

AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağıyla Birleştirilmesinde Nitrasyon İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması

Mehmet ÇOBAN^{1*}  Hakan ADA^{2,3}  Cemil ÇETİNKAYA² 

¹Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 09/11/2023
Düzeltilme: 20/11/2023
Kabul: 29/11/2023

Anahtar Kelimeler

Lazer Kaynağı
Nitrasyon
Paslanmaz Çelik
AISI 304L
Östenitik

Article Info

Research article
Received: 09/11/2023
Revision: 20/11/2023
Accepted: 29/11/2023

Keywords

Laser Welding
Stainless Steel
AISI 304L
Nitriding
Austenitic

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada AISI 304L paslanmaz çeliğin lazer kaynağıyla birleştirilmesi ve nitrasyon işleminin lazer kaynağına etkileri araştırılmıştır. / In this study, joining AISI 304L stainless steel with laser welding and the effects of nitriding process on laser welding were investigated.



Şekil A: Lazer kaynağı ile birleştirilmiş numuneler / **Figure A:** Samples assembled by laser welding

Önemli noktalar (Highlights)

- AISI 304L Paslanmaz Çelik / AISI 304L Stainless Steel
- Lazer Kaynağı ile birleştirme / Joining with Laser Welding
- Nitrasyon yüzey sertleştirme işlemi / Nitriding surface hardening process

Amaç (Aim): Otomotiv, uzay, havacılık, sağlık, gıda ve savunma gibi birçok alanda kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin lazer kaynağıyla birleştirilmesi ve nitrasyon işleminin lazer kaynağına etkileri konusunda yeterli araştırma yapılmadığı tespit edilmiştir. Yapılan araştırmaların eksikliklerinin giderilmesi ve nitrasyon işleminin kaynak işlemi üzerindeki etkilerinin belirlenmesine katkı olması amacıyla bu çalışma yapılmıştır. / It has been determined that there is not enough research on the laser welding of austenitic stainless steels, which are used in many areas such as automotive, space, aviation, health, food and defense, and the effects of the nitriding process on laser welding. This study was carried out in order to eliminate the deficiencies of the research and to contribute to the determination of the effects of the nitriding process on the welding process.

Özgünlük (Originality): Lazer kesim ve kaynak işlemleri Eskişehir'de bulunan Setuay Lazer firmasında, SEM ve EDS görüntüleme işlemleri Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde, mekanik testler Eskişehir OSB'ye bağlı MEGEM Test Laboratuvarı'nda ve nitrasyon işlemleri Bursa'da bulunan Korkmaz Çelik firmasının'da yapılmıştır. Bütün işlemler takip edilerek prosesler gerçekleştirilmiştir. / Laser cutting and welding processes are done by Setuay Lazer company in Eskişehir, SEM and EDS imaging processes are done by Kastamonu University Faculty of Engineering and Architecture, mechanical tests are done by MEGEM Test Laboratory affiliated with Eskişehir OSB and nitriding processes are done by Korkmaz Çelik company in Bursa. has also been made. All processes were followed and the processes were carried out.

Bulgular (Results): Mekanik testler ile OM, SEM ve EDS incelemelerinde, kaynaklanan tüm numunelerde kaynak işleminin nüfuziyetinin yeterli seviyede olduğu tespitine varılmıştır. / In mechanical tests and OM, SEM and EDS examinations, it was determined that the penetration of the welding process was sufficient in all welded samples.

Sonuç (Conclusion): AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çeliklere nitrasyon işleminin lazer kaynağı işlemi öncesinde ve sonrasında uygulanmasının, gerek mekanik testler gerekse makro ve mikro yapı incelemelerinde kaynaklanabilirliği olumsuz yönde etkileyen bir durumun olmadığı sonucuna varılmıştır. / It has been concluded that applying the nitriding process to AISI 304L Austenitic Stainless Steels before and after the laser welding process does not negatively affect weldability in both mechanical tests and macro and micro structure examinations.



AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağıyla Birleştirilmesinde Nitrasyon İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması

Mehmet ÇOBAN^{1*} Hakan ADA^{2,3} Cemil ÇETİNKAYA²

¹Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 09/11/2023
Düzeltilme: 20/11/2023
Kabul: 29/11/2023

Anahtar Kelimeler

Lazer Kaynağı
Nitrasyon
Paslanmaz Çelik
AISI 304L
Östenitik

Öz

Bu çalışmada; paslanmaz çeliklerin lazer kaynağıyla birleştirilmesi ve nitrasyon işleminin lazer kaynağına etkileri araştırılmıştır. Lazer kaynak yöntemiyle, 3 farklı güç parametresinde birleştirilen AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunelere uygulanan mekanik testlerde optimum sonuçların 1500 Watt güç ile birleştirilmiş 2. numunede olduğu görülmüştür. Mikroyapı ve mekanik özellikler açısından optimum sonucu veren 2 numaralı birleştirmeye ait parametreler baz alınarak kaynak öncesi ve sonrasında nitrasyon işlemlerinin uygulandığı 4 ve 5 numaralı deneyler gerçekleştirilmiştir. İncelemeler neticesinde kaynaklanan tüm numunelerde kaynak nüfuziyetinin yeterli olduğu, kaynaklı birleştirmenin penetrasyonunun uygun olduğu, ana malzeme mikroyapılarının eş taneli östenitik paslanmaz çelik mikroyapısına benzediği, kaynak metalinde kaynak merkezine doğru yönelen dendritik ve sütünsal yapıların oluştuğu, ITAB'ın ise lazer kaynağının karakteristik özelliği olarak dar bir bölgede olduğu tespit edilmiştir. Optimum parametrede kaynak ve nitrasyon işlemleri gerçekleştirilen numunelerin mukavemet ve uzama değerleri 2 numaralı deneye yakın değerler gösterse de en yüksek çekme testi sonuçları 2 numaralı deneyde tespit edilmiş, tüm kopmalar ITAB bölgesinde meydana gelmiştir. Eğme testleri sonucunda; kaynaklı birleştirmelerin numunelerin sünekliğine tesir edecek herhangi bir olumsuzluk içermediği, ana malzemeye benzer süneklik sergilediği anlaşılmıştır. Mikrosertlik incelemelerinde; en yüksek mikrosertlik sonuçlarının ITAB bölgelerinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Investigation Of The Effect Of Nitriding Process On Microstructure And Mechanical Properties In Laser Welding Of AISI 304L Stainless Steel Materials

