



MAG Kaynak Yöntemiyle Farklı Kaynak Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen S235 ve S355 Çeliklerinin Kaynak Bölgelerinin İncelenmesi

Halil GÜLTOPLAYAN¹  Mehmet Serkan YILDIRIM^{2*}  Yakup KAYA¹ 

¹Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Research article
Received: 24/10/2024
Revision: 25/11/2024
Accepted: 06/12/2024

Anahatar Kelimeler

S235
S355
MAG kaynağı
Mikro yapı
Makro yapı

Article Info

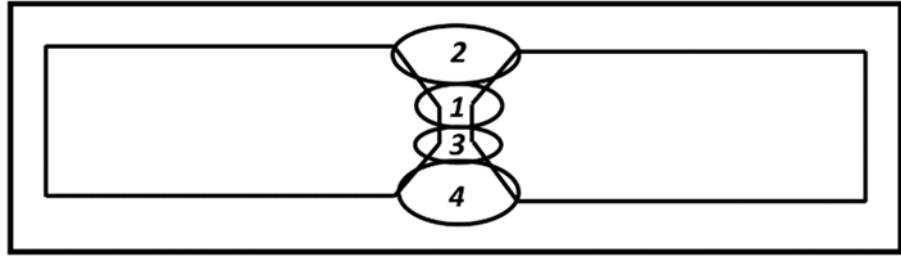
Araştırma makalesi
Başvuru: 24/10/2024
Düzeltilme: 25/11/2024
Kabul: 06/12/2024

Keywords

S235
S355
MAG welding
Micro structure
Macro structure

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, S235 ve S355 çelikleri MAG kaynak yönteminde farklı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı bölgeler tahribatsız olarak, manyetik parçacık yöntemi ile sıvı penetrant test yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca kaynak bölgelerinde optik mikroskop kullanılarak mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla çekme testleri uygulanmıştır. / In this study, S235 and S355 steels were joined using different welding parameters in the MAG welding method. Welded areas were examined non-destructively using the magnetic particle method and liquid penetrant testing method. In addition, microstructure examinations were carried out in the welded areas using an optical microscope. Tensile tests were applied to determine the tensile strength of the welded samples.



Şekil A: Kaynak pasoları düzenlemesi şematik görüntüsü / Figure A: Schematic view of the weld pass arrangement

Highlights (Önemli noktalar)

- S235 ve S355 çelikleri MAG kaynak tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. / S235 and S355 steels were joined using MAG welding technique.
- Kaynak işlemleri farklı kaynak amperleri kullanılarak 4 pasoda gerçekleştirilmiştir. / Welding operations were carried out in 4 passes using different welding amperes.
- Kaynak bölgeleri tahribatsız muayene yöntemleri ve mikroyapı incelemeleri uygulanmıştır. / Non-destructive testing methods and microstructure examinations were applied to the welded areas.

Aim (Amaç): Güç trafoları kazan imalatında kullanılan S235 ve S355 çelikleriNİN MAG kaynağı kullanılarak birleştirilmesi. / Joining of S235 and S355 steels used in power transformer boiler manufacturing using MAG welding.

Originality (Özgünlük): S235 ve S355 çelikleri MAG kaynak yöntemi kullanılarak, kendi aralarında ve birbirleri ile MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş hem tahribatsız hem de tahribatlı testler uygulanmıştır. / S235 and S355 steels were joined to each other and to each other using the MAG welding method, and both non-destructive and destructive tests were applied.

Results (Bulgular): Tahribatsız testler sonucunda tolerans dışı herhangi bir hataya rastlanmamıştır. Ayrıca mekanik testler kaynaklı bağlantıların güvenilirliğini doğrulamıştır. / As a result of non-destructive tests, no out-of-tolerance errors were found. In addition, mechanical tests confirmed the reliability of the welded connections.

Conclusion (Sonuç): S235 ve S355 çeliklerinin belirlenen parametrelerle MAG kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerinin basınçlı kap üretiminde kaynağa uygunluğu tespit edilmiştir. / It has been determined that the joints of S235 and S355 steels made with the MAG welding method with the determined parameters are suitable for welding in pressure vessel production.



MAG Kaynak Yöntemiyle Farklı Kaynak Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen S235 ve S355 Çeliklerinin Kaynak Bölgelerinin İncelenmesi

Halil GÜLTOPLAYAN¹ Mehmet Serkan YILDIRIM^{2*} Yakup KAYA¹

¹Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Research article
Received: 24/10/2024
Revision: 25/11/2024
Accepted: 06/12/2024

Anahatar Kelimeler

S235
S355
MAG kaynağı
Mikro yapı
Makro yapı

Öz

Bu çalışmada, S235 ve S355 çelikleri MAG kaynak yönteminde farklı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı bölgeler tahribatsız olarak, manyetik parçacık yöntemi ile sıvı penetrant test yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca kaynak bölgelerinde optik mikroskop kullanılarak mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla çekme testleri uygulanmıştır. Sıvı penetrant ve manyetik parçacık testleri sonucunda üretilen kaynaklı numunelerin yüzeylerinde herhangi bir kaynak hatasının oluşmadığı tespit edilmiştir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda, ITAB'ların ergime sınırına yakın olan bölümlerinde tane irileşmesinin olduğu, ana malzemeye yakın olana bölümlerinde ise ince yapıya sahip tanelerin oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca akım değerlerindeki artışla birlikte tane boyutunun da irileştiği belirlenmiştir. Yapılan çekme testleri sonrasında boyun verme ve kopmanın ana malzemedeki gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca çekme numunelerinin kaynak bölgelerinde herhangi bir hasar oluşmadığı belirlenmiştir. Çekme testleri sonrasında en yüksek çekme dayanımı (587 ± 5 N/mm²) 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen S355-S355 malzeme çiftinde elde edilmiştir.

Investigation of Welding Areas of S235JR And S355JR Steels Joined by MAG Welding Method Using Different Welding Parameters

Article Info

Araştırma makalesi
Başvuru: 24/10/2024
Düzeltilme: 25/11/2024
Kabul: 06/12/2024

Keywords

S235
S355
MAG welding
Micro structure
Macro structure

Abstract

In this study, S235 and S355 steels were joined using different welding parameters in the MAG welding method. Welded areas were examined non-destructively using magnetic particle method and liquid penetrant testing method. In addition, microstructure examinations were carried out in welded areas using optical microscope. In addition, tensile tests were applied to determine the tensile strength. As a result of liquid penetrant and magnetic particle tests, it was determined that no welding defects occurred on the surfaces of the welded samples produced. As a result of microstructure examinations, it was determined that grain coarsening occurred in the parts of HAZs close to the melting limit, and finely structured grains were formed in the parts close to the base material. In addition, it was determined that the grain size became larger with the increase in current values. After the tensile tests, it was determined that necking and rupture occurred in the main material. It was also determined that no damage occurred in the weld areas of the tensile samples. After the tensile tests, the highest tensile strength (587 ± 5 N/mm²) was obtained in the S355-S355 material pair combined using the welding current value number 3.

