OHÜ Müh. Bilim. Derg. / OHU J. Eng. Sci.

ISSN: 2147-012X

Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, (2017), 244-256
Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, Volume 6, Number 1, (2017), 244-256

Araştırma / Research

AISI 316L-AISI 2205 FARKLI PASLANMAZ ÇELİK ÇİFTİNİN KAYNAK KABİLİYETİ

Hayriye ERTEK EMRE[1*], Ramazan KAÇAR[1], Ahmet BÜLBÜL[2], Berkay MANİSALI[1]

[1]*İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye*
[2]*Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye*

Geliş / Received: *07.06.2016*
Düzeltmelerin gelişi / Received in revised form: *26.09.2016*
Kabul / Accepted: *26.09.2016*

ÖZ

Bu çalışmada endüstride gıda, eczacılık, kimya, petrokimya ve gemicilik alanlarında sıklıkla kullanılan östenitik ile dubleks paslanmaz çelik çiftinin birleştirilmesinde kaynak yönteminin ve ilave metal seçiminin birleştirme mekanik özelliklerine ve mikro-yapısına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla AISI 316L östenitik ve AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik çifti gaz metal ark kaynak yöntemi (GMAK) kullanılarak TETRA V 316L-G ve TETRA S 22 9 3L-G flaks özlü tel ile "V" kaynak ağzı açılarak birleştirilmiştir. Aynı malzeme çifti elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak (EAK) E308L-16 ve E2209-17 elektrot ile de uygun standartlarda birleştirilmiştir. Kaynak işlemi sonrası numunelere çekme testi uygulanmış ve test sonrası kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Birleştirme mikro-yapıları incelenerek, mikro-sertlik ve ITAB genişlikleri ölçülmüştür. Kaynak yöntemi ve ilave metal türüne göre elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: AISI 316L-AISI 2209 paslanmaz çelik, gaz metal ark kaynağı, elektrik ark kaynağı, mekanik özellikler, mikro-yapı

WELDABILITY OF DISSIMILAR AISI 316L-AISI 2205 STAINLESS STEEL COUPLE

ABSTRACT

In this study, the effect of welding consumable and welding method on the mechanical properties and microstructure of weldment was investigated for joining austenitic and duplex stainless steel couple, which were used in food, pharmacy, chemistry, petro chemistry and shipping industry. According to standard, V shape welding groove was prepared for AISI 316L-AISI 2205 stainless steel couple that was welded in butt position by using gas metal arc welding (GMAW) with using TETRA V 316L-G and TETRA S 22 9 3L-G type welding wire and electric arc welding (EAW) with using E308L-16 and E2209-17 type electrodes. The mechanical properties of the weldment were determined by tensile test and fracture surface of the test samples were evaluated. In addition, hardness and HAZ width measurements and microstructure evaluation was carried out on the cross section of weldment. Results were compared according to the differences of welding method and welding consumable.

Keywords: AISI 316L-AISI2209 stainless steel, gas metal arc welding, electric arc welding, mechanical properties, microstructure

[*]Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 444 0 478 /1091; e-mail/e-posta: hayriyeertek@karabuk.edu.tr

1. GİRİŞ

Farklı iki malzemenin kaynakla birleştirilebilmesi için uygun kaynak yöntemi ve ilave metal seçimi, ayrıca ana malzemelerin özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir [1]. Farklı cins malzemelerden elde edilen kaynak bölgesi yalnızca ilave metalden değil, aynı zamanda birleştirmede kullanılan ana malzemelerden de önemli miktarda alaşım elementi ihtiva eder [2]. Bu nedenle kullanılan ana malzeme ve ilave metal türlerine, kimyasal kompozisyonlarına ve kaynak şartına bağlı olarak mikro-yapıda farklılıklar meydana gelmektedir [3, 4]. Lippold ve Kotecki [2], yanlış ilave metal seçiminin ITAB'da çatlak oluşumuna, kaynak metalinde katılaşma çatlağı veya istenmeyen ikincil faz oluşumuna neden olarak metalürjik problemlere neden olabileceğini rapor etmişlerdir. Farklı cins paslanmaz çelik birleştirmelerinde, elektrik ark ve gaz metal ark kaynağı başta olmak üzere, farklı ark kaynak yöntemleri ile çeşitli paslanmaz çelik ilave metaller kullanılmaktadır [5-9].

Paslanmaz çelikler içerisinde en yaygın kullanılanı östenitik paslanmaz çeliklerdir [10]. AISI 304 ve AISI 316L östenitik paslanmaz çelikler en yaygın karşılaşılan östenitik paslanmaz çelik çeşididir. AISI 316L bileşiminde %12-25 krom ve %8-25 nikel ve %2,2 molibden içerir ve AISI 304 'ün yetersiz kaldığı klorürlü ortamlarda kullanım alanı bulurlar [11-13].

Dubleks paslanmaz çelikler ise yapılarında sahip oldukları denge halindeki %50 östenit ve %50 ferrit fazları ile üstün mekanik özellikler sağlarlar [14-16]. Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren dubleks paslanmaz çeliklerin, östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma dayanımlarının iki kat kadar daha büyük olmasıdır [17,18]. Dezavantajları ise kaynak sonrası ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) ferrit-östenit dengesinin ferrit lehine değişim göstermesi sebebiyle çukurcuk korozyon direncinin zayıflaması ve ısıl yaşlanma sonucunda oluşan gevreklik nedeniyle kullanım sıcaklıklarının 260-300°C ile sınırlanmasıdır [19].

Geçmişten günümüze paslanmaz çeliklerin hangi kaynak yöntemiyle ne tür koşullarda birleştirilmelerinin uygun olacağının belirlenmesi araştırma konusu olmuştur. Aynı cins veya farklı cins paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde kullanılacak elektrot seçiminde ve oluşabilecek yapı tahmini için Schaeffer, De Long ve WRC diyagramlarından sıklıkla yararlanılmaktadır [20, 21].

Farklı iki malzemenin kaynak ile birleştirilmesi ve bunun için en uygun ilave (kaynak) metalinin seçilmesi oldukça zor, bilgi birikimi ve deneyim gerektiren bir problemdir. Hatalı ilave metal seçimi zaman ve malzeme kaybına neden olabileceği gibi, başarısız birleştirmeye de neden olacaktır. Bu nedenle, AISI 316L östenitik paslanmaz çelik ile AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin gaz metal ark kaynağı (GMAK) ve elektrik ark kaynağı (EAK) yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada kullanılan iki farklı kimyasal bileşimdeki kaynak elektrotunun ve farklı ilave telin, birleştirmenin mikro-yapı ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2. 1. Materyal

2.1.1. Ana Malzeme ve Kaynak İlave Metali

Bu çalışmada kullanılan AISI 316L ve AISI 2205 paslanmaz çeliklerin, yapılan spektral analizleri ve ilave metallerin kimyasal bileşimlerinin yanı sıra $Cr_{eş}$, $Ni_{eş}$ değerleri Tablo 1'de, ana malzemelerin mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Elektrik ark kaynağı ile yapılan birleştirmeler 3.25 mm tel çapında rutil örtü karakteristiğine sahip östenitik E308L (TS EN ISO 14343-A standardında: W 19 9 L) ve dubleks E2209-15 (EN ISO 17633-A standardında: T 22 9 3 N L R M 3) elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Gaz metal ark kaynağı ile yapılan birleştirmeler 1,2 mm tel çapında dubleks TETRA S 22 9 3L-G (TS EN ISO 17633-A standardında: T 22 93 NLPM1 (C1), AWS A 5.22 standardında: E2209T0-1) ve östenitik TETRA V 316L-G (TS EN ISO 17633-A standardında: T 19 12 3LPM1(C1)) ilave teller kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme esnasında GMAK yöntemi için koruyucu gaz olarak M24 (DIN EN ISO 14175) karışım gazı kullanılmıştır.

