

OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞINDA KAYNAK AKIMI VE KOMPOZİSYONUNNUFUZİYETE ETKİSİ

Ramazan YILMAZ¹ ve Turgay TEHÇİ²

¹Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Mazeme Mühendisliği
Esentepe Kampüsü, 54187, SAKARYA, ryilmaz@sakarya.edu.tr,

²Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Esentepe Kampüsü,
54187, SAKARYA, turgaytehci@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, TIG (Tungsten Inert Gaz) kaynak yöntemi ile 316 ve 316Ti tipi iki farklı ostenitik paslanmaz çelik malzeme üzerine ilave metal kullanmadan yatay pozisyonda düz kaynak dikişleri çekilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan parametrelerin hassas bir şekilde kontrolü için otomatik TIG kaynak makinası kullanılmıştır. Kaynak işleminde kullanılan farklı kaynak akım değerlerinin ve paslanmaz çelik malzemelerin kimyasal kompozisyonlarının kaynak nufuziyetine etkisi araştırılmıştır. Nufuziyet incelemelerinde kaynak derinliği ve genişliği dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda kullanılan kaynak akımı değerlerinin ve paslanmaz çelik malzemelerin sahip olduğu kimyasal kompozisyonun etkili olduğu ve kaynak nufuziyetini artırdığı görülmüştür. Ayrıca, kaynak akım değerlerinin artışına bağlı olarak kaynaklı parçalarda P/W oranının ve kaynak bölgesinin mikroyapısının değiştiği ve sertlik değerlerinin de azaldığı gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kaynak parametreleri, nufuziyet, ostenitik paslanmaz çelik, TIG kaynağı

THE EFFECT OF WELDING CURRENT AND COMPOSITION OF STAINLESS STEEL ON THE PANETRATION IN GTAW

ABSTRACT

In this study, welding was performed on the plates of two different types of AISI 316 and AISI 316Ti austenitic stainless steels by GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) without using welding consumable in flat position. Automatic GTAW welding machine was used to control and obtain the exact values. The effects of welding currents used in welding process and the compositions of the stainless steels materials on the penetration were investigated. Weld bead size and shape such as bead width and dept were important considerations for penetration. Welding process was performed using various welding current values. The study showed that both welding parameters and composition of the stainless steels has influence on the penetration and it is increased with increasing of welding current. Besides, P/W rate of the weldments were influenced by the current and hardness values of the weld metal decrease with increasing welding current. The microstructure of the weld metal was also changed by variation of welding current.

Key words: Welding parameters, penetration, austenitic stainless steel, GTAW

1. GİRİŞ

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak işlemi estetik görüntü ve kaliteli birleştirme sağlayan ve paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi için kullanımı uygun modern bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde elektrik arkı tungsten elektrot ile birleştirilen metal arasında oluşmaktadır. Ark bölgesi ortamın olumsuz etkisinden soy gazlar ya da karışım gazları ile korunmaktadır. Kaynak işlemi esnasında tungsten elektrotun yüksek sıcaklıklara çıkması ile arkin devamı için gerekli olan elektron emisyonu sağlanmaktadır. TIG kaynak işlemi diğer birleştirme yöntemlerine göre birçok avantajlara sahip olmakla beraber bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle, tek pasoda gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde nufuziyet miktarının yetersiz olması nedeniyle kalın kesitli parçalar için uygun bir yöntem olmadığı düşünülmektedir. Bununla beraber, ana metalin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak kaynak dikiş hassasiyeti bulunmaktadır. Diğer kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında kaynak hızının daha yavaş olması genel olarak verimi düşürmektedir [1, 2]. Her kaynak yönteminde olduğu gibi, TIG kaynak işlemlerinde de kaynak kalitesinin üst seviyede olabilmesi için her bir malzemeye uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve kaynak işlemlerinde bu parametrelere aynen uyulması gerekmektedir. Kaynak işlemleri esnasında uygulanan parametreler kaynak banyosu geometrisine ve kaynak metalinin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı, koruyucu gaz cinsi, akış miktarı, ark uzunluğu, kaynak kutbu ve birleştirme dizaynı gibi TIG kaynağında kullanılan kaynak parametreleri kaynak banyo geometrisini önemli şekilde etkilediği bilinmektedir. Bu parametrelerin içerisinde kaynak akımı en önemli değişkenlerden birisi olup, kaynak akımında oluşan değişim nufuziyet derinliğini, kaynak genişliğini, ısı girdisini, metal yığılma oranını ve kaynak kalitesini etkilemektedir. Darbeli ark kullanılması durumunda kaynak dikişi esnasında akım ve nufuziyet miktarı maksimum olurken, kaynak edilen metale ısı girdisi de minimum değerlerde kalmaktadır [3, 4]. Böylece, ince kesitli parçalarda optimum özellikleri sağlayan birleştirmeler gerçekleştirilmektedir. Şimdiye kadar birçok araştırmacı farklı kaynak yöntemleri ile gerçekleştirilen birleştirmelerde, seçilen parametrelerin nufuziyete olan etkilerini incelemiştir [4-16]. Kaynak akımı ve hızı gibi kaynak parametreleri kaynak işleminde diğer değişkenlerle karşılaştırıldığında etkilerinin oldukça karmaşık olduğu düşünülmektedir. Özlü tellerin kaynağında kaynak akım değerleri metal yığılma oranına etkisinin büyük olduğu görülmektedir. Kaynak akımının değişimi direkt olarak kaynak banyosuna olan ısı girdisi miktarını etkilemektedir. Bundan dolayı, kaynak geometrisine P/W oranı kaynak banyosuna olan ısı girdisi ve ısı dağılıma bağlı olarak değişmektedir [13]. Aynı kimyasal kompozisyona sahip paslanmaz çeliklerin kaynağında değişkenlerde oluşan çok az farklılıklar bile kaynak banyosundaki sıvı akış düzenini etkilemektedir [16]. Kaynak esnasında koruyucu gaz