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Çelik malzemelerin ihtiyaca göre istenildiği gibi kesilip, bükülmesi ayrıca çoğu kaynak yöntemi kullanılarak kaynatılması çelik malzemeleri daha da değerli hale getirmektedir [1]. Özellikle yapı çelikleri kullanımı çelik yapılarda kiriş ve döşeme imalatında kullanılmasından dolayı 80'li yıllarla birlikte çok tercih edilen bir malzeme olmuştur [2,3]. Daha sonrasında bu çelikler ulaşım, tarım,

inşaat, savunma gibi birçok modern endüstri uygulamasında kaynakla birleştirilmiş olarak kullanılmaktadır [4].

S355 yapısal çeliğinin sahip olduğu kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri EN 10025-2 tanımlanmıştır. S355 çelikleri kaynaklanabilirlik açısından iyi özelliklere sahip bir malzeme çeşididir. Bundan dolayı da özellikle aşındırıcı ortamlar dahil olmak üzere birçok enerji, metalürji

ve makine imalatı uygulamasında sıklıkla kullanılmaktadır [5]. S235 yapısal çeliği alaşım elementlerinin az olmasından dolayı düşük maliyet gerektiren yapısal işlemlerde sıkça kullanılmaktadır [6]. Bu yapısal çelikler genellikle yük taşıyan, dinamik yüklemeler yapılan, kaynaklı olarak yorulma yüküne sahip malzemelerin imalatında kullanılmaktadır [7].

Yapısal çelikler çok farklı uygulamalarda sıkça kullanılan karbonlu çeliklerdir. Bu çeliklerin kaynaklı imalatlarında özellikle düşük maliyetlerinden dolayı genellikle MAG ve TIG kaynak yöntemleri kullanılmaktadır [5,8-10]. Bu çalışmada S355 ve S235 yapısal çelikleri MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. MAG kaynak yöntemi koruyucu gaz atmosferi altında yapılan bir manuel metal ark kaynak yöntemidir [5,11,12]. MAG kaynak yönteminin birçok değişkeni vardır. Değişkenler kaynaklı malzemenin yapısı, kimyasal içeriği, metalürjik ve mekanik özellikleri üzerine önemli etkileri bulunmaktadır [13]. S355 ve S235 yapı çelikleri minimum akma dayanımı değerlerine göre sınıflandırılmıştır [6].

Bu çalışmada, S235 ve S355 yapı çeliklerinin MAG kaynak yöntemi kullanılarak, kendi aralarında ve birbirleri ile üç farklı kaynak parametresi kullanılarak birleştirilmesi araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın amacı, özellikle güç trafoları kazan

imalatında kullanılan bu çeliklerin üretim endüstrisinde MAG kaynağı ile yapılacak olan birleştirmeleri için kaynak parametrelerini belirlemektir. Bu amaçla kaynak bölgeleri makro olarak, manyetik parçacık testi (MT) ve sıvı penetrant testiyle (PT) incelenmiştir. Ayrıca kaynak bölgelerine mikro yapısal olarak da optik mikroskop kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Ancak, kusurlar olmadan kabul edilebilir bir kaynak sağlayan kaynak parametrelerini kullanmak, kaynağın kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip olacağı anlamına gelmez. Bu sebeple ayrıca kaynaklı numunelerin dayanımlarının belirlenmesi amacıyla çekme testleri uygulanmıştır.

2. MATERIALS AND METHODS (MATERİYAL VE METOD)

Deneysel, 500x125x10 mm ebatlarında S235 ve S355 hazırlanan malzemeler, S235-S355, S235-S235 ve S355-S355 olacak şekilde gruplandırılmıştır. Hazırlanan malzemeler farklı kaynak parametreleri kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinde kullanılan S235, S355 ve EN 10204-3.1 ESAB özlü ilave tel (1.2 mm) malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1’de kimyasal içerikleri ise Tablo 2’de, verilmiştir. Deneysel çalışmalar 15 lt/dk gaz debisinde, %8 CO₂ + %92 Ar koruyucu gaz ortamında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik levhaların ve özlü tellerin mekanik özellikleri [14]. (Mechanical properties of steel plates and cored wires used in experimental studies)

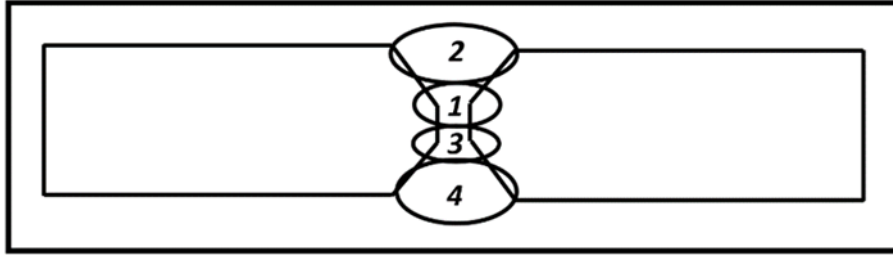
	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
S235	235	360-510	24
S355	355	470-630	20
3Si-ESAB	470	560-600	26

Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik levhaların ve özlü tellerin kimyasal birleşimi [14]. (Chemical composition of steel plates and cored wires used in experimental studies)

Malzeme	C	Mn	P	S	Si	Cu	N	Mo	Cr	Ni	Fe
S235	0.17	1.40	0.035	0.035	0.40	0.55	0.012	-	-	-	Kalan
S355	0.24	1.60	0.035	0.035	0.55	0.55	0.012	-	-	-	Kalan
EN ISO 14341-A: G	0.08	1.47	0.014	0.013	0.87	0.04	-	0.01	0.02	0.02	Kalan

Kaynak yapılacak parçalara TS EN ISO 9692-1 standartlarına göre çift taraflı olacak şekilde V kaynak ağızları açılmıştır. Daha sonra kaynaklanacak parça çiftleri aralarında 2 mm

boşluk bırakılarak sabitlenmiştir. Hazırlanan parçalar Şekil 1’de gösterildiği gibi 4 pasoda PA pozisyonu kullanılarak birleştirilmiştir. Kullanılan kaynak parametreleri Tablo 3-5’de verilmiştir.



