

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**2205 DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİK İLE S355J2 GENEL YAPI ÇELİĞİNİN
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Doğukan YILDIRIM

**MART 2018
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**2205 DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİK İLE S355J2 GENEL YAPI ÇELİĞİNİN
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Makina Mühendisi Doğukan YILDIRIM

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 / 03 / 2018

Tezin Savunma Tarihi : 22 / 03 / 2018

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU

Trabzon 2018

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Doğukan YILDIRIM Tarafından Hazırlanan**

**2205 DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİK İLE S355J2 GENEL YAPI ÇELİĞİNİN
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 06 / 03 / 2018 gün ve 1743 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU

Üye : Doç. Dr. Yasin ALEMDAĞ

Üye : Doç. Dr. Mehmet Burak BİLGİN

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Gerek derslerimde gerek ise tez çalışmalarında, bana danışmalık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan, çalışmış olduğum şirkette kullanım alanı olan bu konu üzerinde çalışma imkânı sağlayan, bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU' na, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hazırlamış olduğum bu tezin her aşamasında benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Kubilay ÖZÇELEBİ' ye, ÇOLAKOĞLU MAKİNA ailesine, deneysel çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Yaşar SERT' e ve bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Doğukan YILDIRIM

Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “2205 DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİK İLE S355J2 GENEL YAPI ÇELİĞİNİN BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU’ nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

22/03/2018

Doğukan YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Paslanmaz Çelikler	2
1.1.1. Ostenitik Paslanmaz Çelikler.....	2
1.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler	3
1.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	4
1.1.4. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	5
1.1.5. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	5
1.1.5.1. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri.....	9
1.1.5.2. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	10
1.2. Genel Yapı Çelikleri.....	12
1.2.1. Genel Yapı Çeliklerinin Mekanik Özellikleri	14
1.2.2. Genel Yapı Çeliklerinin Kaynak Edilebilirliği	15
1.3. Benzer Olmayan Metallerin Kaynak Kabiliyeti	17
1.4. MIG-MAG Kaynak Yöntemi	19
1.4.1. MIG-MAG Kaynak Yönteminin Avantajları	21
1.4.2. MIG-MAG Kaynak Yönteminin Dezavantajları.....	21
1.4.3. MIG-MAG Kaynak Yönteminde Elektrod Seçimi.....	22
1.4.4. MIG-MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Seçimi	23
1.4.4.1. Birincil Dereceden Ayarlanabilen Kaynak Parametreleri	24
1.4.4.1.1. Kaynak Akım Şiddeti.....	24
1.4.4.1.2. Kaynak Gerilimi (Ark Boyu).....	25
1.4.4.1.3. Kaynak Hızı	26

1.5.	Çalışmanın Amacı	26
1.6.	Literatür Araştırması.....	27
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
2.1.	Deneyde Kullanılan Malzemeler	30
2.2.	Deneyde Kullanılan Kaynak Yöntemi ve Parametreleri	31
2.3.	Mekanik Deneyler	33
2.3.1.	Çekme Deneyi	34
2.3.2.	Eğme Deneyi	35
2.3.3.	Çentik Darbe Deneyi	36
2.3.4.	Mikro Sertlik Deneyi	36
2.4.	Makro ve Mikro Yapı İncelemeleri	37
2.4.1.	Makro Yapı İncelemeleri.....	37
2.4.2.	Mikro Yapı İncelemeleri	37
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	38
3.1.	Ana Malzemelerin Spektral Analiz Sonuçları.....	38
3.2.	Penetrant Muayene Testi	38
3.3.	Çekme Deneyi Sonuçları.....	38
3.4.	Eğme Deneyi Sonuçları.....	46
3.5.	Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	47
3.6.	Mikro Sertlik Deneyi Sonuçları.....	49
3.7.	Makro Yapı Sonuçları	51
3.8.	Mikro Yapı Sonuçları	52
3.8.1.	Ana Metallerin Mikro Yapı Sonuçları.....	52
3.8.2.	Kaynaklı Numunelerin Mikro Yapı Sonuçları	54
4.	SONUÇLAR.....	61
5.	ÖNERİLER	62
6.	KAYNAKLAR.....	63
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

2205 DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİK İLE S355J2 GENEL YAPI ÇELİĞİNİN
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Doğukan YILDIRIM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU
2018, 66 Sayfa,

Bu çalışmada, 2205 dubleks paslanmaz çelik ile S355J2 genel yapı çeliğinin MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilebilirliği incelenmiştir. Kaynak işlemi dört farklı akım değerinde (230-220A, 210-200A, 190-180A ve 170-160A) yapılarak, akım değerinin kaynak nüfuziyeti ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kaynak işlemleri sonrası, çekme deneyi, bükme deneyi, sertlik ölçümü ve çentik darbe deneyi yapılarak mekanik özellikler incelenmiştir. Kaynak nüfuziyetinin incelenmesi amacıyla makro grafik görüntüleri alınmıştır. Kaynak bölgesinde oluşan içyapının belirlenmesi amacıyla optik mikroskopta mikro yapı incelemesi yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, dubleks paslanmaz çelikler ile genel yapı çeliklerinin uygun parametreler seçildiğinde kaynak edilebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca kaynak akım değerinin artırılması ile daha iyi kaynak nüfuziyeti ve mekanik özellikler elde edildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dubleks paslanmaz çelik, Genel yapı çeliği, MAG kaynak yöntemi, Kaynak parametreleri

Master Thesis

SUMMARY

THE EXAMINATION OF WELDABILITY OF 2205 DUPLEX STAINLESS STEEL
AND S355J2 STRUCTURAL STEEL

Doğukan YILDIRIM

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU
2018, 66 Pages,

In this study, the weldability of 2205 duplex stainless steel and S355J2 general structural steel by MAG welding method was investigated. The welding process has been made on four different current values (230-220A, 210-200A, 190-180A and 170-160A). After welding processes, mechanical properties were investigated by performing tensile test, bending test, hardness measurement and notch impact test. Macro graphic images were taken to examine the weld penetration. Micro structure examination was performed on the optical microscope in order to determine formed microstructure in the welding zone.

As the result of the investigations, it has been determined that duplex stainless steels and general structural steels can be welded when correct parameters are selected. It has been revealed that better welding penetration and mechanical properties were obtained by increasing the current value.

Key Words: Duplex stainless steel, Structural steel, MAG welding process, Welding parameters

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Schaeffler-DeLong diyagramı krom ve nikel eşdeğerlerinin faz yapısındaki etkisini gösterir [17].	6
Şekil 2.	Optik mikroskop altında 2205 dubleks paslanmaz çeliğe ait mikro yapı görüntüsü [21].	7
Şekil 3.	Optik mikroskop altında 2205 dubleks kaynak metaline ait mikro yapı görüntüsü [21].	8
Şekil 4.	SAW, GTAW ve SMAW kaynak yöntemleri ile kaynak işlemi yapılan 2205 dubleks malzemenin kaynak metali ve ergime bölgesinin darbe tokluk değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi [32].	11
Şekil 5.	30mm kalınlığındaki 2205 dubleks ana malzeme ve kaynak metalinin enine kesitinin dayanım özellikleri. R_m çekme dayanımını, $R_{p0.2}$ ve $R_{p1.0}$ %0,2 ve %1 deformasyondaki akma dayanımlarını göstermektedir [32].	12
Şekil 6.	Genel yapı çeliklerinin kaynağa uygunluğu [37].	16
Şekil 7.	Benzer olmayan metallerin kaynağının şematik gösterimi	17
Şekil 8.	MAG kaynağının prensip şeması [43].	20
Şekil 9.	Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve elektrot çapı arasındaki ilişki [48].	25
Şekil 10.	35m çapında tikiner tank. Tank 2205 dubleks paslanmaz çelik, tank altı çelik yapı S355J2 genel yapı çeliği [49].	27
Şekil 11.	Kaynaklı parçanın ebatları ve hazırlanan kaynak ağzının şematik gösterimi	30
Şekil 12.	Deneyde kullanılan sinerjik gazaltı kaynak makinesi	32
Şekil 13.	Yapılan kaynak işleminin şematik gösterimi	32
Şekil 14.	Alınan test numunelerinin kaynaklı parça üzerindeki lokasyonları	34
Şekil 15.	Çekme deneyinde kullanılan numune ölçüleri	34
Şekil 16.	Eğme deneyinde kullanılan numune ölçüleri	35
Şekil 17.	Eğme deneyinin şematik gösterimi	35
Şekil 18.	Çentik darbe deneyinde kullanılan numune ölçüleri	36
Şekil 19.	Sertlik ölçümlerinin alındığı bölgelerin şematik gösterimi	37
Şekil 20.	Kaynak akım şiddetine göre a) Çekme ve akma dayanımının, b) Kopma uzamasının değişimi.	40
Şekil 21.	Numune 1'e ait gerilme uzama grafiği	40
Şekil 22.	Numune 2'ye ait gerilme uzama grafiği	41
Şekil 23.	Numune 3'e ait gerilme uzama grafiği	41

Şekil 24. Numune 4'e ait gerilme uzama grafiği.....	42
Şekil 25. Çekme testi uygulanmış ana metaller ve numuneler.....	43
Şekil 26. 2205 ana metalin çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü.....	44
Şekil 27. S355J2 ana metalin çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü ...	44
Şekil 28. Numune 1' in çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü	44
Şekil 29. Numune 2' nin çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü	45
Şekil 30. Numune 3' ün çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü	45
Şekil 31. Numune 4' ün çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü	45
Şekil 32. Eğme testi uygulanan numuneler. 1) Numune 3'ün kök eğmesinde meydana gelen çatlak, 2) Numune 4'ün kök eğmesinde meydana gelen kırılma	47
Şekil 33. -20° C sıcaklıktaki çentik darbe testi sonuçları.....	48
Şekil 34. Çentik darbe testi uygulanan numuneler.....	49
Şekil 35. Kaynak işlemi yapılan numunelerin farklı bölgelere göre sertlik dağılımı.....	50
Şekil 36. Numune 1'e ait 4:1 büyütme makro yapı görüntüsü.....	51
Şekil 37. Numune 2'ye ait 4:1 büyütme makro yapı görüntüsü.....	51
Şekil 38. Numune 3'e ait 4:1 büyütme makro yapı görüntüsü.....	52
Şekil 39. Numune 4'e ait 4:1 büyütme makro yapı görüntüsü.....	52
Şekil 40. 2205 ana metale ait mikro yapı görüntüsü (x500).....	53
Şekil 41. S355J2 ana metale ait mikro yapı görüntüsü (x500).....	53
Şekil 42. Numune 1'e ait çeşitli bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri.....	55
Şekil 43. Numune 2'e ait çeşitli bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri.....	56
Şekil 44. Numune 3'e ait çeşitli bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri.....	57
Şekil 45. Numune 4'e ait çeşitli bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri.....	58

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Yaygın kullanım alanına sahip dört önemli dubleks paslanmaz çeliğin tipik kimyasal bileşimi (%-Ağırlık) [23, 24].....	8
Tablo 2. Dört farklı dubleks paslanmaz çeliğe ait minimum mekanik özellikler [22, 27].	10
Tablo 3. Genel yapı çeliklerinin kimyasal bileşimleri [1].....	13
Tablo 4. Genel yapı çeliklerinin tokluk değerleri [1].....	14
Tablo 5. Genel yapı çeliklerinin oda sıcaklığındaki akma ve çekme dayanımları [1].	15
Tablo 6. Deneyde kullanılan 2205 dubleks paslanmaz çeliğine ait kimyasal bileşim	30
Tablo 7. Deneyde kullanılan S355J2 genel yapı çeliğine ait kimyasal bileşim	31
Tablo 8. Deneyde kullanılan ER 2209 dubleks paslanmaz kaynak dolgu metaline ait kimyasal bileşim	31
Tablo 9. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.....	33
Tablo 10. Deneyde kullanılan ana malzemelerin spectral analiz değerleri.	38
Tablo 11. Ana metaller ve kaynak işlemi yapılan numunelere ait çekme deneylerinin ortalama sonuçlar	39
Tablo 12. Numunelerin yüzey ve kök kısımlarına uygulanan 180° eğme deneyi sonuçları	46
Tablo 13. Kaynak işlemi yapılan numunelere ait çentik darbe deneyi test sonuçları	48
Tablo 14. Kaynak işlemi yapılan numunelere ait Vickers sertlik deneyi sonuçları	50

SEMBOLLER DİZİNİ

Cr	: Krom
Mo	: Molibden
N	: Azot
C	: Karbon
Fe	: Demir
Ni	: Nikel
Mn	: Mangan
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Cu	: Bakır
Nb	: Niobyum
Ti	: Titanyum
Ar	: Argon
V	: Vanadyum
Al	: Alüminyum
CO ₂	: Karbondioksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyumoksit
Cr ₂ O ₃	: Kromyumoksit
FNA	: Ferrit Numarası
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
IEB	: Isıdan Etkilenen Bölge
AISI	: American Iron and Steel Institute
MIG	: Metal Inert Gas
MAG	: Metal Active Gas
TIG	: Tungsten Inert Gas
SAW	: Submerged Arc Welding
GTAW	: Gas Tungsten Arc Welding
SMAW	: Shielded Metal Arc Welding
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
C _{eş}	: Karbon Eşdeğeri

$Cr_{eş}$: Krom Eşdeğeri
$Ni_{eş}$: Nikel Eşdeğeri
IIW	: International Institute of Welding
TS	: Türk Standardı
EN	: Avrupa Normu
ISO	: Intertanional Standard Organization
R_m	: Çekme Dayanımı
R_{eH}	: Akma Dayanımı
WM	: Weld Metal
BM	: Base Metal
L_0	: İlk Uzunluk
A	: Amper
V	: Volt (Gerilim)
A	: Uzama
a	: Genişlik
b	: Et Kalınlığı
σ	: Sigma Fazı

1. GENEL BİLGİLER

Mühendislik uygulamalarında en yaygın kullanım alanına sahip malzeme çeliklerdir. Genel bir tarif olarak, % 2,4' ten daha az karbon içeren, demir oranı içerdiği diğer elementlerden daha fazla olan alaşımlara çelik adı verilmektedir. Çelikler kullanım alanlarına göre, genel yapı çelikleri, takım çelikleri, yay çelikleri, hız çelikleri ve paslanmaz çelikler olarak sınıflandırılabilirler [1].

Bu sınıflandırma kapsamında genel yapı çelikleri toplam çelik üretimi içinde en büyük paya sahip çeliklerdir. Alaşımsız ve genellikle kitle çeliği olarak, sıcak şekillendirmeden sonra normalleştirilmiş veya soğuk çekilmiş olarak kullanılırlar. Bu çeliklerden özellikle çekme ve akma dayanımları göz önünde bulundurularak, yer altı ve üstü inşaatı, köprü, depolama tankları, taşıt ve makine yapımı gibi çeşitli mühendislik dallarında yararlanılır [1].

Paslanmaz çelikler ise; içerisinde ağırlıkça, en az % 10,5 oranında krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Paslanmaz çeliklerde karbon % 0,02 ile 1 arasında olabilir [2]. Paslanmaz çelikler içerdikleri katkı elementlerine göre farklı kalitelerde sınıflandırılmaktadır. Bunlar, ferritik paslanmaz çelikler, ostenitik paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çelikler, çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler ve dubleks paslanmaz çeliklerdir [3].

Dubleks paslanmaz çelik ailesi, 80 yıl önce özellikle kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisi için tasarlanmış ve piyasaya sürülmüştür. 80'li yılların başında daha yüksek azot ilavesi ile kaynak edilebilirliği artırılmış ve kullanım alanı sürekli olarak artmıştır. Dubleks paslanmaz çelikler özellikle -50 ile 300 °C arasındaki yapısal uygulamalarda ostenitik paslanmaz çeliklere alternatif olarak kullanılmaktadır. İçerisindeki ferrit (HMK) ve osnetitten (YMK) oluşan iki fazlı yapısı nedeniyle çeliğin çok düşük sıcaklıklarda bile yüksek mukavemet (ferrit) ve tokluk (ostenit) elde etmesini sağlar. Yüksek mukavemet avantajı, daha ince kalınlıkta çelik yapıların yapılmasını ve ağırlık tasarrufunun elde edilmesini sağlar. Bununla birlikte dubleks paslanmaz çelikler kimyasal bileşiminde bulunan yüksek Cr, Mo ve N sayesinde bölgesel korozyona, ferrit içeriği sayesinde de gerilmeli korozyon çatlağına karşı iyi bir dayanım gösterir [4]. Dubleks paslanmaz çeliklerin diğer avantajları tatmin edici yorulma dayanımı [5, 6] , makul ısıl genleşme ve düşük nikel oranından dolayı makul fiyatlarıdır [7]. Yüksek korozyon direnci (özellikle gerilmeli korozyon çatlağına karşı), dubleks paslanmaz çelikleri kimyasal tankerler, basınçlı kaplar, ısı eşanjörleri için borular,

kâğıt makineleri ve okyanus mühendisliği için tercih edilen bir malzeme yapmaktadır [8, 9].

Malzeme ve üretim yöntemlerindeki gelişmelere paralel olarak farklı malzemelerin bir arada kullanım ihtiyacı günümüzde önem kazanmıştır. Tasarım aşamasında mekanik ve metalürjik özelliklerine göre belirlenen malzemelerin farklı tür malzemeler ile birleştirilmesine ihtiyaç duyulabilmektedir. Çünkü aynı yapı içerisinde malzemelerin kendilerine ait özellikleri, buldukları yere efektif bir şekilde hizmet etmelidir. Bu amaçla en sık kullanılan aynı zamanda en avantajlı yöntem kaynaklı birleştirmelerdir [10]. Bununla birlikte, benzer olmayan metallerin kaynak ile birleştirilmesi benzer olan metallere göre daha zordur. Kimyasal birleşim ve ısıl genleşme katsayısı farklılığı gibi çeşitli bazı faktörler, kaynaklı parçaların farklı bölgelerinde farklı kalıcı gerilmelere ve yüksek karbon içeren metalden düşük karbon içeren metale karbon göçü gibi sonuçlara neden olur. Kaynak işlemi iyi kontrol edilmez ise kaynak metalinde nüfuziyet noksanlığı ve çatlaklar gibi kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyen hatalar oluşur [11].

1.1. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler kimyasal bileşimlerinde en az %10,5 Cr ve en fazla %1,2 C bulunduran ve oksitleyici ortamlarda paslanmayan çeliklerdir. Paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ve korozyon dayanımını iyileştirmek amacıyla kromun yanı sıra, nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılır. Paslanmaz çelikler içerdikleri katkı elementlerine göre farklı kalitelerde üretilmektedir. Bunlar [3];

1. Ostenitik paslanmaz çelikler,
2. Ferritik paslanmaz çelikler,
3. Martenzitik paslanmaz çelikler,
4. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler,
5. Dupleks paslanmaz çelikler' dir.

1.1.1. Ostenitik Paslanmaz Çelikler

Bu grupta en yaygın kullanılan paslanmaz çelik türüdür ve kullanılan paslanmaz çeliklerin %65-70'ini oluşturmaktadır. Ostenitik paslanmaz çelikler içerisinde en yaygın kullanıma sahip olan grup 300 serisidir. Diğer paslanmaz çeliklere göre ostenitik paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı daha yüksektir. Ayrıca yüksek seviyede şekillendirilebilir ve

kaynaklanabilir. Ostenitik paslanmaz çelikler, tavllanmış durumdayken manyetik değillerdir ve su verme yoluyla sertleştirilemezler. Bunun sebebi hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik kafese sahip ostenitik içyapılarını korumaları ve ostenit ferrit dönüşümünün olmamasıdır. Tavllanmış halde toklukları, süneklikleri ve şekillendirilebilme kabiliyetleri, düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Dayanımları ancak, soğuk şekillendirme ve alaşımlama ile artırılabilir. Manyetik olmadıkları için manyetik malzemelerin kullanılmadığı uygulamalarda kullanılırlar ve 200 ve 300 serilerini içerir [3, 12].

Düşük ve yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Ostenitik paslanmaz çelikler ısıya ve asitlere dayanıklı olup sıcak yırtılma davranışı gösterebilirler. Ostenitik paslanmaz çeliklerin termal iletkenlik katsayısı karbonlu çeliklerden daha düşük olup termal genleşme katsayısı daha yüksektir ayrıca erime sıcaklıkları daha düşük ve daha yüksek elektriksel dirence sahiptirler. Ostenitik çelikler ısı işlem sıcaklıklarında yapısal dönüşüm göstermediklerinden su verilerek sertleştirilemezler, bu sayede ergitme içeren kaynaklı birleştirmeler için uygundur. Kaynak esnasında, ısınan bölgelerde karbür çökmesinin önlenmesi için stabilize edilmiş olmalıdır. Ayrıca ısı iletim katsayıları düşük, genleşme katsayıları ise yüksek olduğundan çarpılmayı önlemek için kaynak işleminde ısı girdisi düşük tutulmalıdır. Ostenitik paslanmaz çeliklerde karşılaşılan en önemli problemlerden krom karbür çökmesi, 400 ile 850 °C arasındaki sıcaklıklarda yüksek enerjili tane sınırları boyunca ortaya çıkan krom açısından zengin karbürler, paslanmaz çeliğin korozyon direncini düşürerek taneler arası korozyona uygun zemin oluştururlar. Bu durum, söz konusu bölgelerde ortaya çıkan krom karbürlerin katı çözültideki krom miktarının %12 sınırının altına düşmesine yol açar. Bu nedenle, paslanmaz çelik bünyesine katılan stabilizatörler (tityum ve tantal) sayesinde içyapı kararlı hale getirilir ve 1050-1150 °C arasında çözündürme tavı uygulanabilir [3, 12].

1.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler ergime sıcaklığı ile oda sıcaklığı arasında hacim merkezli kübik kristal kafes sistemine sahiptirler. Ostenitik paslanmaz çeliklerden düşük süneklığe ve daha yüksek akma dayanımına sahiptirler. Oda sıcaklığında korozyon direncinin gerekli olduğu uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılırlar [12, 13]. Isıl işlemle sertleştirilemeyen düşük karbon oranına sahip manyetik Fe - Cr alaşımlarıdır. 405, 409, 430, 422 ve 446 bu

grupta yer alan en tipik ürünlerdir [3].

Bu çeliklerde soğutma hızına bağlı olarak matris yapılarında rastgele dağılmış nitrür ve karbür çökelmeleri oluşurken tane sınırlarında daha düzenli dağılım meydana gelir. Bu yüzden erişilmek istenilen tane boyutu, tokluk ve süneklik için soğuma hızı çok önemlidir. Paslanmaz çeliğin yüksek Cr içeriğine sahip olması durumunda, yapısını gevrekletiren tetragonal sigma (σ) fazı ortaya çıkabilir. Bu tetragonal sigma (σ) fazının oluşma sıcaklığı yaklaşık 440°C'tir. Cr ve Mo içeren ferritik paslanmaz çeliklerde ise σ fazının çökme sıcaklığı yaklaşık 1000°C'ye kadar yükselebilir [3, 14]. Ferritik paslanmaz çelikler üç grupta sınıflandırılabilir. Birinci grup standart ferritik paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda hidrojen kırılma hızına ve korozyona karşı dayanıklıdır. Bu alaşımların kaynak işlemi sonrası tane büyümesinden ve martenzitik yapının oluşmasından dolayı korozyon direnci, sünekliği ve tokluğu azalır. İkinci grup ferritik paslanmaz çelikler daha düşük oranda C ve Cr içerir. Üçüncü grup ferritik paslanmaz çelikler ise yüksek Cr ve Mo içerikli ferritik paslanmaz çeliklerdir ve genel korozyon, çukur korozyonu ve gerilmeli korozyon kırılmasına karşı dayanıma sahiptirler. Bu alaşımlar, kaynak işlemi sonrası, sünek, tok ve korozyona dayanıklı olabilmesi için oksijen ile dekarbürize edilerek üretilirler [3].

1.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Bu yapıdaki alaşımlar % 0,1-1 oranlarında C ve % 12-17 oranlarında ise Cr içermektedir. Martenzitik paslanmaz çelikleri diğer paslanmaz çeliklerden ayıran en önemli özellikleri; karbon yüzdesinin düşük olması ve ısıtma işlemleri ile sertleşebilmelerinin mümkün olmasıdır. Bu çelikler aynen karbon çelikleri gibi su verme sonucu faz dönüşümü yaparak çok sert bir yapı oluştururlar. Atmosferik korozyona karşı dirençlidirler. Cr ve C oranları sertleştirme sonrası martenzitik bir yapı elde etmek için dengelenmiştir. Martenzitik çelikler manyetik olup daha çok; ısıtma işlemi mukavemet gerektiren korozyona maruz yerlerde kullanılırlar. 403, 410, 416 ve 420 bu grupta yer alan en tipik ürünlerdir [3, 14].

