



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN:1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 malzemelere uygulanan yaşlandırma işleminin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi

The effect of aging treatments after TIG welding on AISI 304 stainless steel material on hardness and strength values

Yazar(lar) (Author(s)): Sidem KANER

ORCID: 0000-0002-1684-4975

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kaner S., “TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 malzemelere uygulanan yaşlandırma işleminin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(4):1491-1498,(2021).

Erişim linki(To link to this article):<http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.750036

TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen AISI 304 Malzemelere Uygulanan Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

The Effect of Aging Treatments After TIG Welding on AISI 304 Stainless Steel Material on Hardness and Strength Values

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ AISI 304 malzemenin kaynak işlemi, çözündürme ve yaşlandırma ısı işlemlerinin etkisi / The welding process of AISI 304 material, the effect of dissolution and aging heat treatments
- ❖ Yaşlandırma ısı işlemi, kaynak dikiş bölgesindeki sertlik ve uzama değerleri / Aging heat treatment, hardness and elongation in the weld seam area
- ❖ Gevrek, sünek kırılma alanları ve kriyaj düzlemleri / Brittle, ductile fracture areas and clutch planes

Grafik Özet (Graphical Abstract)

AISI 304 paslanmaz çelik malzemede TIG kaynağı ile yapılan birleştirme işleminden sonra yaşlandırmanın mukavemet ve sertlik değerlerine etkisi incelenmiştir. Yaşlandırma süresine bağlı olarak mukavemet ve sertlik değerlerindeki değişimler bekleme süreleri ve iç yapı değişimleri gözlenmiştir. / After joining with TIG welding in AISI 304 stainless steel material, the effect of aging on strength and hardness values was investigated. Depending on the aging time, changes in strength and hardness values, waiting times and internal structure changes were observed.



Şekil A. Deney sürecinin şematik gösterimi / **Figure A.** Schematic illustration of experimental process

Amaç (Aim)

AISI 304 paslanmaz çelik malzemede TIG kaynağı ile yapılan birleştirme işleminden sonra yaşlandırmanın mukavemet ve sertlik değerlerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. / It is aimed to investigate the effect of aging on strength and hardness values after joining with TIG welding in AISI 304 stainless steel material.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

TIG kaynağı ile AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kaynaklanmış ve yaşlandırma ısı işlemi sonrasında mukavemet ve sertlik değerleri incelenmiştir. / TIG welding welded AISI 304 stainless steel material and strength and hardness values were examined after aging heat treatment.

Özgünlük (Originality)

Kaynaklı imalat ile birleştirilen malzemelerde mukavemet ve sertlik değerlerinin farklı sürelerde değişimi ve bunun iç yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Benzer çalışmalara göre yaşlandırma ısı işleminin gevrek ve sünek kırılma üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Kaynak, ana malzeme ve ısı tesiri altındaki bölge sertlikleri ve yaşlandırma ısı işlemine bağlı değişimleri incelenmiştir. / The variation of strength and hardness values for different periods in materials combined with welded manufacturing and its effect on the internal structure were investigated. According to similar studies, the effects of aging heat treatment on brittle and ductile fracture were observed. The hardness of the region under the source, main material and heat effect and changes related to aging heat treatment were investigated.

Bulgular (Findings)

Yaşlandırma ısı işleminin süresine bağlı olarak mukavemet ve sertlik değerlerinde değişimler olduğu tespit edilmiştir. Gevrek kırılma alanlarında meydana gelen kriyaj düzlemleri bulunmuştur. / It has been determined that there are changes in strength and hardness values depending on the duration of the aging heat treatment. Clutch planes occurring in brittle fracture areas were found.

Sonuç (Conclusion)

Yaşlandırma ısı işleminin kaynaklanmış bölge üzerinde 320 °C sıcaklıkta 21 saate kadar olan süreçte gevrek kırılmalara neden olduğu ve sürenin uzaması ile birlikte sünek kırılmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. / It has been determined that the aging heat treatment causes brittle fractures in the process up to 21 hours at 320 °C temperature on the welded area and ductile fractures occur with the prolongation of the time.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen AISI 304 Malzemelere Uygulanan Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Sidem KANER*

Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 09.06.2020, Kabul/Accepted : 09.07.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 14.07.2020)

ÖZ

Çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin TIG kaynağı ile kaynak işlemi gerçekleştirilerek test numuneleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemeye uygulanan TIG kaynağı sonrasında 1 saat süre ile 900°C'de çözündürme yapılmıştır. Çözündürme sonrasında 320°C sıcaklıkta ve sırasıyla 3-6-9-12-15-18-21-24 ve 27 saat sürelerde uygulanan yaşlandırma işlemlerinin malzeme üzerinde meydana getirdiği sertlik ve çekme mukavemeti değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Farklı sürelerde yapılan yaşlandırma sonrasında optimum yaşlandırma süresi 21 saat olarak tespit edilmiştir. Bu süre, mukavemet değişimleri ve kaynaklı imalat ile birleştirilmiş numunede dayanımın sürekliliği hakkında bilgi vermiştir. Çalışmada mikro yapı incelemelerinde FESEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiş olup mekanik testler için çekme ve sertlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı değişiminin, malzemenin mukavemet ve birim uzama oranlarında olumlu sonuçları gözlenmiştir. Çalışma ile çözündürme ve yaşlandırma sonrasında kaynak bölgesinin çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinde (ana malzeme, kaynak bölgesi ve ITAB'ın ortalaması) olumlu sonuçlarda edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 304, kaynaklı imalat, yaşlandırma, mekanik özellikler.

The Effect of Aging Treatments After TIG Welding on AISI 304 Stainless Steel Material on Hardness and Strength Values

ABSTRACT

In the study, test samples were obtained by welding the AISI 304 stainless steel material with TIG welding. Within the scope of the study, after TIG welding applied to AISI 304 stainless steel sheet material, dissolution was made at 900 °C for 1 hour. After dissolution, changes in the hardness and tensile strength values of the aging heat treatments applied at 320 °C and 3-6-9-12-15-18-21-24 and 27 hours were investigated. After aging at different times, the optimum aging time was determined to be 21 hours. This period gave in formation about the changes in strength and the continuity of the strength in the sample combined with welded manufacturing. In the study, FESEM and EDS analyzes were carried out in microstructures, tensile and hardness tests were performed for mechanical tests. Positive results of microstructure change in strength and unit elongation rates of the material were observed. Positive results were obtained in the tensile strength and hardness values of the welding zone (average of the main material, welding zone and ITAB) after dissolution and aging with the study.

