



Makale / Research Paper

Farklı Kaynak Yöntemleri İle Birleştirilen Doğalgaz Borularının İncelenmesi

Rıza KARA*, **Fatih ÇOLAK***, **Gökhan YILDIRIM***, **Vedat HIÇYILMAZ***

*Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü
UŞAK/TÜRKİYE, riza.kara@usak.edu.tr

Özet: Doğalgaz kullanımının yaygınlaşması ile birlikte tesisat işlemlerinde kaynaklı birleştirme kalitesi önem kazanmıştır. Bu çalışmada çelik doğalgaz borularının kaynak kabiliyeti araştırılmıştır. Çalışmada API5L X52 kalite 1/2 inç yarıçapında 2,8 mm et kalınlığına sahip borular 100 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Oksi-Gaz, elektrik ark kaynağı ve MAG (Gaz altı) kaynak yöntemleriyle birleştirilmiştir. Farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilen kaynaklı numuneler mikroyapı, sertlik, çekme ve yorulma deneyleri ile karakterize edilmiştir.

Anahtar kelimeler: API5L X52, kaynak yöntemleri, mekanik özellikler.

Investigation of Natural Gas Pipes with Different Welding Processes

Abstract: The welded combining has gained importance in fitting processes with the widespread use of gas. In this study has investigated weldability of steel gas pipes. Samples have been prepared from API 5L X52 quality gas pipes. The samples prepared; 1/2 inch in diameter, thick of 2.8 mm, of size 100 mm. Samples has been combined with oxy-gas, electric arc welding and MAG (gmaW) welding process. The combined samples have been characterized with microstructure, hardness, tensile strength and fatigue strength test.

Keywords: API5L X52, welding processes, mechanical properties.

1. Giriş

Günümüzde boru hatları tüketimi büyük olan ve devamlı kullanılan sıvıların ve gazların (petrol, su, doğalgaz gibi) uzun mesafelere transfer edilmesinde dünya çapında kullanılan en yaygın yöntemdir [1,2,3,4,5]. Çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren bu boruların kullanılması onların birleştirilmesini gerektirmektedir. Birleştirme yöntemi olarak kolaylığı, pratik olması, güvenli ve ekonomik olması sebebiyle kaynaklı birleştirme seçilmektedir [6,7,8]. Kullanıldıkları alan düşünüldüğünde ve taşınan yanıcı gazlar olduğundan küçük sızıntı veya toprak hareketiyle boruların hasara uğramaması gerekmektedir. Boruların kaynağında bir sorun olması durumunda sızıntı sonucu yangın veya patlama olması çok muhtemeldir. Buda birçok hayata veya ekonomik kayba sebep olur [9,10]. API 5L X52 çelik tipik petrol sektöründe gaz ve yakıt iletimi için boru hatlarında kullanılan yaygın bir malzeme olarak karşımıza gelmektedir [11]. API standardına göre X52 gibi psi olarak minimum akma dayanımını gösterir. Bu gösterimde akma dayanımı 52.000 psi

Bu makaleye atıf yapmak için

Kara, R., Çolak, F., Yıldırım, G., Hiçyılmaz, V., "Farklı Kaynak Yöntemleri İle Birleştirilen Doğalgaz Borularının İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(1); 108-115.

How to cite this article

Kara, R., Çolak, F., Yıldırım, G., Hiçyılmaz, V., "Investigation of Natural Gas Pipes with Different Welding Processes" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(1); 108-115.

olan malzeme anlaşılır [12,13]. X52 tipi çelikler günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren, yüksek akma mukavemetleri ve toklukları nedeni ile kullanımı giderek artan önemli bir çelik gurubunu oluşturmaktadır. Bu çeliklerin kaynağında karşılaşılabilecek sorunların en önemlisi ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) oluşabilecek sertleşme eğilimidir. Bu çeliklerin ısı tesiri altındaki bölgesinde yüksek karbonlu martenzit ve östenitten oluşan mikro boyutta adacıklar oluşabilmektedir [14]. Bu oluşuma doğrudan tesir eden soğuma hızı en etkin faktör olmaktadır. Ti, B gibi mikroalaşım elementlerinin ısı tesiri altındaki bölgenin tokluğu üzerine etkisi, çeliğin karbon eşdeğeri ile ilişkili olup iyi bir tokluk için uygun bir karbon eşdeğerliği aralığı vardır [15,16].

