

LAZERLE KAYNAK İŞLEMİNDE KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Recep Onur UZUN, Ömer KELEŞ

Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe 06570, Ankara,
receponur@gmail.com, omer@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 21.01.2011; Kabul/Accepted: 06.06.2012)

ÖZET

Lazer kaynak yöntemi geleneksel kaynak yöntemlerine göre birçok üstün özelliklere sahiptir. Düşük ısı girdisi, dar bir ITAB oluşumu, düşük kalıntı gerilmeleri ve çarpılmalar, yüksek kaynak hızı, derin nüfuziyet, kusursuz kaynak profili, yüksek yapısal dayanım, otomasyonla birleştirme lazer kaynağının sağlamış olduğu öncelikli avantajlardır. Bunun yanı sıra yüksek verimlilik ve ekonomiklik, düşük hata oranı diğer faydalı özelliklerindedir. Bu çalışmada 50x40 mm ebatlarında 2,0 mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çelik malzemeler lazer kaynağıyla alın altına birleştirilmiş, bu malzemelerden elde edilen 20x80 mm ebatlarındaki numunelerde metalografik incelemeler yapılmış, kaynak bölgesinin sertliği ölçülmüş, TS 282 EN 910 standartlarında belirtilen esaslarla üç nokta eğme deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, katılaştıran kaynak metali anahtar deliği formundadır ve tam nüfuziyet sağlanmıştır. Kaynak hızının artmasıyla kaynak metali ve geçiş bölgesi genişliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Sertlik, esas metalden kaynak metaline doğru artmıştır.

Anahtar kelimeler: Lazer, CO₂ lazer kaynağı, 304, paslanmaz çelik, üç nokta eğme

INVESTIGATION EFFECT ON WELDING QUALITY OF LASER WELDING PARAMETERS

ABSTRACT

Low heat input, narrow HAZ, low stress strain and distortion, high welding speed, high penetration, smooth welding sections, high structural strength and automatic process are primary advantages of the laser welding. Moreover high efficiency and being economical leading less error rates are other advantages. In this work AISI 304, 50x40 mm stainless steel test items with 2,0 mm thickness were but laser welded. These 20x80 mm test items were tested in guidance with metallographic investigation, measuring hardness, three point bending test performed as explained in TS 282 EN 910 standards. According to the results, the solidified weld metal has the form of keyhole and full penetration has been determined. With increase of welding speed, weld width and depletion width between weld metal and base metal decrease. Hardness of the weld metal is getting higher from base metal to depletion zone.

Keywords: Laser, CO₂ laser welding, 304, stainless steel, three point bending

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzemeye enerji aktarım şekli geleneksel kaynak yöntemlerine göre lazer kaynağında oldukça farklıdır. Lazer ortamından çıkan ışın, birçok yönlendirme aynasından yansıyarak odaklama mekanizmasına ulaşır. Odaklanma sonucunda lazer ışını çok küçük bir alana yoğunlaştırıldığında, malzemede yerel bir erime

ve buharlaşma sağlar. Lazer enerjisinin malzeme tarafından emilimi devam ederken buharlaşmış malzeme ve koruyucu gazdan oluşan plazma yoğunlaşır. Lazer enerjisinin plazmada oluşturduğu ısı, erimekte olan malzemeye geçerek iş parçasına iletilir. Malzeme içinde, eriyik maddenin çok yüksek sıcaklık ve basınç seviye farklılıklarından kaynaklanan şiddetli dolaşımının olduğu, akıcı fazlı

bir buhar kanalı (anahtar deliği) oluşur. Bundan sonra, iş parçası veya ışın demeti sabit bir hızla hareket ettirilmeye başlar ve iş parçası üzerinde sürüklenir. Eriyik, ısınan buharın basıncıyla iş parçasının yüzeyine yükselir ve bu arada çekim kuvveti, viskozite ve yüzey gerilmeleriyle devam eden genleşmeler de engellenir. Bu yolla metal, lazer ışınının hareket istikametinde eritilir, geride kalan eritilmiş kısım ise katılaşır. Katılaşmadan sonra homojen bir yapıya sahip dar bir kaynak dikişi oluşur. Düşük ısı girdisi ile oluşturulan kaynak dikişinde, iş parçasındaki ITAB çok dar sınırlar içinde kalır. Kaynak çukuru oluşturarak malzemelerin kaynatılması işlemi, özellikle kalın saçların kaynak edilmesi için uygun olan bir yöntemdir [1, 3].

Lazer kaynak yönteminde iş parçasının fiziksel özellikleri kaynak dikişi kalitesinin tayininde büyük önem taşımaktadır. Özellikle, malzemenin lazer ışını yansıtma ve yutma özellikleri ile ısı iletim katsayısı, oluşan kaynağın kalitesini belirler [4, 6]. Östenitik paslanmaz çeliğin sahip olduğu ısı iletkenliği diğer karbonlu çeliklerin 1/3'ü kadar olmasına rağmen ısıl genleşme katsayıları % 50 kadar daha fazladır.

Benyounis vd., lazer kaynak parametrelerinin ve ısı girdisinin kaynak dikişi profiline etkisini incelemiştir. Lazer gücünün azalması veya kaynak hızının artmasıyla ısı girdisinin azaldığını, dolayısıyla nüfuziyetin azaldığını tespit etmiştir. Ayrıca kaynak hızının artmasıyla kaynak dikişi ve ITAB genişliğinin azaldığını tespit etmiştir [7].

Yılbaş vd., düşük karbonlu çeliklerde lazer kaynak yöntemi ve termal analizi üzerine çalışmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, sıcaklık düşüşü esas metale oranla kaynak metalinde daha yavaştır. Bunun nedeni, kaynak metalinde lazer enerjisinin absorpsiyonu ve dağılımıdır [8].