Keywords: AISI 304, welded manufacturing, aging, mechanical properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Paslanmaz çelikler, östenitik, ferritik, martenzitik çift fazlı paslanmaz çelikler ve çökelme yoluyla sertleşebilen çelikler olarak sıralanabilir. Östenitik paslanmaz çelikler, içerisinde en çok kullanım alanı bulan AISI 304 çeliğidir. 304 paslanmaz çeliği özellikle geniş bir sıcaklık aralığında yüksek dayanım ve tokluk değerleri göstermektedir. Bu çelikler 540°C'a kadar oluşabilen oksidasyona karşı dayanıklıdır [1]. Yapılarında yüksek oranda krom bulunması malzemelerin yüksek

sıcaklıktaki korozyon dayanımlarını arttırıcı etki oluşturmaktadır [2].

AISI 304 paslanmaz çeliğin sahip olduğu yüksek kaynak kabiliyeti özellikle kaynaklı imalat ile ürün elde edilen sektörlerin tercih sebebidir. Bununla beraber yüksek çekme mukavemeti ve korozyon dayanımı vardır. Ayrıca düşük ısı iletkenliğinin yanında sünek bir yapıya sahiptir. Malzemenin içyapısında bulunan alaşım elementleri açısından krom-nikel ve molibden içermesi mukavemetini arttırıcı etki oluşturmaktadır [3-4]. Östenitik çelik grubu veya 300 serisi olarak bilinen paslanmaz çelikler, paslanmaz çelik üretimi için Dünya ihtiyacının yaklaşık %60'lık kısmını karşılamaktadır.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : skaner@pau.edu.tr

Çizelge 1. AISI 304 paslanmaz çelik plaka malzemenin ASTM 240/A240M standardına göre dayanım değerleri (Strength values of AISI 304 stainless steel plate material according to ASTM 240 / A240M standard) [5]

Çekme Dayanımı (min.) (MPa)	Akma Dayanımı (min.) (MPa)	Uzama (%)	Brinell Sertlik Maks. (HBW)	Rockwell Sertlik Maks. (HRBW)
515	212	40	201	92

Çizelge 2. AISI 304 paslanmaz çelik plaka malzemenin ASTM 240/A240M standardına göre fiziksel özellikler (Physical properties of AISI 304 stainless steel plate material according to ASTM 240 / A240M standard) [5]

Yoğunluk (kg/ m ³)	Akma Modülü (GPa)	0–100°C Ortalama Termal Uzama Katsayısı (µm/m/ °C)	0–315°C Ortalama Termal Uzama Katsayısı (µm/m/ °C)	0–538°C Ortalama Termal Uzama Katsayısı (µm/m/ °C)	100°C Termal İletkenlik (W/m.K)	500°C Termal İletkenlik (W/m.K)	0–100°C Spesifik Isı (J/kg.K)
8000	193	17,2	17,8	18,4	16,2	21,5	500

Bu çelikler max. %0,15 Karbon, min. %16 Krom ve östenitik yapıyı farklı sıcaklık aralıklarında kararlı halini koruyabilmesi için yeterli miktarlarda nikel ve/veya mangan içerirler. En yaygın olarak kullanılan 300 serisi paslanmaz çelik malzeme türü 18/10 (304 kalite) paslanmaz çelik türüdür. 304 paslanmaz çelik %18 Krom ve %8 Nikel içermektedir. Çizelge 1’de AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye ait standart dayanım özellikleri, Çizelge 2’de ise standart fiziksel özellikler yer almaktadır [5]. Östenitik paslanmaz çelikler sahip oldukları yüzey merkezli kübik (YMK) kafes sistemi sayesinde şekil verilebilme kabiliyetleri oldukça başarılıdır [6]. Östenitik paslanmaz çeliklerde sahip oldukları YMK sisteminin sayesinde bir geçiş sıcaklığı olmadığı için çalışma sıcaklık aralığı geniş seçilebilir ve gevrekleşme sorunu yaşanmaz. Paslanmaz çeliklerdeki krom ve karbon oranlarına bağlı olarak kroma göre karbür yapma eğilimi daha fazla olan alaşım elementleri (niyobyum (Nb), Tantalyum (Ta), titanyum (Ti) gibi) ilavesi ile krom karbür tabaka oluşumu desteklenir [7, 8]. Endüstriyel alanda kaliteli kaynak dikişleri elde etmek için en çok kullanılan ve bilinen kaynaklı imalat yöntemleri içerisinde; örtülü elektrot ark kaynağı, gaz altı kaynak yöntemleri (TIG-MIG-MAG), tozaltı kaynağı, plazma kaynağı, vb. kaynak yöntemlerini sıralamak mümkündür [9,10]. Ancak çelik gurubunda yer alan bazı metallerin birleştirilmesinde oluşan iç gerilmelerin giderilmesi amaçlı ısıtma işlemlerinin uygulanması gerekebilmektedir. Özellikle, paslanmaz çeliklerin herhangi bir nedene bağlı olarak 425-850°C arasındaki sıcaklıklarda ısıtılıp soğutma süreçlerinde tane sınırlarında meydana gelebilecek krom karbür çökmesi malzemenin paslanmazlık özelliğini tehdit edebilir. Bu durum öncelikle tane sınırlarında mevcut olan Cr oranlarında azalmaya sebep olacaktır. Eğer yüksek sıcaklığa maruz kalan bu bölgede ısıtma işlemi uygulanmaz ise krom karbür çökmesi görüleceğinden krom miktarı azalır ve korozyon oluşumu başlar [7].

