



Zakir Taş

Bozok University, zakir.tas@nozok.edu.tr, Yozgat-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0130
ORCID ID	
CORRESPONDING AUTHOR	Zakir Taş

TOZALTI KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ API X52 ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Mukavemet ve tokluk özellikleri açısından büyük çaplı borulara olan talep giderek yükselmektedir. Doğal gaz ve petrol boru hattı projelerinde kullanılan çeliklerin kalitesi ve mekanik dayanım değerleri gittikçe artmaktadır. Günümüzde akma değerleri düşük çelikler yerine, yüksek mukavemetli çelikler kullanılmaktadır. Termomekanik haddelenmiş mikroalaşımli çeliklerden kaynakla birleştirilerek üretilen bu borular mekanik özellikler bakımından yüksek mukavemet, düşük darbe geçiş sıcaklığı ve iyi kaynaklanabilme özellikleri ile kullanım esnasında çalışma şartlarına oldukça dayanımlı malzemeler konumuna gelmişlerdir. Bu çalışmada X52 çeliğinin kaynak öncesi ve kaynak sonrası mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırılmış, kaynak bölgesinin etüdü yapılmıştır. Kaynaklama işlemi tozaltı kaynak yöntemiyle yapılmıştır. Mekanik özellikler çekme, çentik darbe, bükme ve sertlik ölçümleri ile belirlenirken, mikroyapılar optik ve tarama elektron mikroskobunda incelenmiştir. Kaynak bölgesinin tahribatsız muayenesinde ise radyoskopik ve ultrasonik yöntemler kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaynak Dikişi, ITAB, Kaynaklanabilirlik, Tozaltı Kaynak Yöntemi, Yüksek Mukavemetli Çelikler

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF API X52 STEEL COMBINED WITH SUBMERGED ARC WELDING

ABSTRACT

In terms of strength and toughness properties, demand for large diameter pipes is increasing steadily. The quality and mechanical strength of steels used in natural gas and oil pipeline projects are increasing. Nowadays high-strength steels are used instead of steels with low yield values. These pipes, which are produced from thermo mechanical rolled micro alloyed steel by welding, have come to the position of materials, which are very resistant to working conditions in terms of mechanical properties, high strength, low impact transition temperature and good weldability. In this study, microstructure and mechanical properties of X52 steel before and after welding were investigated. The welding process was done by the submerged arc welding method. While mechanical properties were determined by tensile, notch impact, bending tests and hardness measurements, microstructures were investigated on optics and scanning electron microscopy. In the non-destructive examination of the weld zone, radiosopic and ultrasonic methods were used.

Keywords: Weld Seam, HAZ, Weldability, Submerged Arc Welding, High Strength Steels

How to Cite:

Taş, Z., (2018). Tozaltı Kaynağıyla Birleştirilmiş API X52 Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13(1):1-8, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0130.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Petrol taşımacılığı yanında doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, doğalgaz taşımacılığı da öncelikli bir sektör haline gelmiştir. Yüksek basınçlı şartlar altında uzak mesafelerden geniş çaplı borularla yapılan bu taşımacılıkta kullanılan malzemelerin gerek emniyet ve maliyeti, gerekse üretim ve montajı dikkatleri üzerinde toplamıştır. Buna istinaden yassı mamullerden üretilen kaynaklı büyük çaplı boru üretimi tüm dünyada artmıştır. Bu borulardan yüksek mukavemet ve tokluk özellikleri yanında iyi kaynaklanabilme özellikleri de aranmaktadır. Kaynaklanabilirliğin iyileştirilmesi için karbon oranının düşürülmesiyle az perlitli çelikler grubu oluşmuş; aynı zamanda tokluk kazancına ulaşılmıştır. Kayda değer bir tokluk artışı modern metalürjik önlemlerle mümkün olmuştur. Kükürt oranının düşürülmesiyle yüksek tokluğa sahip çeliklerin üretimi mümkün olabilmektedir. Termomekanik haddelenen kullanımla boru çeliklerinin özelliklerinin iyileştirilmesi imkanlarından da yararlanılmaktadır [1].