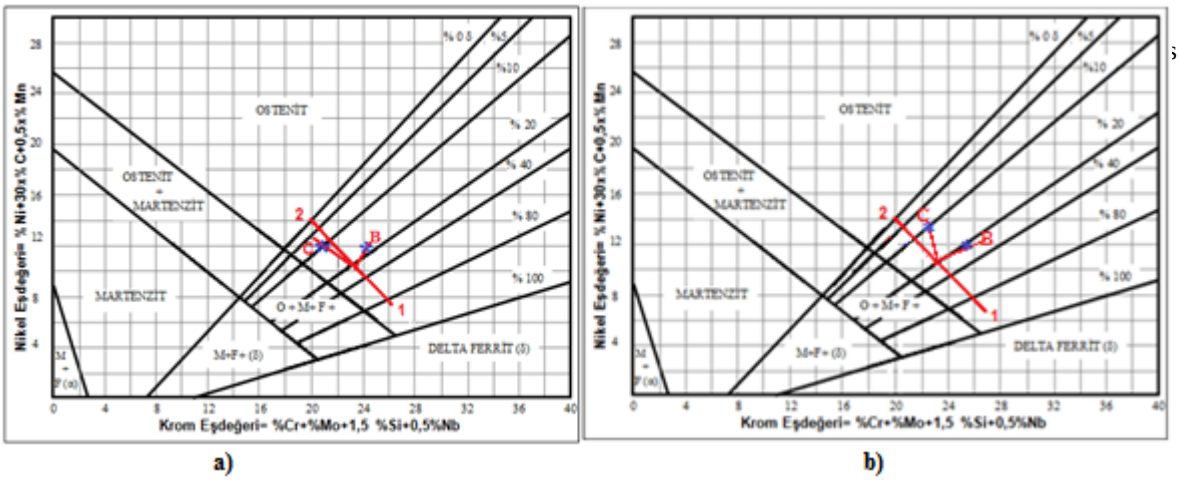
Birleştirme işlemi öncesi kaynak bölgesinde oluşabilecek mikro-yapıyı önceden tahmin edebilmek amacıyla Schaeffler diyagramından yararlanılmıştır. Şekil 1'deki diyagramda farklı cins çelik çiftinin ve kaynak ilave metallerinin krom ve nikel eşdeğerliği Schaeffler programı kullanılarak diyagram üzerinde AISI 2205 ana malzeme 1, AISI 316L ana malzeme 2, dubleks paslanmaz çelik ilave metal B ve östenitik kaynak ilave metali ise C noktaları olarak gösterilmiştir. Kaynak ilave metali ergime karışım oranı %30 olduğu varsayılarak kaynak metalinde oluşabilecek mikro-yapı ve ferrit oranı gösteren noktalar doğrultu üzerinde (*) ile işaretlenmiştir.

Tablo 1. Deneyde kullanılan ana malzemelerle ilave metallerin kimyasal bileşimi ve $Cr_{eş}$, $Ni_{eş}$ değerleri (% ağırlık)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	V	$Cr_{eş}$	$Ni_{eş}$
AISI 316L	0,034	0,47	1,83	0,02	0,002	17,9	3,0	10,5	0,004	0,12	0,10	21,0	14,0
AISI 2205	0,035	0,37	1,23	0,02	<0,001	23,6	3,52	6,2	0,010	0,22	0,05	27,0	8,0
E2209-17	0,030	0,50	0,90	-	-	22,0	2,7	10,0	-	-	-	25,0	12,0
E308L-16	0,030	0,80	0,80	0,04	-	19,8	-	10,2	-	-	-	20,0	13,1
TETRAS2293L-G	0,030	0,80	1,40	-	-	23,0	3,2	9,0	-	-	-	27,4	10,6
TETRAV316L-G	0,030	0,80	1,40	-	-	19,0	2,9	12,0	-	-	-	23,1	13,6

Tablo 2. Deneyde kullanılan ana malzemelerin mekanik özellikleri

Numune Adı	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama Miktarı	Akma Dayanımı (MPa)
AISI 316L	485	40	170
AISI 2205	640	25	460

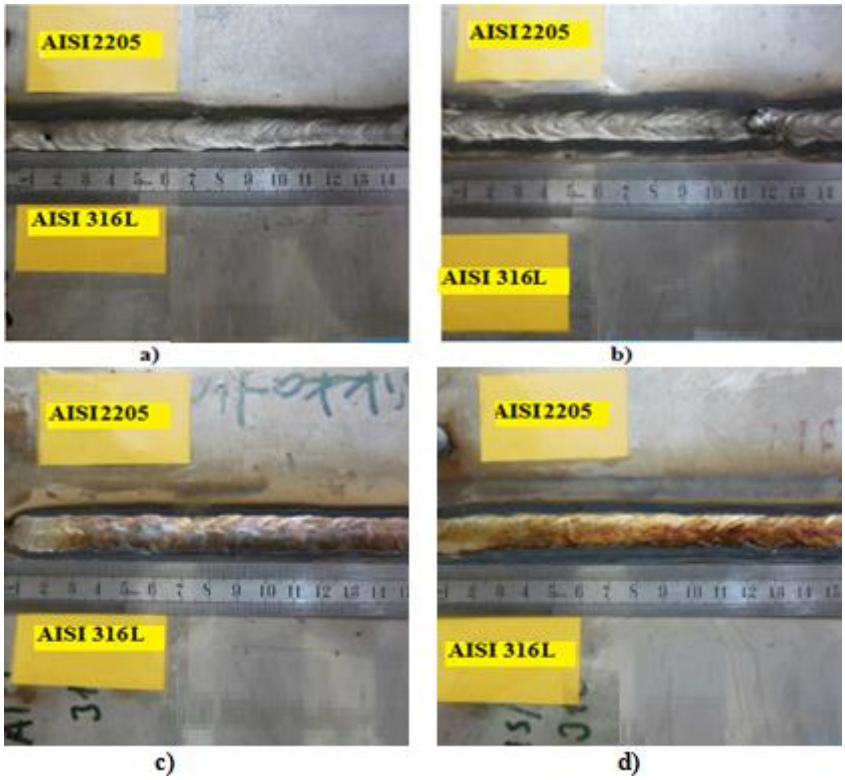


Şekil 1. a) EAK, b) GMAK yöntemi uygulanan birleştirmelerin Schaeffer diyagramı

Şekil 1a ve b'den görüldüğü gibi E2209-17 elektrot ve TETRA S 22 9 3L-G dubleks paslanmaz çelik özlü ilave metalle birleştirilen numunelerin kaynak metali yapısı östenit matris içerisinde %20-40 delta ferrit fazı, E308L-16 elektrot ve TETRA V 316L-G östenitik paslanmaz çelik özlü ilave metalle kaynak edilen birleştirmelerin ise %10-20 delta ferrit fazı ihtiva edebileceği tahmin edilmiştir. Literatürde AISI 316L paslanmaz çelik ile farklı cins östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde dubleks kaynak elektrotun kullanılması tavsiye edilmektedir. İlave olarak dubleks paslanmaz kaynak ilave metalinin korozyon direncinin genel olarak yüksek olması da bu elektrotun tercih sebeplerindendir [2].

2.1.2. Numunelerin Kaynak Öncesi Hazırlığı ve Kaynak İşlemi

Deneysel çalışma için östenitik ve dubleks paslanmaz çelik malzemeler 400x80x5 mm ebatlarında kesilerek hazırlanmıştır. Numunelere 60° V kaynak ağzı açılmış ve kaynak öncesi paslanmaz çelik tel fırça ile oksit, yağ vb. artıklardan temizlenmiştir. Numuneler arasında 2 mm boşluk bırakılarak 50 mm aralıkla puntalanmıştır. Numuneler, inverter tipi kaynak makinesinde 110 A akım şiddetinde tek pasoda birleştirilmiştir. Birleştirilen numuneler Şekil 2'de gösterilmiştir. Test numunelerinin çıkarılması sırasında zarar görmemesi için kesme işlemi tel erozyon ile gerçekleştirilmiş ve deney numunelerinin her iki yüzeyinden 1'er mm taşlama yapılarak 3 mm kesit kalınlığına düşürülmüştür. Daha sonra test numuneleri talaşlı işleme izlerinin giderilmesi için zımparalama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 2. EAK ile a) E308L-16, b) E2209-17 kaynak ilave metali ile birleştirilen ve GMAK ile, c) TETRA S 22 9 3L-G, d) TETRA V 316L-G ilave metali ile birleştirilen AISI316L-AISI2205 paslanmaz çelik çiftleri

2.2. Metot

2.3.1. Çekme Deneyi

TS EN ISO 4136 standardına uygun hazırlanan çekme deneyi numuneleri 50 kN kapasiteli SHIMAZDU marka çekme test cihazında 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Deneysel hataları minimize edebilmek amacıyla 3 adet deney numunesi test edilmiştir.

