



Makale / Research Paper

Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özellikleri

Ramazan YILMAZ*

Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Esentepe Kampüsü, 54187, SAKARYA/TÜRKİYE
ryilmaz@sakarya.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, 1 mm kalınlıktaki AISI 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik malzemeler lazer kaynağı ile küt alın kaynak tarzında ve yatay pozisyonda iki taraflı olarak birleştirilmiştir. Birleştirilen ostenitik paslanmaz çeliklere çekme deneyleri ile kaynak kesiti boyunca mikrosertlik ölçümleri yürütülmüştür. Kaynaklı parçaların ve çekme deneyi sonrasında kopma yüzeylerinin optik mikroskop ve tarama elektron mikroskop (SEM) incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile ana malzemenin sahip olduğu çekme dayanımı ve % uzama değerleri karşılaştırılmıştır. Birleştirme için seçilen parametrelerin uygun olmaması nedeniyle elde edilen çekme ve % uzama değerlerinin ana malzemeye göre düşük olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: AISI 304, paslanmaz çelik, lazer kaynağı, mikroyapı, çekme dayanımı

Joining and Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steels by Laser Welding

Abstract: In this study, AISI 304 types of austenitic stainless steels with 1 mm thickness were welded by laser welding method. Joining were performed butt joint design in two side welding. Microstructural studies, microhardness measurements and tensile tests were carried out on those weldments. Microstructural investigation was performed using optical and scanning electron microscopy (SEM). Obtained tensile test and elongation results were compared to that of base metal. Lower tensile and elongation values were obtained due to unsuitable welding parameters.

Keywords: Silica AISI 304, stainless steel, laser welding, microstructure, tensile strength.

1. Giriş

Paslanmaz çeliklerin giderek artan kullanım oranı ile vazgeçilmez ve endüstriyel açıdan önemli malzemelerdir. Paslanmaz çeliklerin içerisinde ostenitik paslanmaz çelikler, ostenitik paslanmaz çeliklerin içerisinde ise özellikle AISI 304 kalite çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu tip çelikler kolayca şekillendirilebilir olmaları ve uygun kaynak şartları oluşturulduğunda kaliteli kaynak edilebilirler. Ancak geleneksel kaynak yöntemleri ile paslanmaz çeliklerin kaynağında dikkatli olunması gerekmektedir. Çünkü yüksek ısı girdilerinde kaynak dikişinin ve ısı tesiri altındaki bölgenin genişlemesi ve korozyon direncinin düşmesi, artık gerilmelerin oluşması, kaynak dikişinde çatlak oluşumu veya kaynak sonrası parçaların çarpılması gibi olumsuz durumlar oluşmaktadır [1-7].

Bu makaleye atıf yapmak için

Yılmaz, R., "Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özellikleri" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(3); 598-605.

How to cite this article

Yılmaz, R., "Joining and Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steels by Laser Welding" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2017, 4(3); 598-605.

Endüstrinin farklı alanlarında bulunan konstrüksiyonların üretiminde birçok birleştirme teknikleri kullanılmaktadır. Kaynak tekniklerinin geliştirilmesi ile farklı ve karmaşık yapıları konstrüksiyonların üretimi oldukça kolay hale gelmiştir. Kaynak kabiliyeti sınırlı olan malzemeler her yöntem ile birleştirilememekte ve yeni kaynak yöntemleri geliştirilmektedir. Lazer kaynağı geliştirilen modern birleştirme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem ile dar kaynak metali ile farklı kaynak tasarım tarzlarında birleştirme imkânı sağlanmaktadır. Lazer ışın kaynağı malzemelerin birleştirmelerinde sağladığı avantajlar nedeniyle endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer kaynak yöntemi otomasyona elverişli ergitme kaynağı yöntemidir. Odaklanmış ısı etkisiyle metal yerel olarak ergitilmekte ve bir anahtar deliği oluşumu ile derin kaynatma etkisi oluşmaktadır. Kaynak dikişleri çok dar olup güçlü lazerlerin kullanılması ile 15 mm ye kadar kalınlıklara sahip malzemeler kolaylıkla birleştirilmektedir. Bu yöntemde ısı girdisi yerel olduğundan ısı kaynak bölgesinde çabucak uzaklaştırılmaktadır. [2-6, 9]. Yüksek mekanik dayanım, düşük distorsiyon ve ilave tel kullanmadan kaynak edilebilmektedir [6-8]. Benzer özellikte malzemelerin kaynağı ile beraber farklı malzemelerinde kolaylıkla birleştirilmektedir [10, 11]. Kaynak esnasında düşük ısı oluşumundan dolayı malzemede herhangi bir genleşme oluşmamaktadır. Yapılan kaynak, uygulama alanına yüksek nüfuziyet sağlamaktadır. Kaynak yapılacak malzemenin özelliğine uygun kaynak teli kullanıldığında elde edilen sertlik değerleri ile çekme dayanım değerleri diğer kaynak uygulamaları ile karşılaştırılmayacak kadar avantajlı ve ana malzemelerin değerlerine yakındır. Kullanılan uygun parametreler ile çok ince sac malzemelerin birleştirilmesinde oldukça olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Böylece lazer kaynak teknolojisi ile düşük maliyet ve yüksek kaliteli birleştirmeler elde edilmektedir.

