

AISI 1040 ÇELİK ÇİFTİNİN KPTA KAYNAĞINDA PLAZMA GAZ DEBİSİNİN NÜFUZİYET DERİNLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

¹Tanju TEKER, ²Niyazi ÖZDEMİR

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, 02040 Adıyaman/Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ/Türkiye

tteker@hotmail.com , nozdemir@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, 10 mm kalınlığında AISI 1040 çelik çifti alın pozisyonunda, kaynak ağızı açmaksızın, anahtar deliği plazma transfer ark (KPTA) kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynak sonrası, numunelerin ara yüzeyinde meydana gelen yapısal değişim optik mikroskop ve mikrosertlik test yardımı ile incelenmiştir. Ayrıca; kaynaklı numunelerin bağlantı mukavemetini belirlemek amacıyla, çentik darbe testi uygulanmıştır. Sonuç olarak, plazma gaz debisindeki artış nüfuziyet derinliğini artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: KPTA kaynağı, AISI 1040, Plazma Gaz Akış Oranı

THE EFFECT ON PENETRATION DEEP OF PLASMA GAS FLOW RATE IN KPTA WELDING OF AISI 1040 STEEL COUPLE

Abstract

In this study, AISI 1040 steel couple of 10 mm thick were welded in the butt position without pretreatment by keyhole plasma transferred arc (KPTA) welding process. After welding, in order to determine microstructural changes occurred in the interface of welded samples were examined by optical microscopy and microhardness test. Also, in order to determine mechanical properties of welded samples, the notch charpy tests were conducted. As a result of, penetrasyon deep has increased with high of plasma gas flow rate.

Keywords: KPTA Welding, AISI 1040, Plasma Gas Flow Rate

1.Giriş

Plazma transfer ark (PTA) kaynağı; TIG kaynak yöntemine benzer bir şekilde, ergimeyen tungsten elektrod ile malzeme arasında oluşturulan ark ile ısı transferi yoluyla, metallerin birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gaz ark kaynak yöntemi olarak tanımlanabilir. Ancak; PTA kaynağı TIG kaynağından, elektrodun torçdaki konumu ve arkın iletim mekanizması açısından farklılık göstermektedir. Bu yöntemde kullanılan torç; merkezde tükenmeme özelliğine sahip %2 toryumlu tungsten elektrod, küçük bir çıkışı olan daraltılmış bir nozul ve daha dışta koruma gazının sağlandığı, diğer gaz nozulundan oluşur. İç nozuldan gelen gaz, ark tarafından ısıtılır ve genişleyerek yüksek hızla dışarı çıkar. Bu gaz, kaynak bölgesini atmosferden korumak için yeterli değildir. Bunun için dış nozuldan 10 ile 30 lt/dak. debi ile koruma gazı sağlanır. Koruyucu gaz; kaynak havuzunu katılma ve soğuma sırasında atmosferin olumsuz etkilerinden korumak için gerekir. Kullanılan gazın özellikleri; kaynak şeklini, kaynak kalitesini, akım aralığı ve kaynak hızını belirler. Ark; yüksek yönlenme şiddeti sağlamak amacıyla, bakır alaşımlı bir nozul içerisinde daraltılır. Bir plazma torcunda, elektrodun etrafından gelen argon gazı, tungsten elektrod ve nozul arasındaki pilot ark sayesinde iyonize olmaktadır. Böylece; iletken hale gelen plazma gazı, nozulun dar uç kısmından geçerek bir sütun halinde parçaya iletilmektedir. Soğutma sisteminden gelen soğutucu sıvı ise özel kanallardan geçerek torca gitmekte ve buradaki ısıyı alarak, tekrar soğutucuda kapalı devre soğutmaktadır [1].

Anahtar deliği (KPTA) kaynak tekniğinde, metalden metale değişen bir kalınlık aralığında kullanılan gaz akımı, akım şiddeti ve kaynak hızının uygun ayarlanması ile malzemeyi derinliğine kat eden bir anahtar deliği (keyhole) ile kaynak banyosu oluşturulabilir [2-5]. Plazma arkı; anahtar deliği oluşturmak için parçanın derinliğine doğru girdiğinden, ergiyen metal parçanın yüzeyine doğru çıkar. Plazma ark torcu, kaynak bağlantısı doğrultusunda hareket ettiğinde arkın ön kısmında bulunan ergimiş metal plazma arkının kenarlarından dolaşarak arkaya doğru hareket eder ve orada katılır. KPTA, genel olarak yatay pozisyonda 1.5-10 mm kalınlık aralığındaki malzemelere bir ilave kaynak metali kullanarak ya da kullanmayarak uygulanır. Bununla beraber, uygun kaynak koşulları sağlanarak bazı metal kalınlıklarında da her pozisyonda kaynak yapılabilir. KPTA tekniğinin en önemli üstünlüğü, kaynağın tek pasoda yapılabilmesidir. Yöntem; karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum alaşımları ve bakır alaşımlarının kaynağında kullanılır [5-7]. Martikainen (1995), yapı