Şekil 1. Kaynak pasoları düzenlemesi şematik görüntüsü (Schematic view of the weld pass arrangement)

Tablo 3. 1 numaralı kaynak işleminde kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used in welding process number 1)

Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım türü	Tel besleme hızı (mm/dk)	Hız (mm/sn)	Isı girdisi (KJ/mm)
1	150-170	16-17	DC (+)	4.1	120	0.017
2	220-240	23-24		8.8	70	0.050
3	150-170	16-17		4	120	0.020
4	220-240	23-24		7.3	80	0.050

Tablo 4. 2 numaralı kaynak işleminde kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used in welding process number 2)

Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım türü	Tel besleme hızı (mm/dk)	Hız (mm/sn)	Isı girdisi (KJ/mm)
1	170-190	16-17	DC (+)	4.8	110	0.020
2	270-290	23-24		8.8	70	0.070
3	170-190	16-17		4.8	110	0.020
4	270-290	23-24		8.8	70	0.070

Tablo 5. 3 numaralı kaynak işleminde kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used in welding process number 3)

Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım türü	Tel besleme hızı (mm/dk)	Hız (mm/sn)	Isı girdisi (KJ/mm)
1	180-200	18-19	DC (+)	5.2	80	0.035
2	340-360	27-29		12.2	55	0.140
3	180-200	18-19		5.2	80	0.035
4	330-350	27-29		12.5	55	0.140

Kaynak işlemlerinin ardından numunelere standartlara uygun olarak manyetik parçacık testi ve sıvı penetrant testi uygulanmıştır. Yapılan tüm testler NDT Level 2 seviyesinde uzmanlar tarafından gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır. Sıvı penetrant testlerinde, MARKER MR 311-R penetrant, MR 85 cleaner ve MR 70 developer kullanılmıştır. Testler 15 dakika bekleme süresi ve 15 dakika gelişme süresi kullanılarak yüzey temizleme üstüpuyle gerçekleştirilmiştir. Manyetik parçacık testleri MARKER MR 51 manyetik parçacık test cihazında MR 76 S manyetik toz süspansiyon ve MR 72 beyaz arka fon boya

kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca kaynaklı parçaların kaynak mikroyapıları Nikon Epiphot 200 optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri öncesi numunelere standart metalografik numune hazırlama işlemleri uygulanmıştır. Daha sonrasında numuneler %2 Nital (%98 saf su + %2 Nitrik Asit) karışımı ile dağlanmış ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca DIN EN ISO 6892-1 standartlarına uygun olarak hazırlanan çekme numunelerine TS EN ISO 4136 standartlarına uygun olarak 5 mm/dk çekme hızında, Shimadzu Ag-S1 marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

3. BULGULAR (RESULTS)

3.1. Sıvı penetrant testi (PT) (Liquid penetrant test)

Kaynaklı numunelere sıvı penetrant testleri uygulanmış ve testler TS EN ISO 23277 standardına uygun olarak raporlandırılmıştır. Şekil 2’de sıvı penetrant testi rapor örneği (S235-S235 1 nolu kaynak akımı) görülmektedir. Şekil 3-5’te sıvı penetrant test numunelerinin görüntüleri verilmiştir.

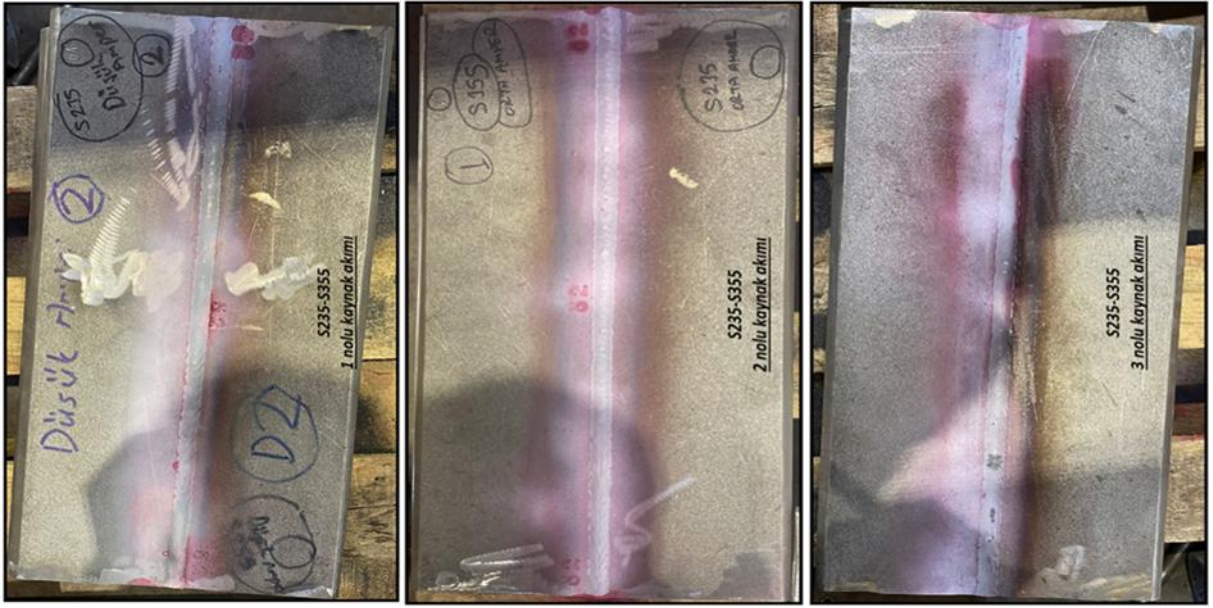
Yalçın vd. [15] P265GH ve P355NH çeliklerini MAG kaynak yöntemi, Atılğan vd. [16] ASTM A36 çeliğini tozaltı ark kaynak yöntemini kullanarak birleştirmiştir. Yapılan iki çalışmada da birleştirmelere sıvı penetrant testleri uygulanmış incelemeler sonunda kaynaklı numunelerin yüzeylerinde standart dışı herhangi bir hataya rastlanmadığı bildirilmiştir.