Lazer ışını bir ısı kaynağı olarak kaynak yapma, delik açma, kesme, kaplama ve ısıl işlem amacıyla kullanılabilir. Lazer, ışın kaynağı için kullanıldığında odaklanmış lazer ışını güç yoğunlukları sağlayarak yüksek yoğunluklu ışın, çevresinde sıvı banyo olan ince bir buharlaşmış metal oluşturulur. Lazer ışını ilerledikçe oluşan sıvı dar bir alanda kanalın içine akar. Oluşan dar kaynak banyosu kısa sürede katılaşır. Çok dar bir ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) ve düşük distorsiyon ortaya çıkmaktadır. Dar bir aralık oluşturmak için ağız hazırlığı gerektirir. İlave metal eklenebilir ve inert gaz örtüsü ile kaynak banyosu oksitlenmeden korunabilir [8].

Yapılan bu çalışmada, 1 mm kalınlığındaki AISI 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik levhalara Nd: YAG Lazer ışın kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynaklı numunelere çekme deneyi ve kaynak kesiti boyunca mikrosertlik ölçümleri yapılmış, çekme deneyi sonrasında kopma yüzeylerinin optik mikroskop ve taramalı mikroskop (SEM) incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile ana malzemenin sahip olduğu çekme dayanımı ve % uzama değerleri karşılaştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kaynağın Yapılışı ve Malzeme

Bu çalışmada 1 mm kalınlığında AISI 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik sac malzeme kullanılmış ve kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. Or laser marka lazer kaynak sistemiyle 150x300x1 mm ölçülerinde hazırlanan parçalar Nd YAG lazer pik gücü % 68, darbe genişliği 7,5 repetation oranı 8 Hz, 3 mm odak çapında ve 10 lt. dak⁻¹ gaz debisinde argon koruyucu gaz altında kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik ile ilave metallerin kimyasal bileşimleri

Malzeme	Kimyasal bileşim (% kütleli)									
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	C	Mn
AISI 304	0,08	2,0	0,045	0,03	1,0	18,2	10,0	-	0,08	2,0
ER 308L	0,030	1,8	0,03	0,025	0,40	20	10,5	0,3	0,030	1,8