Paslanmaz çeliklerde çökelti oluşumunu sağlamak için alüminyum (Al), molibden (Mo), Ti, Nb ve bakır (Cu) elementleri ile alaşımlama yapılır [11]. Çeliğin içerisindeki alaşım elementleri çözeltiye alma tavı ile çözünürler ve yaşlandırma işlemi sırasında da çok küçük parçacıklar halinde daha homojen bir dağılımla çökerek matrisin sertlik ve mukavemetini arttırlar. Bu işlem sayesinde östenitik bir paslanmaz çelik, martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine ve östenitik paslanmaz çeliğin korozyon direncine sahip olabilmektedir. Çökelti sertleşmesi ile östenitik paslanmaz çeliğin çekme mukavemeti yaklaşık 1700 MPa’ya kadar çıkabilmektedir [12]. AISI 304 çeliğinin hangi sıcaklıklarda yaşlandırılacağına dikkat edilmelidir. Kina ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yüksek sıcaklıkta kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik borunun 650°C ve 750°C’lik sıcaklıklarda kullanımı sırasında meydana gelen korozyonun iyileşme süreci analiz edilmiştir. İlk malzeme ferrit parçaları içerdiğinden, bu fazın 750°C’de yaşlanma altında gösterdiği davranış da araştırılmıştır. Malzemelerde yaşlanma ile meydana gelen duyarlılık dereceleri elektrokimyasal testler ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, malzemenin taneler arası sınırlarında meydana gelen korozyonun 48 saat sonra 750°C’de iyileştiğini, ancak 650°C’de iyileşmediğini göstermektedir. Ferrit yapının, 200 saate kadar kararlılığını koruduğu görülmüştür. Ayrıca malzemelerdeki sertlik değerlerinin de 650°C ve 750°C’de hassasiyetle azaldığı görülmüştür [13]. Kaynak yapılan bölgede çökelti olmuş olan ferrit yapı kaynak morfolojisini önemli ölçüde etkilemektedir. ITAB’da karbür çökmesi daha yoğun ve hızlı şekilde gözlemlenebilir. Kumar ve Shahi, AISI 304 çeliğinin kaynaklı imalatı sırasında, ısının etkisiyle meydana gelen çökeltinin hızlı oluştuğunu ve bu bölgede tane irileşmesinin meydana gelerek, darbe dayanımını olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir [14].

Kaynaklı imalatta genellikle mikro ayrışma; ikincil fazların çökmesi, gözeneklerin varlığı, katılaşma çatlaması, ısıdan etkilenen bölgedeki tane büyümesi ve buharlaşma ile malzeme kaybı gibi metalurjik değişikliklere bağlı olarak düşük mekanik özelliklere yol açar [15, 16]. Yan ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada 3 mm et kalınlığındaki AISI 304 paslanmaz çelik sac malzeme üzerinde TIG kaynağı uygulaması sonrasında elde edilen mikroskobik boyuttaki analizler iç yapıda meydana gelen değişimde TIG kaynağının birleşimi ile en düşük gerilme mukavemetine, en büyük dendrit büyüklüğüne sahip olduğunu göstermiştir [17]. TIG kaynağının tercih edilme sebeplerinden biri de koruyucu gaz olarak kullanılan helyum içerikli argon gazı sayesinde kaynak metalindeki ortalama tane boyutunun, kaynak metal penetrasyon derinliğinin ve genişliğini artırılabilmesidir [18]. Bu çalışmada ise, AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye TIG kaynaklı imalat işlemi sonrası uygulanan çözündürme ve yaşlandırma ısıl işlemlerinin sertlik, çekme dayanımı ve metalurjik özelliklere etkileri incelenmiştir. Metalurjik incelemelerde FESEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik malzemelerde kaynaklama işleminden sonra uygulanan yaşlandırma ısıl işleminin optimum koşulları incelenerek, literatürde bu alandaki eksiklik giderilmeye çalışılmıştır. Çalışma ile kaynaklama işlemi sonrası mekanik özellikler iyileştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Çalışmada AISI 304 Paslanmaz Çelik sac malzemeler 3 mm et kalınlığına sahiptir. Kullanılan AISI 304 çeliğinin kimyasal analiz içeriği Çizelge 3'de yer almaktadır. Sac malzemelerin kaynak işlemi için TIG kaynağı ile birleştirme yöntemi tercih edilmiştir. Kaynaklama işlemleri 70 Amper akım ile saf argon gazı altında (9-10 l/dk.), TELWIN marka TIG kaynak makinası ile gerçekleştirilmiştir. Birleştirmelerde elektrot kullanılmamıştır. Kaynaklı imalat işlemleri sonrasında yüzeyde yapılan kontrollerde çarpılma, deformasyon ve hata ile karşılaşılmamıştır. İstenilen şartlar ve koşullar sağlanmıştır.

AISI 304 paslanmaz çelik malzeme için 3 mm et kalınlığında 120*150 mm boyutlarında sac numunelere kaynaklı imalat yapılmıştır (Şekil 2). Numunelerin kaynaklı imalatı yapıldıktan sonra ASTM 370 standardında belirtilen dayanım testlerine ve EN ISO 6892-1 standardındaki çekme deneyi ölçü değerlerine göre CNC Makas ile kesilerek 30*120mm ölçülerine getirilmiştir [19, 20].



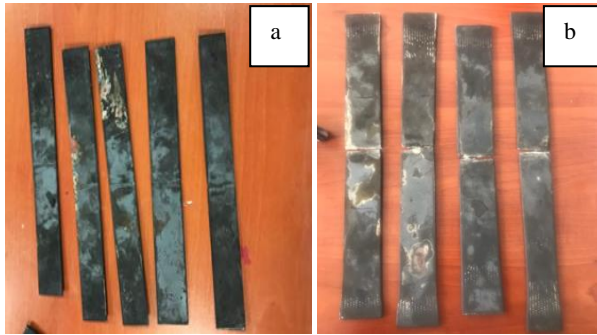
Şekil 2. TIG kaynağı ile birleştirilmiş AISI 304 paslanmaz çelik sac numune (AISI 304 stainless steel sheet sample combined with TIG welding)