kompozisyonlarındaki farklılıkların nufuziyete etkisinin büyük olduğu vurgulanmaktadır [4, 12, 13]. Kaynatılacak malzemenin yüzeyine çeşitli oksitler sürülerek gerçekleştirilen aktif TIG kaynak dikişlerindedaha derin nufuziyet değerleri elde edilmiştir [1, 14, 15]

Ostenitik paslanmaz çelikler uzun yıllardır kimyasal, petrol ve nükleer güç santrallerinde irili ufaklı birçok konstrüksiyonun imalatında kullanılmaktadır. Ostenitik paslanmaz çelikler sahip oldukları üstün korozyon dirençleri ve mekanik özellikleri ile gıda endüstrisi, depolama tankları, basınç tankları, mutfak araç gereçleri ve makine parçaları gibi konstrüksiyonların imalatında kullanılan vazgeçilemez önemli malzemelerdendir [17-18]. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak genellikle saf argon kullanılmaktadır. Bu yöntem ile gerçekleştirilen birleştirmelerde nufuziyet derinliği 3 mm ile sınırlı kalmaktadır. Nufuziyette maksimum değerlerin elde edilmesi için düşük kaynak ilerleme hızları gerekmektedir. Argona belirli bir miktar helyum ya da hidrojen katılmasıyla nufuziyet miktarını 1-2 mm daha artırılabilir [1]. Koruyucu argon gazına hidrojen ilavesi ısı girdisi ve kaynak dikiş morfolojisine etki etmektedir [19, 20]. Koruyucu gaz içerisindeki hidrojen gazı miktarı arttıkça paslanmaz çeliklerde nufuziyet miktarı da artmaktadır [21, 22]. Argon gazı içerisine hidrojen ilavesi ile gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [21-23]. Farklı kimyasal bileşimlerde sahip malzemelerde nufuziyet miktarı değişmektedir. Gerçekleştirilen birleştirmenin sağlıklı ve mekanik özelliklerinin ve mikroyapısının yeterli seviyede olması gerekmektedir. Bunun için otomatik TIG kaynak makinası ile gerçekleştirilen birleştirmelerin sağlam ve mukavemetli olması; kaynak dikiş şekli, geometrisi ve nufuziyetine etki eden kaynak akımı, hızı ve ısı girdisi gibi kaynak parametrelerinin kontrol altına alınmasına bağlıdır. Endüstriyel uygulamalarda gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde ostenitik paslanmaz çeliklerin türüne göre uygun parametrelerin belirlenmesi güvenli ve optimum özellikleri sağlayan birleştirmelerin sağlanması hem bilimsel hem de endüstriyel uygulamalar açısından faydalı olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada, iki farklı kompozisyona sahip 316 serisi ostenitik paslanmaz çelik malzemelerin üzerine otomatik kaynak makinası ile farklı kaynak akım değerlerinde düz dikişler çekilmiş, seçilen kaynak akım değerlerinin ve paslanmaz çelik malzeme kompozisyonunun oluşan kaynak geometrisine ve nufuziyete olan etkisi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmalarda 5 mm kalınlığında AISI 316 ve AISI 316Ti tipi ostenitik paslanmaz çelik levhalar kullanılmıştır. Bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları Tablo 1'de

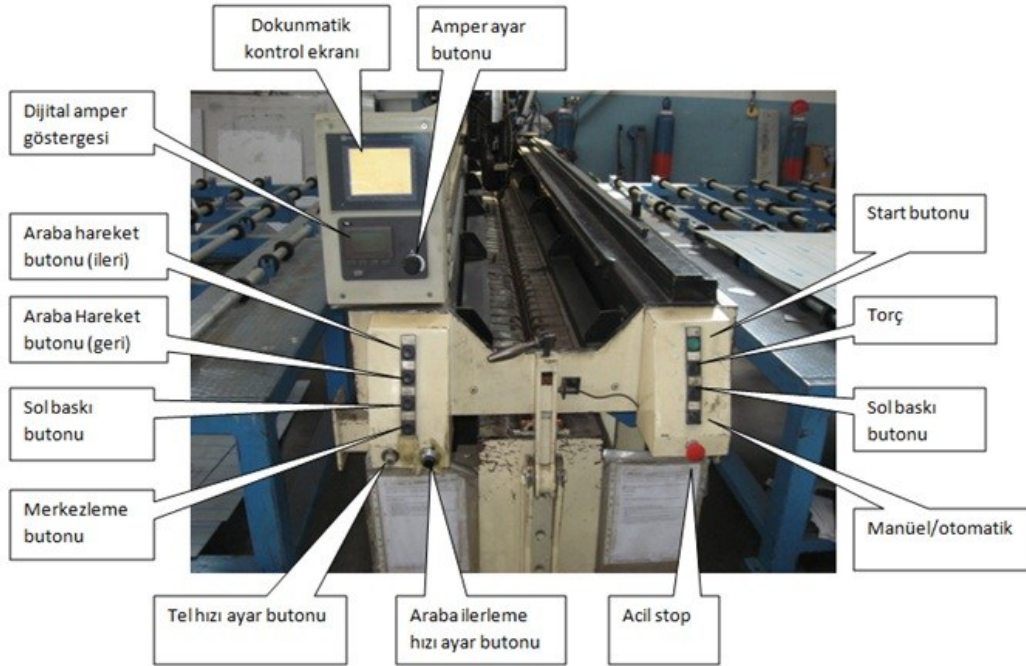
verilmiştir. Bu malzemelerin her birinin üzerine farklı kaynak akım değerleri kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile düz kaynak dikişleri çekilmiştir. Kaynak esnasında koruyucu atmosfer olarak argon+%5H₂ karışım gazı kullanılmıştır. Koruyucu gazın debisi 8 ltdk⁻¹ olarak ayarlanmıştır. Çalışmalarda 9 mm çapında nozul ile 2,4 mm çapında % 2 toryumlu tungsten TIG elektrotu kullanılmıştır. TIG kaynak işleminde kaynak hızı ise 4,2 mms⁻¹ olarak seçilmiştir. Kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesinde 110, 120, 140 ve 160 amper gibi dört farklı kaynak akımı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan otomatik TIG kaynak makinesinin görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir. Mikroyapı için çıkarılan numuneler bakalite alınarak sırasıyla 300 ila 1200 arasında numaralara sahip SiC aşındırıcılar kullanılarak su altında zımparalama sonrasında 1 µm alümina ile çuha