2.2. Mikroyapı İncelenmesi ve Mekanik Özellikler

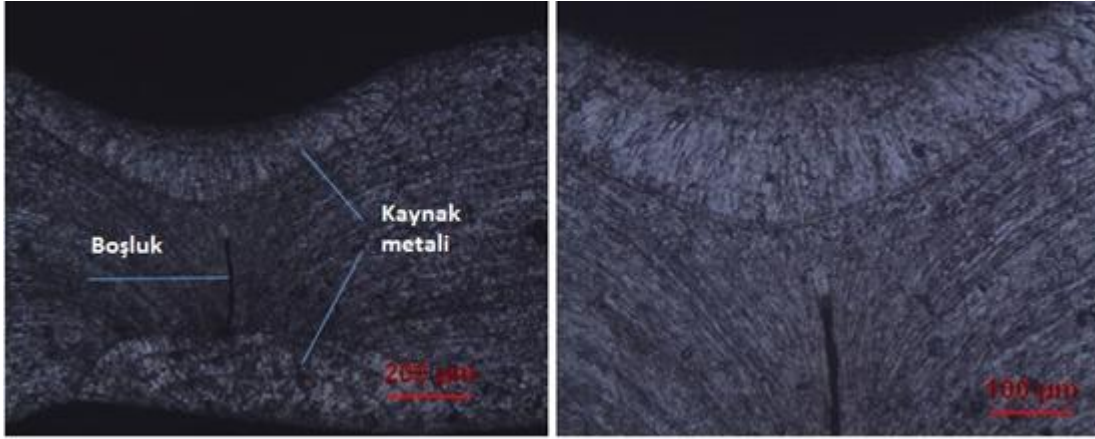
Mikroyapı çalışmaları için bakalite alınan numune SiC aşındırıcılarla zımparalanması ardından alümina ile parlatılmıştır. Hazırlanan %10 ağırlıkta okzalit asit ile elektrolitik olarak dağlandıktan sonra mikroyapı incelemeleri numuneye %10 oksalik asit çözeltisinde elektrolitik dağlama sonrasında saf alkolle temizlendikten sonra Mikroyapı incelemeleri NİKON ELIPCE L 150 marka optik mikroskopu ile yapılmıştır. Mikroyapı çalışmalarına JEOL JSM 6060 LV tarama elektron mikroskopu ile devam edilmiştir. EDS element analizleri ise SEM cihazına bağlı IXRF 500 model elektron dağılım spektrometresi (EDS) kullanılarak yapılmıştır.

Çekme deneyleri için üçer tane hazırlanan numuneler Schimadzu marka çekme cihazında ise 2 mm.dak⁻¹ çekme hızında yapılmıştır. Vickers sertlik ölçümleri MH3 METKON marka cihaz ile 200 gr yük uygulanarak alınmıştır.