Bulunduğu coğrafi konumdan dolayı Türkiye zengin doğal enerji kaynaklarına sahip Ortadoğu, Kafkaslar, İran ve Rusya ile bu kaynaklara ihtiyaç duyan Avrupa ülkeleri arasında bir köprü konumundadır. Hattın güvenliği açısından gerek boru gövdesinde gerekse kaynak dikişinde özellikle düşük sıcaklıklarda oldukça yüksek tokluk özellikleri istenmektedir. Yüksek basınçlarda hattın dayanıklılığı sadece borunun et kalınlığına ve malzemenin yapısına değil, aynı zamanda kaynak dikişinin kalitesine de bağlıdır [2]. Boru üretiminde, kaynak yapılan bölge ile diğer bölgelerdeki mekanik özelliklerin aynı olması hedeflenmektedir [3]. Doğal gaz boru hattı projelerinde kullanılan çeliklerin kalitesi ve mekanik dayanım değerleri gittikçe artmaktadır. Günümüzde daha yüksek mukavemetli çelik teknolojileri kullanılmaktadır [4]. Kaliteli bir boru hattı kaynağı için kaynak yöntemi kadar çelik türü ve bu çeliğe uygun kaynak sarf malzemesinin de doğru seçilmesi önem taşımaktadır [5]. Bu çalışmada X52 çeliğinin kaynak öncesi ve kaynak sonrası mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırılmış, kaynak bölgesinin etüdü yapılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Stratejik ve ekonomik değeri yüksek petrol ve doğalgazın binlerce km uzaklıktaki nihai kullanıcılara ulaştırılması için büyük çaplı yüksek basınçlara dayanıklı çelik borulara gereksinim duyulmaktadır. Yüksek basınç aynı zamanda borunun yüksek mukavemete sahip olmasını gerektirmektedir. Özellikle düşük sıcaklıklarda kaynak kalitesinin, tokluk özelliğinin ve kaynak sonrası mikroyapının iyi olması önem arz etmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada, API Standartlarına göre termomekanik haddelenmiş üretilmiş 20mm kalınlığındaki API 5L PSL2 X52 ince taneli mikroalaşımli çelik malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Kaynaklama işlemi 121 cm/dk kaynak hızında, 1070 DC ve 530 AC'lik akımla otomatik tozaltı kaynak makinesinde hem içerden hem dışardan olmak üzere tek pasoda yapılmış; birleştirmede S2Mo kaynak teli ve P223 kaynak tozu kullanılmıştır.

Tablo 1. Çeliğinin kimyasal kompozisyonu
(Table 1. Chemical composition of steel)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
.101	.135	1.226	.006	.002	.019	.000
Cr	Al	Nb	V	Ti	Mo	Pb
.025	.043	.030	.009	.017	.003	.001

Kaynaklanan numuneler gözle muayene edildikten sonra radyografik ve ultrasonik testten geçirilmiştir. Ayrıca makroskobik resmi çekilmiştir (Şekil 1). Çekme deneyi için 3'er adet ana malzeme ve kaynaklı çekme numunesi alınmıştır. Deneyler 11.5mm/dk. çekme hızında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Çentik darbe deneyleri için ana malzeme, ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve kaynak dikişinden 3'er adet numune alınmış, V-çentiği açılarak hazırlanmıştır. Çelikler düşük sıcaklıklarda gevrekleşmekte ve ani darbeler karşısında dayanımları düşmektedir. Kullanım şartlarına yakın olması için deneyler -20°C'de gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri ana malzeme, ITAB ve kaynak metalini kapsayacak şekilde yapılmıştır. Ölçümler HV5 cinsinden 49N yük uygulanarak yapılmıştır. 3 adet kep (içbükey, face bend) ve 3 adet kök (dışbükey, root bend) olmak üzere bükme numuneleri hazırlanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında 20mm/dk. bükme hızında gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı resimleri için alınan numuneler ise 320, 500, 800 ve 1200'lük zımparalarla zımparalandıktan sonra 1µm'lik pastayla parlatılmış ve %3'lük Nitelle dağlanmıştır. Numunelerin mikroyapı görüntüleri optik mikroskopla 400x büyütmeyle çekilmiştir. Kaynak bölgesi ise tarama elektron mikroskopunda incelenmiştir.