Bu çalışmada; endüstride doğalgaz boru hatlarında kaynaklı imal edilip geniş yelpazede tercih edilen API 5L X52 kalite çeliklerin; oksigaz, rutil elektrotla ark kaynağının, selülozik elektrotla ark kaynağının ve MAG yönteminin kaynak kabiliyeti araştırılmıştır. Bu amaçla farklı kaynak yöntemleri ile yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerinden çekme ve yorulma dayanımı tespit edilerek sertlik dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca birleştirmenin metalografik incelemesi yapılarak, mikroyapı mekanik özellik ilişkisi belirlenmiştir.

2. Deneysel Malzeme ve Metot

2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme

Çalışmada X52 doğalgaz çelik borusu kullanılmıştır. X52 doğalgaz çelik boruya ait spektro analiz sonucu Tablo 1’ de, bu çelik borunun ferrit ve perlit oranları Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 1. X52 doğalgaz çelik borusuna ait spektro analiz sonuçları

AP5L	C	Mn	Si	Nb	V	P	S	Cr	Cu	Al
X52	0,106	0,91	0,24	0,020	0,0017	0,013	0,007	0,017	0,021	0,039

Tablo 2. X52 çeliklerin ferrit ve perlit oranları

Çelik Tipi	Ferrit Oranı fa %	Perlit Oranı fp %
X52	83,5	16,5 ± 6

2.2. Deney Numunelerinin Kaynak İçin Hazırlanması ve Birleştirilmesi

Çalışmada ½ inç dış çapa sahip 2.80 mm et kalınlığındaki borular 100 mm boyutlarında kesilmiş ve daha sonra karışmaması için aşağıda Tablo 3’ deki koşullarda ve numune numaralandırma işlemi yapılarak Oksigaz, Örtülü elektrot ark ve MAG yöntemleriyle kaynatılmıştır.

Tablo 3. Numunelerin numaralandırılması ve kaynak koşulları

Numune No	Kaynak Yöntemi	İlave Metal	Akım Şiddeti
1	Oksigaz	Ø 2 mm Çelik Tel	-
2	Örtülü Elektrot Kaynağı	Ark Ø 3,25 Rutil Elektrot	115 A
3	Örtülü Elektrot Kaynağı	Ark Ø 3,25 Selülozik Elektrot	115 A
4	MAG	Ø 1 mm Çelik Tel	126 A

Tüm numunelerin boru uçlarına standart kaynak ağzı açılmış daha sonra boruların iç ve dış kısmında 5 cm’ lik bir mesafede yüzey temizliği yapılmıştır. 1 numaralı numuneler oksijen ve asetilen gazı kullanılarak Oksigaz kaynağıyla tek pasoda kaynaklanmıştır. 2 ve 3 nolu numuneler

kaynatılmadan önce 115 A de ve 90° lik açılarla 4 yerinden puntalama işlemi yapıldıktan sonra soğutulup cürufları kırılıp sonrasında tek pasoda kaynatılmışlardır. 4 nolu numuneler ise CO₂ gazı kullanılarak 115 A de 1,5 m/s tel çekme hızında 90° lik açı ile 4 yerinden puntalanmıştır. Puntalar tamamen temizlendikten sonra tek pasoda kaynatılmıştır. Her numune kaynaktan sonra kaynak bölgeleri tel fırça yardımıyla tamamen temizlenmiştir. Çalışmada kaynaklanmış numunelerin görünümü aşağıda Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1. Kaynaklanmış doğalgaz borularına ait resim