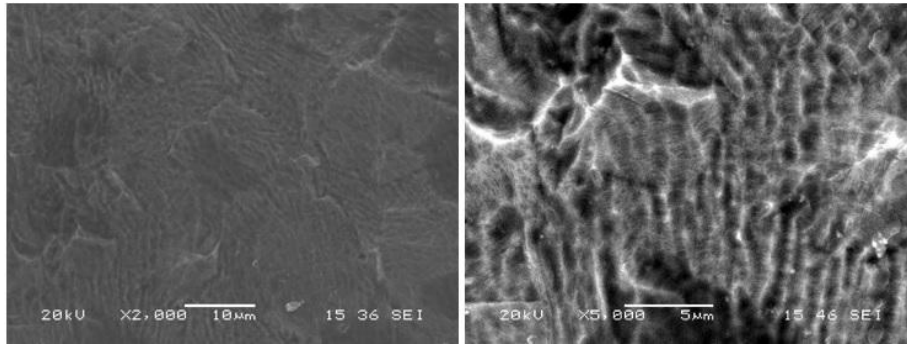
3. Sonuçlar ve Tartışılması

3.1. Mikroyapı

Lazer kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 kalite paslanmaz çelik malzemenin optik mikroskop görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kaynak edilen malzemenin yüzeyinde çöküntüler olduğu birleştirme için seçilen parametrelerin ve kaynak öncesi hazırlıkların yeterli olmadığı görülmektedir. Bu kaynak yönteminde kaynak genişliğine oranı yüksek olması gerekirken bu çalışmada birleştirilen parçada genişlik 600 µm iken derinlik 200 µm civarında kalmıştır. Böyle bir durum birleştirme dizaynı ve birleştirmeden beklenen özellikler için uygun olmamakla beraber böyle bir durumda birleştirilen malzemelerin göstereceği mukavemet davranışları incelemek açısından çalışmaya devam edilmiştir. Kaynak işlemi yapılan işletmede daha çok plastik enjeksiyon kalıplarının aşınan yüzeylerinin tamiri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. İki taraflı kaynak yapıldığında seçilen parametrenin uygun olacağı öngörülmekteydi. Kaynak dikiş geometrisine ve literatür bilgileri doğrultusunda kaynak işleminin beklenen mukavemet değerlerinin elde edilip edilmeyeceği merak edildi. Bu tip kaynak yöntemlerinde birleştirme esnasında elde edilen kaynak şekli ve nufuziyet geometrisi kaynak cihazının gücü, seçilen kaynak voltajı, amperi ve ilerleme hızına bağlıdır [4, 5, 9]. Kaynak edilen malzemenin yüzeyine bakıldığında kaynak bozukluğu bulunmaktadır ve hatalı bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Öncelikle kaynak nufuziyetine yetersizliği mekanik yükler sonucu oluşan bu kısımlarındaki hatalar gerilme yığılmalarına neden olduğundan bölgede bulunan boşluklar mikro çatlaklara neden olarak birleşmenin servis ömrünü olumsuz etkilemekte olup, çekme dayanım değerlerinin düşürdüğü gibi aynı zamanda birleştirmenin yorulma ömrünü de olumsuz etkilemektedir. Bu kaynak yönteminde malzeme çok hızlı bir şekilde ergime sıcaklığına ulaşması ve hızla soğuması sonucu bir yapı ortaya çıkmakta ve oluşan yapı çok ince olduğu ve yüksek büyütme görüntülerin alınması ile gözlenmektedir (Şekil 2 a-b). Bu durum birleştirme esnasında oluşan kaynak metalinin sertliğini artırmaktadır. Şekil 1 de görüleceği gibi kaynak metali ile ana metal arasında bir çizgi olarak ayrılmakta ve ITAB gözlenmemektedir. Bu yöntemde ergime sıcaklığına ve tekrar oda sıcaklığına düşmesi çok hızlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak metalinin görüntüsü diğer kaynak metallerinin sahip olduğu görüntüden farklıdır. Özellikle TIG kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde kaynak metalinde belirli oranlarda δ-ferrit bulunmaktadır [12]. Mikroyapı görüntülerinde özellikle SEM görüntülerinde bu faza rastlanmamıştır ya da bu faz farklı bir görüntüye sahiptir (Şekil 2 a-b). SEM görüntülerinden kaynak metalinin oldukça küçük tanelere sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan ergime sıcaklığına ulaşamayan ancak belirli bir sıcaklık değerine ulaşan bölgelerde mikroyapı yeniden oluşmuş ve tanelerin ergime olan bölgelere doğru bir anaför şeklinde yönlendiği gözlenmiştir. Bu yapı sürtünme karıştırma kaynağında meydana gelen dinamik kristalleşme bölgelerinin sahip olduğu görüntülere benzemektedir.



Şekil 1. Birleştirilen malzemenin optik görüntüleri



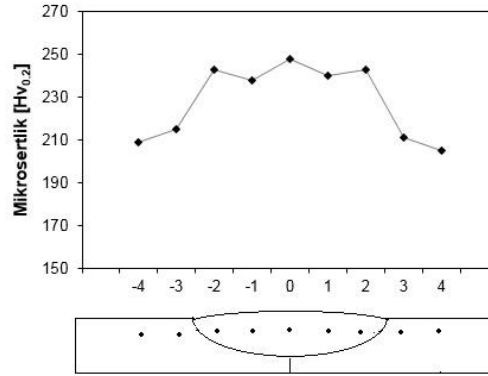
Şekil 2. Birleştirilen malzemenin kaynak metalinin farklı büyültmelerdeki SEM mikroskop görüntüleri

3.2. Sertlik ve Çekme Deneyleri

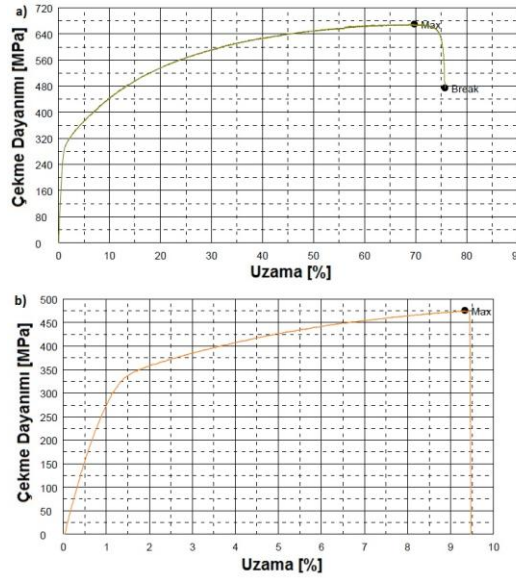
Şekil 3’de birleştirilen ostenitik paslanmaz çelik malzemenin sertlik dağılımı verilmiştir. Bu bölgede erime olması ve hızlı katılaşması sertlik değerlerinde artışa neden olmaktadır. Oluşan kaynak metalinin geniş olması sertlik değerlerinde ani düşüş gözlenmemektedir.