Kullanılan sac malzemeler ile 10 adet standart çekme deney numunesi elde edilmiştir. Sac malzemelere herhangi bir işlem uygulanmadan yapılan sertlik ölçümlerinde elde edilen sertlikleri ortalama ≈ 173 HB olarak ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri ana malzeme üzerinden, kaynak dikiş bölgesinden ve ITAB bölgesinden alınmıştır. Her bölgeden alınan 3 farklı ölçümün ortalamaları dikkate alınarak, kaynaklı imalat bölgesi ve ITAB bölgesinin tane yapısındaki değişime yaşlandırma işlemi ile birlikte etkisi incelenmiştir. Tüm numunelerin sertlik ölçümleri yaşlandırma işleminden önce ve yaşlandırma işleminden sonra Rockwell A' ya göre yapılmıştır. Rockwell A'dan Brinell sertlik değerlerine dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sertlik değerleri için HRA'dan HB'ye yapılan dönüşümler çekme deneyinde elde edilen Rm değerlerine göre Rm (MPa) $\approx 3,3 \times \text{HB}$ formülü ile dönüşüm sağlanarak da kontrolleri sağlanmıştır [21]. Ürün üzerine uygulanan kaynaklı imalatın kaynak bölgesinde meydana getirdiği düşünülen iç gerilmeli bölgenin oluşturacağı gevrekliğin giderilmesi ve malzemede çökmenin sağlayacağı yapının kararlı hale gelmesi için çökme sertleşmesi uygulanmıştır. Çözündürme işlemi 1 saat süre ile 900°C sıcaklıkta yapılmıştır. Sıcaklık Fe-C diyagramı dikkate alınarak çökmenin optimum seviyede olacağı sıcaklık ve süre dikkate alınarak belirlenmiştir [21]. 1 saatlik çözündürme sonrası su verme ile soğutulan numunelerin sertlik ölçümleri tekrar yapılmıştır. Böylece çökme sertleşmesinin meydana getirdiği sertlik değişimi gözlemlenmiştir.

Çizelge 3. Kullanılan AISI 304 çeliğinin spektral analiz verileri (Spectral analysis data of AISI 304 steel used)

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
İçerik (%)	0,03	0,54	1,80	0,023	0,014	19	7	Kalan

Mevcut numuneler iki gruba ayrılarak sertliğin sabitleneceği sürenin tespit edilebilmesi için ilk gruptaki numuneler 320°C sıcaklıkta 3-6-9-12-15-18-21-24 ve 27 saat olacak şekilde yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Her 3 saatlik süreçte sertlik ölçümleri alınmıştır. Sertlik ölçümleri Pamukkale Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Matsuzawamarka Rockwell sertlik ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 21 saatlik süreç tespiti yapıldıktan sonra 2. grup numuneler 320°C sıcaklıkta 21 saat yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Tüm numunelerin yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlik değerleri tespit edilmiştir. Numunelerin her aşamada (işlem öncesi, çözündürme ve yaşlandırma sonrası) sertlik ölçümleri yapılmıştır. Her numune üzerinde 7 farklı bölgeden sertlik değerleri ölçülmüş ve ortalama değerleri verilmiştir. Ortalama göstergeleri için ölçeklendirmeler (scale barlar) oluşturulmuştur. Numunelerde meydana gelen mukavemet değişiminin tespiti için çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyleri Pamukkale Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Hardway marka 10 ton kapasiteli çekme deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklanmış ve çekme sonrası elde edilen numuneler Şekil 3'de yer almaktadır. Çekme sonrası kırık yüzey analizleri ve tüm numunelerin FESEM görüntüleri alınması için hassas kesme cihazında kesilmişlerdir.



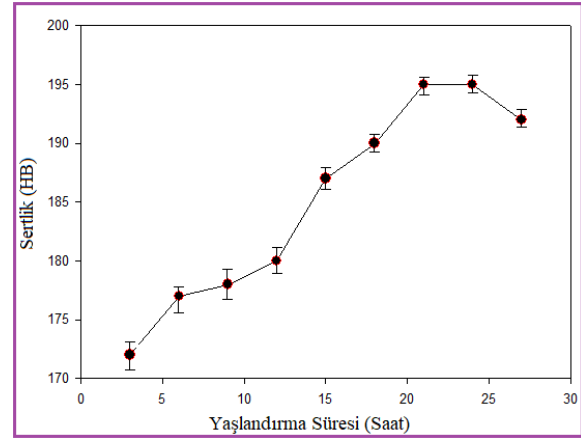
Şekil 3. a) Çökeltme sertleşmesi uygulanmış numuneler b) Çekme deneyi ile koparılmış numuneler (a) Samples with settling hardening applied, b) Tearable samples with tensile test)

DeneySEL çalışmaların tamamlanmasıyla elde edilen veriler dikkate alınarak sertlik ölçümleri, mukavemet değer tespitleri tüm numuneler için aynı şartlar altında gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Çekme deneyi sonrası elde edilen en yüksek değerlere sahip olan 21 saat ve 27 saat yaşlandırılmış numunelerden birer adet seçilmiştir. Bu şekilde optimum değerlere en yakın numuneler üzerinde incelemeler detaylı yapılmıştır. Numunelerin kırılma çatlağının oluştuğu kaynaklı birleştirme bölgelerinin incelenmesinde Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji ve Araştırma Laboratuvarlarında bulunan Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) kullanılmıştır. Ayrıca oluşan element dağılımları için FESEM üzerinde

entegre olan Element Dağılım Spektrometresi (EDS) kullanılmıştır. EDS analizlerinin sonuçlarının yorumlanmasında ağırlıkça yüzdeleri kullanılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Şekil 4'deki grafikte yaşlandırma sürelerine bağlı olarak elde edilmiş sertlik değerlerinin ortalamaları yer almaktadır. Numunelerin sertlik profilleri oluşturulmuş ve sertliğin 21 saat yaşlandırma sonrası stabil halde kaldığı ve sonrasında düştüğü gözlemlenmiştir. Bu sebeple tüm numunelerde 21 saat yaşlandırma işlemi sonrasında çekme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca 27 saat yaşlandırılmış numunelerin de çekme sonrası özelliklerinin tespiti için çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece sertlik değerlerinin optimum sertliğe ulaştığı sıcaklıkta yapılan yaşlandırma ısıl işleminin iç yapıda meydana getireceği değişiklikler ile aşırı yaşlandırma sonrası oluşan yapı arasındaki farklılıklar incelenmiştir.