Keskin vd., lazer kaynağıyla birleştirdiği östenitik paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinin mikro yapısı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. En yüksek sertlik değerini kaynak metalinde tespit ederken ITAB'ın sertliğinin daha düşük olduğunu belirlemiştir. Kaynak işlemi sonrasında katılaşma olayı çok kısa sürede tamamlandığından kaynak bölgesinde tane küçülmesi gözlemlenmiştir [9].

Zambon vd., CO₂ lazer kaynağı ile birleştirdiği süper östenitik AISI 904L paslanmaz çelik malzemelerin mikro yapılarını, kompozisyonlarını ve kalıntı gerilmelerini incelemiştir. 3 mm kalınlığa sahip paslanmaz çelik malzemeleri maksimum çıkış gücü 6 kW olan CO₂ lazer tezgahında birleştirmiştir. Kaynak metalinin tamamen dendritik yapıda olduğunu tespit ederek, kaynak metalinin lazer ışını ekseninde ölçülen mikro sertlik değerinin esas metal bölgesine yaklaştıkça azaldığını belirlemiştir. Ayrıca, elde ettiği

sonuçlarda kaynak hızı arttıkça sertlik değeri azalmıştır [10].

Chung vd., otomotiv endüstrisinde sık kullanılan düşük karbonlu galvaniz çeliklerin CO₂ lazer kaynağıyla birleştirilmelerinde koruyucu gaz türlerinin etkisini incelemiştir. 1,5 mm kalınlığında düşük karbonlu galvaniz çelik kullanmıştır. 6 kW maksimum çıkış gücüne sahip CO₂ lazer kaynak tezgahında çalışmıştır. Kullandığı koruyucu gazlar helyum, argon, karbondioksit, azot ve %50 argon + %50 azot karışımıdır. Elde ettiği sonuçlara göre karışım gazı ve helyum uygulamalarında tam nüfuziyet sağlarken, argon koruyucu gazı eksik nüfuziyete sebep olmuştur [11].

Bu çalışmanın amacı, CO₂ lazer kaynak yönteminde kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkilerinin üç nokta eğme testleri ile incelenmesidir. Malzeme olarak AISI 304 paslanmaz çelik kullanılmıştır. CO₂ lazer kaynak yöntemiyle ilave metal kullanılmadan alın alına birleştirilen numunelerde metalografik incelemeler yapılmış, kaynak metal, ITAB ve esas metalin mikro sertlikleri ölçülmüş ve TS 282 EN 910 standardına göre numunelere üç nokta eğme deneyi uygulanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Kullanılan Malzeme (Material)

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır.

2.2. Uygulanan Yöntemler (Methods)

Bu çalışmada, maksimum lazer çıkış gücü 4 kW olan Trumpf marka Truflow 4000 model CO₂ lazer ünitesi kullanılmıştır. Sürekli mod lazer ünitesinde yapılan kaynaklı birleştirme işlemi Trumpf marka Lasercell 1005 model kaynak tezgahında yapılmıştır. Lazer ışınının odak mesafesi 200 mm'dir.

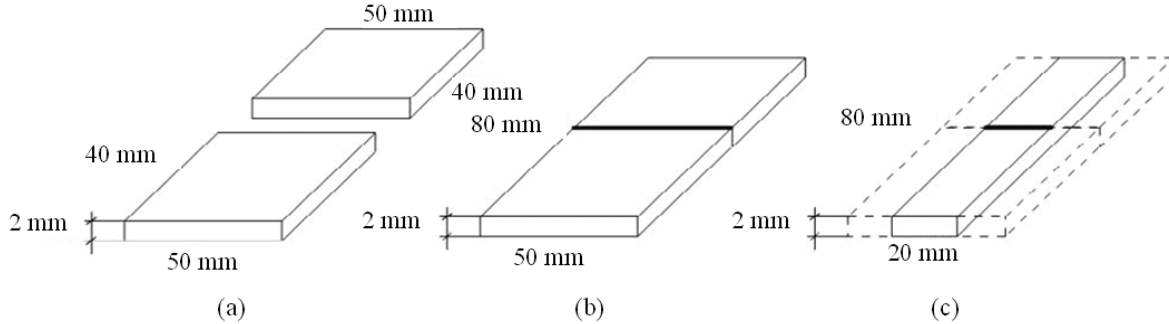
Kullanılan parametreler lazer gücü, kaynak hızı ve koruyucu gaz debisidir. Çalışmalar 1000, 2000, 3000 ve 4000 W lazer gücü, 100, 200, 300 ve 400 mm/min kaynak hızı, 10, 12, 14, 16 l/min koruyucu gaz debisiyle yapılmıştır. %50 Ar ve %50 He karışımından oluşan koruyucu gaz kullanılmıştır.

Kaynak işlemi uygulanan parçaların ve alınan numunelerin ebatları Şekil 1'de görüldüğü gibidir.

Kaynak bölgesinde metalografik incelemeler yapılarak kaynak metal, geçiş bölgesi ve esas metalin Vickers sertlikleri ölçülmüştür. TS 282 EN 910 standardına göre kaynak metaline üç nokta eğme deneyi uygulanmıştır.

