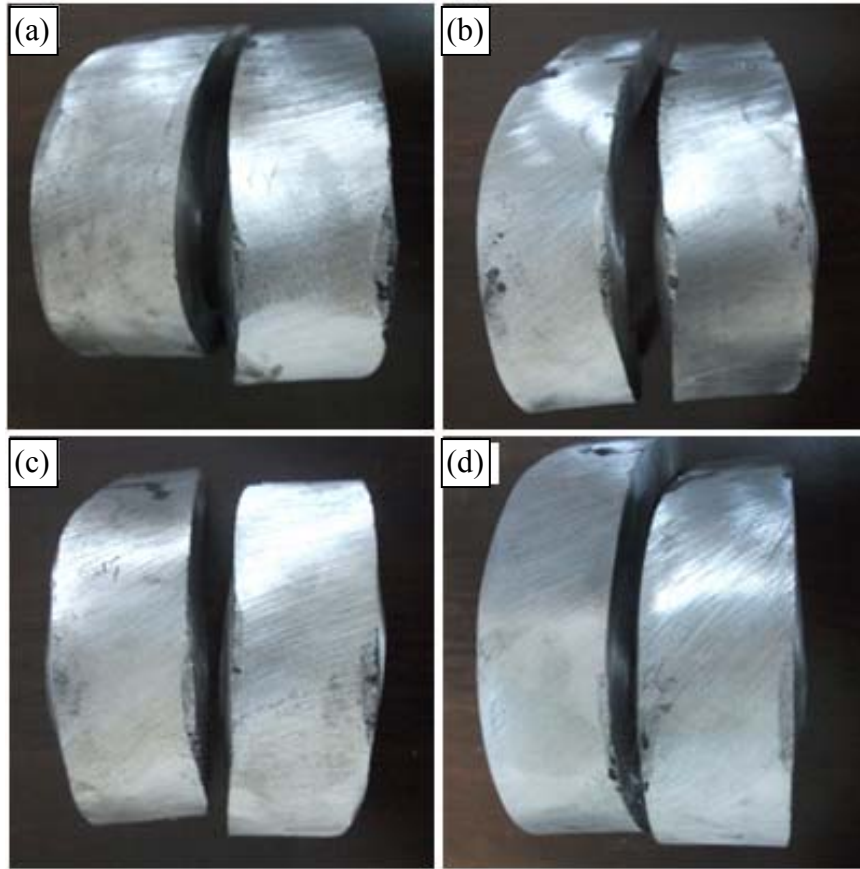
Kaynak metalinden çıkarılan numunelerin kopmuş yüzey görüntüleri Şekil 7.16'da verilmiştir.



Şekil 7.16. Kaynak metalinden çıkarılan numunelerin “cup and cone” tarzı kopmuş yüzey görüntüleri.

7.3. EGME DENEYİ NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI VE UYGULANMASI

Şekil 7.17’de kaynaklı bağlantıların kep ve kök taraflarının uygun çapta mandrel ile 180° büküldüğü görülmektedir. Eğme testi sonucu bükülmüş kaynaklı bağlantı yüzeylerinde ve kenarlarında herhangi bir çatlama ve yırtılmaya rastlanmamıştır. Bu sonuçla kaynaklı bağlantıların sünek olduğu ve sanayi uygulamalarına müsait olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.17. Eğme deneyi sonucu numunelerin görüntüleri, a) S1-780 S kaynaklı malzeme, b) S1-S355J2 kaynaklı malzeme, c) S2Mo-780 S kaynaklı malzeme, d) S2Mo-S355J2 kaynaklı malzeme.

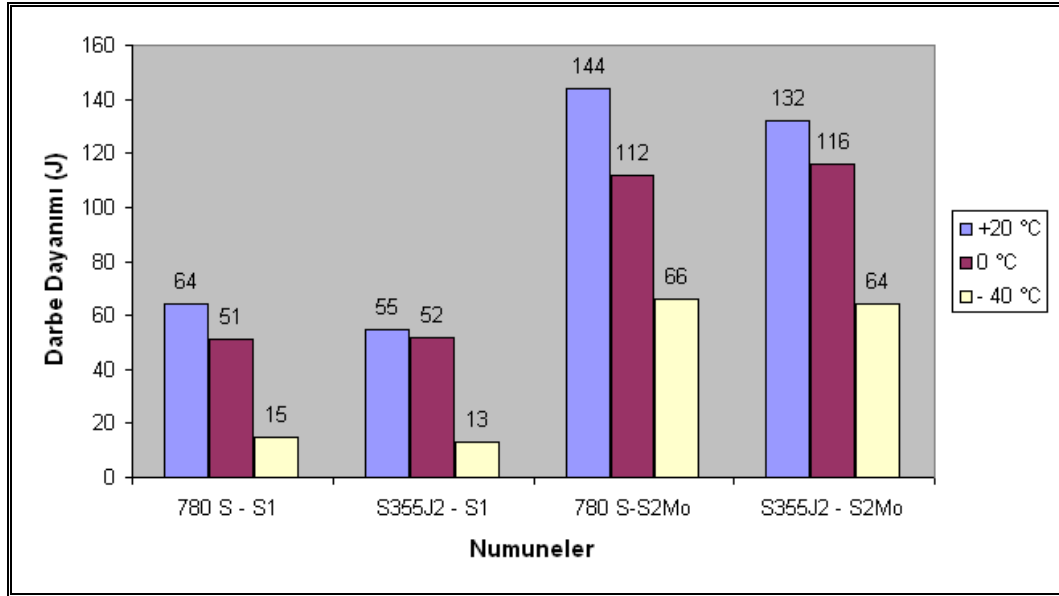
7.4. ÇENTİK DARBE DENEYİ

Kaynaklı bağlantıların çentik darbe deneyi sonuçları Şekil 7.18 ve Çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çentik darbe deneyi metal malzemelerin şartlar değiştikçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun konumda bulundurulması daha kesin ve net bir sonuç alınması yönünden önemlidir. Çentik darbe deney çalışmasında -40, 0, 20°C'lere 2 saat süre ile soğutulan numunelere darbe deneyi uygulanmış ve sıcaklık farklılıkları sonucunda malzemelerin mekanik özelliklerinin değiştiği görülmüştür. Bu sonuçlar ana malzeme bölgesi, ITAB ve kaynak bölgelerinden TS EN 10045-1 standardına uygun hazırlanmış numunelere yapılmıştır.

Çizelge 7.3. Çentik darbe deneyi sonuçları.

ÇENTİK DARBE DENEYİ SONUÇLARI			
KAYNAKLI NUMUNE	+20 °C	0 °C	- 40 °C
780 S - S1	64	51	15
S355J2 - S1	55	52	13
780 S-S2Mo	144	112	66
S355J2 - S2Mo	132	116	64

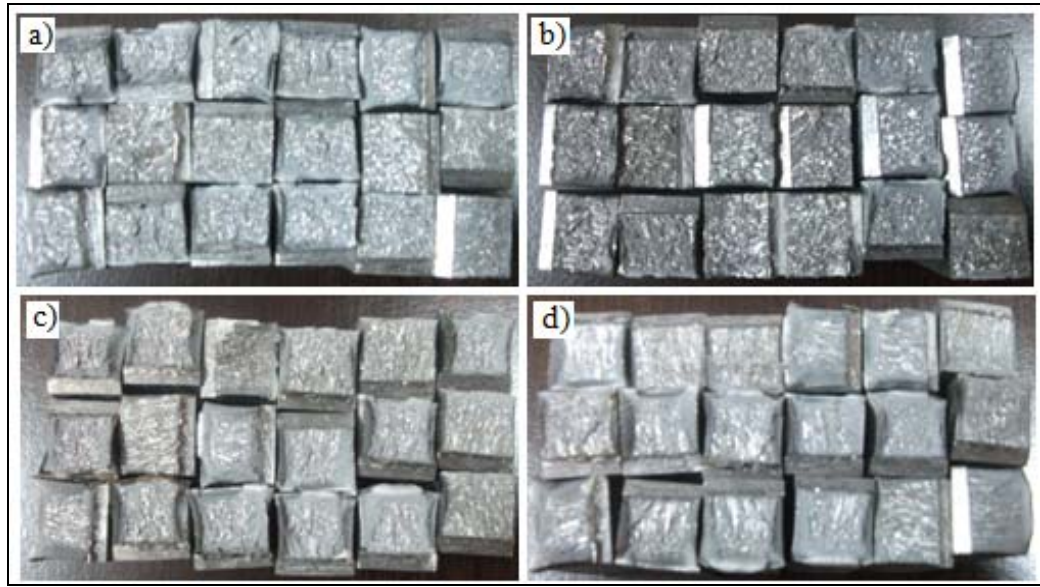


Şekil 7.18. Çentik darbe deneyi sonuçlarının sıcaklıklara göre dağılımı.

Çentik darbe deneyi değerleri en yüksek 20 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde çıkmıştır. En düşük değerlerin de - 40 °C'de soğutulmuş numunelere ait olmuştur. Bunun en büyük nedeni ise sıcaklık düştükçe malzemelerin darbe direncinin de düşmesindedir.

Çentik darbe deneyi sonucu S2Mo tozaltı teli ile kaynatılan numunelerin değerlerinin bariz bir şekilde daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin ise S2Mo tozaltı kaynak telinin S1 teline göre ilaveten molibden elementi içermesi ve nispeten fazla miktarda mangana sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Hem molibden hem de mangan tokluk değerini arttırıcı özelliklere sahip elementlerdir.

Kaynaklı bağlantıların çentik darbe deneyi sonucunda kopmuş numune görüntüleri ve kırılma yüzeyleri Şekil 7.19 ve Şekil 7.20’de verilmiştir.



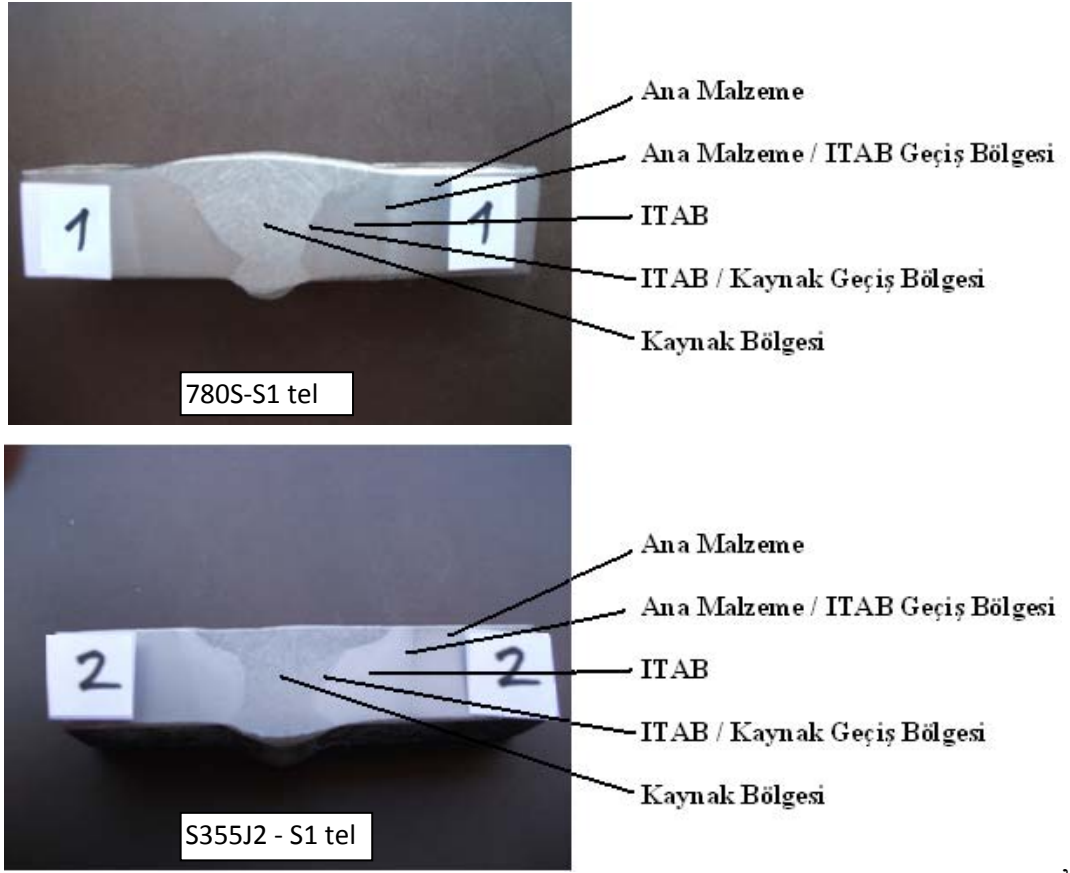
Şekil 7.19. Çentik darbe deneyi sonucu numunelerin kırılma yüzeyleri, a) S1-780 S kaynaklı malzeme, b) S1-S355J2 kaynaklı malzeme, c) S2Mo-780 S kaynaklı malzeme, d) S2Mo-S355J2 kaynaklı malzeme.



