



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



3Cr12 ferritik paslanmaz çeliklerin gaz metal ark kaynağıyla birleştirilmesinde ilave tel türünün mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması

Investigation of the effect of additional wire type on microstructure and mechanical properties in joining 3Cr12 ferritic stainless steels with gas metal arc welding

Yazar(lar) (Author(s)): Cemil ÇETİNKAYA¹, Serhat TAŞÇI², Hakan ADA³

ORCID¹: 0000-0002-0298-1143

ORCID²: 0009-0005-8594-9761

ORCID³: 0000-0002-0412-5789

To cite to this article: Çetinkaya C., Taşçı S. ve Ada H., “3Cr12 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Gaz Metal Ark Kaynağıyla Birleştirilmesinde İlave Tel Türünün Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, *Journal of Polytechnic*, 26(4): 1651-1660, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Çetinkaya C., Taşçı S. ve Ada H., “3Cr12 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Gaz Metal Ark Kaynağıyla Birleştirilmesinde İlave Tel Türünün Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 26(4): 1651-1660, (2023).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1392366

3Cr12 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Gaz Metal Ark Kaynağıyla Birleştirilmesinde İlave Tel Türünün Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması

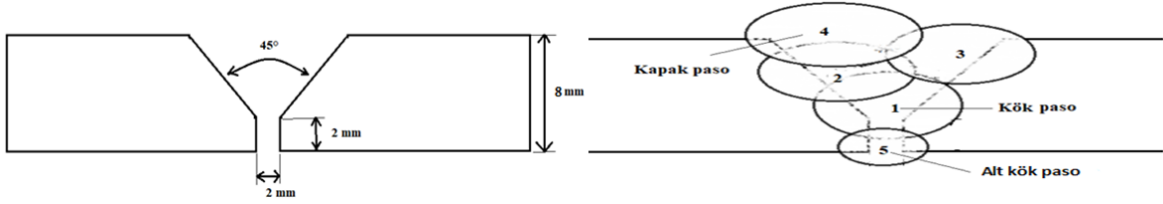
Investigation of the Effect of Additional Wire Type on Microstructure and Mechanical Properties in Joining 3Cr12 Ferritic Stainless Steels with Gas Metal Arc Welding

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ 3Cr12, gaz metal ark kaynağı ile birleştirilmiştir. / 3Cr12 is joined by gas metal arc welding.
- ❖ 3 farklı ilave tel kullanılmıştır. / 3 different additional wires were used.
- ❖ Mikroyapı incelemelerinde bulunulmuştur. / Microstructural examinations were carried out.
- ❖ Mekanik özellikleri incelenmiştir. / Mechanical properties were examined.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

3Cr12 ferritik paslanmaz çeliği ER308LSi, ER309LSi ve ER316LSi kaynak telleri kullanılarak gaz metal ark kaynağı yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak bölgesinin metalurjik ve mekanik özellikleri ilave tellerin karşılaştırmalı analizi yapılarak incelenmiştir.



Şekil. Levhaların kaynak ağızı ve paso sıralaması / Figure. Groove weld of sheets and pass orders

Amaç (Aim)

3Cr12'nin kullanılan parametreler kapsamında kaynaklanabilirliğini incelemek. / To examine the weldability of 3Cr12 within the scope of the used parameters.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Gaz metal ark kaynağı yöntemi. / Gas metal arc welding method.

Özgünlük (Originality)

Bulgular standart deneylere dayandırılmıştır. / Findings are based on standard experiments.

Bulgular (Findings)

Mikroyapı incelemeleri ve mekanik test sonuçlarını içermektedir. / Includes microstructural examinations and mechanical test results.

Sonuç (Conclusion)

Kullanılan her üç telin, 3Cr12'nin kaynaklanabilirliği için olumsuz bir etkisi görülmemiştir. / All three wires used had no negative impact on the weldability of 3Cr12.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

3Cr12 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Gaz Metal Ark Kaynağıyla Birleştirilmesinde İlave Tel Türünün Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması

(Bu çalışmanın bir kısmı 9. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi'nde sunulmuştur. / Part of this study was presented at the 9th International Congress on Engineering and Technology Management.)

Araştırma Makalesi / Research Article

Cemil ÇETİNKAYA¹, Serhat TAŞÇI², Hakan ADA³

¹Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Türkiye

³Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 17.11.2023 ; Kabul/Accepted : 30.11.2023 ; Erken Görünüm/Early View : 12.12.2023)

ÖZ

3Cr12 ferritik paslanmaz çelikler, yapı çelikleri ile östenitik paslanmaz çelikler arasında bir korozyon direnci performansı sergilemekte olup, yapı çeliklerine yakın mekanik özellikleri ile bilinmektedir. Bu çalışmada farklı ilave teller ile birleştirilen 3Cr12 ferritik paslanmaz çelik malzemelerin kaynaklı birleştirme performansı araştırılmıştır. Çalışmada ilave tel olarak ER308LSi, ER309LSi ve ER316LSi kaynak telleri kullanılarak gaz metal ark kaynağı yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi sonrasında gerçekleştirilen görsel muayenede herhangi bir hata görülmemiştir. Birleştirmelerden alınan numunelerin yapısal karakterizasyonunu belirlemek için, numunelere makroyapı ve mikroyapı incelemeleri; mekanik karakterizasyonunu belirlemek için ise; çekme, sertlik ve eğme testleri uygulanmıştır. Makro incelemelerde; kaynak metali (KM) ve ısıdan etkilenen bölge (IEB) açıkça ayır edilebilmektedir. Kaynak kalitesini ve mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilecek boşluk, çatlak ve nüfuziyet eksikliği gibi hatalar görülmemiştir. Mikro incelemelerde ise KM ile ana metal arasındaki yapısal değişimler ile ergime - katılma çizgisi açıkça tespit edilmiştir. Çekme testlerinde, ER308LSi tel ile yapılan birleştirmenin % uzama, akma ve çekme mukavemeti değerlerinin diğer tellerle yapılan birleştirmelerden çok az seviyede daha iyi sonuçlar sergilemiştir. Sertlik testlerinde, ortalama sertlik değerleri yaklaşık olarak ana metalde 150 HV, IEB'de 300 HV, KM'de ise 190 HV ölçülmüştür. Eğme testlerinde ise kaynaklı birleştirmelerin, yaklaşık olarak malzeme kadar süneklik sergilediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gaz metal ark kaynağı, ferritik paslanmaz çelik, 3Cr12, mikroyapı, mekanik özellikler.

Investigation of the Effect of Additional Wire Type on Microstructure and Mechanical Properties in Joining 3Cr12 Ferritic Stainless Steels with Gas Metal Arc Welding

ABSTRACT

3Cr12 ferritic stainless steels exhibit corrosion resistance performance intermediate between structural steels and austenitic stainless steels and are known for mechanical properties close to structural steels. In this study, the welded joint performance of 3Cr12 ferritic stainless steel materials joined with different addition wires was investigated. In the study, ER308LSi, ER309LSi and ER316LSi welding wires were used as additional wires and joined by the gas arc welding method. No errors were observed in the visual inspection performed after the joining process. Macrostructure and microstructure examinations were performed to determine the structural characterisation of the specimens, and tensile, hardness and bending tests were performed to determine the mechanical characterisation. In macro studies; weld metal (WM) and heat affected zone (HAZ) can be clearly distinguished. There are no defects such as gaps, cracks and lack of penetration that could negatively affect the weld quality and mechanical properties. In micro examinations, structural changes and the melting-solidification line between WM and the base metal were clearly identified. In tensile tests, the % elongation, yield and tensile strength values of the joints made with ER308LSi wire showed slightly better results than the joints made with other wires. In hardness tests, average hardness values were measured as approximately 150 HV in the base metal, 300 HV in HAZ, and 190 HV in WM. In bending tests, it was determined that welded joints exhibited approximately as much ductility as the material.

