

PORTATİF TIG KAYNAK FİKSTÜRÜ İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI 304L ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Halil ULUPINAR^{1*}, Murathan KALENDER², Yahya BOZKURT³

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-1517-026X>

² Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-2526-4630>

³ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1816-5922>

Anahtar Kelimeler	Öz
TIG Kaynağı Fikstür Tasarım İmalat AISI 304L	<i>TIG kaynak yöntemi genellikle paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılmaktadır. Düşük ısı girdisi sebebiyle ince sacların kaynağında tercih edilmektedir. TIG torcunun kaynak yapılacak yüzeyden sapmaması, kaynak yapılacak numunelerin stabil olması ve ark kararlılığı kaynak kalitesi için önemli etkenlerdir. Bu nedenle fikstür kullanımı TIG kaynak çalışmaları için önemli bir ekipmandır. Bu çalışmada, çok değişkenli portatif ve sabit bir fikstür tasarlanmıştır. Birleştirilecek numunelerin sabitlemesi, titreşim problemini en aza indirmeye ve ısı girdisi bazı problemler için çözüm önerisi bulunmaktadır. Önerilen fikstür en az iki eksenli makineler için uyarlanabilir bir tasarıma sahiptir. Farklı uzunluk ve genişlikteki levha ve kesitler bu teknik ile distorsiyona maruz kalmadan kolayca birleştirilebilmektedir. Bununla birlikte yöntemde ısı girdisini azaltmak için bakır altlık ve alüminyum soğutucu profil kullanılmıştır. Tasarımı yapılan fikstür ile yarı-otomatik şekilde kaynak işlemi yapılan 304L östenitik paslanmaz çelikler, manuel kaynaklı paslanmaz çelikler ile kıyaslanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.</i>

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AISI 304L AUSTENITIC STAINLESS STEELS JOINED BY PORTABLE TIG WELDING FIXTURE

Keywords	Abstract
TIG welding Fixture Design Prodection AISI 304L	<i>TIG welding method is generally used for welding stainless steel and aluminum alloys. It is preferred for the welding of thin sheets due to its low heat input. The fact that the TIG torch does not deviate from the surface to be welded and the arc stability are extremely important factors for welding quality. For this reason, the use of fixtures is an important equipment for TIG welding work. In this study, a multivariable portable and fixed fixture is designed. There are suggestions for fixing the samples to be combined, minimizing the vibration problem and solutions based on heat input. The designed fixture has an adaptable for at least two-axis machines. Sheets of different lengths and widths can be easily welded with this technique without being exposed to distortion. However, copper planch and aluminum cooling fin are used in the method to reduce heat input. Semi-automatically welded 304L austenitic stainless steel sheet materials were compared with manually welded stainless steels and the results were evaluated.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başyuru Tarihi : 11.06.2020	Submission Date : 11.06.2020
Kabul Tarihi : 01.11.2020	Accepted Date : 01.11.2020

* Sorumlu yazar; e-posta : halilulupinar@outlook.com

1. Giriş

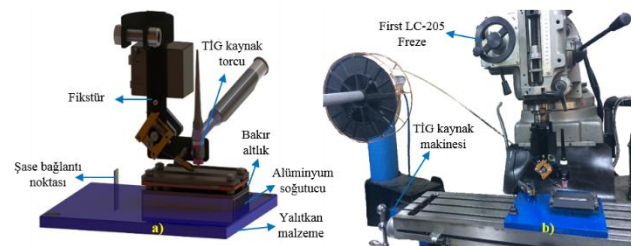
TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi kaynak kalitesi olarak diğer kaynak yöntemlerine göre daha estetik ve temiz bir dikiş görüntüsü sunmaktadır. TIG kaynak yöntemi ile demir dışı metallerin kaynağında nüfuziyetli bir birleştirme oluşturulduğu gibi paslanmaz çeliklerin kaynağında da son derece kaliteli ve pürüzsüz bir kaynak dikişi sağlanmaktadır. Bu kaynak yönteminde ergimeyen elektrot olarak adlandırılan tungsten elektrot kullanılmaktadır ve esas metal ile elektrot ucunda oluşan ark sayesinde kaynak yöntemi gerçekleştirilmektedir. Bu ark bölgesi soy gazlar veya alaşım gazlar ile ortamdaki istenmeyen gazlardan korunmaktadır. TIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre birçok avantajı olduğu gibi bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Özellikle ilerleme hızının diğer yöntemlerine göre yavaş olması toplam verimi düşürdüğü için bu kaynak yönteminin seri üretimde kullanılabilirliği kısıtlanmıştır. Bununla beraber kalın kesitli malzemelerde tek pasoda geçişin yetersiz nüfuziyet oluşturması bu yöntemin daha çok ince parçaların kaynaklı birleştirmelerinde kullanılmasına neden olmuştur (Modenesi, Apolinário ve Pereira, 2000; Gürcan, 1987). Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi TIG kaynak yönteminde de malzemenin cinsine en uygun kaynak parametreleri belirlenmeli ve kaynak işlemi esnasında bu parametrelere uyulması gerekmektedir. TIG kaynak işlemi esnasında uygulanan çeşitli parametreler kaynak dikişinin geometrik yapısının kalitesinde önemli olduğu gibi kaynak metalinin mikroyapı ve mekanik özelliklerini de önemli ölçüde etkilemektedir. İlerleme yönü ve hızı, torç tutuş açısı, kaynak amperi, koruyucu gaz cinsi, ark mesafesi, kaynak gerilimi ve birleştirme dizaynı gibi çeşitli parametrelerin TIG kaynak banyosunun geometrik görüntüsünde önemli ölçüde fark yarattığı bilinmektedir. Özellikle ilerleme hızı ve kaynak akımı bu parametrelerden en önemlileri olup kaynak genişliğini, nüfuziyet derinliğini, ısı girdisi miktarını direkt olarak etkilemektedir (Eşme, 2006; Kim, Son, Kim, Kim ve Kim, 2003). Bu yöntem ile ince kesitli parçalar distorsiyona maruz kalmadan düşük ısı girdisi ile optimum nüfuziyet sağlanarak birleştirilmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar da birçok araştırmacı farklı kaynak yöntemleri, birleştirme dizaynları ve parametreler kullanarak kaynaklı birleştirme işlemini gerçekleştirmiştir. Seçilen parametrelerin kaynak metalinde oluşturduğu nüfuziyet derinliği ve esas metaldeki distorsiyon miktarı incelenmiştir (Murugan ve Gurnaj, 2005). Bileşiminde aynı kimyasal kompozisyonları barındıran paslanmaz çeliklerin kaynağında ilerleme hızı, tutuş açısı, kaynak akımı gibi parametrelerde oluşan çok az farklılıklar bile kaynak banyosundaki sıvı akış düzenini önemli ölçüde etkilemektedir (Aidun ve Martin, 1997). Bu çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çelikler otomotiv ve otomotiv yan sanayisinde, gıda endüstrisinde, kimya ve