Tablo 1. Malzemenin kimyasal bileşimi (The chemical composition of the material)

Element	C	Si	Mn	Ni	Cr	N	S	P
% Ağırlık	0,047	0,48	1,14	8,09	18,22	0,062	0,003	0,026

**Şekil 1.** Numune alma a) kaynak işlemi öncesi, b) kaynak işlemi sonrası c) alınan numune ebadı ve yeri (Sampling a) before welding, b) after welding c) the size and location of the sample)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

3.1. Metalografik İncelemeler (Metallographic Investigations)

3.1.1. Kaynak metali (The weld metal)

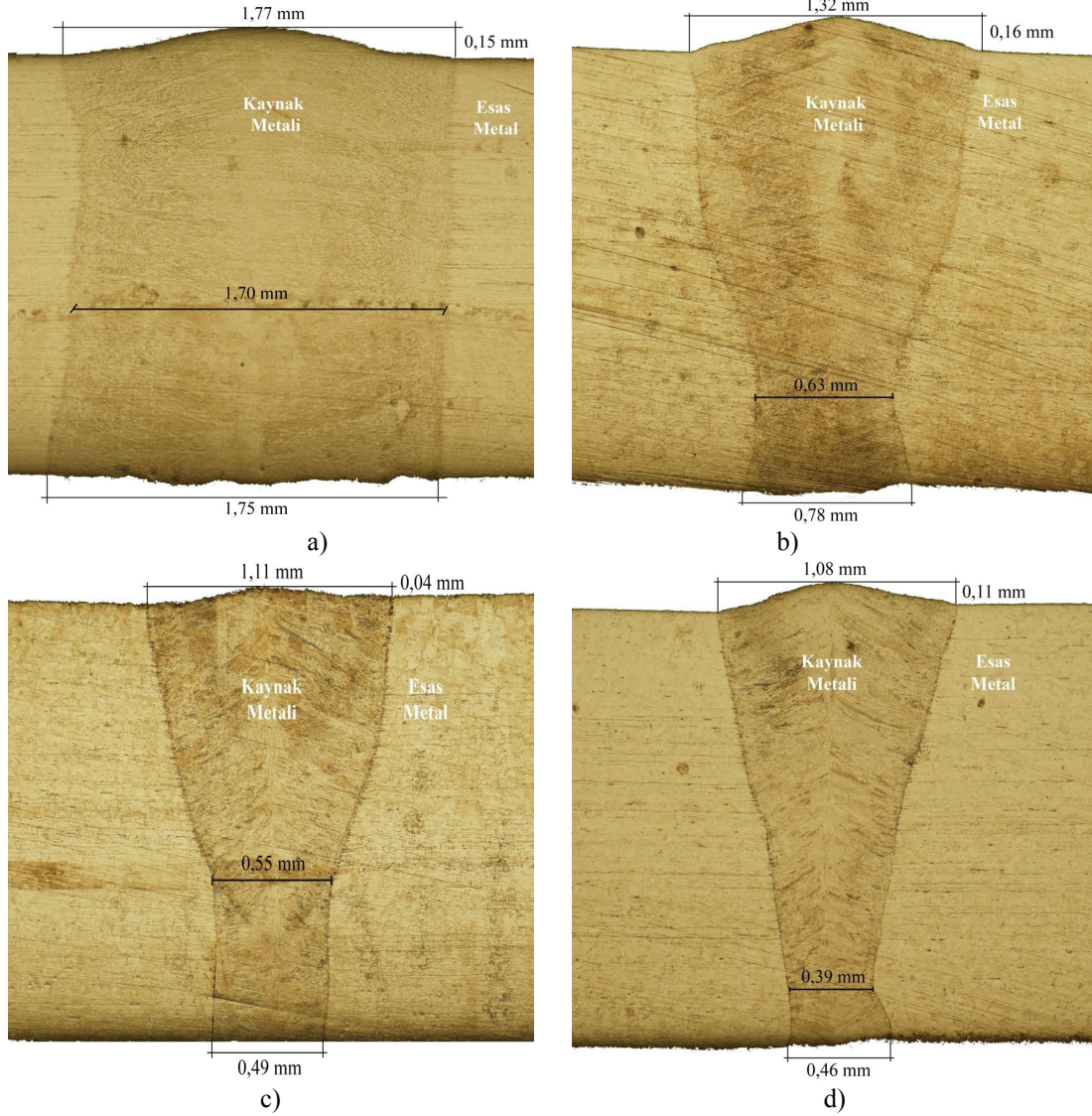
Bu çalışmada kaynak bölgelerinde tam nüfuziyet elde edilmiştir. Kaynak metali, üstten alta doğru, daralan, düzensiz, konik bir yapıdadır. Katılaştıran kaynak metali anahtar deliği formundadır. Hiçbir kaynak metalinde gözenek oluşmamıştır.

Kaynak hızının artmasıyla kaynak metali genişliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, ısı girdisindeki azalma nedeniyle ergiyen kaynak metali miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, Benyounis vd. yaptığı çalışma sonucunda kaynak hızının artmasıyla dikiş genişliğinin azaldığını tespit etmiştir [7]. Şekil 2'de görüldüğü gibi 100 mm/min kaynak hızı ile oluşan kaynak metalinin yüzey genişliği 1,77 mm ve kök genişliği 1,75 mm'dir. Bu boyut kesit kalınlığına paralel denecek bir kaynak metali katılaşması olduğunu göstermektedir. 200 mm/min kaynak hızı için kaynak metalinin yüzey genişliği ve kök genişliği sırasıyla 1,32 mm ve 0,78 mm, 300 mm/min için 1,11 mm ve 0,49 mm, 400 mm/min için 1,08 mm ve 0,46 mm'dir. Kaynak hızının artması ile dikiş köküne etki eden ısı miktarının azalması sonucunda kökte daralan profilli bir dikiş katılaşması görülmektedir.

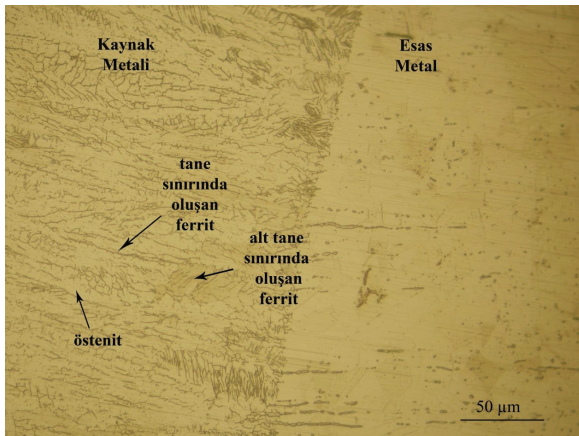
Kaynak hızı arttıkça kaynağın yüzey ve kök genişlikleri arasındaki farkın arttığı tespit edilmiştir. Kaynak hızı azaldıkça ısı girdisi birim alanda daha fazla yoğunlaşmaktadır ve soğuma hızının azalan etkisiyle ısının daha derinlere ulaşmasıyla kök genişliği artmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi kaynak hızının 100 mm/min olduğu kaynak metalinde yüzey ve kök genişlikleri arasındaki fark 0,02 mm'dir. 200 mm/min için 0,54 mm, 300 mm/min ve 400 mm/min için 0,62 mm'dir. Yüksek kaynak hızlarında ısı girdisinin malzeme yüzeyinde yoğunlaşmasından dolayı bu değerlerin artışı ivme kaybetmektedir.