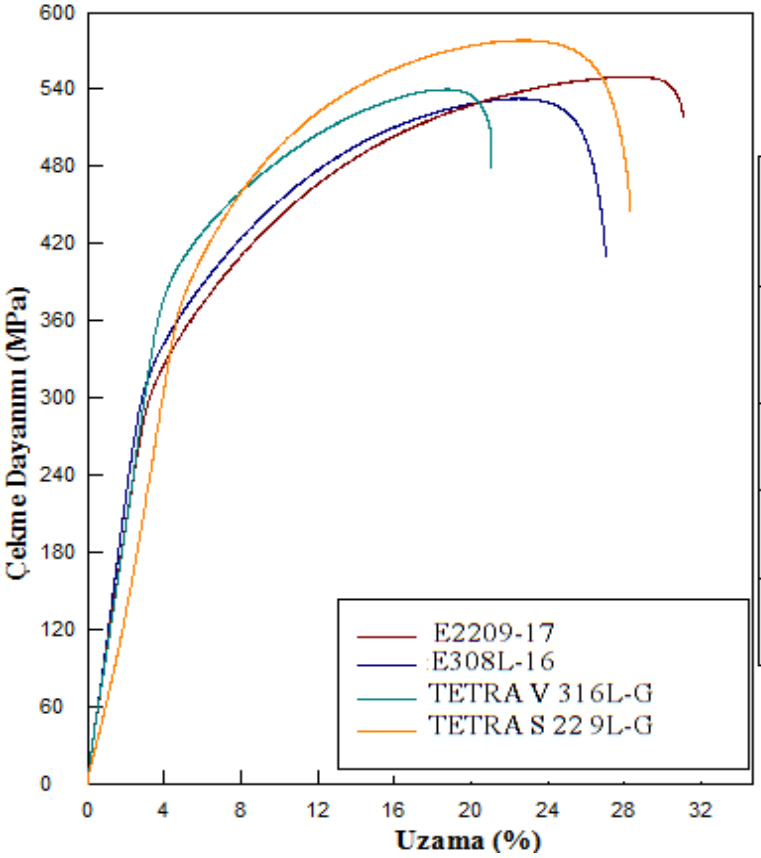
2.3.2. Mikro-yapı ve Mikro-sertlik İncelemesi

Metalografi numuneleri birleştirmelerin kaynak metali, ITAB ve ana metal bölgelerini kapsayacak genişlikte kaynak yönüne dik şekilde diskotom ile kesilmiş ve soğuk reçine ile kalıba alınmıştır. Numuneler klasik metalografi numune hazırlama yöntemleri uygulanarak hazırlanmıştır. Numuneler 90 mL saf su içerisine 10 g oksalik asit solüsyonu içerisinde, doğru akımda 5V gerilim ve 2A akım şiddeti altında ortalama 15 saniye elektrolitik dağlanmıştır. Mikro-yapı incelemeleri 4X-100X büyütme kapasitesine sahip Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü aynı hatta ve bir ana metalden diğerine doğru FV-700 SHIMADZU marka Vickers mikro-sertlik ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Batıcı uca 500 g yük 10 saniye uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1.Çekme Deney Sonuçları

AISI 316L-AISI 2205 çelik birleştirmelerinin çekme deneyi sonucu elde edilen ortalama gerilme-%uzama grafiği ile ortalama çekme ve akma dayanımları Şekil 3'de gösterilmiştir. GMAK yöntemiyle birleştirilmiş numunelerin çekme ve akma dayanımları, EAK ile birleştirilen numunelere göre daha yüksek bulunmuştur.



İlave tel	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
E2209-17	534.3	360
E308L-16	551.4	358
TETRA V 316L-G	541.5	425
TETRA S 2293L-G	579.8	419

Şekil 3. Birleştirmelerin çekme deney sonuçları

EAK ile farklı cins elektrot kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme ve akma dayanımı incelendiğinde, E2209-17 dubleks paslanmaz çelik elektrot kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme dayanımı, E308L-16 östenitik paslanmaz elektrot kullanılarak birleştirilen numuneye göre 17 MPa, akma dayanımı ise 2 MPa daha yüksek bulunmuştur.

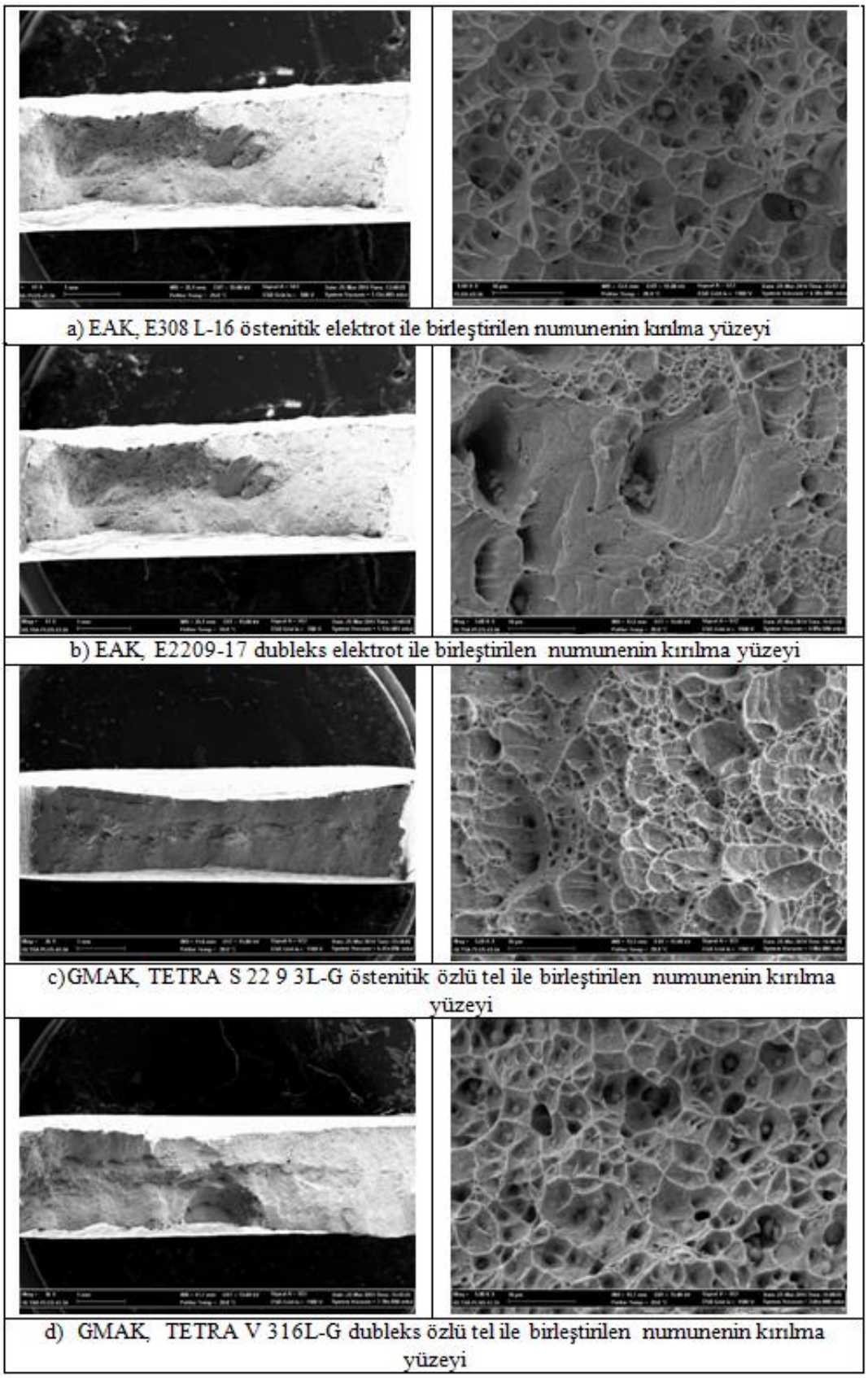
GMAK ile farklı cins fluks özlü tel kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme ve akma dayanımı incelendiğinde, TETRA S 22 9 3L-G dubleks paslanmaz çelik tel kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme dayanımı, östenitik TETRA V 316L-G tel kullanılarak birleştirilen numuneye göre 38 MPa, akma dayanımı ise 6 MPa daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, dubleks paslanmaz çeliğin mekanik özelliklerinin daha yüksek oluşu ve dubleks paslanmaz çelik kaynak ferrit-östenit dengesinin istenilen aralıkta oluşmasından dolayı her iki kaynak yöntemi için de dubleks paslanmaz çelik elektrot ve özlü tel ilave metal kullanımının, östenitik paslanmaz çelik elektrot ve özlü ilave tel metale kıyasla dayanımı arttırdığı düşünülmektedir.