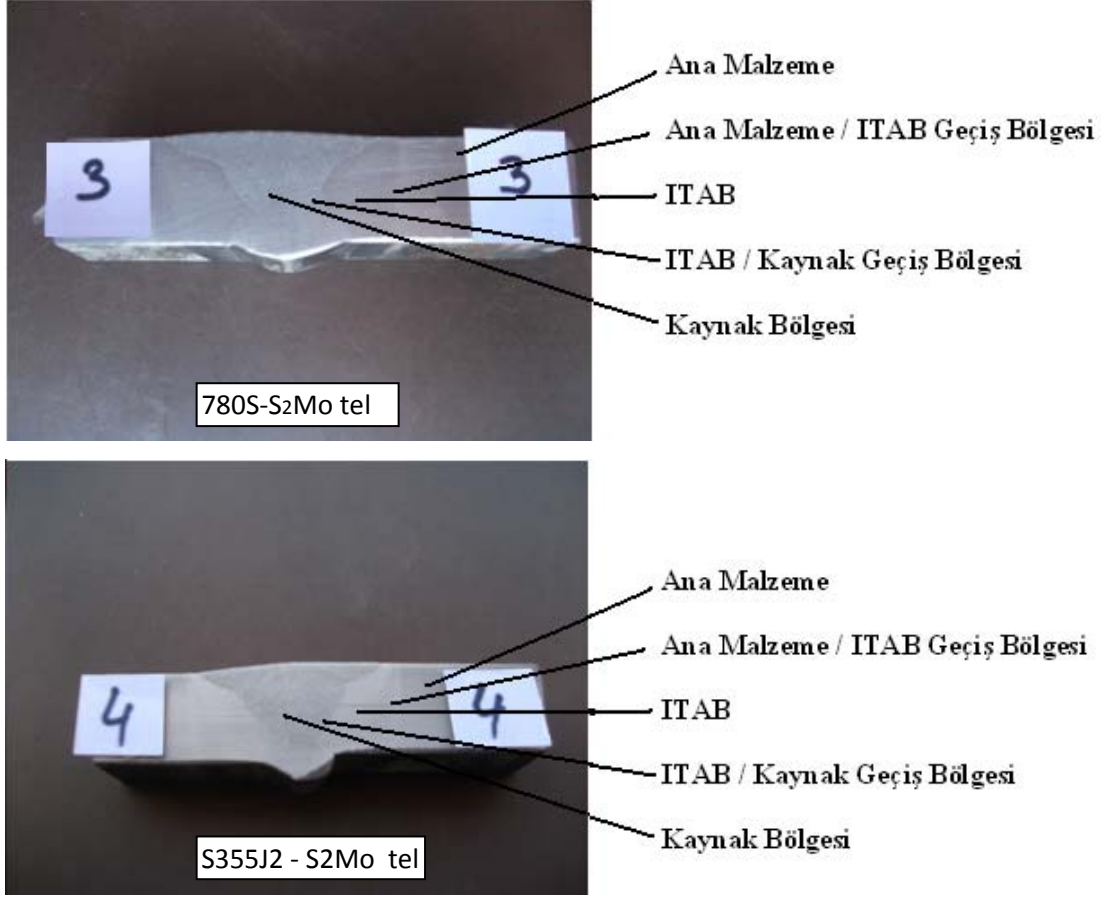
Şekil 7.20. Çentik darbe deneyi sonucu kopmuş numunelerin toplu görünümü.

7.5. MAKROYAPI İNCELEMELERİ

Deneysel çalışmalarda, farklı kaynak telleri ile birleştirilen S355J2 ana malzemesi ve 780 °C’de tavlanan çift-fazlı çeliğin makroyapı karakterizasyonu optik mikroskop ve dijital fotoğraf makinası yardımıyla gerçekleştirilmiştir. S1 teli ile birleştirilmiş numunelerin makroyapı fotoğrafları Şekil 7.21’de, S2Mo teli ile birleştirilmiş numunelerin makroyapı fotoğrafları Şekil 7.22’de verilmiştir.



Şekil 7.21. S1 teli ile birleştirilmiş S355J2 ve 780 S numunelerinin makroyapı fotoğrafları.



Şekil 7.22. S2Mo teli ile birleştirilmiş S355J2 ve 780 S numunelerinin makroyapı fotoğrafları.

Makroyapı fotoğrafları incelendiğinde kaynak çukurunun oluşmadığı, kaynak bölgesinde çatlaklara, boşluklara, ergime azlığına, düşük nüfuziyete, curuf kalıntılara ve yanma oluklarına rastlanmadığı dolayısıyla kaynak parametrelerinin uygun değerlerde seçildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca aşırı kaynak amperi sonucunda oluşan kaynak sarkması ve hatalarının oluşmadığı görülmektedir. Makroyapı fotoğraflarından, iki pasonun birbirinden ayırt edilebildiği, kaynak bölgesi-ITAB-ana malzeme bölgelerinin kolaylıkla ayırt edilebildiği gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesinde tanelerin ısı akışına yöneldiği görülmektedir. ITAB bölgesinin geniş olduğu, bunun sebebinin ise her iki pasoda da yüksek ısı girdisi, kaynak hızının yavaş olmasından kaynaklandığı görülmüştür. Kaynağın kök tarafının kullanılan seramik altlığın formunu aldığı ve nüfuziyetin tam olduğu görülmektedir.

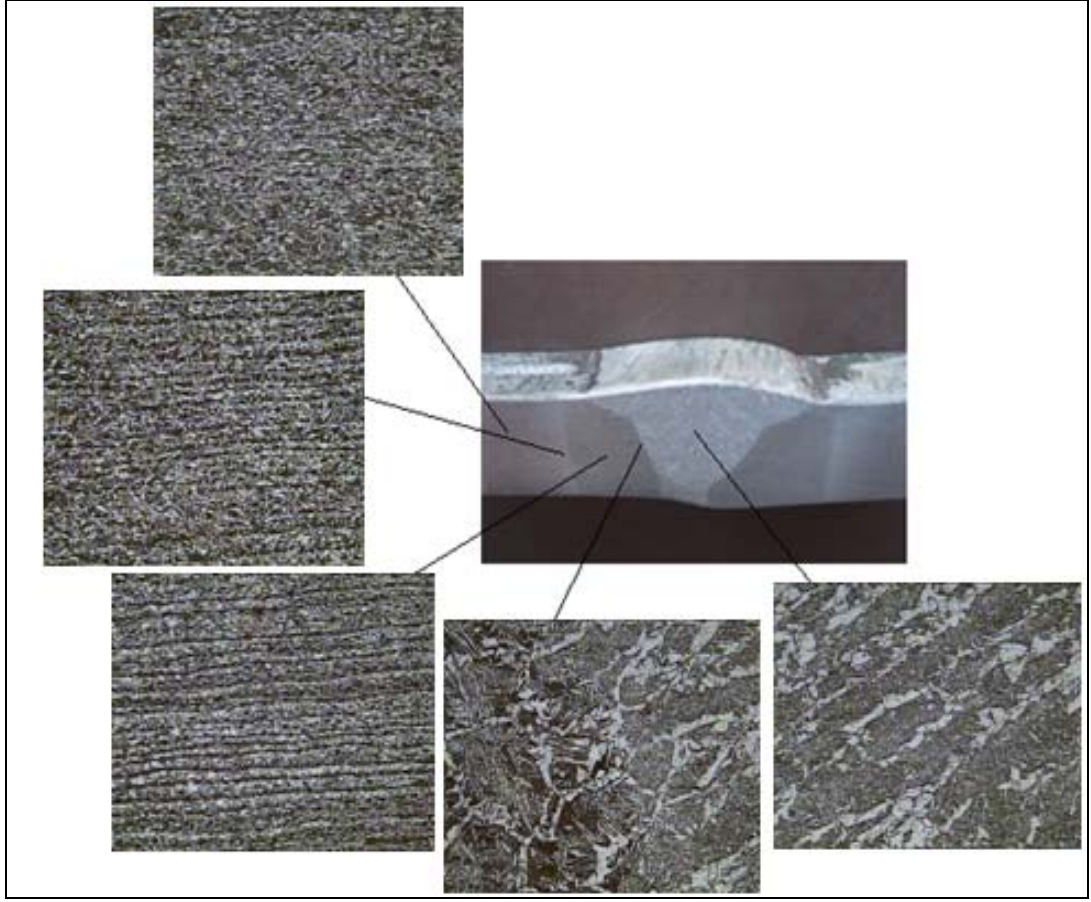
7.6. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Tozaltı kaynak yöntemiyle S1 teli kullanılarak birleştirilen S355J2 malzemenin kaynak bölgesine ait (kaynak metali ve ITAB) optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 7.23'de gösterilmektedir.



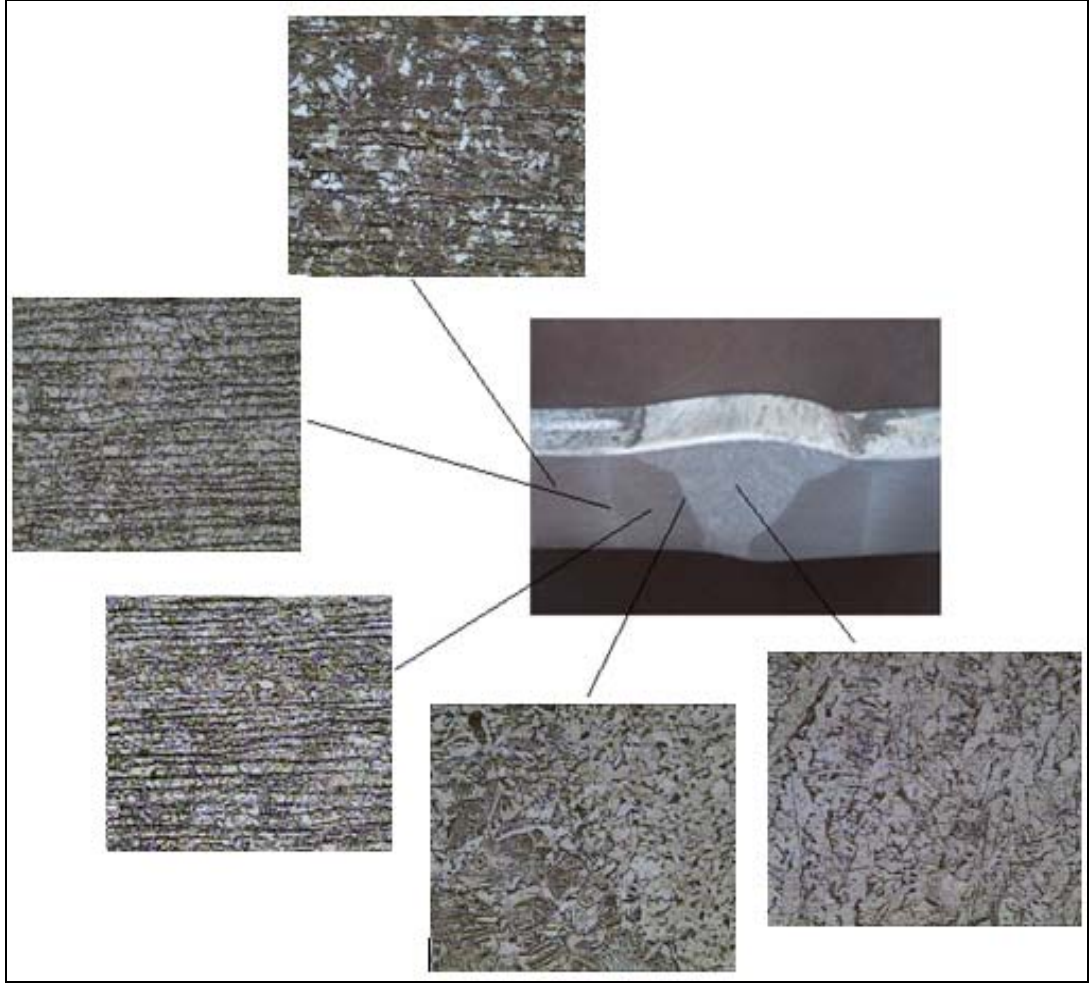
Şekil 7.23. S355J2-S1 kaynaklı bağlantısının mikroyapı fotoğrafları.

S355J2 malzemenin S2Mo teli ile kaynatılan bağlantının mikroyapı fotoğrafları Şekil 7.24'de gösterilmektedir.



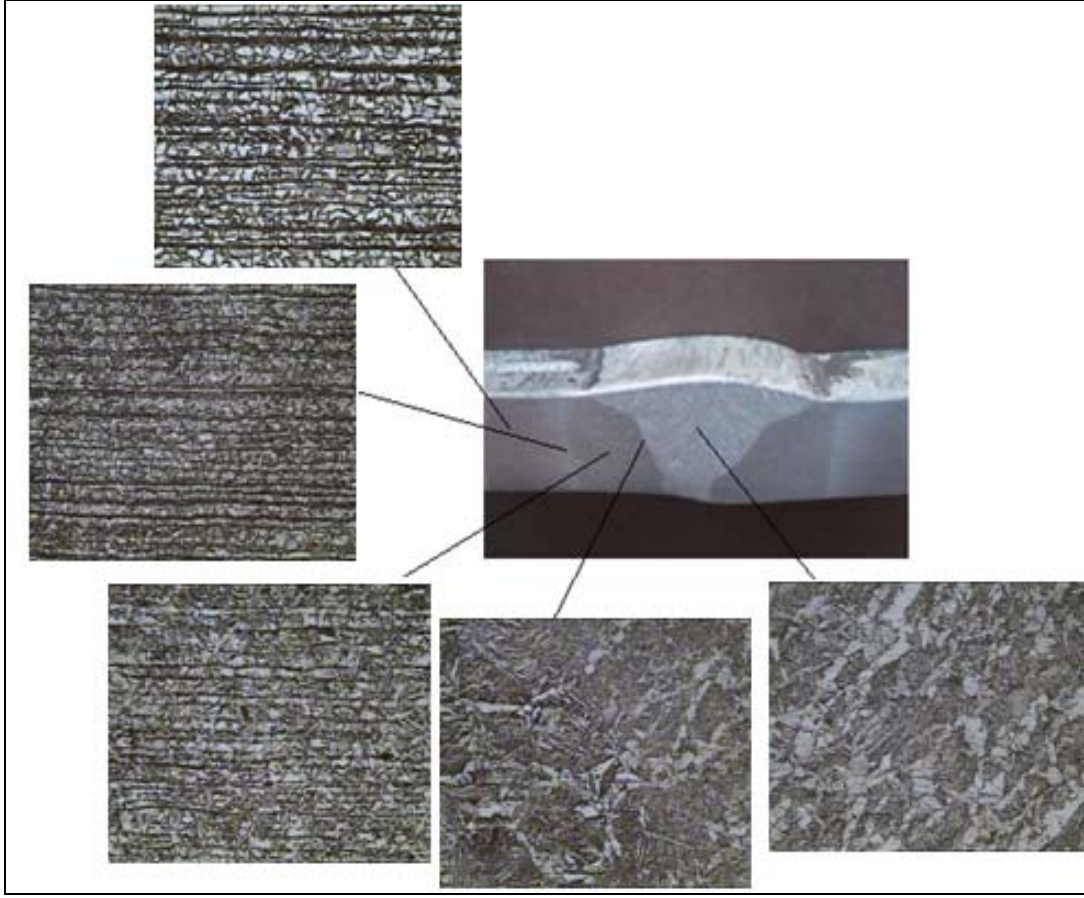
Şekil 7.24. S355J2-S2Mo kaynaklı bağlantısının mikroyapı fotoğrafları.