2.3. Birleştirmelere Uygulanan Mekanik Testler ve Metalografik İncelemeler

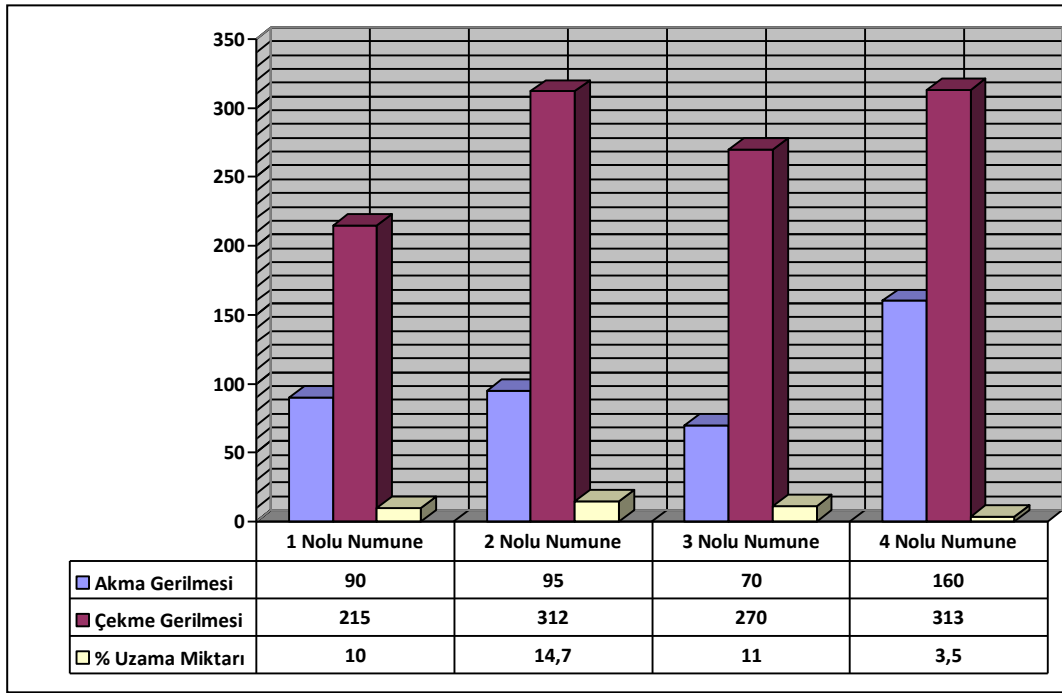
Birleştirmelerden standart çekme numuneleri hazırlanmıştır. Çekme deneyi INSTRON 8801 model çekme test cihazında tek eksende, 0.5 mm/dak çekme hızında ve sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Deneysel hataları minimize edebilmek amacıyla her bir şart için 3 deney numunesi test edilmiştir. Çalışmada, ayrıca kaynaklı boruların yorulma dayanım sınırını tespit edebilmek için standartlarına uygun olarak yorulma numunesi hazırlanarak yorulma deneyi uygulanmıştır. Yorulma deneyinde Instron 8801 Model Çekme deneyi cihazı kullanılmıştır. Bu çalışmada ayrıca farklı kaynak yöntemleri ile kaynatılan numunelerin kaynak bölgelerinde oluşan sertlik incelenmiştir. Bu nedenle mikroyapı için hazırlanmış numunenin kaynak bölgelerinden Mettest- HT- RSR marka ve model sertlik cihazı ile sertlik değerleri ölçülmüştür.

Metalografik inceleme numuneleri ise kaynak ilerleme yönüne dik olacak konumda klasik metalografi inceleme yöntemindeki sıralama takip edilerek hazırlanmıştır. Zımparalama işlemlerinde 80-120-240-320-400-600-800-1000-1200 gridlik zımparalar kullanılmıştır. Daha sonra parlatma aşamasında çuha bezi kullanılmıştır. Parlatılan numuneler asit çözeltisinde dağlanmıştır. Metalografik incelemelerde Olympus marka Bx60 Model, alttan ve üstten aydınlatmalı mikroskop kullanılmıştır.