Şekil 4. Yaşlandırılmış kaynaklı numunelerin ortalama sertlik ölçümleri (Average hardness measurements of aged welded samples)

Şekil 4'de 3 ile 27 saat arasında yaşlandırılmış numunelere her numune üzerinden alınmış 7 farklı ölçüm noktasının ortalama değerlerine ait sertlik grafiği mevcuttur. Şekil 4'de elde edilen verilere göre sertlik değerinin 24 saat yaşlandırma sonrasında düşmeye başladığı görülmektedir. 21 saatlik yaşlandırma süresinde optimum değerlere yakın sertlik elde edilmiştir. Sertlikleri dikkate alarak yapılan çekme deneyi ile de elde edilen dayanım değerlerinin sertliklerle orantılı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Çizelge 4 ve 5'de verilen değerlere göre 21 saat yaşlandırma işlemi sonrasında elde edilen en yüksek mukavemet ve sertlik değeri tüm numunelerde tespit edilmiştir. 27 saat yaşlandırma sonrasında ise en yüksek birim uzama değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen mukavemet değerleri birbirlerine yakın olsalar da çekme deneyi sırasında meydana gelen uzama miktarlarında 21 saat yaşlandırılmış numunelere göre 27 saat yaşlandırılmış numunelerde yaklaşık 2 kat fazla uzama görülmüştür.

Numuneler üzerinde yapılan sertlik ölçümlerine göre tespit edilen sertlik değerleri, deney sonuçlarından elde edilen çekme dayanımı değerleri ile kontrol edilmiştir. Şekil 4'deki sertlik değerleri kontrol edildiğinde, Çizelge 4 ve 5'teki çekme dayanımı ile elde edilen değerlere ile orantılı sonuçlar vermiştir [21]. Çizelge 4'de çözündürme ve sonrasında 320°C'de 21 saat yaşlandırma ısı işlemi uygulanmış numunelerin mukavemet değerleri yer almaktadır. Çizelge 5'de ise, çözündürme ve sonrasında 320°C'de 27 saat yaşlandırılmış numunelerin mukavemet değerleri yer almaktadır. Çizelge 4 ve Çizelge 5'de verilen değerler yorumlandığında özellikle yaşlandırma süresinin artmasıyla mukavemet değerlerinde yaklaşık değerler elde edilirken, malzemenin sertliğinde belli oranlarda azalmalar meydana gelmiştir. Çekme deneyi sırasında meydana gelen birim uzama oranları ise yaşlandırma süresine bağlı olarak önemli ölçüde artış gözlenmiştir. Yaşlandırma süresinin artırılmasıyla birlikte birimuzama miktarları artmış dolayısıyla malzemenin göstermiş olduğu sünek yapı, yaşlandırma süresinin artması ile birlikte artış göstermiştir. Yaşlandırma sonrası daha küresel tane formları oluşmaya başladığı için bu durum kendisini birim uzama değerlerinin artması ile göstermektedir. Birim uzamadaki artış deney sonrası elde edilen L_u değerlerine bağlı olarak da görülmektedir. (Çizelge 4-Çizelge 5)

Çizelge 4. 320 °C'de 21saat yaşlandırılmış numunelerin mukavemet değerleri (Strength values of samples aged 21 hours at 320 ° C)

Yaşlandırılmış Numune	Rm (MPa)	Re (Mpa)	Lu (mm)	Ortalama Sertlik (HB)
1	635	342	18	192
2	662	362	20	199
3	643	350	20	194
4	655	358	22	196
5	632	338	16	190

Çizelge 5. 320 °C'de 27saat yaşlandırılmış numunelerin mukavemet değerleri (Strength values of samples aged 27 hours at 320 ° C)

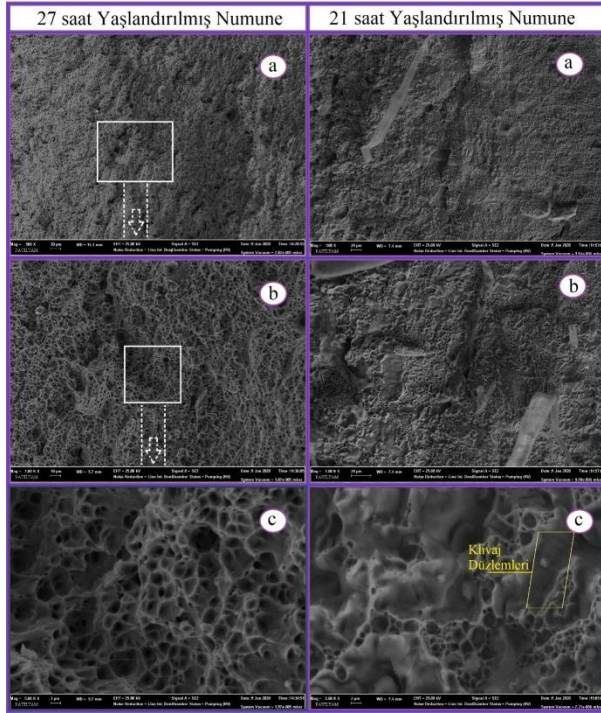
Yaşlandırılmış Numune	Rm (MPa)	Re (Mpa)	Lu (mm)	Ortalama Sertlik (HB)
1	651	355	36	197
2	632	336	32	191
3	630	354	31	190
4	634	340	34	192
5	641	349	30	194