çeliklerinin anahtar deliği plazma ark kaynağında yüksek kalitede kaynak yapmanın şartlarını incelemiştir. Anahtar deliği PTA kaynağının; yapı çelikleri için çok uygun bir metot olduğunu, özellikle basınçlı tekneler, büyük çaplı borular, geniş plakalarda lazer ışın kaynağı ve elektron ışın kaynağı kadar başarıyla kullanılabilceğini tespit etmiştir [8].

Yapılarındaki karbon oranlarına göre karbonlu çelikler kendi aralarında; düşük karbonlu çelikler (%0.005-0.3 C), orta karbonlu çelikler (%0.3-0.8 C) ve yüksek karbonlu çelikler (%0.8-1.7 C) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Orta karbonlu çelikler, ısıl işlemlere oldukça yatkındır. Dayanımları, düşük karbonlu çeliklere oranla daha iyidir. Sünekliği, düşük karbonlu çeliklere yakındır. Normal soğutmalarda yapıda oluşan perlit nedeniyle düşük karbonlu çeliklere göre, sert ve mukavemetlidir. AISI 1040 çelikleri transmisyon milleri, raylar, dişlilerde kullanılmaktadırlar [9].

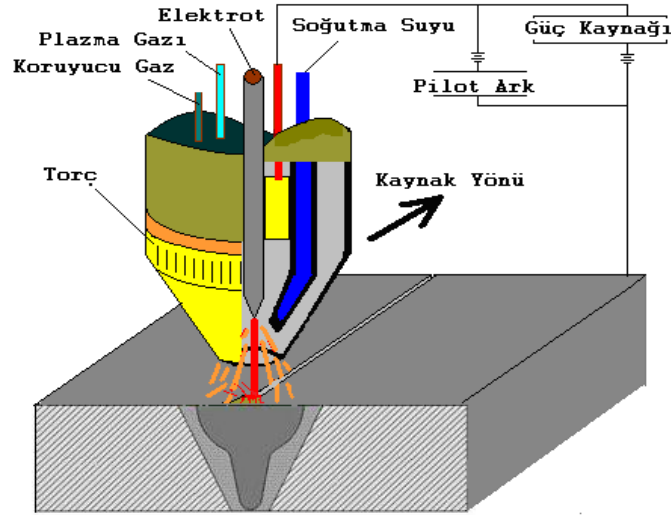
Bu çalışmada, 10 mm kalınlığında AISI 1040 çelik çifti alın altına anahtar deliği plazma transfer ark kaynak (KPTA) yöntemi ile kaynak ağzı açmadan ve ilave kaynak metali kullanmadan birleştirilerek, plazma gaz debisinin birleşmeye etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

2. Materyal ve metot

Deneylerde, 50×50×10 mm ölçülerine sahip olan AISI 1040 çeliği kullanılmıştır. Bu çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1’ de verilmiştir. KPTA kaynak deneyleri, Thermal Dynamics PS 3000 marka plazma kaynak makinası ile Şekil 1’ de verilen düzende, Tablo 2’ de verilen parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, plazma gazı ve koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır.

Tablo 1. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi (%Ağırlık)

Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)							
Malzeme	Fe	C	Si	P	S	Cu	Mn
AISI 1040	97.9	0.391	0.158	0.034	0.022	0.310	0.655

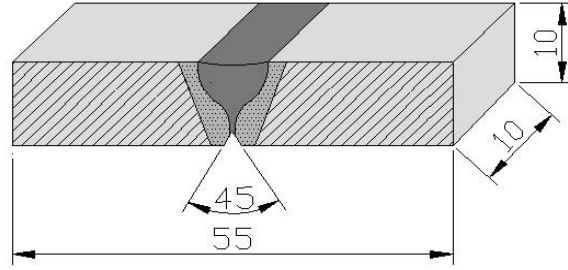


Şekil 1. KPTA yönteminin şematik görünümü

Tablo 2. KPTA kaynağında kullanılan işlem parametreleri

Numune No	Akım Şiddeti (A)	Plazma Gaz Debisi (lt/dak.)	Koruyucu Gaz Debisi (lt/dak.)	İlerleme Hızı (m/dak.)	Nozul Çapı (mm)
S1	130	2.4	20	0.01	3.2
S2	130	2.6	20	0.01	3.2
S3	130	2.8	20	0.01	3.2