Kaynak metalinde katılaşma epitaksiyel olarak başlamakta dendritik olarak tamamlanmaktadır. Sıvı metalin esas metalle temas ettiği ara yüzeyde ilk çekirdek oluşumuyla katılaşma başlar. Katılaşmanın başlaması için aşırı soğuma gerekmediğinden kritik çekirdek çapı söz konusu değildir. Bu nedenle heterojen bir katılaşma oluşur. Katılaşma süreci dendritik olarak ilerlemekte, alt tane ve tane sınırları oluşmaktadır. Dendritik katılaşmayla tamamlanan tane ve alt tane sınırları Şekil 3'te görülmektedir. Benzer şekilde, Zambon vd. yaptığı çalışmada kaynak metalinin tamamen Dendritik olduğunu tespit etmiştir [10].

Kaynak hızı ile katılaşma arasında $R=V \cdot \cos \theta$ şeklinde bir ilişki vardır. Kaynak hızı V arttıkça katılaşma doğrultuları ani yön değiştirerek kaynak merkez çizgisine doğru daralan açıyla katılırlar. Bu geometrik yapı kaynak hızı arttıkça ergime sınırına dik olarak büyüyen tanelerin yüzeye doğru yönelmesine sebep olur (Bkz. Şekil 2).



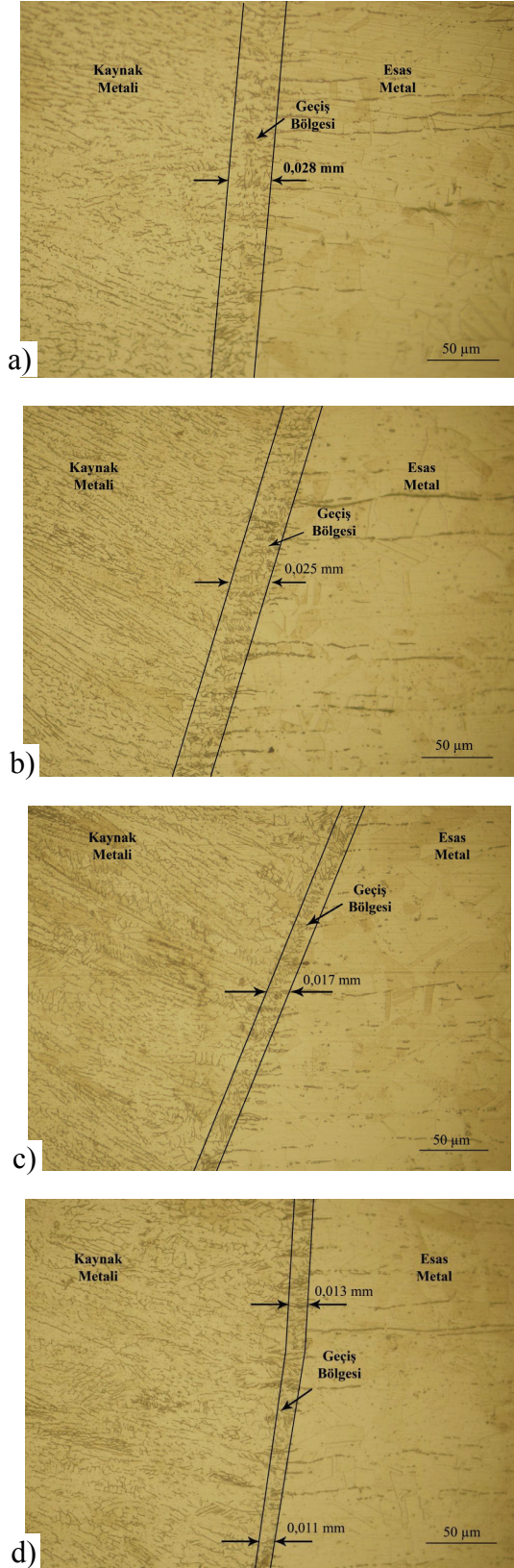
Şekil 2. Kaynak hızının kaynak metali genişliğine etkisi (the effect of welding speed to the width of the weld metal), 1000 W lazer gücü (laser power), 10 l/min koruyucu gaz debisi (shielding gas flow rate), a) 100 mm/min, b) 200 mm/min, c) 300 mm/min. d) 400 mm/min.