Şekil 4’de AISI 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik malzemenin ve lazer kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik malzemenin çekme deneylerinde elde edilen dayanım uzama eğrileri görülmektedir. AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik malzemeler yüksek alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerdir. Gerçekleştirilen çekme deneylerinde akma dayanımı 316 ± 20 , çekme dayanımı 673 ± 3 ve % uzama değeri ise 75 ± 1 olarak elde edilmiştir. Lazer kaynağı ile birleştirilen aynı çeliklerin çekme deneylerinde ise 295 ± 15 , çekme dayanımı 481 ± 6 ve % uzama değeri ise 12 ± 4 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerlere bakıldığında Akma dayanımında % 7, çekme dayanımında % 29 ve % uzama değerlerinde ise % 84 oranında düşmüştür. Bu tip malzemeler yüksek dayanıma sahip tok malzemeler olarak bilinmekte ve bu özellikleri gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. % uzama değerindeki bu fark bu şekilde birleştirilen bu malzemedan üretilen konstrüksiyonun kullanılması için şartnamede verilen şartlara uygun olmayacağını göstermektedir. Bu nedenle kaynak yöntemi ne olursa olsun seçilen kaynak yöntemi için uygun kaynak parametrelerinin seçilmesi ve kullanılması gerekmektedir aksi durumda yüzeyleri iyi kaynak edilmiş görülmesine rağmen arzu edilen mekanik değerleri taşımamakta ve konstrüksiyonun kullanımı esnasında ani ve hızlı hasarlara neden olarak arzu edilmeyen kazalara ve hasarlara neden olabilmektedir. Yeterli kaynak nüfuziyet sağlayamadığından birleştirilen malzemelerin içerisinde birleştirilmeyen boşluklar bulunmakta ve gerilme esnasında bu bölgeler çentik etkisi göstererek ani kırılmalar neden olmaktadır. Bu tür malzemelerde çekme deneyi sonrasında kırılmalar genelde ana malzemedan olmaktadır (Şekil 5). Ancak birleştirme bölgesindeki

boşluklar sonucu oluşan çatlak ilerlemesi ve kırılma kaynak metalinin olduğu bölgeden gerçekleşmektedir. Böylece elde edilen akma, çekme ve özellikle % uzama değerleri düşmektedir.



Şekil 3. Bileştirilen malzeme kesintinde sertlik değerlerinin dağılımı



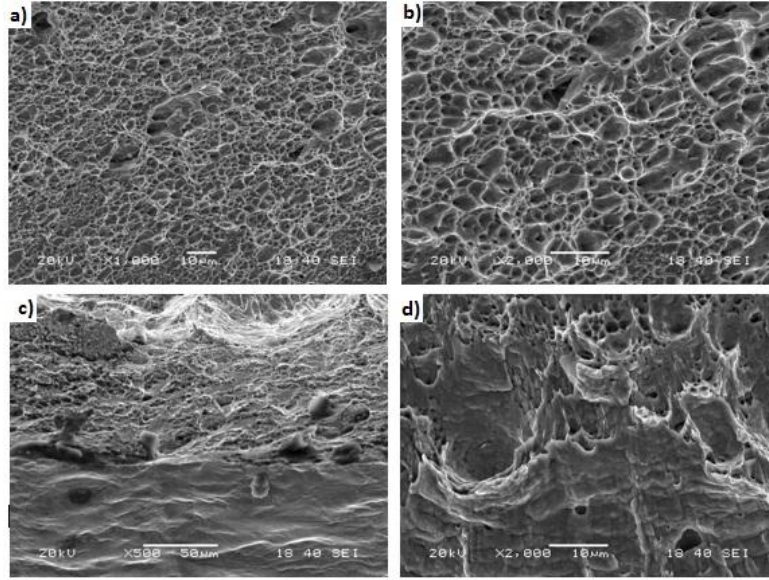
Şekil 4. Çekme deneylerinde elde edilen a) AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik b) bileştirilen malzemenin çekme uzama diyagramı