ASTOR		ASTOR ENERJİ A.Ş. KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU (WELD SEALING TEST AND CONTROL FORM)			
Müşteri / Customer		Uygulama Standartı / Execution Standard		TS EN ISO 23277	
Malzeme Tanımı / Material Description		Sıvı Penetrant / Penetrant		Sıvı Penetrant / Penetrant	
PENCERENİN NİHAZİ KONTROLÜ / Control after Penetration		KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONTROLÜ / Weld Sealing Control			
KONTROL TANIMI / Control of Description	KURULUŞ NİHAZİ / After Installation				
	İLK KONTROL / First Control	YERİNE KONTROL / Final Control			
	Yapımın Uygulanma Saati / Execution Time	10 EK			
	Bakımın Yapılma Saati / Maintenance Time	11 EK			
KAYNAK KONTROLÜ I / Control of Welding		KAYNAK KONTROLÜ II / Control of Welding		KAYNAK KONTROLÜ III / Control of Welding	
YANNA GİLEĞİ / Undercut	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No	YERİNEZ NERİZEY / Lack of Penetration	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No	İNİ YEMERİ / İZ / ÇATLAKLARI / Cracks	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No
GÖRENEK / Porosity	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No	ANNEZ NERİZEY / Excess Penetration	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No	KAYNAK KAYIPLARI VE GENİŞLİK / Weld Flaws and Width	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No
KAYNAK KESİMİ / Non-Fill Area	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No	KAYNAK METAL ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No	KAYNAK KAYIPLARI VE GENİŞLİK / Weld Flaws and Width	<input type="checkbox"/> D07 / No <input checked="" type="checkbox"/> H008 / No
NOT: Kaynak testleri için ilgili standartlara göre uygun testler yapılarak kontrol edilmiştir. (TS EN ISO 23277, TS EN 4320-1, v.b.)					
KONTROL EDEN - İMZA / Control / Signature		ONAY - İMZA / Approval / Signature		SONUÇ / Result	
SELANATTIN GÖRÜM DİYARDI (NDTC/2021/202)		SELANATTIN GÖRÜM DİYARDI (NDTC/2021/202)		<input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Acceptable <input type="checkbox"/> DÜŞÜK / Defect <input type="checkbox"/> İZ / Not Acceptable	

Şekil 2. Sıvı penetrant testi rapor örneği (Liquid penetrant test report example)



Şekil 3. S235-S235 1, 2 ve 3 numaralı parametreler kullanılan numunenin PT görüntüsü (S235-S235 PT image of the sample using parameters number 1, 2 and 3).



Şekil 4. S235-S355 1, 2 ve 3 numaralı parametreler kullanılan numunenin PT görüntüsü (S235-S355 PT image of the sample using parameters number 1, 2 and 3).




Şekil 5. S355-S355 1, 2 ve 3 numaralı parametreler kullanılan numunenin PT görüntüsü (S355-S355 PT image of the sample using parameters number 1, 2 and 3).

3.2. Manyetik parçacık testi (MT) (Magnetic particle test)

Kaynaklı numunelere manyetik parçacık testleri uygulanmış ve testler TS EN ISO 9934 standardına

uygun olarak raporlandırılmıştır. Şekil 6'da manyetik parçacık testi rapor örneği (S235-S235 1 nolu kaynak akımı) görülmektedir. Şekil 7-9'da manyetik parçacık test numunelerinin görüntüleri verilmiştir.

ASTOR		ASTOR ENERJİ A.Ş. KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU (WELD MAGNETIC TEST AND CONTROL FORM)			
Alınan / Customer	-	Değerlendirme Standartı / Assessment Standard	EN 12554 EN 12554-1		Rapor No-Rapor Tarihi / Report No-Report Date
Alınan Form / Material Description	S235-S235	İzotermi / Specification	-		Form No / Form No
MANYETİK PARÇACIK MEYDANI KONTROL Control after magnetic particle testing			KAYNAK GÜZGÜMLÜK KONTROLU Weld Inspection/Defect		
KONTROL TARİHİ Control of Date	KULLANILAN İZOTERMI Use of Isotherm				
	İLK KONTROL First Control	YARIN 432 GÖRÜMLÜ KONTROL Re-inspection Control			
Adaptör Parametre Çıplama Testi Magnetic particle Appl. Test	1 DN				
Baklava İstemi Weld Test	-				
Control Vapora Testi Control of Flux	1 DN				
Yük Testi The Amount of Loadage					
KAYNAK KONTROLÜ Control of Welding		Kaynak İstemi var mı ? Is there a welding defect?	KAYNAK KONTROLÜ Control of Welding		Kaynak İstemi var mı ? Is there a welding defect?
YANMA GÜZÜĞÜ Undercut	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes	YERLEŞİM NEFİSİYETİ Joint Penetration	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes	DEĞİŞİK BÖLGE ÇATKILARI DEFECTS	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes
GÖRÜNME Porosity	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes	AKIKI NEFİSİYETİ Excess Penetration	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ Weld Thickness and Width	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes
KAYNAK KALINLIĞI Weld Thickness	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes	KAYNAK METALI ÇATKILARI Weld Metal Cracks	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes	KAYNAK BAĞLAMA BİTİRİLMİŞİ Weld Bevel Finish	<input type="checkbox"/> EYİT / No <input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Yes
NOT: Kaynak beveleri için uygun maddelerle boyanmış bölge her kırılmaya kadar tespit edilebilir. (EN 12554-1, EN 12554-1-1:3)					
KONTROL EDEN - İMZA Control - Signature		ONAY - İMZA Approval - Signature		SONUÇ / Result	
SELAMETTİN GÖKEM DİYARCI (NOTC/2023-201)		SELAMETTİN GÖKEM DİYARCI (NOTC/2023-201)		<input checked="" type="checkbox"/> İYİ / Acceptance <input type="checkbox"/> ÇUKUR / Repeal <input type="checkbox"/> HİT / Refused	

Şekil 6. Manyetik parçacık testi rapor örneği (Magnetic particle testing report example)



Şekil 7. S235-S235 1, 2 ve 3 numaralı parametreler kullanılan numunenin MT görüntüsü (S235-S235 MT image of the sample using parameters number 1, 2 and 3)



Şekil 8. S235-S355 1, 2 ve 3 numaralı parametreler kullanılan numunenin MT görüntüsü (S235-S355 MT image of the sample using parameters number 1, 2 and 3)



Şekil 9. S355-S355 1, 2 ve 3 numaralı parametreler kullanılan numunenin MT görüntüsü (S355-S355 MT image of the sample using parameters number 1, 2 and 3)

Kaynaklı numunelere uygulanan manyetik parçacık testleri sonrasında hazırlanan uzman raporlarında kaynak yüzeylerinde görülebilen herhangi bir hata tespit edilmediği ve kaynakların standartlara uygun oldukları belirtilmiştir. Öntürk, [17] S355J2N yapı

çeliklerini MAG kaynak yöntemi kullanarak birleştirmiştir. Yapılan birleştirmelere manyetik parçacık testleri uygulanmış, incelemeler sonunda kaynaklı numunelerin yüzeylerinde standart dışı herhangi bir hataya rastlanmadığı bildirilmiştir.

