

İNCE PASLANMAZ ÇELİK SAÇLARIN FİBER LAZER İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ*

Cansu Kökey

Celal Bayar Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Manisa
cansukokey@gmail.com

Seçkin Sezgin

Vestel Beyaz Eşya San. ve Tic. A.Ş., Manisa
seckin.sezgin@vestel.com.tr

Niyazi Çavuşoğlu**

Dr.,
Ege Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir
niyazi.cavusoglu@ege.edu.tr

Simge Gençalp İrizalp

Dr.,
Celal Bayar Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Manisa
simge.gencalp@cbu.edu.tr

İbrahim Etem Saklakoğlu

Doç. Dr.,
Ege Üniversitesi, Makina Mühendisliği
Bölümü, İzmir
i.e.saklakoglu@ege.edu.tr

ÖZ

Lazer kaynağı, geleneksel kaynak yöntemlerine göre birçok avantajı olan yüksek enerji yoğunluklu, düşük ısı girdili bir kaynak yöntemidir. Bugün sanayinin birçok alanında endüstriyel olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Son yıllarda ince malzemelerin kaynağında da lazer teknolojisinin kullanımı artmıştır. Bu çalışmada, 0,6 mm kalınlığında ferritik 430 kalite paslanmaz çelik malzemelerin alın kaynak kabiliyeti incelenmiştir. Paslanmaz çelik levhalar darbeli fiber lazer kaynak makinası ile çeşitli kaynak parametreleri (ışın çapı, darbe enerjisi, darbe süresi, darbe frekansı) değiştirilerek kaynak edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca metalurjik özelliklerini değerlendirmek için optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir. Kaynak bölgesinin korozyon özellikleri incelenmiş ve taneler arası korozyon ve pitting oluşumunun meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ferritik paslanmaz çelik, lazer kaynağı, korozyon

INVESTIGATION OF THE WELDABILITY OF THIN STAINLESS STEEL SHEET BY FIBER LASER

ABSTRACT

Laser welding is a high energy density-low heat input technique which has many advantages according to the classical welding techniques. Nowadays laser welding technique is being used widely in many industrial applications. In recent years, for welding of thin metals laser technology is growing up. This research includes, butt welding of 0,6 mm thick ferrite 430 quality stainless steel. Stainless steel thin work pieces have been welded by use of fiber laser welding machine with different parameters (pulse diameter, pulse energy, pulse time, pulse frequency) to achieve better mechanical properties than original material at the weld area. Micro structure, stress tests have been applied to determine and compare the mechanical properties. Optical microscope has been used to examine the micro structure. The corrosion properties of the welds were examined and it was seen that intergranular corrosion and pitting occurred in the weld zone.

Keywords: Ferritic stainless steel, laser welding, corrosion

** İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 30.01.2016

Kabul tarihi : 05.02.2016

* 20-21 Kasım 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Ankara'da düzenlenen Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca Dergimiz için makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Kökey, C., Sezgin, S., Çavuşoğlu, N., Gençalp-İrizalp, S., Saklakoğlu, İ. E. 2016. "İnce Paslanmaz Çelik Sacların Fiber Lazer ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 674, s. 65-72.

1. GİRİŞ

Ferritik paslanmaz çelikler sertleştirilmeyen Fe-Cr alaşımlarıdır. Bunların en çok kullanılan tipi, düşük karbonlu, %17 Cr içeren AISI 430'dur. 430 kalite paslanmaz çelikler nikel ve molibden içermedikleri için 300 serisi paslanmaz çeliklere oranla fiyat açısından daha uygundur. 430 kalite paslanmaz çelik, 1.4016 paslanmaz çelik olarak da adlandırılmaktadır [1]. Ferritik paslanmaz çelikler, kolayca şekillendirilebilir ve atmosferik korozyona direnç gösterirler. Bu özellikleri sayesinde, mimari, iç ve dış dekorasyon, mutfak eşyaları, çamaşır makinesi tamburları ve kurutma makineleri, gıda sanayi, otomotiv endüstrisi, kimya ve petrokimya gibi endüstri uygulamalarında geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir [2].

Ferritik paslanmaz çelikler, iki tipik ve son derece zorlu uygulama olan otomotiv egzoz sistemleri ve çamaşır makinesi tamburlarında başarıyla kullanılmaktadır. Egzoz sistemleri yüksek sıcaklıklara ve paslandırıcı ortam koşullarına maruz kalırlar. Çamaşır makinesi tamburları, deterjanlara ve neredeyse her zaman nemli olan ortamlara dayanıklı olmalıdır. Buna karşın, lokal korozyona hiçbir şekilde müsaade edilemez. Çamaşır makinesi tamburları ve egzoz sistemleri gibi önemli uygulamalarda başarılı şekilde kullanılan ferritik paslanmaz çelikler aslında birçok alanda çok daha geniş uygulama potansiyeline sahiptir [3].