petrokimya tesislerinde kullanıldığı gibi birçok endüstride sıklıkla tercih edilmektedir. Bu paslanmaz çelik türlerinin derin çekme ve şekil verilebilme kabiliyetinin yüksek olmasıyla beraber, sahip oldukları yüksek korozyon direnci ve mekanik özellikleri nedeniyle depolama tankları, pompa sistemleri, basınç tankları ve gemi endüstrisi gibi birçok farklı alanda kullanım alanı bulmaktadır (Smith, 2000; Odabaş, 2007).

Bu çalışmada, manuel olarak gerçekleştirilen kaynak işlemlerindeki stabil olmayan ilerleme hızı, torç tutuş açısı, ark mesafesi vb. sorunlara çözüm önerisi sunulmaktadır. Endüstriyel alanda uygulama alanı geniş olan AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı, tasarımını ve üretimini gerçekleştirdiğimiz fiktür ile birleştirilerek optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi hem akademik hem de endüstriyel uygulamalar açısından faydalı olacaktır. Eşit ebatlarda kesilerek hazırlanan AISI 304L tipi östenitik paslanmaz çelik numuneler; tasarlanan portatif fiktürde ilerleme hızı, ark mesafesi gibi değişkenler sabit tutulmuş olup yarı-otomatik ve manuel olarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. İki farklı yöntem ile birleştirilen numunelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir.

2. Yöntem

TIG kaynağındaki çeşitli parametrelerin sabitlenmesi amacıyla deneysel çalışmalarda kullanılan fiktür çok değişkenli, portatif ve sabit bir dizayna sahiptir. Bu fiktür tasarımı; ilerleme tertibatı olan en az iki eksenli makineler için uyarlanabilir bir dizayna sahiptir. Bu çalışmada portatif fiktür; x-ekseninde 30-825 mm/min. hızlarında ilerleme tertibatı olan bir freze tezgahına adapte edilmiştir. Fiktürde ısı girdisini optimum seviyede tutmak için alüminyum soğutucu profil ve bakır altıklar kullanılmıştır. Kaynak sonrası optimum soğuma hızı oluşturması hedeflenen bakır altığın form ölçüleri 8 mm genişlikte ve 0.3 mm derinlikte tasarlanarak imal edilmiştir. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılan portatif fiktür Şekil 1' de gösterilmiştir. Şekil 1a' da portatif fiktürün katı model tasarımı ve Şekil 1b' de fiktürün imalat sonrası frezeyle bağlanmış hali gösterilmektedir.



Şekil 1. Kaynaklı Birleştirme İşlemlerinde Kullanılan Portatif Fiktür a) Fiktür Tasarımı b) Frezeyle Bağlanmış Hali

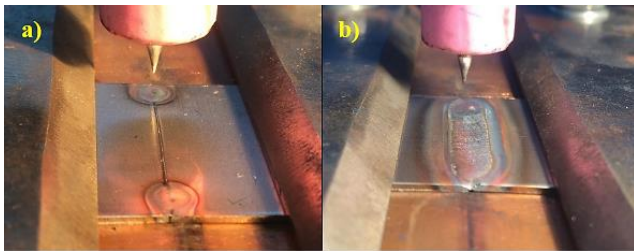
Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

1 mm kalınlığında AISI 304L tipi östenitik paslanmaz çelik levhalar TIG kaynak yöntemi ile ilave metal kullanılmadan argon gazı altında düz kutuplama ile birleştirilmiştir. Portatif TIG kaynak fiğstürünün freze entegre edilmesiyle yarı-otomatik şekilde ve sabit ilerleme hızı, torç açısı, ark mesafesi şartlarında birleştirme işlemine tabi tutulan numunelere A1, A2, A3 kodları verilmiştir. Manuel olarak TIG kaynağı birleştirme işlemine tutulan numunelerde ise bakır altlık ile alüminyum soğutucu kullanılmış ve M1, M2, M3 kodları ile işaretlenmişlerdir. Her iki yöntemde de akım değeri, gaz debisi ve malzeme ebatları gibi değişkenler sabit tutulmuştur. Kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilen levhalardan numuneler alınarak birleştirmelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan AISI 304L östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1
Çalışmada Kullanılan Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kimyasal Kompozisyonu

Malzeme	Kimyasal Analiz Değerleri (% Ağırlık)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
AISI 304L	0,0208	0,418	1,461	0,0316	0,0024	18,167
	Ni	Cu	Mo	Co	N	Fe
	8,054	0,183	0,095	0,210	0,0396	Kalan