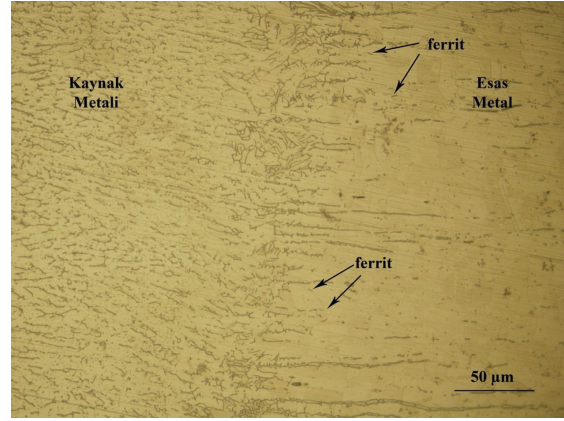
Şekil 3. Kaynak metalinde oluşan ferrit ve östenit fazları (ferrite and austenite phases of the weld metal) (16 l/min, 3000 W, 400 mm/min)

3.1.2 Geçiş bölgesi (Transition zone)

Kaynak hızı arttıkça geçiş bölgesi genişliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, azalan ısı girdisinden kaynaklanmaktadır. 16 l/min koruyucu gaz debisi ve 2000 W lazer gücü uygulanan numunelerde Şekil 4'te görüldüğü gibi 100 mm/min kaynak hızında geçiş bölgesi genişliği 0,028 mm'dir. 200 mm/min için 0,025 mm, 300 mm/min için 0,017 mm, 400 mm/min için 0,013 mm'dir. Dikiş yüzeyinde geçiş bölgesi daha geniş olurken, dikiş kökünde daha dar olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4 d'de dikiş yüzeyinde geçiş bölgesi genişliği 0,013 mm ve dikiş kökünde geçiş bölgesi genişliği 0,011 mm'dir.



Şekil 4. Kaynak hızının geçiş bölgesi genişliğine etkisi (Welding speed effect of the transition zone); 2000 W, 16 l/min, a) 100 mm/min, b) 200 mm/min, c) 300 mm/min, d) 400 mm/min.



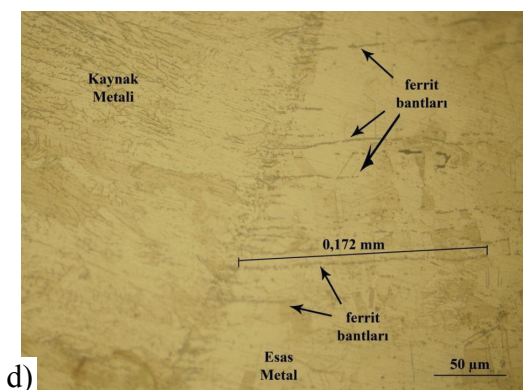
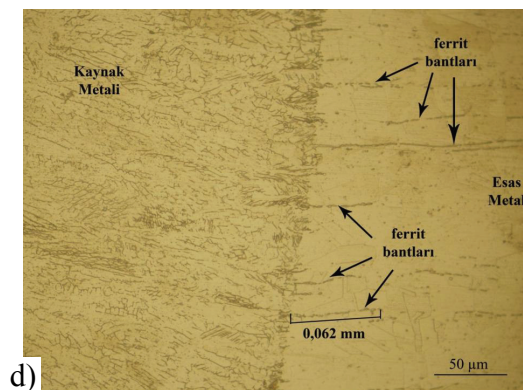
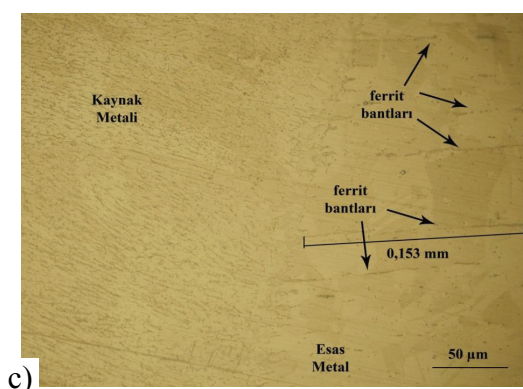
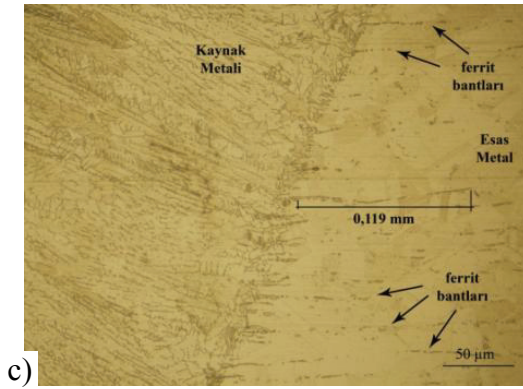
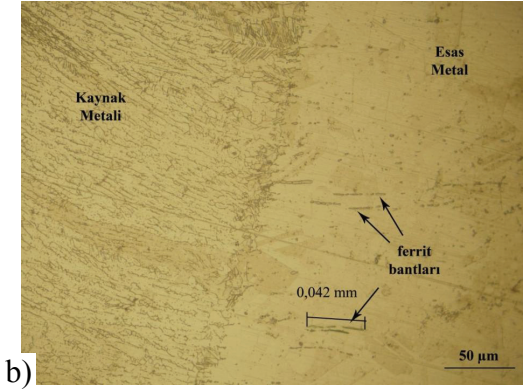
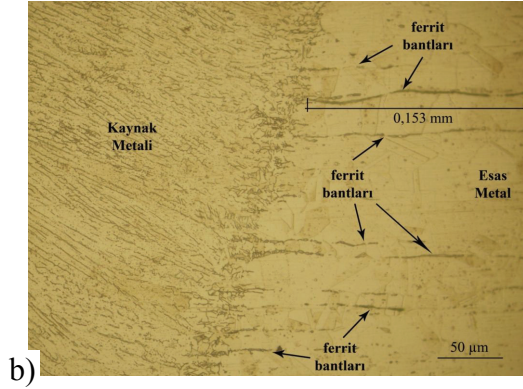
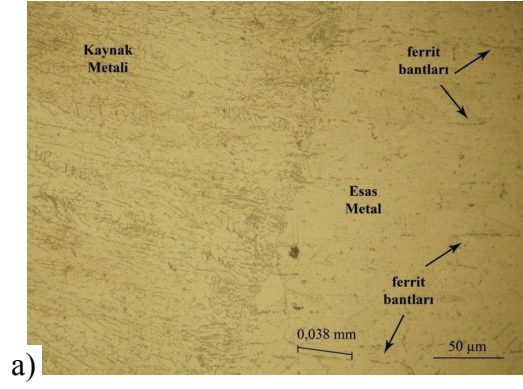
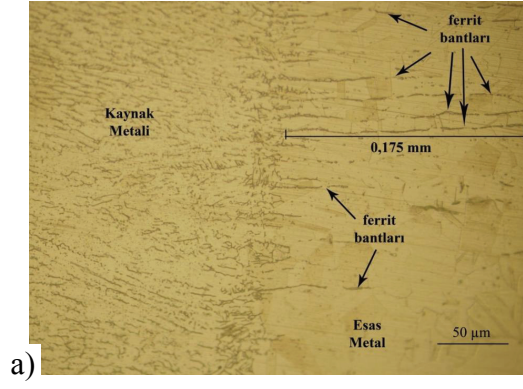
Şekil 5. ITAB'ta tane sınırlarında oluşan bantlar (bands of the grain boundaries in HAZ)(1000 W, 12 l/min, 100 mm/min)