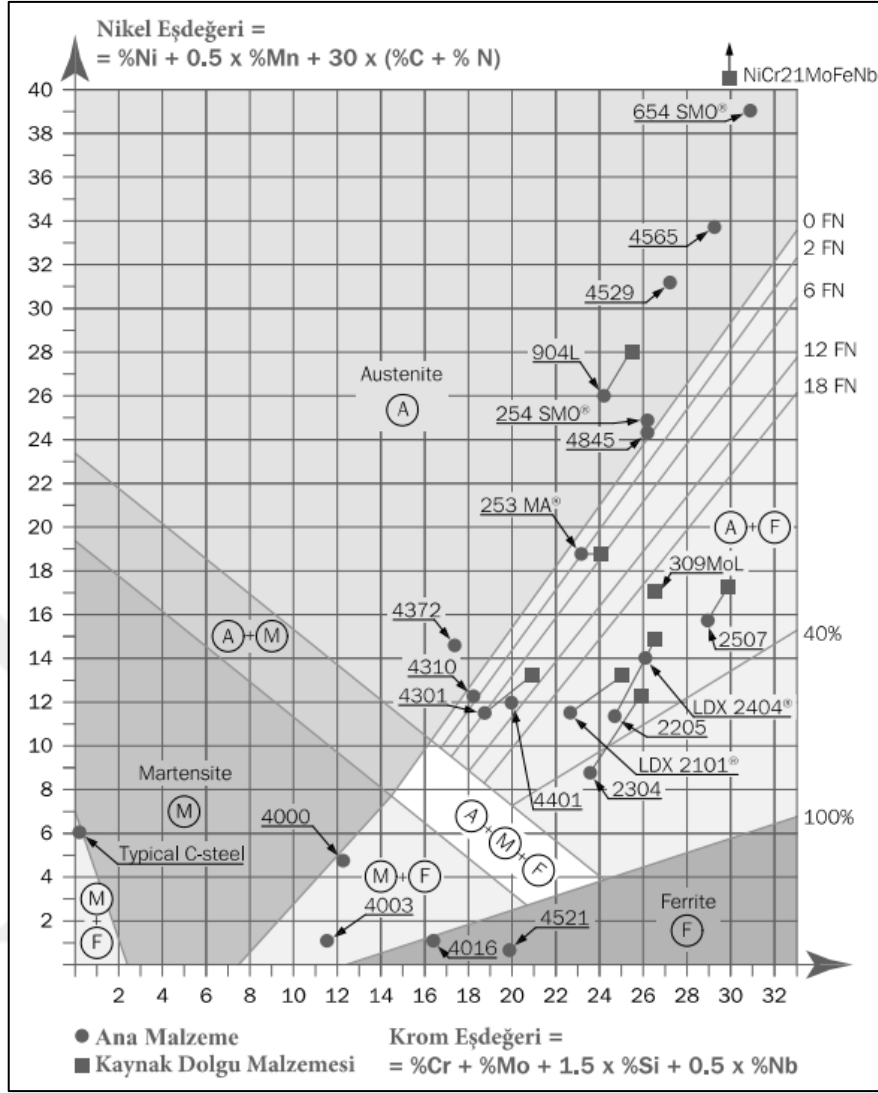
Martenzitik paslanmaz çelikler, normal şartlarda 275 MPa'lık bir akma dayanımına sahiptir. C içeriğine bağlı olarak sertleştirme ve temperleme sonrası 1900 MPa'lık akma dayanımını elde edilebilir [3, 12].

1.1.4. Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Bu çeliklere çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir. Bunların esas içyapıları ostenitik, yarı ostenitik veya martenzitik olabilir. Bu çelikler çok düşük miktarda karbon ihtiva ettiklerinden martenzitik türlerinde bile temel sertleşme ancak çökeltmeye bağlı olarak gerçekleşir. Çökelti oluşumunu sağlamak için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen çelikler, iyi tokluk ve süneklik yanında orta ile iyi derece arasında korozyon dayanımı gösterirler. Bu çeliklerde, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, korozyon ve mukavemet dayanımlarının iyi bir birleşimi elde edilir. Bu durum yüksek miktardaki alaşımlı elementleri ve en çok % 0,04 karbon bulunmasından dolayıdır, ancak bunun sonucu aşınma dayanımında düşüş gözlenir. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler 1700 MPa değerine kadar akma dayanımlarına sahiptirler. Soğuk şekillendirme ve onu izleyen yaşlandırma ile bu değer daha da yükseltilebilir. En yaygın olarak kullanılan türü 630 kalitedir [15].

1.1.5. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler; Fe, Cr, Ni sistemine dayalı iki fazlı alaşımlardır. Genellikle % 20-30 Cr ve % 5-10 Ni içerirler. Mikro yapılarında ferrit ve ostenit fazlarının bir arada bulunduğu paslanmaz çelik türüdür. Optimum faz dengesi normalde yaklaşık olarak %50-50 kabul edilmektedir. Ferrit-ostenit oranında yüzde bazında farklılık arttıkça bir takım sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Örneğin ostenit oranındaki artış dayanımı düşürür ve gerilmeli korozyon çatlama direnci kötüleştirir. Ferrit oranındaki artış ise tokluğun zayıflamasına ve genel korozyon direncinin kaybına neden olabilmektedir [16]. Paslanmaz çeliklerde mikro yapı, Şekil 1'de gösterilen Schaeffler-DeLong diyagramı kullanılarak kimyasal bileşimlerinden belirlenebilmektedir [17].



Şekil 1. Schaeffler-DeLong diyagramı krom ve nikel eşdeğerlerinin faz yapısındaki etkisini gösterir [17].

Ferrit yapıyı stabilize eden alaşım elementlerine krom eşdeğerleri, ostenitik yapıyı stabilize eden alaşım elementlerine nikel eşdeğerleri denir [18]:

$$\text{Cr- Eşdeğeri} = \text{Cr} + \text{Mo} + 1.5\text{Si} + 0.5\text{Nb} \quad [\% \text{ Ağırlık}] \quad (1)$$

$$\text{Ni- Eşdeğeri} = \text{Ni} + 30(\text{C} + \text{N}) + 0.5\text{Mn} \quad [\% \text{ Ağırlık}] \quad (2)$$

FNA ferrit numarası ile verilen ferrit içeriği aşağıdaki formüller ile belirlenebilir [18]:

$$\text{FNA} = 3.34\text{F} - 2.46\text{A} - 28.6 \quad \text{FNA} < 6 \quad (3)$$

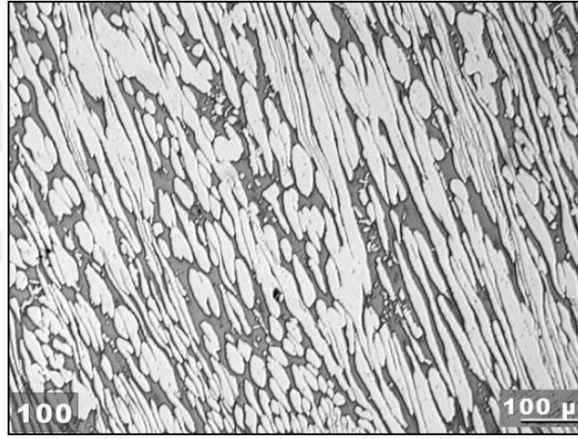
$$\text{FNA} = 4.44\text{F} - 3.39\text{A} - 38.4 \quad 6 \leq \text{FNA} \leq 12 \quad (4)$$

$$FNA = 4.06F - 3.23A - 32.2$$

$$FNA \geq 12$$

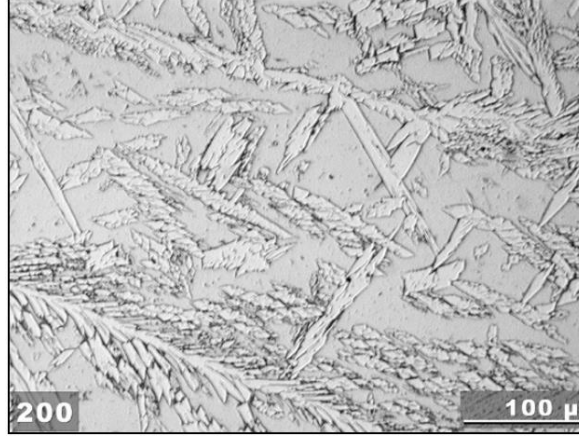
(5)

Dubleks paslanmaz çeliklerde genellikle mikro yapı yaklaşık olarak eşit miktarda ostenit ve ferriten oluşur. Ostenit, ferrit bir matris içerisinde levhalar şeklinde yer alır. Ostenit oranı, çeliğin tokluk özelliğini arttırmak ve ITAB' da yeterli ostenit oranını korumak amacıyla %55-60 oranına artırılabilir [19]. Arzu edilen mikro yapı genellikle sıcak şekillendirmeyi takip eden çözme tavlaması (solution annealing) ve ortam sıcaklığında su verme işlemi ile elde edilir [19]. Sıcak şekillendirme 1000-1200 °C aralığında gerçekleştirilir [20]. 2205 dubleks paslanmaz çeliğe ait tipik ince lamel taneli ana malzeme yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Ostenitik kısım yaklaşık olarak % 65 oranında görülmektedir. Dağlayıcı, ferrit matrisini koyu göstermektedir ve beyaz kısımlar ostenittir [21].



Şekil 2. Optik mikroskop altında 2205 dubleks paslanmaz çeliğe ait mikro yapı görüntüsü [21].

Ana metale göre daha kaba taneli olan 2205 kaynak metalinin mikro yapısı Şekil 3 'de gösterilmektedir. Ostenitik kısım yaklaşık olarak % 45 oranında görülmektedir. Kaynak metalinde ostenit yapı genel olarak tane sınırlarında yeniden şekillenmekte ve büyümektedir [21].



Şekil 3. Optik mikroskop altında 2205 dubleks kaynak metaline ait mikro yapı görüntüsü [21].

Dubleks paslanmaz çelik ailesi ekonomiklik, kaynak edilebilirlik ve tokluk özelliklerinin iyi bir kombinasyonunu sunup genellikle mukavemet ve korozyon özelliklerinin her ikisinin birden önem taşıdığı yerlerde kullanılır [22]. Tablo 1’de kullanım alanı yaygın olan dört dubleks paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Yaygın kullanım alanına sahip dört önemli dubleks paslanmaz çeliğin tipik kimyasal bileşimi (%-Ağırlık) [23, 24].

Sınıf	Cr	Ni	Mo	Mn	N
2304	21.5-24.5	3.0-5.5	0.05-0.6	2.5	0.05-0.2
LDX 2101	21.5	1.5	0.3	2	0.22
2205	22.0-23.0	4.5-6.5	3.0-3.5	2	0.14-0.20
2507	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-5.0	1.2	0.24-0.32

Yaygın olarak kullanılan dubleks paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir:

- 2304 (EN 1.4362) ostenitik çelikler ile benzer korozyon dayanımı gösteren nispeten düşük alaşımlı dubleks paslanmaz çeliklerdir [17].
- LDX 2101 (EN 1.4162) yakın zamanda geliştirilmiş dubleks paslanmaz çelik olup az miktarda nikel eklenerek maliyeti azaltılmıştır. Nikel oranı azaltılan bu çeliklerin ostenitik yüzdesini telafi etmek amacıyla mangan ve azot miktarı artırılmıştır. Mukavemet değerleri 2205 dubleks paslanmaz çelikler ile kıyaslanabilir olup korozyon dayanımları en azından 304 kalite ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha

iyidir [23].

- 2205 (EN 1.4462) günümüzün en yaygın kullanıma sahip orta seviyede alaşımlı dubleks paslanmaz çeliği olup, ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha iyi korozyon dayanımı göstermektedir. İmalat, kaynak edilebilirlik ve ekonomik özellikleri de tatmin edicidir [23].
- 2507 (EN 1.4410) genellikle süper dubleks olarak adlandırılan yüksek alaşımlı dubleks paslanmaz çeliklerdir. Yüksek mukavemet ve aşırı korozif ortamlara karşı dayanım gösterir. Bununla birlikte, yüksek krom ve molibden içeriğinin yüksek sıcaklıklarda sebebiyet verdiği ikincil faza hızlı geçişten dolayı ısı işlemlerinde dikkatli olunmalıdır [24].

1.1.5.1. Dubleks Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Dubleks paslanmaz çeliklerin akma dayanımı, en yaygın kullanım alanına sahip AISI 304 kalite ostenitik paslanmaz çeliklere nazaran 2-3 kat daha yüksektir. Ferrit yapısı yüksek mukavemete sahip olmalarına katkıda bulunur [22].

Dubleks paslanmaz çeliklerin mukavemeti ferritik paslanmaz çeliklerden de yüksektir [22]. Bunun nedeni, çift fazlı yapıda daha yüksek mukavemeti sağlayan, ostenit ve ferrit tanelerin karşılıklı olarak büyümelerini engellediği küçük taneli içyapı ile açıklanabilir [20, 25]. Ayrıca, azotun ostenit içerisindeki katı çözümleri sertleşmesinden dolayı ostenit yapısı ferrit yapıdan daha mukavemetli olabilmektedir [20]. Dubleks paslanmaz çeliklerin yüksek mukavemetinin başlıca nedenleri [26]:

- İçyapılarında ferritin varlığı
- Küçük tane boyutu
- Sert ikincil ostenit oluşumu
- Ara yer ve yer alan çözümleri sertleşmesi

Yaygın kullanıma sahip dört dubleks paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Dört farklı dubleks paslanmaz çeliğe ait minimum mekanik özellikler [22, 27].

Sınıf	R _{p0.2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]
2304	400	600	25
LDX 2101	450	650	30
2205	450	620	25
2507	550	795	15

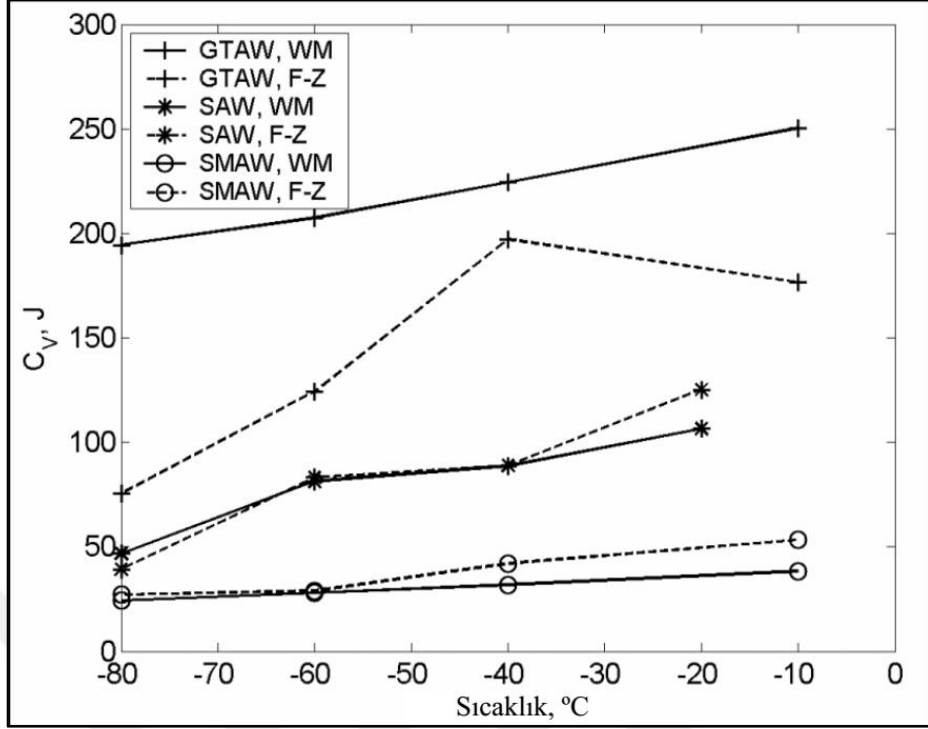
1.1.5.2. Dubleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Günümüzde dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliği ile ilgili bazı araştırmalar yapılmıştır ve uygun dolgu metali ve ısı girdisi gibi kaynak parametreleri seçilerek bütün yaygın ergitme kaynak yöntemlerinin dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabileceği belirlenmiştir [28, 29]. Dubleks paslanmaz çelikler ferritik paslanmaz çeliklerden daha iyi ostenit paslanmaz çeliklerden ise daha kötü kaynak kabiliyetine sahiptirler. Bu alaşımlar endüstriyel uygulamalarda herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan istenen kalitede kaynak edilebilip, yeterli mukavemet ve korozyon direncini sağlarlar. Kaynak dikişi katılaşma anında tamamen ferritik yapıda iken soğuma ile ferritin bir kısmı ostenite dönüşür, bu nedenle kaynak dikişi dubleks yapıda oluşur. Isıdan etkilenen bölgede ostenit miktarını kontrol edebilmek için soğutma hızı kontrol edilmelidir. Soğuma hızı ısı girdisi, ön tav ve pasolar arası sıcaklıklar ile kontrol edilebilmektedir [30].

Dubleks paslanmaz çeliklerde tavsiye edilen ve en çok kullanılan kaynak yöntemleri örtülü elektrod ile ark kaynağı, gazaltı (MIG, özlü tel) kaynağı, TIG kaynağı, tozaltı ark kaynağı ve plazma ark kaynağıdır [30]. Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak dolgu metalleri ostenit oranını korumak, nitürlerin çökmesini ve ikincil ostenit fazının oluşumunu engellemek amacıyla genellikle yüksek oranda nikel içerir [31].

Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında ısı girdisi 0,7 – 3 kJ/mm arasında olmalıdır. Kaynak sırasında salınımlı paso uygulanması ısı girdisini artıracığından tercih edilmez. Bunun yerine mümkün olduğunca çizgisel paso tekniği kullanılmalıdır [30].

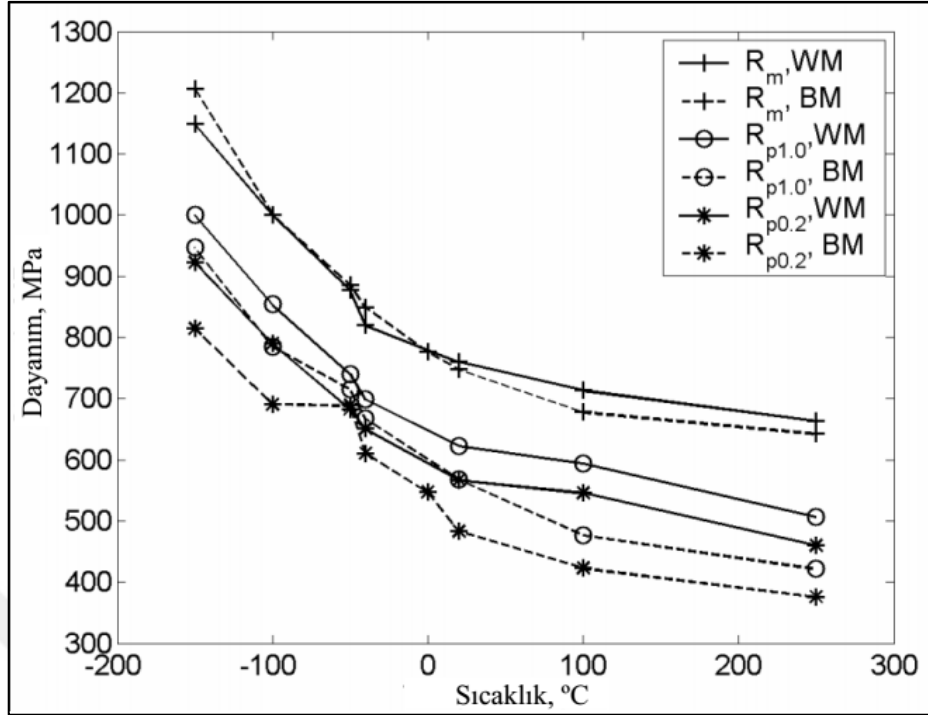
Dubleks paslanmaz çeliklerin çekme özellikleri genellikle kabul edilebilir düzeydeyken, tokluk özellikleri fazlasıyla kaynak prosedürüne, kullanılan dolgu metaline ve oluşan mikro yapıya bağlıdır. Şekilde 5’de çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak işlemi yapılan 2205 dubleks malzemenin kaynak metaline ve ergime bölgesine ait darbe tokluk değerlerinin kıyaslaması verilmiştir [32].



Şekil 4. SAW, GTAW ve SMAW kaynak yöntemleri ile kaynak işlemi yapılan 2205 dubleks malzemenin kaynak metali ve ergime bölgesinin darbe tokluk değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi [32].

Şekil 4'den görüleceği üzere GTAW metodu ile yapılan kaynak işlemlerinin darbe tokluğu SAW ve SMAW yöntemlerine göre daha yüksektir. SAW ve SMAW yöntemlerindeki daha düşük tokluk değerleri daha yüksek oksit seviyesi ile açıklanabilir [33].

2205 dubleks paslanmaz çelik ana malzeme ve kaynak metaline ait ısıya bağlı akma ve çekme dayanımları Şekil 5'de gösterilmiştir [32].



Şekil 5. 30mm kalınlığındaki 2205 dubleks ana malzeme ve kaynak metalinin enine kesitinin dayanım özellikleri. R_m çekme dayanımını, $R_{p0.2}$ ve $R_{p1.0}$ %0,2 ve %1 deformasyondaki akma dayanımlarını göstermektedir [32].

Ana malzeme ile kaynak metali arasındaki çekme dayanımı farkı çok küçük iken, akma dayanımı farkı daha kayda değerdir. Kaynak metalindeki ferrit yapı ana metale kıyasla daha fazladır ve bu da ferrit yapının çekme dayanımını azaltıp, akma dayanımını artırdığını göstermektedir [34].

1.2. Genel Yapı Çelikleri

Genel yapı çelikleri Dünya'da ki çelik üretimi içerisinde en büyük orana sahiptirler. Akma dayanımına göre ifade edilen yapı çelikleri, öncelikli olarak çekme dayanımları ve akma sınırı değerleri dikkate alınır ve kaynaklı çelik yapı imalatında geniş kullanım alanına sahiptir. Bu çelikler alaşımsız çelik olarak ifade edilir ve elde edilen mekanik özellikleri bünyelerindeki karbon miktarına bağlı olarak ortaya çıkar. Fakat azot ve fosfor gibi elementler başta olmak üzere, üretim hammaddelerinden ve üretim şekillerinden kaynaklanan mangan, silisyum, kükürt ve bakır elementleri de oldukça etkilidir. Genel yapı çeliklerine ait kimyasal özellikler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Genel yapı çeliklerinin kimyasal bileşimleri [1].

Kısa Gösterilişi	KİMYASAL BİLEŞİM, % en çok (pota analizi)								
	C Kalınlık (mm)			Si	Mn	P	S	N	Cu
	≤16	>16 ≤40	>40						
S235JR	0,170	0,170	0,200	-	1,400	0,035	0,035	0,012	0,550
S235J0	0,170	0,170	0,170	-	1,400	0,030	0,030	0,012	0,550
S235J2	0,170	0,170	0,170	-	1,400	0,025	0,025	-	0,550
S275JR	0,210	0,210	0,220	-	1,500	0,035	0,035	0,012	0,550
S275J0	0,180	0,180	0,180	-	1,500	0,030	0,030	0,012	0,550
S275J2	0,180	0,180	0,180	-	1,500	0,035	0,035	-	0,550
S355JR	0,240	0,240	0,240	0,550	1,600	0,035	0,035	0,012	0,550
S355J0	0,200	0,200	0,220	0,550	1,600	0,030	0,030	0,012	0,550
S355J2	0,200	0,200	0,220	0,550	1,600	0,025	0,025	-	0,550
S355K2	0,200	0,200	0,220	0,550	1,600	0,025	0,025	-	0,550
S450J0	0,200	0,200	0,220	0,550	1,700	0,030	0,030	0,025	0,550
S185	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E295	-	-	-	-	-	0,045	0,045	0,012	-
E335	-	-	-	-	-	0,045	0,045	0,012	-
E360	-	-	-	-	-	0,045	0,045	0,012	-

Genel yapı çelikleri kalite gruplarına göre sınıflandırılırlar. EN 10025-2 standardında yapılan yeni düzenlemeler sonucunda çekme dayanımının sonuna gelen -1, -2 ve -3 gibi çelik kalitesini belirten rakamlar gelmektedir;

- Birinci kalite grubuna yalnızca S185 çeliği verilmektedir. S185 çeliğinde kimyasal analiz değerleri verilmez, üretim ve döküm yöntemi serbest bırakılmıştır. Bu çeliklerin P, S oranları %0,045'den fazla olabilir.
- İkinci grubundaki çelikler, en fazla %0,050 P ve %0,050 S içerirler ve daha çok kaynaklı yapılarda tercih edilirler. Silisyum ve mangan miktarları 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 olarak dökülürler.
- Üçüncü kalite grubundaki çelikler ince taneli çelik olarak, özellikle sakinleştirilerek dökülürler. İkinci kalite çeliklerden farklı olarak Al ilavesiyle çentik darbe tokluğu ve yaşlanma dayanımı iyileştirilir. Genellikle 0,020 Al ile deokside edilirler. Fosfor ve kükürt miktarları %0,045 ile sınırlandırılmıştır [1, 35].