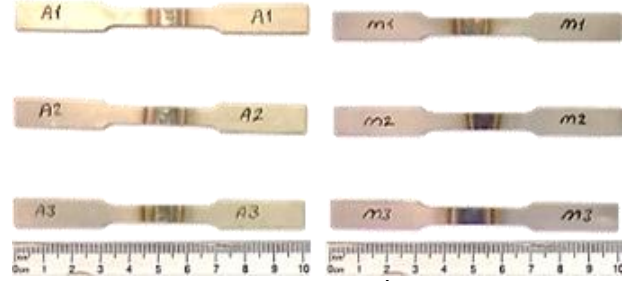
Kaynaklı birleştirme işlemleri gerçekleştirilecek olan levhalar 60x30x1 mm ebatlarında kesilmiş ve numune yüzeyleri temizlenerek puntalama işlemine tabi tutulmuşlardır. Kaynak işlemleri, Magmaweld Monotig 160ip tipi kaynak makinesi ile 3 mm ark boyu, 90° torç açısı, 218 mm/min. kaynak hızı, Ø2.4 mm tungsten elektrod, 13 lt/min. saf argon gaz koruması, 80 amper akım şiddeti altında sağdan sola doğru ve PA (küt alın) pozisyonunda gerçekleştirilmiştir. Kaynak esnasında kaynak torcu otomatik ilerleme tertibatı ile sabit hızda ilerletilmiştir. Bütün birleştirme işlemleri Şekil 2’ de gösterildiği gibi tek pasoda yapılarak oda sıcaklığı şartlarında soğumaya bırakılmıştır. Şekil 2a’ da levhaların puntalanması, Şekil 2b’ de kaynak edilmiş levhalar gösterilmektedir.



Şekil 2. Portatif Fikstüre Monte Edilmiş Levhalar a) Puntalanmış b) Kaynak Edilmiş Levhalar

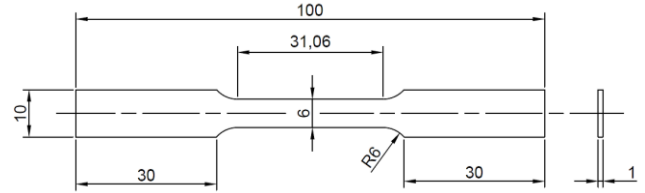
Kaynak işlemi tamamlanmış levhaların kaynak bölgesinin ısıdan etkilenmesini önlemek amacıyla

çekme numuneleri tel erezyon makinesi ile kesilmiştir. Tel erezyon makinasıyla işlenen çekme numuneleri Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3. Tel Erezyon Makinesi ile İşlenen Çekme Numuneleri

Çekme numuneleri Şekil 4’ de gösterilen ASTM E8/E8M-08 standartında belirtilen ölçülerde kesilerek 5 mm/min. çekme hızında DEVOTRANS marka, D.V.T. model ve 50 kN kapasiteli çekme testi cihazında oda sıcaklığı altında çekme testine tabi tutulmuşlardır (ASTM Int., 2009).



Şekil 4. ASTM E8/E8M-08 Standart Ölçüleri (ASTM Int., 2009)

Çekme numunelerinin çıkarılması işleminden sonra levhada kalan kaynaklı bölge, hassas kesme makinesi kullanılarak mikroyapı incelemesinde kullanılmak üzere alınmıştır. Kesme işlemi sırasında kaynaklı bölgenin ısıdan etkilenmemesi amacıyla sürekli bor yağı tatbiki ile soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çıkarılan numuneler mikroyapı kontrolü için sıcak bakalitleme yöntemi ile kesit alanına dik olacak şekilde bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler 220-2500 mesh silisyum karbür su zımparası ile zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Kademeli olarak zımparalama işlemine tabi tutulan numuneler 0,25 µm’lik Al₂O₃ pasta ile kaba ve ince çuhalarda sırasıyla parlatılmış ve dağlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Dağlama reaktifi olarak 3ml HCl, 2ml HNO₃, 2ml asetik asit ve 0,5 ml gliserin kullanılmıştır. Bakalitin kaynaklı yüzeyi 60-70 saniye süresince hazırlanan çözeltide bekletilmiştir. Optik mikroskop için hazır hale getirilen numuneler HAYNES-25 marka optik mikroskop kullanılarak mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Mikroyapı görüntüleri alınan numunelere; FUTURE-TECH marka, FM-310e model cihazda elmas uç kullanılarak HV_{0.3} = 300 gf yük ile kaynak bölgesinin farklı noktalarından 10

saniye boyunca yük uygulanarak mikrosertlik değerleri belirlenmiştir. Bu yöntem ve metotlar kullanılarak gerçekleştirilen yarı-otomatik ve manuel kaynaklı malzemelerin makroyapı, mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

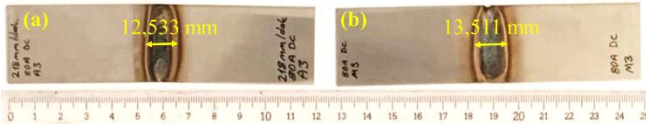
3. Sonuçlar ve Tartışmalar

3.1. Makroyapı Analizi

Şekil 5' de portatif TIG kaynak fikstüründe yarı-otomatik olarak birleştirilen ve manuel olarak birleştirilen A1 ve M1 kaynaklı numunelerinin ısı dağılımları gösterilmektedir. Şekil 5a' da gösterilen ve portatif fikstür kullanılarak birleştirilen A1 numunesinde daha stabil bir kaynak yüzey geometrilili ısı dağılımı elde edilmiştir. Kaynaklı bölgedeki ısı dağılımı çizgileri incelendiğinde yarı-otomatik olarak birleştirilen numunelerin ısı dağılımı genişliği 12.533 mm olarak ölçülmüştür. 12.32 mm genişliğinde ısı dağılımı genişliği olan A1 numunesinde daha az çarpılma sorunu meydana gelmiştir. Şekil 5b' de gösterilen ve manuel olarak birleştirilen M1 numunesinde ise ısı dağılımı genişliği 13.511 mm ölçülmüştür. Manuel kaynaklı birleştirmelerdeki ısı girdisi miktarının tamamen kaynakçının el hareketine ve ilerleme hızına bağlı olarak değişebildiği gözlemlenmiştir. Uygulanan kaynak hızı arttıkça kaynak metali ve ısı dağılımı genişliğinin azaldığı bilinmektedir (Uzun ve Keleş, 2012). Kaynaklı birleştirme üzerindeki ısı dağılımı genişliğinin ölçülebilmesi için ısı iletim denkleminin bulunması gerekmektedir (Çetin, Kuşçu, Atay ve Çetin, 2017). Kaynaklı birleştirme işlemine tabi tutulacak malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değiştiği en genel eşitlik Denklem (1)' de gösterilmektedir.