üzerinde parlatılmıştır. Numunelere daha sonra %10 oksalik asit çözeltisinde elektrolitik dağlama uygulanmıştır. Dağlama işleminden sonra numuneler saf alkolle temizlendikten sonra yüzeyleri kurutulmuştur. Mikroyapı incelemeleri NIKONSMZ800 marka stereo mikroskop ile NIKON ELIPCE L 150 marka optik mikroskobu ile yapılmıştır.

Kaynaklı parçaların Vickers mikrosertlik ölçümleri ise MH3 METKON marka cihazda 300 gr yük ve 15 sn süre uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak kesitinde kaynağın üst kısmından aşağıya doğru bir çizgi boyunca belirli aralıklarda sertlik ölçümleri alınmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan ostenitik paslanmaz çeliklerin ve ilave metalin kimyasal kompozisyonu [18, 24]

Malzeme	Kimyasal Analiz Değerleri (% Ağırlık)										
	C	N	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	P	S	Mo	Fe
AISI 316	0,08	-	2	1	18–20	8–10,5	-	0,045	0,03	2–3	Kalan
AISI 316Ti	0,035	0.015	1,67	0,64	16,5	10,7	0,37	0,026	0,001	2,05	Kalan



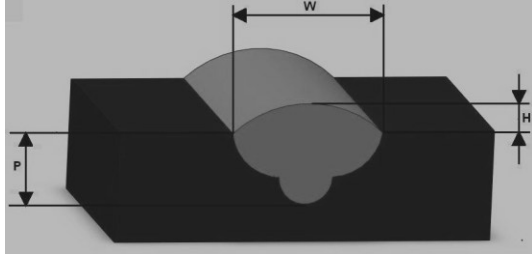
Şekil 1. Otomatik TIG kaynak makinesinin görünümü

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1 Nufuziyet

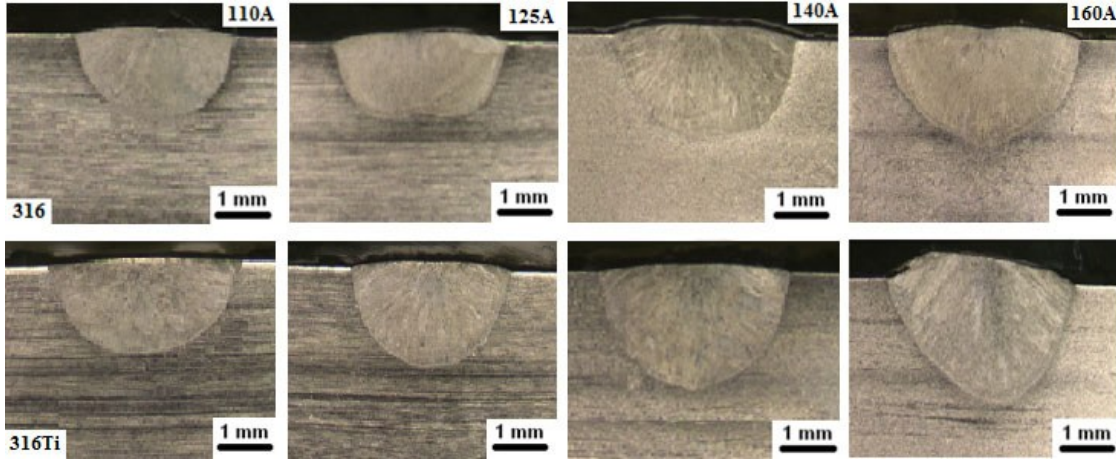
Kaynak parametrelerinin nufuziyete olan etkisinin belirlenmesi için, ilave metal kullanılmadan otomatik TIG cihazında sadece tungsten elektrot ile ostenitik paslanmaz

çelik levhalar üzerine farklı kaynak akım değerleri kullanılarak düz dikişler çekilmiştir. Daha sonra Şekil 2’de nufuziyet ile ilgili derinlik (P), genişlik (W) ve dikiş yüksekliği (H) değerleri, Şekil 3’de verilen makro görüntülerinden ilgili ölçümler alınmış ve her bir parametre için kaynak derinliği, genişliği ve dikiş yüksekliği belirlenmiştir. Stereo mikroskop görüntülerden, seçilen farklı amper değerlerinin kaynak nufuziyetine etkileri net olarak görülmektedir.