Article Info

Research article
Received: 09/11/2023
Revision: 20/11/2023
Accepted: 29/11/2023

Keywords

Laser Welding
Stainless Steel
AISI 304L
Nitriding
Austenitic

Abstract

In this study; Joining stainless steels with laser welding and the effects of nitriding process on laser welding were investigated. In the mechanical tests applied to AISI 304L austenitic stainless steel samples joined with 3 different power parameters by laser welding method, it was seen that the optimum results were in the 2nd sample joined with 1500 Watt power. Experiments 4 and 5, in which nitriding processes were applied before and after welding, were carried out based on the parameters of joint 2, which gave optimum results in terms of microstructure and mechanical properties. As a result of the examinations, it was determined that the weld penetration in all welded samples was sufficient, the penetration of the welded joint was appropriate, the microstructures of the main material resembled the microstructure of co-grained austenitic stainless steel, dendritic and columnar structures directed towards the weld center were formed in the weld metal, and HAZ had a narrow area as a characteristic feature of laser welding. has been found to occur in the region. Although the strength and elongation values of the samples, where welding and nitriding processes were carried out at the optimum parameter, showed values close to experiment number 2, the highest tensile test results were detected in experiment number 2, and all ruptures occurred in the HAZ region. As a result of bending tests; It has been understood that welded joints do not have any negative effects on the ductility of the samples and exhibit ductility similar to the main material. In microhardness examinations; It was concluded that the highest microhardness results were in the HAZ regions.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Paslanmaz çelikler, korozyona karşı yüksek dayanım göstermesi sayesinde makine sanayisi başta olmak üzere birçok alanda yaygın olarak tercih edilmektedir [1, 2]. Bunun yanı sıra kolay şekillendirilebilmesi, iyi kaynaklanabilirliği, yük altında çalışma özelliği, gelişmiş mekanik özellikleri, uzun ömürlü olması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılması paslanmaz çeliği öne çıkaran özelliklerdir. Bu özellikleri barındıran AISI 304L östenitik paslanmaz çelikler, makine sanayiinde sıklıkla tercih edilen malzemeler arasında yer almaktadır [3].

Paslanmaz çeliklerde lazer kaynak işlemi son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. İstenilen kaynak profilini elde edebilmek için kaynak dikişi önem arz etmektedir. Kaynak dikişinin şekli, kaynak parametreleri ve ısı girdisi ile ilişkilidir. Yüksek kaynak kalitesi ve hatasız kaynak işlemi için kaynak parametrelerinin doğru belirlenebilmesi gerekmektedir [4]. Hatasız kaynak işlemleri, otomasyon sistemlerine uygunluğu ve yüksek kaynak kalitesi gibi üstün özellikleri sayesinde son yıllarda Nd:YAG katı hal lazer kaynağı yaygın olarak tercih edilmektedir [5, 6].

Nitrasyon, malzemelerin yüzey mikroyapılarının değişimi ile mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan önemli bir termokimyasal yüzey işlemi olarak tanımlanır. Azot difüzyonu malzeme yüzeyinde mikroyapının değişimini sağlayarak sert bir tabaka oluşturur ve malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlar [7]. Sertlik oranı yüksek olan nitrür tabakası ile nispeten daha sünek ve yumuşak olan çeliklerin sürtünme ve aşınma direncinde artışlar elde edebilmek mümkündür. Nitrürlemenin düşük sıcaklıklarda uygulanabilmesi sayesinde malzemelerin içyapısı çok fazla değişime uğramadan özelliklerini korurken, oluşması muhtemel süreksizlik ve hatalar da minimize edilebilmektedir. Bu nedenle çeliklerde nitrürleme işlemi, çok önemli bir yüzey sertleştirme işlemi olarak bilinmektedir [8, 9].

AISI 304L paslanmaz çeliklerin lazer kaynağıyla ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Torkamany ve arkadaşları, düşük karbonlu ve östenitik paslanmaz çeliklerin lazer nokta kaynaklarının mikroyapı ve mekanik performansına lazer kaynağı modunun etkisini incelediği çalışmada, zayıf tabakadaki füzyon bölgesi büyüklüğünün kontrol edici faktör olduğunu göstermiştir (Torkamany, vd., 2012). Çalgülü ve arkadaşları, CO₂ lazer ışını kullanarak AISI 430

ferritik ve AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağını inceledikleri çalışmada, en iyi özelliklerin; Helyum atmosferinde, güç girişinin 2500 W ve kaynak hızının 100 cm/dak olduğu durumda elde edildiğini göstermişlerdir (Çalgülü, vd., 2010). Kaya ve Kahraman, 304 östenitik paslanmaz çelik ve 430 ferritik paslanmaz çeliği örtülü elektrod ark kaynağı, TIG ve MIG yöntemleri ile birleştirdikleri çalışmada; çekme testleri sonucu tüm birleştirmelerde kopmaların ferritik paslanmaz çeliğin ana metal tarafındaki kaynak metaline yakın olan ITAB'da gerçekleştiğini, TIG kaynağı ile birleştirilen kaynak bağlantısında en yüksek çekme dayanımı elde edildiğini belirlemiştir (Kaya ve Kahraman, 2011). Köse ve Kaçar 420 martenzitik paslanmaz çeliği CO₂ lazer kaynağıyla birleştirilerek kaynak bağlantısının mekanik ve metalurjik özelliklerini inceledikleri çalışmada, kaynak öncesinde ön tavlama ve kaynak sonrasında gerilim giderme ısı işlemi uygulanan numunelerde martenzit yapının temperlenmesiyle ITAB ve kaynak metali bölgelerinde mikro çatlak yayılımının önlenmesi sağlanarak arzu edilen ve kabul edilebilir mekanik özellikler elde edildiğini bildirmiştir (Köse ve Kaçar, 2015). Shah ve arkadaşları, lazer kaynağı ile 304 östenitik paslanmaz çeliğinin birleştirilmesi sırasında yayılım bölgesinin taşınımının ısı transferi ve yayılım bölgesi geometrisi üzerinde önemli bir rolü olduğunu ortaya koymuştur (Shah, vd., 2018). Soltani ve Tayebi, TIG ve Nd:YAG lazer kaynağı ile karşılaştırmalı olarak AISI 304L - AISI 316L paslanmaz çelik kaynak bağlantılarını inceledikleri çalışmada, TIG kaynağında kaynak derinliğinin lazer yöntemine göre daha yüksek olduğunu, TIG ve lazer kaynağı ile birleştirilen numunelerin dayanıklılığı ve tokluğunun gerilim arttıkça azaldığını gözlemlemiştir (Soltani ve Tayebi, 2018). Alcock ve Baufeld yaptıkları çalışmada, 304L östenitik paslanmaz çelikte diyot lazer kullanarak 12 kW'lık lazer gücü ve 1,5 m/dk'lık kaynak hızı parametreleriyle kaynak uzunluğu boyunca tam penetrasyon ile başarılı bir şekilde kaynak işlemi gerçekleştirmiştir (Alcock ve Baufeld, 2017). Fuerschbach ve Eisler, yaptıkları çalışmada, Darbeli Nd:YAG lazer nokta kaynakları için kaynak enerjisinin ve süresinin etkisini incelemek için AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunesi üzerinde kalorimetrik ölçümler yapmış ve numune üzerine aynı enerjiye sahip kısa süreli lazer darbeleri uygulandığında, uzun süreli lazer darbelerine göre daha derin kaynak nüfuziyeti sağlandığını tespit etmiştir (Fuerschbach ve Eisler, 2003). Çelen, yaptığı çalışmada 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin Nd:YAG lazer kaynağı ile dayanım ve

korozyon özelliklerini kaynak parametreleri açısından incelemiş, darbe süresi arttıkça çekme dayanımı değerinin arttığını gözlemlemiştir (Çelen, 2006). Kumar ve Sinha, yaptıkları çalışmada, AISI304L paslanmaz çelik ve St37 çelik plakaları darbeli Nd-YAG lazer kaynağı yöntemi ile birleştirmiş, değişen darbe genişliği parametrelerine göre çekme testleri sonucunda kopma pozisyonunun St 37 karbon çeliği tarafında gerçekleşmesinin kaynaklı bağlantının ana metal olan St 37'ye eşdeğer mukavemette olduğunu ortaya koymuşlardır (Kumar ve Sinha, 2018).

AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklerin lazer kaynağıyla ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; çalışmaların genelde kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesine odaklandığı görülmektedir. Bu çalışmada literatür çalışmalarında yer almayan ve önemli bir yere sahip AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklere lazer kaynağı öncesi ve sonrası olmak üzere nitrasyon işlemi uygulanmıştır. Bu sayede nitrasyon işleminin, lazer kaynaklama işlemi öncesi ve sonrasındaki etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi için elde edilen kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkisi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada; ticari olarak temin edilen AISI 304L paslanmaz çelik saclara uygulanan lazer kaynağı ve

nitrasyon işleminin kaynaklı birleştirme üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Öncelikle lazer kaynağı uygulamalarında optimum parametre belirlenmiş ve optimum parametre üzerinden gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelere kaynak işlemi öncesi ve sonrası olmak üzere nitrasyon işlemleri uygulanmıştır. Aynı parametrelerde lazer kaynak işlemi gerçekleştirilen AISI 304L östenitik paslanmaz çelik malzemeler 3 ayrı kategoride (nitrasyon işlemi olmadan sadece kaynak işlemi uygulanmış numune, önce kaynak daha sonra nitrasyon işlemi uygulanmış numune ve önce nitrasyon işlemi daha sonra kaynak işlemi uygulanmış numune) birleştirilerek, nitrasyon ve lazer kaynak işleminin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar aşamasında deneylerde kullanılan malzemelerin yapısal ve mekanik özellikleri hakkında bilgiler verilmiş deneysel çalışmalar esnasında kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler ile test ve incelemeler hakkında detaylı bilgiler sırası ile aşağıda yer almaktadır.

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada kullanılan AISI 304L östenitik paslanmaz çelik malzemeler, 150x300x2 mm ölçülerinde kaynak işlemine hazırlanmıştır. AISI 304L paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de, mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 304L paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of AISI 304L stainless steel)

Malzeme	% C	% Cr	% Mn	% Si	% Ni	% Mo	% Nb	% P	% Fe
AISI 304L	0,018	17,9	1,351	0,442	8,34	0,052	0,021	0,028	Kalan

Tablo 2. AISI 304L paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri (Mechanical properties of AISI 304L stainless steel)

Akma Muk. (min)(Mpa)	Çekme Muk. (Mpa)	Uzama (min)(%)	Sertlik (HV)
200	485 - 670	40	201

2.2. Metot (Method)

Nitrasyon işlemi ve lazer kaynak işleminin AISI 304L paslanmaz çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırıldığı bu çalışmada AISI 304L östenitik paslanmaz çelikler Nd:YAG lazer kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme işlemleri Eskişehir'de bulunan Setuay

firmasında (<https://setuay.com.tr>), nitrasyon işlemleri ise Bursa'da bulunan Korkmaz Çelik firmasında (<https://www.korkmazcelik.com>) gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi öncesinde numunelerin kaynaklanacak kenarları, yağ ve kir gibi istenmeyen kirliliklerin kaynak bölgesinden uzaklaştırılması için temizlenmiştir. Kaynak işleminde ilave tel kullanılmamıştır. İşlemi

uygulanmış numunelere optimum. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri Tablo 3'te yer almaktadır. Tablo 3'te verilen deneylerde 1 – 2 ve 3 numaralı deneyler tüm değişkenler sabit tutularak optimum lazer gücünü belirlemek için yapılan ve herhangi bir yüzey işlemi uygulanmadan gerçekleştirilen birleştirmeleri ifade etmektedir. Söz konusu deneyler içerisinde mikroyapı ve mekanik özellikler açısından 2 numaralı birleştirmede kullanılan parametreler optimum parametre olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerde gerçekleştirilen 4 numaralı deney; önce kaynak işlemi, daha sonra

nitasyon işlemi uygulanan birleştirmeyi, 5 numaralı deney ise; önce nitasyon işlemi, daha sonra lazer kaynak işlemi uygulanan birleştirmeyi ifade etmektedir. Bu sayede aynı parametrelerde kaynak işlemine tabi tutulan herhangi bir işlem görmemiş 2 numaralı deney, önce kaynak işlemi uygulanmış sonra nitasyon işlemi uygulanmış 4 numaralı deney ile önce nitasyon işlemi uygulanmış, daha sonra kaynak işlemi uygulanmış 5 numaralı deney birbirleriyle mukayese edilerek nitasyon işleminin lazer kaynak işlemi üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used in experiments)

Numune No	Kaynak Öncesi Nitasyon İşlemi	Kaynak Sonrası Nitasyon İşlemi	Lazer Gücü (Watt)	İlerleme Hızı Sabit (mm/sn)	Gaz Basıncı Sabit (Bar)
1	Yok	Yok	1300	20	2
2	Yok	Yok	1500		
3	Yok	Yok	1700		
4	Yok	Var	1500		
5	Var	Var	1500		

4 ve 5 numaralı birleştirmelere K_n 2,2 değerinde kontrollü gaz nitasyon işlemi uygulanmıştır. Fırın atmosferi olarak amonyak gazı (NH_3) ve karbondioksit gazı (CO_2) birlikte kullanılmış olup, fırın sıcaklığı 300 °C, ortamı ise % 100 NH_3 'tür. Cihazın çevresindeki CO_2 gazı etkisi ile fırın

sıcaklığı 580 °C'ye yükselir. Bu aşamada, % 90 NH_3 ve % 10 CO_2 gazı bulunmaktadır. Bu ortam 120 dakika bekledikten sonra %100 azot ortamı soğutma gerçekleştirilmiştir. Nitasyon işlemine ait parametreler Tablo 4'te verilmiştir.