Keywords: Gas metal arc welding, ferritic stainless steel, 3Cr12, microstructure, mechanical properties.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : serhat.tasci@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Paslanmaz çelikler, krom oranı yüksek karbon oranı ise düşük çelik türleridir. Bileşimlerinde Cr, Ni, Mo, N gibi alaşım elementleri de içermektedir. Çeliklerde paslanmaz özelliğinin oluşması için bileşimlerinde en az % 12 oranında krom olması gerekmektedir [1]. Şekillenebilirlik ve süneklikleri oldukça iyidir. Ancak yüksek sıcaklıkta dayanımları östenitik çelikler kadar iyi değildir [2-4]. Paslanmaz çelikler, korozyon direnci ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Mükemmel korozyon direnci, yüzeyinde oluşan kimyasal oksit filminin bir sonucudur [5-11]. Hızla gelişen günümüz endüstrisinde, konstrüksiyon/imalat alanının büyük bir kısmını paslanmaz çelik grubu malzemeler oluşturmaktadır. Ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerden sonra en yaygın kullanılan paslanmaz çelik türü olup, iyi bir korozyon direncine sahiptir ve östenitik paslanmaz çeliklere göre maliyetleri daha düşüktür. Ferritik paslanmaz çelikler, paslanmaz çeliklerdeki korozyon direnci ile karbon çeliklerindeki mekanik özellikleri taşıması için geliştirilmiştir [12]. Ferritik paslanmaz çelikler otomobil şase parçaları, egzoz elemanları, sıcak su tankları, mutfak gereçleri ve dekoratif uygulamalar gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmakta olup, AISI 409, 430 ve 439 kaliteleri örnek verilebilir [13]. 3Cr12 ferritik paslanmaz çelik, kaynaklanabilirliği ve şekillendirilebilirliği ile birlikte diğer çeliklerde olduğu gibi yüksek sıcaklık ve korozyon direncine sahip bir çelik türüdür. 3Cr12 çeliği, 409 kalite çeliğin modifikasyonundan üretilmiş olup, sahip olduğu krom içeriği ve düşük fiyatı bu çelik türünü öne çıkaran özelliklerdir. 3Cr12 çeliği, alüminyum, galvaniz ve karbon çeliklerinin düşük performans gösterdiği uygulamalarda kullanılır, ancak dezavantajı klorür içeren çözeltilerde çatlak ve çukur korozyonuna karşı düşük direnç sergilemesidir [5]. Diğer yandan, düşük ısı genleşme, iyi oksidasyon ve yüksek sıcaklık dayanımı ve östenitik paslanmaz çeliklere göre kolay şekillendirilebilme özelliği, bu grupta yer alan çeliklerin karakteristik özelliklerini oluşturmaktadır [13]. Şiddetli korozyon koşullar içermeyen ortamlarda 304, 316L gibi östenitik paslanmaz çeliklere alternatif olarak görülebilmektedir. Uygun maliyeti dolayısıyla yapı uygulamalarında, otomotiv sektöründe egzoz sistemlerinde ve trimlerde, pişirme kaplarında, sıcak su tanklarında, vagon ve tren parçalarında, petrol hatlarında, mimari yapılarda taşıyıcı olarak sıklıkla kullanılmaktadır [14-18].

3Cr12 ferritik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirme işlemleri kapsamında yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Kamble ve Rao'nun yaptığı çalışmada [19], kaynak gerilimi, kaynak hızı, tel besleme hızı ve gaz akış hızı dikkate alınarak 3Cr12 çeliğinin kaynağı için gaz metal ark kaynağı işlemi kullanılmış ve yükseklik, genişlik ve penetrasyon gibi geometrileri ile çekme mukavemeti ve sertlik gibi mekanik özellikler belirlenmiştir. Madyira ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada metal transfer modlarının kaynaklı 3Cr12 paslanmaz çeliğin mekanik

özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır [20]. Mikroskobik inceleme, alt tabakanın çift fazlı (ferritik-martensitik) mikroyapı ile karakterize edildiğini ortaya koymuş, çekme mukavemeti ve Charpy darbe enerjisi sırasıyla 498 MPa ve 102 J olarak ölçülmüştür. Kaynaklı malzemelerin ısıdan etkilenen bölgesinde ise tane büyümeleri gözlenmiştir. Chaudhari ve More yaptıkları çalışmada, gaz metal ark kaynağındaki (GMAW) işlem parametrelerinin çekme dayanımları üzerindeki etkilerini incelemiştir [21]. Proses kontrol parametreleri olan voltaj, tel besleme hızı, kaynak hızı ve gaz akış hızının çekme mukavemeti üzerindeki etkisini bulmak için bir takım deneyler yapılmıştır. Kaynaklı bağlantının mukavemet özellikleri, çekme cihazı ile test edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Taban ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, EN 1.4003 ve UNS S41003 kalitelerine uygun çok düşük karbon seviyesine (%0.01) sahip modifiye edilmiş %12 Cr paslanmaz çeliği kaynaklanabilirliği iyileştirmek için gaz metal ark kaynağı ile ER309LSi, ER308LSi ve ER316LSi östenitik paslanmaz çelik sarf malzemeleri kullanarak birleştirmişlerdir [22]. Elde edilen tüm veriler göz önüne alındığında, 484 ile 504 MPa aralığında iyi çekme mukavemeti değerleri ve tatmin edici süneklik sonuçları belirlenirken, mikroyapı-özellik ilişkisi açıklanmıştır. Çalışmada 308 ve 309 kaynak tellerine kıyasla daha iyi korozyon direnci için 316 kaynak telleri tavsiye edilmiştir. Klopper ve arkadaşları ise kalıntı gerilmeleri inceledikleri çalışmada 3Cr12 paslanmaz çeliklerini tam nüfuziyetli lazer, manuel metal ark (MMA) ve metal inert gaz (MIG) yöntemleriyle birleştirmişlerdir [23]. Tüm kesitler, kaynak çevresinde büyük ölçüde çekme kalıntı gerilme alanı göstermiş ve daha sonra flanş bölgelerinde bir sıkıştırma kalıntı gerilme alanı oluşturmuştur. Bu durum en çok MMA ve MIG kaynakları için belirgin olup, lazer kaynaklı kesitler, daha düşük ortalama gerilmeler sergilemiştir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin paslanmazlık özelliğini, karbon çeliklerinin ise mekanik özelliklerini bünyesinde barındıran 3Cr12 ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağıyla ilgili literatürdeki birçok çalışma incelenmiştir. Söz konusu çalışmalardan anlaşılacağı üzere; 3Cr12 paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirme işlemleri ve bu işlemlerde kullanılacak en uygun ilave (kaynak) metalin seçilmesi doğru tasarım için önem arz etmektedir. Gaz metal ark kaynağındaki önemli konulardan biri yapılacak işin ihtiyacına uygun ilave telin seçilmesidir. Hatalı ilave malzeme seçimi zaman ve malzeme kaybına neden olabileceği gibi, hatalı bir kaynak dikişi verecektir [24]. Bu nedenle, 3Cr12 ferritik paslanmaz çeliklerin ER308LSi, ER309LSi ve ER316LSi ilave teller kullanılarak, gaz metal ark kaynağı ile birleştirildiği bu çalışmada, kullanılan üç farklı özellikteki ilave telin, kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılarak, söz konusu malzeme için en uygun ilave tel belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada, 3Cr12 ferritik paslanmaz çeliğin kaynaklanabilirliğini irdelemek için gaz metal ark kaynak metoduyla, farklı ilave teller kullanılarak birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan 3Cr12 malzemesinin kimyasal kompozisyonu ve mekanik değerler Çizelge 1’de verilmiştir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında koruyucu gazın muhteviyatında yüksek oranda Ar tercih edildiğinden, kaynak işleminde koruyucu gaz olarak; %82 Ar ve %18 CO₂ içeren M21 kodlu karışım gaz kullanılmıştır. Bu çalışma için temin edilen malzemenin kalın olması sebebiyle daha iyi nüfuziyet ve yüzey görüntüsü sağlayabilmek için CO₂ miktarı bir miktar yüksek olan karışım gazı tercih edilmiştir. Paslanmaz çeliklerin