3.1.3. ITAB (HAZ)

Allotropik özellik göstermeyen östenitik paslanmaz çeliklerde kaynak sonrasında ITAB belirgin değildir. Şekil 5'te görüldüğü gibi oluşan ITAB'ta tane büyümesi sınırlıdır.

ITAB'ta kaynak metalinden esas metale doğru yatay doğrultuda uzanan ferrit bantları tespit edilmiştir. Bu bantlar, katılma sırasında kaynak metalinden uzaklaşan ısının ITAB'ta ve esas metalde oluşturduğu ısı dağılım hatlarıdır. Kaynak hızı arttıkça uzunlukları azalır, daha az yoğunluk ve süreksizlikte oluşurlar. 2000 W lazer gücü, 16 l/min koruyucu gaz debisi uygulanan numunelerde, Şekil 6'da görüldüğü gibi 100 mm/min kaynak hızında ITAB'ta oluşan bantlardan birinin uzunluğu 0,175 mm'dir. 200 mm/min için 0,153 mm, 300 mm/min için 0,119 mm ve 400 mm/min için 0,062 mm'dir.

Lazer gücü arttıkça tane sınırları boyunca uzanan bantlar daha yoğun ve süreklidir. Bu durum, artan ısı miktarının ITAB'ı daha uzun süre ısı etkide bırakmasından kaynaklanmaktadır. 300 mm/min kaynak hızı ve 12 l/min koruyucu gaz debisi uygulanan numunelerde, Şekil 7'de görüldüğü gibi 1000 W lazer gücünde oluşan ferrit bantının uzunluğu 0,038 mm'dir. 2000 W için 0,042 mm, 3000 W için 0,153 mm ve 4000 W için 0,172 mm'dir.



Şekil 6. ITAB'ta ferrit bantları oluşumu (ferrite phases in HAZ); 2000 W, 16 l/min a) 100 mm/min, b) 200 mm/min, c) 300 mm/min, d) 400 mm/min.

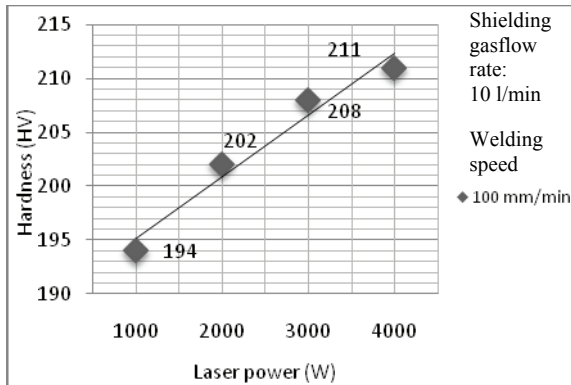
Şekil 7. ITAB'ta ferrit bantlarının oluşumu (ferrite phases in HAZ); 300 mm/min, 12 l/min a) Lazer gücü 1000 W, b) 2000 W c) 3000 W, d) 4000 W.

3.2. Mikro Sertlik Deneyi Sonuçları (Micro Hardness Test Results)

Elde edilen sonuçlara göre, kaynak metalinin sertliği, geçiş bölgesi ve esas metalin sertliklerinden yüksektir. Bunun nedeni, kaynak metalinin yüksek ısı girdisiyle ani eriyerek hızlı katılaşmasıdır. Geçiş bölgesinin sertliği esas metalin sertliğinden yüksektir. Bu durum, geçiş bölgesindeki ferrit oluşumlarından kaynaklanmaktadır. Isının kaynak metalinden esas metale doğru yayıldığına kanıtıdır. Örneğin, 10 l/min koruyucu gaz debisi, 1000 W lazer gücü ve 200 mm/min kaynak hızı uygulanan numuneye ait kaynak metalinin sertliği 207 HV, geçiş bölgesi sertliği 197 HV olarak tespit edilmiştir. Zira, Keskin vd. yapmış olduğu çalışmada en yüksek sertliğin kaynak metalinde oluştuğunu ve ITAB sertliğinden yüksek olduğunu belirtmiştir [9]. Zambon vd. de çalışmasının sonucunda sertliğin kaynak metalinden esas metale doğru azaldığını tespit etmiştir [10].

