AKU J. Sci. Eng. 16 (2016) Özel Sayı (98-106)

Farklı Ark Kaynak YöntemlerininP460NL1-HARDOKS400 Çelik Birleştirmesine Etkisi

Hayriye Ertek Emre¹, Ramazan Kaçar², Murat Bilsel³

Özet

^{1,2,3}Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük. e-posta:hayriyeertek@karabuk.edu.tr,rkacar@karabuk.edu.tr

Anahtar kelimeler HARDOKS 400-P460NL1 çelik çifti; Gaz metal ark kaynağı; Elektrik ark kaynağı; Mekanik özellikler.

Değişik özellikler arandığında farklı malzemeler bir arada kullanılmalıdır. Farklı malzemelerin birleştirmelerinde kullanılan malzeme cinsi, uygulanan kaynak yöntemi ve kullanılan ilave metal, birleştirme kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu sebeple, yüksek aşınma dayanımı ve tokluğa sahip HARDOKS çeliği ile yüksek çalışma sıcaklığına dirençli P460NL1 basınçlı kap çeliği elektrik ark kaynağı (EAK) ve gaz metal ark kaynağı (GMAK) ile birleştirilmiştir. Farklı cins çelik birleştirmelerinin mekaniksel özellikleri çekme, eğme ve darbe çentik testinin yanı sıra sertlik ölçümü ile belirlenmiştir. Ayrıca birleştirmelerin mikroyapısı incelenerek böylece mikroyapı-mekanik özellik lişkisi belirlenmiştir.

Effects of Different Arc Welding Methods on P460NL1-HARDOX400 Steel Joint

Abstract

Keywords

HARDOX 400-P460NL1 steel couple; Gas metal arc welding; Electric arc welding, Mechanical properties; Microstructure. When the different properties are required, the different materials should be used together. Type of material, welding method and filler metal used in the joining of different materials are important factors which affect the joining quality. Therefore, the Hardox steel that have high wear resistance and toughness and P460NL1 pressure vessel steel that have high working temperature resistance were welded with gas metal arc welding (GMAW) and electric arc welding (EAW) methods. The mechanical properties of dissimilar steels weldment were determined by tensile, bending and Charpy impact tests and the hardness measurement was carried out. In addition, the microstructure of the dissimilar steel weldment were determined.

1. Giriş

Endüstriyel uygulamalarda farklı metallerin maliyeti azaltmakla beraber kaynağı, uygun mekanik özelliklerin sağlanması açısından artan bir uygulamaya sahiptir (Yashar et al. 2015, Roberts et al. 1985). Nükleer reaktörler, motor silindirleri, kompresör, türbinler gibi birçok endüstriyel alanda kullanılan yüksek sıcaklık şartlarında çalışabilen basınçlı kap çelikleri ile farklı çelik sınıfları birleştirilmesi sıklıkla uygulanmaktadır (Shenhua et al. 2015). Hem yüksek sıcaklıklarda çalışma dayanımı hem de korozyon ve aşınmaya karşı direnç istenilen durumlarda basınçlı kap çelikleri ile yüksek aşınma ve tokluğa sahip Hardoks çelikleri

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

birleştirmesi uygulanabilmektedir. Hardoks tipi çelikler piyasada bulunan bazı yüksek dayanımlı çeliklere göre aşınmaya karşı en az beş kat daha uzun ömürlüdür (Yilmaz et al. 2005). Hardoks çeliğinin tokluğunun yüksek olması, bu çeliği darbelere karşı güçlü kılmaktadır (Metlioğlu et al. 2012, Chiarelli et al. 2000, Chamarthi et al. 2003).