2.2. Metod (Method)

Bu çalışma için hazırlanan 350x135x8 mm boyutundaki 3Cr12 levhalar, M21 koruyucu gaz atmosferinde ER308LSi, ER309LSi ve ER316LSi ilave teller kullanılarak gaz metal ark kaynağı ile birleştirilmiştir.

Birleştirme işlemi öncesinde 3Cr12 levhalara Y tipi kaynak ağzı açılmıştır (Şekil 1.a). Birleştirme işlemleri malzeme kalınlığına bağlı olarak çoklu paso işlemleriyle 5 pasoda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.b).

Kaynak işlemleri Çizelge 3’te verilen parametrelere uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir pasonun kaynak süresi kaydedilmiş, dikiş uzunluğuna göre kaynak hızları ve bu hızlara bağlı olarak ısı girdileri hesaplanmıştır.

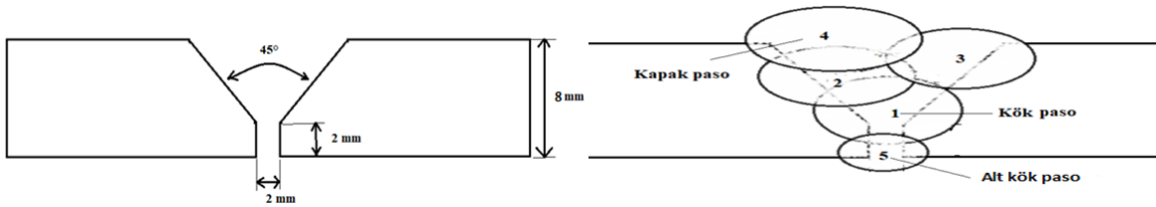
Çizelge 3’te verilen parametrelere uygun olarak gerçekleştirilen kaynaklı birleştirme işlemlerinde As Kaynak marka, MasterMIG 501w model cihaz

Çizelge 1. 3Cr12 ferritik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of 3Cr12 ferritic stainless steel)

Malzeme	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N	Kalan (~Fe)
3Cr12	0,016	0,56	0,77	0,029	0,001	11,3	0,49	0,01	86,82
	Kalınlık (mm)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa) min.	Uzama min.	Sertlik (HRB)				
	8	362	515	25	81				

Çizelge 2. Kullanılan dolgu tellerine ait kimyasal kompozisyonlar ve mekanik değerler (Chemical compositions and mechanical values of the filler wires used)

İlave Tel	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P+S	~Fe (Kalan)
ER308LSi	<0,03	0,85	1,7	20	10	0,15	<0,035	67,24
ER309LSi	<0,03	0,85	1,7	24	13	0,15	<0,035	60,24
ER316LSi	<0,03	0,85	1,7	18,5	12,5	2,75	<0,035	63,64
İlave Tel	Akma Mukavemeti (N/mm ²)		Çekme Mukavemeti (MPa) min.		Uzama (%) min.		Darbe Dayanımı (J) (+20 °C)	
ER308LSi	390		590		40		120	
ER309LSi	420		600		35		120	
ER316LSi	410		640		35		150	



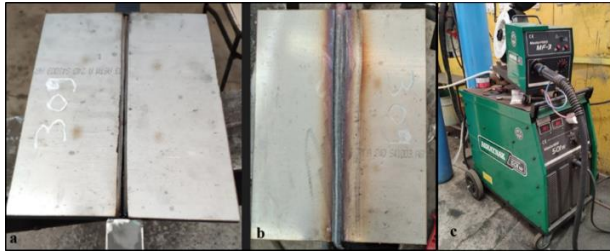
Şekil 1. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak ağzı geometrisi (a) ve paso sıralaması (b) (Groove weld (a) and pass orders (b) used in joining processes)

kaynağında 1,2 mm çapında ER308LSi, ER309LSi ve ER316LSi ilave teller tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan ilave tellere ait kimyasal içerik ve mekanik özellikler Çizelge 2’de sunulmuştur [25].

Çizelge 3. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used in joining operations)

M21 koruyucu gazı, akış hızı 14 lt/dak ile uygulanmıştır.						
Deney No.	İlave Tel No.	Paso	Volt (V) (±1)	Amper (A) (±10)	Kaynak Hızı (mm/sn)	Isı Girdisi (Kj/mm)
1	ER308LSi	1 (kök)	18	130	3,15	0,59
		2	29	210	3,93	1,24
		3	29	210	7,14	0,68
		4 (kapak)	29	210	8,54	0,57
		5 (iç)	29	210	8,97	0,54
2	ER309LSi	1 (kök)	18	130	3,21	0,58
		2	29	210	4,38	1,1
		3	29	210	8,54	0,57
		4 (kapak)	29	210	7,78	0,63
		5 (iç)	29	210	8,75	0,56
3	ER316LSi	1 (kök)	18	130	3,04	0,62
		2	29	210	6,14	0,8
		3	29	210	8,97	0,54
		4 (kapak)	29	210	7,45	0,65
		5 (iç)	29	210	8,54	0,57

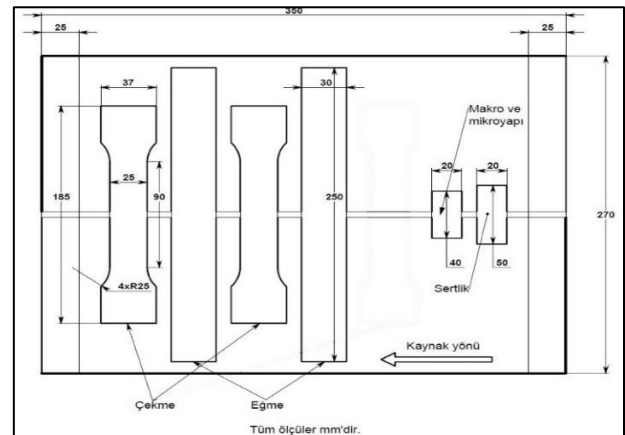
kullanılmış olup, birleştirmelerin kaynak öncesi ve sonrası görüntüleri ile kaynak makinesinin görüntüsü Şekil 2.a-c’de verilmiştir.