Şekil 1. Makroskobik resim
(Figure 1. Macroscopic image)



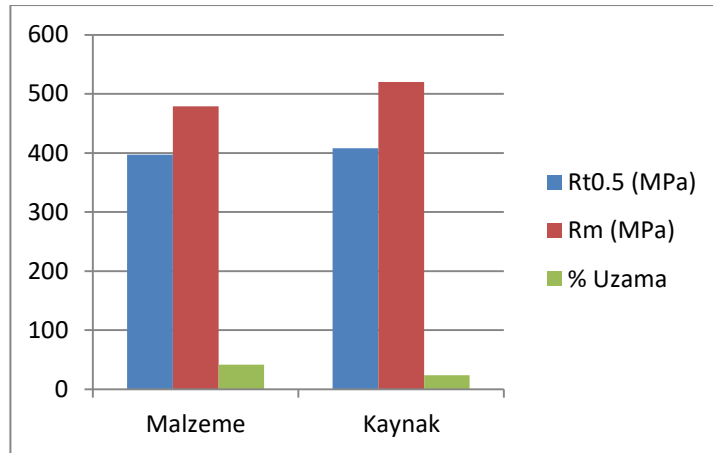
Şekil 2. Kaynak bölgesinin a) radyografik, b) ultrasonik muayenenin çalışma ekranındaki görüntüleri
(Figure 2. Images on the working screen of the welded zone a) radiographic, b) ultrasonic)

4. DENEY SONUÇLARI (EXPERIMENTAL RESULTS)

Sürtünme Tozaltı ark kaynak yöntemiyle yapılan kaynaklı birleştirmelerin yüzey kusurlarının belirlenmesi için gözle muayene, yüzey altı hataların belirlenmesi için de radyografi ve ultrason muayeneleri yapılmıştır. Gözle muayene ve makroskobik resim (Şekil 1) üzerinde yapılan inceleme neticesinde kaynak yüzeyinde çatlak, yetersiz nüfuziyet vs. gibi kaynak hatalarına rastlanmamıştır. Kaynak edilmiş numuneler radyografik muayeneye tabi tutulmuş, kaynak bölgesinde oluşabilecek hatalar incelenerek normlar dahilinde değerlendirilmiştir. Boru hatlarında uygulanan kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi en yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Kaynak bölgesinin radyografik ve ultrasonla muayenesi yapılmıştır. Muayenesi yapılan kaynak bölgesinin radyografik ve ultrasonik muayenenin çalışma ekranındaki görüntüleri verilmiştir (Şekil 2). Çekme testi sonucunda kaynaklı numunelerde kopma, kaynak bölgesinin dışında, yani ana malzemelerde meydana gelmiştir (Şekil 3). Şekil 4'de ise çekme deneylerinden elde edilen dayanım ve % uzama değerleri grafik halinde verilmiştir. Sertlik ölçümleri Şekil 5'da gösterilen noktalardan HV5 cinsinden yapılmış ve Şekil 6'de grafik halinde verilmiştir. Bükme testinde klavuzlu bükme testi uygulanmış, kep (face bend) ve kök tarafından yapılan bükme testlerinde gerek kaynak dikişinde gerekse çevresinde yırtılma, çatlama vs. gibi hataların ortaya çıkmadığı görülmüştür (Şekil 7). Buradan hareketle, kaynaklama işleminin uygun bir şekilde yapıldığı ve servis şartlarında rahatlıkla kullanılabilceği sonucuna varılabilir.



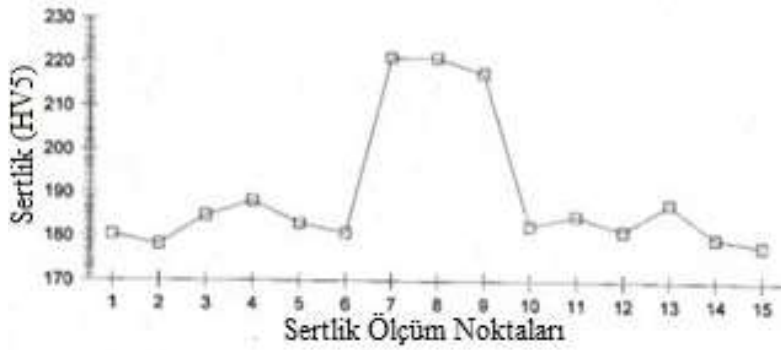
Şekil 3. Kaynatılmış çekme numunesi
(Figure 3. Welded tensile Sample)



Şekil 4. Çekme deney sonuçları
(Figure 4. Tensile test results)



Şekil 5. Sertlik ölçüm noktaları
(Figure 5. Hardness measurement points)



Şekil 6. Sertlik dağılımı
(Figure 6. Hardness distribution)

Tablo 2. Çentik darbe deney sonuçları
(Table 2. Notch impact test results)