3. Sonuçlar ve İrdelenmesi

3.1. Mekanik Özellik Test Sonuçları

Standardına göre test edilen numunelerin çekme test sonuçları Şekil 2 'de gösterilmiştir. Grafikteki her bir değer test edilen üç numunenin ortalamasıdır. Şekil 2'deki grafikten görüldüğü gibi en yüksek akma dayanımı 160 MPa olarak MAG kaynağı ile yapılan birleştirmede ölçülmüştür. En düşük akma dayanımı ise 70 MPa ile selülozik örtülü elektrot ile yapılan kaynaklı birleştirilmiş numunede bulunmuştur. Oksigaz kaynağı ve rutil örtülü elektrik ark kaynağı ile yapılan birleştirmelerde ise akma dayanımı birbirine çok yakın bulunmuştur. Oksigazla birleştirmede 90 MPa rutil elektrot ile birleştirmede ise 95 MPa bulunmuştur. Sonuçlara bakıldığında akma dayanımı en iyi MAG kaynağı ile yapılan birleştirmede tespit edilmiştir. Tozaltı kaynağı ile her iki taraftan kaynaklı numunelerin akma dayanımının 420-520 MPa arasında olduğu belirtilmiştir [17]. MAG kaynak yöntemi ile farklı kaynak pozisyonlarında kaynaklanmış X52 malzemesinden imal edilmiş çelik boruların çekme deneyi sonrasında en yüksek değerlerin yatay oluk pozisyonunda (457 MPa akma gerilmesi 552 MPa çekme gerilmesi) elde edilmiştir [18].



Şekil 2. Çekme deneyi sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi

Birleştirmelerin ortalama % uzamaları oksigaz yöntemiyle birleştirilen numunede 10 iken rutil elektrot ile kaynatılan birleştirmenin %14,7, selülozik elektrot ile birleştirilenin % 11, MAG kaynağıyla birleştirilen numunenin ise % 3,5 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada yapılan yorulma test sonuçları aşağıda Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Yorulma deneyi sonuçları

Numune No	Cycle (Tekrar Sayısı)	Kopma Bölgesi
1	1000	Kaynak Bölgesi
2	1291	Kaynak Bölgesi
3	3700	Kaynak Bölgesi
4	26298	ITAB

Birleştirmelerin yorulma sonuçları incelendiğinde en uzun tekrar sayısı 4 nolu numune yani MAG kaynağıyla yapılan birleştirmede görülmüştür. Bu sonuç çekme deneyi sonuçları bakımından en yüksek akma dayanımı sergilemiş olan MAG yöntemi ile değerlendirilebilir. Diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilen numuneler incelendiğinde en zayıf tekrar sayısı 1 nolu numune oksigazla kaynatılan birleştirmede ölçülmüştür. MAG kaynağıyla birleştirilen numune hariç diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilen numuneler de kaynak bölgesinden kopmaların gerçekleştiği gözlemlenmiştir. MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunede ise kopmanın ITAB bölgesinden olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan ilave tel (elektrot) içerisindeki Mn ve karbon içeriğinin de kaynaklı numunelerin çekme ve yorulma deney değerlerine etkisi görülmektedir. Bu etki MAG yönteminde özellikle belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. Ayrıca elektrot özelliklerinin değişmesi ile mikroyapı incelemelerinde kaynak mikroyapılarında değişimler ortaya çıkmıştır.