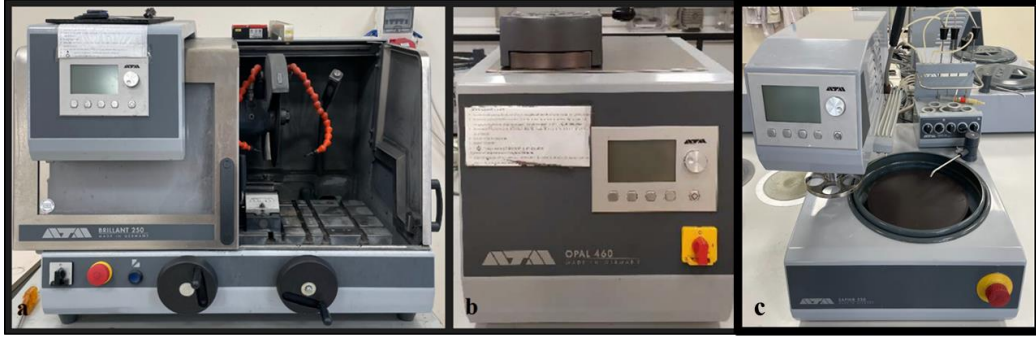
Şekil 2. Levhaların kaynaklı birleştirme öncesi (a) ve sonrası (b) ile kaynak cihazının (c) görüntüsü (Image of the plates before (a) and after (b) with the welding device (c))

Kaynak işleminin ardından, test numuneleri için kesim işlemi yapılmadan önce kaynak dikişi TS EN ISO 17637 standardına uygun olarak görsel muayene edilmiştir. Standartta uygun olarak gerçekleştirilen görsel muayene işlemlerinde kaynaklı birleştirmelerin uygun olduğuna karar verilerek sonraki aşama olan kesim işlemlerine geçilmiştir. Birleştirmelerin çekme, eğme, sertlik testleri ve mikroyapı incelemeleri kapsamında, öncelikle Şekil 3’te verilen çizime ve TS EN ISO 15614-1 standardına uygun olarak numuneler birleştirme levhalarından su jeti ile kesilerek alınmıştır. Kaynaklanmış 3Cr12 levhaların kaynak bölgelerindeki yapısal değişimlerin incelenmesi için makro ve mikroyapı numuneleri Şekil 4’te verilen cihazlar kullanılarak hazırlanmıştır. Söz konusu numuneler aynı zamanda sertlik testlerinde de

kullanılmıştır. Su jeti ile kaynak yönüne dik doğrultuda kesilen numuneler ATM Brillant 250 cihaz (Şekil 4.a) ile uygun yüzey ve boyutlarda şekillendirilmiştir. Daha sonra numuneler, incelenecek yüzeyleri açıkta kalacak şekilde ATM Opal 460 cihaz (Şekil 4.b) ile bakalite gömülmüştür. Bakalite gömülü numuneler, akabinde ATM Saphir 520 model cihaz (Şekil 4.c) ile parlatma ve zımparalama işlemlerine tabi tutulmuştur. Sırasıyla 100, 200, 320, 400, 500, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalar kullanılarak numunelerin yüzeyleri incelemeye hazır hale getirilmiştir. Zımparalama işlemi tamamlanan numunelere daha sonra 6 ve 3 mikronluk keçe ve solüsyonlar yardımıyla parlatma işlemi gerçekleştirilmiş ve alkol ile yüzeyler temizlendikten sonra kurutulmuştur.



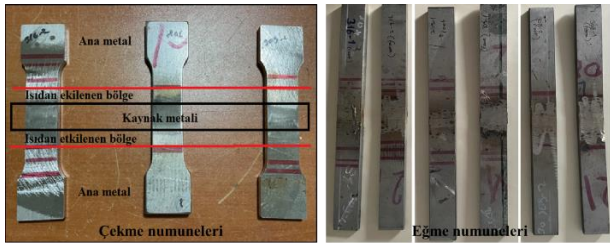
Şekil 3. Birleştirmelerden çıkarılan test numuneleri ve ölçülerinin şematik görüntüsü (Schematic view of test specimens and measurements extracted from joinings)



Şekil 4. Mikroyapı ve sertlik numunelerinin hazırlanmasında kullanılan cihazların görüntüsü a) kesme cihazı, b) bakelite alma cihazı, c) zımparalama ve parlatma cihazı (Image of the devices used in the preparation of microstructure and hardness samples a) cutting device, b) bakelite device, c) sanding and polishing device)

Metalografik inceleme için hazırlanmış numuneler, elektrolitik dağlama metoduyla %10 oksalik asit çözeltisinde dağlanarak incelemeye hazır hale getirilmiştir. Sonraki aşamalarda hazırlanmış numunelere makro ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Makroyapı analizinde Leica DMC2900 ve mikroyapı analizinde Leica DMI5000 M cihazlar kullanılarak görüntüler elde edilmiştir.

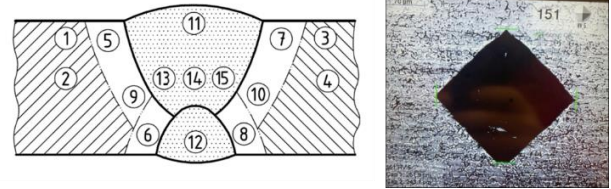
Kaynak birleştirmelere TS EN ISO 4136 standardına uygun olarak çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca TS EN ISO 5173 standardı dikkate alınarak hazırlanmış kaynaklı birleştirmelere eğme testleri uygulanmıştır. Eğme testlerinde numuneler, biri kökten, diğeri de yüzeyden olmak üzere 180° ile bükülmüştür. Eğme testinde mesnetler arası mesafe 55 mm ve mandren çapı 32 mm'dir. Çekme ve eğme testleri, Türk Standardları Enstitüsü (TSE) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olup, numunelerin test öncesindeki görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Çekme ve eğme numunelerinin testler öncesindeki görüntüsü (Image of tensile and bending samples before tests)

Sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçme metoduyla, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan Qness Q30 M model sertlik cihazı yardımıyla, 49,03 N yük kullanılarak ve TSE EN ISO 9015-1:2011 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Şekil 6'da şematik olarak gösterilen alanlardan her bir noktanın merkezleri arasındaki mesafe 1 mm'den fazla olacak şekilde 15 alandaki 3'er noktadan, toplam 45 noktadan alınan sonuçların ortalamaları alınarak gerçekleştirilmiştir. Şematik gösterimdeki 1,2,3 ve 4 numaralı alanlar ana

malzemeyi, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı alanlar IEB'yi, 11, 12, 13, 14 ve 15 numaralı alanlar ise KM'yi göstermektedir. Standartta göre en az bir alandaki ölçümün ergime çizgisinin yakınından alınması gerekmektedir. 5 numaralı bölgeden alınan sertlik değerleri ergime çizgisine yakın mesafeden alınmıştır.