780 S malzemenin S1 teli ile kaynatılan bağlantının mikroyapı fotoğrafları Şekil 7.25'de gösterilmektedir.



Şekil 7.25. 780 S-S1 kaynaklı bağlantısının mikroyapı fotoğrafları.

780 S malzemenin S2Mo teli ile kaynatılan bağlantının mikroyapı fotoğrafları Şekil 7.26'de gösterilmektedir.



Şekil 7.26. 780 S-S2Mo teli ile kaynaklı bağlantısının mikroyapı fotoğrafları.

Kaynak bölgesi; kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölgeden (ITAB) meydana gelmektedir. Kaynağın sıvı fazdan oda sıcaklığına soğumasıyla elde edilen mikroyapı kaynak metali olarak adlandırılmaktadır. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynak metalinde oluşan yapılar; tane sınırı ferrit (α), widmanstätten ferrit (α_w), asiküler ferrit (α_a) ve mikro fazlardır (az miktarda martenzit, kalıntı östenit veya tam oluşmamış perlit). Widmanstätten ferrit bazen martenzit, östenit ve karbür fazları ile dengelenmiş ferrit olarak ifade edilmektedir. Termodinamik ve kinetik karakteristikleri farklı olmasına rağmen beynit de kaynak metalinde oluşabilmektedir [52].

Ergime çizgisinin esas metal tarafında, kaynak sırasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısıl çevrimlerden etkilenmiş ve dolayısıyla iç yapı değişimine uğramış bir bölgeye ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) denir. ITAB kaynak

metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak kaynak işlemi anında sıcaklığın iç yapı, dolayısıyla ana metalin özelliklerini etkilediği bölgedir.

ITAB'da ortaya çıkan iç yapı değişiklikleri erişilen sıcaklığın fonksiyonu olarak esas metalin türüne, bileşimine, ısıtım işlem ve üretim durumuna bağlı olarak çok çeşitlidir. ITAB'da $\gamma \rightarrow \alpha$ dönüşümü genel olarak, kaynak metalinde olan aynı yolu izlemekle beraber, kaynak metali ile ITAB arasında nihai yapıyı oldukça farklı kılan bazı önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bunların en önemlisi kaynak metalinde curuf parçacıklarının ve kolon tipi östenitin varlığıdır. Kaynak metalinde metalik olmayan inklüzyonlar nedeniyle asiküler ferrit oluşurken, ITAB da asiküler ferrite rastlanmamaktadır. Sadece özel alaşımlandırılmış çeliklerin ITAB'nda bulunacağı rapor edilmiştir [52].

Şekillere bakıldığında, hem kaynak bölgesinde hem de ısının tesiri altında kalan bölgede (ITAB) kaynak parametreleri aynı olduğundan tane boyutlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Kaynak bölgesinde; kaynak esnasında çeliğin kaynak metalinde katılma sırasında östenit Ac_3 sıcaklığının altına düşürüldüğünde kolon tipi östenit tane sınırlarında ilk olarak tane sınırı ferritlerin (allotriomorfik ferrit) oluştuğu görülmektedir. Çünkü tane sınırı ferrit A_3 sıcaklığının hemen altında oluşan eden bir fazdır. Ferrit östenit tane sınırlarında widmanstätten kenar levhaları veya ferrit tane levhalarının çekirdeklendiği ve büyüdüğü görülmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde kaynak metali merkezine yönelmiş ferritik ve perlitik yapılar görülmektedir.

Bazı ITAB'larda yapının kaynak bölgesine benzediği görülmektedir. Durgutlu vd. [53], tozaltı ark kaynak yönteminde düşük hızlarda kaba ve kolonsal taneler elde edilirken, yüksek hızlarda daha düzensiz ve ince yapılı taneler elde edildiğini belirtmişlerdir. Mikroyapı fotoğraflarında ITAB'da tane boyutunun büyüdüğü ve kolonsal yapıların oluştuğu görülmektedir.

Ana malzeme bölgesinde ise klasik eşksenli perlit ve ferritten oluşan ince yapılı taneler görülmektedir.

7.7. KIRILMA VE KOPMA YÜZEYLERİNİN SEM İNCELEMELERİ

Kırılma yüzeylerinin SEM çalışmaları farklı deneylerden elde edilen numuneler üzerinden yapılmıştır.

SEM analizlerinde aşağıda belirtilen numunelerin kırık yüzeyleri incelenmiştir.

Çentik darbe deneyi numunelerinin kırık yüzey SEM incelemesi;

1. 780 S (malzeme) – S1 (kaynak teli) bağlantısının 20 °C’de çentik darbe deneyi kırık yüzeyi
2. 780 S (malzeme) – S1 (kaynak teli) bağlantısının -40 °C’de çentik darbe deneyi kırık yüzeyi
3. 780 S (malzeme) – S2Mo (kaynak teli) bağlantısının 20 °C’de çentik darbe deneyi kırık yüzeyi
4. 780 S (malzeme) – S2Mo (kaynak teli) bağlantısının -40 °C’de çentik darbe deneyi kırık yüzeyi

Silindirik kaynak çekme numunelerinin kopma yüzeyi SEM incelemesi;

1. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan numunenin kopma yüzeyi
2. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan numunenin kopma yüzeyi

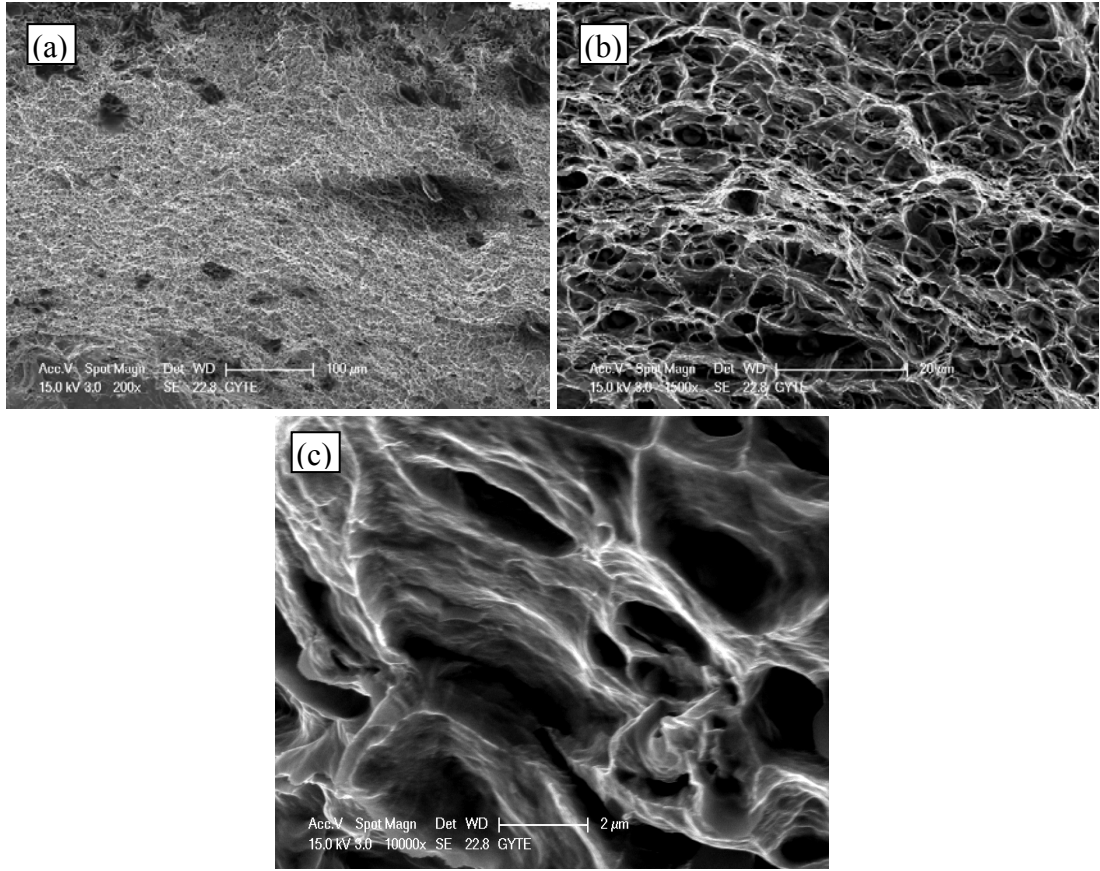
Kaynak çekme numunelerinin kopma yüzeyi SEM incelemesi;

1. 780 S (malzeme) – S1 (kaynak teli) bağlantısının kaynak çekme deneyi kopma yüzeyi
2. S355J2 (malzeme) – S1 (kaynak teli) bağlantısının kaynak çekme deneyi kopma yüzeyi
3. 780 S (malzeme) – S2Mo (kaynak teli) bağlantısının kaynak çekme deneyi kopma yüzeyi
4. S355J2 (malzeme) – S2Mo (kaynak teli) bağlantısının kaynak çekme deneyi kopma yüzeyi

7.7.1. Darbe Çentik Numunelerinin SEM Analizleri

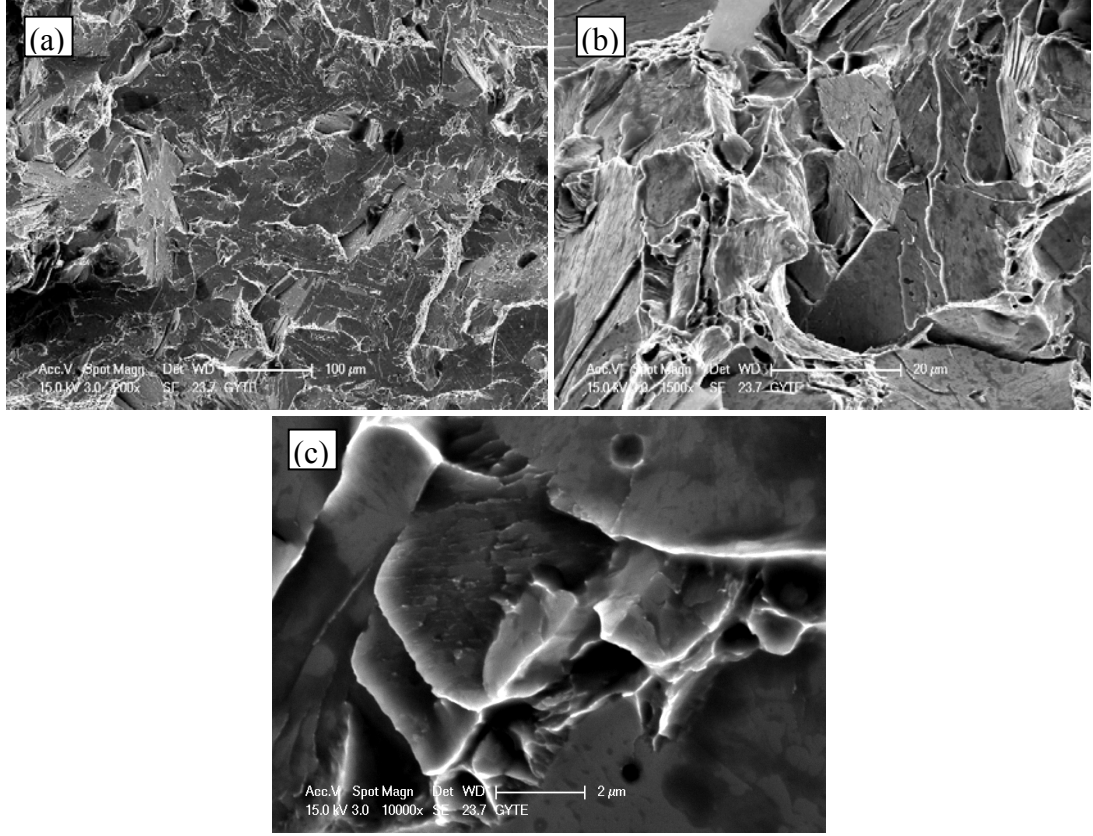
Darbe deneyi sonucunda kırılan numunelerin SEM analizleri için 2 kaynak teli için 20 °C ve -40 °C olmak üzere 2 farklı sıcaklık seçilmiştir.

20 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S-S1 numunesinin SEM analizi Şekil 7.27’de verilmiştir.