1.2.1. Genel Yapı Çeliklerinin Mekanik Özellikleri

Genel yapı çelikleri kimyasal bileşimlerine, gördükleri tavlama ve ısıt işlemlerine göre birbirinden farklı karakteristik özellikler gösterirler. Bu özellikler içerisinde bütün çelik türleri için geçerli olan en önemli özellikleri mekanik özelliklerdir. Tasarım aşamasında genel yapı çeliği seçerken tablodan kullanılacak çelik yarı mamul boyutlarının göz önünde bulundurulması gerekir. Bunun sebebi, tablolarda yer alan mukavemet değerleri alt kalınlık (< 16mm) grubu için olup, boyut arttıkça mukavemet değerleri düşmektedir. Bu düşüşün sebebi, boyut arttıkça parçanın yüzey ve iç kısımları arasındaki soğuma hızlarının farklı olması ve bunun sonucu olarak da iç kısımlar daha yavaş soğuyacağından, daha düşük mukavemetli bir mikro yapının ortaya çıkmasıdır [1]. Genel yapı çeliklerinin anma kalınlıklarına göre tokluk değerleri Tablo 4’de, akma ve çekme dayanımları Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 4. Genel yapı çeliklerinin tokluk değerleri [1].

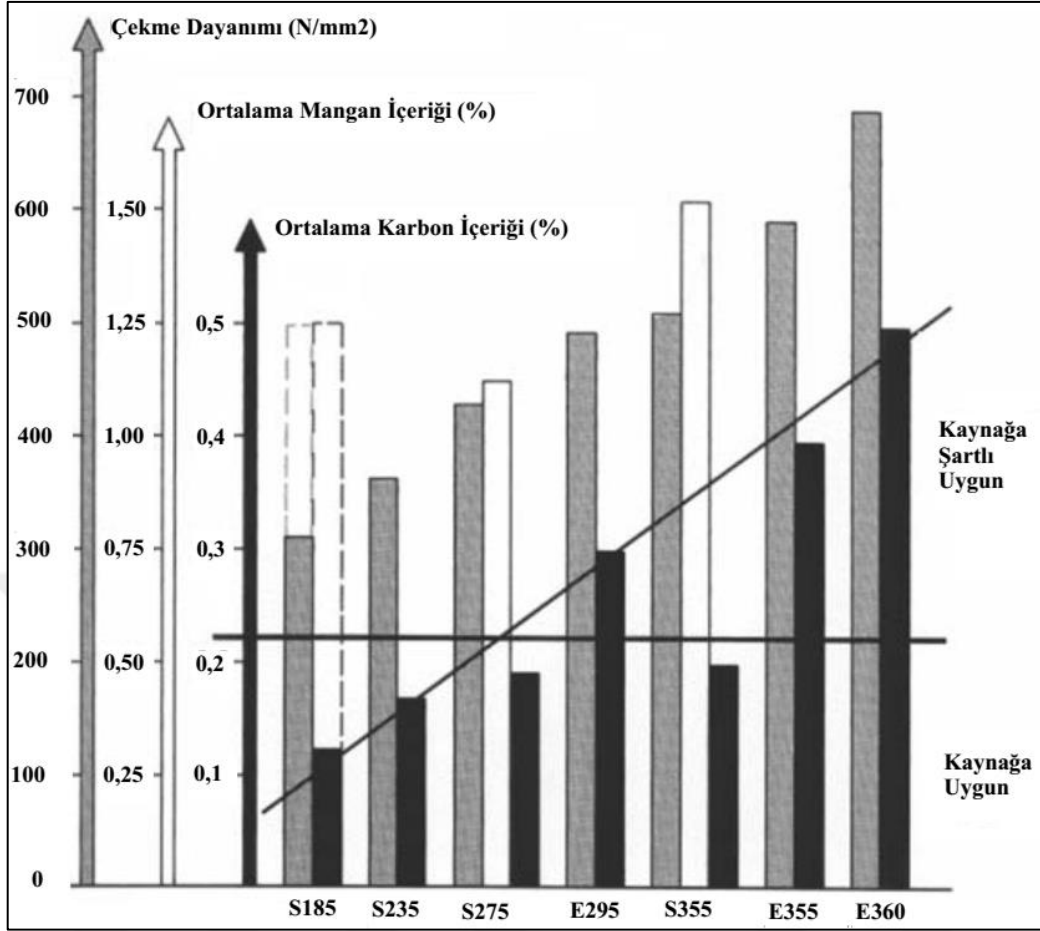
Kısa Gösteriliş	Sıcaklık (°C)	Çentik Darbe İşi KV (J), en az		
		Anma Kalınlıkları (mm)		
		>10 ≤150	>150 ≤250	>250 ≤400
S235JR	+20	27	27	-
S235J0	0	27	27	-
S235J2	-20	27	27	27
S275JR	+20	27	27	-
S275J0	0	27	27	-
S275J2	-20	27	27	27
S355JR	+20	27	27	-
S355J0	0	27	27	-
S355J2	-20	27	27	27
S355K2	-20	40	33	33
S450J0	0	27	-	-

Tablo 5. Genel yapı çeliklerinin oda sıcaklığındaki akma ve çekme dayanımları [1].

Kısa Gösteriliş	Akma Sınırı R (Mpa), en az								Çekme Dayanımı R (Mpa)			
	Anma Kalınlıkları (mm)								Anma Kalınlıkları (mm)			
	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200	>200 ≤250	<3	≥3 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤250
S235JR S235J0 S235J2	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	320-470
S275JR S275J0 S275J2	275	265	255	245	235	225	215	205	430-580	410-560	400-540	380-540
S355JR S355J0 S355J2 S355K2	355	345	335	325	315	295	285	275	510-680	490-630	470-630	450-630
S450J0	450	430	410	390	380	380	-	-	-	550-720	530-700	-
S185	185	175	-	-	-	-	-	-	310-540	290-510	280-500	270-490
E295	295	285	275	265	255	245	235	225	490-660	470-610	450-610	440-610
E335	335	325	315	305	295	275	265	255	590-770	570-710	550-710	540-710
E360	360	355	345	335	325	305	295	285	690-900	670-830	650-830	640-830

1.2.2. Genel Yapı Çeliklerinin Kaynak Edilebilirliği

Genel bir ifadeyle genel yapı çelikleri, kaynak edilecek kesitlerinin 25mm'den ince olması ve şiddetli bir bağlantı zorlaması altında olmaması şartıyla, özel bir tedbir almadan ön ve son tavlama kolaylıkla kaynak edilebilirler [36]. EN 10025 standardında S185, E295, E335 ve E360 çeliklerinin kimyasal bileşimleri verilmemiştir. Bu nedenle bu çelikler kaynaklı imalatlarda tercih edilmezler. Bununla beraber S235, S275 S355 ve S450J0 genel yapı çelikleri içerdikleri karbon oranı %0,2'den az olduğundan kolaylıkla kaynak edilebilirler [1]. Çelikteki karbon miktarı %0,2'nin üzerine çıktığında ön tavlama ve kaynaktan sonra tavlama gibi önlemlerin alınması gerekir [37].



Şekil 6. Genel yapı çeliklerinin kaynağa uygunluğu [37].

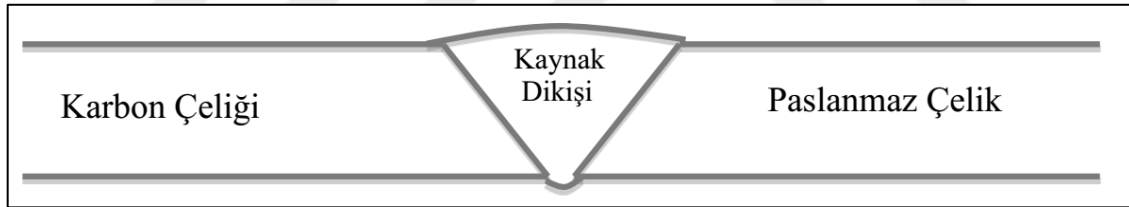
Genel yapı çeliklerinin kaynağında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri karbon eşdeğeridir. Alaşımız çeliklerin sertleşme kabiliyetleri üzerinde oldukça etkin olan başlıca elementler C ve Mn' dır. Az alaşımlı çeliklerde ise Cr, Mo, V ve Mn gibi alaşım elementleri düşük C oranlarında bile 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 sebebiyet verdiği sertleşmeye eşdeğer sertliği sağlayacak C miktarı belirlenmiştir. Bu şekilde belirlenen ve çeliğin bileşimindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliği veren C miktarına karbon eşdeğeri ($C_{eş}$) adı verilmiştir. IIW tarafından oluşturulan ve tüm dünyada en yaygın şekilde kullanılan karbon eşdeğeri formülü altıncı bağıntıda verilmiştir [37]:

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

Karbon eş değeri formülü, çeliklerde kaynak sırasındaki oluşacak hızlı soğuma mertebesini belirleyebilmek için gerekli ön tavlama işleminde bir kılavuz olarak değerlendirilir. $C_{eş} < 0,45$ olan çeliklerde kaynak öncesi tavlama işlemine gerek yoktur. $0,45 \leq C_{eş} < 0,60$ olan çeliklerde 100-200 °C arasında bir ön tavlama yapılır. $C_{eş} > 0,60$ olan çeliklerde ise 200-300 °C arasında bir ön tavlama yapılır [37].

1.3. Benzer Olmayan Metallerin Kaynak Kabiliyeti

Günümüz çelik yapılarında, paslanmaz çelikler ile karbon çeliklerinin kaynağı birçok uygulamada gerekli ve bazen de kaçınılmazdır. Bu tip benzer olmayan metallerin kaynağında kaynak dolgu metali büyük bir rol oynar ve genellikle her iki ana malzemeden de farklı bir yapıya sahiptir. Kaynak dikişi ise belli oranlarda ana metaller ve kaynak dolgu metalinin karışımından oluşur. Şekil 7’de benzer olmayan metallerin kaynağının ait şematik gösterimi verilmiştir [38].



Şekil 7. Benzer olmayan metallerin kaynağının şematik gösterimi

Benzer olmayan metallerin kaynak işlemi esnasında kaynak dikişinin yapısını kontrol etmek çok önemlidir. Oluşacak olan kaynak dikişi yapısının kontrol edilmesi sıcak çatlaklar ve sigma fazı oluşumu gibi kaynak hatalarının riskini azaltır [38].

Karbon çelikleri ile paslanmaz çeliklerinin kaynağında, iyi bir mikro yapının elde edilmesi için karbon çeliğinin nüfuziyetini azaltmak önem arz etmektedir. Bunu önlemek amacıyla yaygın kullanılan yöntem, kaynak işlemi esnasında kaynak torcunun açılı verilerek paslanmaz çeliğe doğru tutulmasıdır [39].

Benzer olmayan metal kaynaklarında kaynak esnasında meydana gelen yapısal değişimlerden dolayı birçok karakteristik problem ile karşı karşıya kalınır. Kaynak dikişine karışan paslanmaz çelik miktarında artış olur ise, oluşan yapı tamamen ostenitik olabilir ve

sıcak çatlak riski kayda değer biçimde yükselir. Öte yandan, kaynak dikişine karışan karbon çeliği miktarında artış olur ise, oluşan yapı daha martenzitik olur ve sert ve kırılğan olur. Ayrıca oluşan yapıdaki ferrit oranının çok yüksek olması durumunda, yüksek sıcaklıklardaki ısıtılma ferritin sigma fazına dönüşümüne öncülük edebilir. Sigma fazı çok kırılğandır, bu yüzden yüksek sıcaklıklarda çalışacak kaynak dikişleri mümkün olduğunca az ferrit içermelidir [38].

Benzer olmayan metallerde oluşan problemlerin sebepleri genellikle şunlardır:

- Isıl genleşme katsayıları arasındaki farklar neticesinde, kaynaklı birleştirmenin farklı bölgelerinde meydana gelen kalıntı gerilmeler,
- Ergime noktaları arasındaki büyük farklar
- Yüksek karbon içeren alaşımlardan nispeten daha düşük karbon içeren alaşımlı çeliklere karbon transferi,
- Kaynak sonrası gerilmeleri giderme işleminin zorluğu [39, 40].

Uygun kaynak dolgu metalinin seçimi benzer olmayan kaynaklarda büyük bir öneme sahiptir. Dolgu metalinin her iki ana metallen kaynağına uygun olması ve bu ana metallerin kaynak dikişine olan karışımını minimum düzeyde tutması çok önemlidir. Paslanmaz çelikler ile karbon çeliklerin kaynak işleminde oluşacak kaynak dikişinin yapısının ve uygun dolgu metalinin belirlenmesinde genellikle Schaeffler diyagramı kullanılır. Bu diyagram ile her iki ana malzemenin ve kaynak dolgu malzemesinin kaynak dikişindeki oranlarına göre, oluşan kaynak dikişinin mikro yapısı belirlenebilmektedir [39].

Benzer olmayan metallerin alın kaynaklarında, ana malzemelerin ve dolgu metalinin ergime özelliklerine, karışım etkisi kadar önem gösterilmelidir. Geniş kaynak ağızları ergiyen metalin kontrol edilmesini kolaylaştırır, ana malzemelerin kaynak dikişine karışımını azaltır ve iyi bir ergime için arkın kontrol edilmesini sağlar [41].

Benzer olmayan metallerin kaynaklarında beklenen kullanım ömründen çok daha kısa sürede problemler ortaya çıkması olağandışı değildir. Karbon çelikleri ile paslanmaz çelikler arasında gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde ortaya çıkan problemlerin çoğu, karbon çeliğinin kaynak ara yüzüne yakın olan ısıdan etkilenmiş bölgesinde oluşmaktadır. Bunun da en önemli sebebi olarak karbon çeliğinden paslanmaz çeliğe olan karbon göçü olarak bilinmektedir [41].

1.4. MIG-MAG Kaynak Yöntemi

Kaynak; benzer veya benzer olmayan iki veya daha fazla metal parçanın, ısı, basınç veya her ikisini bir arada kullanımıyla aynı türden ilave bir malzeme ile veya ilave malzemesiz birleştirme işlemidir.

Ark; kızdırılmış katottan yayılan elektronların, yüksek hızla anodu bombardıman etmesi neticesinde meydana gelir. Bu bombardıman sonunda moleküller iyonize olarak ani bir sıcaklık yükselmesi meydana getirir. Harcanan enerjinin yaklaşık % 85'i ısı ve % 15'i de ışık enerjisi olarak elde edilir [42].

Ark kaynak yöntemleri, örtülü elektrot ark kaynağı, gaz altı kaynağı (MIG-MAG kaynağı), özlü telle ark kaynağı, TIG kaynağı ve tozaltı kaynağı olarak sınıflandırılabilir.

Metal inert gaz kaynağı olarak da bilinen gaz metal ark kaynağı (GMAW) ilk defa 1948 yılında A.B.D' de "Linde Airproducts Company" tarafından bulunmuştur. Önce alüminyum ve alaşımlarının, sonrada sırasıyla yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımları ile karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmıştır [43].

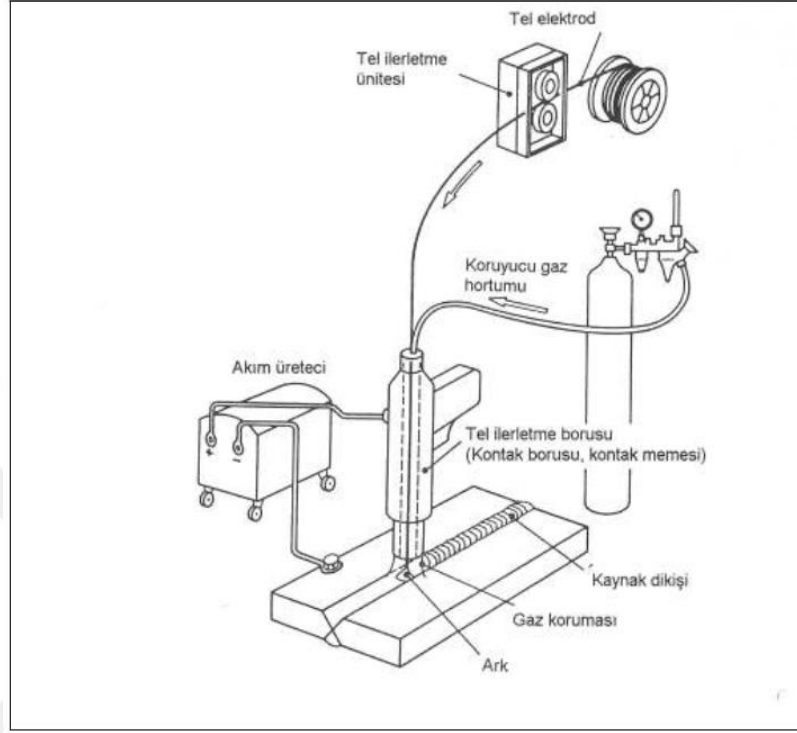
GMAW işlemi uygun metal ile sürekli beslenen tel elektrot kullanılarak elde edilecek ısı yardımı ile yapılır. Tel elektrot tüketilebilir ve ayrıca dolgu metali olur. Çıplak katı bir tel olan elektrot, kaynak alanında sürekli tutularak metal dolumu başlatılır. Elektrot, kaynak havuzu, ark ve ana metalin yakın alanları torçtan verilen karışım gazı veya diğer gazla atmosferin etkisinden korunur [43].

Bu gaz altı kaynak yöntemi, kullanılan koruyucu gazın yapısına bağlı olarak, asal gaz kullanılıyor ise MIG (Metal Inert Gas), aktif gaz kullanılıyor ise MAG (Metal Active Gas) şeklinde ifade edilir. İki ayrı isimle adlandırılmış olmalarına rağmen, bu kaynak işlemlerinde aynı ekipmanlar kullanılmaktadır. Sadece koruma gazının CO₂ olması durumunda, gazın tüpten çıkışına bir ısıtıcı eklenir [43].

Bilinen tüm eritme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş dikişler arasında gazaltı metal ark (MAG) kaynağı ile yapılan kısmı, % 70'lik bir bölümünü oluşturmaktadır ve gelişimini sürdürmektedir [44].

Şekil 8'de yöntemin prensip şeması verilmiştir. "Uçsuz" elektrot bir tel iletme mekanizması yardımıyla bir tel makarasından alınıp kontak borusuna gelir. Telin serbest bırakılan ucu kısadır; ince elektrot ile yüksek akım şiddetinde (>100 A/mm²) çalışmak mümkün olmaktadır. Kaynak arkı elektrot ile iş parçası arasında oluşturulabilmesi için kutuplar elektrot ve iş parçasına bağlanır. Elektrot hem arkı oluşturur hem de ergiyerek ilave

metal görevini yerine getirir. Bu sırada eriyen damlalar ve erimiş metal banyosu etrafından akması sağlanan koruyucu gaz sayesinde atmosferin etkisinden korunur [44].



Şekil 8. MAG kaynağının prensip şeması [43].

MAG kaynak tekniğinde kullanılacak elektrot kesiti akım yoğunluğunu ($100\text{--}300\text{ A/mm}^2$) belirleyen önemli bir parametre olup, ince çaplı elektrotlarda yüksek akım yoğunluklarının kullanılması; metal transfer formu, kaynak hızı ve nüfuziyet profilini olumlu yönde etkiler [45].

MAG kaynak tekniği çok ince levhalar dışında çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem her kalınlıkta demir esaslı ve demir dışı metallerin veya alaşımlarının kaynak işleminde kullanılmaktadır. MAG kaynak yönteminin uygulanması için kaynakçılarda ek yetenekler aranmaz, toprak kablosunu kaynatılacak malzemeye bağlayıp torcun ucundaki elektrotu iş parçasına yaklaştırıp ateşleyiciyi devreye sokması yeterlidir. Bu sistem, ark boyunu otomatik olarak kendisi uygun değerinde sabit tutmaktadır [46].

MAG kaynak yönteminde kullanılan kaynak donanımı dört temel gruptan meydana gelmiştir:

1. Kaynak torcu ve kablo grubu
2. Elektrot besleme ünitesi

3. Güç ünitesi
4. Koruyucu gaz ünitesi [43].

Torc ve kablo grubu üç görevi yerine getirir. Bunlar:

1. Koruyucu gazı ark bölgesine taşımak
2. Elektrotu temas tüpüne iletme
3. Güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletme [43].

Kaynak torcunun tetiğine basıldığı anda iş parçasına aynı anda gaz, güç ve elektrot iletilir ve kaynak arkı oluşturulur.

1.4.1. MIG-MAG Kaynak Yönteminin Avantajları

MIG-MAG kaynak yöntemlerinin aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tel şeklindeki kaynak elektrodu kaynak bölgesine sürekli beslendiği için kaynakçı örtülü elektrod ark kaynak yönteminde olduğu gibi tükenen elektrodu değiştirmek için kaynağı durdurmak zorunda değildir.
- Cüruf oluşmadığı için örtülü elektrodlardaki gibi her paso sonrası cüruf temizliği işlemi yoktur ve kaynak metalinde cüruf kalıntısı oluşma riski olmadığından, daha kaliteli kaynaklar elde edilir.
- Örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düşük çaplı elektrodlar kullanıldığından, aynı akım aralığında yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek metal yığılma hızına sahiptir.
- Elde edilen kaynak metali düşük hidrojen miktarına sahiptir, bu özellikle sertleşme özelliğine sahip çeliklerde büyük önem arz etmektedir.
- Derin nüfuziyet sağlanabildiği için bazen küçük köşe kaynakları yapmaya izin verir ve örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düzgün bir kök penetrasyonu sağlar.
- Yarı ve tam otomatik kaynak sistemlerinde kullanıma çok uygundur [47].

1.4.2. MIG-MAG Kaynak Yönteminin Dezavantajları

MIG-MAG kaynak yöntemlerinin aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kaynak ekipmanları, örtülü elektrod ark kaynağı ekipmanlarına göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zordur.
- Gaz korumasını kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir. Bu nedenle, açık alanlarda kaynak yapmaya uygun değildir.

- Gazaltı kaynak torcu iş parçasına yakın olması gerektiği için ulaşılması zor alanlarda kaynak yapmak kolay değildir.
- Sertleşme özelliği olan çeliklerde gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmeleri çatlama daha eğilimlidir çünkü örtülü elektrot ark kaynağında olduğu gibi kaynak metalinin soğuma hızını düşüren bir cüruf tabakası yoktur [47].

1.4.3. MIG-MAG Kaynak Yönteminde Elektrod Seçimi

Bu yöntemde kullanılan tüm elektrotlar tel halindedir ve bir kangala sarılmış olarak makineye takılır. Kangal büyüklükleri ve tel çapları standartlarla saptanmıştır [44].

Son yıllarda, kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek için çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere özlü veya kenetli elektrot diye isimlendirilen bir tür geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak çelikten ince bir şeridin, ferroaliyaj ve dekapanlar ile beraberce kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilmişlerdir. Bu tel elektrotlar kaynak kabiliyeti kötü olan malzemelerin kaynak edilebilirliğini sağlamaktadırlar. Bu amaçla oldukça geniş bir kimyasal bileşim aralığına sahip olarak üretilmektedirler [48].

MIG-MAG kaynak yönteminin başarısı kullanılacak olan tel elektrotun seçimine bağlıdır. MIG-MAG kaynak yönteminde bileşimin mekanik ve fiziksel özellikleri kullanılacak tel ve koruyucu gaz çiftine bağlı olarak ortaya çıkar. Bu açıdan, elektrot seçimi önem kazanmıştır.

Elektrod seçimini etkileyen en önemli faktör kaynağı yapılacak ana metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimidir. Aşağıda elektrod seçimi için gerekli kriterler sıralanmıştır:

1. Esas metalin mekanik özellikleri: Elektrod seçimi, esas metalin çekme ve akma mukavemeti ile kırılma tokluğu göz önüne alınarak yapılır [44].
2. Esas metalin kimyasal bileşimi: Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi, korozyon direncinin, elektriksel ve ısı iletkenliğinin söz konusu olduğu hallerde gereklidir. Bunun yanı sıra çeliklerde, ısının tesiri altında kalan bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağından önceden belirlenmesi bakımından da esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir. Genel olarak sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde elektrot seçiminde, esas metalin kimyasal bileşimi en önemli faktördür [44].
3. Koruyucu gazın faktörü: Koruyucu gaz olarak bir aktif gaz, örneğin karbondioksit veya asal gaz + aktif gaz karışımı kullanılması halinde birtakım yanma kayıpları ile

karşılaşılır. Aktif gaz kullanılarak çeliklerin kaynatılması halinde az bir miktar demir oksijen tarafından oksitlenir. Ortaya çıkan demir oksit de mangan ve silisyum tarafından azaltılır. Buradaki silisyum ve mangan kaybı elektrot tarafından karşılanmak zorundadır. Bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için geliştirilmiş bir elektrot MAG yönteminde kullanılamaz [44].