Kaynak sonrası, numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişimi belirlemek amacıyla; numuneler birleşme hattına dik doğrultuda kesilerek, yüzeyleri 80-1200 zımpara ile zımparalandıktan sonra 3 µm' lik elmas pasta ile parlatılarak %98 alkol + %2 NHO₃ ile 3-5 saniye süreyle dağlanarak, optik yüzey fotoğrafları çekilmiştir. Daha sonra numunelerin mikrosertlik ölçümleri Leica MHT-10 marka test cihazında HV sertlik skalası ile 200 gr' lık yük altında 0.5 mm aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik davranışlarını belirlemek için ise, TS 138 EN 10002-1 standardına uygun olarak Şekil 2' de verilen ölçülerde çentik darbe test numuneleri hazırlanarak [10], Instron Wolpert PW30 marka çentik darbe test cihazında, 300 J kapasiteli çekiç uygulanarak yapılmıştır.



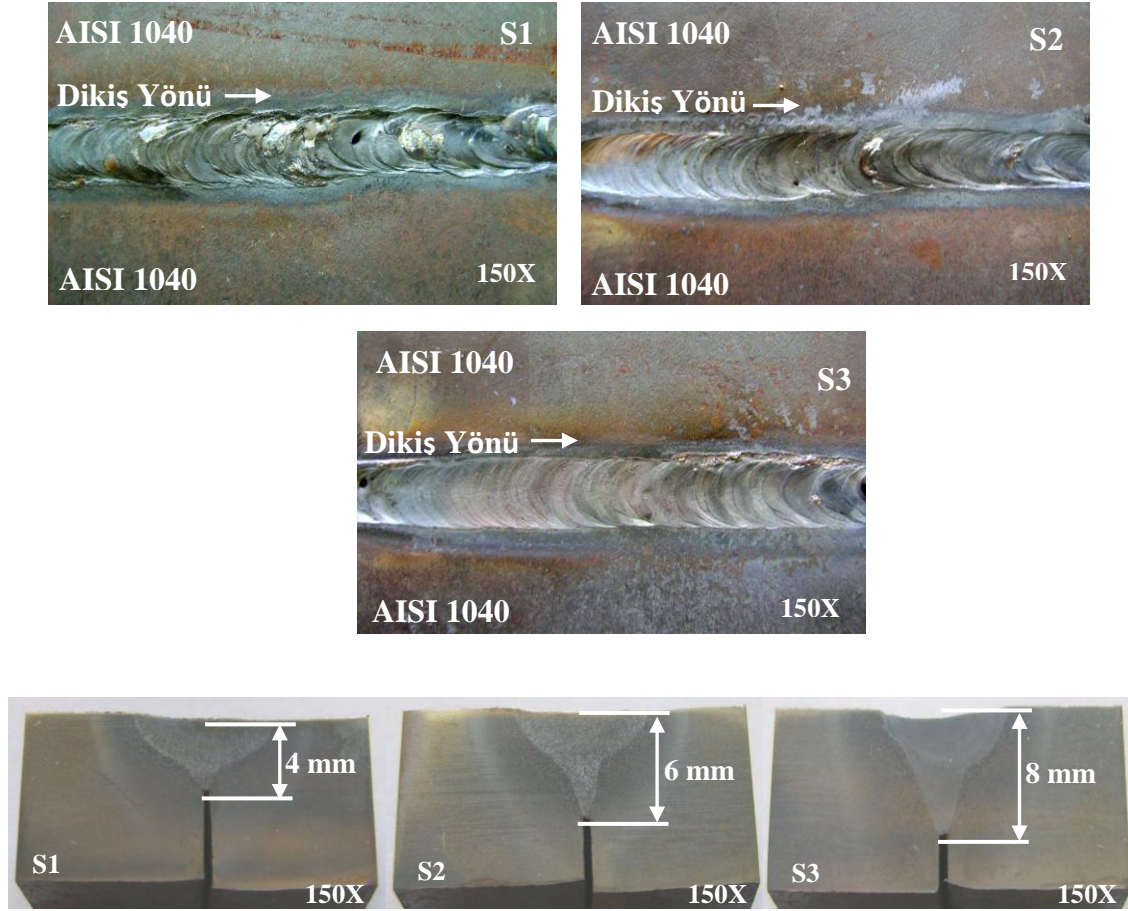
Şekil 2. Çentik darbe test numunesi ve ölçüleri