$$\rho(T)C_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \Delta \cdot [k(T)\Delta T] + g(r, t) \quad (1)$$

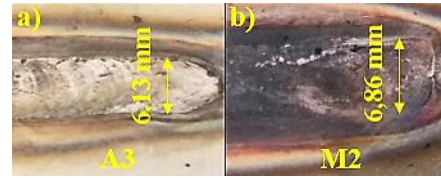
Burada ρ malzemenin yoğunluğunu, C_p malzemenin özgül ısı sıgısını, k malzemenin ısı iletkenlik katsayısını, r pozisyon vektörünü, g de birim hacimdeki ısı kaynağını ifade etmektedir (Çetin ve diğ., 2017).



Şekil 5. Kaynaklı Levhaların Isı Dağılımı Genişlikleri a) Yarı-Otomatik Kaynaklı (A1 Numuneleri) b) Manuel Kaynaklı (M1 Numuneleri)

Portatif TIG kaynak fikstürü ile kaynak işlemi yapılan A3 numunesinin kaynak genişliği 6.13 mm olarak ölçülürken manuel olarak birleştirilen M2 numunesinin kaynak genişliği 6.86 mm olarak ölçülmüştür. Manuel olarak yapılan kaynaklarda ısı girdisinin artmasıyla

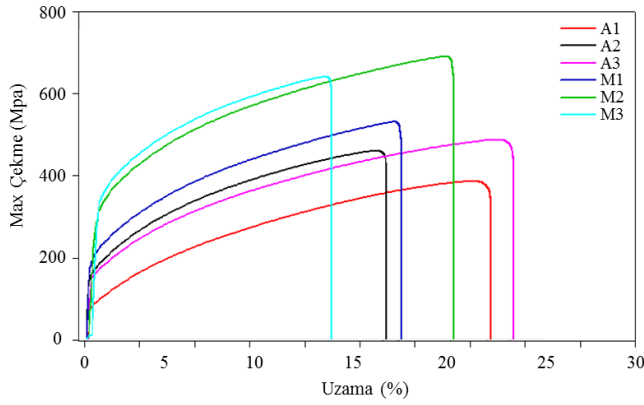
akışkan halde bulunan sıvı ergiyeğin aşırı nüfuziyet ve operatörün el hareketlerinin düzensiz olmasından dolayı yanma olukları, krater boşlukları, çarpılma gibi sorunlar meydana gelmiştir. Şekil 6'da gösterildiği gibi çıplak gözle dahi ayırt edilebilen bir yüzey geometrisi farkı oluşmuştur. Sabit ilerleme hızı ve ark mesafesi ile gerçekleştirilen kaynak dikişlerinde lineer bir çizgide düz dikiş gözlemlenirken, manuel olarak gerçekleşen kaynak dikişlerinde girintili çıkıntılı bir yüzey ve çizgi gözlemlenmiştir. Sabit ilerleyen TIG kaynak torcu ile gerçekleştirilen kaynakların ısı girdisinin daha düşük olduğunu ve bununla birlikte birim alana yayılan kaynak dikiş genişliğinin azaldığı bilinmektedir (Çevik ve Özer, 2016) Yarı-otomatik olarak birleştirilen kaynak dikişi Şekil 6a'da ve manuel olarak birleştirilen kaynak dikişi ise Şekil 6b'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Kaynak Dikiş Görüntüleri a) Yarı-Otomatik b) Manuel

3.2. Çekme Testi Sonuçları

Kaynaklı numunelere uygulanan çekme deneyleri sonucunda kopma, numunelerin tümünde ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) gerçekleşmiştir. Kopmanın gerçekleştiği ITAB bölgesi kaynak işlemleri esnasında 900 °C gibi yüksek sıcaklıklara ulaştıktan sonra ani soğumaya maruz kalmaktadır. Genellikle ısıdan etkilenen bölge olarak adlandırılan bu bölge kaynaklı birleştirmelerin en kritik bölgesidir ve kırılmalar daha çok bu bölgede meydana gelmektedir (Ertürk, Durukan ve Şentürk, 2017). Westin (2010) ITAB bölgesinin kaynak işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve hızlı soğuma sonucunda oluşan bölgedeki δ -ferrit tane iriliği, δ -ferrit tane sınırları içerisinde oluşması muhtemel olan ve ferrit/östenit dengesi göz önüne alındığında, kaynaklı birleştirmelerin süneklik değerleri üzerinde olumsuz etkilerinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum göz önüne alındığında çekme testine tabi tutulan numuneler sünekliğin az olduğu ITAB bölgesinden kopma davranışı göstermiştir. Yarı-otomatik ve manuel olarak kaynaklı birleştirme işlemleri gerçekleştirilen çekme numunelerinin grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.