Farklı cins malzeme birleştirmesinde kaynak yöntemi, her iki malzeme özellikleri göz önünde bulundurularak seçilir (Avery,1991,Ryder and Dahms 1990,Kotecki and Rajan 1997). İnce taneli basınçlı kap çeliklerinin ergitme kaynağı sonrasında en önemli problem kaynak sonrası ITAB'da tane büyümesine bağlı yüksek tokluğun azalmasıdır [3]. Kaba taneli yapı ITAB'da tokluğu düşüren ana faktörlerden birisidir. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş olarak servis edilen Hardoks çeliklerinin kaynağında termal çevrimin etkisiyle ITAB'da temperleme etkisi sertliğin ve dayanımın düşmesine neden olur (Frydman et al. 2008). Kaynak yöntemine bağlı olarak, birleştirme sonrası soğuma hızı farklılık göstermektedir. Bu durum birleştirmenin kaynak metali ve ITAB bölgesini etkilemektedir.

Farklı malzemelerin birleştirilmesinde ergitmeli ve ergitmesiz kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Basınçlı kap çeliklerinin yaygın olarak birleştirildiği kaynak vöntemleri örtülü elektrotlarla gerçekleştirilen metal ark kaynağıdır (Tomasz,2011). Örtülü elektrot ile ark kaynak yönteminde en önemli unsur kaynak esnasında birleştirilen malzemeye uygun elektrot seçimidir. Hatalı yapılacak elektrot seçimi zaman ve malzeme kaybına neden olabilmektedir (Kahraman et al. 2002). Farklı malzeme birleştirilmesinde en çok kullanım alanı bulan kaynak yöntemlerinden birisi de gaz metal ark kaynak (GMAK) tekniğidir (Praveen et al. 2005, Tusekand Suban 2000). Yöntemin otomatik olarak uygulanabilmesi, kaynak sonrası temizleme gerektirmeyişi, yüksek kaynak hızı ve tüm kaynak pozisyonlarında kolaylıkla yapılabilmesi yöntemin avantajlarındandır (Raymond, 1984).

Yapılan literatür incelemelerinde Hardoks çeliklerinin kaynağı ve basınçlı kap çeliklerinin kaynaklı birleştirme çalışmaları mevcut olmakla birlikte bu iki çeliğin birbiri ile kaynağı hakkında bir çalışmaya rastlanılmamaktadır. herhangi Çalışmanın amacı farklı malzeme çifti olan Hardoks400 ile P460NL1 basınçlı kap çelik çiftinin birleştirilebilirliğinin araştırılması ve kullanılan ilave metal ve kaynak yöntemi farkının birleştirme mekanik özelliklerine ve mikroyapısına etkisinin araştırılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

Gaz metal ark kaynak (GMAK) ve elektrik ark kaynak (EAK) kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen numunelerin mekanik özellikleri çekme, eğme ve darbe çentik testi ile tespit edilmiş ve sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı cins çelik birleştirmesinin mikroyapısı incelenerek, mikroyapı-mekanik özellik ilişkisi değerlendirilmiştir.

2.1.Ana malzeme ve kaynak ilave metali

Bu çalışmada 10 mm kalınlığında Hardoks400 çeliği ile P460NL1 basınçlı kap çeliği GMAK yöntemi ile Ø 1mm capindaGMn3NiCrMo ilave tel, M21: Ar + %5-25 CO₂ koruyucu gaz karışımı kullanılarak birleştirilmiştir. EAK yöntemi ile aynı kalınlıktaki Hardoks 400-P460NL celik cifti, Ø3.25 capında E46 1NiB42H5 bazik karakterli kaynak elektrotu kullanılarak birlestirilmistir. Her iki kaynak yönteminde de 200-250°C sıcaklık aralığında ön ısıtma uygulanmış ve pasolar arası geçiş sıcaklığı 150-175°C olarak ayarlanmıştır. Deneyde kullanılan Hardoks400, P460NL1 celiklerinin ve kullanılan ilave tel/elektrot kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1.Ana malzeme ve kaynak ilave metali kimyasalbileşimi (% ağırlık)