EAK ve GMAK'lı birleştirmelerin çekme test numunelerinde kopmalar AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin ITAB'ından oluşmuştur. Bu durum birleştirmenin AISI 316L östenitik paslanmaz çelik tarafı ITAB sertliğinin ve akma dayanımının daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında tane büyümesine bağlı olarak ITAB'da sertlik düşüşü meydana geldiği ve bu sebeple çekme testinde kopmanın bu bölgeden meydana geldiği düşünülmektedir. Birleştirmelerin çekme testi sonrası kırık yüzeyleri SEM ile incelenmiş ve Şekil 4a-d'de gösterilmiştir.

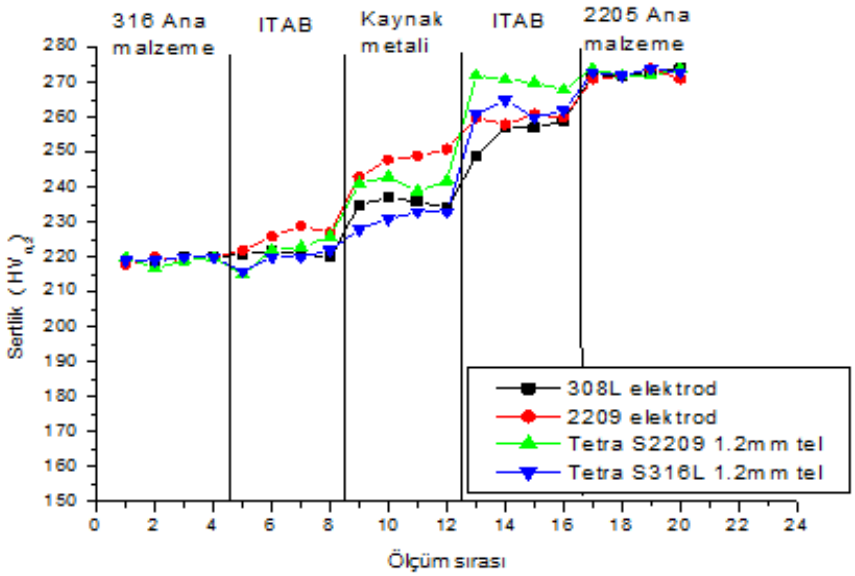
Şekil 4 incelendiğinde GMAK yapılmış numune kırılma yüzeylerinin EAK yapılmış numune kırılma yüzeylerine göre daha küçük boyutta çukurcuklara (dimple) sahip olduğu dolayısıyla daha sünek bir formda olduğu görülmektedir.

3.2. Birleştirmelerin Sertlik Ölçümü Sonucu

Birleştirmelerin sertlik ölçüm sonucu Şekil 5'de gösterilmiştir. AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik ana metal sertliğinin AISI 316L östenitik paslanmaz çelik ana metale oranla daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum malzemelerin yapısı ile alakalıdır. Dubleks paslanmaz çelik yapısında yaklaşık olarak denge halinde bulunan ferrit ve östenit fazı yüksek sertliğin ve dolayısıyla akma ve çekme dayanımının sorumlusudur.



Şekil 4. Birleştirmelerin çekme deneyi sonucu kırık yüzey görüntüleri a) E308L-16, b) E2209-17, c) TETRA S 22 9 3L-G, d) TETRA V 316L-G



Şekil 5. Birleştirmelerin mikro-sertlik grafiği

Farklı AISI 316L/AISI 2205 paslanmaz birleştirmelerin kaynak metali ve ITAB sertliği AISI 2205 ana metalden düşük, fakat AISI 316L ana metal sertliğinden daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek ITAB sertliği ortalama 265 HV olarak TETRA S 22 9 3L-G ilave tel kullanılarak GMAK ile birleştirilen numune AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik tarafında tespit edilmiştir. GMAK ile birleştirilen numune ITAB sertlikleri nispeten daha yüksektir. Bu durumun sebebi olarak kullanılan kaynak yöntemi farkının birleştirme ısı girdisi farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. EAK ile birleştirilen numunelerin ısı girdisinin daha yüksek olması kaynak sonrası soğuma hızını düşürdüğü için, ITAB tane yapısının daha kaba olmasına neden olduğu düşünülmektedir. İri taneli malzemelerin sürünme dayanımı hariç mekanik özellikleri ince taneli malzemelerden daha kötüdür. Dolayısı ile elektrik ark kaynaklı birleştirmelerin çekme ve akma dayanımlarının daha düşük olması bu sonucu desteklemektedir.

Birleştirmelerin yalnızca kaynak metalli sertlikleri incelendiğinde her iki kaynak yöntemi için dubleks paslanmaz çelik özlü kaynak ilave metali ile birleştirilen numunelerin östenitik paslanmaz çelik özlü kaynak ilave metali ile elde edilen birleştirmelerden daha sert olduğu görülmektedir. Dubleks paslanmaz ilave metal kullanılan birleştirmede kaynak metali mikroyapısının, ferrit tane sınırlarında widmanstatten tip östenit ve tane içlerinde ikincil östenit fazından meydana gelmesi daha yüksek sertliğin sorumlusu olarak düşünülmektedir.

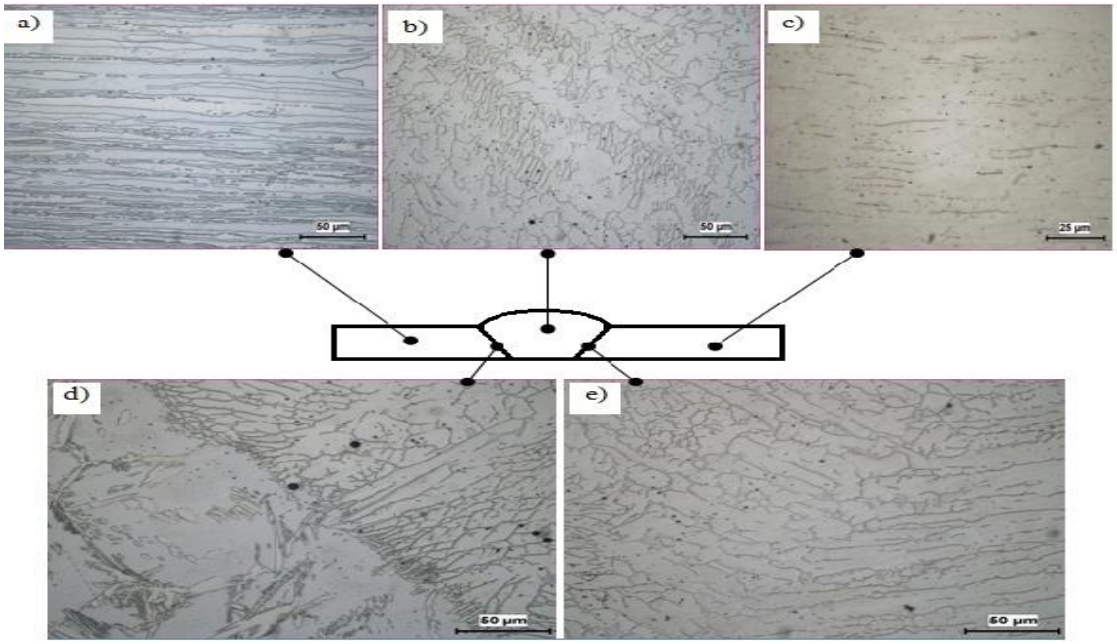
3.3. Farklı Cins Paslanmaz Çelik Birleştirmelerinin Mikro-yapı İncelemesi