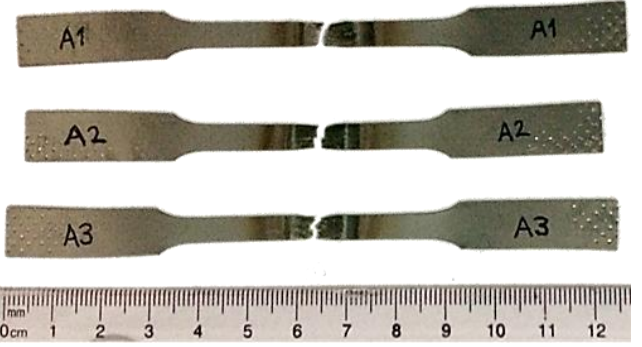
Şekil 7. Yarı-Otomatik ve Manuel Olarak Birleştirilmiş Numunelerin Çekme Grafiği

Çekme testinin sayısal sonuçları Tablo 2' de gösterilmektedir. En yüksek çekme mukavemeti manuel olarak birleştirilen M2 numunesinde gerçekleşirken (690 MPa), en yüksek % uzama değeri ise A3 numunesinde yarı-otomatik olarak gerçekleştirilen birleştirmede ortalama % 21.26 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2
Çekme Testi Sonuçları

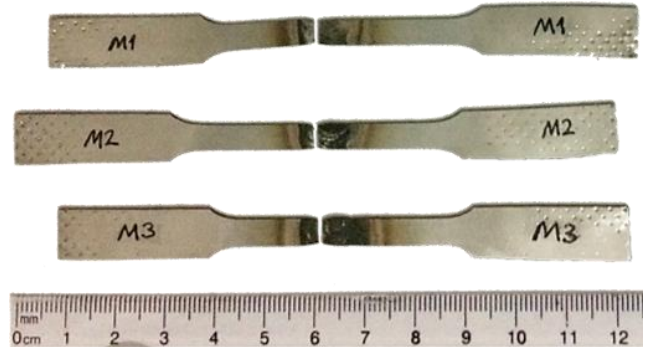
Nu mu ne	Çekme Mukavemeti σ_c - (MPa)	Ortalama Çekme Mukavemeti σ_c - (MPa)	% Uzama	Ortala ma % Uzama	Maksi mum Kuvvet F - (N)
A1	385	443	22.76	21.26	2310
A2	459		16.98		2755
A3	486		24.05		2915
M1	530	620	17.47	17.31	3180
M2	690		20.59		4140
M3	640		13.87		3840

Kesit daralması, kopma uzaması, boyun verme gibi oluşumların gözlemlendiği yarı-otomatik olarak birleştirilen A1, A2, A3 numunelerinde genellikle sünek yapılarda oluşan kopma yüzeyinde çentik oluşumu ve açılı kopma davranışı göstermiştir (Yıldızlı, 2011; Xie, Guan, Yu, Zhu ve Lin, 2018; Kabir ve İslam, 2014). Yarı-otomatik olarak birleştirilen numuneler manuel olarak birleştirilen M1, M2, M3 numunelerine oranla ortalama %3.95 daha fazla süneklik göstermiştir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemelerde büzülmenin oluşmadığı bilinmektedir (Mamat, Hamzah, Ibrahim, Majid ve Bahador, 2015). Yarı-otomatik olarak birleştirilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Yarı-Otomatik Olarak Birleştirilen Numunelerin Çekme Testi Sonrası Görüntüleri

Manuel olarak kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunelerin kırılma şekilleri incelendiğinde ise gevrek kopma davranışı sergilediği anlaşılmıştır. Manuel olarak birleştirilen numunelerde yarı-otomatik olarak birleştirilen numunelere oranla % 28.5 daha yüksek çekme mukavemeti gözlemlenmiştir. Ancak % uzama değerleri göz önüne alındığında ise sabit hız, ark mesafesi ve torç açısı ile birleştirilen kaynaklara oranla daha düşük % uzama dayanımı olduğu saptanmıştır. Bu durum mikroyapı testlerinde daha detaylı incelenmiştir. Manuel olarak kaynaklı birleştirmesi gerçekleştirilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri Şekil 9'da gösterilmektedir.

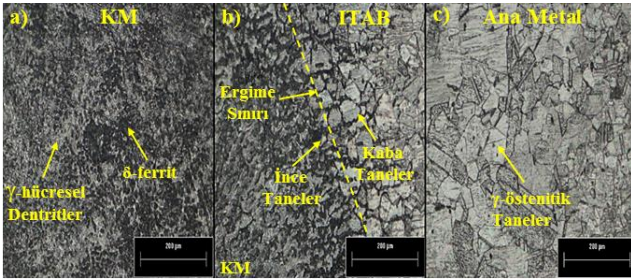


Şekil 9. Manuel Olarak Birleştirilen Numunelerin Çekme Testi Sonrası Görüntüleri

3.3. Mikroyapı Sonuçları

Numuneye olan ısı girdisinin ve kaynak sonrası soğutma hızının malzemenin mikroyapısı üzerinde önemli değişikliklere neden olduğu bilinmektedir (Kou, 2003). Yarı-otomatik olarak birleştirilen ve en yüksek % uzama değerinin sağlandığı A3 numunesinin mikroyapı görüntüleri Şekil 10'da sırasıyla kaynak merkezi (KM), ITAB ve ana metal olarak belirgin şekilde gösterilmektedir. Şekil 10a' da KM mikroyapıları incelendiğinde γ -hücrel taneleri δ -ferrit tanelerine göre yaklaşık % 90 daha yoğun şekilde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yapıdaki δ -ferrit oluşumu γ -östenitik paslanmaz çeliğin yapısında bulunan krom elementine zarar vererek çeliğin genel yapısını bozduğu bilinmektedir (Rizvi ve Tewari, 2017). Eryürek ve