Malzeme	с	Si	Mn	Ρ	s	Cr	Мо	Ni	Ti	Cu	Fe
HARDOKS400	0.14	0.27	1.17	0.01	0.003	0.43	0.005	0.014	0.026	-	Kalan
P460NL1	0.22	0.45	1.52	0.02	0.006	0.3	0.005	0.2	0.024	0.2	Kalan
GMn3NiCrMo/ ilave tel	0.09	0.75	1.6	-	-	0.55	0.25	0.6	-	0.2	Kalan
E4661NiB42H5/ elektrot	0.07	0.4	1.15	-	-	-	-	0.9	-	-	Kalan

2.2.Numunelerin Kaynak Hazırlığı ve Kaynak İşlemi

Deneysel çalışma için her iki kaynak yöntemi ile birleştirilecek olan Hardoks400-P460NL1 çelik çifti 10x250x500mm ebatlarında kesilerek hazırlanmıştırNumune yüzeyleri kaynak öncesi tel fırça ile oksit, yağ vb. atıklardan temizlenmiştir. tasarımı 1'de Kaynak Şekil gösterilmiştir.Birleştirmede kullanılan kaynak parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Deney numunelerinin her iki yüzeyinden 2.5 mm taşlama ve sonrasında zımparalama yapılarak 5 mm kesitkalınlığına düşürülmüştür.



Şekil 1.Kaynak tasarımı

2.3.Mekanik Deneyler

TS EN ISO 4136 standardına uygun hazırlanan numunelerin çekme deneyi 50kN kapasiteli

SHIMAZDU marka cihazda 5mm/dak. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe deneyleri TS EN ISO 9016 standardına göre, oda sıcaklığında, 200°C ve -50°C sıcaklıkta test edilmiştir. Her bir şart için 3 adet deney numunesi MOHR&FEDERAF AG PSW 13/15 marka darbe çentik cihazında test edilmiştir. TS EN ISO 5173 standardına uygun hazırlanarak numuneler eğme deneyine tabi tutularak belirlenmiştir. Deney 10 ton kapasiteli ALŞA marka üniversal hidrolik çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Kaynak parametreleri ve paso sayısı, a) EAK, b) GMAK kaynağı.

a) Paso	Yöntem	Çap	İlave metal	Akım (A)	Voltaj (V) Akım tipi	Hız (mm/dak)	Isı Girdisi(kj/mm)
1.	111	Ø 3.2	E 4661NiB42H5	120-130	N\A	DC(+)	N\A	N\A
2.	111	Ø 3.2	E 4661NiB42H5	120-130	N\A	DC(+)	N\A	N\A
3.	111	Ø 3.2	4661NiB42H5	140-150	N\A	DC(+)	N\A	N\A
4.	111	Ø 3.2	4661NiB42H5	140-150	N\A	DC(+)	N\A	N\A
b)								
1.	135	Ø 1	G Mn3NiCrMo	140-150	32-33	DC(+)	680-690	N\A
2.	135	Ø 1	G Mn3NiCrMo	140-150	32-33	DC(+)	680-690	N\A
3.	135	Ø 1	G Mn3NiCrMo	160-170	33-34	DC(+)	700-710	N\A
4.	135	Ø 1	G Mn3NiCrMo	160-170	33-34	DC(+)	700-710	N\A

2.4. Mikroyapı ve Mikrosertlik İncelemesi

Metalografi numuneleri klasik numune hazırlama yöntemleri uygulanarak hazırlanmıştır. Numuneler %2'lik nital ile 5 sn dağlanmıştır. Birleştirmelerin kırılma yüzeyleri ise Zeiss Ultra Plus marka SEM mikroskobunda değerlendirilmiştir.Sertlik ölçümü ana metalden kaynak metaline doğru belirli ölçüm sırası ile SHIMADZU marka mikrosertlik ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Batıcı uca 500g yük uygulanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Çekme Deney Sonuçları