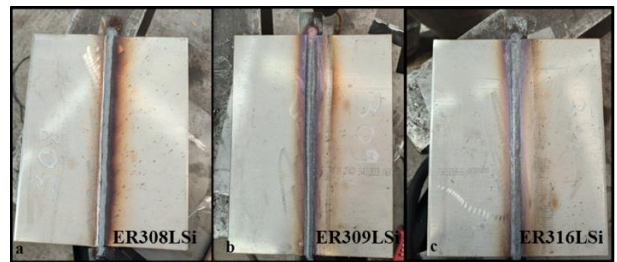


Şekil 6. Sertlik ölçüm bölgeleri ve ölçümlerden alınan örnek görüntü (Hardness measurement areas and sample images taken from measurements)

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Görsel Muayene İncelemeleri (Investigations of Visual Inspection)

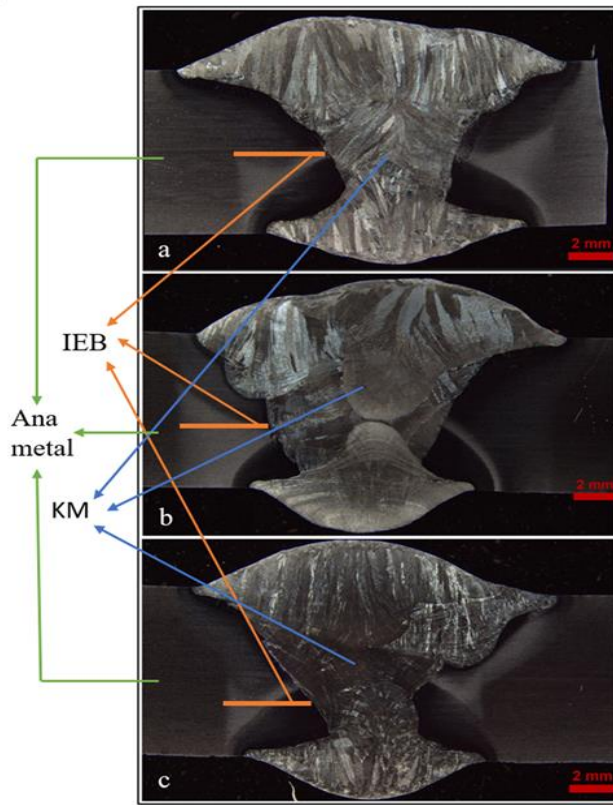
Şekil 7'de kaynaklı birleştirmelerin görüntüsü verilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda kaynak dikişi yüzeylerinde gözeneğe rastlanmamış ve kaynak levhalarında eksen kaçıklığı, distorsiyon ve çatlaklar görülmemiştir. Birleştirmelerde ihmal edilebilir seviyede koruyucu gazdan kaynaklı sıçramalar gözlemlenmiştir. Her levha için atılan kök pasolarında ısı girdisi düşük seviyede tutulmuş olup kullanılan gaz karışımı ile nispeten daha iyi bir dikiş görüntüsü elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 7. Kaynaklı birleştirmelerin görüntüsü (Image of welded joints)

3.2. Makroyapı İncelemeleri (Macrostructure Investigations)

Birleştirmelerin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Her üç birleştirmeden alınan makroyapı görüntülerinden, kaynak bölgesinde kaynak kalitesini ve mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilecek boşluk ve nüfuziyet noksanlıkları gibi hataların oluşmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca levhaların ergime çizgisi, KM alanı ve IEB makroyapı görüntülerinde net bir şekilde görülmektedir. KM'de ısı girdisine bağlı olarak oluşmuş sütunsal taneler dikkat çekmektedir. Ayrıca, çok pasolu kaynak işleminde her paso, kendinden önceki pasolara bir nevi ısı işlem uygulayarak normalize taneler oluşturmuş ve dikişlerde tam nüfuziyet elde edilmiştir.

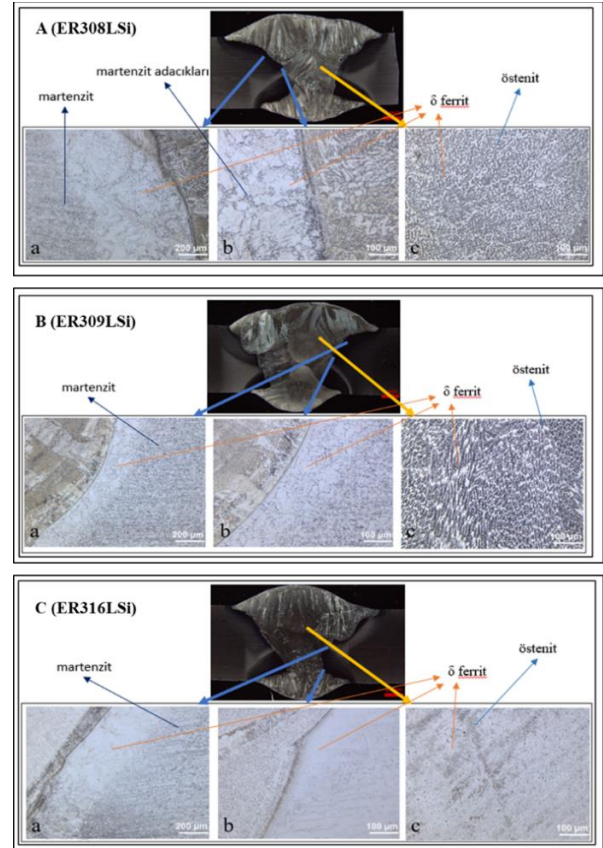


Şekil 8. ER308LSi (a), ER309LSi (b) ve ER316LSi (c) numunelerine ait makroyapı görüntüleri (Macrostructure images of ER308LSi (a), ER309LSi (b) and ER316LSi (c) samples)

3.3. Mikroyapı İncelemeleri (Microstructure Investigations)

Kaynak işlemi sonrasında, kaynak bölgesinin maruz kaldığı ısının etkisi nedeniyle birleştirmelerde meydana gelen yapısal değişimlerin incelenmesi amacıyla Şekil 9'da verilen mikroyapı görüntüleri değerlendirilmiştir. Mikroyapı görüntülerinde KM ile ana metal arasındaki yapısal değişimler ve ergime çizgisi açıkça görülmektedir. KM görüntülerinde genel olarak homojen dağılımlı nispeten ince taneli mikro yapılar ağırlıktadır. Literatüre göre fazlaca ısınan ancak ergime sıcaklığına

ulaşmayan IEB'de tanelerin irileşmesi beklenen bir durumdur. 1100 °C sıcaklıklar altına inildiğinde kırmızı akkorluk adı verilen durumun yavaş yavaş beyaz akkorluğa dönüştüğü gözlemlenir, alaşım elementleri ise bu sıcaklıklarda, çökeltme ve tane sınırlarında birikme eğilimi gösterir [26]. Bu durum, tanelerin irileşmelerini sınırlar. Çıkan sıcaklıklar, kimyasal kompozisyon ve soğuma hızına bağlı olarak martenzitik yapıların gelişimine neden olur. Meydana gelen bu tür mikroyapısal değişim, sertlik değerlerini artırır. Mekanik özelliklere istenmeyen etkileri olabilir [27, 28].