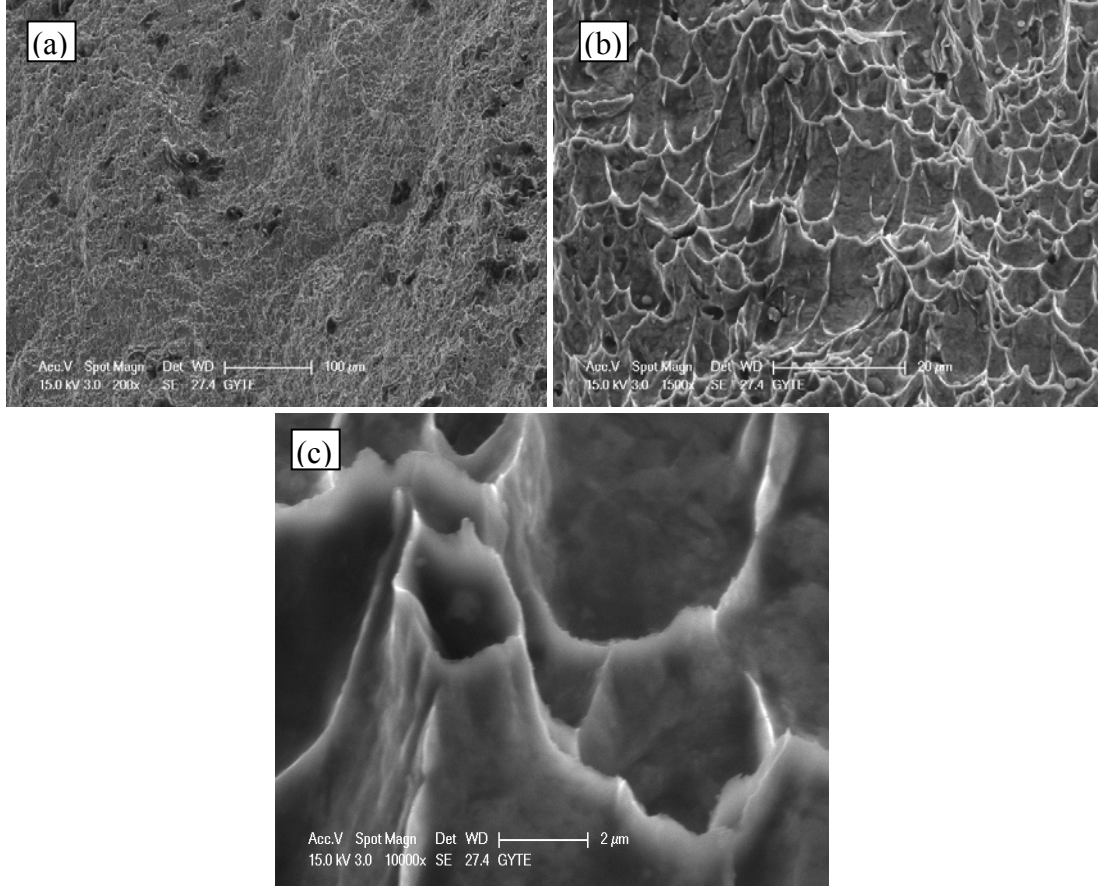
Şekil 7.27. 20 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S-S1 numunesinin SEM analizi a) 200 X büyütme, b) 1500 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Şekil 7.28’de -40 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S-S1 numunesinin SEM analizleri verilmiştir.



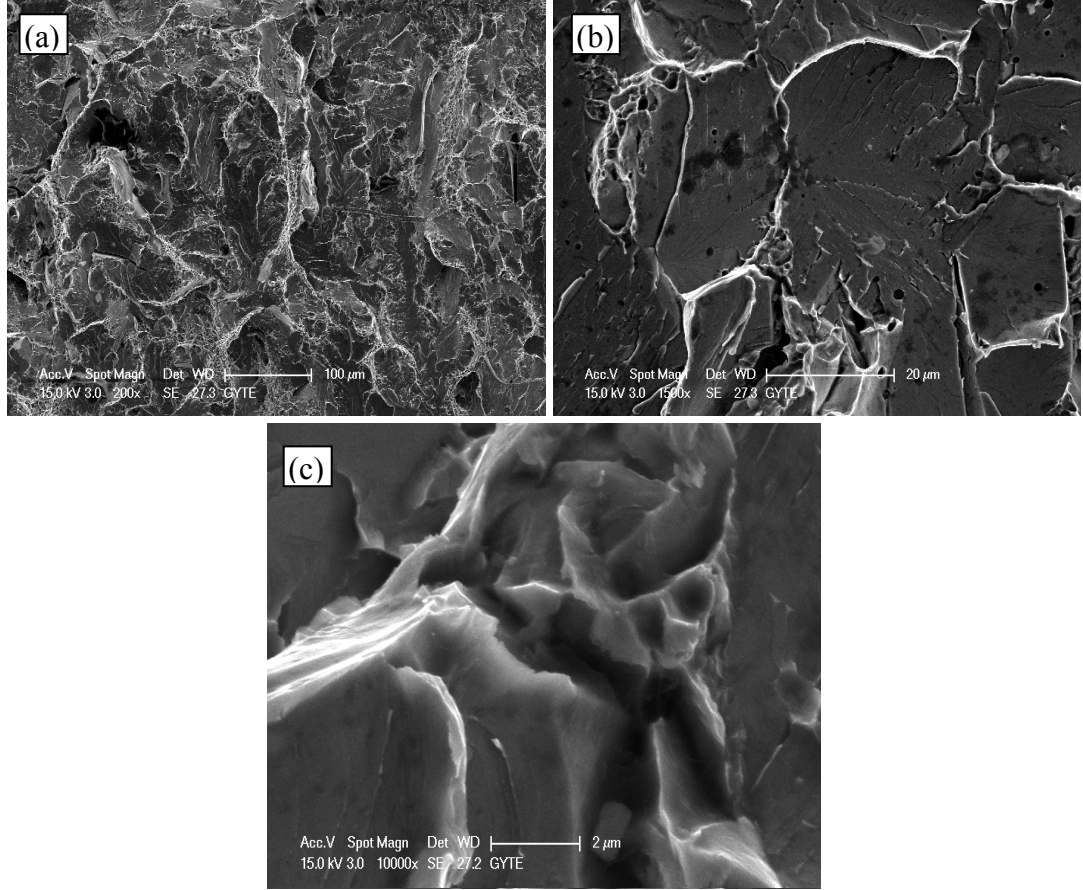
Şekil 7.28. -40 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S-S1 numunesinin SEM analizleri a) 200 X büyütme, b) 1500 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

20 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S-S2Mo numunesinin SEM analizi Şekil 7.29’da verilmiştir.



Şekil 7.29. 20 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S-S2Mo numunesinin SEM analizi a) 200 X büyütme, b) 1500 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Şekil 7.30. -40 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S- S2Mo numunesinin SEM analizi verilmiştir.

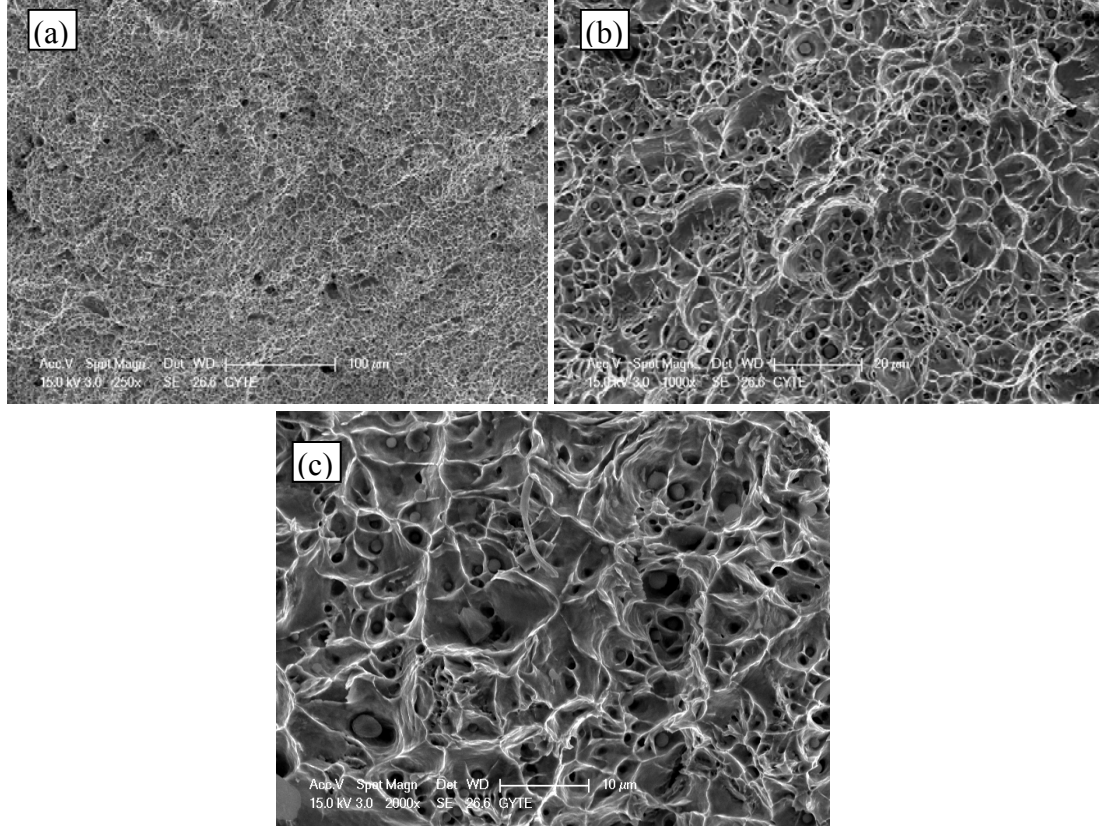


Şekil 7.30. -40 °C’de çentik darbe deneyi ile kırılan 780 S-S2Mo numunesinin SEM analizi a) 200 X büyütme, b) 1500 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Çentik darbe deneyi kırık yüzeylerin SEM analizlerinde; -40 °C’de çentik darbe deneyi kırılma yüzeylerinin gevrek kırıldığı, 20 °C’de çentik darbe deneyi kırılma yüzeylerinin ise sünek bir şekilde kırıldığı görülmektedir. 20 °C’de kırılan numunelerin kırılma yüzeylerinin süngerimsi bir yapıda olduğu, derin yarıklar, çukurlar oluşturacak şekilde lifli kırılmaların olduğu ve bu bölgedeki tanelerin koparılmaya doğru uzadıkları açık bir şekilde görülmektedir. Deney sıcaklığı -40 °C sıcaklıkta kırılmış numunelerde ise böyle bir yapılar görülmemekte, gevrek bir şekilde kırıldığına dair yapı mevcuttur.

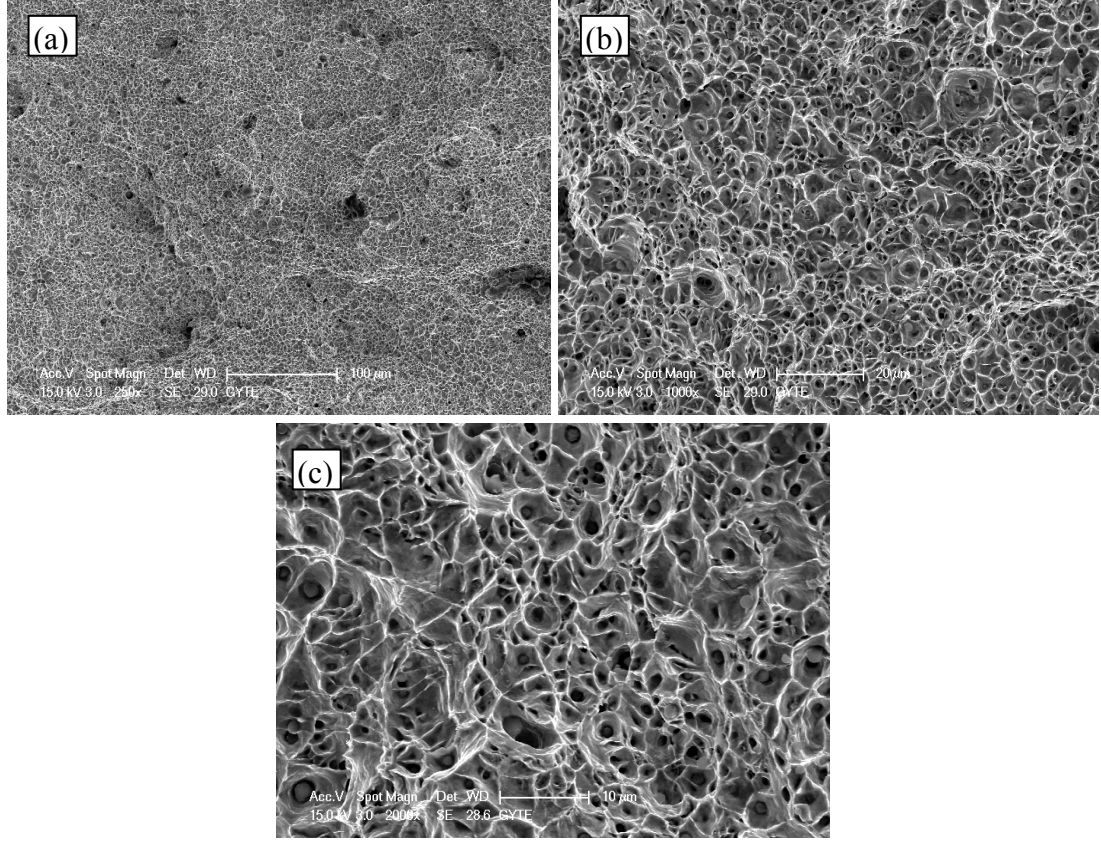
7.7.2. Çekme Deneyi Kopma Yüzeyi SEM İncelemesi

7.7.2.1. S1 Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan Silindirik Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi.



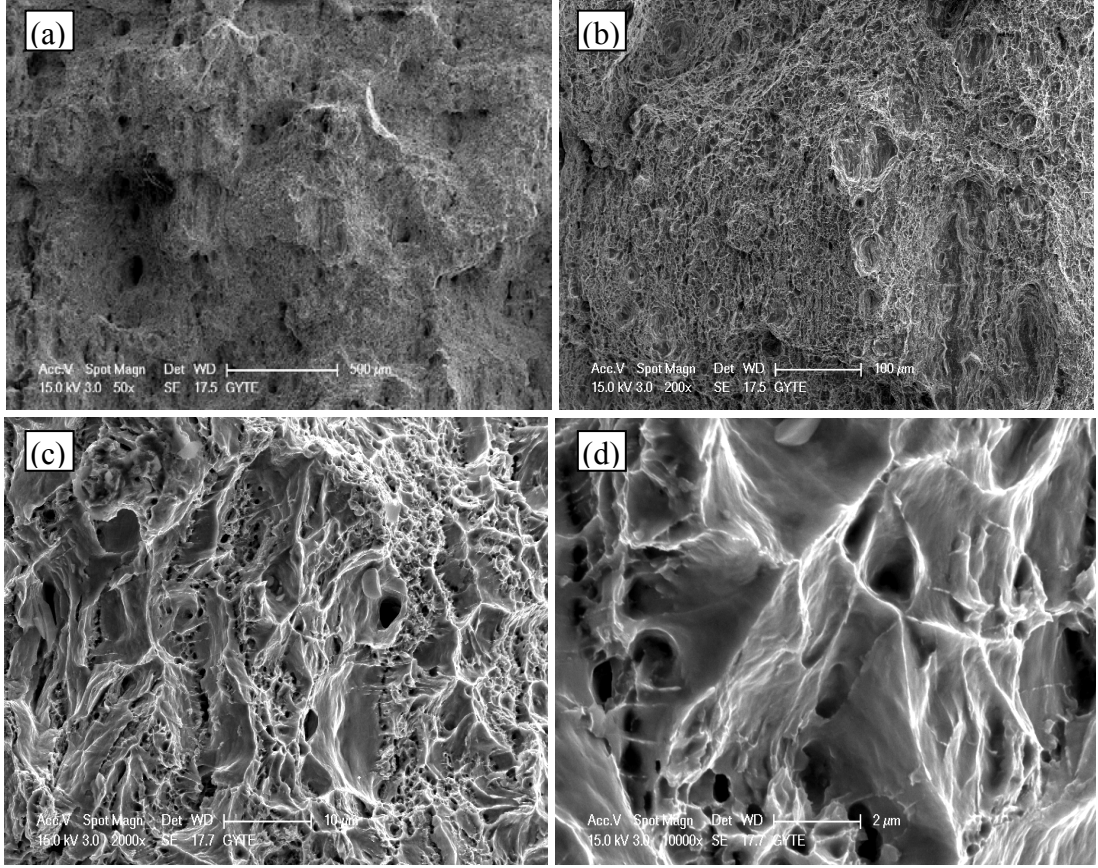
Şekil 7.31. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri a) 250 X büyütme, b) 1000 X büyütme, c) 2000 X büyütme.