4. Esas metalin kalınlığı ve geometrisi: Kaynakla birleştirilecek olan parçaların, kalın kesitli olması veya karmaşık şekilli olmaları halinde, çatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gereklidir. Bu durumda sünekliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde elektrot seçilmelidir. Kaynaklı yapının aşırı düşük veya yüksek sıcaklıklarda, korozif ortamlarda çalışmasının gerekli olduğu hallerde, kaynak metalinin her bakımdan esas metalin özelliklerini aksettirmesi gereklidir [44].

1.4.4. MIG-MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Seçimi

Kaynak parametreleri kaynak işlemi ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli unsurlardır. Kaynak parametreleri, kaynaklanan metal veya alaşım ile kaynak metalinin türü ve kaynak ağız geometrisi göz önünde bulundurularak saptanır. Uygun parametrelerin seçimi gereken özellikte kaynaklı bağlantı elde edebilme olasılığını da artırır.

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, birinci derecede ayarlanabilir ve ikinci derecede ayarlanabilir parametreler olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir.

Birinci gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce saptanan, kaynak koruyucu gaz türü, elektrot türü ve elektrot çapı gibi parametrelerdir. Bunların kaynak işlemi esnasında değiştirilmesine olanak yoktur. Bu parametreler, kaynaklanan malzemenin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu, erime gücü ve bağlantıdan beklenen mekanik özellikler göz önüne alınarak belirlenir.

Birinci derecede ayarlanabilir parametreler, ilk gruba giren parametreler seçildikten sonra, kaynak dikişini kontrol altında tutan, dikişin biçimini, boyutlarını, ark stabilitesini ve kaynaklı bağlantının emniyetini etkileyen değişkenlerdir. MIG-MAG kaynağında bu parametreler akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızıdır. Bu parametreler kolaylıkla ölçülebildiği gibi, kaynak esnasında da gereken hallerde yeniden ayarlanabilen ve tüm dikişi en sıkı ve etkin bir biçimde kontrol altında tutan etmenlerdir.

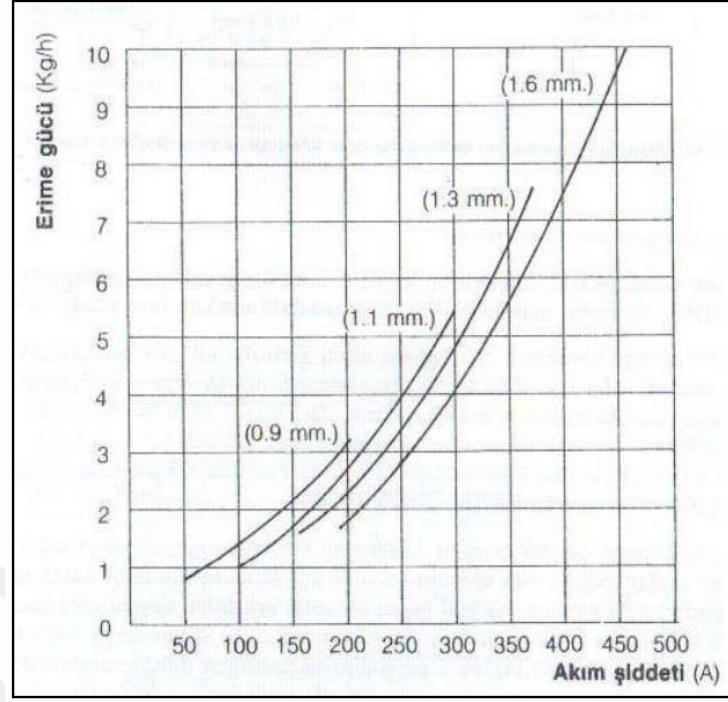
İkincil dereceden ayarlanabilir parametreler ise kaynak işlemi süresince sürekli olarak değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça şiddetli bir şekilde etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin önceden seçilip değerlendirilmeleri oldukça zordur ve bazı hallerde etkileri de açık bir şekilde görülmez. MIG-MAG kaynağında bunlar torç açısı ve elektrot serbest uç uzunluğu olarak sıralanabilir [48].

1.4.4.1. Birincil Dereceden Ayarlanabilen Kaynak Parametreleri

1.4.4.1.1. Kaynak Akım Şiddeti

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin ergime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha şiddetlidir. Sabit gerilim sistemli olan MIG-MAG kaynak makinelerinde, kaynak akım şiddeti tel hızı ile beraberce, tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır, tel ilerletme hızı arttıkça, kaynak akım şiddeti de artar.

Şekil 9'da yer alan diyagramdan da görüleceği üzere kaynak akım şiddeti yükseldikçe ergime gücü de artar. Diyagramdaki eğrilerin alt kısmının eğimleri azdır, yukarı doğru ise dikleşmektedirler, bu artan akım şiddeti ile erime gücü arasındaki bağıntının doğrusal olmadığı, yüksek akım yoğunluklarında erime gücünün daha şiddetli arttığını ortaya koymaktadır. Bunun sebebi serbest tel ucunda, telin yüksek akım şiddetlerinde ortaya çıkan şiddetli bir elektrik direnç ısıtmasına bağlanmaktadır. Bütün diğer kaynak parametreleri sabit tutulduğu zaman artan akım şiddeti ile kaynak dikişinin eninin yüksekliğinin, nüfuziyetinin ve boyutlarının artan akım şiddeti ile arttığı görülür [43].



Şekil 9. Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve elektrot çapı arasındaki ilişki [48].

Aşırı yüksek akım şiddeti çok geniş bir kaynak banyosu ve derin nüfuziyete neden olduğundan delinmelerin ortaya çıkmasına neden olabilir; çok düşük akım şiddeti de çok kötü bir nüfuziyete ve elektrot metalinin parçanın üzerine yığılmasına neden olur [48].

1.4.4.1.2. Kaynak Gerilimi (Ark Boyu)

Sabit gerilim özellikli bir kaynak akım üreticinde kaynak gerilimi, elektrot ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir.

Sabit gerilim özellikli kaynak akım üreticilerinde ark gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanır. Bu tür akım üreticilerinde, her ark gerilimi değeri için makina tarafından sabit olarak tutulan bir ark boyu vardır [43].

Her uygulama için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrot çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve ana metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak belirlenir. Her koşulda aynı kaynak dikişini veren sabit bir ark boyu mevcut değildir. Örneğin, ark boyu, aynı gerilim için helyum ve karbondioksit kullanılması halinde, argonun koruyucu gaz olarak kullanılması haline nazaran çok daha uzundur. Bütün diğer parametreler sabit

tutulmak koşulu ile ark geriliminin artması halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır [43].

Nüfuziyet ise artan kaynak gerilimi ile uygun bir değere kadar artar ve bu değerden sonra azalmaya başlar. Yüksek kaynak gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısı ile bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve aşırı konveks kaynak dikişlerinin oluşmasına, aşırı derecede küçük ark gerilimi ise gözenekliliğe neden olur [48].

1.4.4.1.3. Kaynak Hızı

Kaynak hızı yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanır.

Kaynak hızı, birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanır. En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim zamanda birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da kaynak banyosunun büyümesine neden olur, çok akışkan hale gelen sıvı metal ağız içinde arkın önüne doğru akar ve bu da nüfuziyetin azalmasına neden olur ve sonuçta geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Kaynak hızının artması, dikiş yüksekliğinin artmasına neden olur. Hızın artması birim boya verilen ısının azalmasına ve dolayısı ile de ana metalin ergiyen miktarlarının azalmasına neden olur ve bu da nüfuziyeti azaltır. Kaynak hızının aşırı artması, kaynak metalinin kaynak ağzını doldurmaması nedeni ile dikiş kenarlarında yanma oluklarını andıran yarıkların oluşmasına neden olur [48].

1.5. Çalışmanın Amacı

Farklı malzemelerin bir arada kullanım ihtiyacı günümüzde gelişen teknolojik ihtiyaçlara paralel olarak önem kazanmaktadır. Çünkü aynı yapı içerisinde malzemelerin kendilerine ait özellikleri, buldukları yere efektif bir şekilde hizmet etmelidir. Bu amaçla en sık kullanılan ve aynı zamanda en avantajlı yöntem kaynaklı birleştirmelerdir.

Günümüzde dubleks paslanmaz çelikler ile genel yapı çeliklerinin bazı uygulamalarda kaynaklı birleştirilmeleri gerekebilmektedir. Özellikle genel yapı çeliklerinden yapılan çelik yapıların yüksek korozyon dayanımına ihtiyaç duyulan yerlerde ince dubleks paslanmaz

çelik levhalar ile kaplanması sıkça başvurulan bir uygulamadır. Bu uygulamada da sızdırmazlığın sağlanması amacıyla en uygun birleştirme yöntemi kaynaklı birleştirmedir.

Bu çalışmanın amacı, Şekil 10'da görülen, madenlerinde kullanılan yüksek korozif özelliğe sahip sulu çözelti içeren tikiner tanklarında, dubleks paslanmaz çelikten (2205) imalatı yapılan tank ile genel yapı çeliğinden imalatı yapılan (S355J2) tank altı çelik yapının birleştirilmesinde benzer olmayan iki metalin kaynak ile birleştirilme ihtiyacının ortaya çıkması sonucunda, birbirlerine kaynak edilebilirliklerinin incelenmesi ve bu iki metalin birleştirilmesinde en uygun birincil kaynak parametrelerinin belirlenmesidir.



Şekil 10. 35m çapında tikiner tank. Tank 2205 dubleks paslanmaz çelik, tank altı çelik yapı S355J2 genel yapı çeliği [49].

1.6. Literatür Araştırması

Farklı iki malzemenin kaynak ile birleştirilmesi ve bunun için en uygun kaynak metalinin seçilmesi, benzer metallere göre nispeten zor bir iştir. Ana malzemenin ve kaynak metalinin özelliklerinin bilinmesi doğru analizler yapabilmek için çok önemlidir. Farklı iki metalden elde edilen kaynak dikişi, sadece kaynak dolgu malzemesini değil aynı zamanda iki ana malzemenin de önemli miktarda alaşım elementi bulundurur. Bu bölümde dubleks paslanmaz çeliklerle az alaşımlı karbon çeliklerinin kaynak edilebilirliği ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiler sunulmuştur.

Odegard, L. ve arkadaşları, 2507 dubleks paslanmaz çeliği ile az alaşımlı karbon çeliğinin kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Kaynak bölgesinde neredeyse tüm mekanik

özelliklerin etkilendiğini, yapısal bütünlüğün sağlanması ve katılma çatlaklarının oluşmaması için ısı girdisinin düşük tutulması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca ana malzeme karbon çeliğinin kaynak dikişine karışarak bu bölgeyi yüksek oranda ferritik yapıya dönüştürdüğünü belirtmiştir [50].

Barnhouse, E.J. ve arkadaşları, yapmış olduğu çalışmada, ER2209 dubleks kaynak dolgu metali ve 625 nikel bazlı kaynak dolgu metali kullanılarak 2205 dubleks paslanmaz çelik ile az alaşımlı A36 karbon çeliğinin kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Her iki yöntem ile de başarılı bir şekilde birleştirme yapılabildiğini belirtmiştir. Isı girdisinin mikro yapı ve tokluk üzerinde çok fazla bir etkiye sahip olmadığını fakat korozyon davranışında yüksek ısı girdisinin daha yararlı olduğunu belirtmiştir. Bu yüzden korozyon dayanımının gerekli olduğu yerlerde ısı girdisinin olabildiğince yüksek tutulması gerektiğini belirtmiştir. ER2209 kaynak dolgu malzemesinin düşük sıcaklıklarda tokluk değerlerinin 625 nikel bazlı kaynak dolgu metaline göre daha iyi olduğunu gözlemlemiştir. 1,57 kJ/mm ve 2,6 kJ/mm ısı girdisi ile yapılan kaynak işlemleri sonrası yapılan sertlik deneyi ve ferrit içeriğinde sonuçların benzer olduğunu gözlemlemiştir [51].

Wang, S. ve arkadaşları, yapmış olduğu çalışmada 2205 dubleks paslanmaz çeliği ile 16MnR az alaşımlı yüksek dayanımlı çeliğin kaynak dikişinin mekanik özelliklerini ve korozyon dayanımını incelemiştir. Bu çalışmada ER 2209 dubleks dolgu metalini kullanmış ve elde ettiği sonuçlar doğrultusunda bu dolgu metalinin pratik uygulamalarda uygun bir seçenek olduğunu belirtmiştir. Yapmış olduğu çalışmada GTAW yöntemi ve SMAW ile yapılan kaynak işlemlerini kıyaslamıştır. Her iki yöntemin de mekanik özelliklerinin benzer olduğunu fakat GTAW yöntemine ait korozyon dayanımının, SMAW yönteminde oluşan klorürden dolayı daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemiştir. Kaynak dikişinin tokluk değerinin 16MnR ana metaline benzer, fakat ısıdan etkilenen bölgenin tokluk değerinin çok daha düşük olduğunu gözlemlemiştir [11].

Srinivasan P. ve arkadaşları, ER 2209 ve E309 elektrot kullanarak dubleks paslanmaz çelik ile az alaşımlı karbon çeliğinin kaynak edilebilirliğini incelemişlerdir. Her iki yöntemle yapılan kaynak işleminin de dayanımlarının kabul edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. ER 2209 dubleks paslanmaz dolgu metali ile yapılan kaynak işleminde elde edilen kaynak dikişinin dubleks paslanmaz çeliklerin mikro yapısına benzer özellikte olduğunu, E309 östenitik paslanmaz dolgu metali ile yapılan kaynak işleminde elde edilen mikro yapının ise östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapısına benzer özellikte olduğunu belirtmişlerdir. E309 elektrodu ile yapılan kaynağın korozyon dayanımının ER2209 ile

yapılan kaynağa nazaran daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [52].

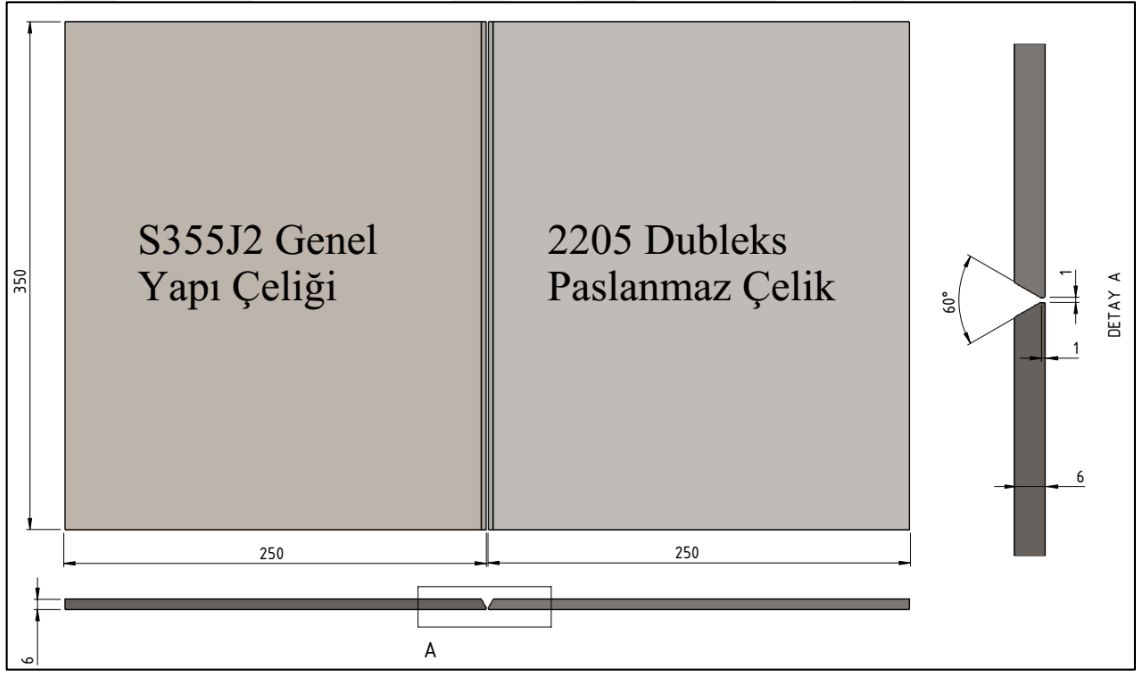
McPherson N. A. ve arkadaşları 2205 dubleks paslanmaz çeliği ile A derece karbon eliğinin ER2209 dubleks kaynak dolgu metali ile toz altı kaynak yönteminde kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda 2205 dubleks paslanmaz elik ile karbon çeliklerinin direkt olarak toz altı kaynak yöntemiyle birleştirilmesinin aşırı sert ve düşük sünekliğe sahip kaynak dikişi olduğundan kabul edilemeyecek bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kaynak işlemi esnasında ana malzemelerin kaynak dikişine olan dâhiliyelerini minimize etmek gerektiğini ve bunun için de en uygun kaynak ağzının V kaynak ağzı olduğunu belirtmişlerdir [53].



2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, 2205 dubleks paslanmaz çelik ile S355J2 genel yapı çeliğinin kaynak edilebilirliğinin incelenmesi amacıyla 6 x 250 x 350mm 2205 dubleks paslanmaz çelik malzeme ve 6 x 250 x 350mm S355J2 genel yapı çeliği şekil 11. 'de gösterildiği gibi açılan bir V kaynak ağzı ile birleştirilmeye çalışılmıştır. Kaynak dolgu metali olarak 1,2mm ER2209 dubleks paslanmaz tel kullanılmıştır.



Şekil 11. Kaynaklı parçanın ebatları ve hazırlanan kaynak ağzının şematik gösterimi

Deneyde kullanılan 2205 dubleks paslanmaz çeliği Outokumpu şirketinden tedarik edilmiştir ve kimyasal bileşimi Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Deneyde kullanılan 2205 dubleks paslanmaz çeliğine ait kimyasal bileşim

Malzeme	Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	Co	N
2205	0,023	0,37	1,44	0,027	0,030	22,40	5,20	3,04	0,011	0,26	0,15	0,18

Deneyde kullanılan S355J2 malzemesi ArcelorMittal RZK Çelik Servis Merkezi San. ve Tic. A.Ş. şirketinden tedarik edilmiştir ve kimyasal bileşimi Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Deneyde kullanılan S355J2 genel yapı çeliğine ait kimyasal bileşim

Malzeme	Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	Al	Ti
S355J2	0,18	0,02	1,43	0,022	0,006	0,026	0,015	0,00	0,002	0,020	0,03	0,002

Deneyde kullanılan 1,2mm ER 2209 dubleks paslanmaz kaynak dolgu metali Lincoln firmasından tedarik edilmiştir ve kimyasal bileşimi Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Deneyde kullanılan ER 2209 dubleks paslanmaz kaynak dolgu metaline ait kimyasal bileşim

Malzeme	Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	V	Ti
2209	0,016	0,48	1,43	0,016	0,005	23,35	8,57	3,42	0,012	0,11	0,04	0,01

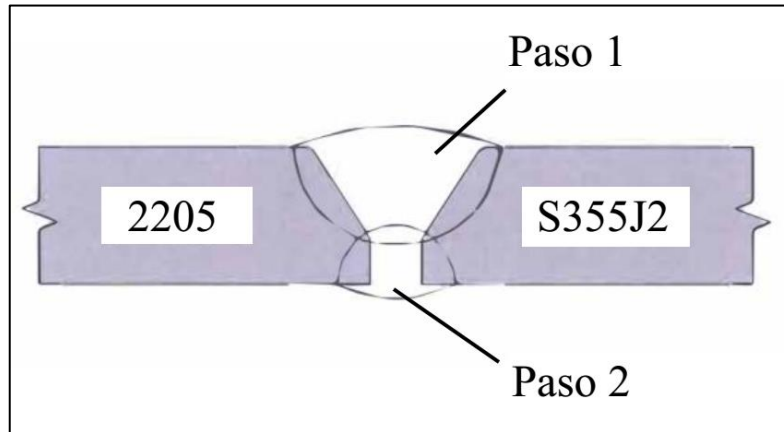
2.2. Deneyde Kullanılan Kaynak Yöntemi ve Parametreleri

Kaynak işlemi, Şekil 12’de gösterilen Lincoln Speedtec 405-SP marka sinerjik gazaltı kaynak makinesi kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Koruyucu gaz olarak %97,5 Ar ve %2,5 CO₂ içeren M12 gazı kullanılmıştır.



Şekil 12. Deneyde kullanılan sinerjik gazaltı kaynak makinesi

Kaynak işlemi Tablo 9’da görüldüğü üzere dört farklı kaynak parametresi kullanılarak yapılmıştır. Kaynak hızı ve kaynak gerilimi sabit tutularak, dört farklı kaynak akım şiddetinde kaynak işlemi gerçekleştirilerek, akım şiddetindeki (ve buna bağlı olarak tel sürme hızındaki) değişimin mekanik özellikler ve nüfuziyet üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyde Şekil 13’de gösterildiği gibi ön (paso 1) ve arkadan (paso 2) olmak üzere iki pasoda kaynak işlemi gerçekleştirilmiş ve arkadan yapılan kaynağın değerleri tüm numunelerde sabit tutulmuştur.



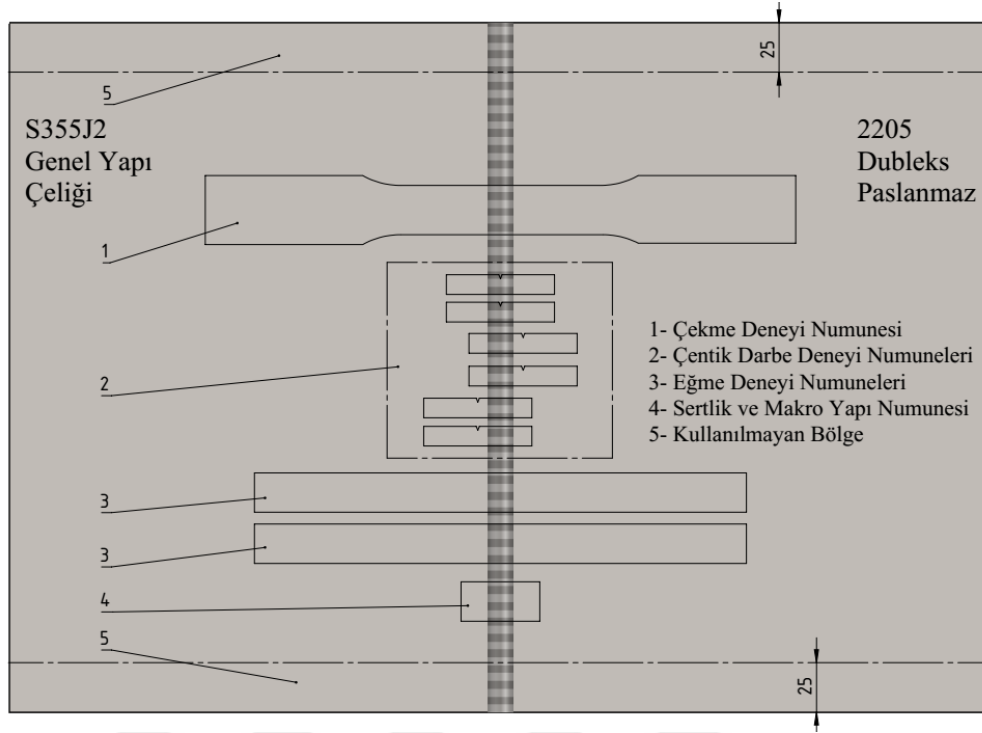
Şekil 13. Yapılan kaynak işleminin şematik gösterimi

Tablo 9. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri

	Paso	Yöntem	Dolgu Teli		Akım (A)	Voltaj (V)	Akım Tipi	Tel Sürme Hızı (m/min)	Kaynak Hızı (mm/sn)	Isı girdisi (kJ/mm)
			Çap (mm)	Sınıf						
Num. 1	1	135	1,2	ER 2209	220-230	25	DC (+)	8,5	4	1,1-1,15
	2	135	1,2	ER 2209	160-170	25	DC (+)	5,5	6	0,53-0,56
Num. 2	1	135	1,2	ER 2209	200-210	25	DC (+)	7,5	4	1-1,05
	2	135	1,2	ER 2209	160-170	25	DC (+)	5,5	6	0,53-0,56
Num. 3	1	135	1,2	ER 2209	180-190	25	DC (+)	6,5	4	0,9-0,95
	2	135	1,2	ER 2209	160-170	25	DC (+)	5,5	6	0,53-0,56
Num. 4	1	135	1,2	ER 2209	160-170	25	DC (+)	5,5	4	0,8-0,85
	2	135	1,2	ER 2209	160-170	25	DC (+)	5,5	6	0,53-0,56

2.3. Mekanik Deneyler

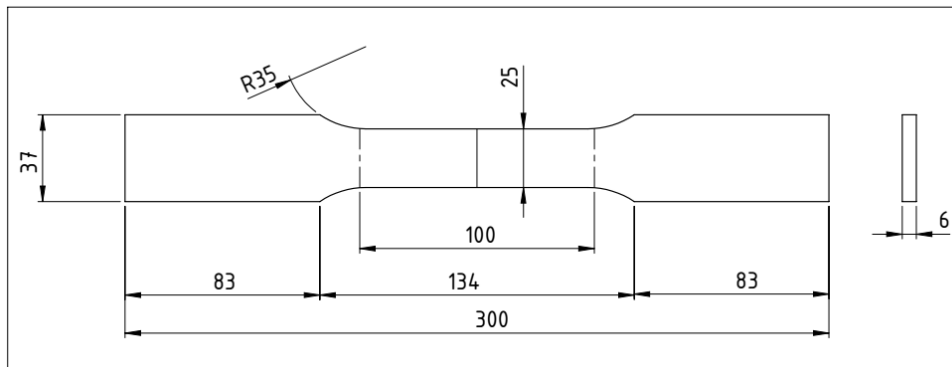
Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra, TS EN ISO 15614-1 standardında belirtilen çekme, eğme, çentik darbe, sertlik deneyleri için numuneler kaynaklı malzemenin Şekil 14.'de gösterilen kısımlarından alınmıştır. Alınan çekme deneyi numuneleri TS EN ISO 4136'e göre, eğme deneyi numuneleri TS EN ISO 5173'e göre, çentik darbe numuneleri TS EN ISO 148-1'e göre, sertlik numuneleri TS EN ISO 9015-1'e göre hazırlanmıştır.