Hardoks400-P460NL1 farklı cins çelik çifti EAK ve GMAK birleştirmelerinin çekme testi sonucu elde edilen gerilme-%uzama eğrileri ve ortalamaları Şekil 2a ve b'de gösterilmiştir. Şekil 2a'dan görüldüğü gibi, Hardoks400-P460NL1 EAK birleştirmesinin ortalama çekme dayanımı 630 MPa, akma dayanımı 525 MPa ve yüzde uzaması %11.5 olarak bulunmuştur. Test sonucunda kopmalar kaynak metali-P460NL1 ana metal geçiş bölgesinden, yani ITAB'dan meydana gelmiştir. Şekil 2 b'den görüldüğü gibi GMAK'lı Hardoks400-P460NL1 birlestirmesinin ortalama cekme dayanımı 653MPa, akma dayanımı 455MPa yüzde uzama miktarı %17,5 olarak tespit edilmiştir. Test sonrasında numunelerde kopma P460NL1 ana malzemeden gerçekleşmiştir. Her iki birleştirme dayanımları kıyaslandığında çekme GMAK yöntemiyle yapılan birleştirme dayanımı 23MPa, uzama miktarı ise %6 daha fazla bulunmuştur. Ayrıca dikkat çeken bir diğer husus EAK birleştirmesi belirgin bir akma davranışı gösterirken, GMAK birlestirmelerde bu akma davranışı daha belirgin oluşmuştur. az



Şekil 2.Çekme test sonucu a) EAK, b) GMAK.

EAK birleştirmelerde daha yüksek ısı girdisi kaynak sonrası soğuma hızını düşürdüğü için birleştirme ITAB'da daha fazla tane irileşmesi nedeniyle daha düşük bir dayanımave dolayısı ile bu bölgeden kopmalara neden olduğu düşünülmektedir. Literatürde kaynak metalinde oluşan kaba taneli vapinin, kaynak metali mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir (Lothongkum et al. 2001).

Birleştirmelerin çekme testi sonrası SEM kırık yüzey görüntüleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çekme testi kırık yüzeyleri, a) EAK b) GMAK. Şekil 3'den görüldüğü gibi EAK ve GMAK kaynaklı birleştirmelerin çekme numunelerinde kesit daralması ve yüzeydeki çukurcuklar kırılma karakteristiğinin sünek olduğuna işaret etmektedir.

3.2. Birleştirmelerin Sertlik Ölçümü Sonucu

Birleştirmelerin sertlik ölçüm sonucu Şekil 4'de gösterilmiştir. Hardoks400 sertliğinin kaynak metali ve ITAB sertliğine oranla oldukça yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Hardoks400 çeliği yapısındaki martenzit fazı yüksek sertliğin ve dolayısıyla akma ve cekme dayanımının sorumlusudur. En düşük sertlik ise P460NL1 ITAB kaba taneli bölgesinde ölçülmüştür. Bu durum neden çekme numunesinin bu bölgeden koptuğunun delilidir.



Şekil 4. Birleştirmelerin sertlik dağılımı.

Şekil 4'ten görüldüğü sertlik Hardoks400 çelik ana malzemeden kaynak metaline doğru kaynak metalindeki seyrelme ve termal çevrim etkisiyle yapısal dönüşümle azalmaktadır. P460NL1 çelik tarafında ise kaynak metaline doğru sertlikte 10 HV_{0.5} bir artış görülmektedir.EAK birleştirmenin kaynak metali sertliği ortalama 300HV_{0.5.} GMAK birleştirmenin ise ortalama 305HV0.5 olarak ölçülmüştür.EAK yöntemiyle birleştirilen numune ITAB sertliğinin azda olsa daha düşük olması, tane boyutunun daha kaba olduğuna işaret etmektedir.EAK yöntemi ısı girdisinin GMAK ısı girdisine göre daha yüksek oluşu daha iri taneli yapı oluşumuna neden olarak sertliğin düşmesine neden olduğu düşünülmektedir.

3.3. Çentik darbe sonuçları

Çalışmada standart altı hazırlanan çentik darbe numuneleri -50°C, oda sıcaklığı ve 200°C sıcaklıkta test edilmiştir. Test sonucu grafiksel olarak Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Darbe çentik test sonuçları.