Bununla birlikte, ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağıyla ilgili bir takım sorunlar vardır. Çelik yeteri kadar yüksek bir sıcaklıkta ısıtılırsa, süneklik ve tokluğunda azalmaya sonuçlanan çok hızlı tane büyümesi oluşabilir [4]. Normal halde ferritik paslanmaz çelikler, çok ince taneli sünek ve ferritik bir yapıya sahiptir. Ferritik paslanmaz çelikler, kaynak veya kaynak sonrası ısıtım sırasında yaşanan termal döngülerin sonucu olarak hassaslaşması yüzünden taneler arası korozyona karşı hassastır. Ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri durumunda, ITAB'da 950 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, taneler arası krom karbür çökmekte ve taneler arası korozyon meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda çalışmaya bağlı olarak, birleşme bölgesinde tane irileşmesi meydana gelmektedir. Tane irileşmesi ve taneler arası karbür çökmeleri kaynaklı bağlantının mekanik özelliklerini olumsuz etkiler [5, 6]. Ferritik paslanmaz çeliklerin füzyon kaynağında düşük tokluk ve süneklikle sonuçlanan, ısıdan etkilenen bölgede ve bağlantının füzyon bölgesinde istenmeyen tane büyümesi ve zararlı ikincil fazların, özellikle sigma fazının çökmesiyle karşılaşılır. Sigma fazının oluşumu ve tane büyümesi, lazer ışın kaynağı, darbeleri akım gaz tungsten ark kaynağı ve katı hal kaynak yöntemleri gibi düşük ısı girişi içeren yöntemler uygulanarak kontrol edilebilir [7, 8].

Lazer kaynağı, farklı bağlantı tiplerinde, yeni malzemeler veya özellikleri geliştirilmiş malzemelerin mevcut ergitme kaynak yöntemleri ile kaynak edilmesinde karşılaşılan prob-

lemleri ortadan kaldırdığı ya da minimize ettiği için son yıllarda geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Lazer kaynak işleminde lazer üreticilerine bağlı olarak lazer ışınları sürekli ya da darbeleri modda olabilir. Sürekli veya darbeleri bir lazer ışını, endüstride farklı ihtiyaçlar doğrultusunda çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

Paslanmaz çeliklerin lazer kaynağı için, ısıdan etkilenmiş bölgenin çok küçük ya da yok denecek kadar az olmasının dışında, diğer füzyon kaynak işlemlerindeki aynı metalurjik hususlar geçerlidir. Örneğin karbür çökmesi, yüksek hız ve düşük ısı girdisinden dolayı lazer kaynağında meydana gelmez. GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) ile 10^2-10^4 W/cm² aralığında güç yoğunluğu elde edilirken, lazer ışını odak noktasında 10^6-10^8 W/cm² aralığında güç yoğunluğu sağlar. Buna ek olarak, gaz tungsten ark kaynakları düşük oranlarda, genellikle, 10^0-10^1 K/s soğurken, lazer kaynaklarında ise ısıtma ve soğutma 10^5 K/s gibi çok yüksek oranlarda gerçekleşir. Lazer kaynağında düşük ısı girişi, hızlı ısıtma ve soğutma oranları, ferritik paslanmaz çelik kaynak bağlantılarında tane irileşmesi üzerinde daha fazla kontrol imkânı sağlar [9-11]. Kaynaklı birleştirmelerde en önemli sorun, kaynak dikişi ve çevresinde korozyon dayanımını koruyabilmektir. Bu bölgelerde malzeme, taneler arası korozyona duyarlı hale gelebilir. Bunu önlemek için bileşimi ve kaynak koşullarını çok iyi kontrol etmek gerekir. Bazen de kaynak sonrası işlemler gerekebilir.

Bütün çelikler farklı seviyelerde korozyona maruz kalır. Paslanmaz çelikler içerdikleri krom sayesinde diğer çeliklere göre daha iyi korozyon direncine sahiptir. Krom azalmasıyla ferritik paslanmaz çeliklerin taneler arası korozyona duyarlaşması, tane sınırlarında krom karbür ve nitritlerin oluşması nedeniyle olur. Karbon ve azotun ferrit içinde düşük çözünürlüğü ve daha yüksek difüzyon hızı sonucu ferritik çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinde ve komşu bölgede hassas alan oluşur. Taneler arası korozyonu önlemek için karbon oranını azaltmak veya çelik bileşimine titanyum, niyobyum ekleyerek karbon ve azotu bağlamak gereklidir [12].

Bu çalışmada, çamaşır makinesi tamburu yapımında kullanılan 430 tip ferritik paslanmaz çeliklerin lazer kaynağı ile kaynaklanması sonrası mekanik özellikleri, korozyon davranışı ve mikroyapısında meydana gelen değişimler incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 345x140x0,6 mm ölçülerinde AISI 430 (1.4016) ferritik paslanmaz çelik levhalar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de, oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri de Tablo 2'de gösterilmiştir.