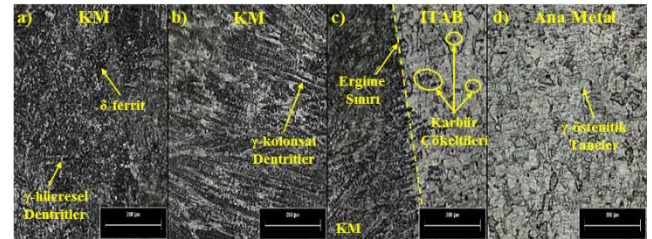
Odabaş (2006) yapıda bulunan γ -östenit tanelerin çevresini δ -ferrit tanelerinin kaplamaması için δ -ferrit miktarının belirli bir oranı (% 3-4) geçmemesi gerektiği ve çeliğin % uzama değerlerinin azalmaması için %12 miktarını aşmaması gerektiği belirtmektedir. ITAB' dan ana metale doğru ilerledikçe eşeksenli tanelerin ince taneliden, kaba taneliye dönüştüğü Şekil 10b'de gözlemlenmiştir. Bu tane yapıları arasındaki geçişler, KM' de gözlemlenen hücrel dentritlerin etkisine oranla daha sünek bir bölge sunmakta ve ITAB'da sertlik değerinin düşük olmasına neden olmaktadır. Tane boyutunun ince taneliden kaba taneliye, hücrelerden kolonsala dönüşmesinin sebebi soğuma hızı farkıdır. Stabil ilerleyen bir kaynak ergiğinde soğuma dıştan içe doğru gerçekleşmektedir. A3 numunesinin ITAB bölgesi incelendiğinde bu geçiş net olarak gözlemlenmektedir. ITAB bölgesinin ana metal kısmında bulunan kaba taneler, kaynak havuzunun merkezine doğru gidildikçe ince taneli hücrel dentrit şeklindeki yapı yoğun olarak gözlemlenmiştir. Yarı-otomatik bir sistemde yapılan TIG kaynaklı numunelerde daha dengeli ısı girdisi sağlanarak mikroyapıdaki inceden kabaya doğru ilerleyen bu tanelerin belirgin olarak gözlemlendiğini belirtmişlerdir (Dökme, Kulekci ve Esme, 2018). Şekil 10c'de numunenin ana metal bölgesi incelendiğinde eşeksenli dikdörtgensel şeklindeki γ -östenitik taneler net olarak gözlemlenmiştir. Shankar, Gills, Mannan ve Sundaresan, (2003) ana metalde beyaz renkte görülen bu eşeksenli dikdörtgensellerin γ -östenit fazı ve tane sınırlarından meydana geldiğini östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında katılma çatlaması üzerine yapmış oldukları bir çalışmada belirtmişlerdir.



Şekil 10. A3 Numunesinin Mikroyapı Görüntüleri a) Hücrel Dentrit Yapı b) İnce ve Kaba Taneler c) Östenitik Taneler

Manuel olarak birleştirilen ve en yüksek çekme mukavemetinin sağlandığı M2 numunesinin mikroyapı görüntüleri Şekil 11' de gösterilmektedir. Şekil 11a' da KM'de δ -ferrit fazındaki artış dikkat çekmektedir. Lippold (2015) δ -ferrit fazının metalin yüksek sıcaklıklara çıktıktan sonra hızlı soğuma durumunda meydana geldiğini ve karbür çökeltmelerine neden olarak düşük tokluk ve korozyon direncine sebep olduğunu bildirmişlerdir. δ -ferrit fazının ana metalde taneler arasında veya kaynak metalinde bulunması çeliğin uzama ve büzülme mukavemetini düşürmektedir (Kaluç ve Tülbentçi, 1998). ITAB bölgesine yakın

konumda bulunan KM, kolonsal tane yapısı sergilerken KM' ye yakın olan bölgede ise ısı girdisinin karmaşıklığından dolayı hücrel dentritler meydana gelmektedir (Savage, Lundin ve Aronson, 1965). Manuel olarak yapılan kaynaklardaki ilerleme hızının sabit hızda ilerleyen TIG torcuna göre daha yavaş olması sebebiyle kaynak bölgesindeki ısı girdisi miktarı artmış ve katılma süresi uzamıştır. Şekil 11b'de ergime bölgesinden hemen sonra, tane sınırlarından tane içlerine doğru olan kısımlarda, omurga şeklinde γ -kolonsal dentrit kolları görülmektedir. Bu dentrit kollarının kaynak metalinin merkezine kadar uzandığı gözlemlenmiştir. Şekil 11c'deki ITAB bölgesini incelediğimizde A3 numunesine kıyasla kaba taneden ince taneye geçiş belirgin olarak gözlemlenmemiştir. Bu durumun sebebi; sabit hızda lineer olarak ilerleyen kaynak hızına kıyasla manuel kaynak ilerleme hızının daha düşük olması ve dolayısıyla malzemeye olan ısı girdisi miktarının artmasıdır. ITAB bölgesindeki tane sınırlarında meydana gelen yapıların karbür çökeltileri olduğu düşünülmektedir. Kaynak işlemi esnasında 427-871°C sıcaklıklara kadar çıkan ITAB bölgesinde taneler arası korozyonu hızlandıran bu karbürlerin, çözeltideki bir miktar krom elementinin tane sınırlarına doğru yer değiştirerek kaynak metali çevresinin korozyona karşı dayanımını azalttığı bilinmektedir (Odabaş, 2007). Ayrıca, ergime sınırının KM tarafındaki tanelerin KM'deki tanelerle benzer görünümde oldukları, ancak ergime sınırındaki soğuma farkından dolayı tane yönelmelerinin düzensiz olduğu tespit edilmiştir. Şekil 11d'de ise ana metaldeki östenitik taneler net olarak görülmektedir.