3.2.1. Lazer gücünün kaynak metalinin sertliğine etkisi (The effect of laser power to weld metal hardness)

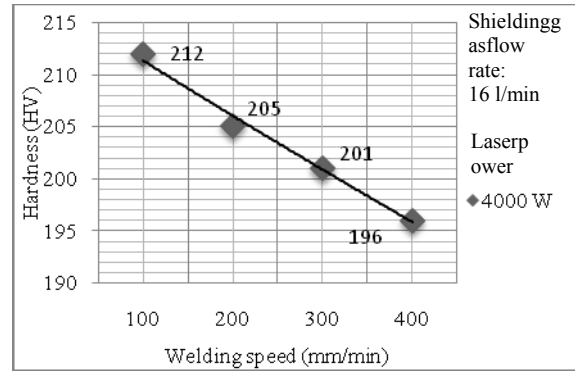
Kaynak işleminde numuneye uygulanan lazer gücü arttıkça kaynak metalinin sertliğinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, yüksek ısı girdisi sırasında paslanmaz çeliğin zaten düşük olan ısıl iletkenliği sonucunda soğuma hızı daha yavaş olacağından paslanmaz çeliklerde görülen sertlik artırıcı bazı fazların oluşma ihtimalinin artmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, 10 l/min koruyucu gaz debisi ve 100 mm/min kaynak hızı uygulanan numunelerde 1000 W lazer gücünde kaynak metalinin sertliği 194 HV, 2000 W için 202 HV, 3000 W için 208 HV ve 4000 W için 211 HV olarak tespit edilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi düşük lazer gücü uygulanan numunelerin kaynak metalinin sertliği daha düşüktür. Kaynak metaline ait en yüksek sertlik 4000 W lazer gücünde elde edilmiştir.



Şekil 8. Lazer gücü – kaynak metalinin sertliği ilişkisi (Relationship between laser power and weld metal hardness) (10 l/min, 100 mm/min)

3.2.2. Kaynak hızının kaynak metalinin sertliğine etkisi (The effect of welding speed to weld metal hardness)

Kaynak hızı arttıkça kaynak metalinin sertliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Kaynak hızındaki artış, kaynak sırasında malzemeye aktarılan ısı miktarını azaltmaktadır. Azalan ısı girdisiyle soğuma hızı artacağından katılaşan kaynak metalinde sert ve kırılabilir faz oluşumları azalma eğilimindedir. Örneğin, 16 l/min koruyucu gaz debisi ve 4000 W lazer gücü uygulanan numunelerde 100 mm/min kaynak hızında kaynak metalinin sertliği 212 HV, 200 mm/min için 205 HV, 300 mm/min için 201 HV ve 400 mm/min için 196 HV olarak tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 9).

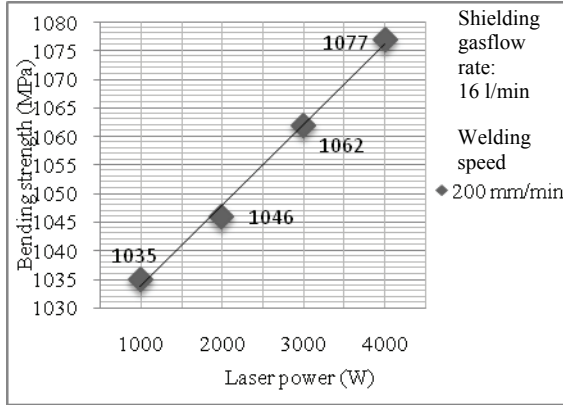


Şekil 9. Kaynak hızı – kaynak metalinin sertliği ilişkisi (Relationship between welding speed and weld metal hardness) (16 l/min, 1000 W)

3.3. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları (Three Point Bending Test Results)

3.3.1. Lazer gücünün eğme dayanımına etkisi (The effect of laser power to bending strength)

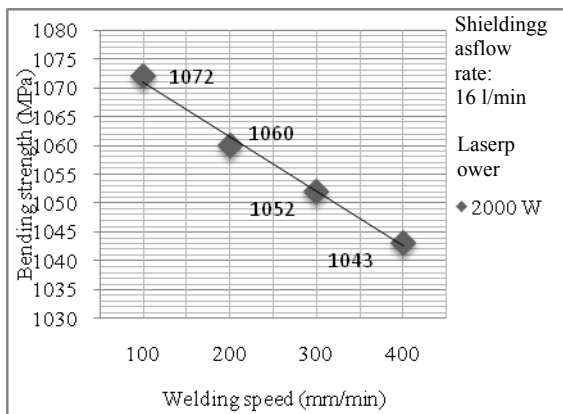
Kaynak işlemi sırasında uygulanan lazer gücü arttıkça eğme dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, lazer gücündeki artışla beraber ısı girdisinin artmasından kaynaklanmaktadır. Isı girdisinin artmasıyla ferrit oluşumunun kolaylaşması ve neticesinde kaynak bölgesinde sıcak çatlak riskinin azalması söz konusudur. Örneğin, 16 l/min koruyucu gaz debisi ve 200 mm/min kaynak hızı uygulanan numunelerde 1000 W lazer gücünde eğme dayanımı 1035 MPa, 2000 W için 1046 MPa, 3000 W için 1062 MPa ve 4000 W için 1077 MPa olarak tespit edilmiştir. Şekil 10’da görüldüğü gibi düşük lazer gücü uygulanan numunelerin eğme dayanımı daha düşüktür. En yüksek eğme dayanımı 4000 W lazer gücünde elde edilmiştir.



Şekil 10. Lazer gücü – eğme dayanımı ilişkisi (Relationship between laser power and bending strength) (16 l/min, 200 mm/min)

3.3.2. Kaynak hızının eğme dayanımına etkisi (The effect of welding speed to bending strength)

Kaynak hızı arttıkça eğme dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, artan kaynak hızıyla ısı girdisinin azalması sonucunda soğuma hızının artmasından kaynaklanmaktadır. Azalan ferrit miktarı kaynak bölgesinde sıcak çatlak riskini artırarak eğme dayanımını olumsuz etkiler. Ayrıca, artan kaynak hızı hem yetersiz korumaya hem de kaynak hatalarına yol açtığından eğme dayanımının düştüğü görülmektedir. Örneğin, 14 l/min koruyucu gaz debisi ve 2000 W lazer gücü uygulanan numunelerde 100 mm/min kaynak hızında eğme dayanımı 1072 MPa, 200 mm/min için 1060 MPa, 300 mm/min için 1052 MPa ve 400 mm/min için 1043 MPa olarak tespit edilmiştir. Şekil 11’de görüldüğü gibi düşük kaynak hızı uygulanan numunelerin eğme dayanımı daha yüksektir. En yüksek eğme dayanımı 100 mm/min kaynak hızında elde edilmiştir.