Kaynak işlemleri, saf argon gaz ortamında alın altına fiber lazer kaynak makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak

Tablo 1. Ana Malzemenin Kimyasal Bileşim Oranları

Kimyasal Bileşim (%)						
C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
0,12 maks	1,00	0,045 maks	0,03 maks	1,00 maks	16-18 arası	0,75 maks

Tablo 2. Ana Malzemenin Oda Sıcaklığında Mekanik Özellikleri

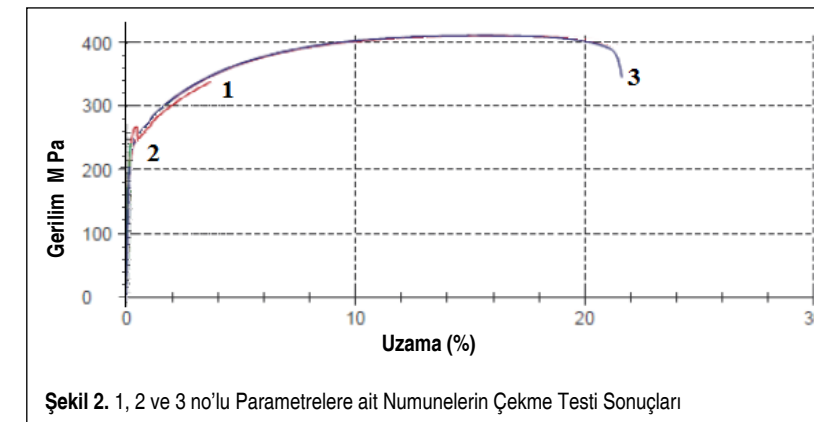
Çekme Dayanımı	415 MPa
Akma Sınırı (% 0,2)	250 MPa
Sertlik (Rockwell B)	82

Tablo 3. Kaynak Parametreleri

	Power (kW)	Işın Çapı (mm)	Darbe Enerjisi (J)	Darbe Frekansı (Hz)	Gerilim (V)
1. Parametre	0,05	0,6	6,4	7,9	253
2. Parametre	0,20	0,7	7,6	7,9	266
3. Parametre	0,40	0,7	12	7,9	278



Şekil 1. Kaynaklı Parçaların Giyotinle Kesilmiş Görüntüleri



Şekil 2. 1, 2 ve 3 no'lu Parametrelere ait Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

edilen numunelere çekme ve korozyon testleri uygulanmış ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Tablo 3'te belirtilen kay-

nak parametreleriyle kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2.1 Çekme Testleri

Kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyleri EN ISO 6892-1 Standardı'na uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri kaynak yönüne dik gelecek konumda giyotin ile kesilmiştir (Şekil 1).

2.2 Mikroyapı İncelemeleri

Mikroyapı incelemesi için numuneler sırasıyla, kaba zımparalama, ince zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Zımparalama işleminde 120, 220, 400, 600, 800, 1000, 1200 meshlik zımpara kağıtları kullanılmıştır. Parlatma kademesi 3 mikronluk ve 1 mikronluk elmas süspansiyon ile gerçekleştirilmiştir. Dağlama sıvısı olarak 1 M %60 HCl, %40 saf su oranlarından oluşan dağlama sıvısı kullanılmıştır. İşlemler tamamlandıktan sonra her numune için kaynak metali, geçiş bölgesi ve ana metalden mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.

2.3 Korozyon Testleri

Korozyon testleri EN ISO 3651-1 Standardı'na göre gerçekleştirilmiştir. Hızlandırılmış korozyon deneyleri kapsamında, korozyon gelişimini metal mikroskopuyla tespit etmek için bir adet bakalitli numune ile ağırlık kaybını belirlemek için bir adet bakalitsiz numune çözelti içerisine alınmıştır. Korozyon ortamı için oda sıcaklığında 1M HCl çözeltisi kullanılmıştır. Korozyon öncesi numunenin kütle ölçümü yapılmış ve başlangıç kütlesi, $m_1 = 0,522$ g olarak tespit edilmiştir.

Bakalitli ve bakalitsiz numune ayrı ayrı korozyon çözeltiye bırakılmış olup, belirli periyotlarla bakalitli numuneden mikroyapı fotoğrafları, bakalitsiz numuneden ise kütle kaybı değerleri alınmıştır. Her iki numune de toplam 119 saat korozyon çözelti içinde kalmıştır. Numuneler çözeltiye bırakıldıktan sonra mikroyapı fotoğrafları ve ağırlık kaybı sonuçları birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci, yirincinci, doksan altıncı ve yüz on dokuzuncu saatin sonlarında alınmıştır. 119. saatin sonunda bakalitsiz numunede kaynak bölgesinden kopma gözlenmiştir.