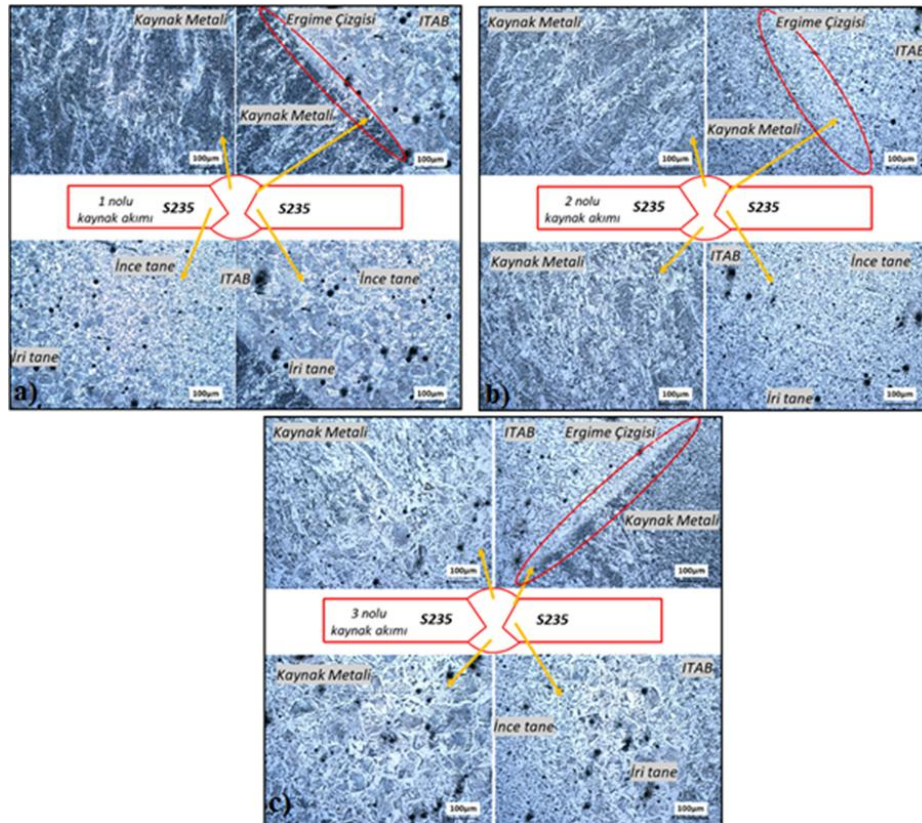
3.3. Mikroyapı incelemeleri (Microstructure investigations)

MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen S235 ve S355 yapı çeliklerinin kaynak bölgelerine ait mikroyapı resimleri Şekil 10-12'de verilmiştir.

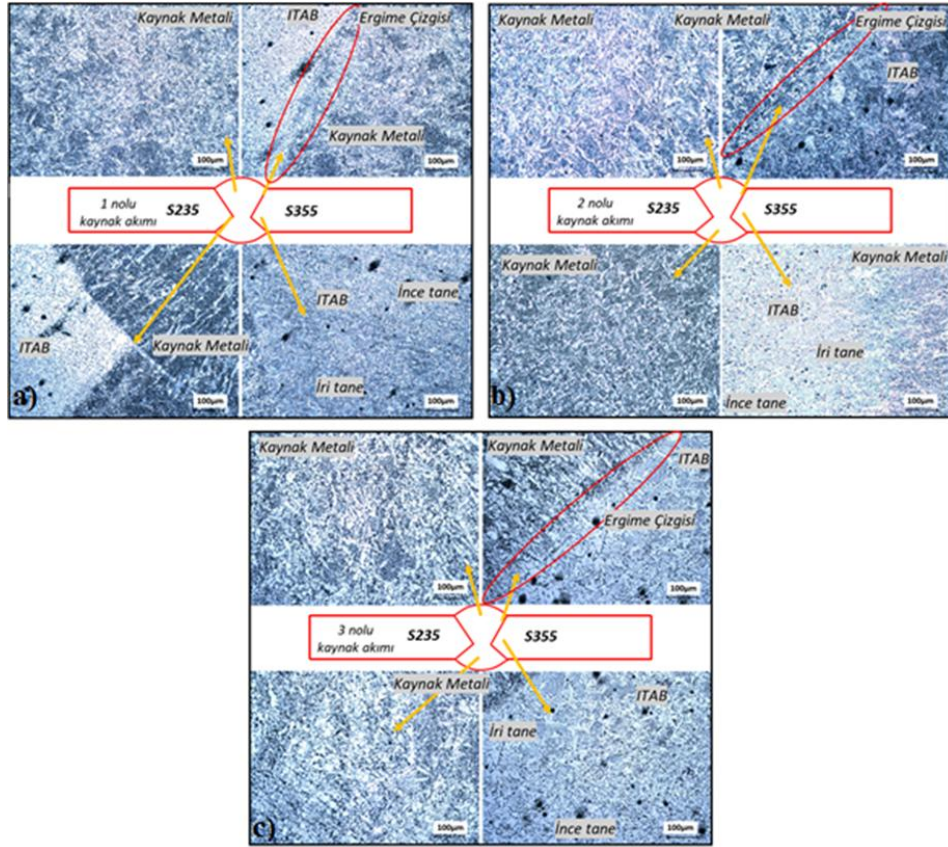
MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen S235 ve S355 yapı çeliklerine ait numunelerin mikroyapı görüntülerine yapılan incelemelerde, kaynak bölgelerinde tane yapılarında irileşme olduğu görülmüştür. Tanelerin dendiritik kollar oluşturarak ergime çizgisinden kaynak merkezine doğru yönlendiği belirlenmiştir. Ayrıca kaynak metalinde asiküler ferrit oluşumu tespit edilmiştir. Numunelerin ITAB'larının ergime sınırına yakın bölümlerindeki tanelerde irileşme meydana geldiği (S235 ve S355 ana malzemelere göre), ITAB'larının ana malzemeye yakın bölümlerindeki tanelerde ise inceme meydana geldiği tespit edilmiştir. S235-S355 malzeme çiftlerinde oluşan kaynaklı bölgelerin numunelerde S235 çeliği tarafındaki ITAB'ın tanelerinin S355 çeliği tarafındaki ITAB'ın tanelerine göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Bunların yanı sıra bütün

kaynaklı numunelerde kaynak metalinden ITAB'a geçişi ve oluşan ergime çizgileri net olarak tespit edilmiştir. Ayrıca akım değerlerindeki artışla birlikte tane boyutlarında gözle görülür bir irileşmenin olduğu belirlenmiştir.