Şekil 14. Alınan test numunelerinin kaynaklı parça üzerindeki lokasyonları

2.3.1. Çekme Deneyi

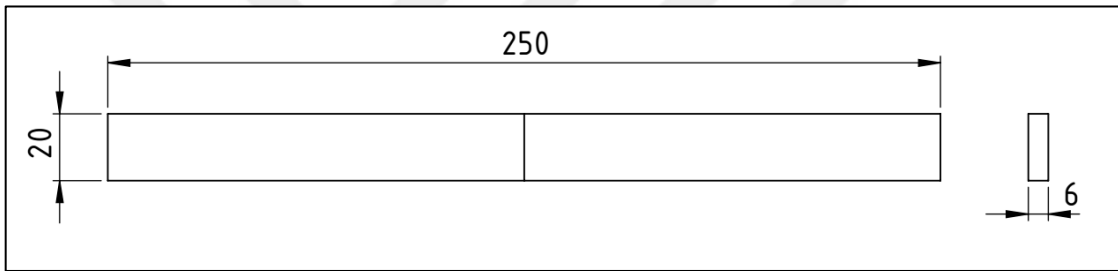
Çekme deneyinin yapılmasındaki amaç kaynaklı malzemenin akma sınırı, çekme dayanımı ve kopma uzaması gibi değerlerin saptanması ve ana metallere ait değer ile kıyaslanmasıdır. Şekil 15’de TS EN ISO 4136 standardı doğrultusunda hazırlanan çekme çubuğunun ölçüleri verilmiştir. Her bir numune için çekme testi yapılarak kaynak akımı değerinin çekme deneyi üzerine olan etkisinin tespiti amaçlanmıştır.



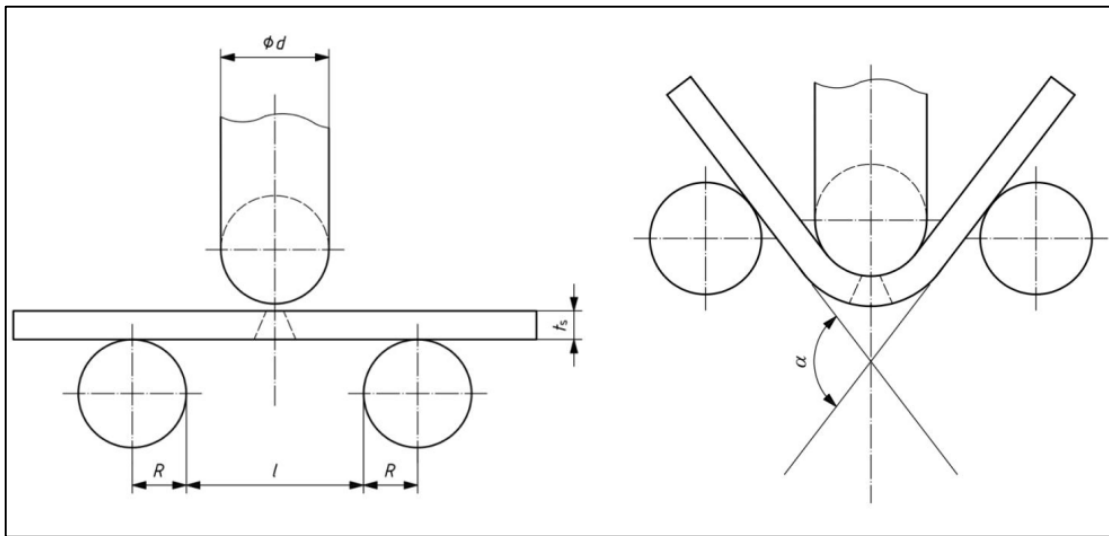
Şekil 15. Çekme deneyinde kullanılan numune ölçüleri

2.3.2. Eğme Deneyi

Eğme deneyinin yapılmasındaki amaç kaynak dikişinin, ana malzemelere oranla sünekliklerini ve kullanım yerlerinde oluşacak şekil verme durumundaki davranışlarını belirlemektir. Eğme deneyi için dört farklı kaynaklı parçadan, birisi yüzey bükümü ve diğeri kök bükümü olmak üzere ikişer numune test edilmiş ve elde edilen sonuçların birbirlerini doğrulamama durumu için ek numune hazırlanmıştır. Şekil 16’da TS EN ISO 5173’e göre hazırlanan numuneler Şekil 17’de gösterilen şekilde bükülmüştür. Bükme açısı standart uyarınca 180° , mesnetler arası mesafe 40mm ve mandrel çapı 20mm’dir. Eğme deneyi esnasında standart uyarınca herhangi bir doğrultuda 3mm’ den büyük bir hata (çatlak, yırtılma, kırılma vs.) oluşmamalıdır.



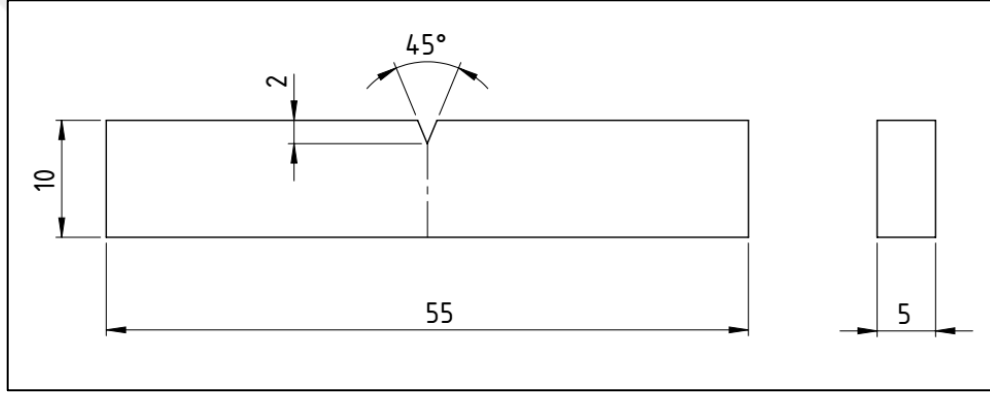
Şekil 16. Eğme deneyinde kullanılan numune ölçüleri



Şekil 17. Eğme deneyinin şematik gösterimi

2.3.3. Çentik Darbe Deneyi

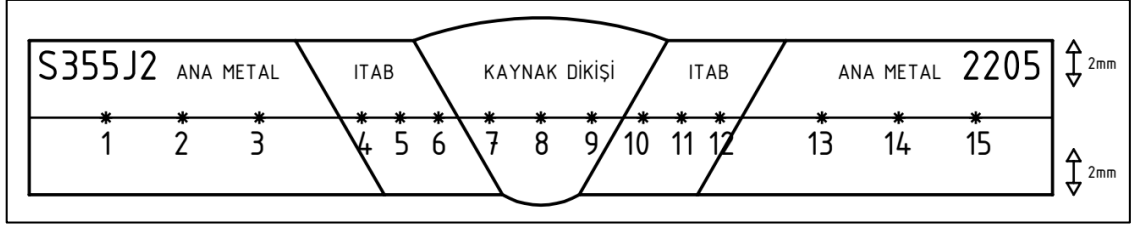
Çentik darbe deneyinin yapılmasındaki amaç, kaynaklı malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını ve aşırı kullanım sıcaklığındaki (-20 °C) kırılmaları için gerekli enerjiyi (kırılma enerjisi) tespit etmektir. Bu çalışmada her bir kaynaklı malzemedan altı adet çentik darbe numunesi (2 adet 2205 IEB, 2 adet S355J2 IEB ve 2 adet kaynak dikişi) TS EN ISO 9016'da belirtildiği şekilde alınmış ve Şekil 18'de gösterildiği ölçülerde TS EN ISO 148-1'e göre hazırlanmıştır. Test sıcaklığı -20 °C olarak belirlenmiştir. Hazırlanan çentikli numuneler üzerindeki çentik yönleri, kullanım koşulları dikkate alınarak iş parçası yüzeyine paralel doğrultuda açılmıştır.



Şekil 18. Çentik darbe deneyinde kullanılan numune ölçüleri

2.3.4. Mikro Sertlik Deneyi

Kaynak edilmiş olan örneklerde, oluşan birleşme bölgesindeki sertliklerin değişimini belirleyebilmek için gerekli sertlik ölçümleri, Vickers sertlik ölçüm metodu kullanılarak yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı bölgelerin yapısal olarak tanımlanabilmesi için kaynak bölgelerinin mikro ve makro yapısal görüntülerinin elde edileceği dağlanmış yüzeylerden alınmıştır. Ölçümler 2 kg (F= 19,74 N) yük altında TS EN ISO 9015-1' de belirtildiği üzere Şekil 19'daki gibi ana metaller, ısıdan etkilenmiş bölgeler ve ergiış kaynak metali bölgesinden alınmıştır.



Şekil 19. Sertlik ölçümlerinin alındığı bölgelerin şematik gösterimi

2.4. Makro ve Mikro Yapı İncelemeleri

2.4.1. Makro Yapı İncelemeleri

Makro yapı incelemeleri, çıplak gözle veya düşük büyütmelemlerle (x50'den daha az) yapılan incelemelerdir. Makro yapı incelemeleri genellikle kaynak geometrisi, nüfuziyet noksanlıkları ve çatlaklar gibi unsurların belirlenmesinde kullanılır. Bu çalışmada makro yapı incelemesi için numuneler kesilip taşlandıktan sonra sırasıyla 120-180-240-320-400-600-800-1000 ve 1200 meshlik SiC zımparalarla hazırlanmıştır. Parlatma işlemi için Al_2O_3 kullanılmıştır. Daha sonra %5 nital (%5 nitrik asit + %95 metil alkol) ile dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlanan numunelerin yüzeyleri metil alkol ile temizlenerek kurutulmuştur.

2.4.2. Mikro Yapı İncelemeleri

Mikro yapı incelemeleri, çıplak gözle görülemeyecek ve yüksek büyütmelemlerle (x50 ve üzeri) yapılan incelemelerdir. Bu çalışmada ana metallerin, ısıdan etkilenen bölgelerinin, kaynak ara yüzeylerinin ve kaynak dikişinin mikro yapılarını incelemek amaçlanmıştır. Makro yapı görüntülerinin alındığı yüzeyler tekrardan 600-800-1000-1200-1500 ve 2000 meshlik SiC zımparalar ile zımparalandıktan sonra Al_2O_3 ile parlatılmıştır. Daha sonra %5 nital'e ek olarak %33 saf su + %63 HCl + %4 H_2O_2 dağlama çözeltisi ile dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin yüzeyleri su ve alkol ile temizlenerek kurutulmuştur.

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Ana Malzemelerin Spektral Analiz Sonuçları

Deneyde kullanılan ana malzemelerin kimyasal bileşimi spektrometrede analiz edilerek bulunan sonuçlar ortalama değer olarak Tablo 10'da verilmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonuçları tedarikçi firma ve standartlar ile değerlendirildiklerinde belirlenen analiz değerlerinin standartlara uygun oldukları tespit edilmiştir.

Tablo 10. Deneyde kullanılan ana malzemelerin spectral analiz değerleri.

Malzeme	Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
2205	0,024	0,38	1,31	0,028	0,003	22,46	5,02	2,96	0,017	0,227
S355J2	0,19	0,03	1,44	0,023	0,006	0,027	0,02	0,00	0,030	0,021

3.2. Penetrant Muayene Testi

Kaynak edilerek birleştirilmiş olan parçalara kaynak esnasında oluşabilecek yüzeysel çatlakları tespit edebilmek için çatlak hassasiyeti 0,2 mm olan penetrant muayene testi uygulanmıştır. Penetrant muayene testi kaynak edilmiş olan parçaların ön ve arka yüzeylerine ayrı ayrı uygulanmıştır. Gerçekleştirilen muayene işlemi sonucunda, kaynaklı parçaların tümünün ön ve arka yüzeylerinde herhangi bir çatlak belirtisi tespit edilememiştir.

3.3. Çekme Deneyi Sonuçları

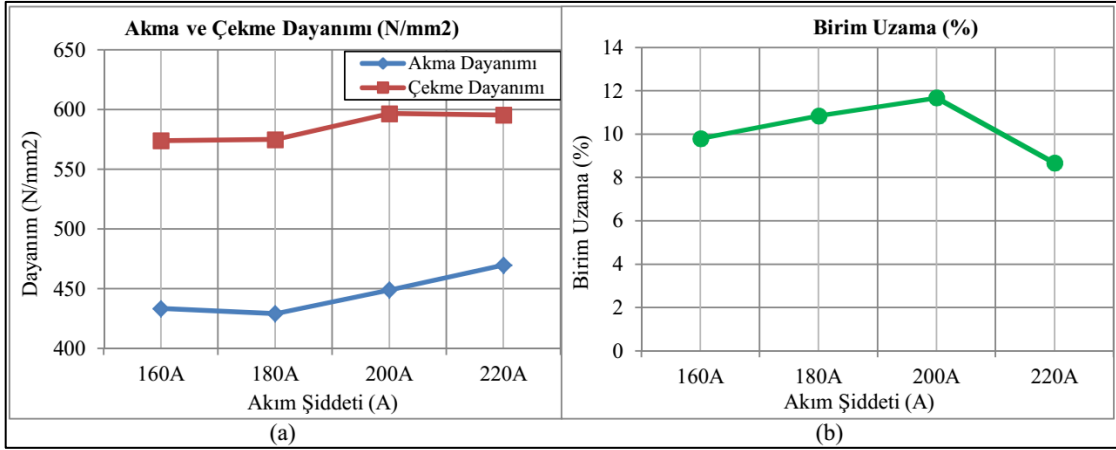
Çalışmada kullanılan ana malzemeler ve bu malzemelerin kaynakla birleştirilmelerinden elde edilen parçalardan, ilgili standarda uygun olarak hazırlanan numuneler ile gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonuçları toplu olarak Tablo 11'de verilmiştir. Her bir malzeme için belirlenen mekanik özelliklerin ilgili standartlara uygun oldukları görülmüştür. Ayrıca tablodan görüleceği üzere birleştirilen ana malzemelerin mukavemet değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında, 2205 dubleks paslanmaz çeliğin akma sınırının, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin S355J2 genel yapı çeliğinin değerlerine oranla, sırasıyla % 32, % 42 ve % 23 oranlarında daha yüksek olduğu

görülmektedir. Kaynaklı numuneler mekanik özellikleri açısından ana malzemeler ile karşılaştırıldıklarında, elde edilen birleştirilmiş numunelerin tümünün 2205 dubleks paslanmaz çeliğe oranla daha düşük değerlerde kaldıkları, S355J2 genel yapı çeliğine oranla ise yaklaşık olarak eşit oldukları belirlenmiştir. Birleştirme işleminde kullanılan akım değerinin artışı birleşme bölgesinde akma sınırı değerinin yaklaşık % 8 oranında bir yükselme görülmesine, çekme dayanımı değerinin ise sabit kabul edilebilecek yaklaşık % 3 oranında artış göstermesine yol açmıştır. Kaynaklı numunelerin tümünde kopma uzaması değerlerinin ana malzemelere oranla yaklaşık olarak yarı değerlerine düşmüş oldukları görülmektedir. Bu durum birleşme bölgesinin ana malzemelere oranla daha gevrek bir davranışa sahip olduğunu göstermektedir. Kaynak edilmiş numuneler uzama değerleri açısından değerlendirildiklerinde, kaynak akımı değerlerinde ki değişimin anlamlı bir fark oluşturmadığı görülmüştür. Çekme testi uygulanmış numunelerin Şekil 25'te verilen görüntüleri incelendiğinde, numunelerde ortaya çıkan kopmaların tümüyle daha düşük mukavemete sahip olan S355J2 genel yapı çeliğinin ısıdan etkilenmiş bölgesinde oluştuğu tespit edilmiştir.

Tablo 11. Ana metaller ve kaynak işlemi yapılan numunelere ait çekme deneylerinin ortalama sonuçlar

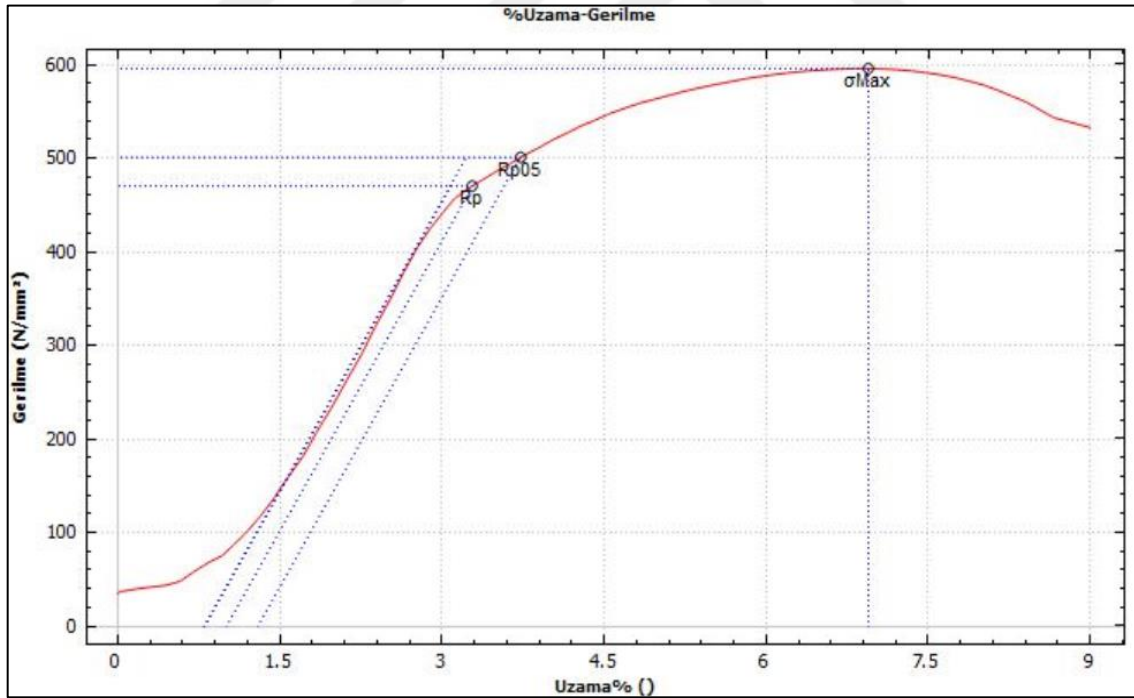
	a (mm)	b (mm)	A ₀ (mm ²)	F _{max} (kN)	Akma Day. (N/mm ²)	Çekme Day. (N/mm ²)	Uzama (%)
2205 Ana Metal	6,09	24,6	149,81	121,88	576 ± 5	813 ± 5	26,1 ± 0,5
S355J2 Ana Metal	6,07	24,7	149,99	85,57	435 ± 5	570 ± 5	21,2 ± 0,5
Numune 1	6,02	24,6	148,39	88,37	469 ± 5	595 ± 5	8,7 ± 0,5
Numune 2	6,03	24,8	149,60	89,28	449 ± 5	596 ± 5	11,8 ± 0,5
Numune 3	6,03	24,6	148,82	85,57	429 ± 5	575 ± 5	10,8 ± 0,5
Numune 4	6,09	24,8	151,09	86,74	433 ± 5	574 ± 5	9,8 ± 0,5

Çekme dayanımı, akma dayanımı ve kopma uzamasındaki değerlerin akım şiddetine bağlı değişimi Şekil 20'de verilmiştir.

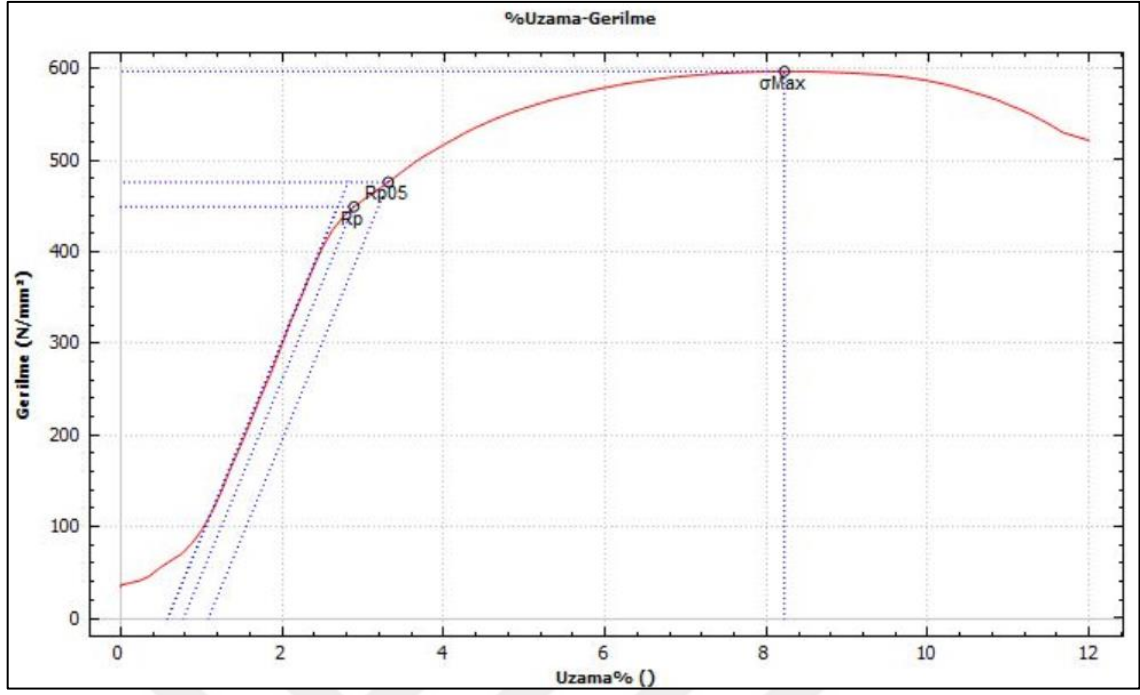


Şekil 20. Kaynak akım şiddetine göre a) Çekme ve akma dayanımının, b) Kopma uzamasının değişimi.

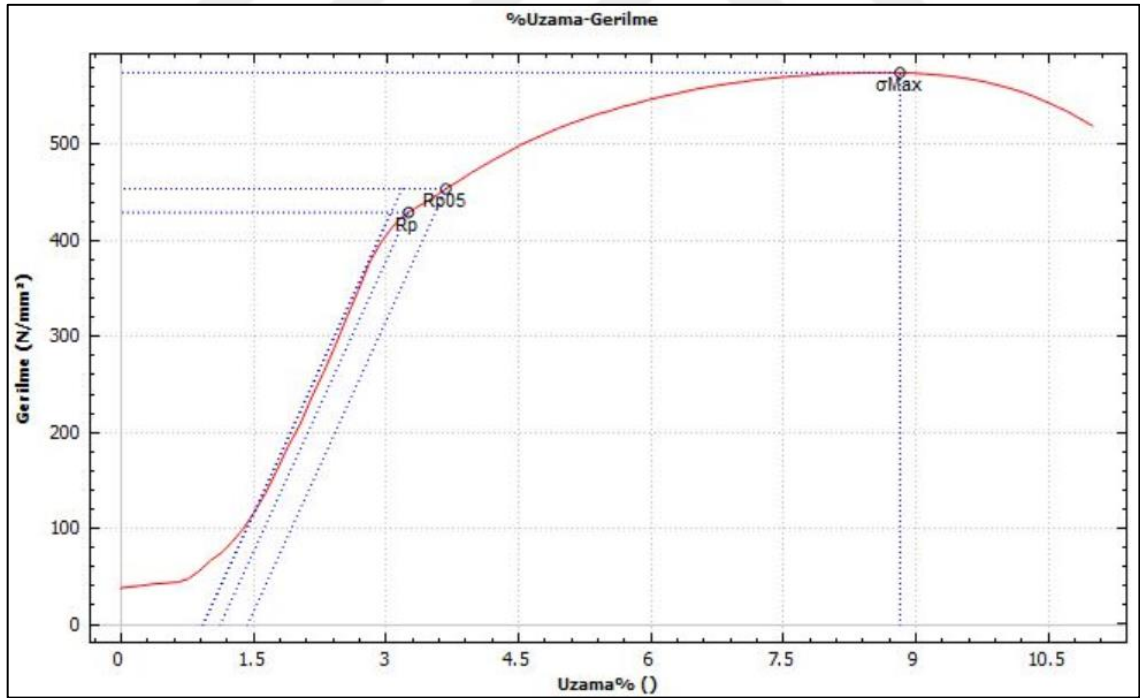
Çekme deneyi yapılan numunelere ait gerilme uzama grafikleri Şekil 21-24'de verilmiştir.