3. Sonuçlar ve Tartışma

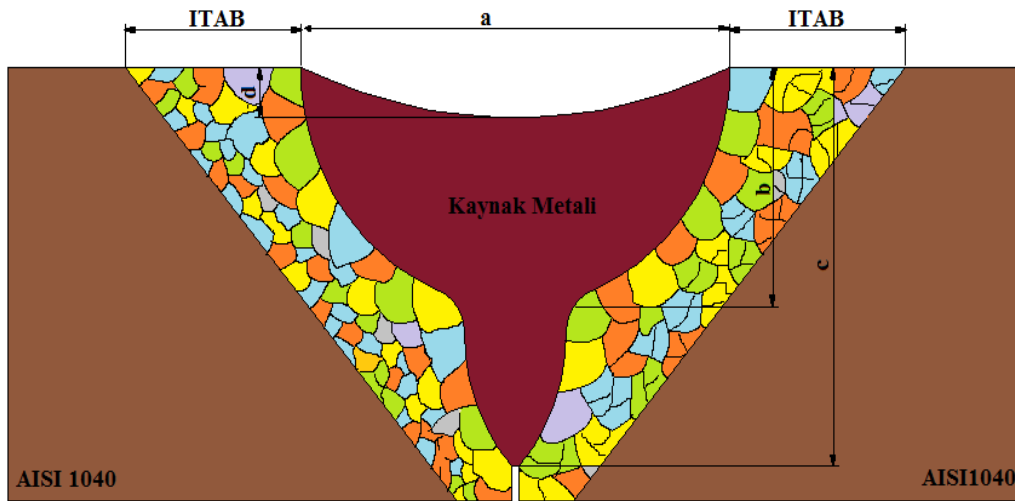
3.1. Makroyapı Değerlendirmesi

130 A akım şiddeti, sabit kaynak ilerleme hızı (0.01 m/dak.), üç farklı plazma gaz debisi (2.4, 2.6 ve 2.8 lt/dak.) kullanılarak birleştirilen S1, S2 ve S3 no' lu kaynaklı bağlantılara ait yüzey ve arayüzey makro fotoğrafları Şekil 3.a, b' de sırasıyla verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait fotoğraflar incelendiğinde (Şekil 3.a ve b), artan plazma gaz debisine bağlı olarak ergiyik metal genişliğinde genişleme ve penetrasyon derinliğinde ise artış kaydedilmiştir. Kaynak dikiş yapısı, düzgün bir krater yapısı sergilerken, çatlak ve gözeneklerin olmadığı görülmüştür.

KPTA plazma kaynağı ile birleştirilmiş kaynaklı bağlantıların, yüzey ve ergiyik metalin profilindeki değişim a, b, c ve d harfleri ile kodlanarak Şekil 4' de şematik olarak verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinden alınan makro fotoğraflardaki ölçüm sonuçları (Tablo 3) değerlendirildiğinde, anahtar deliği profili boyutlarında önemli farklılıklar görülmekte olup, her üç kaynaklı bağlantı arayüzeyinde meydana gelen ergiyik metal profilinin anahtar deliği (keyhole) şekline yakın bir görünüm sergilediği açıktır. Kaynak dikiş genişliğinin ve ITAB' nin artan plazma gaz debisine bağlı olarak enerji girdisinin artmasıyla genişlediği görülmektedir. Nüfuziyet derinliği 4, 6 ve 8 mm, dikiş genişliği 8, 9 ve 10 mm ve ITAB' nin genişliği ise 2, 2.5 ve 3 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.a) S1, S2 ve S3 No' lu numunelerin kaynak yüzey makro görüntüsü,
b) S1, S2 ve S3 No' lu numunelerin kaynak arayüzey makro görüntüsü