7.7.2.2. S2Mo Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan Silindirik Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi.



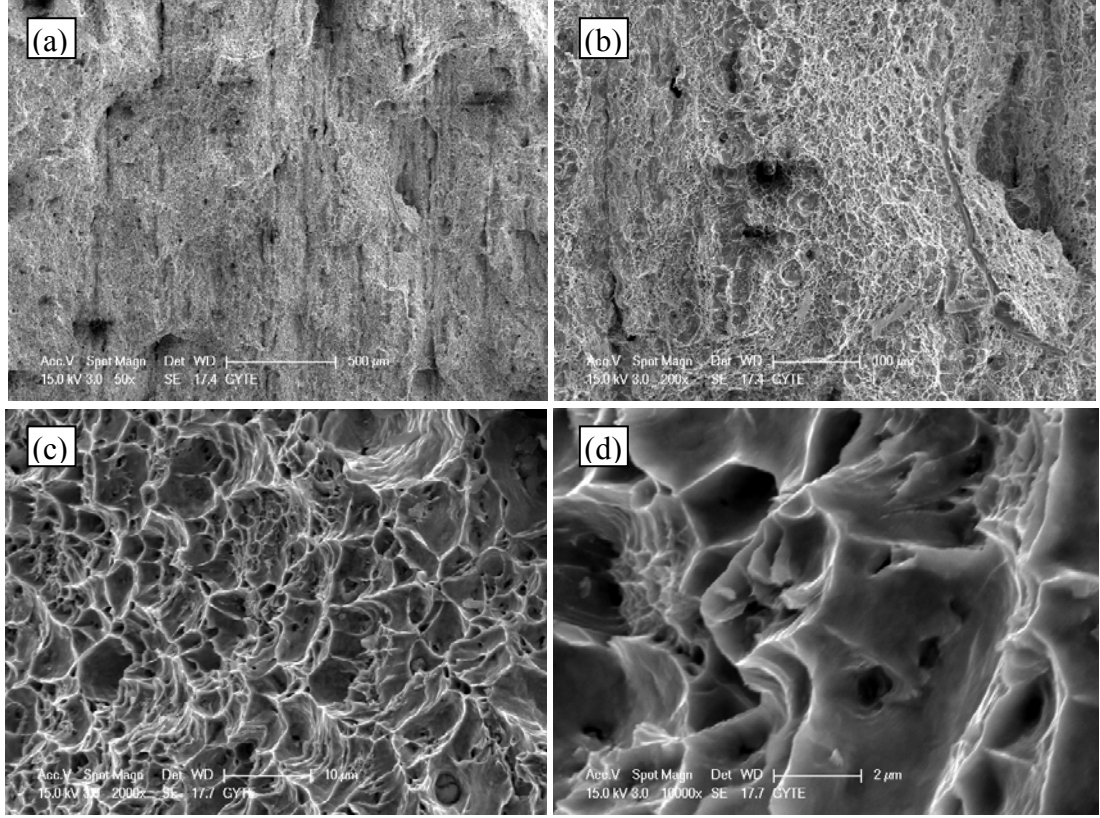
Şekil 7.32. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri a) 250 X büyütme, b) 1000 X büyütme, c) 2000 X büyütme.

7.7.2.3. S1 Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan 780 S Malzemenin Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi.



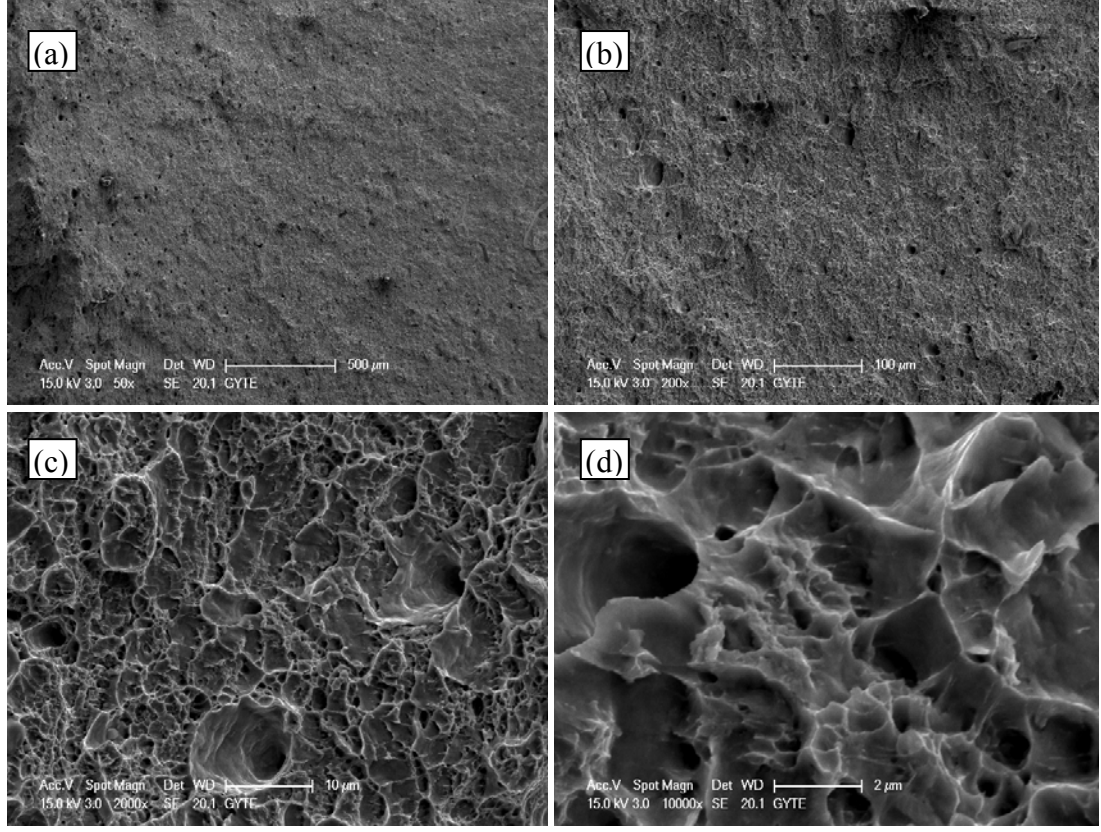
Şekil 7.33. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri a) 50 X büyütme, b) 200 X büyütme, c) 2000 X büyütme, d) 10000 X büyütme.

7.7.2.4. S1 Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan S355J2 Malzemenin Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi.



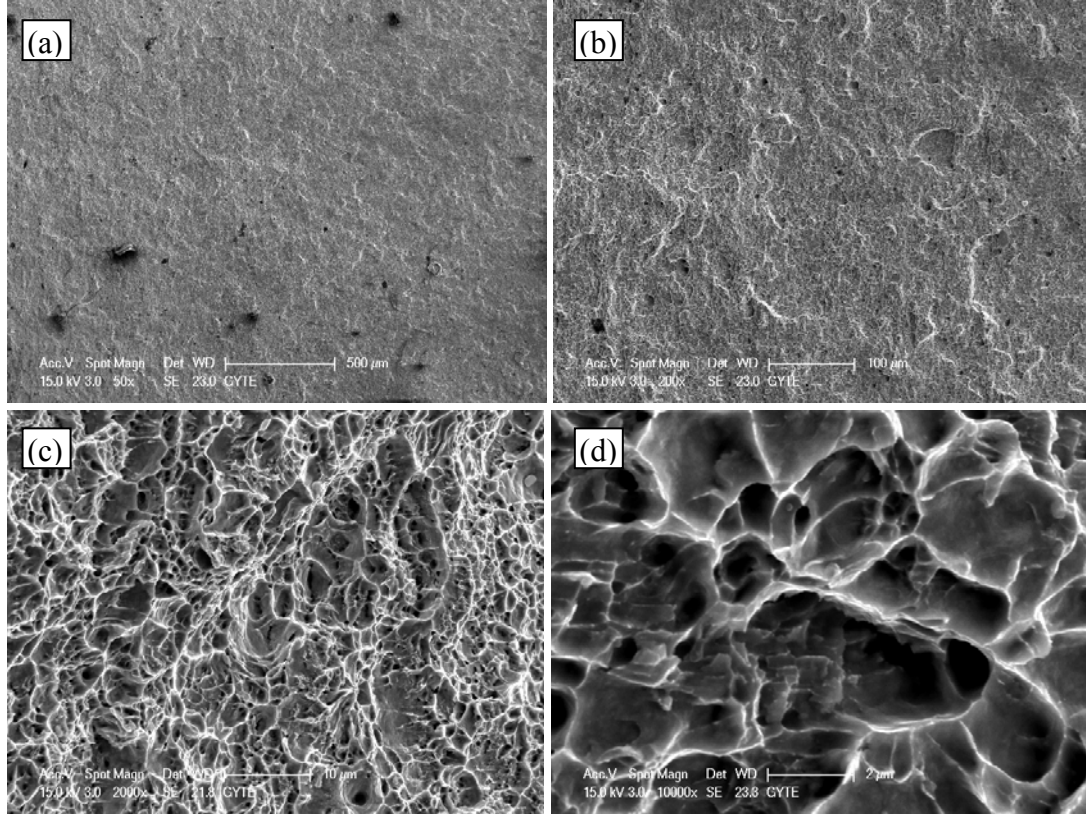
Şekil 7.34. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan S355J2 malzemenin kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri a) 50 X büyütme, b) 200 X büyütme, c) 2000 X büyütme, d) 10000 X büyütme.

7.7.2.5. S2Mo Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan 780 S Malzemenin Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi.



Şekil 7.35. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri a) 50 X büyütme, b) 200 X büyütme, c) 2000 X büyütme, d) 10000 X büyütme.

7.7.2.6. S2Mo Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan S355J2 Malzemenin Kaynak Çekme Numunesinin Kopma Yüzeyinin SEM İle İncelenmesi.



Şekil 7.36. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan S355J2 malzemenin kaynak çekme numunesinin kopma yüzeyinin SEM görüntüleri a) 50 X büyütme, b) 200 X büyütme, c) 2000 X büyütme, d) 10000 X büyütme.

S1 ve S2Mo kaynak telleri ile kaynatılmış ve kaynak metalini kapsayan silindirik 2 numunenin ve 4 farklı numunenin kaynaklı bağlantıya ait çekme test sonucu kırılma yüzeylerinin SEM analizlerine ait fotoğraflarda; tüm kırılmaların sünek bir şekilde ve kırılma yüzeylerinin süngerimsi yapıda olduğu, bir çok SEM görüntüsünde koparılma yönüne doğru uzayan tanelerin olduğu görülmektedir.

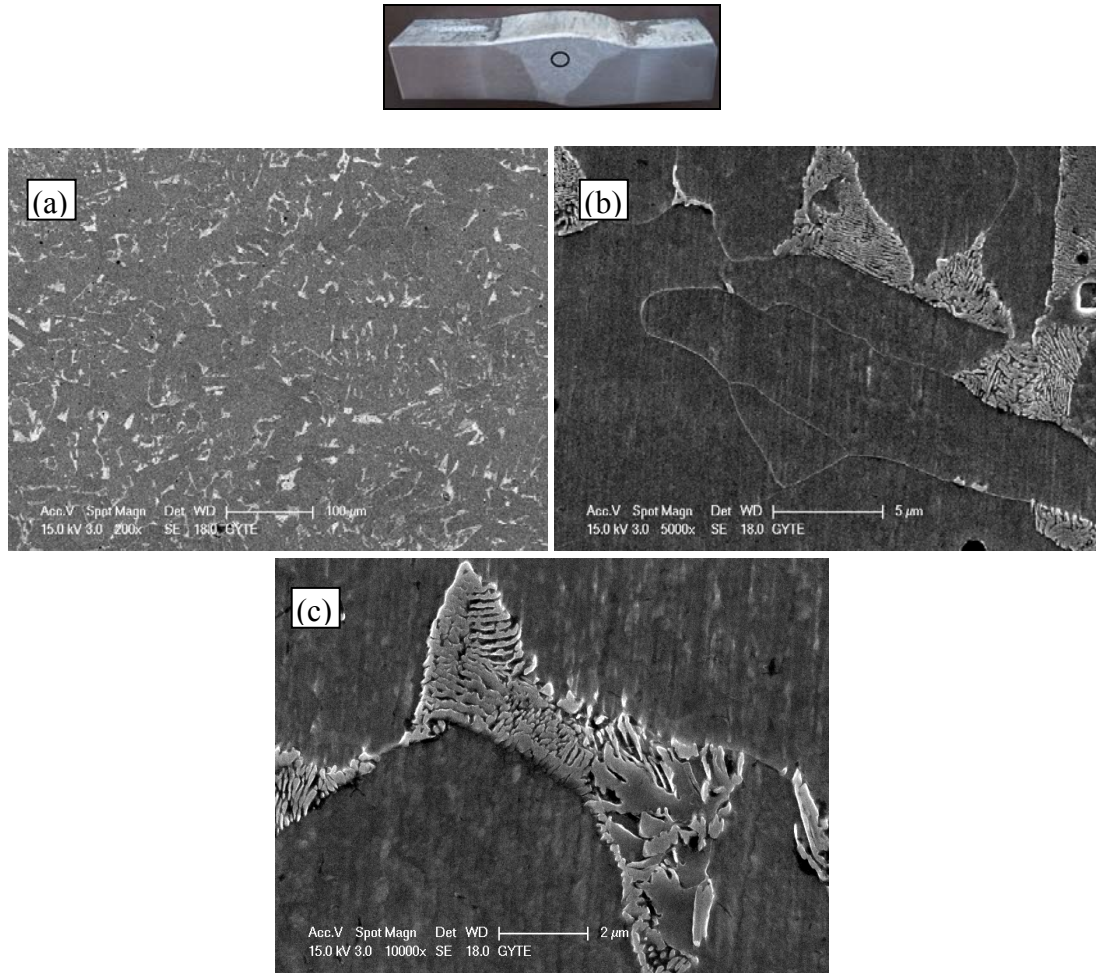
7.8. KAYNAKLI PARÇALARIN SEM İNCELEMELERİ

SEM incelemesinde kullanılacak olan 2 adet kaynaklı numune uygun bir şekilde zımparalama işleminden geçirilmiştir.