Şekil 11. Kaynak hızı – eğme dayanımı ilişkisi (Relationship between welding speed and bending strength) (14 l/min, 2000 W)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik numunelerin CO₂ lazer kaynağıyla birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri metalografik incelemeler, mikro sertlik ölçümleri ve üç nokta eğme testleri ile incelenmiştir. Deneysel çalışmada, Rofin – Sinar marka maksimum çıkış gücü 4 kW olan sürekli mod CO₂ lazer tezgahı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Kaynak bölgelerinde malzeme kalınlığı boyunca tam nüfuziyet elde edilmiştir. Kaynak metal, üstten alta doğru daralan, düzensiz, konik bir yapıdadır. Katılaştıran kaynak metaline anahtar deliği formundadır. Hiçbir kaynak metalinde gözenek oluşumu gözlenmemiştir.
- Kaynak hızının artmasıyla kaynak metal genişliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Kaynak hızı arttıkça kaynak metalinde yüzey ve kök genişlikleri arasındaki farkın arttığı tespit edilmiştir.
- Katılaştıran kaynak metalinde tane ve alt tane sınırları tespit edilmiştir. Kaynak hızı arttıkça kaynak metalinde katılaştıran tanelerin büyüme doğrultuları ile kaynak merkez çizgisi arasındaki açı azalmaktadır.
- Kaynak hızı arttıkça geçiş bölgesi genişliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Geçiş bölgesi, dikiş yüzeyi ve dikiş kökünde de farklılık göstermektedir. Dikiş yüzeyinde ısı girdisinin etkisiyle geçiş bölgesi daha geniş olurken, dikiş kökünde geçiş bölgesinin daha dar olduğu tespit edilmiştir.
- ITAB’ta kaynak metalinden esas metale doğru uzanan yatay doğrultuda ferrit bantları tespit edilmiştir. Bu oluşumlar, katılaşmayla beraber kaynak metalinden uzaklaşan ısının ITAB’ta ve esas metalde oluşturduğu ısı dağılım hatlarıdır. Kaynak hızı arttıkça bu bölgede oluşan bantların uzunlukları azalmış, daha az yoğunlukta süreksiz şekilde oluşmuşlardır. Lazer gücü arttıkça bu bölgede tane sınırları boyunca uzanan bantların daha fazla yoğunlukta ve yüksek lazer güçlerinde sürekli şekilde oluştuğu tespit edilmiştir.
- Kaynak metalinin sertliği, geçiş bölgesi ve esas metalin sertliklerinden yüksektir. Geçiş bölgesinin sertliği esas metalin sertliğinden yüksektir.
- Kaynak işleminde numuneye uygulanan lazer gücü arttıkça kaynak metal sertliğinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kaynak hızının artmasıyla kaynak metal sertliğinin azaldığı

belirlenmiştir. Lazer gücü ve kaynak hızının ısı girdisine olan etkileri göz önüne alındığında ısı girdisi arttıkça kaynak metali sertliğinin arttığı görülmektedir.

- Kaynak işleminde numuneye uygulanan lazer gücü arttıkça eğme dayanımı artmaktadır. Ayrıca, elde edilen sonuçlara göre, kaynak hızı arttıkça eğme dayanımı azalmaktadır. Lazer gücü ve kaynak hızının ısı girdisine olan etkileri göz önüne alındığında kaynak işlemi sırasında numuneye uygulanan ısı girdisi arttıkça eğme dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazarlar Gazi Üniversitesi'ne ve DPT projesine (DPT Proje No: 2001K120590) sağladığı laboratuvar imkânlarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karaaslan, A., Yumurtacı, S., Sönmez, N., "Lazer ışını ile birleştirilmiş farklı malzemelerin kaynak dikişlerinde sertlik değişimleri", **II Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu**, Manisa, 54-59, 2001.
2. Yavuz, H., Çam, G., "Lazer-ark hibrit kaynak yöntemi", **Mühendis ve Makine**, 46:14-19, 2003.
3. Beersiek, J., "On-line monitoring of keyhole instabilities during laser beam welding, 1st ed.", **Prometec Gmbh**, Aerchan, 78-99, 1999.
4. Nath, A.K., Sridhar, R., Ganesh, R., Kaul, R., "Laser power coupling efficiency in conduction and keyhole welding of austenitic stainless steel", **Sadhana**, 27:383-392, 2002.
5. Wilson, J., Hawkes, J.B.F., "Laser principles and applications, 1st ed.", **Prentice Hall**, U.K., 3-24, 1987.
6. Sten, W.M., "Laser materials processing, 2nd ed.", **Springer-Verlag**, London, 9-67, 1991.
7. Benyounis, K.Y., Olabi, A.G., Hashmi, M.S.J., "Effect of laser welding parameters on the heating put and weld-bead profile", **Journal of Materials Processing Technology**, 164:978-985, 2005.
8. Yılbaş, B.S., Arif, A.F.M., AbdulAleem, B.J., "Laser welding of low carbon steel and thermal stress analysis", **Optics & Laser Technology**, 42 (5):760-768, 2009.
9. Keskin, M.S., "Östenitik paslanmaz çeliğin lazer kaynağı yöntemiyle birleştirilmesinin incelenmesi", **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Karabük, 940-942, 2009.
10. Zambon, A., Ferro P., Bonollo, F., "Micro structural, compositional and residual stress evaluation of CO₂ laser welded super austenitic AISI 904L stainless steel", **Materials Science and Engineering**, A424:117-127, 2006.
11. Chung, B.G., Rhee, S., Lee, C.H., "The effect of shielding gas types on CO₂ laser tailored blank weld ability of low carbon automotive galvanized steel", **Materials Science and Engineering**, A272:357-362, 1999.