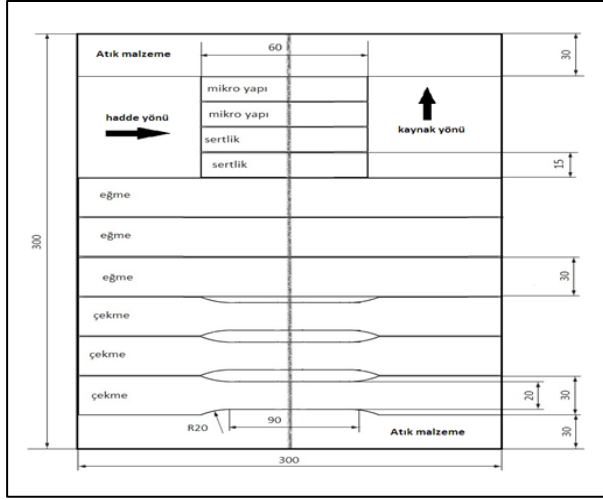
Tablo 4. Nitasyon işlemine ait parametreler (Parameters of the nitration process)

Nitasyon işleminde kullanılan gazlar	NH_3 , CO_2
Ön ısıtma	300 °C
Kademeli ısıtma	580 °C'ye kadar
580 °C'de tutma süresi	120 dakika
Soğutma ortamı	Azot

Çalışmada; Tablo 3'te verilen parametrelerle Nd:YAG lazer kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304L paslanmaz çelik numunelerin mikroyapısal

karakterizasyonu optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleriyle, mekanik karakterizasyonu ise çekme, sertlik ve

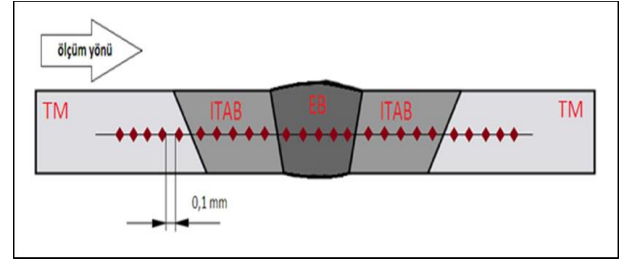
eğme testleriyle belirlenmiştir. Söz konusu incelemeler Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı ile Eskişehir’de bulunan Setuay firması ve MEGEM test merkezlerinde gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemleri uygulanmış 300x300x2 mm ölçülerindeki plakalardan TS EN ISO 6892-1 ve TS EN ISO 5173 standartlarına uygun olarak çekme, eğme, mikroyapı ve sertlik numuneleri kaynak dikişi tam merkezde kalacak şekilde çıkarılmıştır. Şekil 1’de birleştirilmiş bir plaka üzerinden standartlara uygun olarak alınan numune ölçülerinin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Plaka üzerinden alınan numune ölçüleri
(Sample measurements taken from the plate)

Kaynak yapılmış numunelerin mikroyapı karakterizasyonunun belirlenebilmesi ve içyapı incelemelerinin detaylı gözlemlenebilmesi için, numunelere optik mikroskop ve SEM’de görüntüleri alınmıştır. Metkon Forcipol 2V marka metalografi cihazı ile sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gridlik zımparalama işlemleri yapılmıştır. Ardından 3 µm ve 1 µm’lik solüsyonlarla parlatma işlemleri uygulanmıştır. Parlatılmış numuneler, Marble Çözeltisi (4g CuSO₄, 20 ml HCl, 20 ml su) ile dağlandıktan sonra; makro incelemeler maksimum 50X büyütme oranına sahip Nikon SMZ745T model mikroskop, mikro incelemeler ise Nikon Eclipse MA100 model mikroskop yardımıyla incelenmiştir. AISI 304L paslanmaz çelik lazer kaynaklı birleştirme numuneleri, daha sonra FEI marka Quanta Feg 250 model SEM cihazıyla incelenmiştir. Birleştirme numunelerinin mekanik karakterizasyonunu belirlemek için numunelere öncelikle çekme testi uygulanmıştır. Çekme testine tabi tutulacak lazer kaynaklı AISI 304L paslanmaz çelik numuneler, TS EN ISO 6892-1 standardına uygun şekilde hazırlanmış olup, 600 kN kapasiteli Alşa marka cihazda çekme testine tabi tutulmuştur. Eğme test i

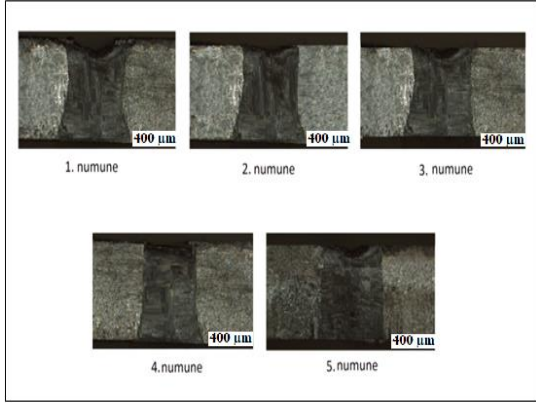
numuneleri, TS EN ISO 5173 standardına uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Her numuneden kep ve kök tarafından eğilmek üzere hazırlanan numuneler, Alşa marka cihazda, uç kısımlarından serbest mafsallara yerleştirilerek, kaynaklı numunelerin tam ortasındaki kaynak bölümünden 90 derece bükülene kadar yük uygulanarak eğme testine tabi tutulmuştur. Lazer kaynağı ile birleştirilen AISI 304L paslanmaz çelik numunelerin mikrosertlik ölçümleri Metkon Duroline-M marka cihaz kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümü ana malzemeden başlayarak kaynak bölgesine ilerleyen ve tekrar ana malzemeyle sonuçlanan doğrusal bir hatta yapılmıştır. Temel (ana) malzeme (TM), ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ergime bölgesinden (EB) 0,1 mm aralıklarla 5’er ölçüm alınmıştır (Şekil 2). Sertlik ölçümleri, numunenin 5 farklı bölgesinden toplam 25 ölçüm yapılarak, 100 gram yük ve 10 saniye süre ile uygulanarak gerçekleştirilmiş ve ortalama mikrosertlik değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 2. Sertlik ölçüm noktalarının şematik gösterimi
(Schematic representation of hardness measurement points)

3.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENT RESULTS AND DISCUSSION)

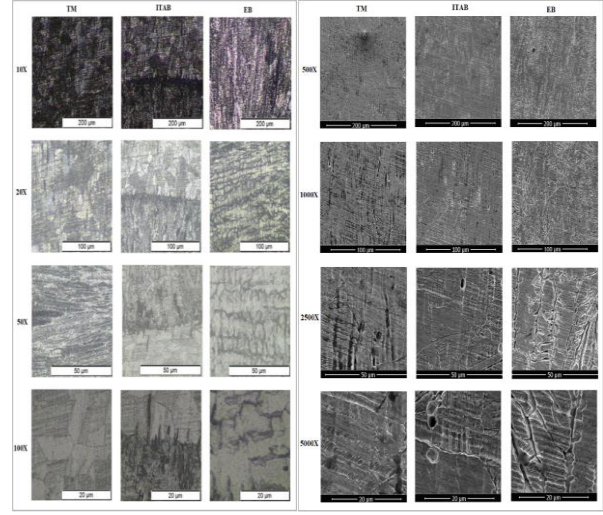
Tablo 3’te yer alan farklı lazer gücünde lazer kaynak işlemine tabi tutulmuş olan 1, 2 ve 3 numaralı numunelere uygulanan analiz ve testler sonucunda en iyi sonuçları veren 2 numaralı numune lazer gücü açısından “optimum kaynak parametresi” olarak belirlenmiştir. Bu parametreler baz alınarak nitrasyon işlemi uygulanan numunelerin kaynaklı birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Makro incelemeler çerçevesinde, kaynaklı birleştirmelerin geometrisi 5x oranında büyütülerek incelenmiş ve birleştirmelerden alınan görüntüler Şekil 3’te verilmiştir. Bu sayede birleştirmede kullanılan parametrelerin nüfuziyet ve penetrasyona etkileri değerlendirilmiştir.