Çalışma kapsamında 21 saatlik yaşlandırma ile en yüksek dayanım değerini veren 2. numune ve 27 saat yaşlandırma sonucu en yüksek dayanım değeri elde edilen 1. numunenin uzama miktarlarında meydana gelen değişim incelenmiştir. Bundan dolayı numunelerin kopma bölgelerinde bulunan iç yapılarında meydana gelen tane yapısı değişiminin tespit edilmesi için FESEM

görüntüleri alınmıştır. Şekil 5'de 21 saat ve 27 saat yaşlandırılmış numunelerin FESEM görüntüleri yer almaktadır. 21 ve 27 saat yaşlandırılmış numunelerin görüntüleri sırasıyla 5a, 5b, 5c olarak belirtilmiş ve 500, 1000, 5000 kat büyütülerek alınmıştır. FESEM görüntüleri incelendiğinde, 27 saat yaşlandırılmış numuneden alınan iç yapı görüntüsünde, kaynaklı dikizi bölgesinde meydana gelen tane sınırlarındaki keskin yapısının ortadan kalktığı tespit edilebilmiştir. Keskinliğini kaybetmiş östenitik yapı daha sünek ve yuvarlak formda çukurcuk yapıları oluşturan tane yapısı göstermektedir. Bu yapı benzer şekilde AISI304 paslanmaz çeliklerinde gerçekleştirilen çekme deney sonrası SEM görüntülerinde uzama ile birlikte meydana gelen görüntüler ile benzerlik göstermektedir [22]. Ayrıca 3 mm kalınlığında TIG kaynaklı AISI 304 için benzer yapılar ve buradaki gibi nispeten küçük boyutlu çukurlar az miktarda yırtılma sırtının varlığının yanında kaba çukurları çevreler şekilde olması yapılan deneysel verileri destekler niteliktedir [23]. Tane yapısındaki bu durum malzemede süneklik artışı başladığını ve uzama oranında buna bağlı artış olduğunu göstermektedir. Çekme deney sonuçlarına göre numunelerde meydana gelen uzama miktarında yaşlandırma süresinin artmasıyla beraber bir artış olduğu Çizelge 4 ve Çizelge 5 'de görülmektedir. Bu aşamada malzemede sünekliğin artışıyla beraber sertlikte bir azalma başlamıştır. Bu durum tane yapısındaki değişimle de açıklanabilmektedir. Malzemenin sahip olduğu YMK kafes sistemi her sıcaklıkta şekillendirilmesine imkân sağlamaktadır. Tavlanma süresinde tanelerin yavaş büyümesi kararlı fakat sünek bir yapının oluşmasına sebep olmaktadır [24]. Böylece uygulanan yaşlandırma ısı işlem süresinin oluşması muhtemel tane yapısını doğrudan etkileyebileceği, çekme testi sonucu yapıda küçük gözenekli, büyük gözenekli, ikincil çatlakların ve yırtılma sırtları gibi kopma mekanizmalarının oluştuğu görülebilmektedir [25]. Çalışmada 21 saat yaşlandırılan numunede (Şekil 5.c) kırılma sonrası klivaj düzlemlerine ait görüntüler elde edilmiştir. Kırılma düzleminin görüntüsü kırılmanın gevrek olduğunu da göstermektedir. 27 saat yaşlandırılmış numuneden alınan görüntülerde ise (Şekil 5.c) kırılma alanlarının daha sünek yapısı ve dolayısıyla klivaj düzleminin oluşmadığı görülmektedir. Yapılan diğer çalışmalarda SEM görüntüleri incelendiğinde, gevrek kırılma sonrasında klivaj düzlemlerinin oluşumunun kırık yüzey görüntüsünün bir sonucu olduğunu destekler niteliktedir. Klivaj düzleminin genel olarak bir gevrek kırılma sonrası görülebildiği de belirtilmektedir [26]. Bu durum 21 saat yaşlandırma ısı işlemi uygulanmış numunede gözlenmiştir. 27 saat yaşlandırma ısı işlemi uygulanmış numunede daha küresel yapı görüntüsü sünek kırılmayı gösterir niteliktedir.

FESEM görüntüleri içerisinde 21 saat yaşlandırılmış numunede oluşan kırılmanın 27 saat yaşlandırılmış numuneye göre daha keskin bir kırılma gösterdiği gözlemlenebilir. Bu durum 21 saat yaşlandırılmış (Şekil

5.c) FESEM görüntüsünde gözlenebilen klivaj düzlemi ile de desteklenmektedir.

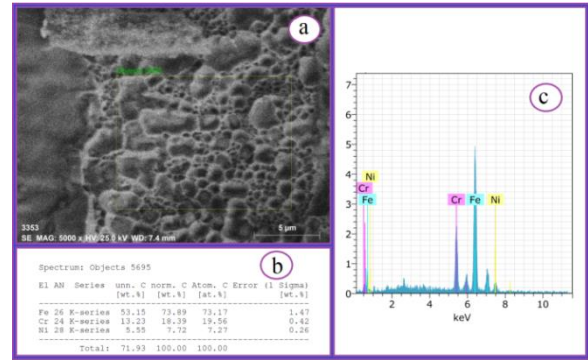


Şekil 5. 27 saat ve 21 saat yaşlandırılmış numunelerin FESEM görüntüleri (FESEM images of samples aged 27 hours and 21 hours)

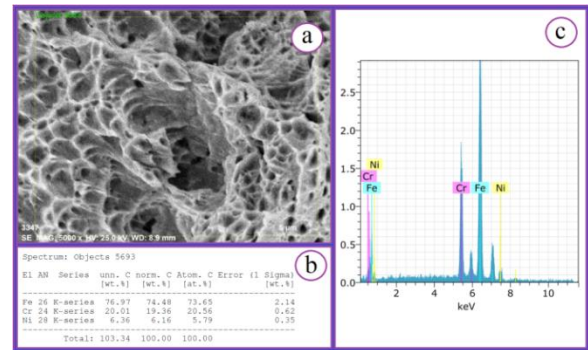
Çizelge 4 ve Çizelge 5'deki uzama oranlarında oluşan fark bu durumu daha net göstermektedir. 27 saat yaşlandırılmış numunelerde sünek kırılma olurken 21 saat yaşlandırılmış numunelerde daha keskin yani gevrek kırılma bölgeleri görülmektedir. Bu durum elde edilen sertlik değerlerine göre kıyaslandığında gevrek kırılmanın 21 saat yaşlandırılmış numunelerde daha yüksek olan sertliğe bağlı olarak da gerçekleştiğini belirtmektedir. Erken yaşlanma aşamalarında sünek kırılma mekanizması baskındır. Yaşlandırma süresinin artmasıyla tanelerarasında kırılmalar olduğu ve gevrekliğin azaldığı buna bağlı olarak sünekliliğin arttığı bilinmektedir [27].