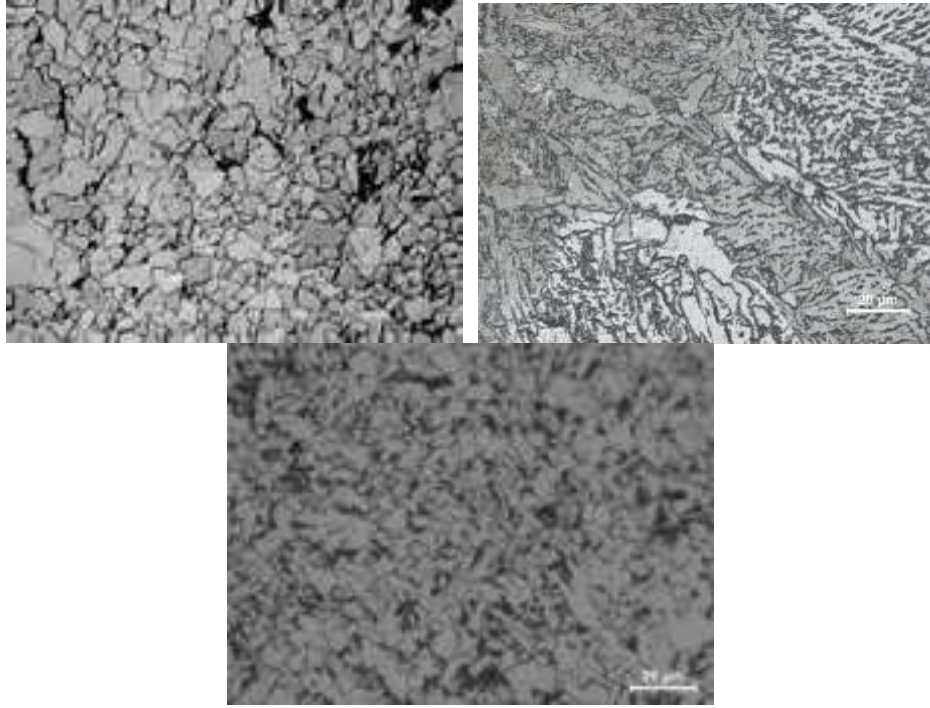
Darbe Enerjisi (J)	Materyal	117.2
	Kaynak	92.77
	ITAB	95.17



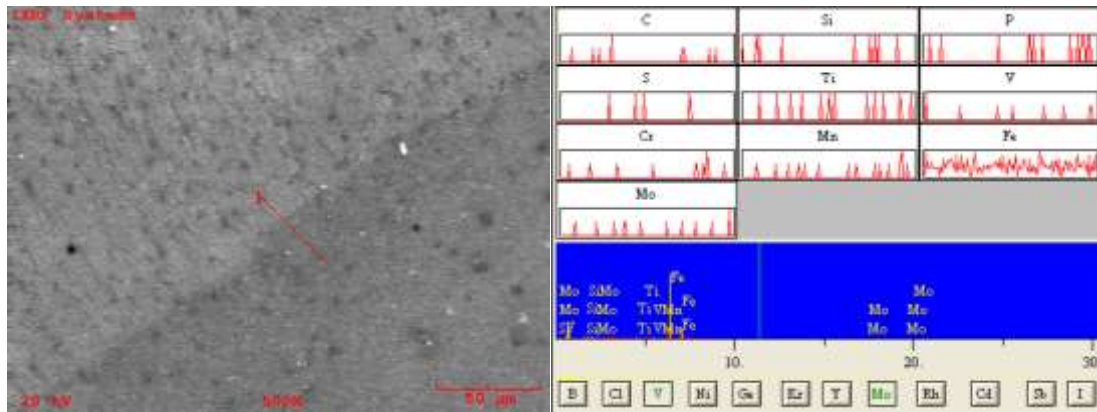
Şekil 7. Bükme deneyi
(Figure 7. Bending test)

Numunelerin tokluk değerlerini belirlemek amacıyla çentik darbe deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçların ortalamaları Tablo 2'de verilmiştir. Sıcaklığın düşmesiyle birlikte çentik darbe tokluk değerlerinin kötüleştiği bilinmektedir.

Şekil 8'da ana metal, ITAB ve kaynak bölgesinden alınan optik mikroskop görüntüleri ve Şekil 9'de ise kaynak-ITAB geçiş bölgesinin SEM görüntüsü ve çizgi boyunca alınan EDX analizi verilmiştir. Malzeme termomekanik haddelenmiş olup, ince taneli ferritik mikroyapıdan oluşmaktadır. Mikroyapılar kısmen perlit içermekle birlikte belirgin bir şekilde ferrit fazına sahiptir. Malzemenin kimyasal bileşimine ve soğuma hızına bağlı olarak ITAB'da tane irileşmesi meydana gelmektedir. ITAB bölgesinin tane yapısının ana malzemeden daha büyük olduğu geçiş bölgesi görüntüsünden çok daha rahat görülebilmektedir.