Zımparalama işlemi tamamlandıktan sonra elmas parlatici ile mikro keçede parlatma yapılmış ve %3 Nital ile dağlanmış. Dağlanan numuneler taramalı elektron mikroskobu ile yüzey analizine tabi tutulmuştur.

7.8.1. S1 Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan 780 S Malzemenin SEM İncelemesi

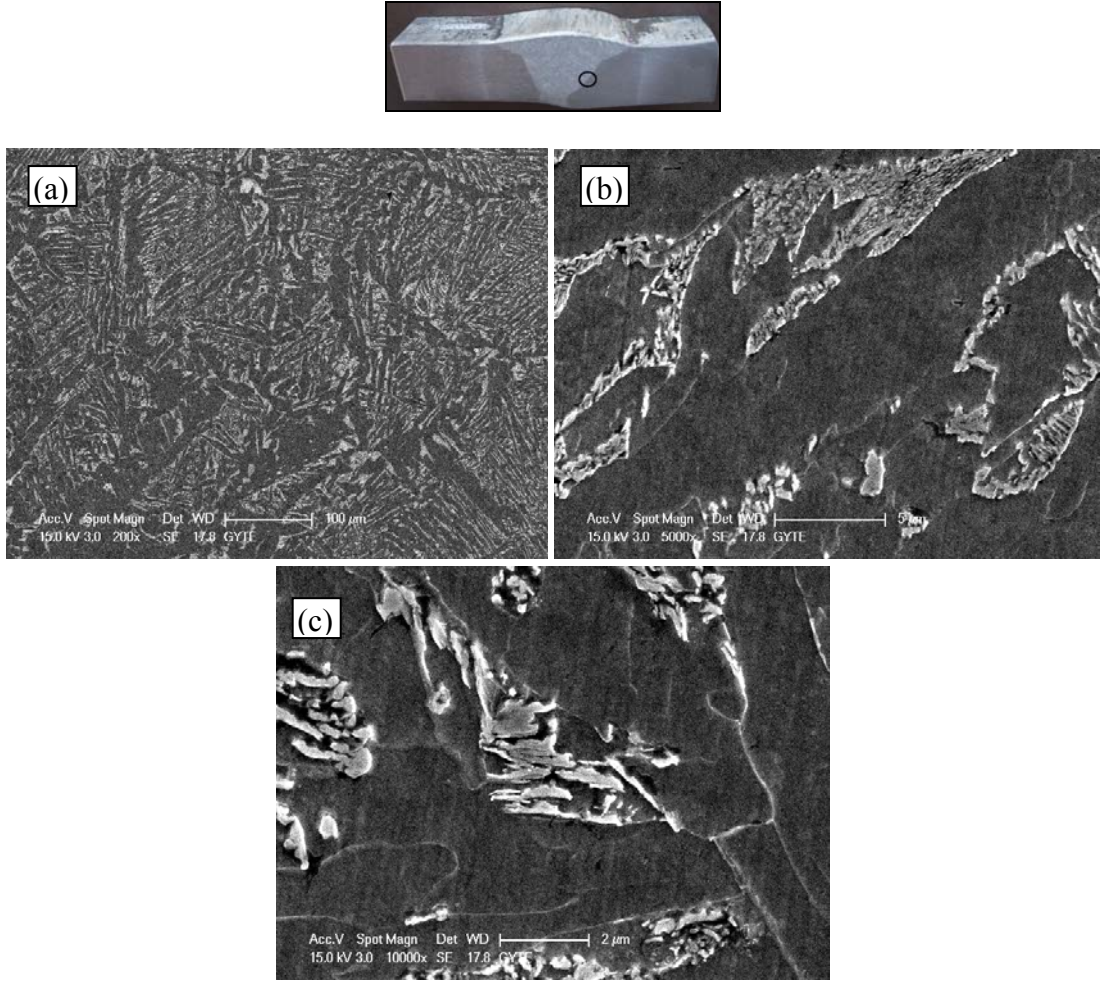
7.8.1.1. Kaynak Bölgesi SEM İncelemesi



Şekil 7.37. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak bölgesi SEM görüntüleri a) 200 X büyütme, b) 5000 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Kaynak metalinin bazı bölgelerinde mikroyapı ferrit ve perlitten oluşmaktadır. Lamelli yapı perlit matris ferrit fazı SEM fotoğraflarıyla tespit edilmiştir.

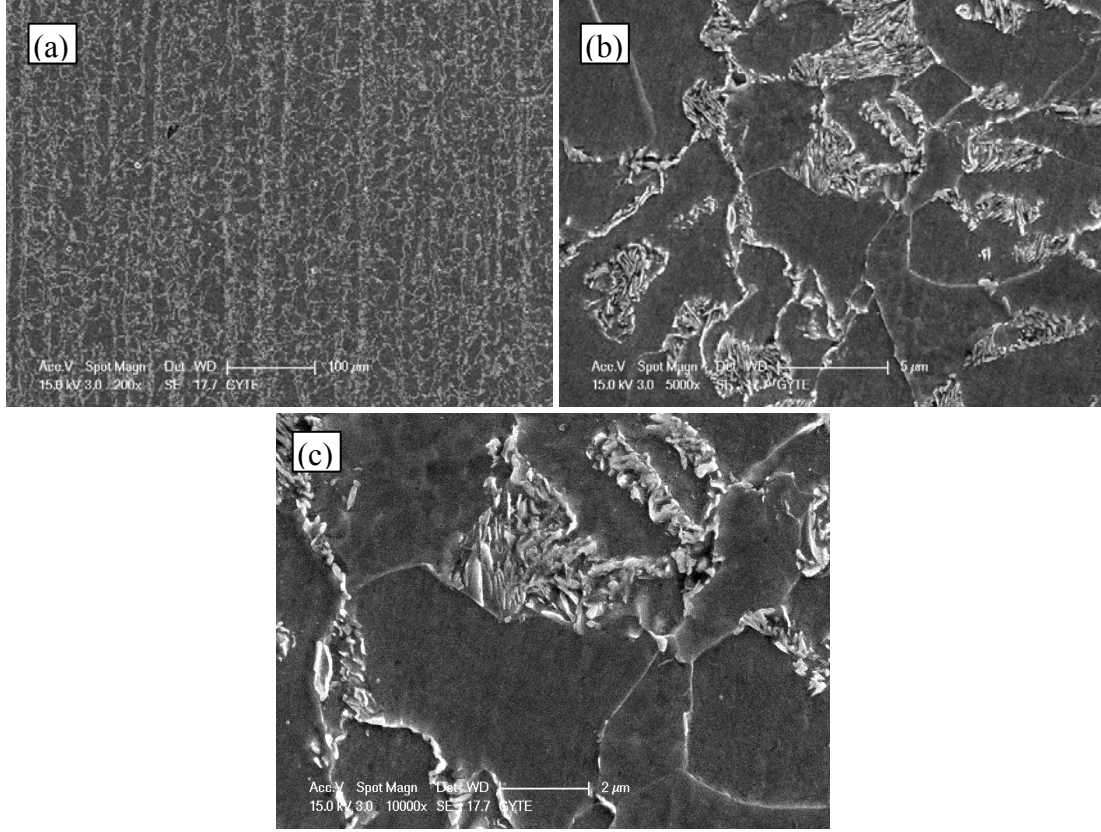
7.8.1.2. Kaynak - ITAB Geçiş Bölgesi SEM İncelemesi



Şekil 7.38. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak-ITAB bölgesi SEM görüntüleri a) 200 X büyütme, b) 5000 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Kaynak-ITAB bölgesinde herhangi bir martenzit dönüşümü gözlenmemektedir. Ancak perlit morfolojisinin parçalandığı ve bir miktar perlit lamellerinin küreselleşerek kabalaştığı görülmektedir.

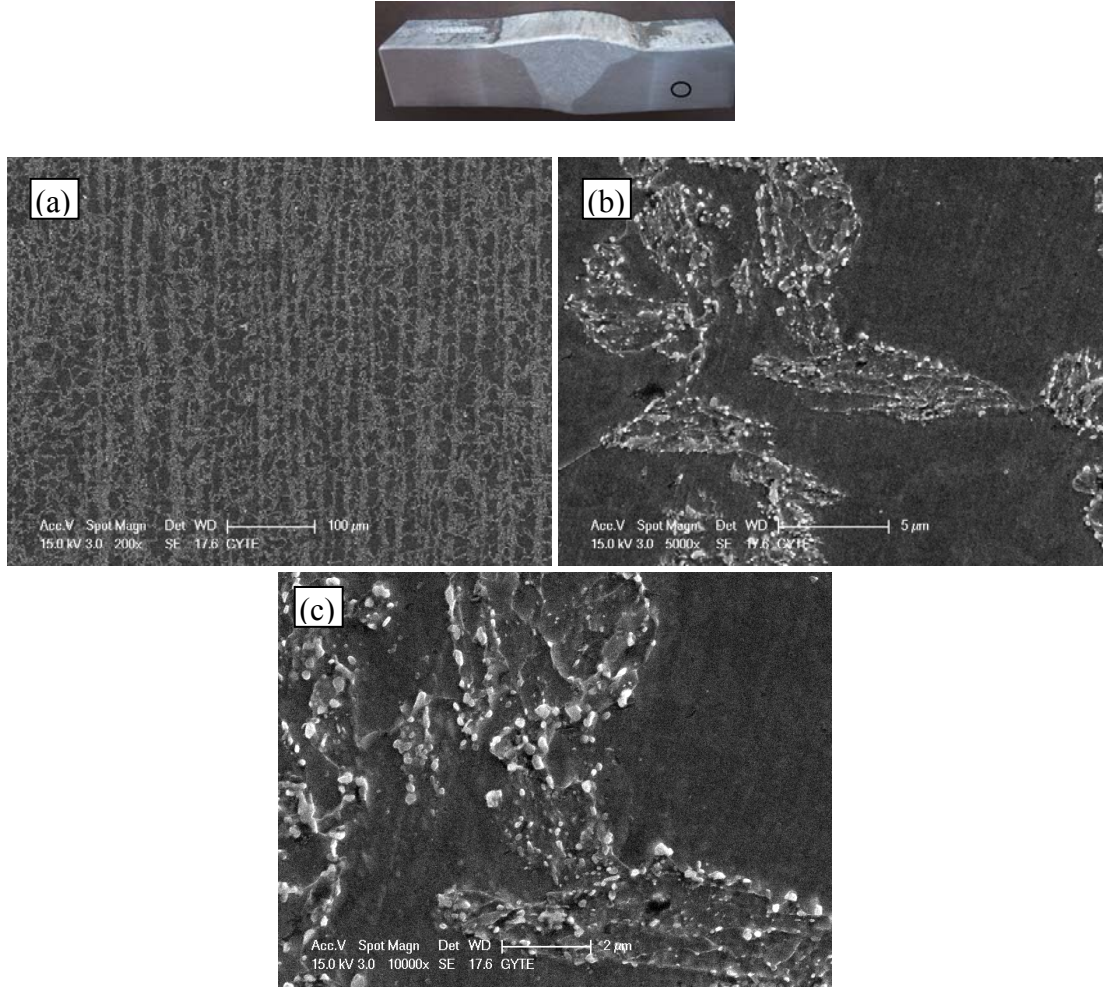
7.8.1.3. ITAB Bölgesi SEM İncelemesi



Şekil 7.39. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin ITAB bölgesi SEM görüntüleri a) 200 X büyütme, b) 5000 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

ITAB'da Şekil 7.38'deki yapıya benzerdir. Perlit dekompoze olmuştur. Sementit lamelleri kısmen küreselleşmiştir.