Şekil 5'ten görüldüğü gibi EAK ve GMAK yöntemi ile birlestirilen Hardoks400-P460NL1 çeliklerinin kaynak metali darbe çentik tokluğu azalan test sıcaklığıyla beraber azalma göstermektedir. EAK birleştirilen vöntemiyle numune krivojenik sıcaklıklardan oda sıcaklığına geçerken tokluğu 93.4 J/cm²'lik bir artış, test sıcaklığı oda sıcaklığından 200°C sıcaklığa çıkarıldığında ise 16.6 J/cm²'lik bir artış göstermiştir. GMAK yöntemi ile birleştirilen numune tokluğu ise kriyojenik sıcaklıklardan oda 97J/cm²'lik sıcaklığına geçerken bir artış gösterirken, oda sıcaklığından 200°C test sıcaklığa çıkarıldığında ise 10J/cm²'lik bir artış göstermiştir. EAK birleştirmelere kıyasla GMAK birleştirmelerin tokluğu daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun sebebinin kullanılan ilave metal kimyasal kompozisyon farkına ve kaynak yöntemi ısı girdisi farkına bağlı olduğu düşünülmektedir.

EAK ve GMAK yöntemleriyle birleştirilen numunelerin çentik darbe testi sonrası kırılma yüzeyleri Şekil 6a-c ve Şekil 7a-c'de gösterilmiştir. Şekil 6a ve 7 a'da görüldüğü gibi -50 °C sıcaklıkta her iki EAK ve GMAK birleştirmelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde klivaj, düzlemsel ayrılmalar kırılmanın gevrek olarak gerçekleştiğine işaret etmektedir.



Şekil 6. EAK birleştirmesinin kırılma yüzey görüntüleri, a) -50 °C, b) oda sıcaklığı,c) 200 °C.

Şekil 7.GMAK birleştirmesinin kırılma yüzey görüntüleri, a) -50 °C, b) oda sıcaklığı,c) 200 °C.

Oda sıcaklığı ve 200 °C sıcaklıklar için EAK ve GMAK birleştirme kırılma yüzeyleri girintili çıkıntılı çukurcuklarla dolu (dimple) dolayısıyla, kırılmanın sünek gerçekleştiğine işaret etmektedir (Şekil 6b ve c, Şekil 7b ve c). Ayrıca her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen numune kırılma yüzeylerinde çukurcuk içlerinde çatlak başlangıcına sebep olduğu düşünülen oluşumlara da rastlanmıştır. Her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen numune darbe çentik testi sonrası kırılma yüzeylerinden noktasal EDS analizi alınmıştır (Şekil 8 a,b).

Şekil 8 a ve b'den görüldüğü gibi kırık yüzey SEM görüntüsünde çukurcuk içlerinde Mn, Si ve Cr oksit türevi inklüzyon oluşumlarına rastlanılmıştır.

Şekil 8. Kaynak metali nokta EDS analizi, a)EAK, b)GMAK.

3.4. Eğme deney sonuçları

Birleştirmelerin şekillendirilebilirliği üç nokta eğme deneyi ile belirlenmiştir. Deney sürecinde 180°katlanan numune görüntüsü Şekil 9ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

Şekil 9 ve Şekil 10'da görüldüğü gibi EAK ve GMAK birleştirmeleri kaynak kökünde 180° eğmeye bağlı olarak herhangi bir çatlak oluşmamıştır. Bu durum birleştirmelerin şekillendirilebilirliklerinin iyi olduğuna işaret etmektedir.

b)

Şekil 10.GMAK eğme deney numunesi.

3.5. Birleştirmenin Mikroyapı İncelemesi

EAK ve GMAK birleştirmelerinden elde edilen mikroyapı görüntüleri sırasıyla Şekil 11 a-e ve Şekil 12 a-e'de gösterilmiştir.

Şekil 9. EAK eğme deney numunesi.

Şekil 11.EAK birleştirmesinin mikroyapı görüntüleri a) P460NL1ana malzeme,b) Kaynak metali, c) Hardoks400 ana malzeme, d) P460NL1 ITAB e) Hardoks400 ITAB.