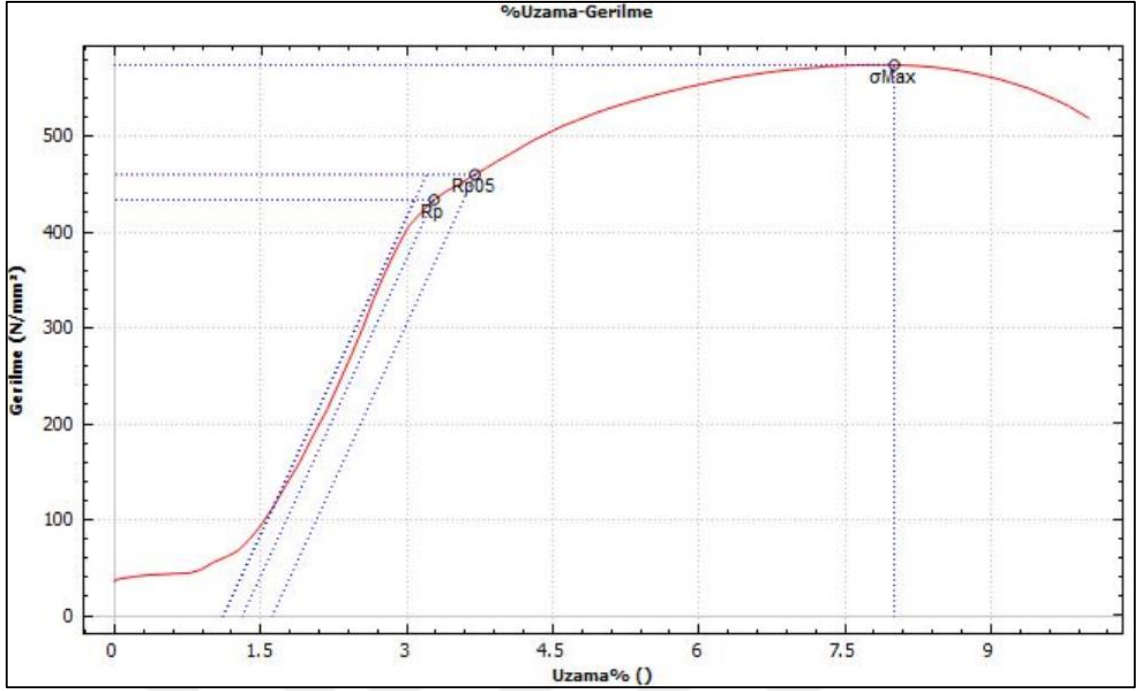
Şekil 21. Numune 1'e ait gerilme uzama grafiği



Şekil 22. Numune 2'ye ait gerilme uzama grafiği

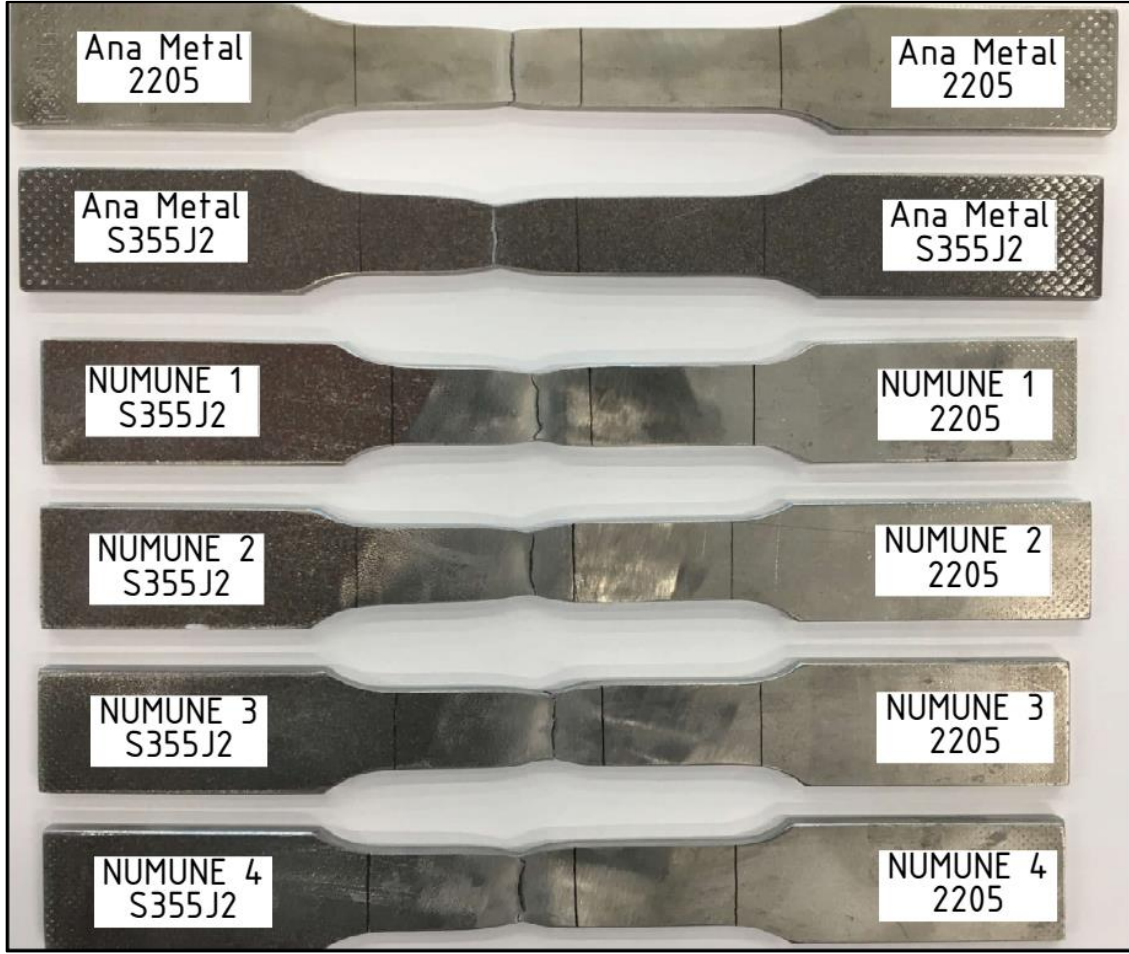


Şekil 23. Numune 3'e ait gerilme uzama grafiği



Şekil 24. Numune 4'e ait gerilme uzama grafiği

Şekil 25'de numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları gösterilmiştir. Kaynaklı numunelerin her biri S355J2 genel yapı çeliğinin ısıdan etkilenen bölgesinden kopmuştur. Oluşan kopma bölgelerinde önemli miktarda plastik deformasyon etkileri görülmektedir.

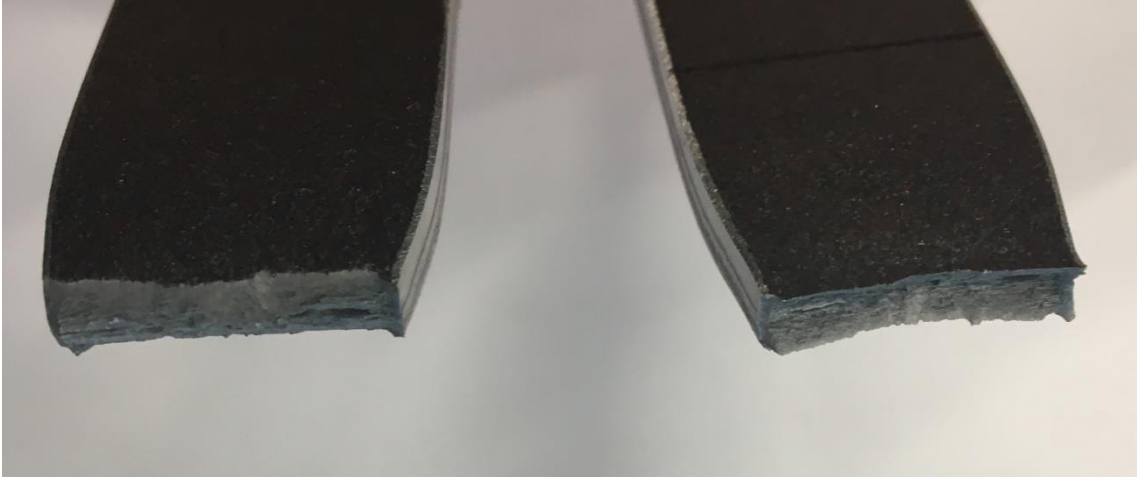


Şekil 25. Çekme testi uygulanmış ana metaller ve numuneler

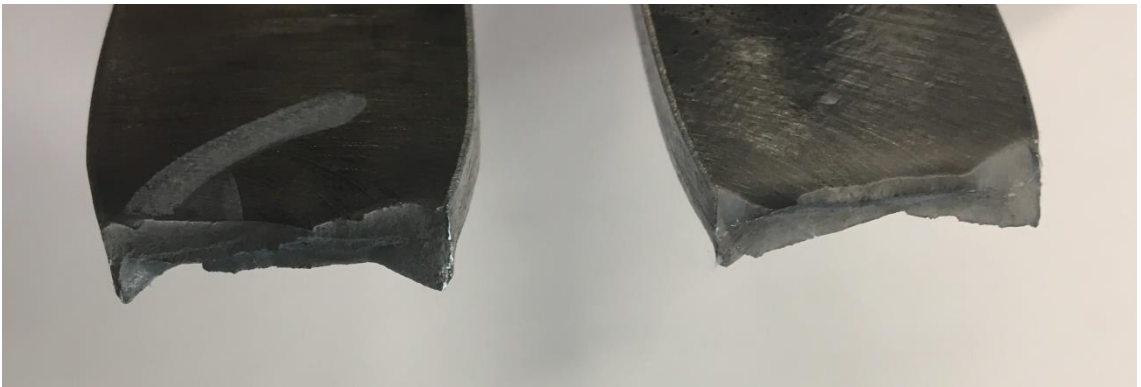
Çekme deneyi sonrası ana metaller ve numunelerin kopma kesitinin makro görüntüleri Şekil 26-31'de sırasıyla verilmiştir. Numunelerin çekme deneyi sonrası kırık yüzeylerini gösteren fotoğraflar Şekil 26-31'den görülmektedir. Bu kırık yüzey fotoğrafları çekme esnasında oluşan deformasyon ve büzülme etkilerini bariz olarak göstermektedir.



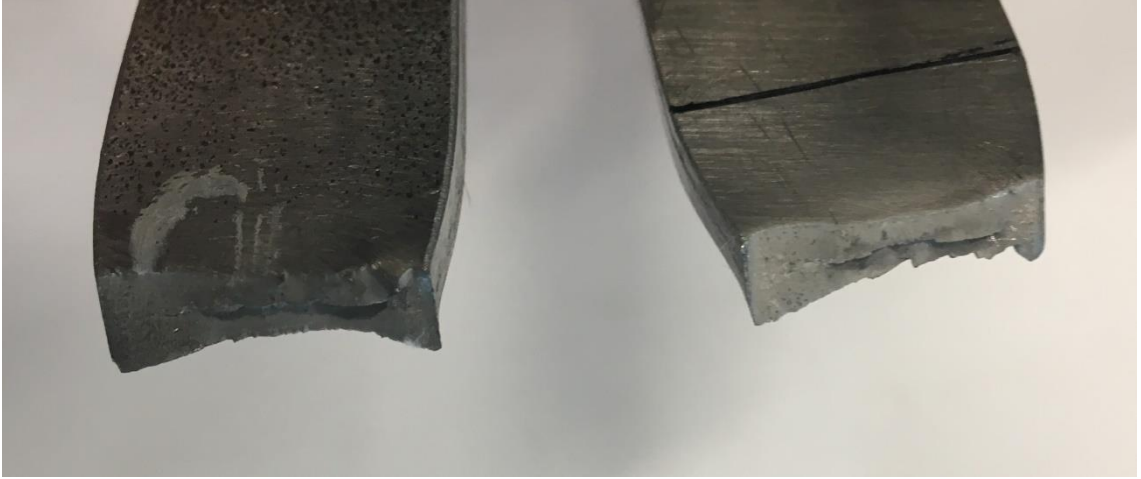
Şekil 26. 2205 ana metalin çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü



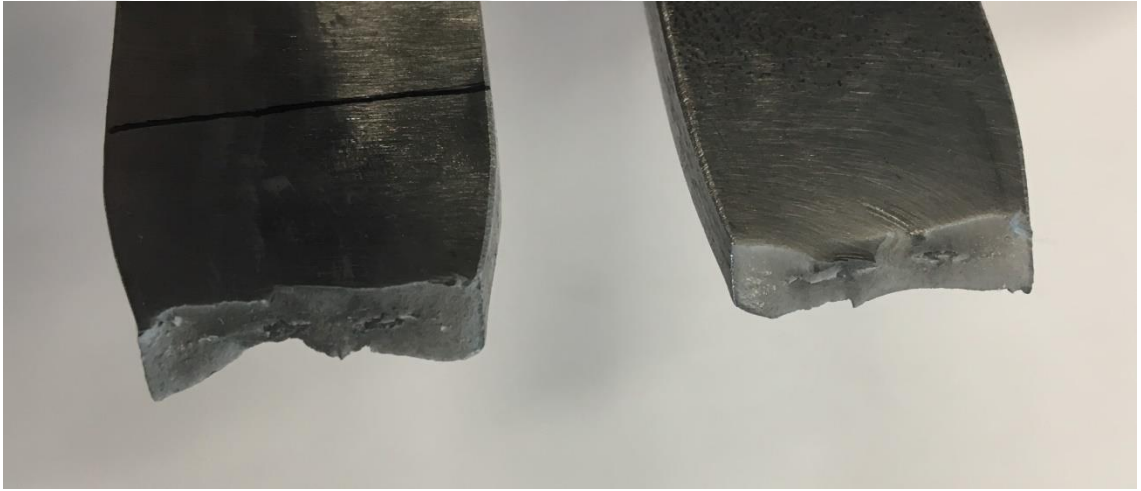
Şekil 27. S355J2 ana metalin çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü



Şekil 28. Numune 1' in çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü



Şekil 29. Numune 2' nin çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü



Şekil 30. Numune 3' ün çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü



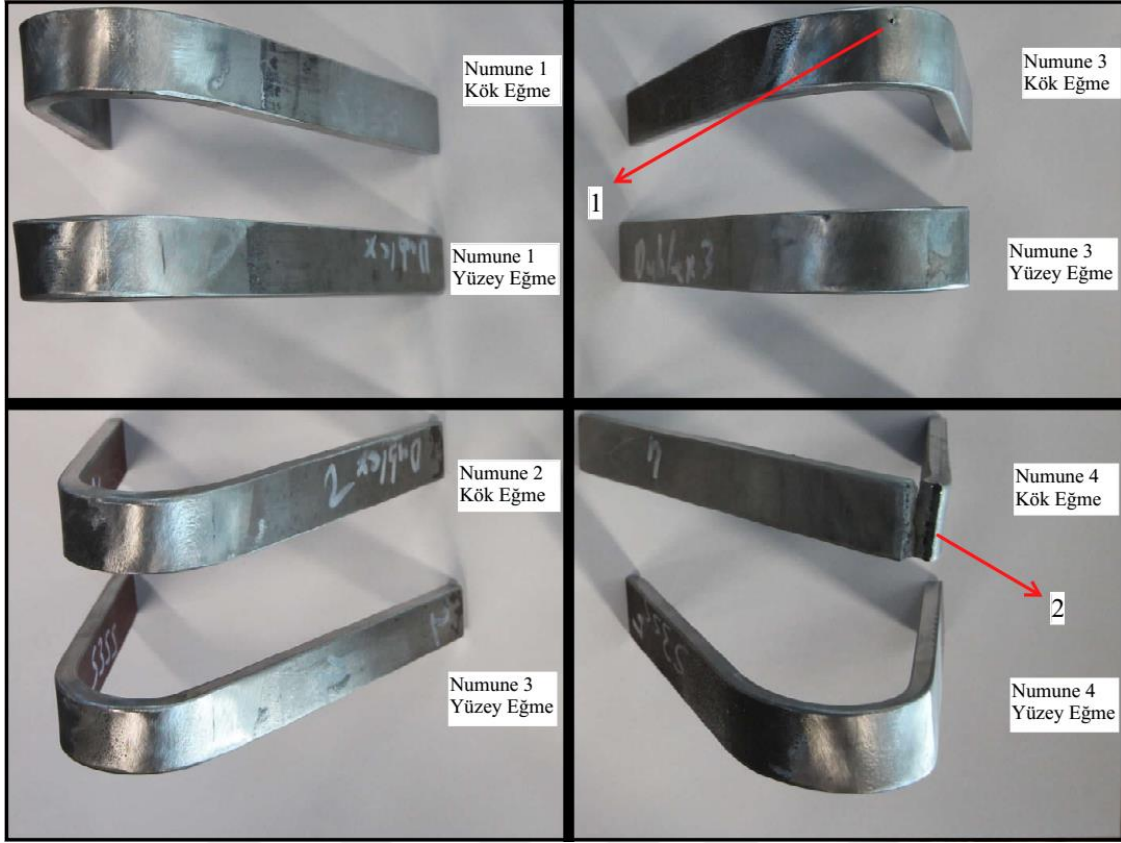
Şekil 31. Numune 4' ün çekme deneyi sonrası kopma kesitine ait makro görüntü

3.4. Eğme Deneyi Sonuçları

İlgili standarda uygun olarak hazırlanan numunelerin kök ve yüzey bölgelerine uygulanan 180° eğme deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 12’de ve eğme deneyi uygulanmış numunelerin fotoğrafları Şekil 32’de verilmiştir. Tablodan ve Şekilden görüleceği üzere dört numunenin de yüzey eğme deneylerinde herhangi bir çatlama belirtisi tespit edilememiştir. Kök eğme deneylerinde ise numune 1 ve numune 2’de herhangi bir çatlak belirtisi ile karşılaşılmaş iken numune 3’de standart değeri aşan çatlğa, numune 4’de ise belirgin kırılmaya rastlanmıştır. 3 ve 4 numaralı düşük akım ve ısı girdisiyle gerçekleştirilmiş olan kaynaklı numunelerde karşılaşılan bu durumun sebebi, ilerideki mikro yapı incelemelerinde de göreceğimiz gibi, düşük akım şiddetinde kaynak işlemi yapılan numunelerin kök kısmında düşük ısı girdisi etkisiyle oluşan yetersiz nüfuziyetin oluşmasıdır.

Tablo 12. Numunelerin yüzey ve kök kısımlarına uygulanan 180° eğme deneyi sonuçları

	a (mm)	b (mm)	L_0 (mm)	Sonuç
Numune 1 Yüzey	6	20	250	Çatlak görülmedi.
Numune 1 Kök	6	20	250	Çatlak görülmedi.
Numune 2 Yüzey	6	20	250	Çatlak görülmedi.
Numune 2 Kök	6	20	250	Çatlak görülmedi.
Numune 3 Yüzey	6	20	250	Çatlak görülmedi.
Numune 3 Kök	6	20	250	Çatlak görüldü.
Numune 4 Yüzey	6	20	250	Çatlak görülmedi.
Numune 4 Kök	6	20	250	Kırılma görüldü.



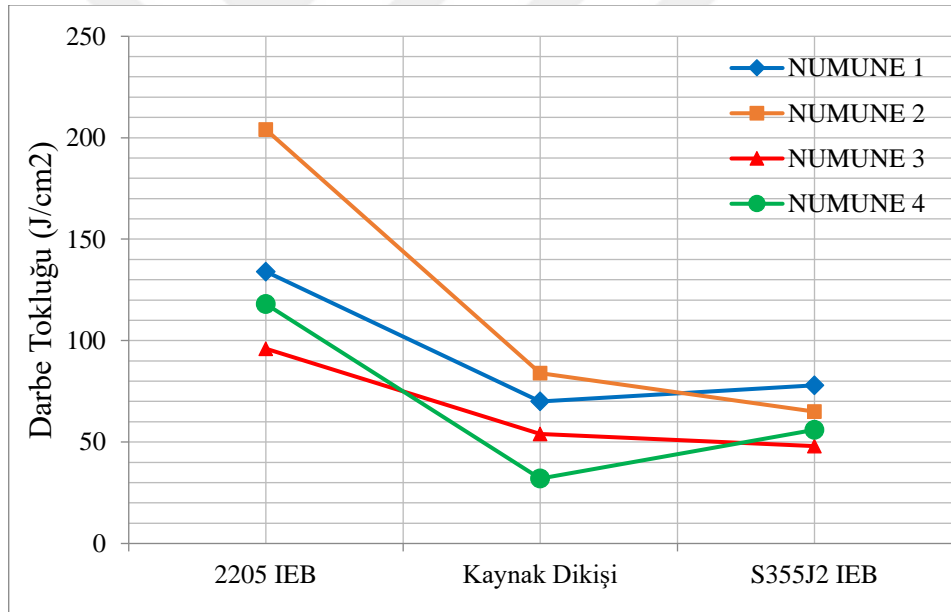
Şekil 32. Eğme testi uygulanan numuneler. 1) Numune 3'ün kök eğmesinde meydana gelen çatlak, 2) Numune 4'ün kök eğmesinde meydana gelen kırılma

3.5. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

İlgili standarda uygun olarak 300J kapasiteli çentik darbe deney makinesinde yapılan deney sonuçları Tablo 13'de verilmiştir. 2205 IEB, S355J2 IEB ve kaynak dikişi olmak üzere her bir bölgeden ikişer test parçası alınmıştır ve tabloda bu iki değerlerin ortalamaları verilmiştir.