Numunelerde çekme sonrası kırık yüzeylerde meydana gelen element dağılım değişikliklerinin tespiti için EDS analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 6 ve Şekil 7). Çekme deneyi sonrasında görüntü alınan numunelerin kaynaklı dikiş bölgelerinde meydana gelen kırılma alanlarının iç yapı görüntüleri incelenmiştir. Şekil 6'da 21 saat ve Şekil 7'de ise 27 Saat yaşlandırılmış numunelerin a) FESEM Görüntüsü b) EDS verileri c) Yapıdaki elementlerin pik şiddetleri yer almaktadır. Daha önce benzer çalışmalarda, yapıdaki element dağılım oranlarında meydana gelen değişikliklerin tespiti amaçlı AISI 304 paslanmaz çeliklerinde EDS analizleri gerçekleştirilerek, karakteristik özellikler belirlenmiştir [28]. EDS'den alınan değerlere göre kaynaklanmış ve yaşlandırma işlemi uygulanan malzemelerin kimyasal kompozisyonlarının aynı olduğu görülmektedir. Şekil

6.b'deki EDS sonuçları incelendiğinde, yapıda ağırlıkça % 18,39 Cr, % 7,72 Ni ve geri kalan yapının da Fe olduğu, Şekil 6.c'de ise pik şiddetlerinde de yalnızca Fe, Ni ve Cr elementlerine ait şiddetler yer almaktadır. Şekil 7.a'da küçük çukur yapılar etrafında büyük çukurların olduğu görülmektedir. Bu çukur formları ise oluşması istenen ve AISI 304 paslanmaz çeliklerinin genel karakteristik özelliklerine ait olup çekme esnasında sahip oldukları süneklilik sayesinde oluşturdukları çukurcuk oluşumların göstergesidir [29, 30]. Oluşan bu form yapısının östenit yapının oluşturduğu mikro gözeneklerden kaynaklandığı bilinmekte olup, bu yapı ise mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir [31]. Malzemenin genel yapısında yer alan alaşım elementlerinden Cr ve Ni içeriklerinde farklılık olmayışı istenilen paslanmazlık özelliğinin korunduğunu gösterir niteliktedir. EDS analizlerinde S gibi impuriteles tespit edilememiş olması, işlem sırasında oluşması muhtemel mavi kırılmalık etkisinin oluşmadığını gösterir niteliktedir [32]. Çalışmada Cr ve Ni oranlarındadeğişiklik meydana gelmemesi, krom karbür çökmesinin oluşmadığını ve yapıda uygulanan ısı işlem süreçlerinin başarısını gösterir niteliktedir.



Şekil 6. 21 Saat yaşlandırılmış numunenin a) FESEM görüntüsü b) EDS verileri c)Yapıdaki elementlerin pik şiddetleri (21 hour aged sample a) FESEM image b) EDS data c) Peak intensities of the elements in the structure)



Şekil 7. 27 Saat yaşlandırılmış numunenin a) FESEM görüntüsü b) EDS verileri c)Yapıdaki elementlerin pik şiddetleri (27 hour aged sample a) FESEM image b) EDS data c) Peak intensities of the elements in the structure)

4. SONUÇ ve ÖNERİLER (CONCLUSION and SUGGESTIONS)

Çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye uygulanan çözündürme ve çökelme sertleşmesi ısıl işlemlerinin mekanik ve metalografik özelliklere etkileri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Sonuç olarak, elde edilen veriler ile TIG kaynağı ile birleştirilmiş 3 mm kalınlığındaki AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin kaynak işleminden sonra çözündürme ve yaşlandırma ısıl işlemlerinin etkisiyle kaynak bölgesinde meydana gelen mukavemet ve sertlik değerlerini artırıcı etki oluşturduğu gözlemlenmiştir.
- Kaynaklı imalat sonrasında yapılan yaşlandırma ısıl işleminin kaynak dikiş bölgesindeki sertlikte oluşan azalmaya bağlı birim uzama miktarlarının arttığı görülmüştür.
- Kaynaklı imalat sırasında elde edilen dikiş bölgesinin yaşlandırmanın etkisiyle belli oranda dayanım düşüşü yaşamasının sıcaklığa bağlı olarak malzemede meydana gelen süneklik artışından olduğu da çalışma sonrasında elde edilen verilere göre ulaşılabilen bir sonuçtur.
- Çekme deneyi sonrası kırılmış bölgelerden alınan FESEM görüntüleri ile yapıda yaşlandırma ısıl işleminin optimum sürede uygulanması ile küçük gözenekli, büyük gözenekli, ikincil çatlakların ve yırtılma sırtlarının oluştuğu görülmüştür. 27 saat yaşlandırma sonrası ise, daha küresel tane formlarını oluşmaya başladığı gözlenmiştir. Bu durum da kendisini birim uzama değerlerinin artması ile göstermiştir. Uygulanan ısıl işlemler ile kullanılan AISI 304 çeliğinin spektral analiz verilerinin, EDS analizleri sonrasında da tutarlılık gösterdiği görülmüştür. Bu sonuç uygulanan ısıl işlemlerin parametrelerinin uygunluğunu gösterir niteliktedir.
- Yaşlandırma uygulanmış numunelere yapılan çekme deneyinde kopmaya bağlı kırılmaların çoğunlukla kaynaklı dikiş bölgesinde olduğu görülmüştür. Bu durumda kaynaklı imalat ile birleştirilen bölgede yaşlandırmanın etkisi ile malzemeden beklenen yeterli mukavemeti gösteremediği de görülmüştür. Özellikle yaşlandırma süresinin artışı malzemede sünek kırılmaya bağlı olarak istenilen mukavemet değerlerinde azalmalar oluştuğu gözlenmiştir.
- EDS analizlerinde P ve S gibi elementlerin tespit edilememiş olması, işlem sırasında oluşması muhtemel mavi kırılmalık etkisinin oluşmadığını gösterir niteliktedir.
- Çalışma kapsamında yaşlandırmanın etkisiyle çekme dayanım değerlerinin ve sertlik