Şekil 12.GMAK birleştirmesinin mikroyapı görüntüleri a) P460NL1ana malzeme,b) Kaynak metali, c) Hardoks400 ana malzeme, d) P460NL1 ITAB e) Hardoks400 ITAB.

Şekil 11 a ve 12 a'dan görüldüğü gibi P460NL1 ana malzeme ince taneli ferrit, perlit ve beynit fazlarından meydana gelmiştir. Ayrıca haddeleme bantlaşma doğrultusunda yapıda göze çarpmaktadır. Hardoks400 çeliğinin yapısı ise martenzit fazından oluşmaktadır (Şekil 11 c ve 12 c). Her iki birleştirme kaynak metali mikroyapısı kaynak öncesi ön tav ısıl işlemi ve çok pasolu kaynak uygulamasının temperleme etkisine bağlı olarak kaba poligonal ferrit yanısıra levhalı widmanstatten ferrit fazlarından oluşmuştur (Şekil 11 b ve 12 b). Birleştirmelerin kaynak metali tane yapısında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Birleştirmelerin Hardoks400 ITAB tarafı kaynak termal çevriminden etkilenerek martenzit, beynit ve ferrit fazlarından oluştuğu düşünülmektedir (Şekil 11 e ve 12 e). Şekil 11 d ve 12 d 'den görüldüğü gibi P460NL1 çeliği ITAB'ında ise ferrit ve perlit tane boyutunda kabalaşma göze çarpmaktadır.

4. Genel Sonuçlar

Çalışmada elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Her iki birleştirme çekme dayanımları kıyaslandığında GMAK ile yapılan birleştirme dayanımı yaklaşık 23MPa, yüzde uzama miktarı ise %6 daha yüksek tespit edilmiştir. Ayrıca dikkat çeken bir diğerhusus EAK birleştirmeleri belirgin bir akma davranışı gösterirken, GMAK birleştirmelerinde daha az belirgin oluşmuştur.

EAK ve GMAK birleştirmelerin çekme numunelerinde kesit daralması ve yüzeydeki çukurcuklar kopma karakteristiğinin sünek olduğuna işaret etmektedir.

Her iki birleştirme için en yüksek sertlik Hardoks400 ana malzemeden elde edilmiştir. Hardoks400 tarafıITAB sertliğikaynak metaline doğru gidildikçe düşmektedir. EAK kaynağı ile birleştirilen numune ITAB sertliğinin azda olsa daha düşük olduğu, tane boyutunun daha kaba olduğuna işaret etmektedir. EAK birleştirmelerin ısı girdisinin GMAK birleştirmelerin ısı girdisine göre daha yüksek oluşu daha iri taneli yapı oluşumuna neden olarak sertliğin daha düşük bulunmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Her iki birleştirmenin darbe çentik dayanımının artan test sıcaklığıyla arttığı tespit edilmiştir.

-50°C sıcaklıkta her iki EAK ve GMAK birleştirmelerin çentik darbe numuneleri kırılma yüzeylerinde gevrek kırılmanın oluştuğuna işaret ederken, oda sıcaklığı ve 200°C sıcaklıklar için her iki yöntemle birleştirilen numunelerin sünek kırılma davranışı ile kırıldığına işaret etmektedir. Ayrıca her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen malzeme kırılma yüzeylerinde çukurcuk içlerinde çatlak başlangıcına sebep olan oksit inklüzyonu olduğu düşünülen oluşumlara da rastlanmıştır.

Birleştirmelerin eğme deneyleri sonucu her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen numunede de herhangi bir çatlak oluşmamıştır. Bu durum birleştirmelerin şekillendirilebilirliğinin daha iyi olduğuna işaret etmektedir.