Dubleks-östenitik paslanmaz çelik çifti birleştirmesinden elde edilen optik mikroskop görüntüleri, EAK birleştirmeleri için Şekil 6 ve Şekil 7'de, GMAK birleştirmeleri için Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

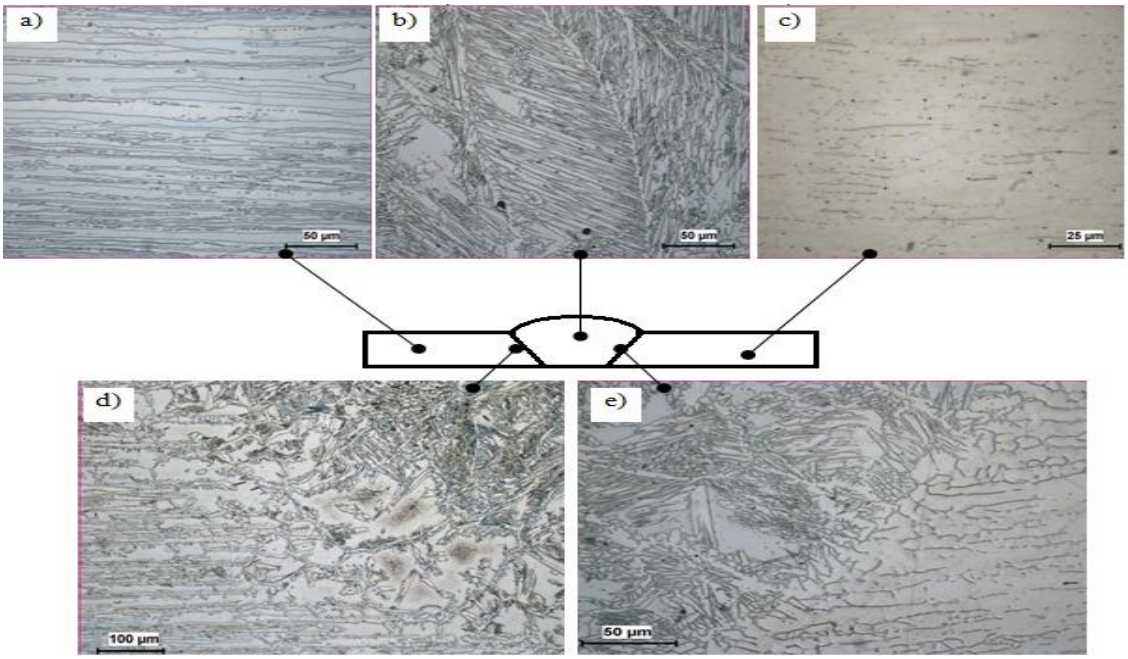
Mikro-yapı görüntüleri genel olarak incelendiğinde; östenitik ve dubleks paslanmaz çelik özlü kaynak ilave metali ile birleştirilen farklı cins paslanmaz çelik kaynak metalinin seyrelmeye bağlı olarak östenitik ve dubleks paslanmaz çelik tarafının farklı yapısal oluşumlar sergilediği görülmektedir. Birleştirilen farklı cins paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonlarının farklılığı, ergime ve karışıma bağlı seyrelme, soğuma hızının farklı olması, ısıl iletim ve ısıl genleşme katsayılarının farklılığı yapısal farklılığın sebebi olarak değerlendirilmektedir [22, 23].

Şekil 6a ve Şekil 7a'da AISI 2209 dubleks paslanmaz çelik ana malzeme mikro-yapısında ferrit matris içerisinde, beyaz östenit taneleri görülmektedir. Şekil 6b ve Şekil 7b'de AISI 316L östenitik paslanmaz çelik ana malzeme mikro-yapısı östenit matrisi ve ince kahverengi çizgiler şeklinde ferrit lamellerinden meydana gelmektedir.

Şekil 6 E308L-16 östenitik paslanmaz çelik ilave metal kullanılarak birleştirilen malzeme çiftinin kaynak metali mikroyapısı lathy ferrit fazından meydana gelmiştir. Östenitik paslanmaz çelik kaynak metali katılaşması sırasında, soğuma hızı yüksek ise katılaşma modu ferrit-östenit bölgesinin içerisinde, lathy ferrit morfolojisinde oluşur [2]. Bu çalışmada AISI 316L ve AISI 2205 paslanmaz çelik kaynak banyosundaki seyrelme ve kaynak ilave metaline bağlı olarak katılaşma ferrit-östenit modunda oluşmuştur. Lathy ferrit morfolojisi skeletal ferrit yerine ferrit-östenit dönüşümündeki kısıtlamadan kaynaklanır.

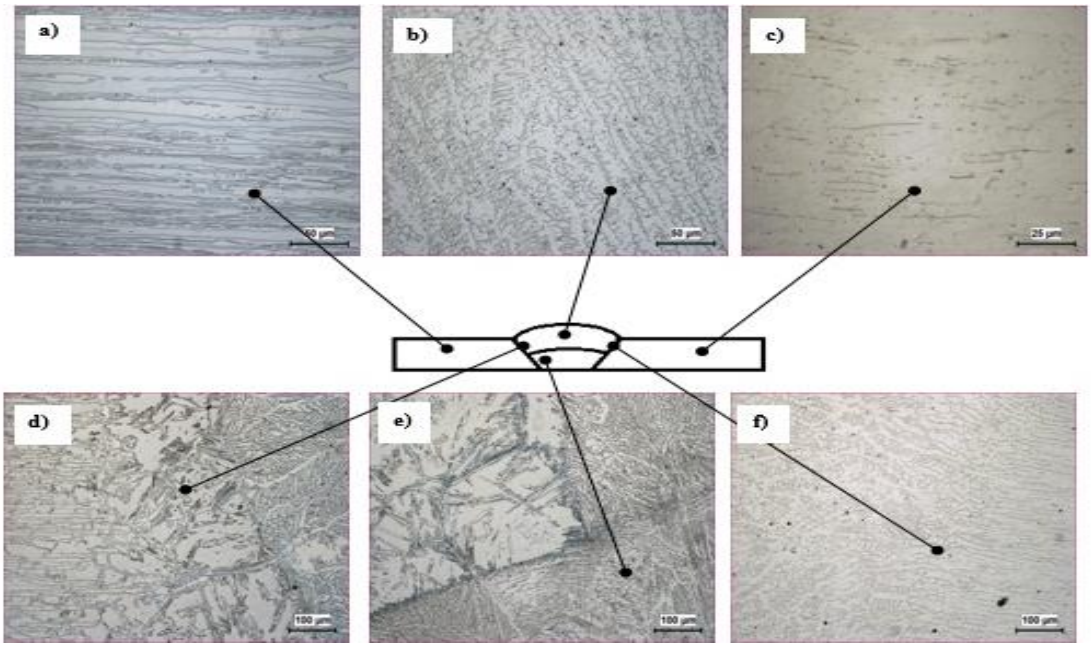


Şekil 6. EAK ile E308L-16 ilave metal kullanılarak birleştirilen, a)AISI 2205 ana malzeme, b) Kaynak metali, c) AISI 316L ana malzeme, d) AISI 2205 ITAB, e) AISI 316L ITAB mikro-yapısı