Şekil 9. Birleştirmelerin mikroyapı görüntüleri (Microstructure images of joints)

Ergime çizgisinin komşu bölgesinde A3 sıcaklığının üzerine çıkan yakın alan yüksek ısıdan etkilenen bölge (YIEB) olarak ifade edilebilir. %12 Cr içeriğine sahip paslanmaz çeliklerde, ergime noktasına yakın sıcaklıklarda δ ferrit oluşur. Taneler, bu bölgede hızla büyür. Soğurken ise YIEB'de, iri ferrit tanelerini görmek mümkündür. İri taneli ferritlerin, tane sınırlarında martenzitik oluşumlar da görülebilir. Ergime çizgisinden uzaklaştıkça, ana metal tarafında bu durum farklıdır. Taneler normal boyuttadır. Bu bölgede Al ile A3 (içeriğindeki elementlerin oranına göre değişmek ile birlikte yaklaşık 720 ile 910 °C) arasındaki sıcaklıklara çıkılması nedeniyle ferrit ile martenzitik yapılar görülür. Soğuma sırasında tanelerin irileşmesi, tane sınırı östeniti ile sınırlanır. Sıcaklığın zirve yaptığı ve yapının sadece ferrite dönüştüğü zamanlarda tane irileşmesi açıkça

gözlemlenir. İrileşen ferritik taneler ve martenzitik oluşumlar süneklik ve gevreklik gibi mekanik özelliklere etki eder [12, 22, 29, 30]. Ana malzeme mikroyapılarında martenzit ve ferritten oluşan çift fazlı bir yapı görülmektedir [27]. Şekil 9'da YIEB, açık renkli dar bir alan olarak görülmektedir. Aynı görsellerde tanelerin irileştiğine dair bulgular da yer almaktadır. İrileşen ferritik tanelerin sınırlarında martenzitik yapılar da bulunmaktadır. YIEB'den uzaklaştıkça çift fazlı ince taneli ferritik-martenzitik yapıların oluştuğu anlaşılmaktadır. ER309LSi ve ER308LSi tellerine ait mikroyapı görüntülerinde, IEB'deki tane sınırlarında martenzitik adacıklar görülmektedir (Şekil 9.A.b ve 9.B.b). ER308LSi teli ile gerçekleştirilen kaynağa ilişkin mikroyapı görüntülerinde bu adacıklar daha fazladır. Her üç telin IEB'sine ait mikroyapı görüntülerinde (Şekil 9.A.b, 9.B.b ve 9.C.b) tane boyutları birbirlerine oldukça yakındır. Şekil 9.A.c, 9.B.c ve 9.C.c'de yer alan KM'ye ait mikroyapı görüntülerine göre genel olarak homojen dağılımlı, nispeten ince taneli yapılar ağırlıktadır. ER309LSi teli ile yapılan kaynakta ayrıca dentritik yapıda tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir.

Nitekim bu çalışmada ileriki aşamada anlatılacak olan sertlik testlerinden alınan değerler ve çekme testlerinde IEB'de meydana gelen kopmalarla birlikte, literatürdeki benzer çalışmalar mikroyapı görüntülerini ve yorumlarını destekler mahiyettedir. Taban ve arkadaşlarının yaptığı benzer çalışmalarda, IEB'de tane irileşmesi ve martenzitik yapı oluşumlarıyla karşılaşmış, bu durumun mekanik değerleri etkilediğini vurgulamışlardır [12, 22, 31-34].

3.4. Çekme Testi Sonuçları (Tensile Test Results)

Çekme testlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. Çekme testi sonuçlarının ortalamalarına göre en düşük akma mukavemeti 335 MPa ile ER316LSi tel kullanılarak gerçekleştirilen birleştirmelerde, en yüksek akma mukavemeti ise 344 MPa ile Er308LSi tel kullanılarak gerçekleştirilen birleştirmelerde elde edilmiştir. Çekme mukavemetlerinin ortalama sonuçlarında ise en düşük değer 475 MPa ile ER316LSi tel ile yapılan birleştirmede, en yüksek değer ise 480,5 MPa ile ER308LSi tel ile yapılan birleştirmede ölçülmüştür. En düşük uzama yüzdesinin %11 ile ER309LSi ile yapılan birleştirmede, en yüksek uzama yüzdesinin ise %13 ile Er308LSi ile yapılan birleştirmede olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların, EN 10088.2 1.4003, ASTM A240/A240M S40977 ve S41003 kalitelerinde belirtilen asgari dayanım değerlerinin üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Her üç tel ile birleştirilmiş 3Cr12 ferritik paslanmaz çelik birleştirmelerinde statik bir yük uygulandığında, malzemenin standartlara uygun performans sağlayabileceği görülmüştür. Çekme testinin sonuçlarına göre her üç levhanın akma ve çekme mukavemeti değerleri birbirine oldukça yakındır. Yüzde uzama değerleri arasında da dikkate değer farklılıklar gözlemlenmemiştir. ER308LSi tel ile yapılan birleştirmenin yüzde uzama, akma ve çekme mukavemeti değerlerinin diğer tel ile yapılan birleştirmelerden

nispeten iyi olduğu görülmüştür. Literatürde, her üç tel için yapılan benzer bir çalışmada, çekme mukavemetlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir [22].

Çizelge 4. Çekme testi sonuçları (Tensile test results)

Malzeme No.	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
ER308LSi	344±3	480,5±1,5	13±0,5	IEB
ER309LSi	341,5±0,5	475,5±1,5	11	IEB
ER316LSi	335±7	475±1	12,5±0,5	IEB

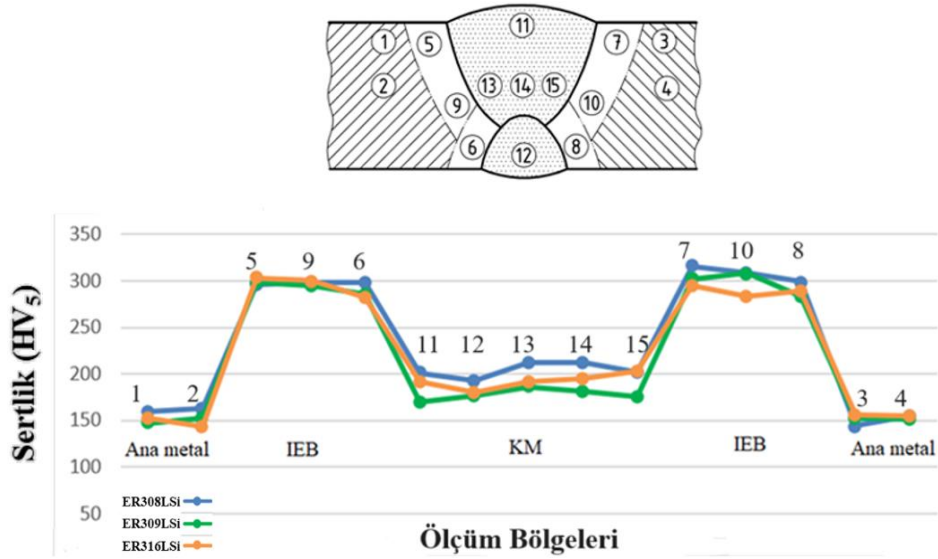
Şekil 10'da çekme testi sonrası kopan numunelerin görüntüsü verilmiştir. Görüntülerden numunelerin IEB'lerden koptuğu anlaşılmaktadır. Yapılan ölçümlerde kopma noktalarının ergime çizgisine yaklaşık uzaklığının 10 ile 20 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Birleştirmelerin çekme numunelerinde gözlemlenen kopmaların, ergime çizgisine olan mesafe göz önünde bulundurulduğunda IEB'de, ferritik ve martenzitik yapının bulunduğu kısımlardan gerçekleşebileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda kopmanın KM'de gerçekleşmemesi, KM'nin kopmaya neden olabilecek bir hata içermediğini göstermektedir.