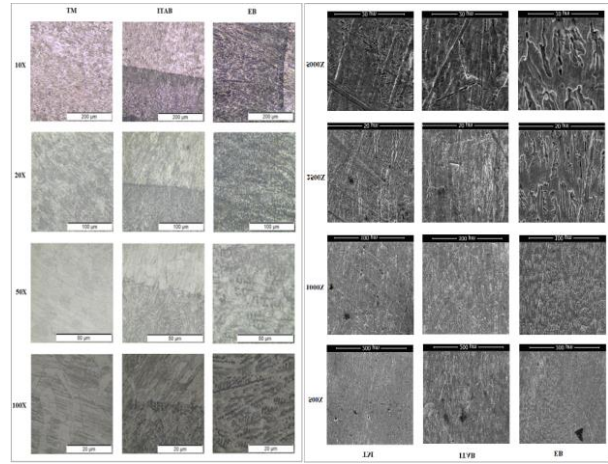
Şekil 3. Numunelerin makro görüntüleri (Macro images of samples)

Şekil 3'te verilen makroyapı görüntülerinin incelenmesi sonucunda tüm numunelerde kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynaklı yüzeyin ve kök yüzeyine ait şeklin geometrik olarak uygun olduğu görülmüştür. Ergime bölgesi ve ana malzeme birbirinden net bir şekilde ayrılırken, parlak tanelerin olduğu ITAB'ın tane yapısının farklılığı ve çok dar bir alanda olduğu göze çarpmaktadır [10]. Bu yöntemde ergime derecesine hızla ulaşılıp, hızlı soğuma neticesinde oda sıcaklığına tekrar hızlı bir iniş olması sayesinde ITAB'ların dar bir alanda oluştuğu düşünülmektedir [11].

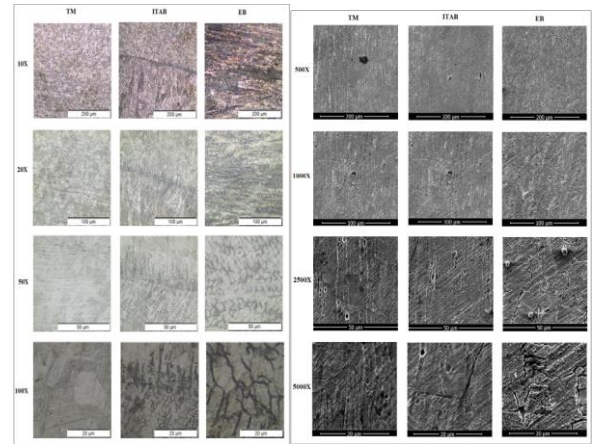
Lazer kaynaklı numunelerin TM, ITAB, EB bölgelerindeki görüntüleri, optik mikroskopta x10, x20, x50 ve x100 büyütmelerde, SEM görüntüleri ise, x500, x1000, x2500 ve x5000 büyütmelerde alınmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin optik mikroskop (OM) ve SEM görüntüleri deney sırasıyla Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde; ana malzeme mikroyapılarının literatürde tanımlanan eş taneli östenitik paslanmaz çelik mikroyapısına benzediği ve tane ebatlarının kaynak öncesi morfolojilerini genel olarak koruduğu, kaynak metalinde dendritik ve sütünsal yapıda olduğu ve tanelerin kaynak merkezine doğru yönlendiği, lazer kaynağının karakteristik özelliği olarak ana malzemeden kaynak merkezine doğru geçiş bölgesi olan ITAB'ın dar bir bölgede oluştuğu görülmüştür. ITAB ve kaynak metalinin geçiş bölgesi olarak verilen görüntülerde; ITAB'da ısının etkisiyle ana malzemeye oranla daha iri tanelerin oluştuğu anlaşılmaktadır [12-14].



Şekil 4. 1 numaralı deneye ait numunenin OM ve SEM görüntüleri (OM and SEM images of the sample from experiment number 1)



Şekil 5. 2 numaralı deneye ait numunenin OM ve SEM görüntüleri (OM and SEM images of the sample from experiment number 2)

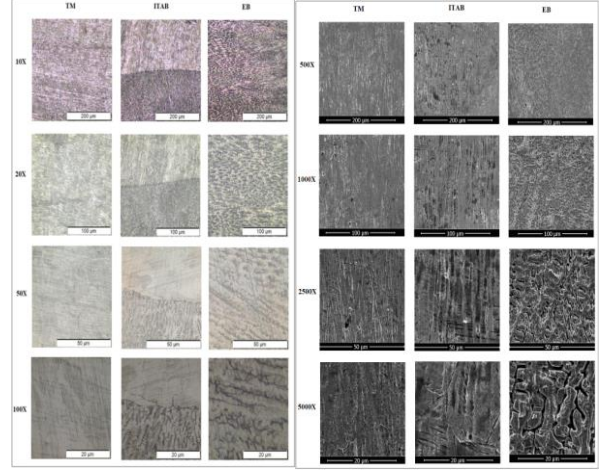


Şekil 6. 3 numaralı deneye ait numunenin OM ve SEM görüntüleri (OM and SEM images of the sample from experiment number 3)