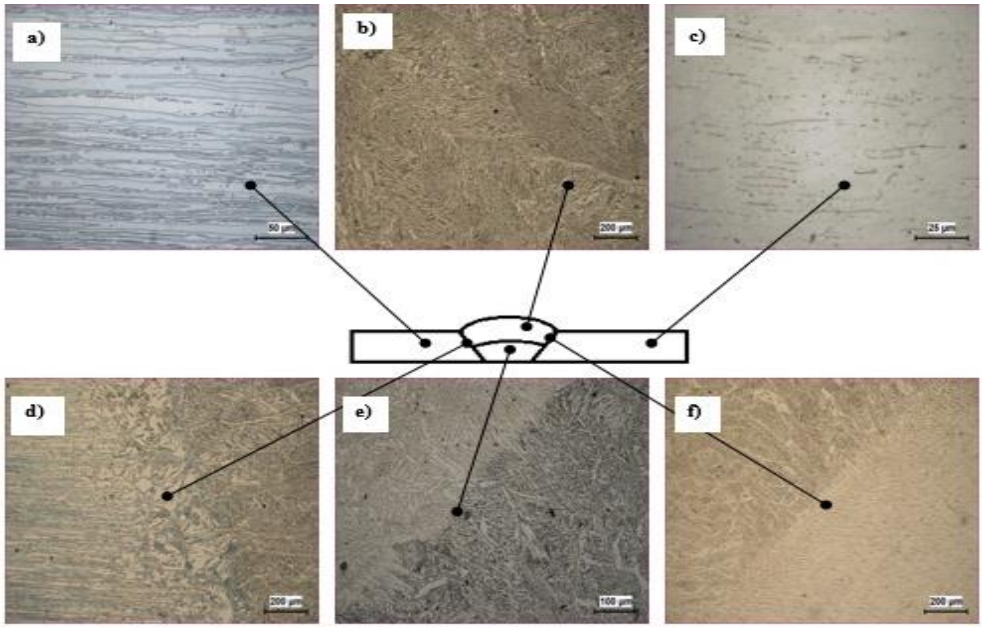


Şekil 7. EAK ile E2209-17 ilave metal kullanılarak birleştirilen, a) AISI 2205 ana malzeme, b) Kaynak metali, c) AISI 316L ana malzeme, d) AISI 2205 ITAB, e) AISI 316L ITAB mikro-yapısı

Şekil 7, E2209-17 dubleks paslanmaz çelik kaynak ilave metali kullanılarak birleştirilen malzeme çiftinin kaynak metali görüntüsü incelendiğinde kaynak metali mikroyapısı, ferrit tane sınırlarında widmanstatten tip östenit ve tane içlerinde ikincil östenit fazından meydana gelmiştir. Yapılan literatür araştırmalarına göre, ER2209 kaynak ilave metali kullanılarak birleştirilen dubleks paslanmaz çelik kaynak metali mikroyapısının hızlı soğumaya bağlı olarak birincil östenit tane yapısı üzerinden ikincil östenit tanelerinin oluşması ile ikincil östenit fazından meydana geldiği bildirilmektedir [2,5].



Şekil 8. GMAK ile TETRA V 316L-G ilave tel kullanılarak birleştirilen, a) AISI 2205 ana malzeme, b) Kaynak metali, c) AISI 316L ana malzeme, d) AISI 2205 ITAB, e) kaynak metali (kök), f) AISI 316L ITAB mikro-yapısı

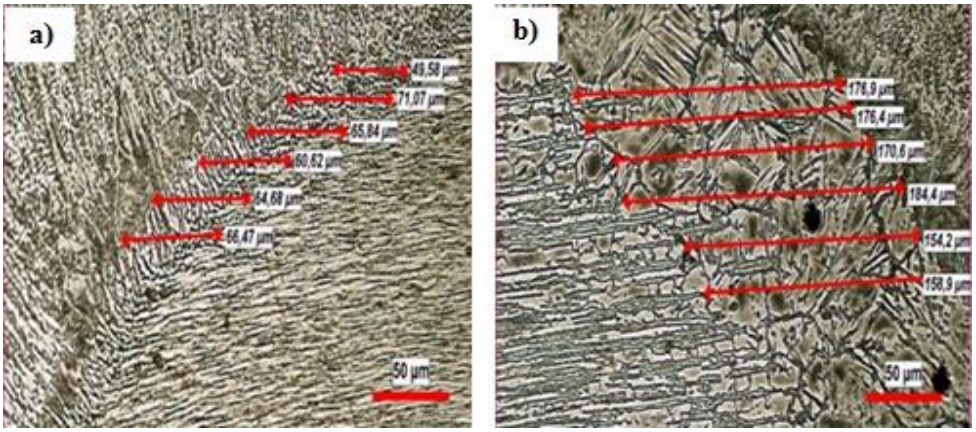


Şekil 9. GMAK ile TETRA S22 9 3L-G ilave tel kullanılarak birleştirilen, a) AISI 2205 ana malzeme, b) Kaynak metali, c) AISI 316L ana malzeme, d) AISI 2205 ITAB, e) kaynak metali (kök), f) AISI 316L ITAB mikro-yapısı

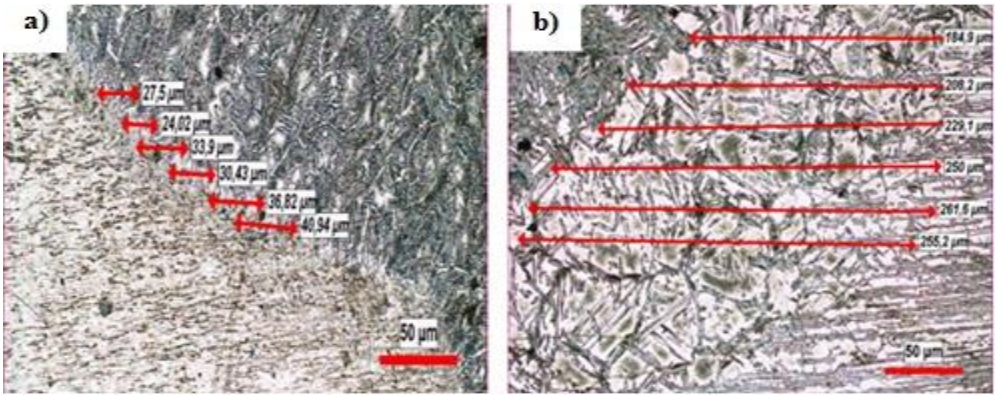
Şekil 8'de GMAK yöntemiyle TETRA V 316L-G fluks özlü tel kullanılarak birleştirilen numunenin mikro-yapısı incelendiğinde kaynak metali mikro-yapısının dentritik formda ve lathy ferrit olarak meydana geldiği görülmektedir. Şekil 9'da GMAK yöntemiyle TETRA S 22 9 3L-G fluks özlü tel kullanılarak birleştirilen numunenin mikro-yapısı incelendiğinde kaynak metali mikro-yapısının ferrit tane sınırlarında widmastatten tip östenit fazında meydana geldiği görülmektedir.