Her iki birleştirme kaynak metali ve ITAB mikroyapısının benzerlik gösterdiği tespit edilmiş, kaynak metali yapısı öntav ve çok pasolu kaynak uygulamasının temperleme etkisine bağlı olarak kaba poligonal ferrit yanı sıra levhalı widmanstatten ferrit fazlarından oluştuğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Çalışma Tübitak 2209-A BİDEB öğrenci projesi olarak desteklenmiştir. Birleştirmeler kaynak mühendisi Kadir Beyenal tarafından yapılmıştır.Hardoks çeliği Şeref Günaltay aracılığı ile Sezgin Sac firmasından, P460NL1 çeliği ise Orhan AYDIN aracılığı ile ISISAN A.Ş. firmasından temin edilmiştir.Adı geçen kurum ve kişilere teşekkür edilir.

Kaynaklar

- Avery, R.E., 1991. Pay attention to dissimilar-metal welds: guidelines for welding dissimilar metals,*Nickel Development Institute*, Series No: **14018**, 28-29.
- Chamarthi,S., Sinivasa,N. Kumar, R.M., Elipey, D.V. and Ramana, R., 2013. Investigation Analysis of plasma arc cutting parameters on the unevenness surface of Hardox-400 Material,*Procedia Engineering*, **64**, 854– 861.
- Chiarelli, M., Lanciotti, A. and Sacchi, M., 2000. Effect of plasma arc cutting on the fatigue resistance of Fe510 DI steel, *Engineering Materials and Technology*, **122**,

141-142.

- Frydman,S., Konat,L. and Pkalski,G.,2008. Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 8, 4,15-27.
- Kahraman, N., Gülenç, B. and Akça, H., 2002. Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **17**, 2, 75-85.
- Kotecki, D.J. and Rajan, V.B.,1997. Submerged arc fillet welds between mild steel and stainless steel. *Proc. Conf. Adv. Weld. Technol., Joining High-Perf. Mater.*, Edison Welding Inst., Columbus, OH, 33–58.
- Lothongkum,G., Viyalit,E. and Bhandhubanyong,P. 2001. Study on the effects pulsed TIG welding parameters on delta-ferrite content, shape factor and bead quality in orbital welding of AISI 316L stainless steel plate, *Journal of Materials Processing Technology*, **110**, 233-238.
- Metlioğlu,M.R.,Uzun,M.Gökkaya,H. and Boca, G.D. 2012. The effect of machining parameters on surface roughness in the drilling of Hardox400, XXVI. MicroCAD International Scientific Conference, Hungary, 1-6.
- Praveen, P., Yarlagadda, PKDV. And Kang M.J., 2005. Advancements in pulse gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, **164**-**165**, 1113-1119.
- RaymondJ.S., 1984. Essentials of welding, Glencoe publishing company, California, 327-334.
- Roberts D.I., Ryder, R.H. and Viswanathan R., 1985. Performance of dissimilar welds in service*J. Press. Vessel. Technol.*, **107**, 247–254.
- Ryder R.H. and Dahms C. F., 1990. Design criteria for dissimilar metal welds. *Welding Res. Council Bull.***350**, 1-11.
- Shenhua, S., Huajun, S. andMeng, W.2015. Effect of rare earth cerium on brittleness of simulated welding heat-affected zones in a reactor pressure vessel steel. *Journal of Rare Earths*, **33**, 11, 1204– 1211.
- Tomasz,K., 2011. Resistance to cold cracking of welded joints made of P460NL1 steel,*Advances in Materials Science*,**11**, 3, 20-27.

- TusekJ., and SubanM., 2000. Experimental research of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in arc welding of high-alloy stainless steel, *International Journal of Hydrogen Energy*, **25**, 4, 369–376.
- Yashar, J. and Masoud, A., 2015. Sub-surface stress measurement of cross welds in a dissimilar welded pressure vessel. *Materials & Design*, **85**, 82–90.
- Yilmaz,R., Gedikli,M. and Barlas, Z., 2005. Hardox 400 Çeliğinin Sert Dolgu Kaynağında Paso Sayısının Sertliğe, Aşınmaya ve Mikroyapıya Etkisi, *Teknoloji*,**8**,1, 57-64.