Şekil.2. Kaynakta dikiş geometrisinin şematik olarak gösterimi, P: Nufuziyet, W: Kaynak genişliği, H: Dikiş yüksekliği.

Kaynak işleminde kaynak hızı 4.2 ms^{-1} seçilmiştir. Düz dikiş çekilen numunelerin görüntüsü incelendiğinde kaynak akımı artışına paralel olarak hem kaynak dikişinin nufuziyet derinliğinde hem de kaynak genişliğinde artış olmaktadır (Şekil 3). Çalışmada elde edilen kaynak dikişlerindeki nufuziyet değerleri ve kaynak esnasında kullanılan kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı gibi parametreler Tablo 2’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde kaynak amperinin artışına paralel olarak hem nufuziyet derinliği hem de kaynak genişliği artmaktadır. Genel olarak kaynak dikiş yüksekliği de kaynak amperine bağlı olarak bir artış göstermektedir.



Şekil 3. Farklı kaynak akım değerlerinde ilave metal kullanmadan gerçekleştirilen kaynak dikişlerinin kesitlerinden alınan stereo mikroskop görüntüleri

Tablo 2. Telsiz olarak yapılan kaynakta kullanılan kaynak parametreleri ve elde edilen nufuziyet ile ilgili ölçüm değerleri

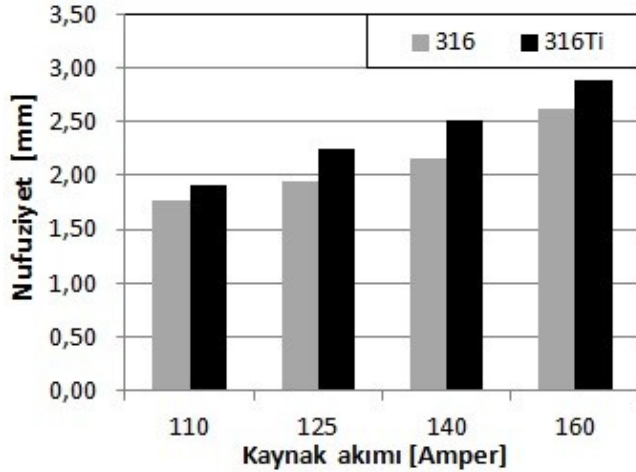
Kaynak akımı (Amp.)	Kaynak gerilimi (volt.)	Isı girdisi (Jmm^{-1})	Ölçüler	Malzemeler	
				AISI 316	AISI 316Ti
				Nufuziyet (μm)	
110	15	125	P	1762	1911
			H	276	265
			W	5342	5119
125	15,3	319	P	1947	2241
			H	293	254
			W	6361	5979
140	15,6	364	P	2155	2516
			H	361	233
			W	6670	6372
160	17,2	459	P	2611	2877
			H	372	849
			W	8305	7987

Şekil 4’de kaynak parametrelerinin ilave metal kullanılmadan yapılan kaynak dikişlerinden elde edilen nufuziyet değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekilden de açık olarak görüldüğü gibi kaynak amperinin artışına paralel olarak hem AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliklerde hemde AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklerde nufuziyet doğrusal olarak artmaktadır. AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklerde nufuziyet değerleri AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak burada 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklere yapılan kaynak dikişlerinde nufuziyet derinlik değerlerinin daha çok arttığı görülmektedir.

Şekil 5’de farklı kaynak akımı değerleri kullanılarak kaynatılan ostenitik paslanmaz çeliklerde kaynak dikiş derinliğinin, dikiş genişliğine oranının kaynak amper değerlerine göre değişimleri verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi AISI 316 ostenitik paslanmaz çelikler de kaynak amperi artışına bağlı olarak P/W oranında sürekli değişmektedir. 110 amperden daha yükselen amper değerlerinde yapılan dikişlerde P/W oranları düşmekte ancak bu amper artışına bağlı olarak 140 amperde yapılan dikişlerde P/W oranı maksimum değere ulaşmakta ve daha sonra tekrar düşmektedir. Benzer durum daha yüksek P/W

oranı değerleri elde edilmekle beraber, AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklerde de görülmektedir. Burada en yüksek P/W oranı 140 amperde çekilen dikişlerde görülmektedir. Bu değerden sonra P/W oranı kaynak amperinin artışına bağlı olarak düşmektedir. 140 amperden daha yüksek akımlarda kaynak edildiğinde daha düşük P/W oranlarının elde edileceği görülmektedir. AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklerde 125 amperden sonra çekilen dikişlerde P/W oranı hızla artmakta ve 140 amperde 0.40 değerine ulaşmaktadır. Böyle bir durum bu tür paslanmaz çeliklerde 125 amper ile 140 amper arasındaki akım değerlerinde daha derin nüfuziyet elde edileceğini göstermektedir. Kaynak akımı değerleri 140 amperden sonra düşmektedir. Bu durum kaynak işleminin performansının düşük olduğunu göstermektedir. Her iki paslanmaz çelik türünde benzer eğilimler göstermektedir. Bu akım değerlerinde kaynak esnasında nüfuziyetin derinlikten daha çok genişliğine doğru yayıldığı ve nüfuziyeti ve kaynak performansını olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