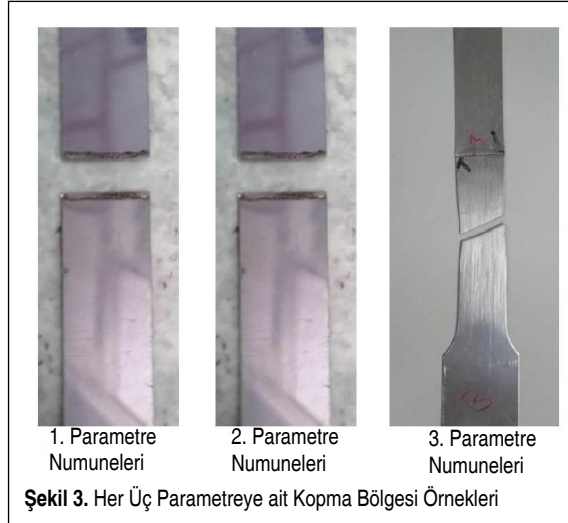
3. SONUÇLAR

3.1 Çekme Testi Sonuçları

Her bir parametre için kaynak edilmiş parçalar-

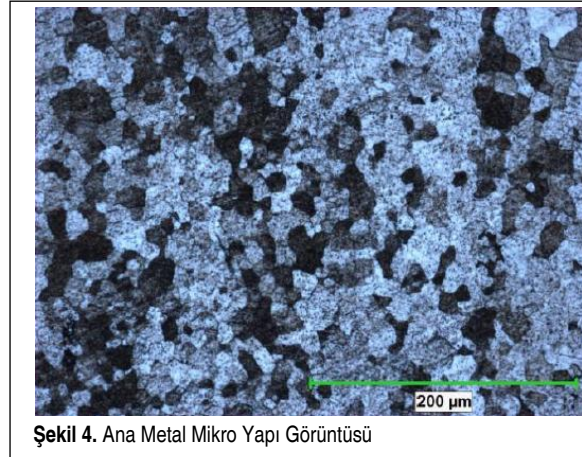
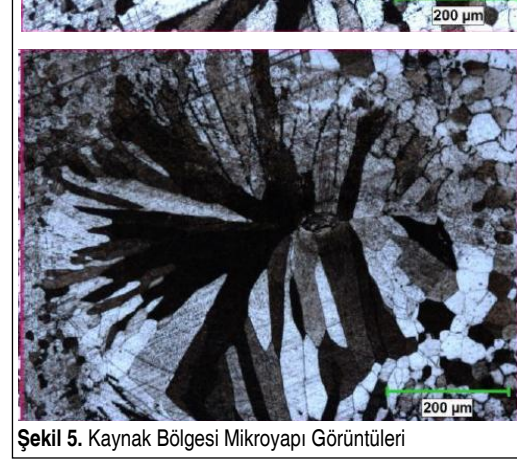
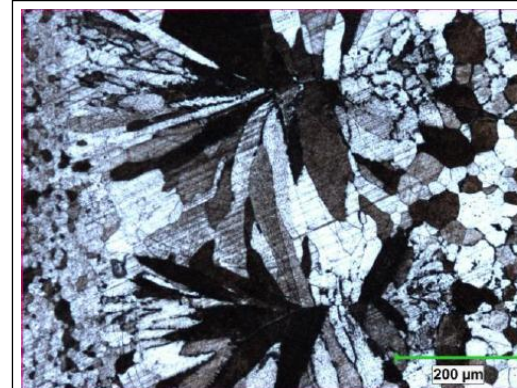
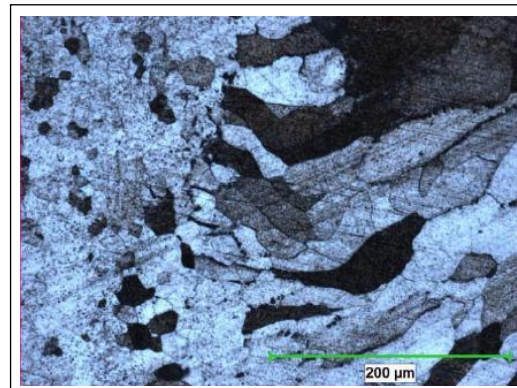
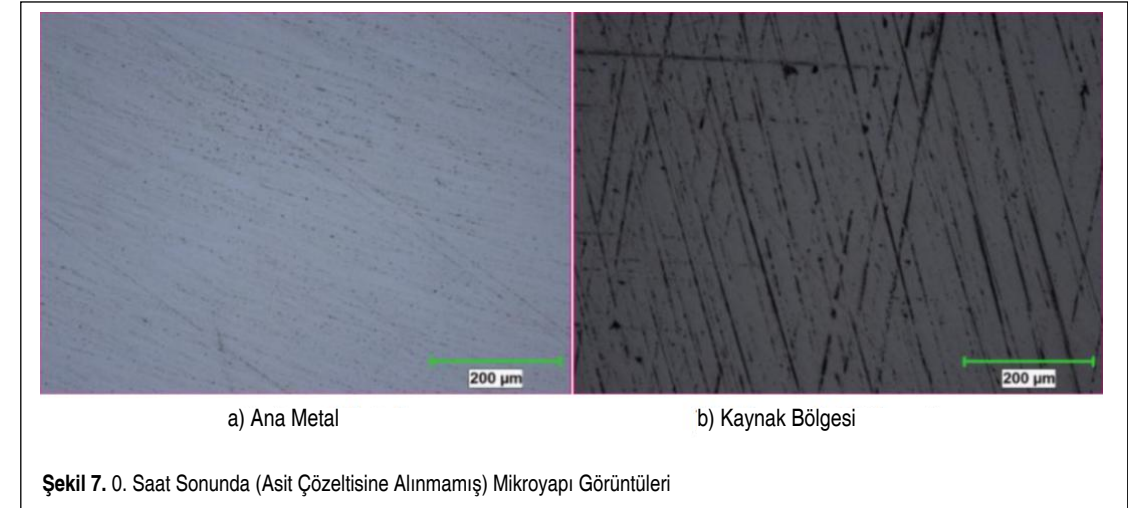
Tablo 4. 1, 2 ve 3 no'lu Parametrelere ait Numunelerin Çekme Dayanımlarının Ortalaması