Birleştirmelerin sertlik dağılımı da araştırılmıştır. Her bir birleştirmenin sertlik deneyinin kıyaslayabilmek için ilk olarak kaynaklı ana malzeme ölçülmüş ve sonra diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilen numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Ölçülen sertlik değerleri aşağıda Tablo 5' de verilmiştir. Tablo 5' deki sertlik değerleri ana malzemeyle kıyaslandığında 1 nolu numunenin

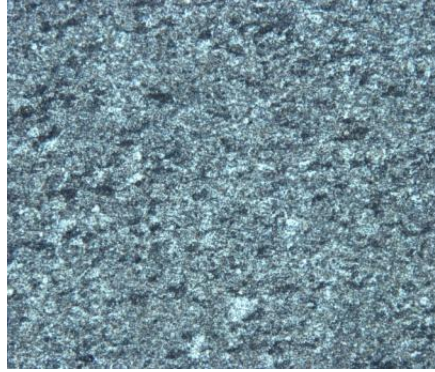
sertliğinin ana malzemeye yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ancak diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgesinin sertlik değerlerinin artmış olduğu görülmüştür. Sertlik açısından incelendiğinde 1 nolu numunenin sertliğinin düşme sebebi ısı girdisi ile tane irileşmesidir. Diğer numunelerin sertliklerinin yüksek olmasının sebebi ise ilave tel olarak kullanılan malzemelerin içindeki alaşımların sertlik artışına neden olmasıdır. MAG kaynak yöntemi ile yatay oluk pozisyonunda kaynaklanmış X52 çelik boruların mikrosertlik deneyi değeri 155-160 HV₅ olarak elde edilmiştir [18]. 2,3 ve 4 nolu numunelerde Mn ve karbon oranı açısından perlit oranının artması ile sertlik değeri ana malzeme ve oksigaz yöntemine göre daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 5. Sertlik testi sonuçları

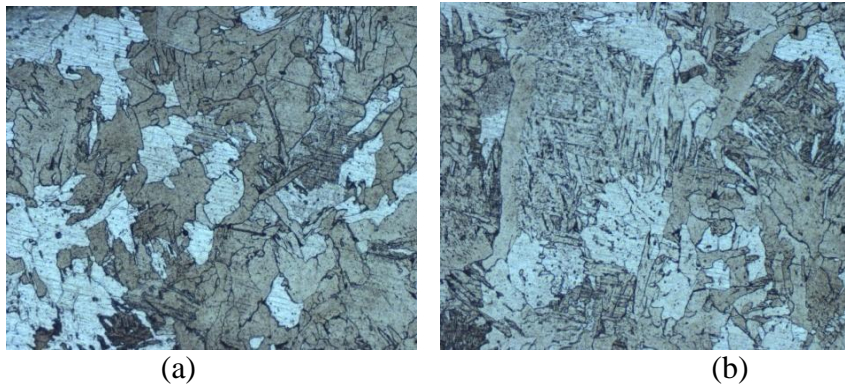
Numune No	Rockwell (A)
Ana Malzeme	23,2
1 Nolu Numune	22,5
2 Nolu Numune	40,6
3 Nolu Numune	41,8
4 Nolu Numune	40,7

3.2. Metalografik İnceleme Sonuçları

Mekanik özellik mikroyapı ilişkisini tayin edebilmek amacıyla numunelerin metalografik incelemesi yapılmış ana malzemenin mikroyapı resmi Şekil 3' de verilmiştir. Kaynaklı numunelerin mikroyapı resimleri ITAB ve kaynak metalinden ayrı ayrı alınarak verilmiştir. Kaynaklı numunelerden 1 nolu Oksigaz ile kaynatılan numunenin Şekil 4 (a)'da ITAB ve Şekil 4 (b)'de kaynak metalinin mikroyapısı görülmektedir. Şekil 4' de oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilen numunenin tane boyutunun belirgin bir şekilde irileştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Ana malzemenin 200 büyütmede çekilmiş mikroyapı fotoğrafı