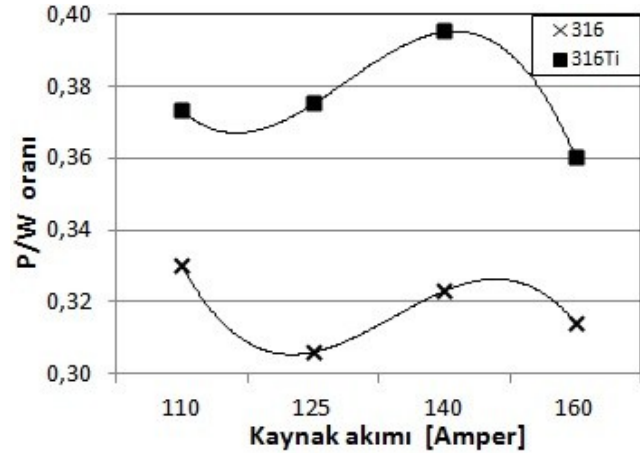
AISI 316 ostenitik paslanmaz çelikler için kaynak akım değerlerinin artışının nüfuziyet değerlerinin artışında etkili olduğu söylenilebilir. AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklerde kaynak amperinin artışına paralel olarak kaynak nüfuziyeti sürekli artarken kaynak genişliği de daha fazla artmaktadır. Ancak bu çeliklerde düşük akımlarda nüfuziyetin daha etkili olduğu görülmektedir. Bu durum AISI 316 tipi ostenitik paslanmaz çeliklerde ısı iletim katsayısının AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çelik malzemenin sahip olduğu ısı iletim katsayısına göre daha büyük olmasından kaynaklanabilmektedir [25].



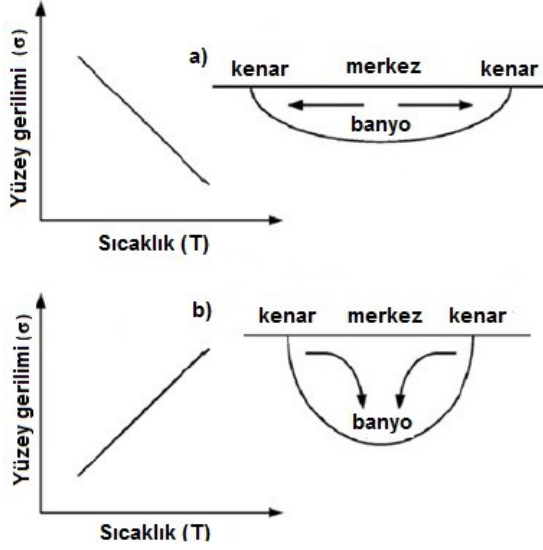
Şekil 4. Farklı akım değerlerinin nüfuziyete etkisi.

Daha önceki çalışmalarda [1, 5, 15, 26] belirtildiği gibi, TIG kaynak işleminde Marangoni ısı iletimi modu olarak belirtilen sistemde kaynak banyosu yüzeyi gerilimi ve kaynak banyosu içerisindeki ısı transfer davranışı ile değişmektedir. Genellikle yüzey gerilimi sıcaklığın artışı ile

azalma eğilimindedir. Böyle bir durumda geniş fakat az derinliğe sahip bir kaynak nüfuziyeti sağlanmaktadır. Kaynak banyosu yüzeyi ile merkez arasında büyük bir sıcaklık farkı olduğundan yüzey boyunca yüzey gerilim farkı oluşmaktadır. Soğuk kenar bölümlerinde yüzey gerilimi yüksek olduğundan akışkan banyonun merkezinden kenara doğru akarak genişliği çok ve derinliği az kaynak dikişi elde edilmektedir. Bu durum Şekil 6'da gösterilmektedir. Kaynak metalinin yüzeyinde kükürt, oksijen veya selenyum gibi elementler olduğunda yüzey geriliminin sıcaklık katsayısı negatif den pozitif değere doğru yönelmekte ve Marangoni ısı iletimi yönü değişerek merkezde daha derin ve dar kaynak dikişi elde edilmektedir [5, 15, 26]. Bahsedilen bu durum kaynak esnasında koruyucu gaz olarak argon içerisinde belirli bir miktarda oksijen ya da CO₂ gazı ilave edildiğinde gerçekleşmektedir. Malzeme içerisinde bulunan Cr, Si Mn ve Ti gibi elementler oksijenle reaksiyona girerek malzeme yüzeyinde sınır tabakası oluşturmaktadır. Böylece, malzeme içerisinde Marangoni ısı iletimini merkeze doğru yaparak nüfuziyet derinliğinin artması sağlanmaktadır [26]. Şimdiki çalışmada koruyucu gaz olarak argon+%5H₂ kullanılmış olup, koruyucu gaz içerisinde oksijen bulunmamaktadır. Ancak hidrojen aktif bir gaz olduğundan malzeme içerisinde herhangi bir şekilde var olan oksijeni süpürebilme ve kaynak metalinden uzaklaştırma özelliğinden dolayı gözeneksiz ve temiz kaynak dikişleri elde edilebilmektedir [10, 11, 19-23]. Hidrojen gazının ısı iletim katsayısının yüksek olması nedeniyle derin nüfuziyet sağlamaktadır [19, 20]. AISI 316Ti malzemenin içerisinde titanyum bulunması herhangi bir şekilde titanyum oksit oluşturabileceğinden yukarıda belirtilen etkilerden dolayı daha derin nüfuziyet sağlanabileceği düşünülmektedir. Esasında AISI 316 ostenitik paslanmaz çelik malzemenin ısı iletim katsayısı (16,3 Wm⁻¹.K⁻¹), ile, AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çelik ısı iletim katsayısından (15 Wm⁻¹.K⁻¹) daha yüksektir [25].