7.8.1.4. Ana Malzeme Bölgesi SEM İncelemesi

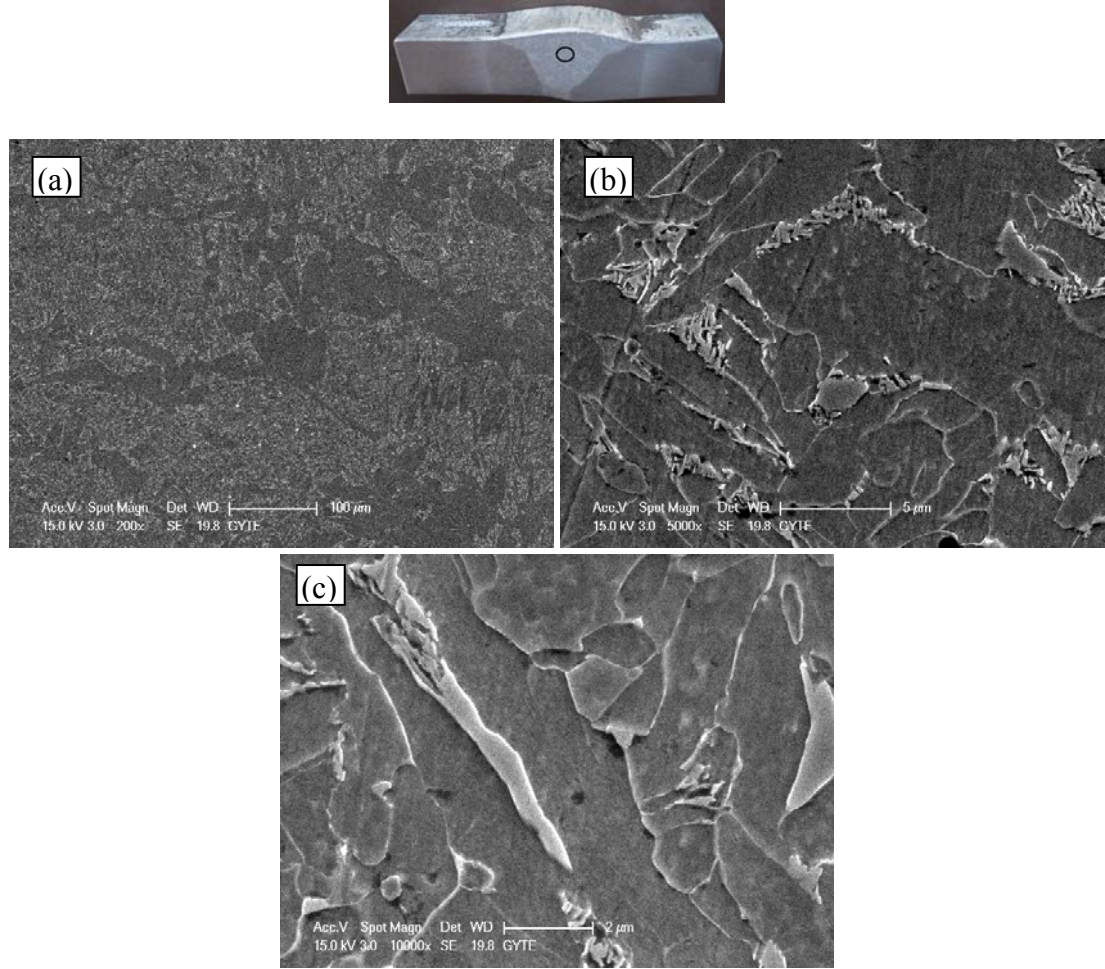


Şekil 7.40. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin ana malzeme bölgesi SEM görüntüleri a) 200 X büyütme, b) 5000 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Ana malzeme ferrit ve martenzitten oluşmaktadır. Bazı bölgelerde perlit fazından kalan sementitin küreselleştiği tespit edilmiştir. Ancak ferrit matriste homojen bir dağılım yoktur.

7.8.2. S2Mo Tozaltı Kaynak Teli İle Kaynatılan 780 S Malzemenin SEM İncelemesi

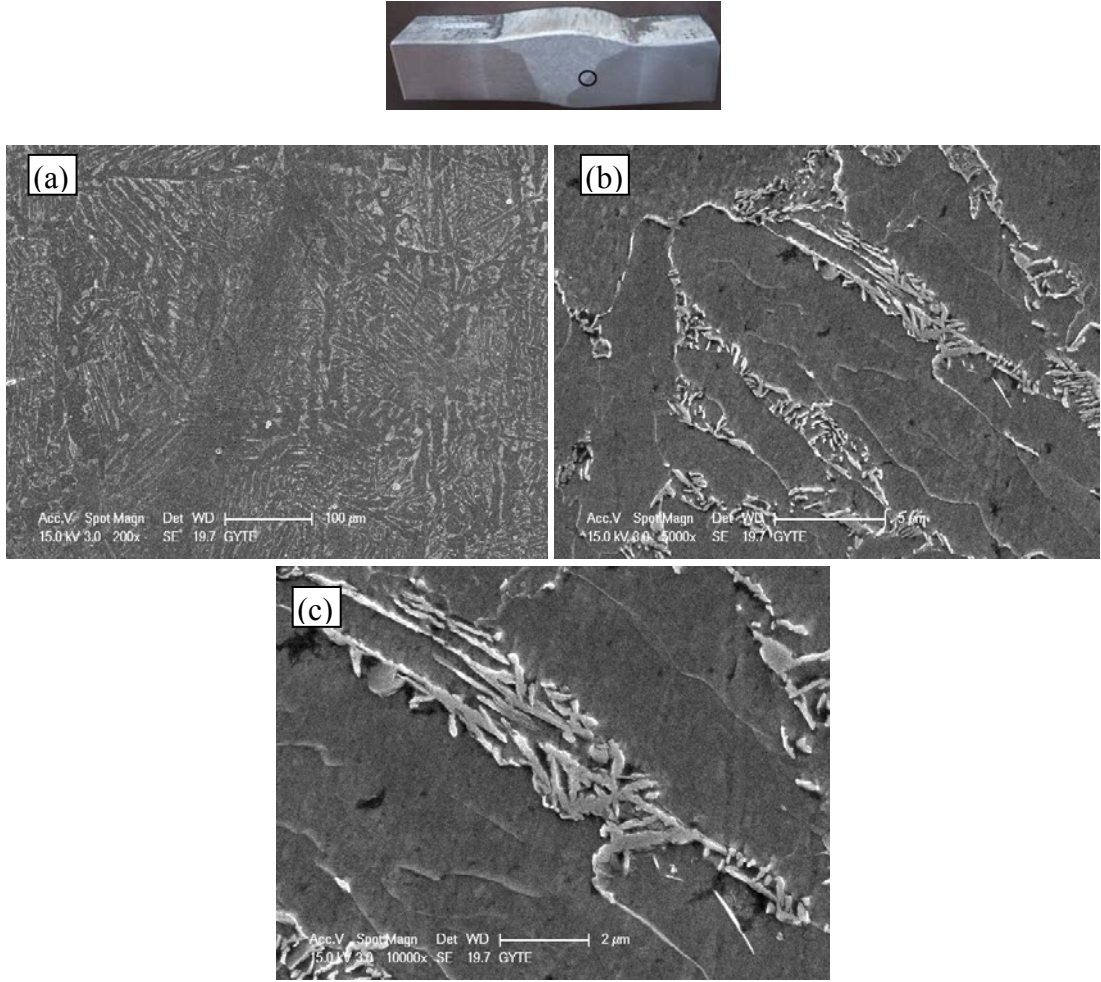
7.8.2.1. Kaynak Bölgesi SEM İncelemesi



Şekil 7.41. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak bölgesi SEM görüntüleri a) 200 X büyütme, b) 5000 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Bu bölgede kısmen martenzitik dönüşümle birlikte kalıntı östenit görülmektedir. Resim c)'de ortadaki uzun düz faz kalıntı östenittir.

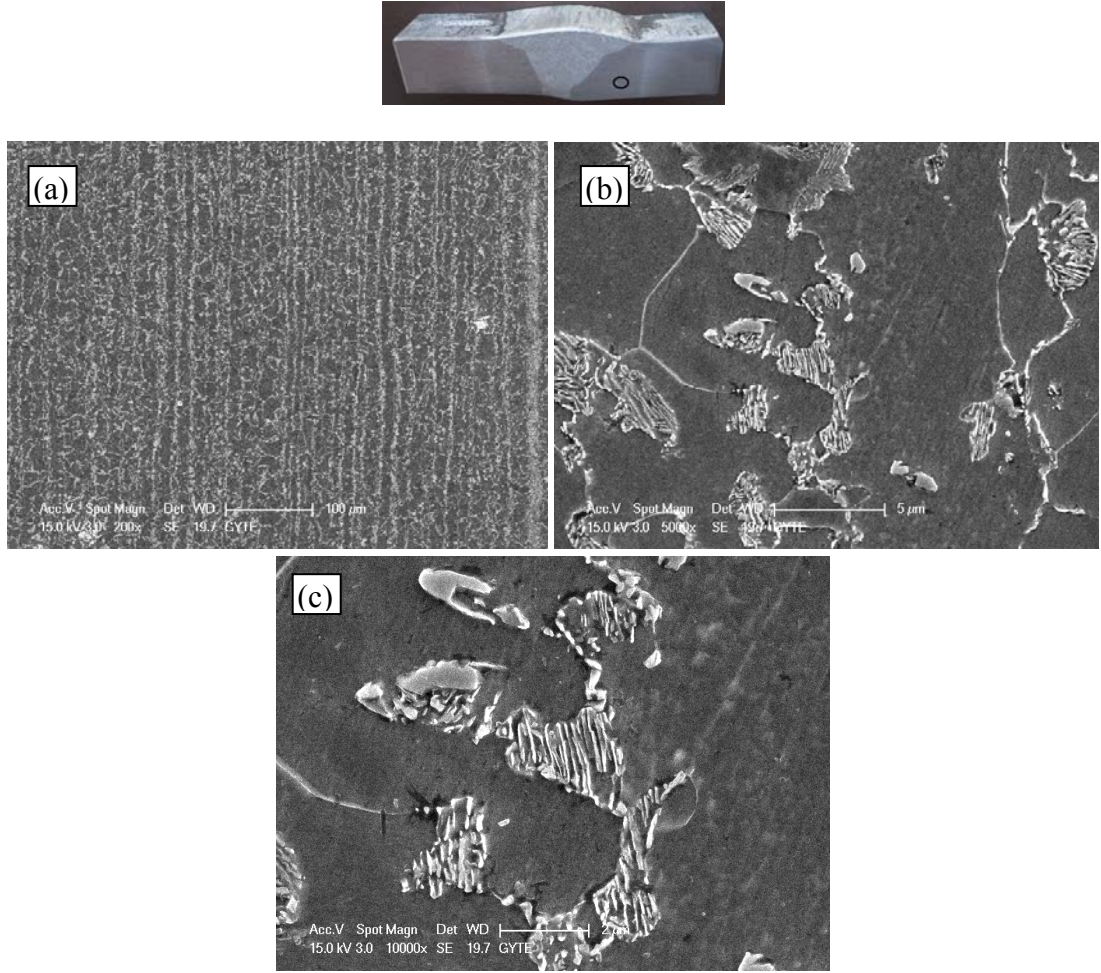
7.8.2.2. Kaynak - ITAB Geçiş Bölgesi SEM İncelemesi



Şekil 7.42. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin kaynak- ITAB bölgesi SEM görüntüleri a) 200 X büyütme, b) 5000 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Kaynak-ITAB geçiş bölgesinde de tane sınırlarında beynitik ve martenzit dönüşümü görülmektedir. Bazı bölgeler ise perlit, kompleks geçiş yapısındadır.

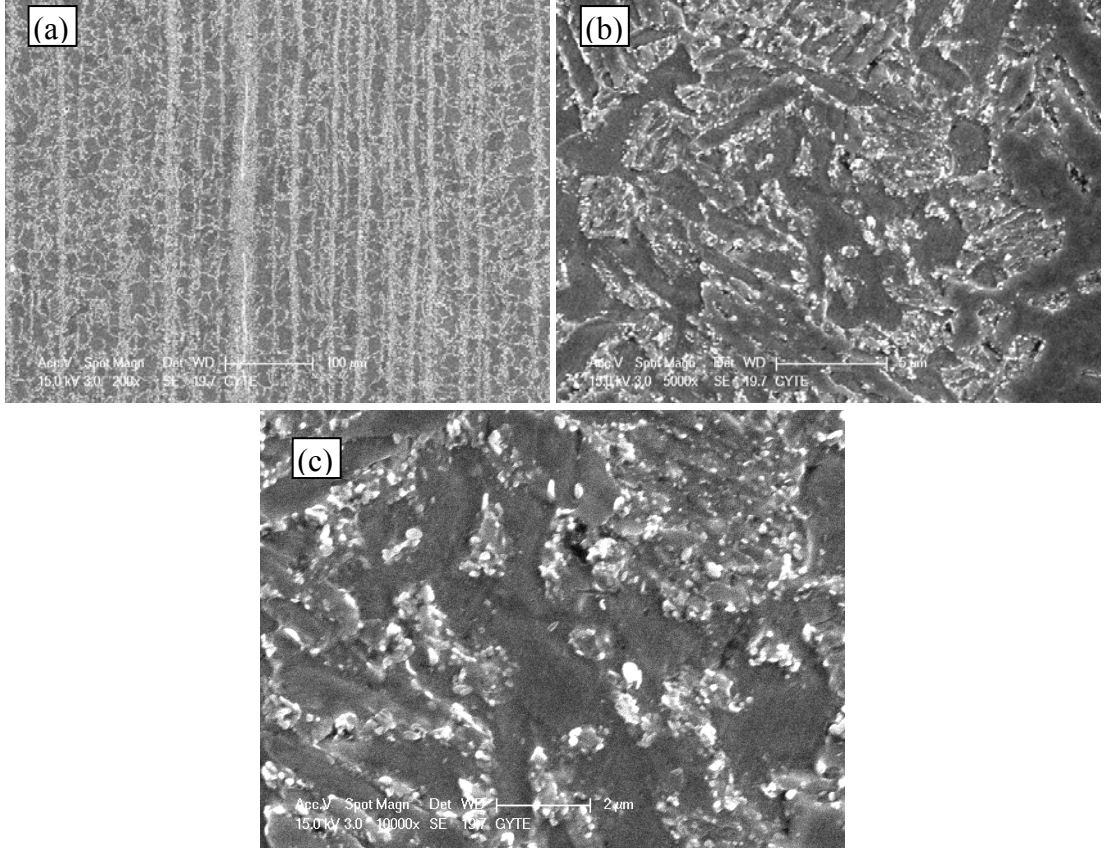
7.8.2.3. ITAB Bölgesi SEM İncelemesi



Şekil 7.43. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin ITAB bölgesi SEM görüntüleri a) 200 X büyütme, b) 5000 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

ITAB perlit yapısı kısmen korunmuş ama az da olsa martenzit oluşumu görülmektedir.

7.8.2.4. Ana Malzeme Bölgesi SEM İncelemesi



Şekil 7.44. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan 780 S malzemenin ana malzeme bölgesi SEM görüntüleri a) 200 X büyütme, b) 5000 X büyütme, c) 10000 X büyütme.