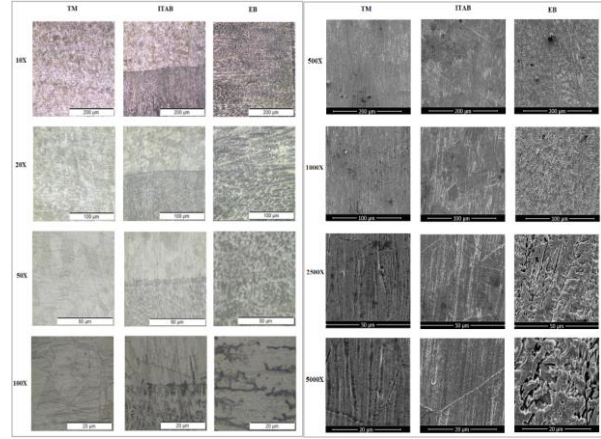
Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da optimum parametreyi belirlemek için herhangi bir işlem uygulanmadan sadece lazer kaynağının gerçekleştirildiği deneylerden elde edilen mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Görüntülerden; düşük güç (1300 W) kullanılarak yapılan 1 numaralı deneyde (Şekil 4) diğer numunelerden daha iri tanelerin oluştuğu anlaşılmıştır. Bu durumun 1300 W gücünün kaynak bölgesinde, 1500 W ve 1700 W gücündeki kaynaklama işlemine nazaran, daha düşük ısı oluşmasından ve soğuma süresinin daha kısa olmasından kaynaklı değişim gösterdiği düşünülmektedir [15]. Şekil 5’te verilen 2 numaralı deneyde, benzer görüntüler elde edilirken, güce bağlı olarak tanelerin incelendiği gözlemlenmiştir. Fotoğraflarda ITAB ve kaynak metali geçiş bölgesi birbirinden net bir şekilde ayrılırken, ITAB’daki yapıların diğer bölgelere göre iri oluştuğu, kaynak metalinde ise dendritik tanelerin varlığı dikkat çekmektedir. Şekil 6’daki görüntüler incelendiğinde; mikroyapısal olarak diğer fotoğraflara benzer görüntüler elde edilmiştir. ITAB ve kaynak metali geçiş bölgeleri net bir şekilde birbirinden ayrılırken, tanelerin diğer numunelere göre daha ince bir yapıda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu durumun 1700 W uygulanan kaynak gücünün, 1300 W ve 1500 W gücündeki kaynaklama işlemine nazaran kaynak bölgesinde daha yüksek ısı oluşmasından ve soğuma süresinin daha uzun olmasından kaynaklı değişim gösterdiği düşünülmektedir [16].

Şekil 7 ve Şekil 8’de nitrasyon işlemi uygulanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 7’de 1500 W’lık optimum lazer gücünde birleştirilen 4 numaralı deneyde, kaynak işleminden sonra uygulanan nitrasyon işlemi sayesinde mikroyapıda oluşan farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu farklılıkların nitrasyon işlemi ile yapıda oluşan tabakalar nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir. İşlem öncesinde ve sırasında ilave hiçbir kimyasal element dâhil edilmemiştir.

Nitrasyon işlemi, malzemede ek bir kaplama ya da gevrek faz oluşturmadığı için herhangi bir katman ayrılması riski de yaratmamıştır. Sonuç olarak 4 numaralı numunenin kaynak sonrası mikroyapı incelemelerinde, nitrasyon işleminin kaynaklı birleştirme üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür.



Şekil 7. 4 numaralı deneye ait numunenin OM ve SEM görüntüleri (OM and SEM images of the sample from experiment number 4)



Şekil 8. 5 numaralı deneye ait numunenin OM ve SEM görüntüleri (OM and SEM images of the sample from experiment number 5)

Şekil 8’de ise önce nitrasyon daha sonra kaynak işlemi uygulanan ve optimum lazer gücünde birleştirilen 5 numaralı deneyin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Görüntülerden; 5 numaralı numunenin nitrasyon işlemi sonrasında, lazer kaynak işleminin mikroyapısal olarak kaynak üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Numunelere uygulanan çekme testlerinden elde edilen akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı ve % uzama değerleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Numunelere ait çekme testi sonuçları (Tensile test results of the samples)

Deney No	Lazer Gücü (Watt)	Akma Dayanımı (MPa) (± 10)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa) (± 10)	% Uzama (± 3)	Kopma Bölgesi
1	1300	320,07	594,97	28,75	ITAB (iri taneli bölge)
2	1500	352,94	653,72	50,62	ITAB (iri taneli bölge)
3	1700	300,15	536,41	20,01	ITAB (iri taneli bölge)
4	1500	344,19	648,13	41,25	ITAB (iri taneli bölge)
5	1500	326,95	612,21	25,62	ITAB (iri taneli bölge)

Tablo 5 incelendiğinde; 2 numaralı numuneye ait değerler tüm numuneler içerisinde en iyi çekme testi sonuçlarını sergilediğinden optimum parametre olarak belirlenmiştir. Kaynak gücünün belirlendiği ilk 3 numunedeki çekme testi sonuçları birbiriyle mukayese edildiğinde en yüksek sonuç 2 numarada gözlemlenirken (1500 W), 1 numarada (1300 W) ortalama dayanım ve uzama değerleri sergilemiştir. Kaynak gücünün en yüksek seçildiği 3 numaralı numunede (1700 W) ise en düşük dayanım ve yüzde uzama değerleri elde edilmiştir. Optimum parametrede kaynak ve nitrasyon işlemleri gerçekleştirilen 4 ve 5 numaralı numunelerin mukavemet ve uzama değerleri 2 numaraya yakın değerler gösterse de en yüksek sonuçlar (Maksimum Çekme Dayanımı: 653,72 MPa, Akma Dayanımı: 352,94 MPa ve Uzama: % 50,62) 2 numaralı numunede gözlenmiştir. Önce kaynak, sonra nitrasyon işlemi uygulanan 4 numaralı numunede 2 numaralı deneye çok yakın mukavemet ve uzama değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durum kaynak işlemi sonrasında uygulanan nitrasyon işleminin dayanım ve uzama değerlerinde belirleyici bir etkiye sahip olmadığını ortaya koymaktadır. Önce nitrasyon, sonrasında kaynak işlemi gerçekleştirilen 5 numaralı numunede ise 2 numaralı deneyden düşük bir mukavemet ve uzama değeri elde edilmiştir. Buradan kaynak işlemi öncesinde uygulanan nitrasyon işleminin, diğer deneylerle (2 ve 4 numaralı deneyler) kıyaslandığında, kaynak işleminden önce yapılan nitrasyon işleminin kaynak nüfuziyetini olumsuz yönde etkilemesi nedeniyle, mekanik özellikleri de olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılabilir. Ayrıca nitrasyon işlemi ile yüzeye azot uygulaması