Tablo 13. Kaynak işlemi yapılan numunelere ait çentik darbe deneyi test sonuçları

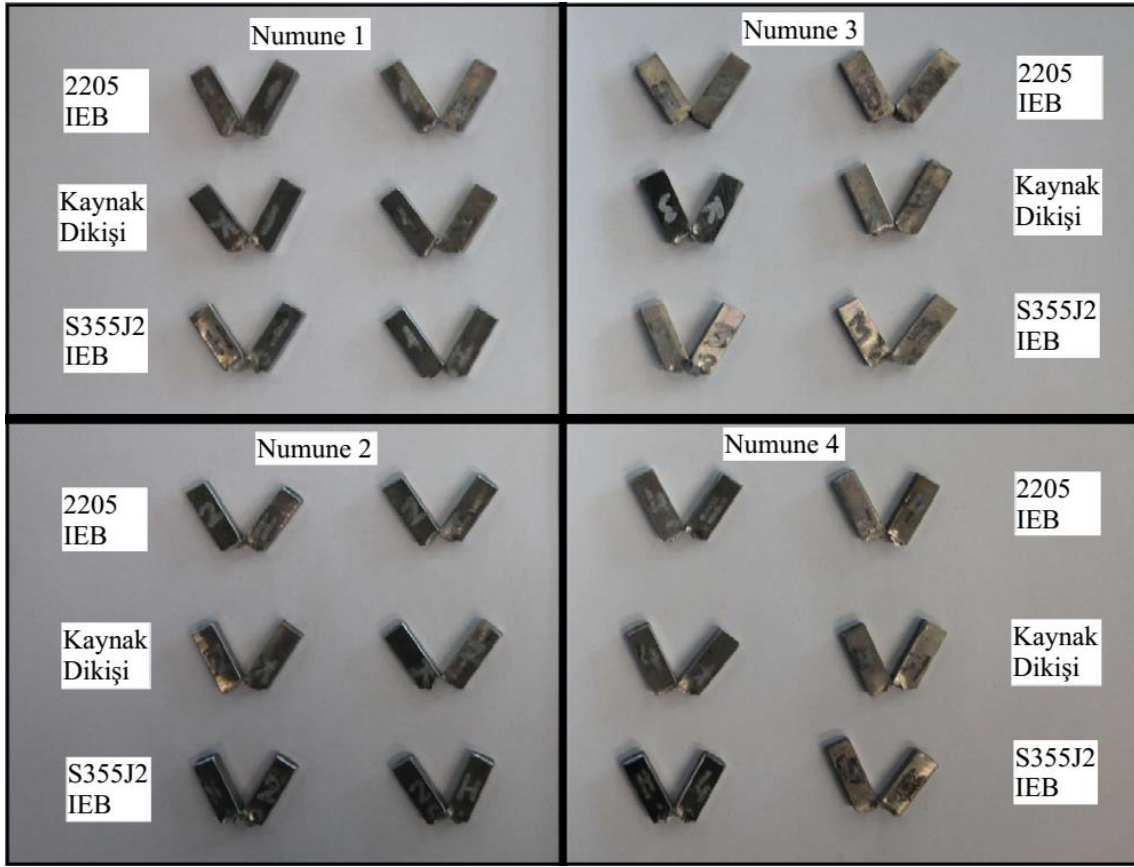
	Numunenin Alındığı Bölge	Test Sıcaklığı (°C)	Numune Ebatları (mm)	Darbe Absorbe Enerjisi (J)	Darbe Tokluğu (J/cm ²)
Numune 1	2205 IEB	-20	5x10x55mm	67	134
	Kaynak Dikişi	-20	5x10x55mm	35	70
	S355J2 IEB	-20	5x10x55mm	39	78
Numune 2	2205 IEB	-20	5x10x55mm	102	204
	Kaynak Dikişi	-20	5x10x55mm	42	84
	S355J2 IEB	-20	5x10x55mm	25	65
Numune 3	2205 IEB	-20	5x10x55mm	48	96
	Kaynak Dikişi	-20	5x10x55mm	27	54
	S355J2 IEB	-20	5x10x55mm	24	48
Numune 4	2205 IEB	-20	5x10x55mm	59	118
	Kaynak Dikişi	-20	5x10x55mm	16	32
	S355J2 IEB	-20	5x10x55mm	28	56



Şekil 33. -20° C sıcaklıktaki çentik darbe testi sonuçları

Tablo 13’de görülen değerlere göre kaynak işlemi sonrası numunelerin tokluğu, genel yapı çeliklerinde istenilen minimum tokluk olan 27 J’ un üzerindedir. Ayrıca Şekil 33’de yer alan grafikten görüleceği üzere daha yüksek akım şiddetinde kaynak işlemi yapılan numune 1 ve numune 2’nin çentik darbe tokluk değerleri üç farklı bölgede de numune 3 ve numune 4’e göre yüksektir. Bu değerler doğrultusunda akım şiddetindeki artışın kaynaklı malzemelerin tokluğunda olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Çentik darbe testi uygulanan

numunelerin resimleri Şekil 34’de verilmiştir.



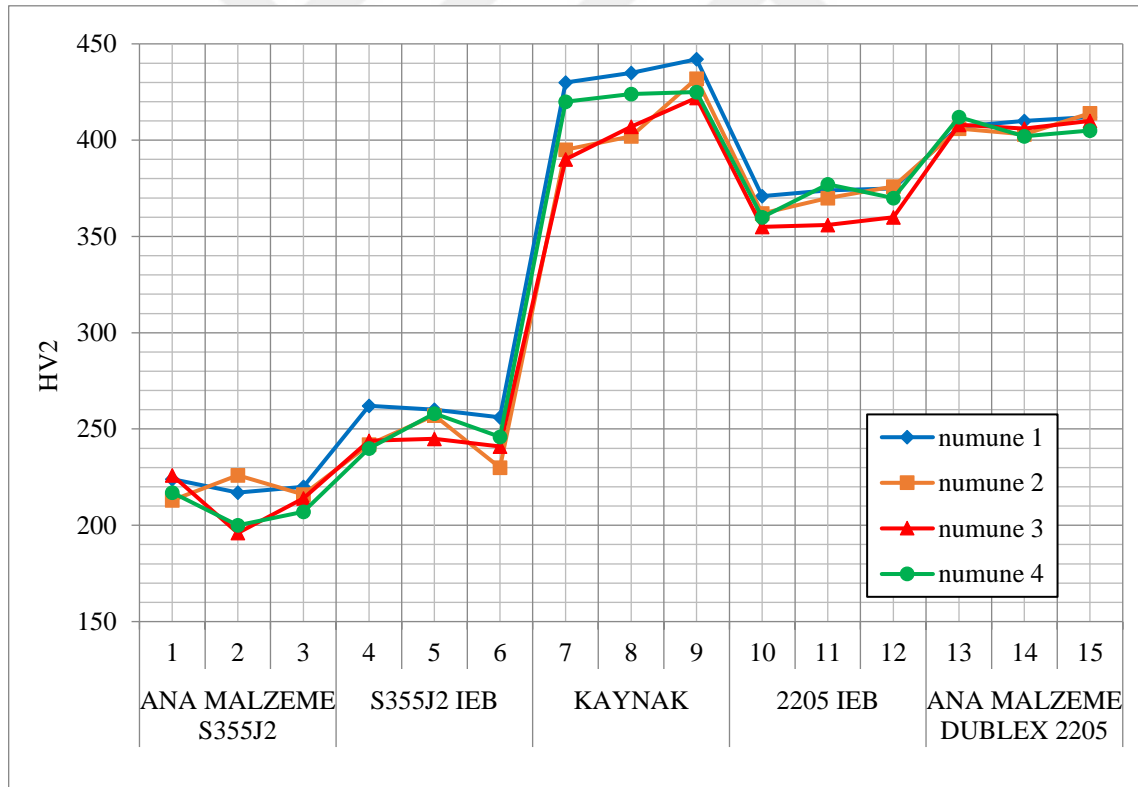
Şekil 34. Çentik darbe testi uygulanan numuneler

3.6. Mikro Sertlik Deneyi Sonuçları

Makro yapı görüntülerinin alındığı yüzeyde, ilgili standarda uygun olarak Şekil 13’de şematik gösterimi verilen noktalardan alınan Vickers sertlik değerleri Tablo 14’de verilmiştir. Şekil 35’de farklı bölgelerde sertlik değerlerindeki değişimler grafik olarak verilmiştir. Tablo ve grafikten görüleceği üzere numunelerin sertlik değerleri birbirine yakındır. En yüksek sertlik kaynak dikişi bölgesinde oluşmuş ve 2205 dubleks paslanmaz çeliğin ısıdan etkilenmiş bölgesinin sertliğinde ana yapısına oranla düşüş görülmüştür. S355J2 genel yapı çeliğinin ısıdan etkilenmiş bölgesinin sertliğinde ise ana yapısına oranla artış görülmüştür.

Tablo 14. Kaynak işlemi yapılan numunelere ait Vickers sertlik deneyi sonuçları

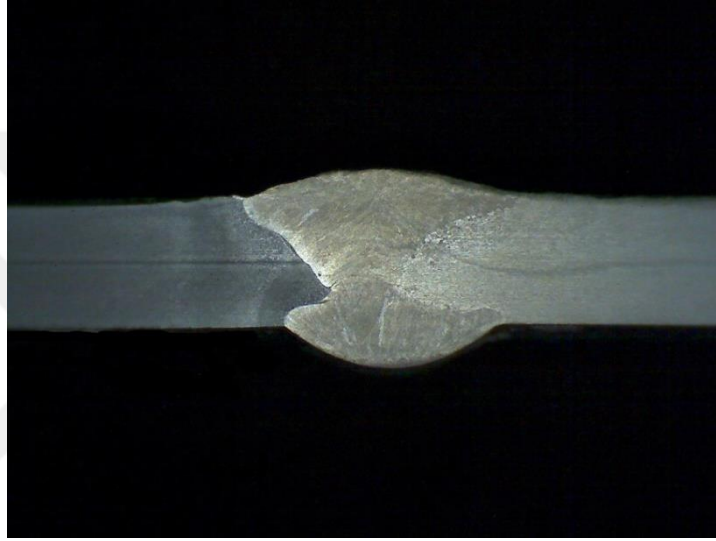
Deney Bölgesi	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	
S355J2 Ana Metal	1	224	213	226	217
	2	217	226	196	200
	3	220	216	214	207
S355J2 IEB	4	262	242	244	240
	5	260	257	245	258
	6	256	230	241	246
Kaynak Dikişi	7	430	395	390	420
	8	435	402	407	424
	9	442	432	422	425
2205 IEB	10	371	362	355	360
	11	374	370	356	377
	12	375	376	360	370
2205 Ana Metal	13	407	406	408	412
	14	410	403	406	402
	15	412	414	410	405



Şekil 35. Kaynak işlemi yapılan numunelerin farklı bölgelere göre sertlik dağılımı

3.7. Makro Yapı Sonuçları

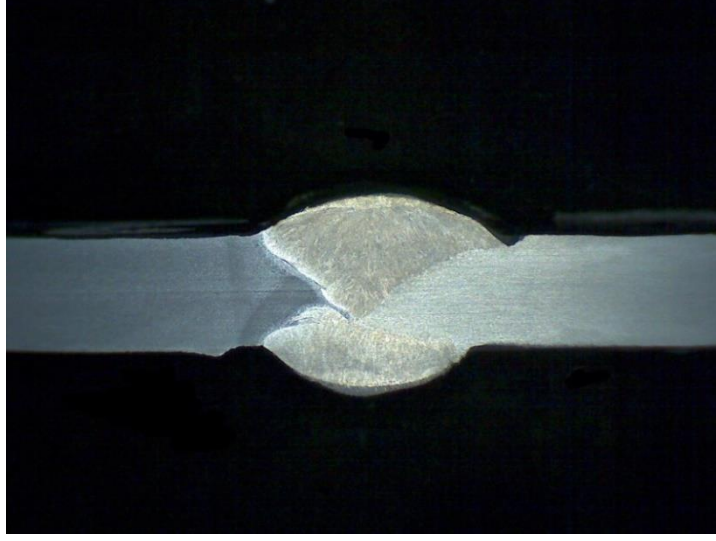
İlgili standarda uygun olarak alınan makro yapı görüntüleri 4:1 olarak Şekil 36-39'de sırasıyla verilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere kaynak nüfuziyeti, kaynak akım şiddetindeki artış ile doğru orantılı olarak artmıştır. Düşük kaynak akımı ve düşük ısı girdisine sahip numune 3 ve 4'ün S355-ergimiş bölge ara yüzey bölgesinin alt kısımlarında yetersiz nüfuziyetin etkisi bulunmaktadır.



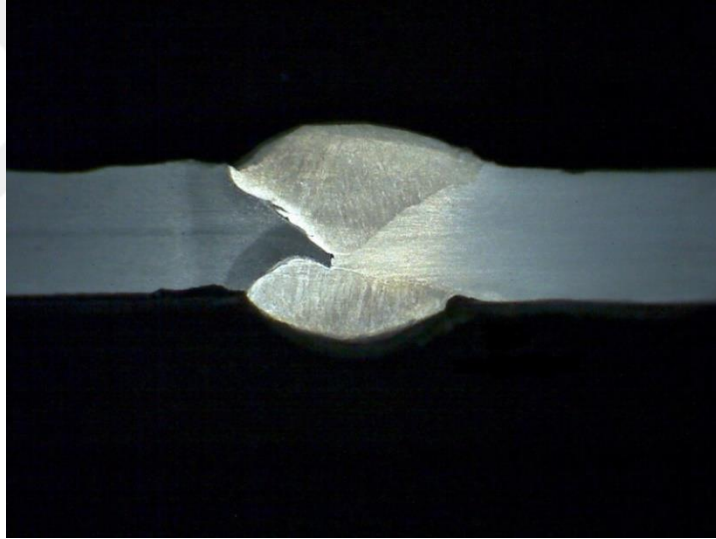
Şekil 36. Numune 1'e ait 4:1 büyütme makro yapı görüntüsü



Şekil 37. Numune 2'ye ait 4:1 büyütme makro yapı görüntüsü



Şekil 38. Numune 3'e ait 4:1 büyütme makro yapı görüntüsü



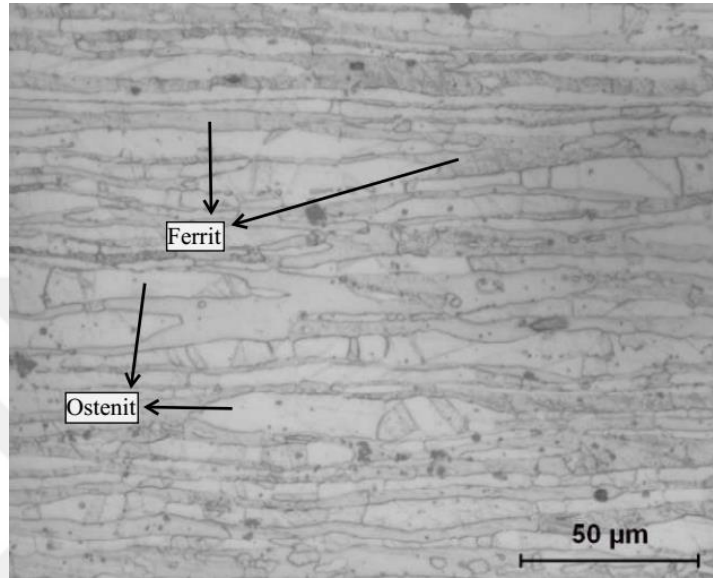
Şekil 39. Numune 4'e ait 4:1 büyütme makro yapı görüntüsü

3.8. Mikro Yapı Sonuçları

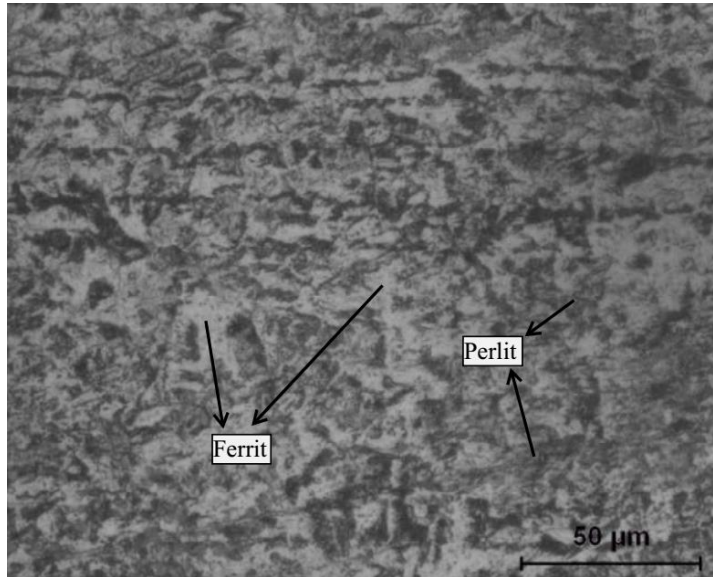
3.8.1. Ana Metallerin Mikro Yapı Sonuçları

Kaynaklı numunelerin mikro yapılarını incelemeye başlamadan önce ana metallerin sahip olduğu mikro yapıyı belirlemek amacıyla numunelerin ısıdan etkilenmeyen bölgelerinden mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Şekil 40'da 2205 dubleks ana metalin mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Resimde beyaz ile görünen kısımlar ostenit ve koyu renk ile görünen kısımlar ferrittir. Ostenit taneler ferrit matrisi içerisinde hadde yönü boyunca levha şeklinde yer

almaktadır. Ferrit-ostenit oranı dubleks paslanmaz çeliklerde istenildiği gibi birbirine yakın miktardadır. Şekil 41’de S355J2 ana metale ait mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Ergimli kaynak için uygun olan düşük karbon içeriğine sahip çeliklerde (< % 0,25) olması beklendiği gibi beyaz ile görünen kısımlar ferrit ve koyu gri renkte görünen kısımlar perlittir.



Şekil 40. 2205 ana metale ait mikro yapı görüntüsü (x500)



Şekil 41. S355J2 ana metale ait mikro yapı görüntüsü (x500)

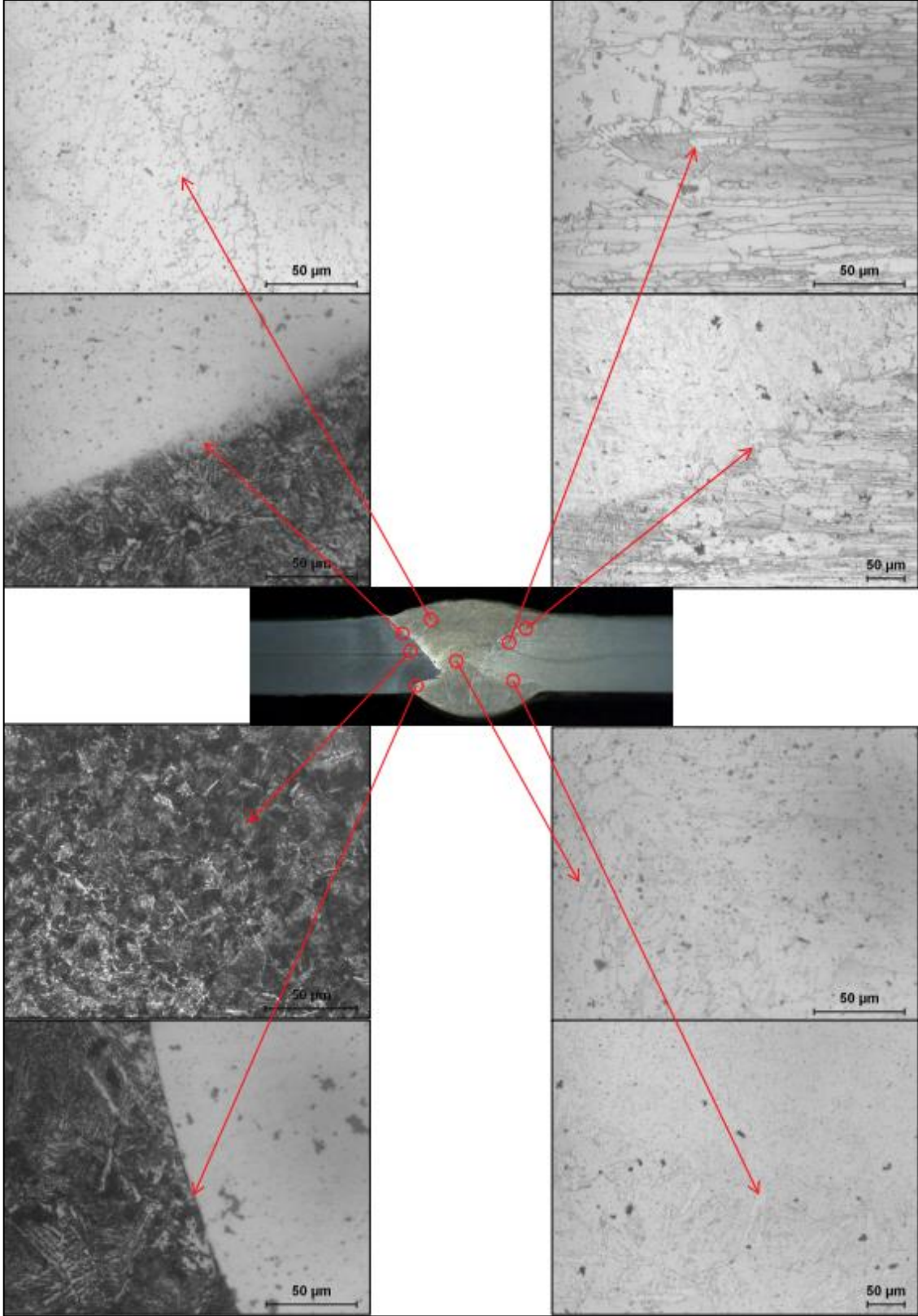
3.8.2. Kaynaklı Numunelerin Mikro Yapı Sonuçları

Farklı kaynak parametreleri ile kaynak işlemi yapılan numunelerin çeşitli bölgelerinden alınan mikro yapı görüntüleri Şekil 42-45'de verilmiştir. Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde genel olarak deney numunelerinin hepsinde benzer tane yapılarının olduğu gözlemlenmiştir.

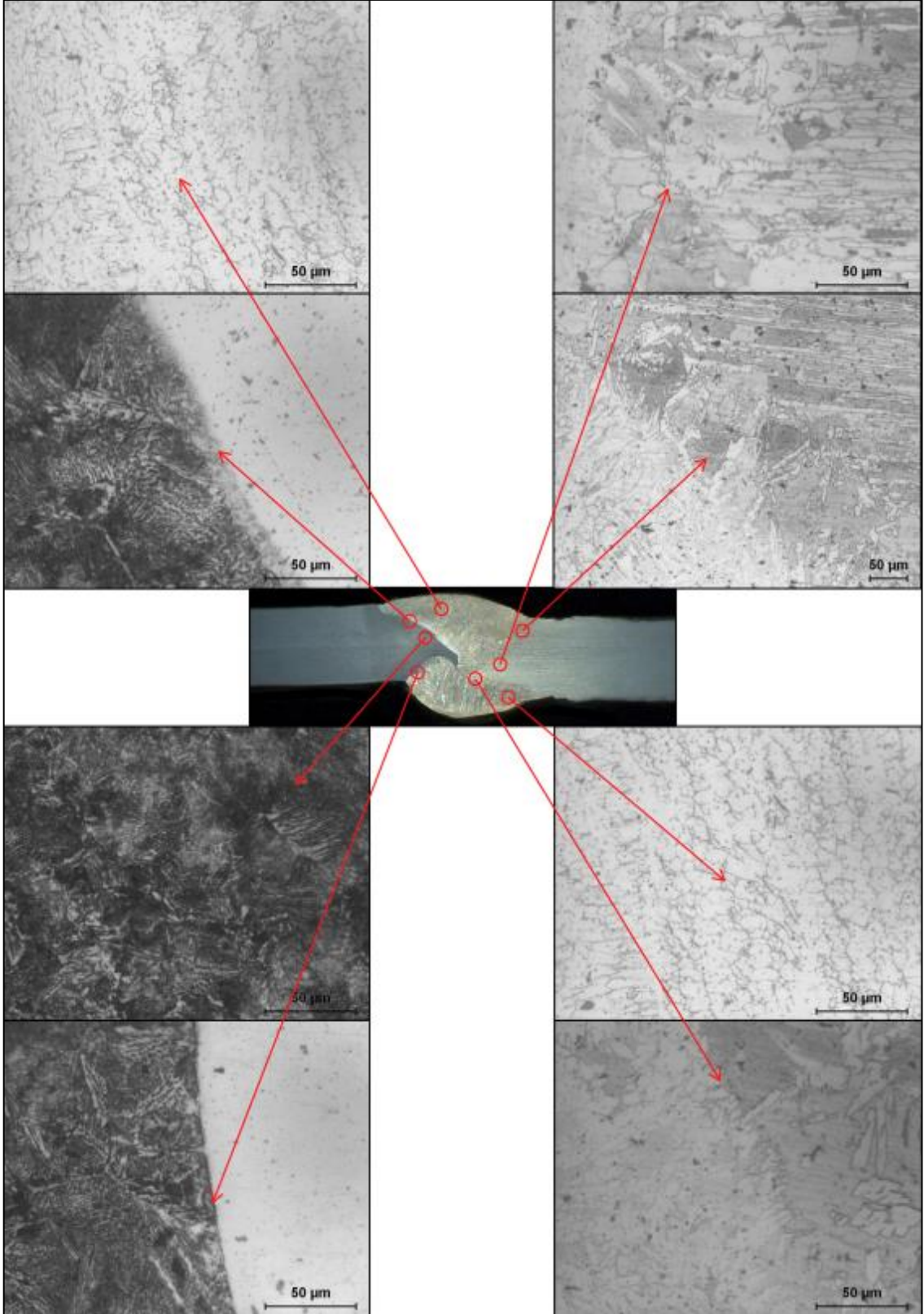
Kaynak dolgu metali olarak kullanılan ER 2209 dubleks kaynak dolgu teli, 2205 dubleks paslanmaz çeliklere göre daha fazla nikel içeren bir dolgu telidir. Nikel ostenit oluşturuvcu bir element olduğundan kaynak dikişinin ergime bölgesinde ostenitik bir yapı oluşmasını sağlamıştır.

2205 ana metalde ince lamel taneler şeklinde gözlemlenen ostenitler ısıdan etkilenmiş bölgede daha kaba yapılı bir hal almıştır. Bununla beraber, 2205 dubleks paslanmaz çelik ile kaynak dikişi arasında iyi bir nüfuziyet elde edildiği gözlemlenmiştir.