Tüm birleştirmeler için kaynakta sıcak çatlak oluşumu görülmemektedir. EAK yöntemi ile kıyaslandığında her iki östenitik ve dubleks paslanmaz çelik özlü ilave metal ile birleştirilen numune kaynak metali yapısına göre

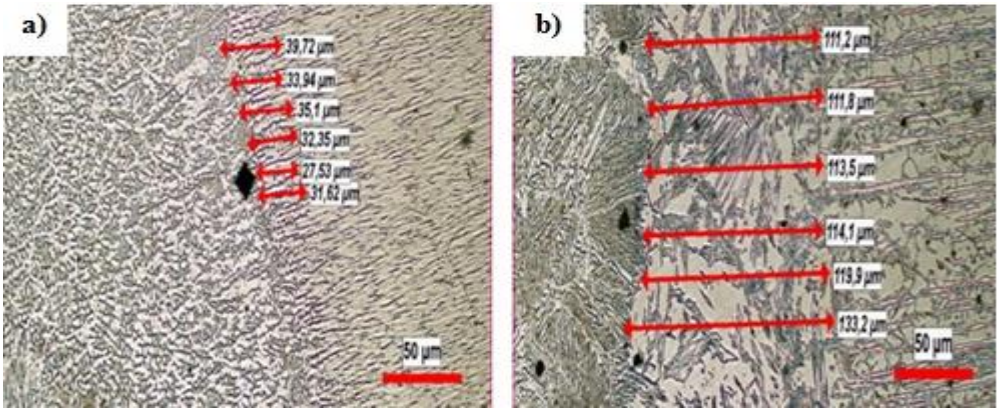
GMAK kaynaklı birleştirme kaynak metali tane boyutunun daha ince olduğu tespit edilmiştir. Bu durum sebebinin kaynak yöntemi ısı girdisi farkından meydana geldiği düşünülmektedir. Tüm birleştirmeler için AISI316L tarafı ergime bandı kaynak dikişi bitiminde çizgi şeklinde östenit-ferrit epitaksiyel katılaşması şeklinde meydana gelirken [5,6], AISI 2209 dubleks tarafı ITAB'ı daha geniş bir şekilde widmanstatten şeklinde östenit, ferrit ve ikincil östenit fazlarından oluşmuştur. Tüm birleştirmeler için her iki malzeme tarafı ITAB genişlikleri ölçülerek Şekil 10-13'de gösterilmiştir.



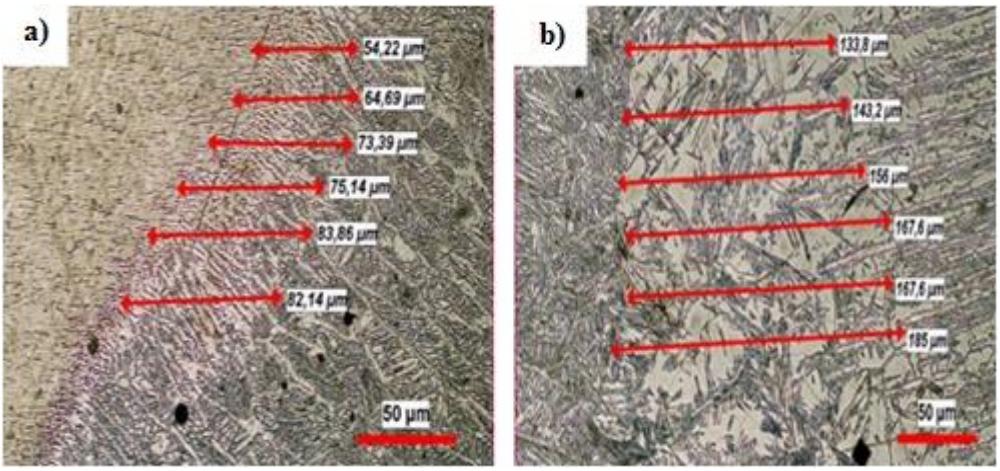
Şekil 10. EAK ile E308L-16 elektrot kullanılan numunelerin ITAB genişliğinin ölçümü, a) AISI316L ITAB b) AISI2205 ITAB



Şekil 11. EAK ile E2209-17 elektrot kullanılan numunelerin ITAB genişliğinin ölçümü, a) AISI316L ITAB b) AISI2205 ITAB.

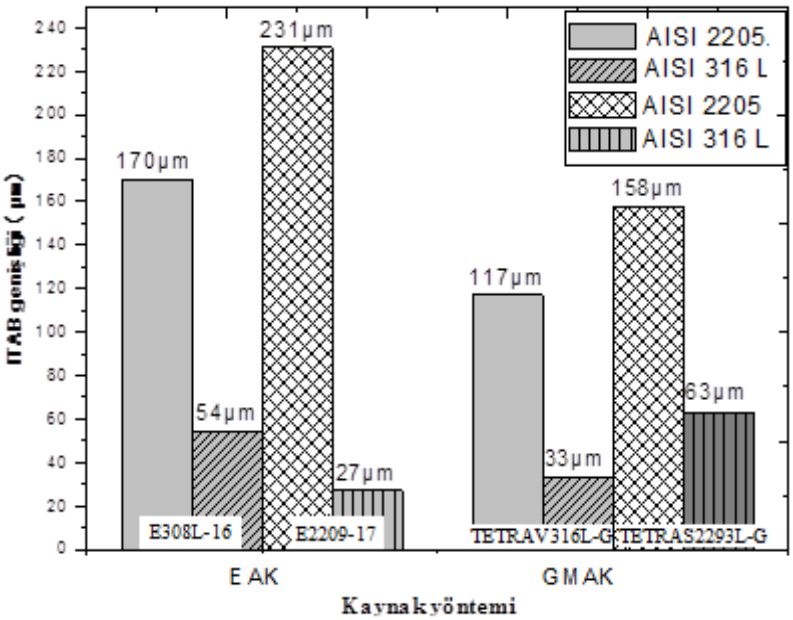


Şekil 12. GMAK ile TETRA V 316L-G ilave tel kullanılan numunelerin ITAB genişliğinin ölçümü, a) AISI316L ITAB, b) AISI2205ITAB



Şekil 13. GMAK ile TETRA S22 93L-G ilave tel kullanılan numunelerin ITAB genişliğinin ölçümü, a) AISI316L ITAB, b) AISI2205ITAB

Şekil 10-13b'den görüldüğü gibi kaynaklı bağlantının dubleks paslanmaz çelik ITAB'ında tane irileşmesinin meydana geldiği görülmektedir. Paslanmaz çeliklerin en karakteristik özelliğinin; kaynak metalinde ve ITAB bölgesinde meydana gelen ve kaynak metalinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesinin olduğu belirtilmektedir [2]. Normal halde östenitik ve dubleks paslanmaz çelikler ince taneli bir yapıya sahiptirler. Ancak, bilhassa ferritik ve dubleks paslanmaz çelik A_3 sıcaklığının üzerindeki sıcaklarda tane büyümesine karşı aşırı eğilimlidir. Kaynak sırasında ITAB'da bu sıcaklığın üzerine ulaşıldığı bölgede tane büyümesi oluşur. Literatürde de belirtildiği gibi, ITAB'ın sıcaklığının ferrit çözünürlüğünün üzerine çıkıldığı bölümde, tane büyümesini engelleyecek ikincil östenit fazı veya çökeltiler bulunmadığından, kaba taneli ferrit fazı meydana gelir [18]. Ortalama ITAB genişlikleri grafiksel olarak Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. EAK ve GMAK ile birleştirilen numunelerin ITAB genişliği ölçüm grafiği

En yüksek ITAB genişliği EAK yöntemiyle birleştirilen numunede AISI 2205 ITAB bölgesinde ölçülmüştür. EAK yöntemiyle birleştirilen numunelerde ITAB, GMAK kaynaklı birleştirmelere göre daha geniş tespit edilmiştir. EAK kaynağı ısı girdisi GMAK kaynağına göre daha yüksek olduğundan, kaynak sonrası soğuma hızı daha yavaştır, dolayısı ile ITAB tane boyutu kabalaşması daha fazla olduğundan EAK birleştirme ITAB genişlikleri daha fazladır.