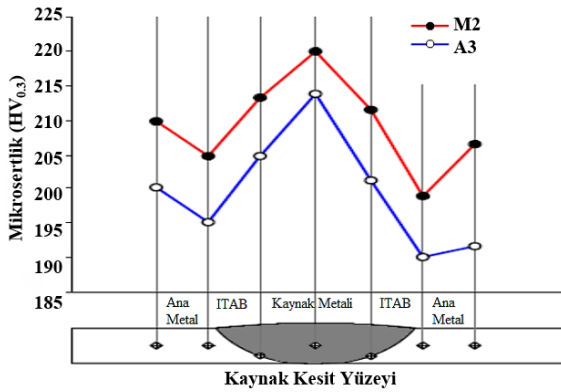


Şekil 11. M2 Numunesinin Mikroyapı Görüntüleri a) Hücrel Dentritler b) Kolonsal Dentritler c) Geçiş Bölgesi d) Östenitik Taneler

3.4. Mikrosertlik Sonuçları

Mikroyapı ve çekme testi sonuçları incelenen A3 ve M2 numunelerine ait mikrosertlik değerleri Şekil 12'de şematik olarak gösterilmektedir. Yarı-otomatik olarak birleştirilen A3 numunesinin KM'deki mikrosertlik değeri 213 HV olarak gözlemlenirken, manuel olarak birleştirilen M2 numunesinin KM'deki sertlik değeri 220 HV olarak ölçülmüştür. M2 numunesinin KM sertliği A3 numunesine oranla %3 daha sert olduğu görülmektedir. KM' den alınan mikrosertlik değerlerinin ana metalden ve ITAB bölgesinden daha sert olduğu görülmektedir. Kölük (2000) benzer durumdan bahsetmektedir. KM'deki sertliğin diğer bölgelere göre daha yüksek

olmasının sebebi kaynak esnasında ergiyik havuzunun sürekli ısıl değişimlere maruz kalarak katılaşması olarak belirtilmektedir (Ogundimu, Akinlabi ve Erinoso, (2019). KM' deki mikrosertlik değerleri arasındaki bu fark numunelerin mikroyapı görüntülerinde de gösterildiği üzere ince ve kaba tane boyutları arasındaki farktan ve δ -ferrit fazının yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Çekme deneylerinde gevrek kırılma davranışının, mikroyapı testlerinde ise kolonsal dentritlerin ve δ -ferrit fazının daha yoğun olarak gözlemlendiği M2 numunesinin kaynak metalindeki ve ITAB' daki mikrosertlik değerinin A3 numunesine oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sünek kırılma davranışı gösteren A3 numunesinin mikrosertlik değerlerinin ise M2 numunesi temel alındığında genel olarak daha düşük sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 12. M2 Ve A3 Numunelerinin Kaynak Kesit Bölgesinden Alınan Mikrosertlik Değerleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada en az iki eksenli sistemlere entegre edilebilir TIG kaynak fişstürü ile yarı-otomatik ve manuel olarak kaynaklı birleştirme işlemleri sağlanan 304L östenitik paslanmaz çeliklerin makro analizi, çekme testi, mikroyapı görüntüleri ve mikrosertlik değerleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Manuel olarak yapılan TIG kaynağı işlemlerinin kalitesi büyük oranda kaynak operatörünün el becerisine, kaynak bilgisine ve tecrübesine bağlı olarak değişmektedir. Yarı-otomatik olarak yapılan kaynaklarda pürüzsüz bir yüzey görüntüsü elde edilirken manuel olarak birleştirilen numunelerin yüzeyinde yanma olukları, krater boşlukları ve çarpılma sorunları meydana gelmiştir.
- Makroyapı analizi sonuçlarında ısı girdisindeki artışın ITAB genişliğiyle doğru orantılı olduğu görülmüştür. Manuel olarak birleştirilen numunelerde ısı girdisi miktarlarında yarı-otomatik olarak birleştirilen numunelere oranla artış gözlemlenmiştir.

- Yüksek ısı girdisinin olduğu manuel olarak birleştirilen numunelerde sert yapıdaki δ -ferrit fazında artış gözlemlenmiş ve gevrekleşme sonucu çekme mukavemeti artarken süneklik eğilimi azalmış ve KM' den kopmalar meydana gelmiştir.
- Yarı-otomatik olarak birleştirilen numunelerin kaynak metal bölgesinde γ -hücrel dentritlerin oranında artış gözlemlenirken kopma ITAB bölgesinden gerçekleşmiş ve sünek kopma davranışı sergilenmiştir.
- Sertlik ölçümleri sonucunda manuel olarak birleştirilen numunelerin kaynak metal, ITAB ve ana metal bölgelerindeki sertlik değerleri yarı-otomatik olarak birleştirilen numunelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değeri δ -ferrit fazının en yoğun görüldüğü KM bölgesinden ölçülmüştür.
- Kaynak dikişinin genel yapısı üzerinde tesir eden faktörlerden olan sabit ilerleme hızı, torç açısı ve ark mesafesi mikroyapıda ve mekanik özelliklerde önemli farklılıklar meydana getirmiştir.

Teşekkür

FEN-C-YLP-150218-0059 numaralı proje kapsamında verdiği finansal destekten ötürü Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (BAPKO) sonsuz şükranlarımızı sunarız. Mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelenmesinde desteklerinden dolayı B. Kalaycı'ya teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Halil Ulupınar bilimsel yayın araştırması, yöntem belirlenmesi, makalenin oluşturulması, uygulanması, sonuçların analiz edilmesi ve makale sonuçlarının hazırlanması; Murathan Kalender, bilimsel yayın araştırması, yöntem belirlenmesi, uygulanması, sonuçların analiz edilmesi; Yahya Bozkurt, bilimsel yayın araştırması, yöntem belirlenmesi, makalenin oluşturulması, uygulanması, sonuçların analiz edilmesi ve makale sonuçlarının hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Aidun, D.K. & Martin, S.A. (1997). Effect of sulfur and oxygen on weld penetration of high-purity austenitic stainless steels, *JMEPEG*, 6 (1), 496-502. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-997-0121-1>