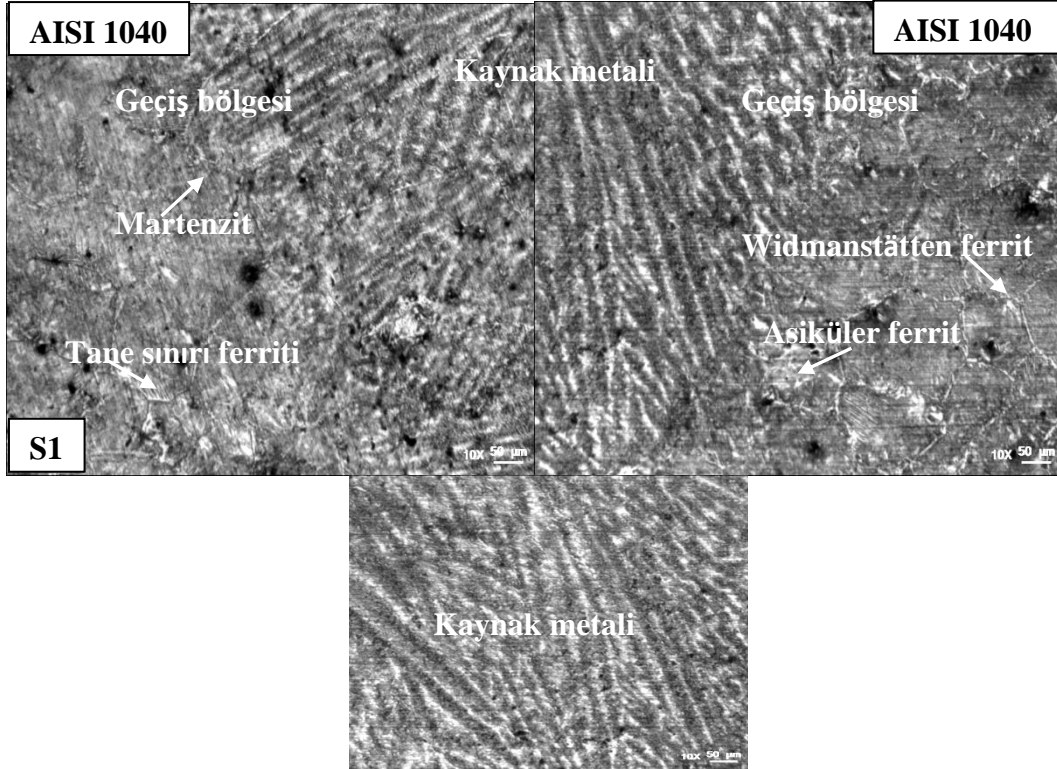
Şekil 4. KPTA yöntemi ile birleştirilen kaynaklı bağlantıların anahtar deliği profili boyutlarının şematik görünümü

Tablo 3. S1, S2 ve S3 numunelerine ait kaynak arayüzey geometrik parametreleri

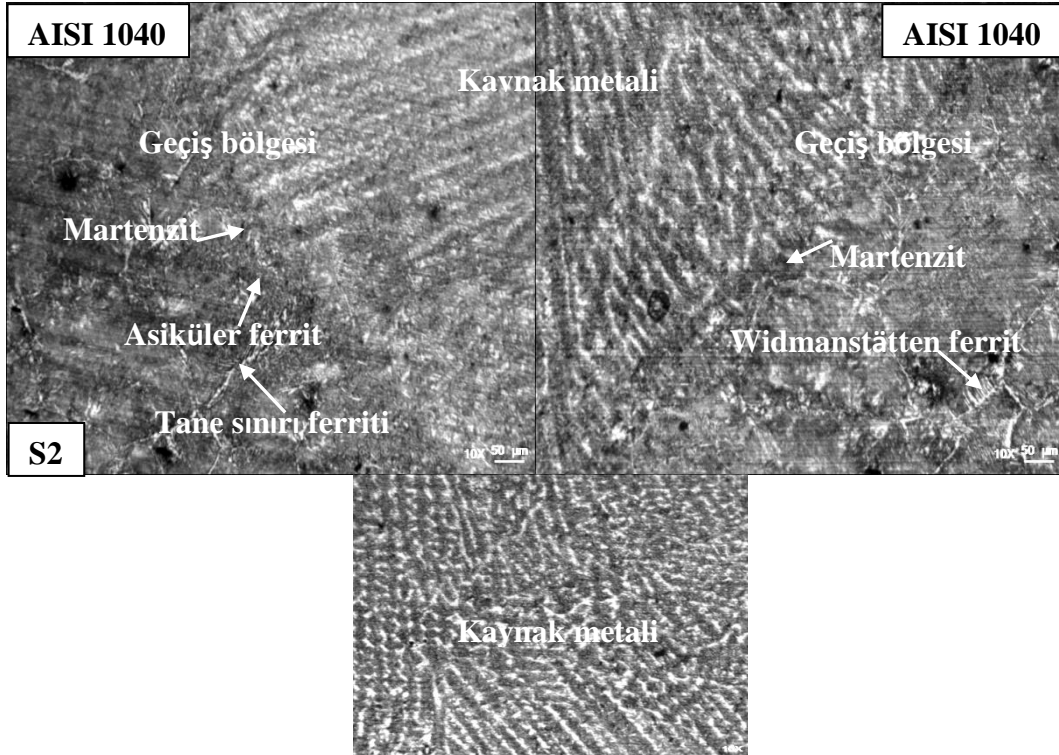
Numune No	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)
S1	8	3	4	-
S2	9	3	6	0.1
S3	10	3	8	0.2