Şekil 5. Çekme deneyi sonrasında malzemelerin görüntüsü

AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik malzemenin ve kaynak ile birleştirilen paslanmaz çelik malzemenin çekme deneyi sonrasında kırılma yüzey morfolojileri şekil 6 (a-d)'de verilmiştir. Ana malzemenin çekme deneyi sonrasında kırılma yüzey morfolojileri gamze şeklinde delikli bir ağ şeklinde kırılma meydana gelmektedir. Bu tür görüntü hem paslanmaz çelik malzemelerin hem de bu tür kaynaklı malzemelerde görülen genel bir kırılma şeklidir ve malzemenin tok olduğunu göstermektedir. Ancak bu çalışmada kaynaklı malzemelerde çekme deneyi sonrasında elde edilen kırılma morfolojileri farklıdır. Boşluğun hemen sonrasındaki yüzeyde çatlak ilerlemesi hızlı olmuş gamze şeklindeki delikli ağ görüntüden daha çok düz ve gevrek bir kırılma gözlenmektedir. Kaynak metalinin yüzeyine doğru bir miktar delikli ağ görüntüsü tam olarak oluşmamıştır. Bunu nedeninin

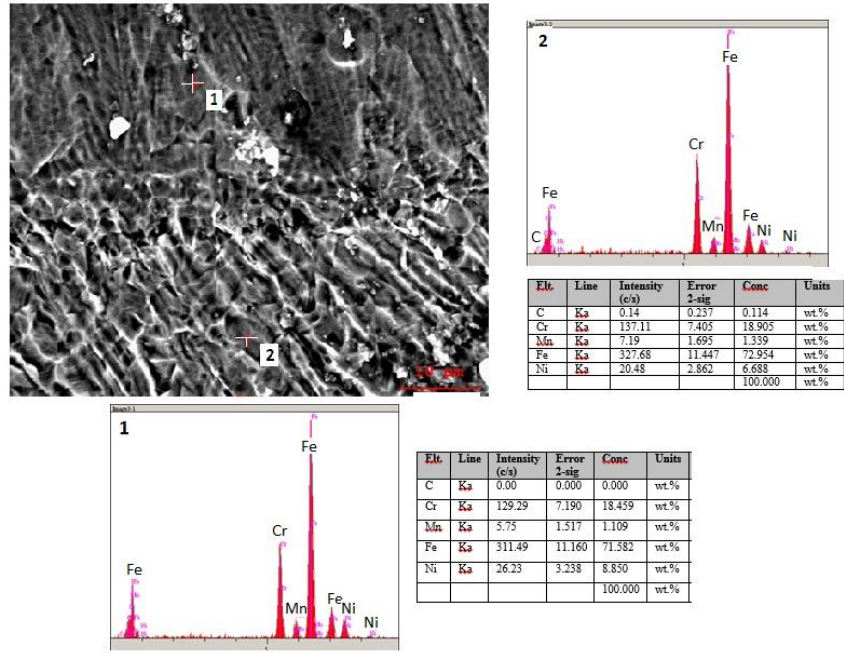
kaynak metalindeki yapı tok olmasına rağmen ilerleyen çatlakın tuzaklanması tam olarak başarılammıştır ve böyle bir görüntü elde edilmiştir.



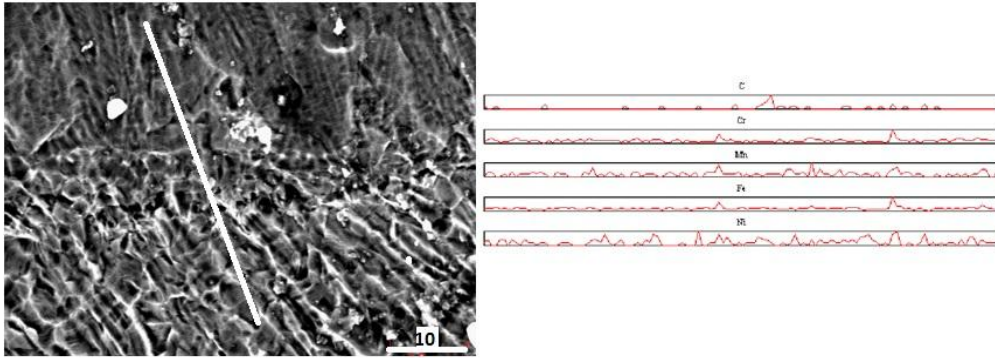
Şekil 6. Çekme deneyi sonrasında a) ana malzemenin b) ana malzemenin daha yüksek büyütmedeki c) kaynaklı numune d) kaynaklı numunenin daha yüksek büyümedeki kırılma yüzey görüntüleri