Şekil 8. Ana metal, ITAB ve kaynak metalinin optik mikroskop görüntüleri
(Figure 8. Optical microscope views of base metal, HAZ and welding metal)



Şekil 9. ITAB ve Kaynak geçiş bölgesinin SEM görüntüsü ve çizgi boyunca EDX analizi
(Figure 9. SEM image of the HAZ and welding transition region and EDX analysis along the line)



5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Yapılan makroyapı incelemesinde kaynak bölgesinde genelde iç ve dış kaynak eksenleri arasında kaçıklıkların bulunmadığı görülmüş, kaynak hatalarına rastlanmamıştır. Mikroyapı incelemelerinde ise ana malzemenin ince taneli ferritik yapıdan oluştuğu, aralarında ise perlit adacıklarının bulunduğu tespit edilmiştir. Düşük C-oranından dolayı çeliğin kaynaklanabilirliğinde bir sorun ortaya çıkmamaktadır. Kaynaklı numunelere ait çekme değerlerinin, ana malzemenin çekme değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kopma ana malzemenin olmasına rağmen, kaynaklı numunelerin % uzama değerleri düşük çıkmaktadır. Bunun sebebi kaynaklı bölgenin çekme testi sırasında deformasyona uğramamasından kaynaklanmaktadır [6]. Tozaltı kaynak yönteminde, diğer kaynak yöntemlerine göre yüksek ısı girdisi meydana gelmektedir. Yüksek ısı girdisi de, malzemenin sertliğinin artmasına sebep olmaktadır. Hem sertlik, hem de çekme dayanımı, metallerin plastik deformasyona direncini gösterdiklerinden, sonuç olarak bu iki değer kabaca orantılıdır. Bir başka ifadeyle, kopma işleminin, kaynak metali veya ITAB yerine, sertliği düşük olan ana malzemenin olması bu sonucu doğrulamaktadır [7].

Kaynak bölgesinin deformasyona karşı gösterdiği direncin, çekme mukavemetinin artmasına ve % uzama değerinin azalmasına sebep olduğu görülmektedir. Bütün ince taneli çelikler üreticisine göre ilave mikroalaşım elementleri yanında akma sınırı ve mukavemeti yükseltmek amacıyla Mn içerirler [8]. Çekme deneyleri sonucunda çekme numuneleri kaynak bölgesinden değil ana malzemenin kopmuş, yapılan kaynak kabul edilebilir bulunmuştur. Sertlik grafiği incelendiğinde (Şekil 6) kaynak bölgesinin sertliğinin ITAB ve ana malzemenin sertliğinden daha yüksek olduğu görülmektedir. ITAB'dan ölçülen sertlik değerleri ise ana malzemenin yüksek bulunmuştur. Kaynak dikişinde en yüksek sertlik değeri 221HV olarak ölçülürken, ITAB'da ise 188 olarak ölçülmüştür. ITAB'dan ölçülen sertlik değerinin, ana malzemenin daha yüksek olmasının sebebi meydana gelen tane irileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 7). Düşük karbonlu çelik malzemelerin kaynak bölgesinde yapılan bir araştırmada ITAB'ın kaynak metalinden daha düşük sertliğe sahip olduğu belirtilmiştir [9]. Dolayısıyla bulunan sonuçlar literatür ile uyumludur. Kaynak metalinin çekme ve sertlik değerleri ana malzemeye nazaran yükselirken, tokluk değerlerinin düştüğü belirlenmiştir (Tablo 2). Kaynak bölgesinin mukavemet ve sertlik değerleri genellikle ana malzemeninkinden yüksektir. Bunun sebebi kaynak dikişindeki dislokasyon yoğunluğunun ve kaynak esnasındaki soğuma hızının çok yüksek olmasıdır [10].