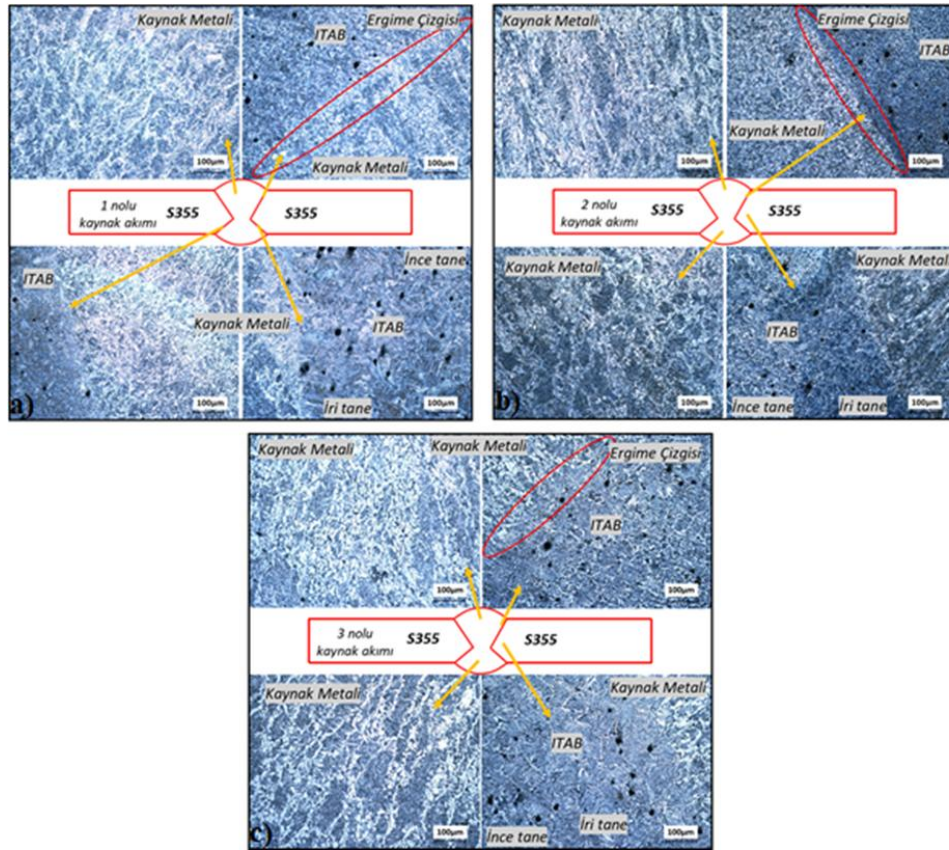
Kaya [3] S355 ve S355 çelikleri MAG kaynak yönteminde özlü tel elektrot kullanarak birleştirmiştir. Kaynaklı numunelere gerçekleştirdiği mikroyapı incelemelerinde, kaynak metaline komşu bölgelerde tane irileşmesinin meydana geldiği ergime sınırının net olarak belirlendiği ve ayrıca ergime sınırından kaynağın merkezine doğru dendiritik kollara oluştuğu bildirmiştir. Ayrıca kaynak metali içinde asiküler ferrit oluşumu olduğunu tespit etmiştir. Son olarak S235 ve S355 malzemelerin kaynaklandığı uygulamada S235 çeliğe ait ITAB'ın tanelerinin S355 çeliğin ITAB'ının tanelerine kıyasla küçük olduğunu bildirmiştir.



Şekil 10. S235-S235 numunelerin mikroyapı görüntüleri a) 1 numaralı parametreler b) 2 numaralı parametreler c) 3 numaralı parametreler (Microstructure images of S235-S235 samples a) parameters number 1 b) parameters number 2 c) parameters number 3)



Şekil 11. S235-S355 numunelerin mikroyapı görüntüleri a) 1 numaralı parametreler b) 2 numaralı parametreler c) 3 numaralı parametreler (Microstructure images of S235-S355 samples a) parameters number 1 b) parameters number 2 c) parameters number 3)



Şekil 12. S355-S355 numunelerin mikroyapı görüntüleri a) 1 numaralı parametreler b) 2 numaralı parametreler c) 3 numaralı parametreler (Microstructure images of S355-S355 samples a) parameters number 1 b) parameters number 2 c) parameters number 3)

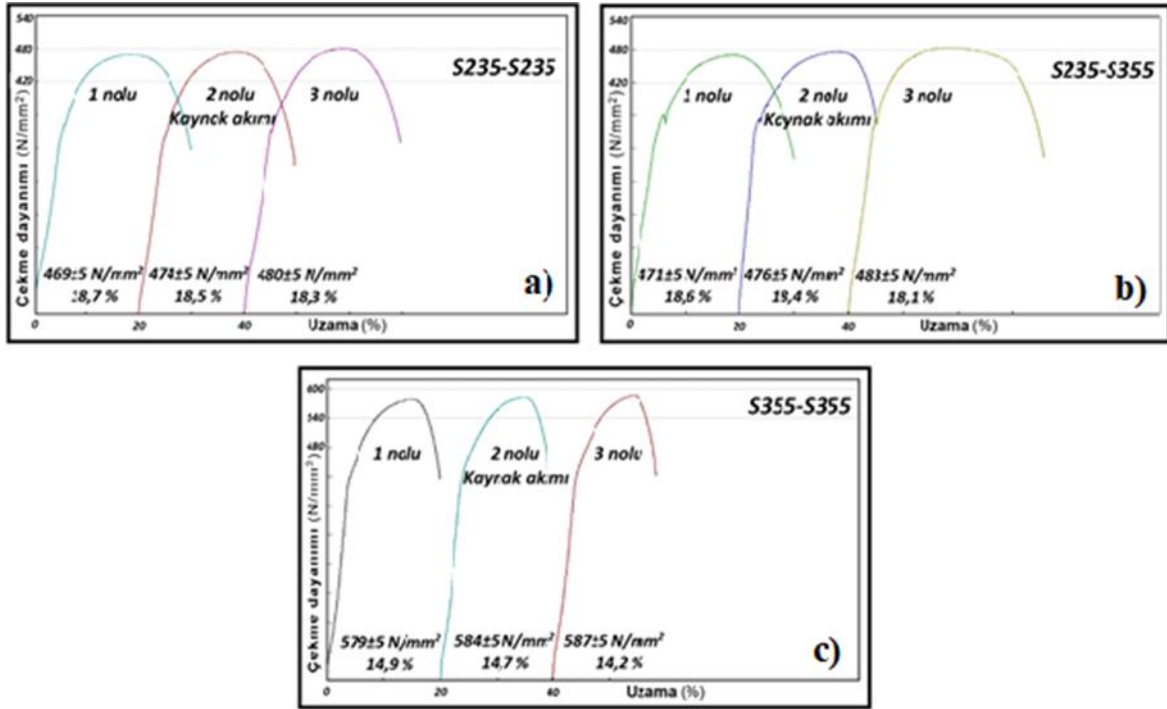
3.4. Çekme testi (Tensile test)