Parametre No	Ortalama $R_{p0.2}$ (MPa)	Ortalama R_m (MPa)
1	223	296
2	214	236
3	249	410

**Şekil 3.** Her Üç Parametreye ait Kopma Bölgesi Örnekleri

dan çıkarılan numunelere ait çekme testi sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Çekme testi sonuçlarından elde edilen verilere bağlı olarak her bir parametrenin ortalama çekme dayanımı değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Şekil 2'deki 1 no'lu çizim, 0,6 mm ışın çapı, 6,4 joule darbe enerjisiyle kaynatılan numunenin çekme testi sonucudur. Ortalama çekme dayanımı değeri 296 MPa olarak hesaplanmıştır. Kopma, kaynak bölgesinden gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, kaynak bölgesinin çekme dayanımının ana malzemeden düşük olduğu açıktır. 2 no'lu çizim, 0,6 mm darbe çapında, 7,6 joule darbe enerjisiyle kaynatılan numunenin çekme testi sonucudur. Ortalama çekme dayanımı değeri 236 MPa olarak hesaplanmıştır. Kopma, kaynak bölgesinden gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, kaynak bölgesinin çekme dayanımının ana malzemeden düşük olduğu açıktır. 3 no'lu çizim, 0,7 mm darbe çapında, 12,0 joule darbe enerjisiyle kaynatılan numunenin çekme testi sonucudur. Ortalama çekme dayanımı değeri 410 MPa olarak hesaplanmıştır. Çekme testi sonucunda kopma, ana malzemeden gerçekleşmiştir. Buna göre, 3 no'lu kaynak parametresi ile birleştirilmiş 430 kalite paslanmaz çelik numunenin en iyi mekanik özelliklere sahip olduğu söylenebilir. Şekil 3'te, çekme numunelerinde her parametre için kaynak bölgesinden ve ana malzemeden kopan numunelere ait bir örnek görülmektedir.

**Şekil 4.** Ana Metal Mikro Yapı Görüntüsü**Şekil 5.** Kaynak Bölgesi Mikroyapı Görüntüleri**Şekil 6.** Geçiş Bölgesi Mikroyapı Görüntüsü**Şekil 7.** 0. Saat Sonunda (Asit Çözeltisine Alınmamış) Mikroyapı Görüntüleri

3.2 Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 4'te, 430 kalite ferritik paslanmaz çelik malzemesinin mikroyapı fotoğrafı görülmektedir.

Şekil 5'te, kaynak sonrası mikroyapı incelemeleri verilmiştir. Burada, lazer atış noktaları ve ergimenin başlayıp ısının dağılma yönü belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Lazer atış noktası mesafesi azaldığında, lazer atışı sonucu ergiyip katılaştıran bölgenin kısmen küçüldüğü tespit edilmiştir. Bu küçülmenin kaynak geriliminin, darbe enerjisinin, darbe süresinin değişkenlik göstermesi sonucunda meydana gelebileceği düşünülmektedir.

Isı tesiri altında kalan bölge (ITAB) neredeyse yok denilecek kadar dar bir alandadır (Şekil 6). Bu durum, lazer kaynağının küçük odak çapı sağlama ve çok hızlı soğuma özelliklerine bağlı olarak gelişmiştir.

3.3 Hızlandırılmış Korozyon Sonucunda Meydana Gelen Mikroyapılar

Hızlandırılmış korozyon testi kapsamında numuneler, asit çözeltisine bırakılmadan önce parlatma işlemine tabi tutulmuş olup, mikroyapı fotoğrafları Şekil 7'de gösterilmiştir.

Şekil 8'de, 1. saat, 2. saat, 3. saat ve 4. saatin sonundaki mikroyapı görüntüleri görülmektedir. Birinci saatin sonunda numunenin tüm yüzeyinde pitting oluşumunun başladığı görülmüştür. Kaynak bölgesinde ise tane sınırlarında çökelti oluşumu belirgin hale geldiğinden, bu bölgede taneler arası korozyonun daha etkili olduğu görülmektedir (Şekil 8a ve 8b). İkinci saatin sonunda pitting oluşumunda belirgin bir artış gözlenmemiştir. Bununla birlikte, kaynak bölgesinde taneler arası korozyonda dramatik bir artış vardır (Şekil 8c ve 8d). Üçüncü saatin sonunda, pitting oluşum hızında belirgin bir artış olmamakla beraber, tanelerarası korozyon ikinci sa-