Bükme testi malzeme muayenesinde çok sık kullanılmamaktadır. Kaynak muayenesi bir istisnadır [11]. Kaynaklı numunelere kep ve kök tarafından kılavuzlu bükme testi uygulanmış, çatlama, yırtılma gibi hatalara rastlanmamıştır. Buradan da, kaynaklama işleminin uygun bir şekilde yapıldığı sonucuna varılmıştır. Bir kaynak bağlantısının mekanik özellikleri hem yığılmış kaynak metalinin hem de buraya komşu ve kaynak ısıl işleminden etkilenmiş esas metalin (ITAB) mekanik özelliklerinden etkilenir. Bu nedenle kaynaktan sonra hem kaynak metalinde hem de ITAB'da meydana gelebilecek tokluk azalmasından ve çatlama kaçınmak gerekir [12]. Kim vd. yaptıkları çalışmada ITAB bölgesinin tokluğunun kaynak metalinin tokluğundan daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [13]. ITAB bölgesinin çentik darbe tokluğunun kaynak metalinden yüksek bulunması bu sonucu doğrulamaktadır. Yapılan bir çalışmada Al ve Ti'nin tokluğa negatif etki ettiği belirtilmiştir [14]. EDX analizinden de görülebileceği gibi (Şekil 8), Ti'nin da gerek ITAB gerekse kaynak dikişinin tokluğunun kötüleşmesinde etkili olduğu sonucuna varılabilir. Ana malzeme eşksenli poligonal ferrit ve perlit adacıklarından oluşurken; ince ve kaba taneli ITAB'ın



mikroyapısı tane sınırı ferriti ve widmanstatten ferritten oluşmaktadır. Kaynak metalinin mikroyapısı ise ağırlıklı olarak poligon ve asiküler ferritten oluşmaktadır. Kaynak bölgesinde martenzitik yapının oluşumu tokluk özelliklerini kötüleştireceğinden dolayı istenmemektedir [15]. Gerek çeliğin kimyasal bileşimindeki, gerekse kullanılan kaynak tozu ve kaynak telindeki karbon oranının son derece düşük olması martenzit oluşma ihtimalini düşürmüştür. Bundan dolayı da kaynak bölgesinde martenzit yapısı oluşmamıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Engl, B. und Fuchs, A., (1981). Möglichkeiten Einer Zusatzlichen Zahigkeitssteigerung an TM-gewalzten Warmbreitband für Grossrohre. Stahl u. Eisen, 25-31.
2. Ada, H., (2006). Petrol Boru hatlarında Kullanılan Boruların Kaynaklanması İşleminde Meydana Gelen Kaynak Hatalarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
3. Mahmutoğlu, M.Z., (2003). %0.03 Nb ve %0.05 V'lu bir Boru Hattı Çeliğinde Mikroyapı-Mekanik Özellikler Karakterizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
4. Bal, E., (2012). Doğal Gaz Boru Hatları İçin Yüksek Gerilimli Kaynak Ana Malzemesi Teknolojisinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
5. Gençkan, H.D., Bal, E., Şahin, F.Ç., Taptık, İ.Y. ve Koçak, M., (2013). Orbital Kaynak Teknolojisi Kullanılarak Kaynak Edilen X65 ve X70 Çelik Boruların Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı 4, 45-56.
6. Karaman, N., Gülenç, B. ve Durgutlu, A., (2005). Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Kaynaklanan Düşük Karbonlu Çeliklerde Serbest Tel Uzunluğunun Etkisinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 18(3):473-480.
7. Akay, A.A., Kaya, Y. ve Kahraman, N., (2013). Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen X60, X65 ve X70 Çeliklerinin Kaynak Bölgesinin Etüdü. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 3(2):34-42.
8. Boese, U. und Ippendorf, F., (2001). Das Verhalten der Stähle bei Schweißen, Teil II: Anwendung, DVS Verlag GmbH, Düsseldorf.
9. Qiu, H. and Kawguchi, Y., (2003). Strength und Deformability of Welded Joints of 780 MPa Grade Steel Plates, Materials Science and Engineering A, 22-28.
10. Schulze, G., Krafka, H., und Neumann, P., (1996). Schweißtechnik. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
11. Marfels, W. und Orth, L., (1997). Der Gasschweißer, Band 1. DVS-Verlag, Düsseldorf.
12. Eryürek, I.B., (2007). Çelikler İçin Örtülü Elektrot Seçimi. Askaynak, İstanbul.
13. Kim, J.H., Oh, J.J., Hwang, I.S., Kim, D.J., and Jeong, T., (2001). Fracture Behavior of Heat-affected Zone in Low Alloy Steels. Journal of nuclear Materials, 132-139.
14. Abson, D.J., (2005). The Influence of Ti and Al on the Toughness and Creep Rupture Strength of Grade 92 Steel Weld Metal, TWI Confidential Members Report No:883.
15. Taş, Z., (2017). Mechanical Properties of Pipeline Steel Welds, Materials Testing, 295-301.