Şekil 5. İlave metal kullanmadan kaynatılan parçalarda kaynak dikiş derinliği/dikiş genişliği (P/W) oranının kaynak amper değerlerine göre değişimi.



Şekil 6. Marangoni yüzey gerilimi gradyanı ile ısı iletimi modu
a) $(\delta\sigma/\delta T) < 0$ b) $(\delta\sigma/\delta T) > 0$ [15].

3.2 Sertlik Ölçümleri

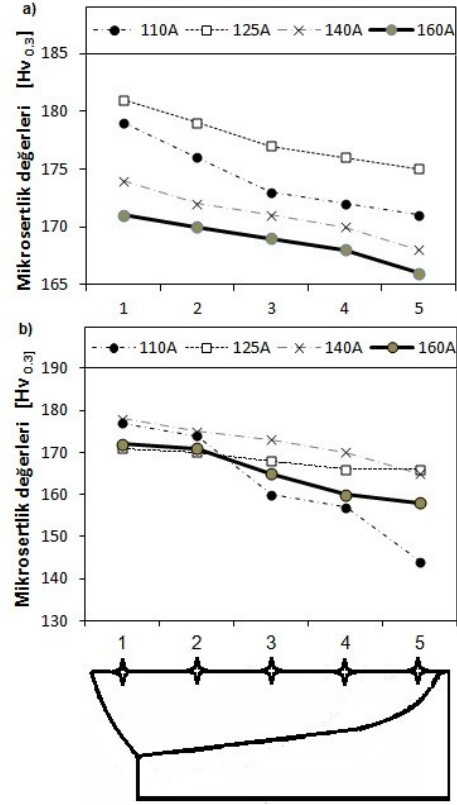
Şekil 7 a ve b'de kullanılan kaynak parametrelerinin mikrosertlik değerlerine etkisi verilmektedir. Şekil incelendiğinde AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliklerde kaynak metalindeki sertlik değerlerinin 165 Hv ile 195 Hv arasında değiştiği görülmektedir. Diğer taraftan AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklerde ise bu değer 140 Hv ile 190 Hv arasında değiştiği görülmektedir. Kaynak metalinin yüzeyinde sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu, nüfuziyet derinliğine doğru sertlik değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum kaynak sonrasında banyonun soğuma hızından kaynaklandığı düşünülmektedir. AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliklerde genellikle sertlik değerleri arasındaki fark daha az olup doğrusal bir eğilim göstermektedir. En yüksek sertlik değerleri 125 amper'de yapılan kaynak dikişlerinden elde edilmekte olup, en düşük sertlik değerlerinde ise 160 amper'de yapılan kaynak dikişlerinin sahip olduğu görülmektedir. Esasında AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklerin mikrosertlik değerleri arasında çok büyük farklar bulunmamaktadır. AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliklerin sertlik değerlerine göre daha düşüktür. En yüksek sertlik değerine yüzeyde 110 amperde yapılan kaynak dikişleri sahiptir. En düşük sertliğe ise 125 Amper ve 160 amperde yapılan kaynak dikişleri sahip olduğu görülmektedir. Malzemenin ostenitik yapıya sahip olması sebebiyle ısınma ve soğuma sırasında sertlik değerlerinde önemli bir artış olmaması normal karşılanmaktadır. Bu tür malzemelerde malzemenin içerdiği karbon miktarının sertlik değerlerine bir miktar etkisi bulunmaktadır. Bu durumda AISI 316 ostenitik paslanmaz çelikler AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha yüksek sertlik değerlerine sahiptir. Çünkü AISI 316 ostenitik paslanmaz çelikler AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha yüksek miktarda karbon içermektedir. Bu

çalışmalarda yapılan sertlik incelemelerinde malzemenin yüzeyinde sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu, aşağı nüfuziyet derinliğine doğru sertlik değerlerinde düşüş görülmektedir. Ayrıca, düşük değerlerdeki kaynak akımlarında mikrosertlik değerlerinin biraz daha yüksektir. Bu malzemelerin yüzeyinden daha hızlı soğuması sonucu hızlı soğumanın getirdiği kalıntı gerilmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak bölgesinde δ -ferrit ile östenitik ara fazın arasındaki yapı uyumsuzluğu, kaynak sonrasında banyonun hızlı katılaşması sonucu dislokasyonların oluşmasına neden olduğundan kaynak metalinin mikrosertliği dolayısıyla mukavemetin arttığı önceki bir çalışmada açıklanmaktadır [27].

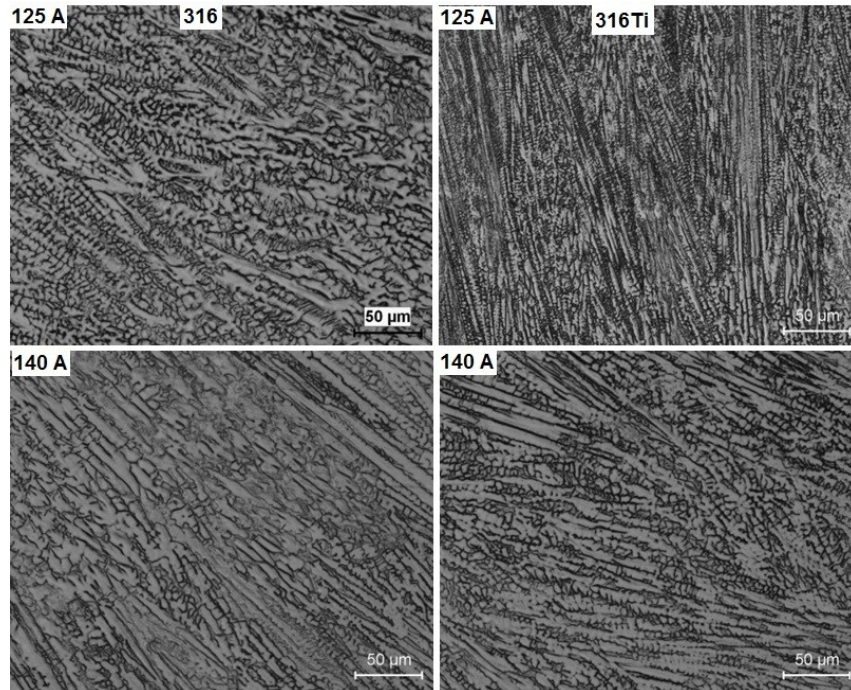
Ayrıca malzeme içerisindeki delta ferrit miktarına bağlı olarak sertlik değerlerinde artışlar görülebilir. Kaynak metalinde bulunan δ -ferritin varlığı ana metalle karşılaştırıldığında çok yüksek olduğundan kaynak metalinin daha yüksek sertliğe sahip olmasına neden olmaktadır. Çalışmada kullanılan her iki ostenitik paslanmaz çeliklerin ana metalden ölçülen sertlik değerleri literatürde her iki malzemenin sertlik değeri 155 HV dir. Çalışmadan elde edilen sertlik değeri literatür değerleriyle uyusmaktadır [25].

3.3 Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 8'de farklı amper değerlerinde kaynak edilen AISI 316 serisi ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalinin optik mikroskop görüntüleri verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi amper değerlerine bağlı olarak mikroyapılarda bazı farklılıklar gözlenmektedir. Kaynak metalinin içerisindeki delta ferrit miktarı ve yönelmeleri hem malzeme cinsine göre hem de kullanılan kaynak akım değerlerine göre farklılık göstermektedir. Koruyucu gaz olarak argon + hidrojen karışımı koruyucu gaz kullanıldığında hidrojen gazının argona göre daha yüksek ısı iletkenliğine ve iyonlaşma enerjisine sahip olduğundan güçlü ark voltaj düşümü olmaktadır. Böylece daha fazla ısı girdisinin artmasını sağlamaktadır [19-21, 23]. Bu çalışmada farklı akım değerlerinin kullanılması akım değerlerinin artışına paralel olarak kaynak metali içerisindeki delta ferrit miktarında azalma olmaktadır. Kullanılan kaynak akım değerleri arttığında kaynak metaline olan ısı girdisi artmakta ve soğuma hızı azalmaktadır. Böylece kaynak metali içerisindeki östenit alanı genişlemektedir. Şekil 8'deki kaynak metali görüntülerine bakıldığında her iki ostenitik paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında yüksek akım değerleri kullanılarak gerçekleştirilen malzemelerde kaynak metali içerisinde delta ferrit miktarının azaldığı ve östenit alanının genişlediği net olarak görülmektedir. Östenit alanının genişlediği kaynak metalinin sahip olduğu sertlik değerlerinin düşmeden de anlaşılmaktadır. Bu durum önceki çalışmalarla uyusmaktadır [11, 12, 28].



Şekil 7. Farklı parametrelerde ilave metal kullanmadan kaynak çekilen a) AISI 316 b) AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliklerin kesitlerinden alınan mikrosertlik değerleri



Şekil 8. Farklı kaynak amper değerlerinde ve ilave metali kullanılmadan kaynak dikişi çekilen ostenitik paslanmaz çeliklerde kaynak metalinin optik mikroskop görüntüleri

4. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1) Kaynak akımı kaynak işleminde önemli bir parametredir. Kaynak amperinin artışı kaynak nufuziyet derinliğine olumlu yönde etkilemektedir. Amper değerlerindeki artış ile nufuziyet değerlerini artmaktadır.
- 2) AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çelikler AISI 316 ostenitik paslanmaz çelikler göre daha yüksek nufuziyet derinliğine sahiptir.
- 3) Kaynaklı parçaların sertlik değerleri incelendiğinde genel olarak düşük kaynak akımının sertlik değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır. AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliklerde AISI 316 ostenitik paslanmaz çelikler göre daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.
- 4) Kaynak edilen parçaların hem stereo hem de optik mikroskop ile makro ve mikroyapı çalışmaları yapılmıştır. Kaynak akım değerleri kaynak metalinin mikroyapısını etkilemekte ve farklı mikroyapılar oluşmaktadır. Artan kaynak akımına değerlerine bağlı olarak kaynak metaline ısı girdisi artmakta ve dolayısıyla kaynak metali içerisindeki δ -ferrit oranı azalmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2010-50-01-004 nolu, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAPK) Yüksek Lisans Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Destekleri için Sakarya Üniversitesi Rektörlüğüne ve otomatik TIG kaynak makinasının kullanımı için KROMEL A.Ş. yetkililerine özellikle, Makine Mühendisi Ayhan ŞEKER'e teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