3.2. Mikroyapı Değerlendirmesi

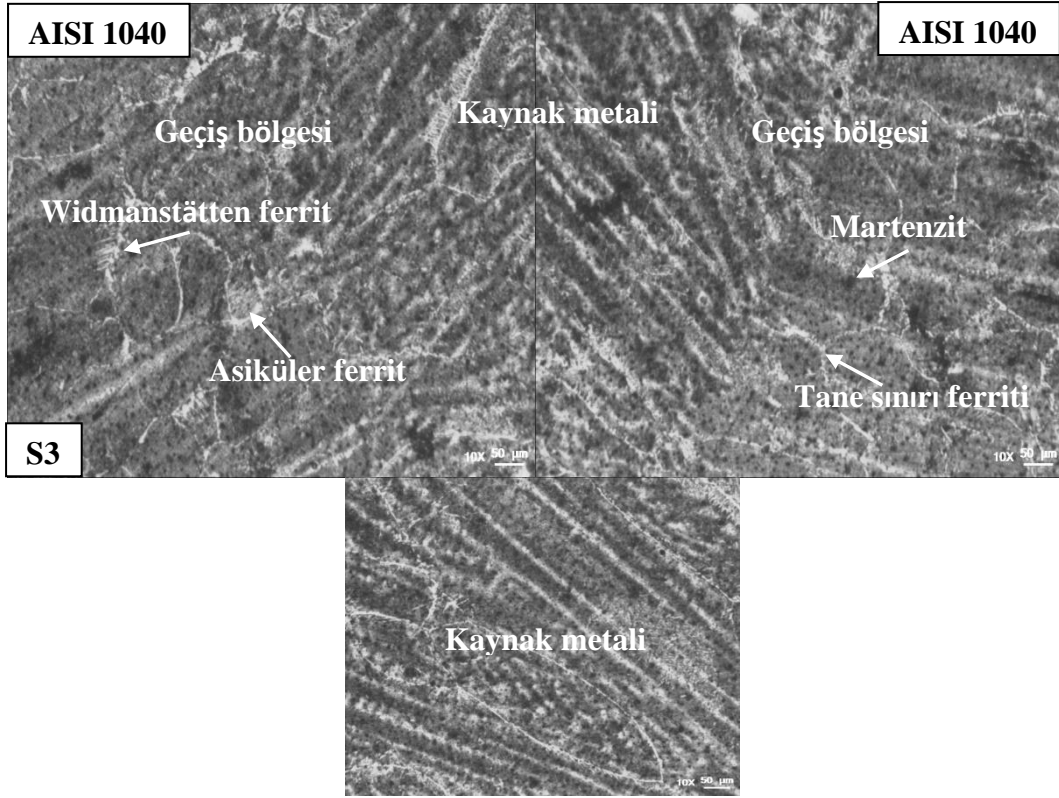
S1, S2 ve S3 no' lu kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde ortaya çıkan yapısal değişimi gösteren optik fotoğraflar Şekil 5, 6 ve 7' de verilmiştir. Kaynaklı bağlantıların birleşme arayüzeyi üzerinden alınan mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, kaynak havuzuna bitişik her iki geçiş bölgesinde çatlak, boşluk ve bağlantısız bölgelerin olmadığı görülmektedir. Elde edilen bu mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, geleneksel ergitme kaynak yöntemlerinde ortaya çıkan mikroyapı ile temelde benzerlik göstermektedir. ITAB taraflarına doğru ilerledikçe, ısı girdisinin yapmış olduğu tavlama etkisiyle tane irileşmesinin olduğu ve daha sonra yapının hızlı soğuma etkisinde kalan kısmında ise küçük taneli homojen bölgeye dönüştüğü görülmektedir. Asiküler ferritler daha çok ergime sınırında ve malzemenin serbest yüzeylerinde, yani soğuma hızının yüksek olduğu kısımlarda oluşmuştur [11]. Ayrıca; bu bölgede, esas metale göre aşırı bir tane irileşmesi görülmektedir. Bu bölgeye bitişik nispeten dar bir aralıkta, yeniden kristalleşmiş bölge yer almakta ve bu bölgeyi, ana metal izlemektedir. İri taneli bölge ile küçük taneli bölge arasında tedrici bir geçiş vardır; yani taneler yavaş yavaş küçülmekte ve daha sonra tamamen küçülmüş tanelerden oluşan bölgeye geçilmektedir. Her üç kaynaklı bağlantıda, AISI 1040 tarafında dikişin hemen yanında, bol miktarda asiküler ferrit adacıkları yer almaktadır. İri taneli bölgede, tane sınırlarından başlayan çok sayıda widmanstätten ferrit, tane sınırı ferriti ve kaynak metali ile iri taneli bölge arasındaki geçiş bölgesinde, martenzitik bir yapının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5. S1 No' lu kaynaklı bağlantının arayüzeyinden alınan optik mikroyapı fotoğrafı