yapılmasının kaynak işleminde “azot kırılabilirliği” adı verilen olumsuz bir durumu tetikleyebileceği ve bu durumun da mekanik özellikleri olumsuz etkileyebileceği literatür incelemelerinden bilinmektedir [17]. Sonuç tahmin edilse de; bu çalışmada, tamir bakım kaynak uygulamaları gibi ekstra durumların varlığı nedeniyle yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış malzemeye de kaynak işlemi uygulanmıştır. Bu nedenle, önce nitrasyon, sonra kaynak işlemi uygulanan numunede yaklaşık en düşük mekanik sonuçların oluşması çalışmada beklenen bir durumdur. Çekme testleri sonucunda; nitrasyon işlemi görmüş 4 ve 5 numaralı numunelerin, nitrasyon işlemi görmemiş 2 numaralı numuneye kıyasla akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı ve uzama değerleri bakımından daha düşük değerlerle sonuçlandığı görülmüştür. Yine nitrasyon işlemi uygulanmış 4 ve 5 numaralı numunelerden, önce nitrasyon işlemi görmüş, sonrasında kaynak işlemi yapılmış 5 numaralı numunenin, önce kaynak işlemi görmüş, sonra nitrasyon yapılmış 4 numaralı numuneye kıyasla çekme testi sonucu oluşan akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı ve uzama değerleri bakımından daha düşük değerlerle sonuçlandığı görülmüştür. Test sonuçlarından; 4 numaralı numunenin çekme testi sonucu oluşan akma dayanımı maksimum çekme dayanımı ve uzama değerleri 2 numaralı numuneye daha yakın değerlere sahip olduğu ancak 5 numaralı numunenin akma dayanımı değerleri, maksimum çekme dayanımı değerleri ve uzama değerleri ile 2 numaralı numunenin değerleri arasında belirgin bir fark olduğu sonucuna varılmıştır. Çekme testleri sonrasında numunelerin görüntüleri ise Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 9’da yer alan numunelerin, çekme testi sonucunda yapılan analizlerde kopmaların

ITAB bölgesinden meydana geldiği görülmüştür. Mikroyapı analizleri incelendiğinde kaynak metalinin hemen yanında oluşan iri taneli bölgenin mukavemetinin diğer bölgelere göre daha düşük oluşması beklenen bir durumdur [18]. Bu durumdan dolayı tüm kopmaların kaynak metalinin hemen bitişiğinde iri taneli bölgelerde oluşmuştur. Bu durum tüm numunelerde kaynak dikişinin mukavemetli olduğunu göstermektedir.



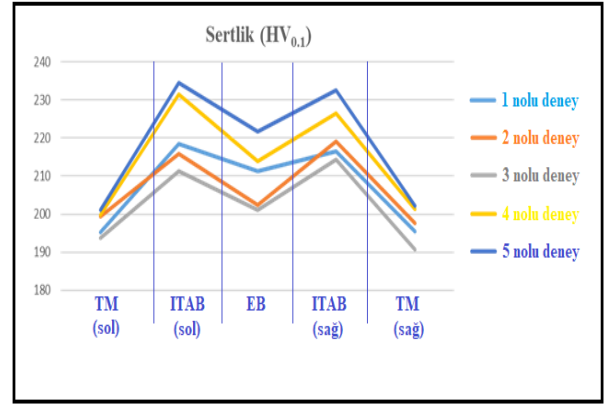
Şekil 9. Çekme testi sonrası numuneler (Samples after tensile test)

Nitrasyon işlemi görmemiş farklı güç parametrelerinde kaynak işlemi yapılan 1,2 ve 3 numaralı numuneler ile nitrasyon işlemi görmüş ve optimum parametrede (2 numaralı deney) birleştirilmiş 4 ve 5 numaralı numuneler için kaynak tarafı ve kök tarafı olmak üzere 2'şer adet eğme testi yapılmıştır. Eğme testi sonrası numunelerin görüntüsü Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Eğme testi sonrası numuneler (Samples after bending test)

Şekil 10'da eğme testi sonrası görüntüleri verilen numunelerin kep ve kök tarafı gözle muayene incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde; kaynak bölgesinde çatlama, yırtılma, kırılma, kopma vb. olumsuzluk teşkil eden herhangi bir durumun bulunmadığı sonucuna varılmıştır. Buradan kaynak bölgesinin, numunenin sünekliğine tesir edecek herhangi bir olumsuzluk içermediği, kaynak bölgesinin ana malzemeye benzer bir süneklik özelliği sergilediği anlaşılmıştır [19]. Nitrasyon işlemi görmemiş farklı güç parametrelerinde kaynak işlemi yapılan 1,2 ve 3 numaralı numuneler ile nitrasyon işlemi görmüş ve optimum parametrelerde birleştirilmiş 4 ve 5 numaralı numuneler için, TM, ITAB, EB bölgelerinden alınmış 5'er adet mikrosertlik ölçümlerinin ortalaması Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Sertlik testi sonuçlarına ait grafik (Graph of hardness test results)

Şekil 11'deki grafik incelendiğinde; grafikteki en belirgin özelliğin merkezden itibaren her iki yöne simetrik olmasıdır. Burada kaynak esnasında kullanılan kaynak gücü hariç sabit parametrelerin sıkı bir şekilde kontrol edilmesi, kaynak esnasında doğru fikstürleme ve otomatik kaynağın yanı sıra ilave metal kullanılmaması gibi etkenler grafiklerin benzer ve hatalardan uzak olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Grafikler incelendiğinde en yüksek sertlik değerlerinin ergime sınırına bitişik ITAB'ın iri taneli bölgesinden 234,5 HV (5 numaralı numune) olarak ölçülmüştür. Kaynak metali sertliklerinin ise bu bölge sertliklerine nispeten yakın değerlerde olduğu görülmektedir (1. numune 211,2 HV, 2. Numune 202,5 HV, 3. Numune 201,2 HV, 4. numune 213,8 HV ve 5. numune 221,7 HV ölçülmüştür). Yine sertlik sonuçları ve grafiklerden nitrasyon işlemi yapılarak birleştirilen 4 numaralı deney (231,4 HV) ve 5 numaralı deney (234,5 HV) deneylerin kaynak metali ve ITAB'daki sertlik değerlerinin, nitrasyon işlemine tabi tutulmadan birleştirilen 1 numaralı

deney (218,5 HV), 2 numaralı deney (219,2 HV) ve 3 numaralı deneyden (214,3 HV) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin genelinde, kaynak bölgesi ve ITAB'daki sertlik değerleri ana metalin sertlik değerlerinden fazla çıkmış olup, ITAB'daki sertlik değerleri kaynak metalinden bir miktar daha yüksek tespit edilmiştir [20]