3.3. EDS nokta, çizgi analizleri ve haritalama

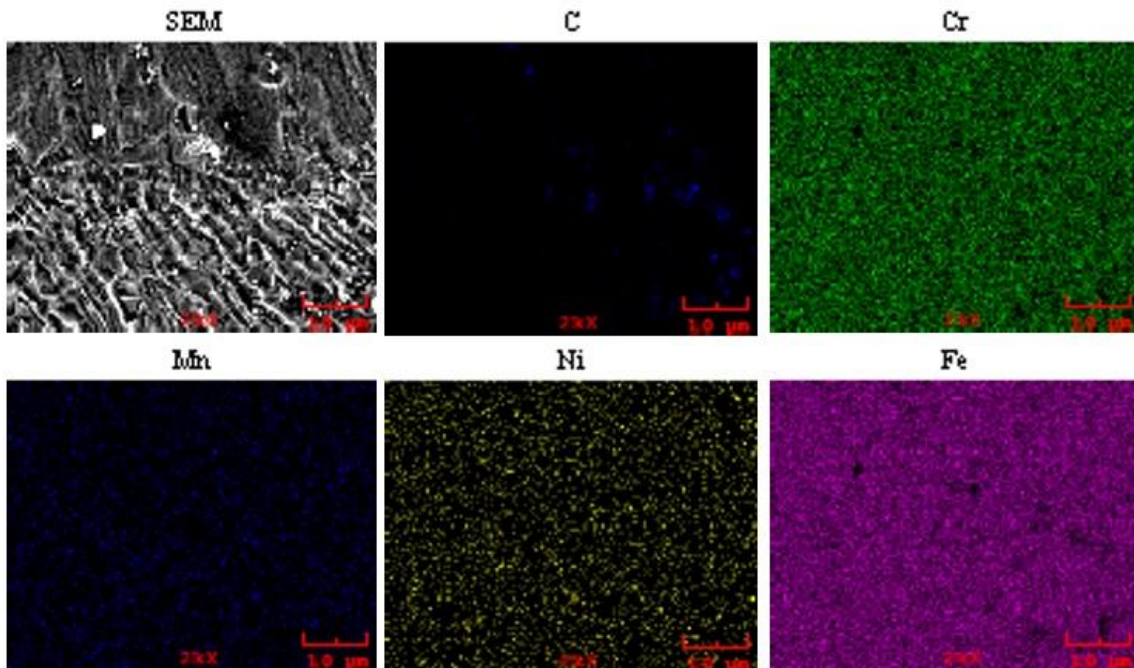
Şekil 7’de birleştirmenin SEM görüntüsü ve EDS analizi verilmektedir. Birleştirmede ana metal ile kaynak metal arasında net bir çizgi bulunmakta olup, ITAB bölgesi ya bulunmamaktadır. EDS analizlerine bakıldığında kaynak metal ve ana metalde aynı elementler bulunduğu görülmektedir. Bu durum kaynak metal ile ana malzemenin aynı elementlerden oluştuğunu göstermektedir. Ancak Kaynak metalinde karbon elementine rastlanmamıştır. Bu durum öncelikle ilave kaynak metal ER 308L olduğundan düşük miktarda (% 0.03) karbon içermesi ile açıklanabilir. İkincisi ise birleştirme esnasında karbonun kaynak metalinden ana metale doğru difüzyonu söz konusu olabilir. Uzaklaştırılabilir. EDS analizi alınan 1 ve 2 nolu noktalarda hemen hemen aynı oranlarda bulunmasına rağmen kaynak metalinde (1 nolu nokta) nikel bir miktar fazla olurken mangan ve krom oranları düşüktür. Ancak karbon hiç bulunmamaktadır. 2 nolu nokta olan ana metalde ise mangan, krom fazla olurken nikel miktarı düşüktür. Bu noktasal olarak alınan bir değerler olduğu için bölgesel farklılıklar olabilir. Bu nedenle kaynak metalinden ana metale doğru çizgisel analiz alınmıştır (Şekil 8). Çizgisel analizde az da olsa farklılıklar gözlenmiştir. Karbon elementi kaynak metalinde çizgi boyunca çok az değerlerde iken kaynak metalinde bazı noktalarda özellikle kaynak metal ile ana metal ara yüzeye yakın bölgelerde yüksek değerler verirken bazı noktalarda daha az olduğu görülmektedir. Bu durum metalin hızlı ısınması ve soğumasının etkili olabileceği düşünülmektedir. Mikroyapıdaki element yığılmaları ve dağılımlarını daha net olarak gözleyebilmek açısından SEM haritalama analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Şekil incelendiğinde EDS nokta ve çizgisel analizde elde edilen sonuçları onayladığı gözlenmektedir. Kaynak metalinde karbonun olmadığını ve özellikle kaynak metal ile ana metal ara yüzeye yakın bölgelerde yoğunlaştığı gözlenmektedir. Kaynak metalinde krom ve mangan miktarının aza olduğu ana metalde ise bahsedilen bu elementlerin daha yoğun olduğu gözlenmektedir.