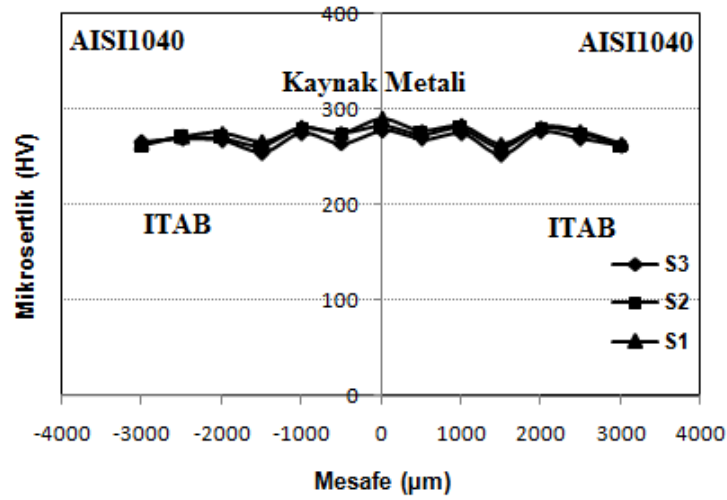
Şekil 6. S2 No' lu kaynaklı bağlantının arayüzeyinden alınan optik mikroyapı fotoğrafı



Şekil 7. S3 No' lu kaynaklı bağlantının arayüzeyinden alınan optik mikroyapı fotoğrafı

3.3. Mikrosertlik Test Sonuçları

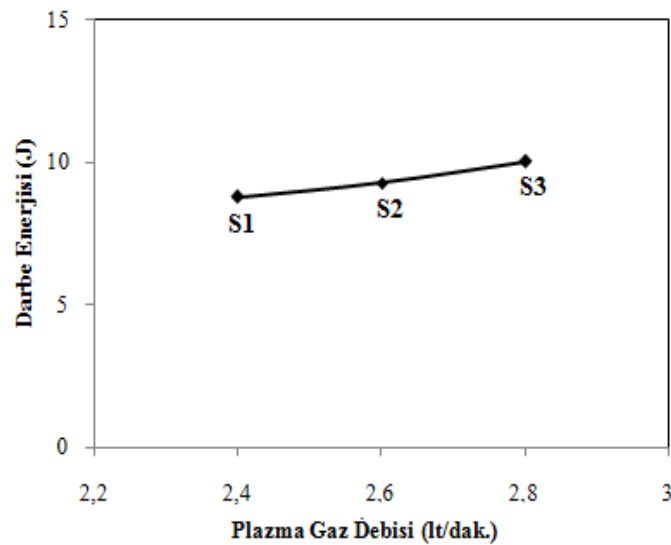
Kaynaklı bağlantıların mikrosertlik grafikleri, Şekil 8' de verilmiştir. Sertlik profilleri incelendiğinde, her üç numunede de benzer bir sertlik dağılımının ortaya çıktığı görülmektedir. Bu dağılım, kaynak merkezinde maksimum, esas metale doğru gidildikçe azalmıştır. Kaynak merkezinde elde edilen en yüksek sertlik değeri (S1= 290, S2= 283 ve S3= 278 HV)' dir. Merkezdeki bu yükselme AISI 1040' ın esas malzeme sertlik değerinden yüksek bir değerdir. Kaynak dikişi içerisinde mikrosertlik değerlerinin yüksek çıkması; ani soğuma sonucunda, martenzitik yapının ortaya çıkmasından ileri gelmektedir. Ancak; numunelerin mikrosertlik test sonuçları incelendiğinde, kaynak metaline uygulanan ısı girdisinin artması ile malzemenin soğuma süresi uzadığından yavaş soğuma sonucu, kaynak metalinde daha düşük sertlik değerlerinin olduğu görülmüştür. KPTA kaynağının yüksek enerji girdisi sağlaması nedeniyle, artan plazma gaz debisi ile sertlik değerleri azalma göstermiştir. Ayrıca, AISI 1040 tarafında dikişin hemen yanında sertlikte bir düşüş görülmektedir. Çünkü, bu bölge kısmen erimiş, karbonca fakirleşmiş ve tane büyümesinin meydana geldiği bölgedir.