Yapılan çekme testleri sonrasında S235-S235, S235-S355 ve S355-S355 malzeme çiftlerine ait çekme grafikleri Şekil 13'de, sonuçlar ise Tablo 6'da verilmiştir. Ayrıca çekme testleri sonrasında oluşan kopma görüntüleri de Şekil 14'te görülmektedir. S235-S235 kaynaklı malzeme çiftlerinin çekme dayanımlarının sonuçları incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı değerinin 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numuneden (480 ± 5 N/mm²) elde edilmiştir. S355-S355 kaynaklı malzeme çiftlerinin çekme sonuçları incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı

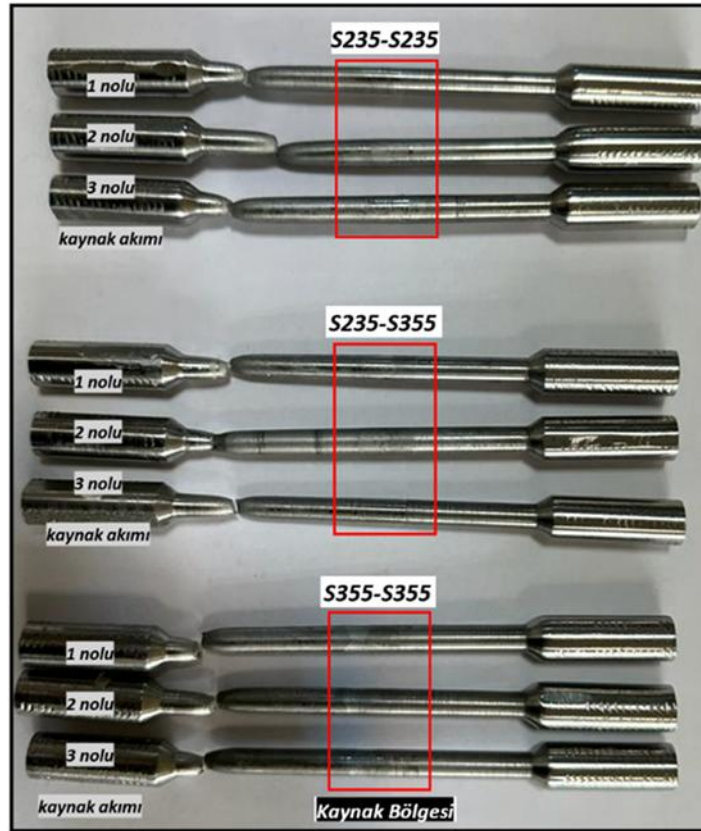
değerinin 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numuneden (587 ± 5 N/mm²) elde edilmiştir. S235-S355 kaynaklı malzeme çiftlerinin çekme sonuçları incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı değerinin 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numuneden (483 ± 5 N/mm²) elde edilmiştir. Bu sonuçlar göstermektedir ki en yüksek sertlik değeri 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen S355-S355 malzeme çiftinde elde edilmiştir. Ayrıca çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm malzeme çiftleri için 3 numaralı akım değerinde en yüksek sertlik değerleri elde edilirken onu sırasıyla 2 ve 1 numaralı kaynak akım değerleri takip etmektedir.

Tablo 6. Çekme test sonuçları a) S235-S235 b) S235-S355 c) S355-S355 (Tensile test results a) S235-S235 b) S235-S355 c) S355-S355)

	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
S235JR-S235JR (1 no)	469	18.7
S235JR-S235JR (2 no)	474	18.5
S235JR-S235JR (3 no)	480	18.3
S235JR-S355JR (1 no)	471	18.6
S235JR-S355JR (2 no)	476	18.4
S235JR-S355JR (3 no)	483	18.1
S355JR-S355JR (1 no)	579	14.9
S355JR-S355JR (2 no)	584	14.7
S355JR-S355JR (3 no)	587	14.2



Şekil 13. Çekme testi grafikleri a) S235-S235 b) S235-S355 c) S355-S355 (Tensile test graphs a) S235-S235 b) S235-S355 c) S355-S355)



Şekil 14. Çekme testleri sonrasında oluşan kopma görüntüleri (Rupture images after tensile tests)

Çekme dayanımları ve çekme sonrası oluşan kopma yüzeyleri birlikte incelendiğinde tüm birleştirmelerin ana malzeme tarafından boyun verdikleri ve kopmaların sünek olarak ana malzemelerde meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca çekme işlemi sırasında numunelerin kaynak bölgelerinde herhangi bir hasar oluşmadığı da gözlemlenmiştir. Yapılan çekme testleri S235-S235 ve S235-S355 kaynaklı malzeme çiftlerinin çekme dayanım değerlerinin birbirine yakın olduğunu göstermiştir. Bu durum birleştirmelerde kopmanın S235 ana malzemede gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca çekme testleri sonrasında elde edilen çekme dayanımı sonuçları Tablo 2’de verilen S235 ve S355 malzemelere ait çekme dayanımları ile karşılaştırıldığında kaynaklı birleştirmelerin kaynaklı malzemelerden daha yüksek yüksek çekme dayanımına sahip oldukları görülmektedir.

Çekme testleri sonrasında elde edilen % uzaması değerleri incelendiğinde S235-S235 kaynaklı malzeme çiftlerinin % uzama değerleri incelendiğinde, en yüksek % uzaması değerinin 1 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numuneden (%18,7) elde edilmiştir. S355-S355 kaynaklı malzeme çiftlerinin % uzaması değerleri incelendiğinde, en yüksek % uzaması değerinin 1 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numuneden (%14,9) elde

edilmiştir. S235-S355 kaynaklı malzeme çiftlerinin % uzaması değerleri incelendiğinde, en yüksek % uzaması değerinin 1 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numuneden (%18,6) elde edilmiştir. Tüm kaynaklı malzeme çiftlerinde en yüksek % uzama değerleri 1 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak yapılan birleştirmelerden elde edilmiştir. Onu sırasıyla 2 ve 3 numaralı kaynak akım değerleri kullanılarak yapılan birleştirmeler takip etmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kaynak akım değerleri arttıkça % uzama değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalmanın kaynak bölgesindeki sertlik artışı ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çekme testleri sonrasında elde edilen % uzama değerleri Tablo 2’de verilen S235 ve S355 malzemelere ait % uzama değerleri ile karşılaştırıldığında kaynaklı birleştirmelerin % uzama değerlerinde bir azalma meydana geldiği görülmektedir.

Atılğan [18] ASTM A36 çelikleri tozaltı kaynak yöntemi kullanarak birleştirmiş mekanik özelliklerini incelemiştir. Gerçekleştirilen çekme testlerinde kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinin kaynaklı ana malzemeye göre azaldığını belirtmiştir. Bu azalmanın kaynak bölgesindeki ısı girdisinin sebep olduğu sertlik artışından kaynaklandığını bildirmiştir. Ünlü vd [19], MIG-MAG kaynak yöntemi ile S235JR çeliğini MIG-MAG kaynak yöntemini kullanarak

farklı amper değerlerinde birleştirdiği çalışmasıyla, Yalçın [20] P355NH ve P265GH çeliklerini MAG kaynak yöntemi kullanarak birleştirdiği çalışmada uygulanan çekme testlerinin hepsinde kopmaların esas metalde gerçekleştiği belirtilmiştir.