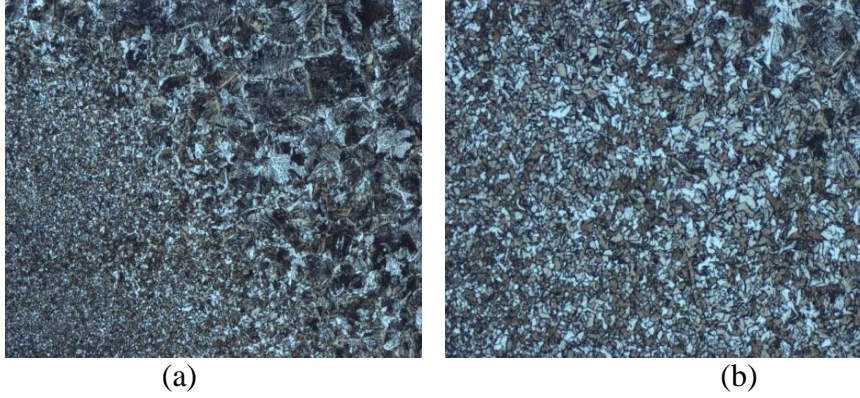


(a)

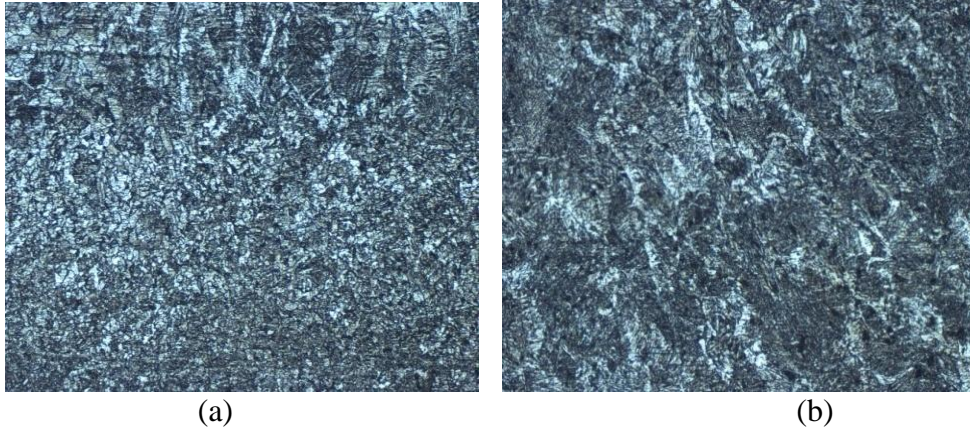
(b)

Şekil 4. Oksigaz kaynağı ile birleştirilen numunelerin a) ITAB (100X) b)kaynak metali mikroyapısı (100X)

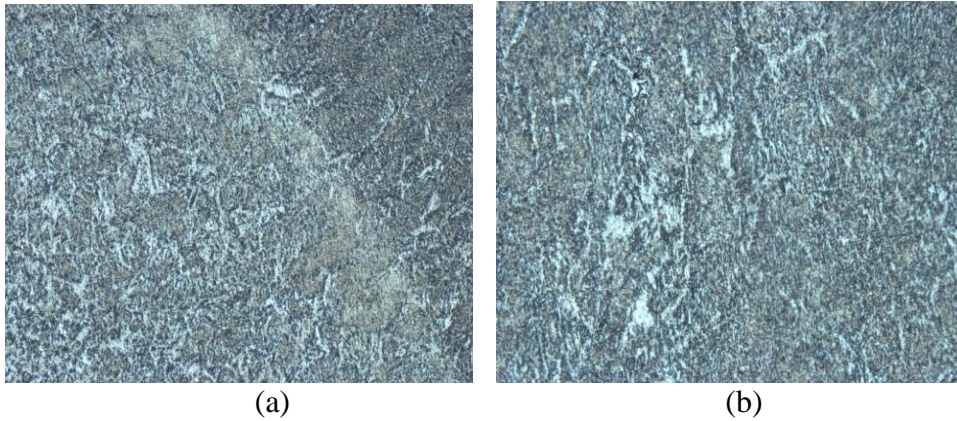
2 nolu rutil elektrot ile örtülü elektrik ark kaynağı yöntemiyle kaynatılan numunenin Şekil 5 (a)'da ITAB ve Şekil 5 (b)'de kaynak metalinin mikroyapısı görülmektedir. ITAB bölgesinde tane irileşmesi belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Tane şekilleri selülozik tip elektrot kaynağına göre daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. 3 nolu selülozik elektrot ile örtülü elektrik ark kaynağı yöntemiyle kaynatılan numunenin Şekil 6 (a)'da ITAB ve Şekil 6 (b)'de kaynak metalinin mikroyapısı görülmektedir. 4 nolu MAG kaynağı yöntemiyle kaynatılan numunenin Şekil 7 (a)'da ITAB ve Şekil 7 (b)'de kaynak metalinin mikroyapısı görülmektedir. Kaynak ilave tel içerisindeki karbon ve Mn gibi elementlerinin oranının artması ile mikroyapıda perlit oranı artmıştır.