- ASTM Int. (2009). *Standard test methods for tension testing of metallic materials 1*, Astm, no. C, pp. 1-27. Doi: <https://bit.ly/30NgGSo>
- Çetin, B., Kuşçu, Y.F. Atay, A. ve Çetin, B. (2017). Isı kaynağı içeren ısı iletimi problemleri için alternatif yaklaşımlar, *ULIBTK'17 21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Çorum. Erişim adresi: <https://bit.ly/2UDyrje>
- Çevik, B. ve Özer, A. (2016). Investigation of metallurgical properties of welded region of pipes by orbital TIG and manual TIG welding, *International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'16)*, 2-4. Erişim adresi: <https://bit.ly/37mcZEC>
- Dökme, F. Kulekci, M.K. ve Esme, U. (2018). Microstructural and mechanical characterization of dissimilar metal welding of inconel 625 and AISI 316L, *Metals & MDPI*, 6-12. Doi: <https://doi.org/10.3390/met8100797>
- Ertürk, İ., Durukan, T. ve Şentürk, B. (2017). Çeliklerin kaynağında ısıdan etkilenen bölgenin mikroyapı ve özelliklerinin tahmini, *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*. Erişim adresi: <https://bit.ly/39hTvUm>
- Eryürek, B. ve Odabaş, C. (2006). Çelikler için örtülü elektrot seçimi, *Gazaltı Kaynağı, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticareti A.Ş. Yayını*, İstanbul, 109- 113.
- Eşme, U. (2006). *Effect of pool geometry on the quality of TIG welded joints* (Doktora Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Gürçan, M. 1987. TIG kaynağı, *SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü*, Ankara, (1987).
- Kabir, I.R. & Islam, M.A. (2014). Hardened case properties and tensile behaviours of TMT steel bars, *American Journal of Mechanical Engineering*, 2 (1), 8-14. Doi: <https://doi.org/10.12691/ajme-2-1-2>
- Kaluç, E. ve Tülbentçi, K. (1998). Paslanmaz çelikler ve kaynaklanabilirliği, *Seminer Notları*, Kocaeli.
- Kim, I.S., Son, J.S., Kim, I.G., Kim, J.Y. & Kim, O.S. (2003). A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO2 arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 136 (1), 139-145. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)01126-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)01126-3)
- Kou, S. (2003). Department of materials science and engineering, *Welding metallurgy*, 2, *John Wiley & Sons, University of Wisconsin*, 47-53. Erişim adresi: <https://bit.ly/3fxav9i>
- Kölük, F. (2000). *Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak yönteminin ısı tesiri altında kalan bölgeye etkisinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Lippold, J.C. (2015). *Welding metallurgy and weldability*, *John Wiley & Sons, Inc., Hoboken*, 40-45, New Jersey. Erişim adresi: <https://bit.ly/2Ynahuc>
- Mamat, M.F., Hamzah, E., Ibrahim, Z., Majid R.A. & Bahador, A. (2015). Effect of filler metals on the microstructures and mechanical properties of dissimilar low carbon steel and 316L stainless steel welded joints, *Materials Science Forum*, 819 (1), 57-62. Erişim adresi: <https://bit.ly/2YwVQUr>
- Modenesi, P.J., Apolinário, E.R. & Pereira, I.M. (2000). TIG welding with single component fluxes, *Journal of Materials Processing Technology*, 99 (1), 260-265. Erişim adresi: <https://bit.ly/30BRHBB>
- Murugan, N. & Gunaraj, V. (2005). Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes, *Journal of Materials Processing Technology*, 168 (1), 478-487. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.03.001>
- Odabaş, C. (2007). Paslanmaz çelikler, temel özellikleri, kullanım alanları, kaynak yöntemleri, *Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayını*, İstanbul, 212-213. Erişim adresi : <https://bit.ly/2Yxn7Gz>
- Ogundimu, E.O., Akinlabi, E.T. & Erinosh, M.F. (2019). Effect of welding current on mechanical properties and microstructure of TIG welding of type-304 austenite stainless steel, *International Conference on Engineering for Sustainable World*, 5-7. Doi : <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/3/032022>
- Rizvi, S.A. & Tewari, S.P. (2017). Effect of different welding parameters on the mechanical and microstructural properties of stainless steel 304H welded joints, *International Journal of Engineering*, 30 (10), 2-5. Erişim adresi: <https://bit.ly/2UAzHU3>
- Savage, W.F., Lundin, C.D. & Aronson, A.H. (1965). Weldmetal solidifications mechanics, *Welding Journal*, 175-181.
- Shankar, V., Gills, T.P.S., Mannan, S.L. & Sundaresan, S. (2003). Solidification cracking in austenitic stainless steel welds, *Sadhana*, 28 (3-4), 359-382. Erişim adresi: <https://bit.ly/3hlvNby>
- Smith, W.F. (2000). Paslanmaz çelikler, mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri, 5 (1), 1, Çeviri: M. Erdoğan, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.
- Uzun, R.O. ve Keleş, Ö. (2012). Lazerle kaynak işleminde kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (3), 509-517. Erişim adresi: <https://bit.ly/2MPpYVX>
- Westin, E. M. (2010). Microstructure and properties of welds in the lean duplex stainless steel LDX 2101, Ph.

D. Thesis, *Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden*. Erişim adresi: <https://bit.ly/2B5FTwp>

Xie, Z.D., Guan, Y.J., Yu, X.H., Zhu, L.H. & Lin, J. (2018). Effects of ultrasonic vibration on performance and microstructure of AZ31 magnesium alloy under tensile deformation, *Journal of Central South University*, 25 (1), 1545-1559. Doi:<https://doi.org/10.1007/s11771-018-3847-z>

Yıldızlı, K. (2011). Çekme/eğme deney föyü, *Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun*, 2-3. Erişim adresi: <https://bit.ly/2zw0Noi>