Şekil 10. Çekme testi uygulanmış numunelerin görüntüsü (Image of tensile tested samples)

3.5. Sertlik Testi Sonuçları (Hardness Test Results)

Şekil 11'de sertlik test sonuçları verilmiştir. 1, 2, 3 ve 4 numaralı bölgeler ısıdan etkilenmeyen ana metale ait olan bölgelerdir. Her üç birleştirmede bu bölgelerin aynı şartları taşıması nedeniyle yakın sonuçların oluşması beklenen bir durumdur ve ana metalin sertliği yaklaşık olarak 150 HV civarlarındadır. 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı bölgelere ise ana metal ile KM'nin arasındaki IEB'e aittir. Grafikten de anlaşıldığı gibi sertlik değerleri bu bölgede ortalama 300 HV'ye ulaşan bir değer



Şekil 11. Birleştirmelerin sertlik grafiği (Hardness chart of joints)

göstermiştir. Sertliğin artması, ana malzemede ki aşırı ısınma ve hızlı soğumaya bağlı olarak ferritik yapının irileşmesine ve martenzitik dönüşümlerin gerçekleşmesine işaret etmektedir. Her üç kaynak işleminde bu bölgelerde benzer bir durum söz konusudur. 11, 12, 13, 14 ve 15 numaralı bölgeler ise KM'ye ait bölgelerdir. KM bölgesinden alınan ölçümlerde; ana metale yakın, IEB'de oluşan sertliğin ise aşağısında kalan ortalama yaklaşık 190 HV değerinde sonuçlar elde edilmiştir. Her üç numunenin mikroyapı görüntüleri bu sonuçları desteklemektedir. Tane iriliğine ve martenzitik oluşuma bağlı olarak IEB'de artan gevreklik sertlik değerlerine yansımıştır. ER308LSi tel kompozisyonundaki az bir orandaki yüksek sertlik değerlerinin azımsanabilir seviyede tane irileşmesi farkından meydana geldiği düşünülmektedir. Taban ve arkadaşlarının yaptığı benzer çalışmalarda YIEB bölgelerde tane büyümeleri ve martenzitik yapı oluşumları gözlemlenmiş, bu yapıların sertlik ve tokluk değerlerini yakından ilgilendirdiği ortaya koyulmuştur [12, 22, 34]. Meyer ve Toit ise; örtülü elektrot kaynağı ile birleştirmiş oldukları 3Cr12 paslanmaz çeliğine uyguladıkları sertlik testlerinde, IEB'de yüksek değerler

elde etmişlerdir. Aynı zamanda mikroyapı çalışmalarında, tane sınırlarında martenzitik yapı oluşumları ve ferritik tanelerin irileştiğini gözlemlenmişlerdir[30]. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar çalışmamızla benzer sonuçlar içermekte ve çalışmamızı desteklemektedir.

3.6. Eğme Testi Sonuçları (Bending Test Results)

Şekil 12'de eğme testi sonucu deforme olan kaynaklı birleştirmelere ait görüntüler verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde; kaynaklı numunelerde yırtılma, çatlak vb. süreksizlik ve hatalara rastlanılmamıştır. Kaynaklı birleştirmeler ana malzemeye yakın süneklik ve şekillendirilebilirlik sergilemiştir. Önerilen kaynak telleriyle yapılan birçok çalışmanın eğme testi sonuçlarında, başarılı sonuçlar elde edilmiştir [35-39]. Taban ve arkadaşlarının aynı kalitedeki çelikler ile yaptığı çalışmanın eğme sonuçları incelendiğinde kaynaklı numunelerde yırtılma, çatlak vb. hatalara gözlemlenmemiştir [12, 22]. Literatürde elde edilen sonuçlar, çalışmamızda elde edilen sonuçları destekler mahiyettedir.



Şekil 12. Eğme testi gerçekleştirilmiş numune görüntüleri (Bending test sample images)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada 3Cr12 ferritik paslanmaz çelik malzemeler, ER308LSi, ER309LSi ve ER316LSi kodlu ilave tellerle birleştirilmiş ve birleştirmelerden alınan numunelere mikroyapı analizleriyle birlikte mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Görsel incelemelerde; aksel kaçıklık, distorsiyon, gözenek, çatlak vb. süreksizlik ve hatalar görülmemiş, kaynak dikişi geometrisinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

-Makroyapı görüntülerinde, ergime çizgisi, KM ve IEB'lerin net bir şekilde oluştuğu, kaynak bölgesinde kaynak kalitesini ve mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilecek boşluk ve nüfuziyet noksanlıkları gibi hataların meydana gelmediği görülmüştür.

-Mikroyapı görüntülerinde KM ile ana metal arasındaki mikroyapısal değişimler ve ergime çizgisi nettir. KM'de genel olarak homojen dağılımlı nispeten ince taneli mikro yapıların ağırlıkta olduğu görüldü. IEB'de, sıcaklığın zirve yaptığı ergime çizgisinin hemen bitişiğindeki bölgelerde yapının δ ferrite dönüşmesiyle birlikte daha iri tanelerin oluştuğu, ayrıca aynı bölgede martenzitik yapıların meydana geldiği anlaşılmıştır.

-Çekme testi sonuçlarına göre tüm birleştirmelerde; akma-çekme mukavemeti ile % uzama değerleri birbirine oldukça yakın olup, dikkate değer farklılıklar gözlemlenmemiştir. Genel olarak; ER308LSi tel ile yapılan birleştirmenin yüzde uzama, akma ve çekme mukavemeti değerlerinin diğer tellerle yapılan birleştirmelerden çok az seviyede daha iyi sonuç sergilediği görülmüştür. Numuneler, KM dışında IEB'lerden koptuğu tespit edilmiştir.

-Sertlik testlerinde ortalama olarak ana metalde yaklaşık 150 HV, IEB'de yaklaşık 300 HV, KM'de ise yaklaşık 190 HV sertlik değerleri ölçülmüştür.

-Eğme testlerinde ise; kaynaklı numunelerde yırtılma, çatlak vb. süreksizlik ve hatalara rastlanılmadığı, dolayısıyla numunelerin eğme yükü ile karşılaştığında sergilediği davranışın olumlu olduğu, kaynaklı birleştirmelerin en az malzeme kadar süneklik sergilediğini ortaya koymuştur.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Cemil ÇETİNKAYA: Deney sonuçlarını analiz etmiştir. / Analysed the results of experiments.

Serhat TAŞÇI: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım sürecinde yer almıştır. / Performed the experiments, analyzed the results of the

experiments and took part in the writing process of the manuscript.