Şekil 5. Rutil elektrot kullanılarak elektrik ark kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş numunelerin mikroyapısı a) ITAB (50X) b)kaynak metali mikroyapısı (100X)



Şekil 6. Selülozik elektrot kullanılarak elektrik ark kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş numunelerin mikroyapısı a) ITAB (100X) b)kaynak metali mikroyapısı (100X)



Şekil 7. MAG kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş numunelerin mikroyapısı a) ITAB (100X) b) kaynak metali mikroyapısı (200X)

Mikroyapı incelemesinde numune içyapılarının ferrit ve perlitten oluştuğu görülmüştür. İçyapıların genelinde oluşan iğnesel yapıların asiküler ferrit olduğu gözlemlenmiştir. Bu yapının oluşmasının nedeni numunelerin kaynak sonrasında hızlı katılaşmasıdır.

4. Sonuç ve Öneriler

Yürütülen bu çalışmada genel olarak elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir. Kaynak bölgesinin soğuma süresi oluşan içyapı değişiminde önemli bir faktör olduğu ve kaynak bölgesinin ani soğutulması ile iğnesel ve yönlenmiş epitaksiyel içyapının oluştuğu görülmüştür. Yöntemlerde kullanılan ilave tel (elektrot) içeriğindeki karbon ve alaşım elementlerinin etkisi ile kaynak bölgesinde oluşan faz miktarları ve tane yapısı değişim sergilemiştir. Bu değişiklikler mekanik deney değerlerine de etki etmiştir. Piyasada yaygın olarak kullanılan oksigaz yönteminin yapılan deneyler sonucu mekanik özelliklerinin diğer kaynak yöntemlerine göre düşük olduğu gözlemlenmiştir. Oksigaz ile yapılan kaynaklar daha düşük ısı girdisi ile yapılan ark kaynakları ile karşılaştırıldığında kullanılan elektrotların içerisinde bulunan oksitlerin ve alaşım elementlerinin de etkisiyle hem tane içi yapılar incelmış hem de daha ince taneler oluştuğu gözlemlenmiştir. Oksigaz, Elektrik Ark ve MAG kaynakları kullanılarak elde edilen birleştirmelerin ortalama çekme dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek çekme dayanımı MAG yöntemiyle birleştirilen parçada 313 MPa bulunurken, en düşük çekme dayanımı ise 215 MPa ile oksigaz kaynağı ile birleştirilen parçada görülmüştür. Birleştirmelerin ortalama % uzamaları en yüksek çekme dayanımı elde edilen MAG ile birleştirilmiş parçada %3.5, en düşük çekme dayanımı elde edilen oksigaz ile birleştirilmiş parçada % 10 olarak belirlenmiştir. Bu iki çekme dayanımı ve % uzama miktarlarındaki fark kaynaklı bağlantıların mikroyapısında oluşan ferrit miktarındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Abedi, S. S., Abdolmaleki, A., Adibi, N., “Failure analysis of SCC and SRB induced cracking of a transmission oil product pipeline”, England, Fail. Analy. 14 (2007) 250-261.
- [2] Beak, J. H., Kim, Y.P., Kim, C. M., Kim, W. S., Seok, C.S., “Effects of pre-strain on the mechanical properties of API 5L X65 pipe”, Mater. Sci. England, A 527 (2010) 1473-1479.