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklere lazer kaynağı ile birlikte nitrasyon işleminin uygulandığı bu çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Makroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm numunelerde kaynak nüfuziyetinin yeterli şekilde olduğu, kaynaklı birleştirmenin penetrasyonunun uygun olduğu anlaşılmaktadır.
- Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde; ana malzeme mikroyapılarının literatürde tanımlanan eş taneli östenitik paslanmaz çelik mikroyapısına benzediği, kaynak metalinde dendritik ve sütünsal yapının olduğu ve tanelerin kaynak merkezine doğru yönlendiği, ITAB'ın ise; lazer kaynağının karakteristik özelliği olarak dar bir bölgede olduğu görülmüştür.
- 2 numaralı numuneye ait değerler tüm numuneler içerisinde en iyi çekme testi sonuçlarını sergilediğinden optimum parametre olarak belirlenmiştir. Kaynak gücünün belirlendiği ilk 3 numunedeki çekme testi sonuçları birbiriyle mukayese edildiğinde en yüksek sonuç 2 numarada gözlemlenirken (1500 W), 1 numarada (1300 W) ortalama dayanım ve uzama değerleri sergilemiştir. Kaynak gücünün en yüksek seçildiği 3 numaralı numunede (1700 W) ise en düşük dayanım ve yüzde uzama değerleri elde edilmiştir. Optimum parametrede kaynak ve nitrasyon işlemleri gerçekleştirilen 4 ve 5 numaralı numunelerin mukavemet ve uzama değerleri 2 numaraya yakın değerler gösterse de en yüksek sonuçlar (Maksimum Çekme Dayanımı: 653,72 MPa, Akma Dayanımı: 352,94 MPa ve Uzama: % 50,62) 2 numaralı numunede gözlenmiştir. Önce kaynak, sonra nitrasyon işlemi uygulanan 4 numaralı numunede 2 numaralı deneye çok yakın mukavemet ve uzama değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durum kaynak işlemi sonrasında uygulanan nitrasyon işleminin dayanım ve uzama değerlerinde belirleyici bir etkiye sahip olmadığını ortaya koymaktadır.
- Çekme testleri sonucunda, tüm kopmaların ITAB bölgesinde meydana geldiği görülmüştür.
- Kep ve kök tarafına gerçekleştirilen eğme testleri sonucunda numunelerde kaynak bölgesinde çatlama, yırtılma, kırılma, kopma vb. olumsuzluk

teşkil eden herhangi bir durumun bulunmadığı, kaynak bölgelerinin numunelerin sünekliğine tesir edecek herhangi bir olumsuzluk içermediği, ana malzemeye benzer süneklik özelliği sergilediği anlaşılmıştır.

- En yüksek sertlik değerlerinin ergime sınırına bitişik ITAB'ın iri taneli bölgesinden 234,5 HV (5 numaralı numune) olarak ölçülmüştür.
- Kaynak metali sertliklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür (1. numune 211,2 HV, 2. Numune 202,5 HV, 3. Numune 201,2 HV, 4. numune 213,8 HV ve 5. numune 221,7 HV ölçülmüştür).
- Nitrasyon işlemi yapılarak birleştirilen 4 numaralı deney (231,4 HV) ve 5 numaralı deneyin (234,5 HV) kaynak metali ve ITAB'daki sertlik değerlerinin, nitrasyon işlemine tabi tutulmadan birleştirilen 1 numaralı deney (218,5 HV), 2 numaralı deney (219,2 HV) ve 3 numaralı deneyden (214,3 HV) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu makalenin hazırlanmasında detek sağlayan Setuay Eskişehir Lazer firmasına, Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'ne, OSB'ye bağlı MEGEM Test Laboratuvarına ve Korkmaz Çelik firmasına teşekkür ederim.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declare that the materials and methods used in their study do not require ethics committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Mehmet ÇOBAN: Deneyle yapılmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted the experiments, analyzed the results and wrote the model.

Hakan ADA: Deneyle yapılmış süreçlerini kontrol etmiş, deney sonuçlarının analiz işlemini gerçekleştirmiştir.

He controlled the process of conducting the experiments and performed the analysis of the experimental results.

Cemil ÇETİNKAYA: Deneyleri yapılma süreçlerini kontrol etmiş, deney sonuçlarının analiz işlemini gerçekleştirmiştir.

He controlled the process of conducting the experiments and performed the analysis of the experimental results.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Aran, A. & Temel. (2004) M.A. Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller, Acar Matbaacılık, İstanbul, s. 10-29.
- [2] Ekinci, C. (2011). Düşük Karbonlu Mikro Alaşımli Çeliklerin Sertlik Ve Mikroyapıları Üzerine Soğuma
- [3] Akhtar, S. S. Arif, A. F. M. & Yilbas, B. S., (2010). Evaluation of gas nitriding process with in-process variation of nitriding potential for AISI H13 tool steel, *Int J Adv Manuf Technol*, 47, 687–698.
- [4] Blackburn. (J. 2012). “Laser welding of metals for aerospace and other applications”, *Welding and Joining of Aerospace Materials*, 75-108, Philadelphia, USA.
- [5] Baruah, M. & Bag, S. (2017). Influence of pulsation in thermo-mechanical analysis on laser micro-welding of Ti6Al4V alloy. *Optics & Laser Technology*, 90(8), 40-51.
- [6] Yılmaz, R. (2017). “Östenitik paslanmaz çeliklerin lazer kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3):598-605.
- [7] Çalgül, U., Dikbaş, H. & Taşkın, M. (2010). The effects of high weldings speed on microstructure and mechanical properties of dissimilar components (AISI 430 – AISI 304) welded by CO2 laser beam welding. *New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 5(2), 160- 177. 79.
- [8] Çelen, S. (2006). Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Dayanım ve Korozyon Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [9] Kahraman, F., Kasman, Ş., Kahraman, A. D. & Tunuslu, O. (2017). Östenitik Paslanmaz Çelikler İle Takım Çeliklerinin Birbirleri ile Kaynağında Oluşan Kaynak Bölgesinin İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(1), 64–71.
- [10] Bilen, F. A. (2006). “Hardox 400-AISI 304 çelik çiftlerinin plazma transferli ark kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*.
- [11] Tokdemir, M., Ünlü, B.S., Yılmaz, S.S. & Meriç, C. (2010). Lazer kaynağı ve uygulamaları. *Makinatek*, 152: 122-128 s.
- [12] Özcan, M. (2003). Değişik malzemelerin işlenmesinde kullanılan Nd:YAG lazerleri için etkin bir güç kaynağının tasarımı ve uygulaması. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- [13] Uzun, R. O. (2010). Lazerle kaynak işleminde kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [14] Yavuz, H. & Çam, G. (2005). Lazer-ark hibrit kaynak yöntemi. *Mühendis ve Makina*, 46 (543): 14-19 s.
- [15] Kaya Y. & Kahraman N. (2011). Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin çekirdek oluşumuna etkisi. *Politeknik Dergisi*, 14(4), 263-270.
- [16] Uzun, R.O, Keleş Ö, (2012). Lazerle Kaynak İşleminde Kaynak Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 27, No 3, 509-517*.
- [17] Deveçeker, Y. & Çevik, E. (2022). 23MnB4 Kalite Çeliklerde Vakum da Gaz Giderme İşleminin Nihai Ürün Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi . *Çelik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* , 3 (1) , 6-11 .Retrievedfrom<https://dergipark.org.tr/en/pub/jesre/d/issue/72095/1124553>
- [18] Kılınçer S, Kahraman N, AISI 409 ve Ç1010 Çeliğin Östenitik Elektrot Kullanarak MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, Cilt 24, No 1, 23-31, 2009*.
- [19] Köse C. & Kaçar, R. (2015). AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin CO2 lazer ışını kaynak yöntemiyle kaynak kabiliyetinin araştırılması. *New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 7223(6), 13-27.

[20] Püskülcü, G. & Koçlular, F. (2009). Lazer kaynak yöntemi ve uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 50 (599): 8-17 s.