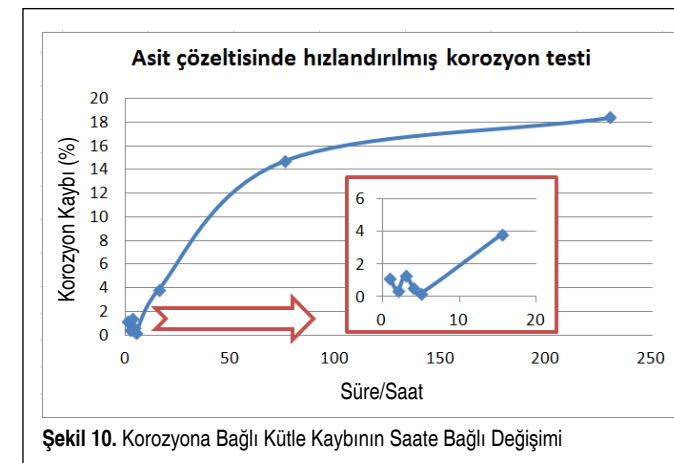
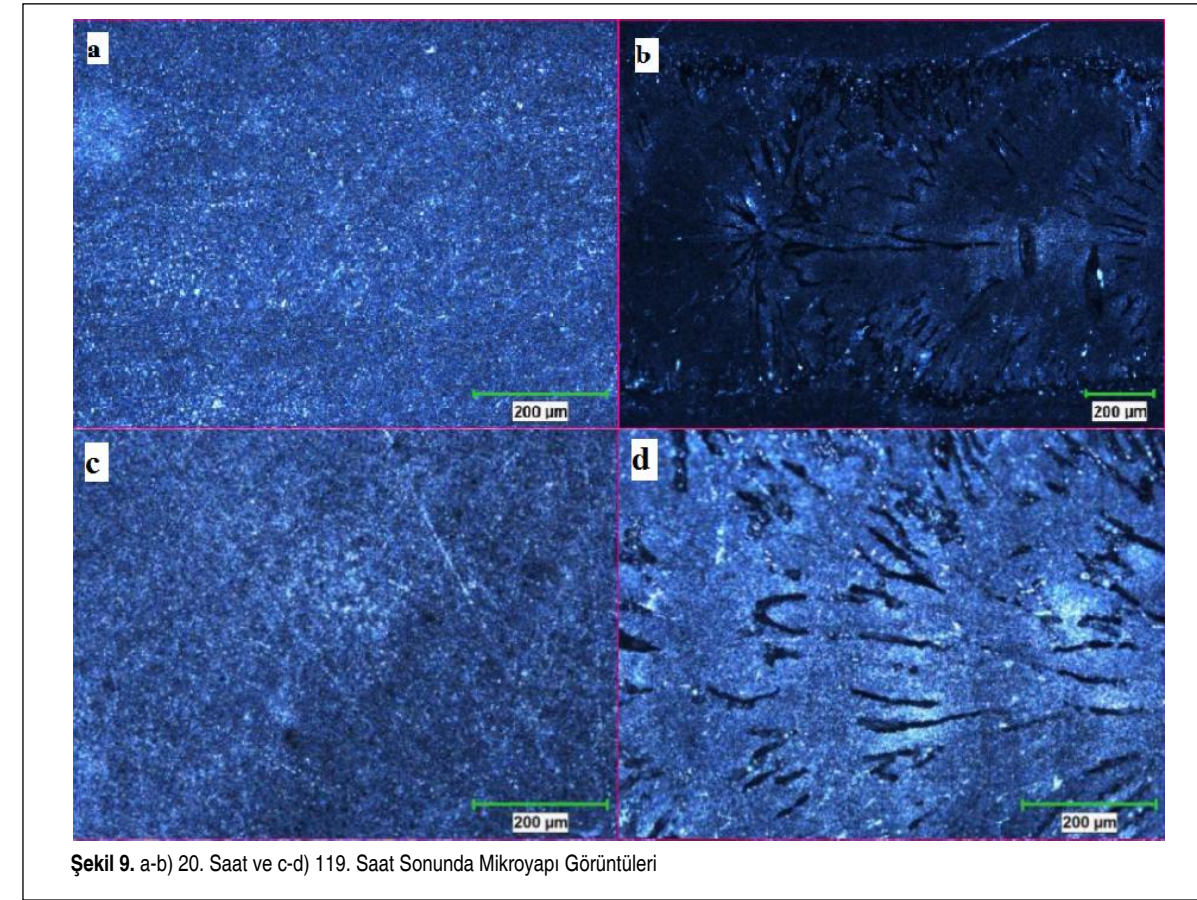
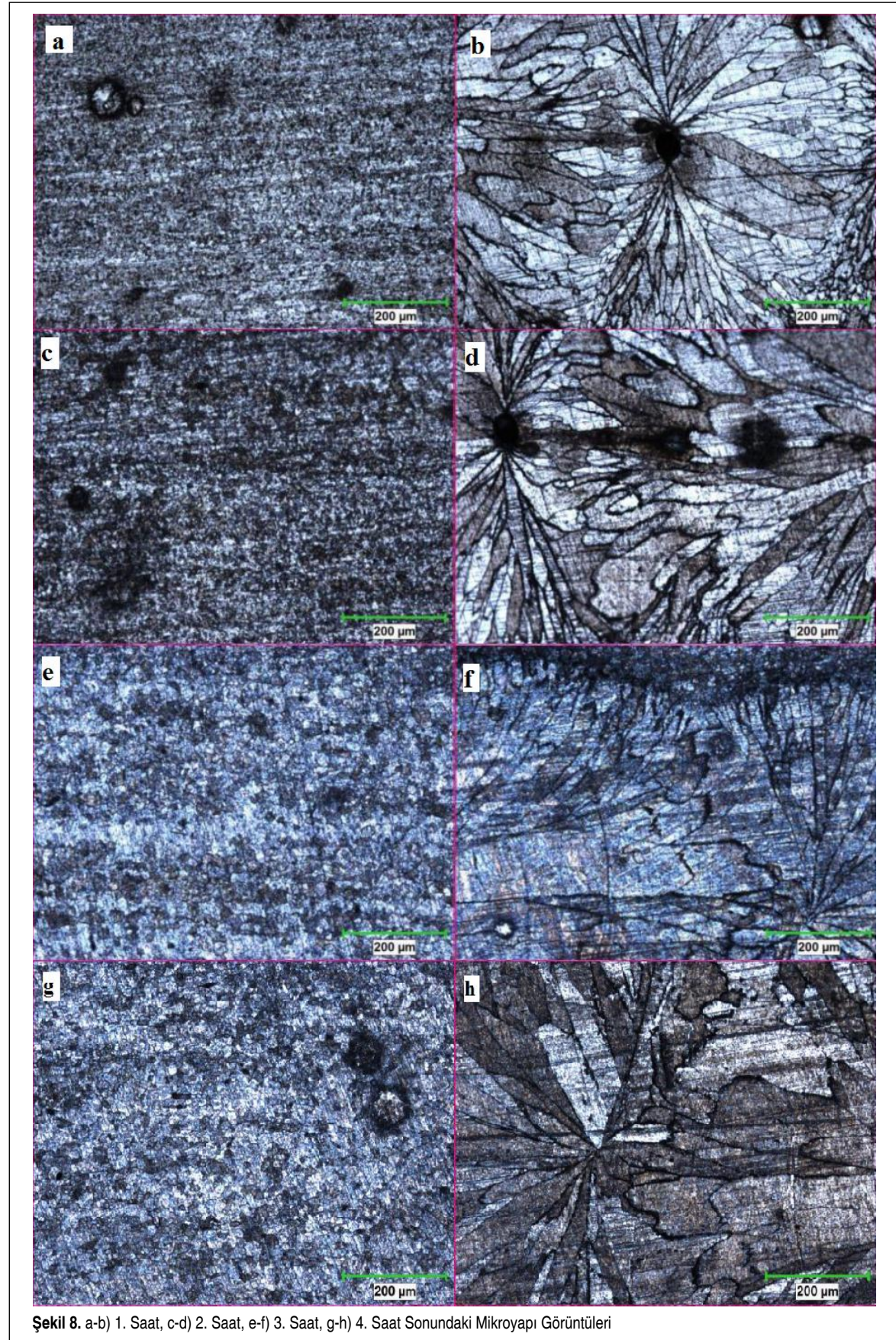
ate göre hem ana metal hem de kaynak bölgesinde artmıştır (Şekil 8e ve 8f). Dördüncü saatin sonunda, tanelerarası korozyonun daha çok arttığı ve ayrıca kaynak ile ana metal arasındaki bölgede tanelerarası korozyonun etkili olmaya başladığı tespit edilmiştir (Şekil 8g ve 8h).