Şekil 7. Birleştirilen malzemeden farklı noktalarından alınan EDS analizi sonuçları



Şekil 8 Lazer kaynağı ile birleştirilen malzemenin SEM mikroyapı üzerinde çizgi boyunca alınan elementlerin lineer analiz diyagramı



Şekil 9. Lazer kaynağı ile birleştirilen malzemeden SEM element haritalama görüntüsü

5. Sonuçlar

Lazer kaynaklarında kaliteli birleştirmelerin sağlanabilmesi için öncelikle kaynak parametrelerinin iyi seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kaynaklı birleştirmelerin ana malzemenin sahip olduğu çekme mukavemet değerlerinin bir miktar fakat % uzama değerlerinin çok düştüğü gözlenmiştir. Kaynak metalinin sahip olduğu sertlik değerlerini ana metale göre daha yüksektir. Parametreler uygun olmadığından çekme deneyleri sonucunda elde edilen kırılma yüzey morfolojilerinin görüntüsü kırılmanın daha gevrek olduğunu ve nufuziyet eksikliği sonucu oluşan boşlukların çentik etkisi oluşturularak çatlak ilerlemesini hızlandırdığı anlaşılmaktadır. SEM incelemelerinde kaynak metalinin mikroyapısının diğer yöntemlerde elde edilen mikroyapılara göre daha farklı olduğu EDS nokta, çizgi analizleri ve element haritalama ile element dağılımlarının farklılaştığı gözlenmiştir.

6. Teşekkür

Lazer kaynakları için Armet Lazer yetkililerine ve çekme deneylerini için Karabük Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Süleyman Gündüz'e çok teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Odabaş, C. Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, Askaynak-İstanbul, 2004.
- [2] Keskin, M.S. Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Lazer Kaynağı ile Birleştirilmesinin İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- [3] Aran, A. Temel, M.A. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi Kullanımı Standartları, Sarıtaş Teknik Yayını-İstanbul 2004.
- [4] Çelen, S., Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Dayanım ve Korozyon Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 9 Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2006.
- [5] Uzun, R.O, Lazerle Kaynak İşlemlerinde Kaynak Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [6] Balasubramanian, R. Siva, Shanmugam, N., Buvanashakaran, G., Sankaranarayanan, K. Numerical and Experimental Investigation of Laser Beam Welding of AISI 304 Stainless Steel Sheet, *Advances and Production Engineering & Management* 3, (2008) 93-105.
- [7] Yan, J. Gao, M. Zeng, X. Study on Microstructure and Mechanical Properties of 304 Stainless Steel Joints by TIG, Laser and laser-TIG Hybrid Welding, *Optics and Lasers in Engineering* 48 (2010) 512–517.
- [8] Dawes, C. *Laser Welding: A Practical Guide*, Abington Publishing, Cambridge, 16-18, 1992.
- [9] Köse, C. Kaçar, R. Kaynak İlerleme Hızının AISI 316L Paslanmaz Çelik Lazer Kaynaklı Birleştirmelerinin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30, 2, (2015), ss. 225-235.
- [10] Taşkın, M. Çalığülü, U. AISI 430/1010 Çelik Çiftinin Lazer Kaynağında Kaynak Gücünün Birleşmeye Etkisi, *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1, (2009), ss. 11-22.
- [11] Khana, M.M.A. Romolia, L. Fiaschib, M. Dinia, G. Sarri, F. Laser Beam Welding of Dissimilar Stainless Steels in a Fillet Joint Configuration, *Journal of Materials Processing Technology* 212 (2012) 856– 867.
- [12] Yılmaz, R. Türkyılmazoğlu, A. Farklı İlave Metalleri Kullanılarak Birleştirilen AISI 304 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Mekanik Özellikleri, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 987–993, 2006, .9–11 Kasım İstanbul-Türkiye