Hakan ADA: Deney sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Analyse the results of experiments and took part in the writing process of the manuscript.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Mavi A. & Uzun G., "Dubleks 1.4462 paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisi", *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5 (3): 177-184, (2017).
- [2] ASM International Handbook Committee, "Stainless steel", Davis, J. R. (Editör), ASM, Ohio, 13-20, (1994).
- [3] Lippold J. C. ve Kotecki D. J., "Welding metallurgy and weldability of stainless steel", *John Wiley & Sons*, New Jersey, 2-4, (2005).
- [4] Güraydın B. ve Ekici H., "Paslanmaz çelik yassı mamül temelleri", (2. Baskı), *Trinonix Metal San. ve Tic. A.Ş.*, Ankara, 57-73, (2021).
- [5] Loto R. T., "Study of the synergistic effect of 2-methoxy-4-formylphenol and sodium molybdenum oxide on the corrosion inhibition of 3CR12 ferritic steel in dilute sulphuric acid", *Results in Physics*, 7: 769-776, (2017).
- [6] Marcus P., Olefjord I., "A round robin on combined electrochemical and AES/ESCA characterization of the passive films on Fe Cr and Fe Cr Mo alloys", *Corrosion Science*, 28 (6): 589-602, (1988).
- [7] İnternet: Introduction to stainless steel. World Stainless. Web: <https://www.worldstainless.org/about-stainless/what-are-stainless-steels/introduction-to-stainless-steels/> Erişim Tarihi: 16.05.2023.
- [8] İnternet: What Is Stainless Steel. British Stainless Steel Association. Web: https://bssa.org.uk/bssa_articles/what-is-stainless-steel/ Erişim Tarihi: 22.02.2023.
- [9] Lo K. H., Shek C. ve Lai J. K. "Recent developments in stainless steels", *Materials Science and Engineering R*, 65(4-6): 40-91, (2009).
- [10] Baddoo N. "Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities", *Journal of Constructional Steel Research*, 64(11): 1199-1206, (2008).
- [11] İnternet: Paslanmaz Çelik Nedir? The European Stainless Steel Development Association. Web: https://www.cedinox.es/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/What_is_Stainless_Steel_TR.pdf Erişim Tarihi: 14.03.2023.
- [12] Taban E., Deleu E., Dhooge A. ve Kaluc E., "Evaluation of dissimilar welds between ferritic stainless steel modified 12% Cr and carbon steel S355", *Welding Journal*, 291-297, (2008).
- [13] Günay M. ve Meral T., "Kaplama ve kaplamasız karbür matkap ile ferritik paslanmaz çeliğin delinebilirlik analizi", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2): 159-166, (2019).

- [14] Akinlabi E. T. ve Akinlabi S. A., "Characterising the effects of heat treatment on 3Cr12 and AISI 316 stainless steels", *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, 8(2): 266-271, (2014).
- [15] Warmelo M. V., Nolan D. ve Norrish J., "Mitigation of sensitisation effects in unstabilised 12%Cr ferritic stainless steel welds", *Materials Science and Engineering A*, 464(1-2): 157-169, (2007).
- [16] Rossi B., "Mechanical behavior of ferritic grade 3Cr12 stainless steel—Part 1: Experimental investigations", *Thin-Walled Structures*, 48(7): 553-560, (2010a).
- [17] Rossi B., "Mechanical behavior of ferritic grade 3Cr12 stainless steel - Part 2: Yield locus and hardening laws", *Thin - Walled Structures*, 48(7): 540-552, (2010b).
- [18] İnternet: 3Cr12 technical data. Columbus Stainless. Web: www.columbusstainless.co.za (2007).
- [19] Kamble A. G. ve Rao R. V., "Effects of process parameters and thermo-mechanical simulation of GMAW process for welding of 3Cr12 steel. Advances in Materials and Processing Technologies", 2(3): 377-400, (2016).
- [20] Madyira D. M., Kaymakci A. ve Nkwanyana N., "The effect of metal transfer modes on mechanical properties of 3CR12 stainless steel", *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*. 44(2): 256-262, (2020).
- [21] Chaudhari P. D., More N. N., "Effect of welding process parameters on tensile strength" *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 04(05): 01-05, (2014).
- [22] Taban E., Dhooge A., Kaluc E. ve Deleu E., "Effect of the consumable on the properties of gas metal arc welded EN 1.4003 type stainless steel", *Welding Journal*, 213-221, (2012).
- [23] Kloppe J.J., Laubscher R.F., Steuwer A., James M.N., "An investigation into the effect of weld technique on the residual stress distribution of 3CR12 (DIN 1.4003) built-up structural sections", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*. 225(3): 123-132, (2011).
- [24] Kahraman N., Gülenç B. ve Akça H., "Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen ostenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (2): 75-85, (2002).
- [25] İnternet: Kaynak telleri, tozları ve elektrotları ürün kataloğu. Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Web: <https://www.lincolnelectric.com/tr-TR/Products/Filler-Metals/MIG-Wires-and-TIG-Rods?page=1> Erişim Tarihi: 17.06.2023.
- [26] Ada H., "API Borularının kaynaklı birleştirmelerinde kaynak parametrelerinin Taguchi Metodu ile optimizasyonu", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 108-130, (2017).
- [27] Jungbacke N. G., "The influence of substitutional elements on the transformability of 3Cr12 steel", *Yüksek Lisans Tezi*. University of Cape Town Faculty of Engineering, Cape Town. 5-17, (1996).
- [28] Keehan E., "Effect of microstructure on mechanical properties of high strength steel weld metals", *Doktora Tezi*, University of Gothenburg Department of Experimental Physics, Gothenburg, 39-72, (2004).
- [29] Greeff M. L. ve Toit M. D., "Looking at the sensitization of 11–12% chromium EN 1.4003 stainless steels during welding", *Welding Journal*, 243-251, (2006).
- [30] Meyer A. M. ve Toit M. D. "Interstitial diffusion of carbon and nitrogen into heat-affected zones of 11-12% chromium steel welds", *Welding Journal*, 275-280, (2001).
- [31] Taban E., Deleu E., Dhooge A. ve Kaluc E., "Gas metal arc welding of modified X2CrNi12 ferritic stainless steel", *Kovove Materialy-Metallic Materials*, 45(2): 67-74, (2006).
- [32] Taban E., Deleu E., Dhooge A. ve Kaluc E., "Submerged arc welding of thick ferritic martensitic 12Cr stainless steel with a variety of consumables", *Science and Technology of Welding and Joining*, 13(4): 327-334, (2007).
- [33] Taban E., Eddy D., Dhooge A. ve Kaluc E., "Laser welding of modified 12% Cr stainless steel: Strength, fatigue, toughness, microstructure and corrosion properties", *Materials and Design*, 30(4): 1193-2000, (2008).
- [34] Taban E., "Yapısal uygulamalar için geliştirilen modifiye 12 Cr ferritik paslanmaz çeliğinin özellikleri ve kaynak kabiliyeti", *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 211-228, (2007).
- [35] Harman M., Ada H., Çetinkaya C., "Investigation of QStE 420 TM steel materials weldability using different basic electrodes by electric arc welding method", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(4): 2041-2056, (2022).
- [36] Çetinkaya C., Ada H., Sezgin M., "Investigation of metallurgical and mechanical properties of apı 51 x70m, steels welded by flux cored arc welding method as orbital", *GU J Sci, Part C*, 8(4): 981-995, (2020).
- [37] Harman M., Ada H. ve Çetinkaya C., "QSTE420TM çeliğinin TIG kaynak yöntemiyle kaynak edilmesinde ilave metal tel çapının metalurjik ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 829-839, (2020).
- [38] Harman M., Ada H. ve Çetinkaya C., "QStE 420 TM çeliğinin MAG kaynak yöntemiyle kaynaklanmasında dolgu metali türünün metalurjik ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 23(2): 321-332, (2020).
- [39] Çetinkaya C., Kaya A., Arabacı U. ve Fındık T., "S235JR malzemeye uygulanan astar kaplamanın tozaltı ark kaynak kabiliyetine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1335-1348, (2022).