Şekil 8. S1, S2 ve S3 Numunelerine ait mikrosertlik grafikleri

3.4. Çentik Darbe Test Sonuçları

130 A sabit kaynak akım şiddeti ve üç farklı plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantılara ait çentik darbe test sonuçları Şekil 9’ da verilmiş olup, çentik darbe dayanım değerleri S1= 8.75 J, S2= 9.25 J ve S3= 10 J olarak tespit edilmiştir. Artan plazma gaz debisine bağlı olarak, kaynaklı bağlantıların çentik darbe dayanımlarında bir miktar artış kaydedilmiştir. Çünkü; artan plazma gaz debisiyle oluşan yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğu, kaynak metalindeki boşaltmayı artırarak nüfuziyet derinliğini artırmakta ve buna bağlı olarak, kaynaklı bağlantıların çentik darbe dayanım değerleri artmaktadır. Ancak; malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan düşük plazma gaz debisinin, nüfuziyeti az bir birleşme yapması nedeniyle oluşan boşluklar, çentik etkisi oluşturduğundan bağlantıların düşük çentik darbe dayanım değerlerine sahip olmasına neden olmuştur.



Şekil 9. S1, S2 ve S3 Numunelerine ait çentik darbe dayanım grafikleri

4. Sonuçlar

Çalışmada; AISI 1040 çelik çifti KPTA kaynak tekniğiyle birleştirilerek, elde edilen kaynaklı bağlantıların analiz sonuçlarına göre aşağıdaki genellemeler yapılabilir:

1. KPTA kaynak yöntemi ile 10 mm kalınlığa sahip AISI 1040 çelik çifti, ilave kaynak metali kullanmadan ve kaynak ağzı açmaksızın 2.8 lt/dak.'lık plazma gaz debisiyle, tek pasoda 8 mm' ye kadar başarılı bir şekilde birleştirilebilmektedir.
2. KPTA yöntemi ile birleştirilen AISI 1040 kaynaklı bağlantılar üzerinden alınan mikroyapı ve mekanik test analiz sonuçlarından plazma gaz debisinin, birleşme kalitesi ve nüfuziyet derinliği üzerinde önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. 2.8 lt/dak.'lık plazma gaz debisinde gerçekleştirilen KPTA kaynak işleminde, nüfuziyet derinliğinde artış görülmüştür. Plazma gaz debisindeki artış, kaynak metalindeki boşaltmayı artırarak nüfuziyet derinliğini artırmakta, buna bağlı olarak da bağlantının çentik darbe dayanımı artmaktadır. En yüksek çentik darbe dayanımı $S_3 = 10$ J olarak tespit edilmiştir.
3. Sertlik dikişte maksimum olmakta, kaynak dikişi içerisinde mikrosertlik değerlerinin yüksek çıkması; buralarda ani soğuma sonucunda sertliği artırıcı martenzitik yapının oluşmasından ileri gelmektedir.

Kaynaklar

- [1] Haris ID, Plasma arc welding, brazing and soldering, ASM Handbook 1993; 6: 195-199.
- [2] Teker T, Özdemir N. KPTA yöntemi ile birleştirilen AISI 430/AISI 1040 kaynaklı bağlantılarda enerji girdisinin mekanik özellikler üzerine etkisi, 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Fırat University, Elazığ, Turkey, 2011; 253-258.
- [3] Liao MT, Chen PY. The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldments, Materials Chemistry and Physics 1998; 55: 145-151.
- [4] Vilkas EP. Plasma arc welding of exhaust pipe system components, Welding Journal 1991; 70 (4): 49-52.

- [5] Irving B. Plasma arc welding takes on the advanced solid rocket motor, *Welding Journal* 1992; 71 (12): 49-50.
- [6] Lesnewich A. *Weldability of steels*, 3rd ed., Eds. R.D. Stout and W.D. Doty, Welding Research Council, New York, p. 5, 1978.
- [7] Kou S. *Welding metallurgy*, 2. Edit., John Wile & Sons, A.B.D., 2003.
- [8] Martikainen J. Conditions for achieving high-quality welds in the plasma arc keyhole welding of structural steels, *Journal of Material Processing Technology* 1995; 52 (1): 68-75.
- [9] Yıldırım MM, Doğantan ZS, Çakan A, Pakdil M. *Mühendislik malzemeleri*, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları No:10, İskenderun, 2001; 1: 136-141.
- [10] TS 138 EN 10002-1. *Metallic Materials-Tensile Testing Part 1: Method of Test (at ambient temperature)*, (The Institute of Turkish Standards, Ankara, Turkey), 1996.
- [11] Teker T, Ozdemir N, *Weldability and joining characteristic of AISI 430/AISI 1040 steel using keyhole plasma arc welding*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* DOI:10.1007/s00170-011-3890-5.