- [3] Javidi, M., Horeh, S.B., “Investigating the mechanism of stress corrosion cracking in near-neutral and high pH environments for API 5L X52 steel” , Corrosion Science; 80(2014) 213-220.
- [4] Kurttepe, İ.B., “Boruların Kaynağı” , Metal ve Kaynak, Makine ve Otomasyon Teknolojileri Uluslararası Aylık Dergisi, İstanbul, (1997) 35-40.
- [5] Candan, İ., Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., “Farklı Pozisyonlarda MAG kaynağı ile birleştirilen boruların kaynak dikişlerinin Ultrasonik ve Mekanik Muayenesi” , Politeknik Dergisi, 9 (2006); s. 203-209.
- [6] Hydrogen energy systems, “Production and utilization of hydrogen and future aspects”, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, (1995) p.352.
- [7] Mulder, G., Hetland, J., Lenaers, G., “Towards a Sustainable Hydrogen economy: Hydrogen pathways and Infrastructure” , International Journal of Hydrogen Energy, 32(2007) 1324-1331.
- [8] Capella, J., Dmytrakh, I., Azari, Z., Pluvinage, G., “Evaluation of electrochemical hydrogen absorption in welded pipe with steel API X52”, International Journal of Hydrogen Energy, 38(2013), 14356-14363.
- [9] National Transportation safety Board, “Pipeline incident report, natural gas Pipeline rupture and fire”, near Carlsbad, New Mexico, (2000). Virginia: National Technical Information Service (2000).
- [10] National Transportation Safety Board, “Pipeline incident report, natural gas pipeline rupture and fire in south riding”, Virginia, 1998. Virginia: National Technical Information Service, (1998).

- [11] Gladman, T., “The physical Metallurgy of MicralloyedStels”, 1st edition, The Institute of Materials, London, (1997)
- [12] Lancaster, J. F., “Handbook of Structural Welding”, Mc-Graw-Hill, Inc.US,(1993).
- [13] Jang-Bog, J., Jung-Suk, L., Jae-il, J., Woo-sik, K., Dongil, K., “International Journal of Pressure Vessels and Piping” , 80-9 (2003); 641-646.
- [14] Fairchild, D.P.,”Welding Journal”, (1991) 321-329.
- [15] Chang, W.S., Chang, R.W., “Microsture and Tough ness in the HAZ of Ti-B Bearing Q vented and Tempered Steels”, Proceedings of the Second International Conference on HSLA steels, Beijing,China (1990) 507-512.
- [16] Yılmaz, M., Çöl, M., “X52 Tipi Mikroalaşımlı Çeliklerde, Yüksek Frekans Kaynağı Sonrasında Uygulanan Isıl İşlemin Simülasyon Yoluyla Karakterizasyonu”, Mühendis ve Makine 513 (2002), 37-42.
- [17] Vargas-Arista, B., Balvantin, A., Baltazar, A., García-Vázquez, F., “On the use of ultrasonic spectral analysis for the characterization of artificially degraded API 5L X52 steel pipeline welded joints”, Materials Science and Engineering A, 550 (2012) 227–234
- [18] Gülenç, B., Candan İ., Kahraman N., “MIG-MAG Kaynağı ile Birleştirilen Boruların Tahribatlı Ve Tahribatsız Muayenesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., (2006) Cilt 21, No 4, 631-637.