Ana malzeme ferrit perlit yapısındadır. Ana malzemenin bazı bölgelerinde perlitin içerisindeki sementit küreselleşerek kabalaşmıştır.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

1. S355J2 çeliğinin 780 °C sıcaklıkta fırında bekletilip suda soğutulması sonucu martenzit ve ferritten oluşan çift-fazlı çelik elde edilmiştir. 597 N/mm² çekme mukavemetine sahip S355J2 çeliği, ısıl işlem sonucu çift-fazlı yapıya dönüşmüş ve çekme mukavemeti 715 N/mm²'ye çıkmıştır.
2. Çekme testleri sonucu, ısıl işlemle elde edilen 780 S numunelerin S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan numunelerin daha yüksek çıktığı görülmüştür.
3. Gözle muayene sonucu kaynaklı bölgelerin kep ve kök kısımlarında çatlak, yetersiz nüfuziyet, yanma oluşu, gözenek, fazla kep ve kök yüksekliği, kökte sarkma gibi kusurlar görülmemiştir.
4. Ultrasonik muayene ve manyetik parçacık muayene ile kaynak iç bölgesinde çatlak, gözenek, inklüzyon vb. kusurlara rastlanmamıştır.
5. Sertlik ölçümleri kaynaklı numunelerin yatay ve dikey ekseninden alınmıştır. Kaynak metalinin sertliği, ITAB ve ana malzeme bölgesinden daha yüksek çıkmıştır. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan numunelerin sertlik değerleri S1 ile kaynatılandan daha yüksek çıkmıştır.
6. Çentik darbe testleri sonucu, kırık yüzeylerin SEM analizi gerçekleştirilmiş ve 20 °C sıcaklıkta numunelerin sünek, - 40 °C sıcaklıkta numunelerin gevrek kırıldığı gözlemlenmiştir.

7. 4 farklı kaynaklı bağlantının çentik darbe testleri sonucu, numune sıcaklığı ile doğru orantılı olarak sıcaklık düştükçe darbe direncinin de düştüğü tespit edilmiştir. S2Mo tozaltı kaynak teli ile kaynatılan numuların darbe direncinin, S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılanlara göre daha yüksek olduğu, ayrıca S2Mo tozaltı kaynak teli ile ısıtılmış 780 S malzemeye ait kaynaklı bağlantıların en yüksek darbe direncine sahip olduğu görülmüştür.
8. Kaynaklı bağlantıların kep ve kök taraflarının 180° eğme test sonucunda kenar ve yüzeyde herhangi bir yırtılma ve çatlama görülmemiştir.
9. Kaynak işlemlerinde kullanılan seramik altlığın amaca yönelik başarılı bir şekilde uygulandığı görülmüştür. Seramik altlığın uygulandığı kaynağın kök yüzeyinin güzel görümlü olduğu, herhangi bir nüfuziyetsizliğin görülmediği tespit edilmiştir.
10. Kaynaklı bölgelerin SEM analizinde; S2Mo tozaltı teli kullanılmış kaynaklı bağlantıların kaynak metalinde martenzitik yapı ve kısmi östenit, ITAB bölgesinde kısmi martenzik, beynitik yapı tespit edilmiştir. S1 tozaltı kaynak teli ile kaynatılan bağlantıların kaynak metal ve ITAB bölgelerinde herhangi bir martenzitik dönüşümün görülmediği tespit edilmiştir. Her iki tozaltı teli kaynaklı bağlantıların ısıdan etkilenmediği düşünülen ana malzeme bölgesinin küresel tav gördüğü ve sementitin küreselleştiği görülmüştür.

8.2. ÖNERİLER

1. Çift-fazlı çeliklerin tozaltı kaynağından sonra çeşitli ısıtma işlemleri gerçekleştirip ITAB, kaynak ve ana malzeme bölgelerinde iç yapı değişiklikleri incelenebilir.
2. Tozaltı kaynağı ile kaynaklanan çift-fazlı çeliklerin darbe geçiş sıcaklıkları üzerine çalışma yapılabilir.
3. Tozaltı kaynağı ile kaynaklanan çift-fazlı çeliklerin yorulma dayanımı ile ilgili deneylerle analizi yapılabilir.

4. Tozaltı kaynağı ile kaynaklanan çift-fazlı eliklerin Şekil alabilirliği üzerine çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Tama, Y.S., “Çelik yapı uygulamalarında kullanılan kaynak yöntemleri, üstünlükleri ve sakıncalı yönleri”, **Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü**, Denizli , 1-3 (2009).
2. Külahlı, E., “Kaynak Bilimi”, **Oerlikon Yayını**, İstanbul, 1-2 (1988).
3. Çakmakkaya, M., “Kaynak rejimlerinin ötektoid altı çeliklerin tane yapısı ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyonkarahisar , 1-3 (1997).
4. Hayat, F., “Çift-fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında MHO ile kaynak süresinin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 3-4, 50 (2005).
5. Elieyioğlu, S., “Çeliklerin ısı işlem altında gösterdiği yapısal değişikliklerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Mössbauer spektroskopisi ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, 6-7 (2005).
6. Ekinci, C., “Düşük karbonlu mikro alaşımlı çeliklerin sertlik ve mikro yapıları üzerine soğuma hızının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 11-12 (2011).
7. İnternet: Çemsa Çelik Metal Makine İmalat San. Ve Tic. Ltd. Şti. “Genel Yapı Çelikleri” <http://cemsa.com.tr/genel-yapi-celikleri/> (2012).
8. Hayat F. and Uzun H., “Effect of heat treatment on microstructure, mechanical properties and fracture behaviour of ship and dual phase steel”, **Journal of Iron and Steel Research, International** 18 (8): 65-67 (2011).
9. Ulu, S., “Çift-fazlı çelikler”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 6 (3): 100-108 (2005).
10. Aydın, H., “Çelik saçların çift-faz ısı işlemi sonrası mekanik ve mikroyapı özelliklerinin değişimi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 5-7 (2006).
11. Hayat F. Demir, B. and Acarer M., "Tensile shear stress and microstructure of low-carbon dual-phase Mn-Ni steels after spot resistance welding" **Metal Science and Heat Treatment**, 49, 9 -10 (2007).

12. Akay, S.K., “Otomotiv endüstrisinde kullanılan çift-fazlı çeliklerin fiziksel özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 6-13 (2005).
13. Üler, E., “Alaşımız çelik saclarda çift-fazlı mikroyapı oluşturulması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-20 (2006).
14. Dağaşan, E., “Çift-fazlı çeliklerin eroziv aşınma davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 41-46 (2007).
15. Tosun, A., “Yaşlandırılan çift-fazlı çeliklerin mekanik davranışlarının incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 34-36 (2007).
16. Demir, B., “Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları sürekli tavlama hatlarında çift-fazlı çelik üretimi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 44-45 (2003).
17. Vural, M., Piroğlu, F. ve Çağlayan, B.Ö., “Yapı çeliklerinin kaynaklanabilirliği”, *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426: 47-51 (2003).
18. Ada, H., “Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların tozaltı ve spiral kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 55-78 (2006).
19. Tuncer, E., “Aşınmaya dayanıklı çelikler ile genel yapı çeliğinin kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-11 (2006).
20. Kendirci, M.F., “İnce taneli yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde kaynaklı bölgelerin ısıtılma işlemi mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 42-45 (2008).
21. Gupta, P., Ghosh, P.K., Nath, S.K. and Ray, S., “Resistance spot weldability of plain carbon and low alloy dual phase steels”, *Z. Metallkde, Department of Industrial Engineering, University of Roorkee*, 502-508 (1990).
22. Sharma, P., Ghosh, P.K. and Nath, S.K., “Fatigue behavior of resistance spot welded Mn - Cr - Mo dual phase steel”, *Z. Metallkde, Department of Industrial Engineering, University of Roorkee*, 518-525 (1993).
23. Ghosh, P.K., Gupta, P.C., Avtar, R. and Jha, B.K., “Resistance spot weldability of comparatively tick C - Mn - Cr - Mo - dual phase steel sheet”, *Z. Metallkde, Department of Industrial Engineering, University of Roorkee*, 30: 233-240 (1990).

24. Momoh I.M., Dongo E.I., Olusunle S.O.O. and Ogundare O.D., “Weldability assessment of dual phase medium carbon low alloy steel”, *International Journal of Science and Technology*, UK, 1 (11): 569-572 (2012).
25. Anık, S., “Kaynak tekniği el kitabı-yöntemler ve donanımlar-”, *GEV Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü*, İstanbul, 12-16, 70-71 (1991).
26. Yavuz, N., Özcan, R. ve Polat, F.G., “Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi”, *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Bursa 10 (2): 12-13 (2005).
27. Erengin, A., “Ark esaslı kaynak yöntemleriyle yapılan uygulamalarda, kutuplama durumu ile ilave malzeme-ergime verimi ilişkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-37 (2009).
28. Cevher, T., “Çelik tozaltı kaynağında toz tane boyutunun kaynak dikişi formuna etkisinin incelenmesi”, Bitirme Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü*, İzmir , 1-3 (2007).
29. Akay, A.A., “Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük , 3-13, 20-35, 90 (2012).
30. Süzen, A., “Gemi saclarının kaynak bağlantılarında kaynak parametrelerinin dikiş geometrisine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 28-39 (2009).
31. Işıklar, M., “Farklı boyutlardaki şaselerin kaynak aparatının tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 31-35 (2009).
32. Soncu, R., “Çelik platina malzemelere dik pozisyonda tozaltı kaynağı yönteminin uygulama parametrelerinin incelenmesi ve yöntemin modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 4-20 (2009).
33. Akkaş, N., 2006, “Tozaltı köşe kaynağında yapay zeka teknolojileri kullanılarak dikiş geometrisinin modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 5-18 (2006).
34. Anık, S. ve Tülbentçi, K., “Tozaltı kaynak tekniği” Kaynak Teknolojisi 2, *Gedik Kaynak San. Tic. A.Ş.*, İstanbul, 3-4, 17-29 (2000).
35. Kılınçer, S., “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 22-27, 66-81 (1998).

36. Kahraman, N. ve Gülenç, B., “Modern Kaynak Teknolojisi”, *EPA-MAT Basım 34. Yayın*, Ankara, 30-38 (2009).
37. Apay, S., “Tozaltı sert dolgu kaynağında bor tozu ilavesinin aşınma özellikleri üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-14 (2007).
38. Özakin, N., “AH ve DH kalite gemi saclarının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarındaki mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 55-78 (2010).
39. Kurt, K., “DH 36 gemi sacının farklı kaynak yöntemleri ile mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 29-39 (2008).
40. Bacak, S., “Düşük mukavemetli malzemeler için mekanik deneylerin yapılabileceği masaüstü deney cihazının tasarımı ve kurulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 12-15 (2006).
41. Varol, H., “Av ve spor tüfekleri için kritik parçaların hasar analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 49-50 (2008).
42. Bircan, A., “Makine parçalarının hasar analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 58-60 (2011).
43. Korkmaz, Ö.E., “Uçaklarda kullanılan alüminyum malzemelerdeki korozyonun incelenmesi, önlenmesi ve tahribatsız muayene ile tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 55-72 (2010).
44. Kahraman, N., “Kaynaklı bağlantılara uygulanan ısı işlemleri ve muayene yöntemleri”, Lisansüstü Ders Notları, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 63-95 (2010).
45. Seçim, C., “Tahribatsız muayene yöntemleri ve uygulama alanları”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 5-25 (2011).
46. internet: Milli Eğitim Bakanlığı “Uçaklarda Tahribatsız Muayene” http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/525MT0004.pdf (2012).
47. Kaya, B., “Muayenede teknolojik gelişmeler”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 62-77 (1992).
48. Anonim, “Giriş”, Manyetik Parçacık Muayenesi Seviye 1 Eğitim Notları, *Tekkon Teknoloji ve Kontrol Ltd. Şti.*, Ankara, 2-8 (2004).

49. Kökdemir, E., “Alaşımız yapı çeliği levhalarında kaynak dikişlerinin ultrasonik muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 28-36 (2007).
50. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı “Metal Teknolojisi Tahribatsız Muayene” http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tahribatsiz_muayene.pdf (2006).
51. TS EN ISO 6892-1, “Metalik malzemeler -çekme deneyi- bölüm 1: Oda sıcaklığında deney metodu”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 24-39 (2011).
52. Eroğlu, M., “Düşük karbonlu bir çelikte kaynak enerji girişi ve başlangıç tane boyutunun kaynak bölgesinin iç yapı ve mekanik özelliklerine olan etkisi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 23, 40-43, (1997).
53. Durgutlu, A., Gülenç, B. ve Tülbentçi, K., “Ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23: 251-259 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Engin Celasun, 1973 yılında Bolu'da doğdu. İlköğrenimini Almanya'da, Orta öğrenimini Ankara Atatürk Lisesinde (Yatılı) ve Lise öğrenimini Ankara Cumhuriyet Lisesinde (Yatılı) tamamladı. 2000 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği bölümünden iyi derece ile mezun oldu.

2000-2007 yılları arasında Gebze/Kocaeli ve Akçakoca/Düzce'de Çelik Boru sektöründe Kalite Kontrol & Güvence Mühendisi ve Kalite Yönetim Müdürü görevlerinde bulundu. 2007 yılında ODTÜ Kaynak Mühendisliği eğitiminden sonra Kardemir A.Ş. bağlı ortağı Karçel A.Ş.'de Kalite Yönetim Mühendisi, Kaynak Mühendisi ve Tahribatsız Muayeneler Seviye 2 Uzmanı olarak çalıştı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi'nde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2012 Ocak ayından itibaren Kardemir A.Ş. Kalite Yönetim Müdürlüğü'nde Kalite Yönetim Başmühendisi olarak çalışmaktadır. Çok iyi düzeyde İngilizce ve Almanca bilmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Ergenekon Mahallesi, Ergenekon Caddesi, Yenişehir
Lojmanları Kübana Apt. No: 40/9 KARABÜK

Fabrika Tel : (370) 4182284

GSM Tel : (536) 6191155

Faks : (370) 4156870

E-posta : ecelasun@kardemir.com