4. CONCLUSIONS (SONUÇLAR)

- Uygulanan sıvı penetrant ve manyetik parçacık testleri sonucunda, S235 ve S355 yapı çeliklerine belirlenen kaynak parametreleri uygulanarak MAG kaynak yöntemi kullanılarak üretilen kaynaklı numunelerin yüzeylerinde herhangi bir kaynak hatasının oluşmadığı tespit edilmiştir.
- Uygulanan mikroyapı incelemeleri sonucunda, kaynak bölgelerinde tanelerin irileştiği, tanelerde dendiritik kollar oluşturarak ergime çizgisinden kaynak merkezine doğru bir yönelme olduğu ve kaynak metalinde asiküler ferrit oluşumu olduğu tespit edilmiştir. ITAB'ların ergime sınırına yakın olan bölümlerinde tane irileşmesinin olduğu, ana malzemeye yakın olana bölümlerinde ise ince yapıya sahip tanelerin oluştuğu belirlenmiştir. S235-S355 malzeme çiftine yapılan kaynak işlemlerinde S235 çeliği tarafındaki ITAB'ın tanelerinin S235 çeliği tarafındaki ITAB'ın tanelerine göre küçük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm numunelerde kaynak metali ITAB geçişi ve ergime çizgisinin belirgin olarak görüldüğü tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak akım değerlerindeki artışla birlikte tane boyutunun da irileştiği belirlenmiştir.
- Yapılan çekme testlerinde boyun verme ve kopma ana malzemeden gerçekleşmiştir. Kopma sünek olarak meydana gelmiştir. Ayrıca çekme numunelerinin kaynak bölgelerinde herhangi bir hasar oluşmamıştır. En yüksek çekme dayanımı (587 ± 5 N/mm²) 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen S355-S355 malzeme çiftinde elde edilmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Ferhat YALÇIN: Deneyleri yapmıştır.
Perofrmed the experiments.

Mehmet Serkan YILDIRIM: Sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He analyzed the results and completed the writing process of the article.

Yakup KAYA: Sonuçlarını analiz etmiştir.

He analyzed the results.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Uslu G., İnanoğlu A., "Kalın S235JR Malzemelerinin Mekanik Özelliklerine Kök Boşluklu ve Boşluksuz Kaynağın Etkisi", İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları, 4(2):59-71, (2023).
- [2] Şık A., "MIG/MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (4): 769-777, (2007).
- [3] Kaya Y., "S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla mag kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması", Politeknik Dergisi, 21(3): 597-602, (2018).
- [4] Öztürk T. Z., Pehlivan A., K., "Investigation of Mechanical Properties of Welding Electrodes Used For High Strength Low Alloy Steels", Journal of Naval Sciences and Engineering, 16(2):171-192, 2020.
- [5] Irsel G., "Study of the microstructure and mechanical property relationships of shielded metal arc and TIG welded S235JR steel joints", Materials Science & Engineering A, 830, (2022). <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.142320>.
- [6] Başyığıt B. A., Solak B., "The Effects of Flux Type on Mechanical and Microstructural Properties of S235 Structural Steel by Submerged Arc Welding", El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2): 659-666, 2020. DOI :10.31202/ecjse.688582.

- [7] Miturska I., Rudawska A., “Structural factors influence on strength properties of S235JR steel welded joints”, Journal of Physics: Conference Series, 1736, 2021. doi:10.1088/1742-6596/1736/1/012004
- [8] W. Guo, S. Dong, W. Guo, J.A. Francis, L. Li, Microstructure and mechanical characteristics of a laser welded joint in SA508 nuclear pressure vessel steel, Mater. Sci. Eng. 625 (2015) 65–80, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.11.056>
- [9] Aksöz, S., Ada, H. ve Özer, A., “Microstructure and Mechanical Properties of API 5L X70 Grade Steel Pipes Produced by Submerged Arc Welding Method”, GU J Sci, Part C, 55:(1), 55-64, 2017.
- [10] Aksöz, S., Ada, H., Fındık, T., Çetinkaya, C., Bostan, B. ve Candan İ., “API 5L X65 çeliklerinin elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, kaynak işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, El-Cezeri 4:(1), 72-81, 2017.
- [11] M.K. Agrawal, R.P. Singh, Materials Today : proceedings Effect of external magnetic field on impact strength and hardness of weld of shielded metal arc welding process, Mater. Today Proc. (2021), <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1219>.
- [12] Ada, H., Aksöz, S., Fındık, T., Çetinkaya, C., Bostan, B. ve Candan İ., “API 5L X65 çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, kaynak işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 31:(ÖS1), 1-10, 2016.
- [13] Kolhe P., K., Teshome F., Aragaw Mulu A., “Effects of Shielded Metal Arc Welding Process Parameters on Mechanical Properties of S355JR Mild Steel”, Advances of Science and Technology, 308:525–536, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43690-2_38.
- [14] Gültöplayan, H., “Güç Trafoları Kazan İmalatında Kullanılan Sacların MAG Kaynak Yöntemi İle Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-97, 2023.
- [15] Yalçın F., Yıldırım M. S. ve Kaya Y., “Basınçlı kap çeliklerin MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Politeknik Dergisi, 27:(5), 1889 – 1901, 2024. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1385257>
- [16] Atılğan Y., Yıldırım M. S. ve Kaya Y., “Depolama Tanklarının İmalatında Farklı Amperlerde Tozaltı Kaynağının Uygulanması ve Kaynak Bölgesinin İncelenmesi”, Politeknik Dergisi, *(*) : *, (*).
- [17] Öntürk N., Özkan E., “Kaynak Uygulaması ile S355J2N Yapı Çeliğinde Artık Gerilme Oluşturulması ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, European Journal of Engineering and Applied Sciences, 1(1):39-42, 2018
- [18] Atılğan, Y., “Depolama tankı imalatında tozaltı ark kaynağı uygulaması ve kaynak bölgesinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-88, 2022.
- [19] Ünlü, B. S., Yılmaz, S. S., Uzkuş, M., “MIG/MAG kaynağı ile farklı akım şiddetlerinde birleştirilmiş Fe 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mekanik özellikleri”, 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’11), Elazığ, 356-359, 2011.
- [20] Yalçın, F., “Basınçlı kap çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve tahribatsız/tahribatlı muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-80, 2023.