Şekil 9'da, 20 ve 119. saat sonunda yüzeyin durumu görülmektedir. Yirminci saatin sonunda, yüzeyde aşırı oksitlenme meydana gelmiş, ana metal bölgesinin bu oksit tabaka ile kapandığı gözlemlenmiştir. Yüksek büyütmelelerde yüzeyin delikli/gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülebilmektedir. Bununla birlikte, kaynak bölgesindeki taneler arası korozyonun çatlak boyutuna ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 9a ve 9b). Yüz on dokuzuncu saatin sonunda, ana metalin, özellikle yüksek büyütmelelerde aşırı delikli/gözenekli bir yapıya ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kaynak bölgesindeki taneler arası korozyonda yirminci saate göre belirgin bir artış gözlenmiştir (Şekil 9c ve 9d).

3.4 Hızlandırılmış Korozyon Sonucunda Meydana Gelen Kütle Kayıpları

Belirli periyotlarda kütle ölçümü alınarak hesaplanan korozyon kaybı sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.

Şekil 10'da, ilk 5 saatte korozyon hızının çok düşük olduğu, ayrıca korozyon kaybının değişken olduğu göze çarpmaktadır. Korozyonun neden olduğu kütle kaybı ile oksitlenmenin neden olduğu kütle artışının bu değişkenliğe yol açtığı düşünülmektedir. 20. saatten sonra kütle kaybı daha etkili olmuş ve korozyon hızında artan bir eğilim meydana gelmiştir. Her ne kadar korozyon kaybı ağırlıkça ilk 5 saatte çok düşük gerçekleşmiş olsa da 1. saatten itibaren taneler arası korozyon etkili hale gelmeye başlamıştır. Bu durum, korozyonun malzeme ağırlığında önemli bir kayba yol açmasa da malzeme özelliklerini önemli oranda etkileyebilen bir proses olduğunu ortaya koymaktadır.