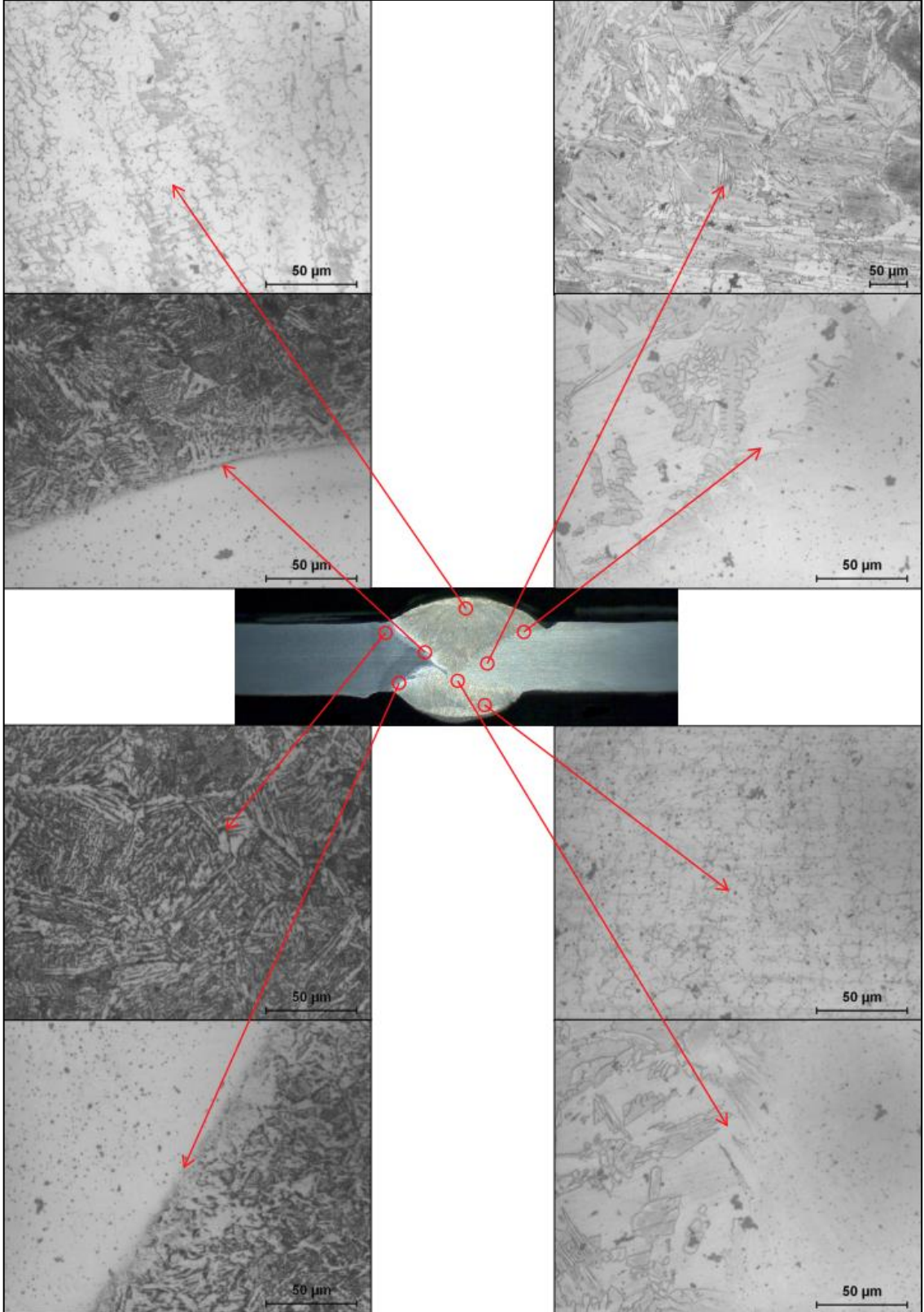
S355J2 genel yapı çeliğinin ısıdan etkilenmiş bölgede perlit ve martenzitik bir yapı olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak işlemi esnasında ısı girdisi nispeten daha yüksek tutulan numune 1 ve 2'nin S355J2 ile kaynak dikişi ara yüzeyinde iyi bir nüfuziyet elde edildiği gözlemlenmiştir. Numune 3 ve 4'ün ara yüzeyinde zayıf bir birleşim olduğu gözlemlenirken, numune 4'ün ara yüzeyinde kısmi bölgelerde çatlaklar gözlemlenmiştir.



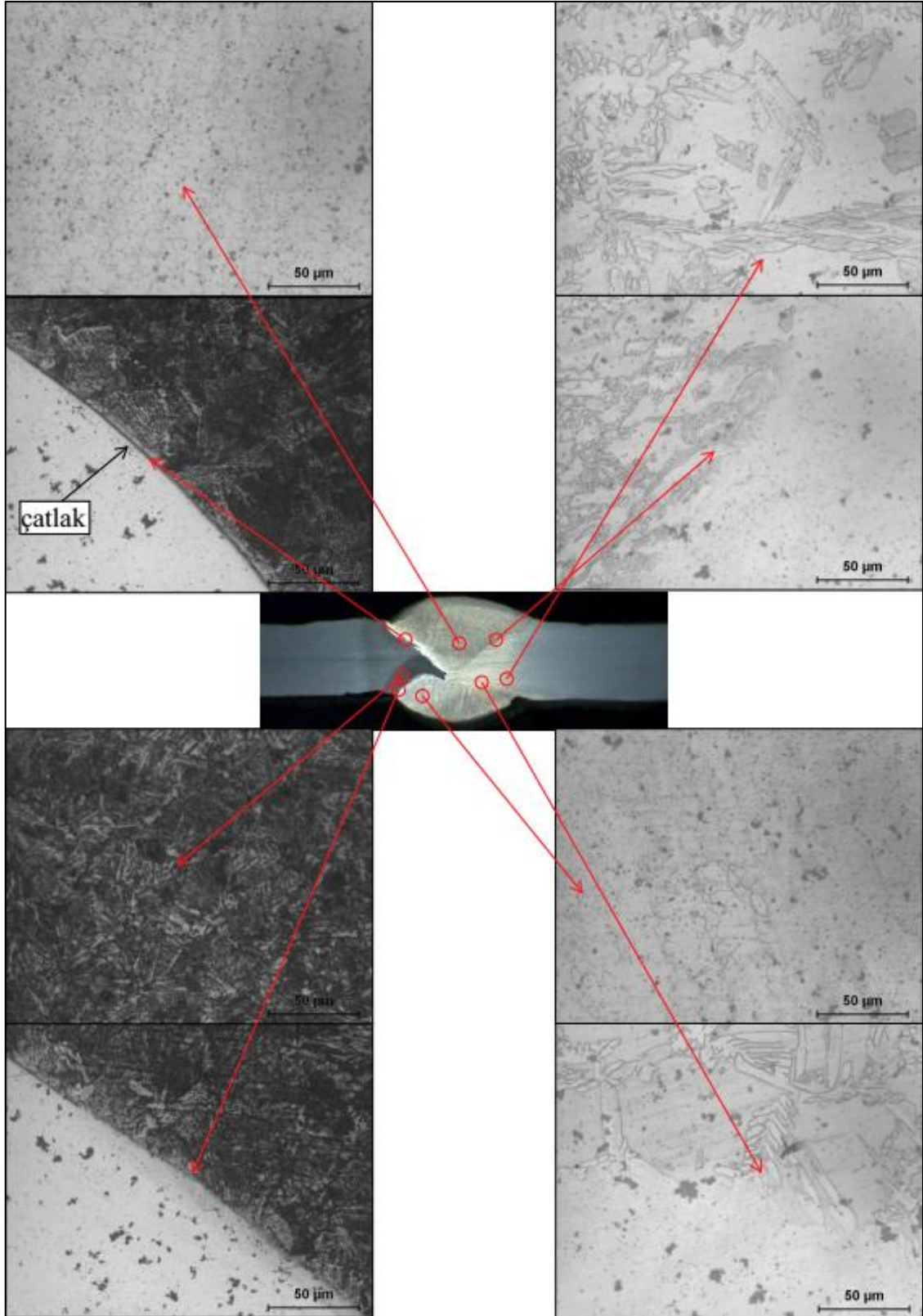
Şekil 42. Numune 1'e ait çeşitli bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri



Şekil 43. Numune 2'e ait çeşitli bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri



Şekil 44. Numune 3'e ait çeşitli bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri



Şekil 45. Numune 4'e ait çeşitli bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri

Farklı kaynak parametreleri kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerden elde edilen deneysel çalışma sonuçları, uygun ısı girdisi sağlandığında dubleks paslanmaz çelikler ile genel yapı çeliklerinin kaynak işlemlerinin iyi bir şekilde yapılabileceği görülmüştür. Kaynak bölgelerine ait mikro yapı görüntülerinden düşük ısı girdisi ile kaynak işlemi yapılan numune 3 ve 4'ün orta kısımlarında yetersiz nüfuziyetten kaynaklanan mikro çatlak-boşluklar gözlemlenmiştir. Bu durum, uygulanan kaynak işlemindeki ısı girdisinin ve ergiyen metal miktarının 6 mm kalınlığındaki sac malzeme için yetersiz kalmasından kaynaklanmaktadır. Aynı görüş, Cavcar, Barnhouse ve arkadaşları tarafından yapılmış olan dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağı ve benzer olmayan dubleks paslanmaz çeliklerin karbon çelikleri ile kaynağı makalelerinde de ifade edilmiştir [30, 51]. Aynı şekilde, 0,9 kJ/mm ısı girdisi ile gerçekleştirilen numunenin mikro yapı görüntülerinden S355J2 çeliğinin kaynak ara yüzeyinde zayıf bir birleşim bulunduğu, 0,8 kJ/mm ısı girdisi ile gerçekleştirilen numunenin mikro yapı görüntülerinde ise kaynak ergime bölgesi ile S355 çeliğinin IEB ara yüzeyinde belirgin mikro çatlaklar bulunduğu belirlenmiştir. Yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre ısı girdisi 1 kJ/mm değeri ve üzerinde olacak şekilde uygulanan kaynaklı numunelerin mukavemet değerlerinin (çekme ve akma dayanımı) birbirine yakın ve ana malzeme değerlerinin üzerinde oldukları, ısı girdisinin daha düşük tutulmuş olduğu numunelerde ise birleşme bölgesindeki mukavemet değerlerinin ana malzeme değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Uygulanan çekme deneyinde oluşan kopma, numunelerin tümünde S355J2 çeliğinin ısıdan etkilenmiş bölgesinde gözlemlenmiştir. Numunelerde oluşan kopma uzaması değerleri ise ana malzemelerde görülen uzama değerinden daha düşük oluşmuştur. Bu durum, farklı mekanik değerlere sahip olarak birleştirilen malzemelerden 2205 dubleks paslanmaz çeliğin akma dayanımının 576 MPa olmasına karşılık S355J2 çeliğinin çekme dayanımının 570 MPa olması ve kaynaklı çekme numunesinde ölçü boyu bölgesini her iki numunenin eşit oranda oluşturması nedeniyle deney sırasında oluşan uzamanın sadece düşük mukavemetli malzeme tarafında meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Çentik darbe deneyi sonuçlarına göre yüksek ısı girdisine sahip numunelerde ölçülen ortalama tokluk değerleri nispeten daha düşük ısı girdisine sahip numunelerde ölçülen tokluk değerlerine oranla üç farklı bölgede de (2205 IEB, Kaynak dikişi, 355J2 IEB) daha yüksek olarak ölçülmüştür. Bu bulgunun düşük ısı girdisine sahip olan 3 ve 4 numaralı numunelerin S355J2 çeliği tarafındaki kaynak ara yüzeyinde gözlemlenen mikro çatlakların etkisiyle oluştuğu düşünülmektedir. İlgili kaynak standartlarında belirtildiği gibi, -20° C sıcaklıkta gerçekleştirilmiş olan çentik darbe deneyi

sonuçlarından elde edilen bir bařka sonuç ise kaynak dikiři ve genel yapı elięinin IEB'deki tokluk deęerlerinin 2205 IEB'deki deęerlere oranla daha dūřuk olmasıdır. Bu duruma Wang ve arkadařlarının da belirtmiř oldukları gibi, bu bōlgedeki karbon miktarındaki artıřın ve nikel miktarındaki azalmanın yanında mikro yapısının ostenitik yapıdan ferritik yapıya dōnūřmesi sebep olmaktadır [11]. Numunelerin sertlik deneyinden elde edilen sonuçlarda, kaynak yapılmıř olan her bir numunenin sertlik profilinin S355J2 ana metal tarafındaki IEB'de oluřan martenzitik yapının etkisiyle bir miktar artıř gōstermekte olmasına karřılık, 2205 ana metali IEB'sinde ise oluřan kaba taneli mikro yapı (řekil 40'dan gōrūlebileceęi gibi, 2205 dublekss paslanmaz çelięi soęuk deforme edilmiř durumdadır.) etkisinden dolayı 2205 çelięine oranla bir miktar dūřūř gōstermiřtir (řekil 42-45). Eęme deneyine tabi tutulan dōrt numunede de yūzey tarafındaki eęmelerinde herhangi bir çatlak bulgusuna rastlanılmaz iken (Tablo 12, řekil 32), 0,9 kJ/mm ısı girdisine sahip numunenin kōk bōlgesine uygulanan eęme deneyinde standartta kabul edilebilir çatlak uzunluęu olarak belirtilmiř olan 3 mm'yi ařan bōyūklükte çatlaklar, 0,8 kJ/mm ısı girdisine sahip numunede ise belirgin kırılma hasarı gōzlenmiřtir (řekil 32). Bu durumun sebebi dūřuk ısı girdisi etkisiyle kaynak bōlgesinde řekil 44 ve 45'de gōrūlebildięi gibi yapıda oluřmuř olan mikro çatlakların yol açtıęı yetersiz nūfuziyettir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 6mm et kalınlığında 2205 dubleks paslanmaz çelik ile 6mm et kalınlığında S355J2 genel yapı çeliği ER2209 dubleks kaynak dolgu metali kullanılarak MAG kaynak yöntemiyle birbirlerine kaynak edilmiştir. Gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde farklı kaynak akım şiddetleri (230A- 160A) kullanılarak benzer olmayan bu iki metalin kaynak edilebilirliği incelenmiştir. Kaynak işlemi sonrası incelemelerden elde edilen bulguların değerlendirilmesinden çıkartılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. 2205 dubleks paslanmaz çelik ve S355J2 genel yapı çeliği, MAG kaynak yönteminde ER2209 dubleks kaynak dolgu metali ile başarılı bir şekilde kaynak edilebilmektedir.
2. 2205 dubleks paslanmaz çelik ve S355J2 genel yapı çeliğinin kaynak işleminde seçilen kaynak akım şiddetindeki artış, birleşme bölgesinde oluşacak nüfuziyeti artırır. Kaynak işlemi esnasında seçilen akım şiddetindeki artış ısı girdisinde artışa neden olarak kaynaklı birleştirmede birleşme mukavemetini olumlu yönde etkiler.
3. Gerçekleştirilecek birleştirmelerde hasar S355J2 genel yapı çeliğinin IEB'sinde sünek davranış göstererek meydana gelir.
4. 1,0 kJ/mm ısı girdisi değerinin üstünde uygulanan kaynaklı birleştirmelerde etkin birleşme elde edilir ve kaynak dikişlerinin eğme deneylerinde nüfuziyet yetersizliğinden kaynaklanan çatlak ve kırılma meydana gelmez.
5. Kaynaklı birleştirmelerin tümünde elde edilen darbe tokluğu, endüstriyel uygulamalar için istenen -20 °C'ta 27 J'luk darbe direnci değerini sağlar.
6. 2205 dubleks paslanmaz çeliğinin S355J2 genel yapı çeliği ile belirlenen parametreler kullanılarak birleştirilmesinde, birleşme bölgesinde elde edilen mukavemet değeri, birleştirilen parçalardan düşük mukavemet değerine sahip olan S355J2 genel yapı çeliğinin mukavemet değerinde bir azalma meydana getirmez.

5. ÖNERİLER

2205 dubleks paslanmaz çelik ile S355J2 genel yapı çeliğinin birleştirilebilirliği ile ilgili sonraki çalışmalarında, incelenmesi önerilen konular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Uygulanan kaynak işleminde ilave elektrod türünün birleşme bölgesi mikro yapısına ve mekanik özelliklerine etkileri incelenebilir.
2. Bu kaynak uygulamasında koruyucu gaz türünün birleşme bölgesinin mikro yapısına ve mekanik özelliklerine etkileri incelenebilir.
3. Uygulanan kaynak işleminde optimum verimin elde edildiği 1 kJ/mm değerindeki ısı girdisini sabit tutarak, kaynak akım ve gerilim değerlerinin etkileri incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Yüksel, M. ve Meran, C., Malzeme bilgisine giriş, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, MMO/545, 2010.
2. Kırık, İ., Sürtünme kaynağı ile birleştirilen AISI 1040/AISI 304L çelik çiftinin elektrokimyasal korozyon davranışının araştırılması, Doktora Tezi, Elazığ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2012.
3. Odabaş, C., Paslanmaz Çelikler Temel Özellikleri, Kullanım Alanları Kaynak Yöntemleri, Kaynak Tekniği San. ve Tic AŞ, İstanbul, 76s, (2004).
4. <http://www.outokumpu.com> Duplex stainless steel, Outokumpu. 17 Şubat 2018.
5. Mateo, A., Llanes, L., Akdut, N. ve Anglada, M., High cycle fatigue behaviour of a standard duplex stainless steel plate and bar, Materials Science and Engineering: A, 319 (2001) 516-520.
6. Vogt, J.-B., Fatigue properties of high nitrogen steels, Journal of materials processing technology, 117,3 (2001) 364-369.
7. Charles, J., Composition and properties of duplex stainless steels, Welding in the World/Le Soudage Dans Le Monde,36 (1995) 43-54.
8. Sieurin, H. ve Sandström, R., Austenite reformation in the heat-affected zone of duplex stainless steel 2205, Materials Science and Engineering: A, 418,1-2 (2006) 250-256.
9. Kurt, B., The interface morphology of diffusion bonded dissimilar stainless steel and medium carbon steel couples, Journal of materials processing technology, 190,1-3 (2007) 138-141.
10. Yalçın, M., AISI 4340-AISI 2205 Malzeme Çiftinin Sürtünme Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Ekim 2016.
11. Wang, S., Ma, Q. ve Li, Y., Characterization of microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of dissimilar welded joint between 2205 duplex stainless steel and 16MnR, Materials & Design, 32,2 (2011) 831-837.
12. Cugat, P.J., Pont, J., Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Malzemeler ve Kullanımları Serisi, Euro Inox, Cilt 3 (2007).
13. Celik, S. ve Ersozlu, I., Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels, Materials & Design, 30,4 (2009) 970-976.
14. Tolungüç, B., Yurtışık, K., Tirkeş, S., Gür, H. C., Batıgün, C., Ertürk, T. ve Gürbüz,

R., S2205 DP. Çeliklerin hibrit plazma ark kaynaklı birleştirmelerinde mikroyapı dönüşümleri, Mühendis ve Makine, Tmmob makine mühendisleri odası aylık dergisi, 624 (2012) 77-82.

15. Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., Sarıtaş Teknik Yayın, 1,2 (2004).
16. Abington Publishing, Welding Metallurgy of Stainless Steels, Abington Welding Training Module, Cambridge, 1994, 1-45.
17. <http://www.outokumpu.com> Steel grades, properties and global standards. 5 Şubat 2018.
18. DeLong, W., Ferrite in austenitic stainless steel weld metal, Weld. J., 53,7 (1974) 273-286.
19. Charles, J., Why and where duplex stainless steels. Duplex stainless steels' 97, 345-353.
20. Nilsson, J.-O., Super duplex stainless steels, Materials science and technology, 8,8 (1992) 685-700.
21. Sieurin, H., Fracture toughness properties of duplex stainless steels, Doctoral Thesis, KTH, Department of Materials Science and Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2006.
22. <http://www.stainless-steel-world.net/pdf/11021.pdf> Stainless steel world, High performance stainless steels,. 8 Şubat 2018.
23. Johansson, P. ve Liljas, M., A new lean duplex stainless steel for construction purposes, 4th European Stainless Steel Science and Market Congress, Proceedings 2002.
24. <http://www.stainless-steel-world.net> Stainless steel world, Duplex stainless steel grades. 15 Şubat 2018.
25. Smuk, O., Microstructure and properties of modern P/M super duplex stainless steels, PhD. Thesis, KTH, Dept. Mater. Sci., Stockholm, Sweden, 2004.
26. Charles, J., Super duplex stainless steels: structure and properties, Proc. Conf. Duplex Stainless Steels' 91, 1991, 3-48.
27. Benson, M., Applications utilising the advantageous properties of LDX 2101, Proceedings Stainless Steel World, (2005) 171-176.
28. Urena, A., Otero, E., Utrilla, M. ve Munez, C., Weldability of a 2205 duplex stainless steel using plasma arc welding, Journal of materials processing technology, 182,1-3 (2007) 624-631.
29. Muthupandi, V., Srinivasan, P.B., Seshadri, S. ve Sundaresan, S., Effect of weld metal

- chemistry and heat input on the structure and properties of duplex stainless steel welds, Materials Science and Engineering: A, 358,1-2 (2003) 9-16.
30. Cavcar, M., Dolutaş, H., Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Kaynak Teknolojisi VI. Ulusal Kongresi ve Sergisi, Kasım 2007.
 31. Liljas, M., The welding metallurgy of duplex stainless steels, Duplex Stainless steels '94, Glasgow, Scotland, 1994.
 32. Ericsson C., S.R., Sieurin H., Lagerqvist O., Eisele U., Sciedermaier J., Ruiz R. L., Background document 3.5, EcoPress, European research 5th framework, 2003.
 33. Weman, K., Welding processes handbook, ESAB, 2002.
 34. Park, Y.-H. ve Lee, Z.-H., The effect of nitrogen and heat treatment on the microstructure and tensile properties of 25Cr-7Ni-1.5 Mo-3W-xN duplex stainless steel castings, Materials Science and Engineering: A, 297,1-2 (2001) 78-84.
 35. <http://cemsa.com.tr/genel-yapi-celikleri> Çemsa Çelik Metal Makine İmalat San. Ve Tic. Ltd. Şti. "Genel Yapı Çelikleri" . 6 Mart 2012.
 36. Ada, H., Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların tozaltı ve spiral kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
 37. Vural, M., Piroğlu, F. ve Çağlayan, B.Ö., Yapı çeliklerinin kaynaklanabilirliği, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, 426 (2003) 47-51.
 38. Maruyama, T., Arc welding technology for dissimilar joints, Welding international, 17,4 (2003) 276-281.
 39. Bäck, M., Welding of dissimilar metals in different welding positions, KTH, School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2016.
 40. Srinivasan, P.B., Muthupandi, V., Dietzel, W. ve Sivan, V., An assessment of impact strength and corrosion behaviour of shielded metal arc welded dissimilar weldments between UNS 31803 and IS 2062 steels, Materials & Design, 27,3 (2006) 182-191.
 41. Roy, D.L., Welding, brazing and soldering, 6, ASM International, 1995.
 42. Gültekin, N., Kaynak Tekniği. Yıldız Üniversitesi Yayınları, 69 (1985).
 43. Tuncer, E., Aşınmaya Dayanıklı Çelikler ile Genel Yapı Çeliğinin Kaynağında Birleşme Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
 44. Uluocak, M.E., Hardox 450 Çeliklerinin MAG Kaynak Bölgesi Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.

45. Durgutlu, A., Ark kaynağı yöntemlerinde kaynak hızının mikroyapı ve nüfuziyete etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, 1997.
46. Yiğit, Ş., Örtülü Elektrot Ark Kaynağı. Devlet Bakanlığı Yayınları, 54 (1988) 39.
47. http://www.oerlikon.com.tr/ark_kaynak_yontemleri.html Ark Kaynak Yöntemleri. 5 Ocak 2018.
48. Tülbentçi, K., Gas metal arc welding (mig/mag), Arcotech Yayınları, İstanbul, 1997.
49. <http://www.alacergold.com/docs/default-source/CSEP-Photographic-Updates-/csep-construction-photos-september-2017--final.pdf?sfvrsn=4> Çöpler Sulfide Expansion Project Photographic Update. Erzincan 15 Ocak 2018.
50. Odegar, L.P., C. and Fager S. A., The selection of welding consumables and properties of dissimilar welded joints in superduplex stainless steel Sandvik 2507 to carbon steel and highly alloyed austenitic and duplex stainless steels., Proceedings of the 4th International Conference of Duplex Stainless Steels 1994, Glasgow, Scotland: 94.
51. Barnhouse EJ, Lippold J.C., Microstructure/property relationships in dissimilar welds between duplex stainless steels and carbon steels., Weld J, (1998) 87.
52. Srinivasan, P.B., Muthupandi, V., Sivan, V. ve Dietzel, W., Microstructure and corrosion behavior of shielded metal arc-welded dissimilar joints comprising duplex stainless steel and low alloy steel, Journal of materials engineering and performance, 15,6 (2006) 758-764.
53. McPherson, N., Chi, K., McLean, M. ve Baker, T., Structure and properties of carbon steel to duplex stainless steel submerged arc welds, Materials science and technology, 19,2 (2003) 219-226.

ÖZGEÇMİŞ

Doğukan YILDIRIM 1990 Yılında Artvin'in Hopa ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Hopa'da tamamladı. 2012 yılında Pamukkale Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans öğrenimine başladı.