- [1]. MODENESI, P.J., APOLINAÁRIO, E.R., PEREIRA, I.M., "TIG Welding with Single-Component Fluxes", **Journal of Materials Processing Technology**, 99, 260-265, 2000.
- [2]. GÜRCAN, M., "TIG Kaynağı", SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü, Ankara, 1987.
- [3]. EŞME, U., "Effect of Pool Geometry on the Quality of TIG Welded Joints", Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006.
- [4]. KIM, I.S., SON, J.S., KIM, I.G., KIM, J.Y., KIM, O.S., "A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO₂ arc welding", **Journal of Materials Processing Technology**, 136, 139-145, 2003.
- [5]. MURUGAN, N., GUNARAJ, V., "Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes", **Journal of Materials Processing Technology**, 168, 478-487, 2005.
- [6]. KIM, I.S., JEONG, Y.J., SON, I.J., KIM, I.J., KIM, J.Y., KIM, I.K., YARAGADA, P.K.D.V., "Sensitivity analysis for process parameters influencing weld quality in robotic GMA welding process", **Journal of Materials Processing Technology**, 140, 676-681, 2003.
- [7]. WAHAB, M.A., PAINTER, M.J., DAVIES, M.H., "The Prediction of the Temperature Distribution and Weld Pool Geometry in the Gas Metal Arc Welding Process", **Journal of Materials Processing Technology**, 77, 233-239, 1998.
- [8]. EL-BATAHGY, A.M., "Effect of Laser Welding Parameters on Fusion Zone Shape and Solidification Structure of Austenitic Stainless Steels", **Materials Letters**, 32, 155-163, 1997.
- [9]. KARADENİZ, E., ÖZSARAÇ, U., YILDIZ, C., "The Effect of Process Parameters on Penetration in Gas Metal Arc Welding Processes", **Materials and Design**, 28, 649-656, 2007.
- [10]. TEHÇİ, T. "Kaynak Parametrelerinin AISI 316 Serisi Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Nufuziyetine ve Mekanik Özelliklere Etkisi" Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi Eylül 2011.
- [11]. YILMAZ, R., TEHÇİ, T., "The Effects Of Welding Parameters And Composition Of Stainless Steel On The Penetration", 1. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı'09, ICWET, 972-982, 11-13 Haziran 2009, Ankara
- [12]. TÜMER, M., YILMAZ, R., "The Effects of Welding Parameters and Gases Composition on Microstructure and Penetration of Stainless Steels", International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and Transportation Systems (AWST - 2011), 483-488, 24-25 October 2011, Antalya.
- [13]. SHANPING L., Hidetoshi F., Kiyoshi N., "Influence of Welding Parameters and Shielding Gas Composition on GTA Weld Shape", **ISIJ International**, 45, 66-70, 2005.
- [14]. GAO M., ZENG X., HU Q., "Effects of gas shielding parameters on weld penetration of CO₂ laser-TIG hybrid welding" **Journal of Materials Processing Technology**, 184, 177-183, 2007.
- [15]. ZERAATI, E., HALVAEE, A., "Effect of Activated Flux on the Weld Shape of 25CrMo4 Low Alloy Steel Welded by TIG Welding Process", International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and Transportation Systems (AWST - 2011), 24-25 October 2011, Antalya.

- [16]. AIDUN D.K., MARTIN S.A., “Effect of Sulfur and Oxygen on Weld Penetration of High-Purity Austenitic Stainless Steels”, **JMEPEG**, 6, 496-502, 1997.
- [17]. SMITH, W.F., “Paslanmaz Çelikler”, “Mühendislik Alaşımının Yapı ve Özellikleri”, 5, 1, Çeviri: M. Erdoğan, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- [18]. ODABAŞ, C., “Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri”, Askaynak-İstanbul. 2004.
- [19]. TUSEK, J., SUBAN, M “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, 2000.
- [20]. LOWKE, J.J., RICHARD, M., JAWARD, H., ANTHONY, M.B., “Prediction of Gas Tungsten Arc Welding Properties in Mixtures of Argon and Hydrogen”. **IEEE Trans Plasma Sci.**; 25, 5, 925-930, 1997.
- [21]. DURGUTLU, A., “Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel”, **Materials and Design**, 25, 19–23, (2004).
- [22]. YILMAZ, R., BARLAS Z., “Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, C:11, S:3, 391–400, 2005.
- [23]. GÖKMEN, M., YILMAZ, R., “AISI 316Ti Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi”, 11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 2006.
- [24]. RODACCIAI Ürün Belgesi, 2005.
- [25]. Internet: <http://www.matweb.com/> (2010).
- [26]. LU, S., FUJII, H., NOGI, K., “Marangoni Convection and Weld Shape Variations in Ar–O₂ and Ar–CO₂ Shielded GTA Welding”, **Materials Science and Engineering A**, 380, 290–297, 2004.
- [27]. LIAO, M. T., CHEN, P. Y. “The Effect of Shielding-Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments”, **Materials Chemistry and Physics**, 55, 145-151, 1998.
- [28]. TÜMER M., YILMAZ R., “ The Effect of Shielding Gases on the Microstructure and Toughness of Stainless Steels Weldments by FCAW”, 63rd Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding, 847-852, 11-17 July 2010, Istanbul.