4. SONUÇLAR

Yürütülen çalışma neticesinde elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- AISI 316L-AISI 2205 farklı paslanmaz çelik çiftinin EAK ve GMAK yöntemleriyle östenitik ve dubleks kaynak ilave metalleri ile uygun kaynak parametreleri kullanılarak sorunsuz bir şekilde başarıyla birleştirilebildiği tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinde sıcak çatlak oluşumuna rastlanılmamıştır.
- Her iki kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerde dubleks paslanmaz çelik elektrot ve özlü kaynak ilave metali ile birleştirilen numunelerin akma, çekme dayanımı, yüzde uzaması ve sertliği, östenitik paslanmaz çelik elektrot ve özlü kaynak ilave metali ile birleştirilen numunelere göre daha yüksek bulunmuştur. Bu duruma dubleks paslanmaz çelik özlü kaynak ilave metali ferrit-östenit dengesinin istenilen aralıkta oluşmuş olması, ferrit tane sınırı ve tane içinde oluşan widmanstatten ve ikincil östenit morfolojisinin etkili olduğu düşünülmektedir. Dubleks paslanmaz çeliklerin dayanımı östenit fazından, şekillendirilebilirliği ise ferrit fazından geldiği bilinmektedir. Birleştirmelerin çekme testi sonrasında kopmalar, en düşük akma dayanımına sahip olan östenitik paslanmaz çelik ITAB'ında gerçekleşmiştir.
- GMAK yöntemi ile birleştirilen numunelerin akma, çekme ve sertlik değerleri EAK ile birleştirilen numunelere göre daha yüksek bulunmuştur.
- Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda her iki kaynak yöntemiyle birleştirilen farklı cins paslanmaz birleştirmelerin kaynak metali ve ITAB sertliği AISI 2205 ana metalden düşük, fakat AISI 316L ana metal sertliğinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. GMAK ile birleştirilen numune ITAB sertlikleri azda olsa daha yüksek bulunmuştur. EAK ile birleştirilen numunelerin ısı girdisinin daha yüksek olması kaynak sonrası soğuma hızını düşürdüğü için, ITAB tane yapısının daha kaba olmasına ve dolayısı ile sertliğinin daha düşük olmasına neden olduğu düşünülmektedir.
- Mikro-yapı görüntüleri incelendiğinde östenitik paslanmaz çelik özlü kaynak ilave metali ile birleştirilen farklı cins paslanmaz çelik çiftinin kaynak metali, östenit matrikste, lathy ferrit fazından meydana gelirken, dubleks paslanmaz çelik özlü kaynak ilave metali ile birleştirilen numune ise ferrit, ferrit tane sınırlarında widmanstatten östenit ve ferrit tane içlerinde ikincil östenit fazlarından oluştuğu belirlenmiştir.

- Farklı ilave metal kullanılan her iki kaynak yöntemiyle elde edilen birleştirmelerin östenitik ve dubleks paslanmaz çelik tarafı ITAB genişlikleri ölçülmüştür. Her iki kaynak yöntemi için de dubleks paslanmaz çelik özlü ilave metal kullanılan birleştirmelerin AISI 2205 ITAB genişliği daha yüksek tespit edilmiştir. Ayrıca, EAK ile birleştirilen numune ITAB genişliğinin, GMAK birleştirmelere göre daha fazla geniş olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2209 TÜBİTAK öğrenci projesi kapsamında desteklenmiştir. Adı geçen kuruluşa desteklerinden dolayı teşekkür edilir.

KAYNAKLAR

[1] SOYSAL, T., KOU, S., TAT, D., PASANG, T., "Macrosegregation in Dissimilar-Metal Fusion Welding", Acta Materialia, 110, 149–160, 2016.

[2] LIPPOLD, J.C., KOTECKI, D.J., Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels (2nd edition), Wiley-Interscience, A. Jhon Wiley & Sons Inc., 168-223, 2005.

[3] SIREESHA, M., SHANKAR, V., ALBERT, S.K., SUNDERSAN, S., "Microstructural Features of Dissimilar Welds Between 316LN Austenitic Stainless Steel and Alloy 800", Materials Science and Engineering A 292, 74-82, 2000.

[4] SIREESHA M., ALBERT, S.K., SHANKAR, V., SUNDERESAN, S., "A Comparative Evaluation of Welding Consumables for Dissimilar Welds Between 316LN Austenitic Stainless and Alloy800", J. Nucl.Mater. 279,1, 65-76, 2000.

[5] MOTESHAKKER, A., DANAEE I., "Microstructure and Corrosion Resistance of Dissimilar Weld-Joints between Duplex Stainless Steel 2205 and Austenitic Stainless Steel 316L" Journal of Materials Science & Technology, 32, 3, 282–290, 2016.

[6] RAMKUMAR, K.D., SINGH, A., RAGHUVANSHI, S., BAJPAI A., SOLANKI T., ARIVARASU M., ARIVAZHAGAN N., NARAYANAN S., "Metallurgical and Mechanical Characterization Of

Dissimilar Welds of Austenitic Stainless Steel and Super-Duplex Stainless Steel", Journal of Manufacturing Processes, 19, 212–232, 2015.

[7] RAHMANI, M., EGHLIMI, A., SHAMANIAN, M., "Evaluation of Microstructure and Mechanical Properties in Dissimilar Austenitic/Super Duplex Stainless Steel Joint", J. Mater Eng Perform, 23, 3745–3753, 2014.

[8] EGHLIMI, A., SHAMANIAN, M., ESKANDARIAN, M., ZABOLIAN, A., SZPUNAR J.A., "Characterization of Microstructure and Texture Across Dissimilar Super Duplex/Austenitic Stainless Steel Weldment Joint By Super Duplex Filler Metal", Materials Characterization, 106, 207-217, 2015.

[9] JING, W., MIN-XU, L., LEI, Z., WEI, C., LI-NING, X., LI-HUA, H., "Effect of Welding Process on the Microstructure and Properties of Dissimilar Weld Joints Between Low Alloy Steel and Duplex Stainless Steel". Int J Miner Metall Mater, 19, 518–24, 2012.

[10] SHIN, J.H., LEE, J.W., "Effects of Twin Intersection on the Tensile Behavior in High Nitrogen Austenitic Stainless Steel", Materials Characterization, 91, 19–25, 2014.

[11] KAHRAMAN, N., GÜLENÇ, B., AKÇA, H., "Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 17, 2, 75-85, 2002.

[12] KOYAMA, M., AKIYAMA, E., SAWAGUCHI, T., OGAWA, K., KIREEVA, I.V. , CHUMLYAKOV, Y.I., TSUZAKI, K., "Hydrogen-Assisted Quasi-Cleavage Fracture in A Single Crystalline Type 316 Austenitic Stainless Steel", Corrosion Science, 75, 345–353, 2013.

[13] NISHIMURA, R., "The Effect of Potential on Stress Corrosion Cracking of Type 316 and Type 310 Austenitic Stainless Steels", Corros. Sci., 34, 1463–1473, 1993.

[14] BADJI, R., BOUABDALLAH, M., BACROIX, B., KAHLOUN, C., BETTAHAR, K., KHERROUBA, N. "Effect of Solution Treatment Temperature on the Precipitation Kinetic of σ Phase in 2205 Duplex Stainless Steel Welds", Materials Science and Engineering, 447–454, 2008.

[15] MOURAD, A.H.I., KHOURSHID, A., SHAREF, T., "Gas Tungsten Arc, and Laser Beam Welding Processes Effects On Duplex Stainless Steel 2205 Properties", Materials Science and Engineering: A, 105–113, 2012.

[16] NOWACKI J., LUKOJ A., "Structure and Properties of the Heat-Affected Zone of Duplex Steels Welded Joints", Journal of Materials Processing Technology 164–165, 1074–1081, 2005.

[17] DEVELI K., "Östenitik Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Argon Hidrojen Karışımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.

[18] MIYAMOTO, H., MIRNAKI, T., HASHIMOTO, S., "Super Plastic Deformation of Micro-Specimens of Duplex Stainless Steel", Materials Science and Engineering, Department of Mechanical Energy Engineering Doshisha University, Japan, A319, 779-783, 2001.

[19] CIOFU, F., NIOATA, A., DOBROTA, D., "Welds in the Duplex Stainless Steel", Fascicle of Management and Technological Engineering, 19, 2010.

[20] SMITH, J.J., FARRAR, R.A., "Influence Of Microstructure And Composition On Mechanical Properties of Some AISI Series Weld Metals", International Materials, 38, 1, 1993.

[21] ODABAŞ, C., "Cr-Ni'li Östenitik Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti", Metal Kaynak, Makine ve Otomasyon Teknolojileri Dergisi, İstanbul, 1998.

[22] ÇALIK, A., "Elektron Işın Kaynağı İle Birleştirilmiş İki Farklı Çelik Malzemenin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2004.

[23] KAYA, Y., KAHRAMAN, N., DURGUTLU, A., GÜLENÇ, B., "Ferritik Paslanmaz Çelik İle Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Farklı Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması", International Iron & Steel Symposium, Karabük, Türkiye, 779-788, 2012.