değerlerinin çok ciddi bir değişim göstermemesi AISI 304 paslanmaz çeliğin yaşlandırma etkisine maruz kalabileceği kullanım alanlarında belli bir süre dayanım göstermeye devam edebileceği ve mukavemet değerleri açısından olumlu sonuçlar oluşturabileceği de söylenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmalarda katkılarından dolayı YERLİSAN Firması Kaynaklı İmalat Departmanı ve çalışanlarına teşekkürlerimi iletmek isterim.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Sidem KANER: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazılımını gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Odabaş C., "Paslanmaz Çelikler", *Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, (2004).
- [2] Kahraman N., Gülenç B. ve Akça H., "Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17; 2, (2002).
- [3] "Modern Metal Cutting-A Practical Handbook", *Sandvik Coromant Co. Inc.*, Sweden, (1997).
- [4] Tekaslan Ö., Gerger N., ve Şeker U., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması", *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10.2: 3-12, (2008).
- [5] ASTM A240/A240M-19.2, "Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications", (2019).
- [6] Özçelik Ö., "Alümina Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretim Ve Karakterizasyonu", *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- [7] Yüksel M., Meran C., "Malzeme Bilgisi", *MMO Yayın evi*, Yayın No: MMO/545/3, Ankara, 569 s., (2018).
- [8] Aran A. ve Temel M.A., "Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller", *Sartaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, 165 s., (2003).
- [9] Ada, H., Aksöz, S., Fındık, T., Çetinkaya, C., Gülsün, M., "Tozaltı Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Petrol ve

- Doğalgaz Borularının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 19(3): 275-282, (2016).
- [10] Ada H., Aksöz S., Fındık T., Çetinkaya C., Bostan B., Candan İ., “API 5L X65 Çeliklerinin MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde, Kaynak İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(ÖS1): ÖS1-ÖS9, (2016).
- [11] Osmanoğlu, T. “AISI 304 ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri”, *Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2012).
- [12] Baylan, O. “Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen ÖstenitikMartenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikroyapı ile Özellikler Arasında İlişkinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, (2004).
- [13] Kina A.Y., Souza V.M., Tavares S.S.M., Parda J.M., & Souza J.A., “Micro structure and inter granular corrosion resistance evaluation of AISI 304 steel for high temperature service”, *Materials Characterization*, 59(5): 651-655, (2008).
- [14] Kumar S., Shahi A.S., “Studies on metallurgical and impact toughness behavior of variably sensitized weld metal and heat affected zone of AISI 304L welds”, *Materials & Design*, 89: 399-412, (2016).
- [15] Lee H.T., Jeng S.L., “Characteristics of dissimilar welding of alloy 690 to 304L stainless steel”, *Science and Technology of welding and joining*, 6(4): 225-234, (2001).
- [16] Aval H. J., Farzadi A., Serajzadeh S., Kokabi A. H., “Theoretical and experimental study of micro structures and weld pool geometry during GTAW of 304 stainless steel”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42 (11-12): 1043-1051, (2009).
- [17] Yan J., Gao, M., Zeng X., “Study on micro structure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser TIG hybrid welding”, *Optics and Lasers in Engineering*, 48(4): 512-517, (2010).
- [18] Lu S., Fujii H., Nogi K. “Arc ignitability, bead protection and weld shape variations for He–Ar–O₂ shielded GTA welding on SUS304 stainless steel”, *Journal of materials processing technology*, 209(3): 1231-1239, (2009).
- [19] ASTM A370V, “Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products”, (2019).
- [20] BS EN ISO 6892-1, “Metallic Materials Tensile Testing Method of test at room temperature”, (2016).
- [21] Yüksel M., Meran C., “Malzeme Bilgisi”, *MMO Yayınevi*, Yayın No: MMO/545/3, Ankara, 569s: 235-236, (2018).
- [22] Subodh K., Shahi A.S., “Effect of heat in put on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints”, *Materials and Design*, 32: 3617–3623, (2011).
- [23] Yan Jun, Gao Ming, Zeng Xiaoyan, “Study on micro structure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser-TIG hybrid welding”, *Optics and Lasers in Engineering*, 48:512–7, (2010).
- [24] Aran A., Temel M.A., “Paslanmaz Çelik Yassı Mamüller, Üretimi, Kullanımı Standartları”, *Sarıtaş Teknik Yayın*, Yayın No: 1, 113s: 22-26, (2004).
- [25] Qi M., Kang Y., Xu Y., Wulabieke Z., Li J., “A novel rheological high pressure die-casting process for preparing large thin-walled Al–Si–Fe–Mg–Sr alloy with high heat conductivity, high plasticity and medium strength”, *Materials Science & Engineering*; A 776, 139040, (2020).
- [26] Tsuboi, M., Shibata, A., Terada, D., Tsuji, N., “Crystallographic characterization of Cleavage plane in low-carbon martensitic steel”, *Materials Today: Proceedings 2*:S655-S658, (2015).
- [27] Weng, K.L., Chen H .R., and Yang J.R., “The low-temperature aging embrittlement in a 2205 duplex stainless steel”, *Materials Science and Engineering*, A 379.1-2: 119-132, (2004).
- [28] Arivazhagan N., Singh S., Prakash S., Reddy G.M., “Investigation on AISI 304 austenitic stainless steel to AISI 4140 low alloy steel dissimilar joints by gas tungsten arc, electron beam and friction welding”, *Materials and Design*, 32,3036–3050, (2011).
- [29] Das A., Tarafder S., “Experimental investigation on martensitic transformation and fracture morphologies of austenitic stainless steel”, *International Journal of Plasticity*, 25; 2222–2247, (2009).
- [30] Lu J.Z., Zhong J.S., Luo K.Y., Zhang L., Qi H., Luo M., Xu X.J., Zhou J.Z., “Strain rate correspondence of fracture surface features and tensile properties in AISI 304 stainless steel under different LSP impact time”, *Surface & Coatings Technology*, 221 88–93, (2013).
- [31] Das A., Sivaprasad S., Chakraborti P. C., Tarafder S., “Correspondence of fracture surface features with mechanical properties in 304LN stainless steel”, *Materials Science and Engineering*, A,496: 1–2, 25, Pages 98-105, (2008).
- [32] Yüksel M., Meran C., “Malzeme Bilgisi”, *MMO Yayınevi*, Yayın No: MMO/545/3, Ankara, 569: 279-289, (2018).