4. SONUÇ

Bu çalışmada, çamaşır makinesi tamburu olarak kullanılan AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzeme, darbeli lazer kaynağıyla kaynak edilmiştir. Kaynak parametrelerinin dayanım, mikroyapı ve korozyon özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kaynak gücünün artmasıyla dayanımın arttığı görülmüştür.

- 3. parametre değerlerinde 0,7 mm darbe çapında, 12 joule darbe enerjisiyle kaynak edilen numunelerde kopma, ana malzemeden gerçekleşmiştir.
- Lazer darbe noktaları ve ergimenin başlayıp ısının dağıldığı yön belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Lazer darbe noktası mesafesi azaldığında, darbe sonucu ergiyip katlaşılan bölgenin kısmen küçüldüğü tespit edilmiştir.
- Kaynak bölgesinde ısının akışı yönünde tanelerin yönlenecek kolonsal bir yapı oluşturduğu ve katlaşmanın tamamlandığı nokta da krater oluştuğu gözlemlenmiştir.
- Birinci saatin sonunda numunenin tüm yüzeyinde pitting oluşumunun başladığı görülmüştür. İkinci saatten itibaren taneler arası korozyon daha etkili olmuştur.
- Yirminci saatin sonunda, tüm yüzeyin gözenekli oksit tabakası ile kaplandığı, kaynak bölgesindeki taneler arası korozyonun ise çatlak boyutuna ulaştığı tespit edilmiştir. Yüz on dokuzuncu saatin sonunda kaynak bölgesinden kopma gözlenmiştir.

KAYNAKÇA

1. <http://www.yildizaypaslanmaz.com.tr/430-paslanmaz-çelik.html>, son erişim tarihi: 29.1.2016.

- Arun, M. A., Senthil, K. T., Chandrasekar, M.** 2015. "Mechanical and Metallurgical Properties of Dissimilar Welded Components (AISI 430 Ferritic-AISI 304 Austenitic Stainless Steels) by CO2 Laser Beam Welding (LBW)," Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, issue 6, p. 335.
- Snelgrove, P.** 2007. Ferritik Paslanmaz Çeliklerle İlgili Temel Kılavuz, ISBN 2-930069-51-1, PASDER (Paslanmaz Çelik Derneği).
- <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/welding-of-ferritic-martensitic-stainless-steels-101/>, son erişim tarihi: 29.1.2016.
- Taşkın, M., Çalgülü, U.** 2009. "AISI 430/1010 Çelik Çiftinin Lazer Kaynağında Kaynak Gücünün Birleşmeye Etkisi," Fırat Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, sayı 21 (1), s. 11-22.
- Khorrani, M. S., Mostafaei, M. A., Pouraliakbar, H., Kokabi, A. H.** 2014. "Study on Microstructure and Mechanical Characteristics of Low-Carbon Steel and Ferritic Stainless Steel Joints," Materials Science&Engineering A, vol. 608, p. 35-45.
- Alizadeh-Sh, M., Marashi, S. P. H., Pouranvari, M.** 2014. "Resistance Spot Welding of AISI 430 Ferritic Stainless Steel: Phase Transformations and Mechanical Properties," Materials and Design, vol. 56, p. 258-263.
- Gurrana, M., Adepub, K., Pinnitic, R. R., Gankidid, M. R.** 2013. "Effect of Copper and Aluminium Addition on Mechanical Properties and Corrosion Behaviour of AISI 430 Ferritic Stainless Steel Gas Tungsten Arc Welds," J Mater Res. Technology, vol. 2 (3), p. 238-249.
- Hensley, W. E.** 1997. "Welding Stainless Steel," In Handbook of Stainless Steels, (Ed. Peckner, D., Bernstein, I. M.) McGraw Hill Book Inc., New York.
- Steen, W. M.** 1998. Laser Material Processing, Springer-Verlag Ltd., London, vol. 148, p. 207-216.
- Rakesh, K., Ganesh, P., Tripathi, P., Nandedkar, R. V., Nath, A. K.** 2006. "Comparison of Laser and Gas Tungsten Arc Weldments of Stabilized 17 wt % Cr Ferritic Stainless Steel," Materials and Manufacturing Processes, vol. 18, issue 4.
- Villaret, V., Deschaux, B. F., Bordreuil, C., Fras, G., Choivet, C., Petit, B., Faivre, L.** 2013. "Characterization of Gas Metal Arc Welding Welds Obtained with New High Cr-Mo Ferritic Stainless Steel Filler Wires," Materials and Design, vol. 51, p. 474-483.

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi

ANA SAYFA (GİRİŞ SAYFASI) | YAZAR | HAKEM | EDITÖR

» HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ

e-Posta :

Şifre :

[Yeni Kullanıcı](#) | [Şifremi Unuttum](#)

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [Yeni Kullanıcı] bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [Şifremi Unuttum] bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı yayin@mmo.org.tr e-posta adresine gönderebilirsiniz.

makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz