

PASLANMAZ ÇELİKLERİN GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KORUYUCU GAZ KOMPOZİSYONUNUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Ramazan YILMAZ, Zafer BARLAS

Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 54187/Sakarya

Geliş Tarihi : 19.11.2004

ÖZET

Son zamanlarda, östenitik paslanmaz çeliklerin özellikle endüstride kullanımının hızla artması sonucu, bu tür çeliklerin kaynaklı birleştirilmeleri daha önemli hale gelmiştir. Paslanmaz çelikler, Tungsten İner Gaz (TIG) ve Metal İner Gaz (MIG) gibi gazaltı kaynak yöntemleri ile kolaylıkla kaynak edilebilmektedir. Özellikle ince kesite sahip paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde TIG kaynağı en uygun yöntem olup, yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, östenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların, birleştirilen paslanmaz çelik parçalarının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi, literatür bilgileri ışığında incelenmiştir. Koruyucu gaz olarak kullanılan argon (Ar) gazı içerisine karıştırılan hidrojen (H₂), karbondioksit (CO₂) ve azot (N₂) gazları, kaynak metalinin mikroyapısına dolayısıyla mekanik özelliklerine çok önemli bir şekilde etki ettiği vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Östenitik paslanmaz çelikler, Mikroyapı, Mekanik özellikler, Koruyucu gazlar

THE EFFECT OF SHIELDING-GAS COMPOSITIONS ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL WELDMENTS

ABSTRACT

Recently, austenitic stainless steel is becoming very important and widely used in the industry due to their superior properties. Therefore, welding process of those has gained popularity in the construction of stainless steel. Gas metal arc welding (GMAW) and gas tungsten arc welding (GTAW) processes are easily used and more suitable compared with the other welding process for the austenitic stainless steel welding applications. In this study, the effect of shielding gases used in the welding process on the microstructure and mechanical properties of austenitic stainless steel weldments has been investigated using the knowledge available in the literature. It is stressed in the study that shielding-gas composition has great influence on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldment. The gases of Ar+H₂, Ar+CO₂, Ar+N₂ used for welding process effects on microstructure therefore, mechanical properties of weldments.

Key Words : Austenitic stainless steel, Microstructure, Mechanical properties, Shielding gases

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, sahip oldukları üstün korozyon direnci ve mekanik özelliklerinden dolayı günümüz

endüstrisinde konstrüksiyon uygulamalarında kullanılan en önemli malzemelerden biridir (Odabaş, 2002). Genel olarak beş grupta toplayabileceğimiz bu çeliklerin en çok kullanılanı östenitik paslanmaz

çelikler, diğer paslanmaz çelik türlerine göre daha ucuz olup önemli mekanik özellik avantajlarına sahiptirler. Geniş bir kullanım sıcaklık aralığına, yüksek dayanım değerlerine sahip olup, 540 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu tür çeliklerin ısıl genişleme katsayıları az alaşımlı çeliklere benzediğinden inşaat sektöründe büyük çelik konstrüksiyonlarda az alaşımlı çeliklerle birlikte kullanılmaları, ısıl genişmeden kaynaklanan problemlerin önlenmesini sağlamaktadır. Bu tür malzemeler, özellikle gıda endüstrisi, depolama tankı, basınçlı tank, çeşitli fırın parçaları, yanma odaları, ısıl işlem elemanları, ısıtıcılar, mutfak aletleri, tencere, yaylar, dişli çarklar, makine parçaları, valfler, demiryolu taşıtları, treyler kasaları gibi hem yüksek hem de düşük sıcaklıklardaki endüstriyel uygulamalarda geniş kullanım alanı bulmakta ve kullanım oranları her geçen gün artmaktadır (Tülbentçi ve Kaluç, 1994).

Günümüzde paslanmaz çeliklerin kaynağında, TIG ve MIG kaynak yöntemleri diğer kaynak yöntemlerine göre birçok avantaj sağladığından daha çok tercih edilmektedir (Kaluç ve Sarı, 1996; Eryürek, 1998). Boru, otomotiv, egzoz gaz sistemleri, kimyasal endüstriyel donanımlar gibi paslanmaz çeliklerden yapılan teçhizatların üretiminde TIG kaynağı yaygın olarak kullanılan kaynak metodlarından biri olup ince kesitli paslanmaz çelikler kaynak ağızı hazırlığı gerektirmeden bir ilave metal kullanılarak ya da kullanılmadan kolaylıkla birleştirilebilmektedir (Lothongkum, Viyanit, and Bhandhubanyong, 2001). TIG kaynak yönteminin en önemli üstünlüğü olan ısı girdisinin ve ergiyen ilave kaynak metali miktarının birbirinden bağımsız olması bu yöntemin çok ince parçalara uygulanabilmesini sağlamakta, kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylıklar getirmektedir. Yüksek kalite ve kaynak emniyeti gerektiren uçak ve uzay endüstrisinde kullanılan kalın parçaların kaynağında ise çok pasolu kaynaklar uygulanmaktadır. Bu yöntemde 0,1 mm kalınlığına kadar çok ince saclar sağlıklı olarak birleştirilmektedir (Ural ve Kaluç, 1996).

Sürekli olarak yeni teknikler ve değişik çözümler bu tür kaynak yöntemlerinin uygulanabilirliği açısından önemlidir. Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazların birinci derecedeki fonksiyonu, ergiyen kaynak metalini atmosferde bulunan azot ve oksijenin olumsuz etkisinden korumaktır (Tülbentçi, 1990; Ural ve Kaluç, 1996; Tusek, and Suban, 2000). Çünkü kullanılan gazın cinsi ve kompozisyonu birleştirilen parçaların özelliklerinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden biridir. Çünkü ark şeklini, malzeme transferi oluşum şeklini, iş parçası üzerindeki harcanan enerji miktarlarını

belirler. Günümüzde arkın ve ergimiş metal banyosunun korunması için iki, üç veya daha fazla sayıda farklı gazlar karıştırılarak birlikte kullanılmaktadır. Gazaltı kaynak yöntemlerinde en sık olarak kullanılan gazlar, Ar gazı ve argonun O₂, He, H₂, CO₂ gazları ile farklı oranlarda karışımlarıdır. Ar-He-CO₂, Ar-H₂, Ar-N₂, Ar-CO₂, Ar-CO₂-N₂ ve Ar-H₂ genel olarak kullanılan koruyucu gazlardandır (Kaluç ve Sarı, 1996; Ural ve Kaluç, 1996; Tusek and Suban, 2000; Durgutlu, 2004). Koruyucu gaz seçimi, kaynak sırasında oluşan ergimiş banyo ve koruyucu gaz arasındaki kimyasal-metalürjik ilişkiler dikkate alınarak yapılmalıdır (Tusek and Suban, 2000).

Seçilen gazın cinsi ve kompozisyonu birleştirilen malzemenin mikro yapısına ve mekanik özelliklerine önemli şekilde etki etmektedir (Liao and Chen, 1998; Lin and Chen, 2001). Kullanılan gazların östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında birleştirilen metalin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi net şekilde ortaya konulması gerekmektedir. Bundan dolayı, bu makalede paslanmaz çeliklerin MIG ve TIG kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmesinde, kullanılan gaz türleri hakkında detaylı bilgiler verilip, birleştirilen paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN GAZALTI KAYNAĞINDA KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR VE ÖZELLİKLERİ

Paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yönteminde koruyucu gaz olarak genellikle saf argon kullanılmaktadır (Ural ve Kaluç, 1996; Odabaş, 2002). MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde ise ilave metalin daha iyi bir şekilde ergimesi ve damlacık oluşumunun kolaylaşması amacıyla argon gazına % 2 oranında O₂ gazı eklenmektedir (Tülbentçi, 1990; Kaluç ve Sarı, 1996). Son zamanlarda, argon gazına H₂ ilave edilmekte olup Ar+H₂ karışımı, TIG ve MIG kaynak işlemlerinde kullanılabilir (Tusek and Suban, 2000; Durgutlu, 2004). H₂ gazı ve Ar gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirlerinden farklı olup her iki gazın özelliklerinin birleşimi sonucu kaynak işlemlerine çok önemli özellikler kazandırılmaktadır (Tusek and Suban, 2000).

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan argon renksiz, kokusuz, tatsız, yanmaz ve zehirli olmayan, nötr bir gazdır. Atmosferde % 0.934 oranında bulunmasına rağmen daha ekonomik olmasından

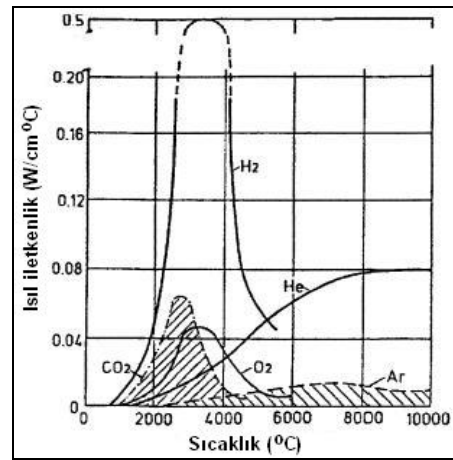
dolayı atmosferin artırılmasıyla elde edilen gaz olup havadan 1.38 kat daha ağırlığa sahiptir. Ergimiş kaynak banyosu ve arkın çok etkili kararlı korunmasını sağlar. Argon düşük iyonizasyon enerjisine sahip olduğundan, bu gazın atmosferi altında ark tutuşması daha kolay ve güvenilirdir (Tusek and Suban, 2000). Argon gazının en büyük avantajı akış hızının düşük olması, buna bağlı olarak helyuma göre daha kararlı bir ark oluşması ve ark voltajının daha düşük seviyede tutmasıdır. Düşük voltaj kullanımı, ince sacların kaynak bölgesinde yanık olmadan kaynak edilebilmesi açısından önemlidir (Lin and Chen, 1997). MIG kaynak yöntemi ile saf argon koruyucu atmosferi ortamında yapılan kaynakta şarap kadehi şeklinde bir nüfuziyet biçimi elde edilir (Hilton, 1990). Kalın parçaların kaynağında helyum ya da argon+helyum karışım gazları kullanılabilir.

Helyum atmosferi ısıyı daha iyi iletmediğinden, koruyucu gaz olarak kullanıldığında derin nüfuziyetli kaynak dikişi elde edilir. Bundan dolayı, kalın kesitli parçaların kaynağında kullanılmaktadır. Helyumca zengin olan koruyucu gazlar kısa devreli metal transferi ve yüksek voltaj sağlayarak daha iyi ısıtma ve kaynak metali içerisinde oluşabilecek hataların minimuma inmesini sağlar (Tülbentçi, 1990; Kotecki, 1993).

Argona hidrojen ilavesi ile arkta voltaj düşmesi sonucu ark gücü artar. Hidrojen yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan ark daha dar ve derin bir nüfuziyet sağlar. Hidrojen, kaynağın son katmanının yüzeyinde oksit oluşumunu engelleyerek

kaynak dikiş yüzeyinin görüntüsünü de güzelleştirir (Tusek and Suban, 2000).

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmektedir. Bu gazlar argona belirli oranlarda katılmaktadır. Bu gazların bazılarının ısı iletkenlikleri Şekil 1'de görülmektedir. Kaynak arkında en yaygın olarak oluşan sıcaklık aralığı olan 3000-4500 °C arasında hidrojenin iletkenliğinin argonun iletkenliğinden yaklaşık 10 kat daha yüksek olduğu görülmektedir (Lancaster, 1993). Arkın ısı iletkenliği, arkın şekli ve kaynak işleminin hızı açısından önemlidir.



Şekil 1. Gazaltı kaynak yönteminde kullanılan gazların sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenliklerinin değişimi (Tusek and Suban, 2000)

Tablo 1. Gazaltı Kaynaklarında Kullanılan Gazların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri (Tusek and Suban, 2000)

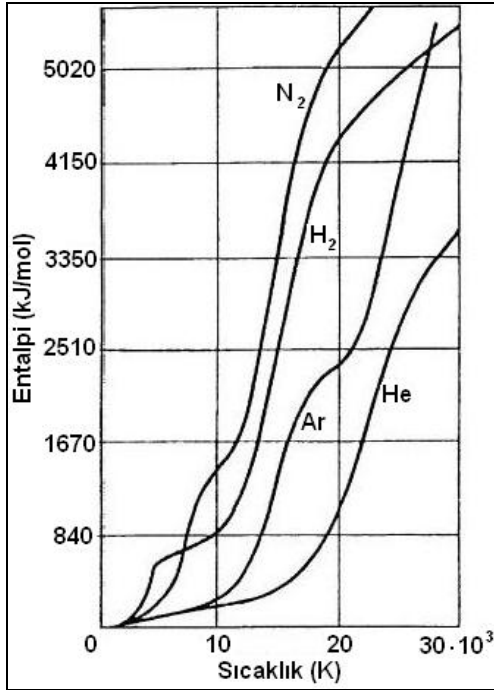
Gaz tipi	Havadaki içerik (% hacim)	1.013 bar'da kaynama noktası (°C)	Atomik ağırlık ve ortalama molekül ağırlığı	15 °C ve 1 bar'da yoğunluk (kg/m ³)	15 °C ve 1 bar'da havaya (-1) göre bağlı yoğunluk	Ayrılma ve iyonizasyon enerjisi (eV) ^c	Kimyasal davranış
Hidrojen (H ₂)	0.5×10 ^{-6a}	-252.9	2.016	0.085	0.06	4.48 13.59 -	İndirgeyici
Argon (Ar)	0.934	-185.9	39.948	1.669	1.38	- 15.76 27.50	İnert
Helyum (He)	5.2×10 ^{-6a}	-268.9	4.002	0.167	0.14	- 24.56 54.10	İnert
Azot (N ₂)	78.084	-195.8	28.013	1.170	0.91	9.76 14.55 29.60	Reaktif
Karbondioksit (CO ₂)	0.033 ^a	-78.5 ^b	44.011	1.849	1.44		Oksitleyici
Oksijen (O ₂)	20.946	-183.0	31.998	1.337	1.04	5.08 13.62 35.20	Oksitleyici

a : Atmosferden elde edilmemiştir.

b : Buharlaştırma sıcaklığı.

c : 1 eV = 1.6×10⁻⁶ J; 6 ve 9 eV arasındaki değerlerde başlıca metallerin iyonizasyon enerjisi

Şekil 2'de bazı gazlara ait entalpi değerleri verilmektedir. Hidrojenin entalpisi hemen hemen tüm sıcaklık aralıklarında argonun sahip olduğu değerden çok daha yüksektir. Bir koruyucu gazın entalpisi ark oluşumunu, ark şeklini ve arktaki ısı dağılımını etkilemektedir. Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemlerinde koruyucu argon gazı içerisinde karışım olarak kullanılan hidrojen renksiz, kokusuz, tatsız ve yanıcı bir özelliğe sahip olup tutuşma sıcaklığı 560 °C'dir. Havadan daha hafif olmakla beraber hava veya O₂ ile belirli bir oranda karıştırıldığında patlayıcı bir özelliğe sahiptir. Şekil 1 ve 2'den görüldüğü gibi yüksek entalpiye ve ısı iletkenliğe sahip olduğundan O₂ gazını indirgeyerek kaynak bölgesinde oksit oluşumunu engeller. H₂, paslanmaz çeliklerin kaynağında, kök koruma amacıyla Ar ile bir plazma gazı olarak kullanılmakta ve literatürde belirtildiği gibi karışım içerisindeki H₂ miktarı % 0.5-5 arasında değişmektedir (Onsoien et al., 1995; Tusek and Suban, 2000).



Şekil 2. Sıcaklığa bağlı olarak gaz entalpilerinin değişimi (Tusek, and Suban, 2000)

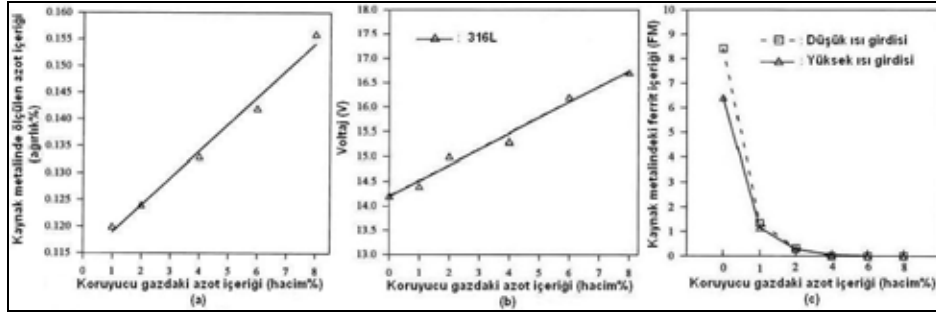
Karbondioksitin argon içerisinde kullanımı ile derin nüfuziyet ve yüksek kaynak hızları elde edilebilir. Ekzoterm bir reaksiyon sağlayarak kaynak banyosunun sıcaklığını ve akıcılığını yükselterek banyo içerisindeki gazların giderilmesini sağlar. Ayrıca koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli sprey ark oluşmasına katkıda bulunur (Tülbentçi, 1990).

3. KULLANILAN KORUYUCU GAZLARIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında kaynak metalinin mikroyapısında ferrit ve östenitik fazları olup çeşitli miktarlarda δ -ferrit içermektedir. δ -ferrit miktarı önemli şekilde östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine etki etmekte ve hacimce en uygun değeri % 5-10 arasındaki oran olup, sünekliliği, tokluğu ve korozyon direnci ile kaynak metalinin soğuması sırasında oluşabilecek sıcak çatlama direncini arttırmaktadır. Koruyucu argon gazına ilave edilen diğer gazlar kaynak metalinin mikro yapısına etki etmektedir. Örneğin koruyucu argon gazının içerisinde az miktarda azot ilavesi azot kuvvetli bir östenit oluşturduğundan kaynak metali içerisindeki δ -ferrit miktarını düşürmektedir (Kerr, and Leone, 1982; Odabaş, 2002). Kaynak metali içerisindeki farklı fazların miktarı ve dağılımı artık gerilmesi ve sertlik gibi özelliklere etki etmektedir (Lin and Chen, 2001).

Koruyucu gaza ilave edilen azot, kaynak metalindeki azot içeriğine Şekil 3 (a)'da gösterildiği gibi etki etmektedir. Koruyucu gaza ilave edilen azot miktarına bağlı olarak, kaynak metali içerisindeki azot içeriği lineer bir şekilde artmakta, koruyucu gaz içerisindeki azot içeriği kaynak voltajını ve kaynak metali içerisindeki ferrit miktarını etkilemektedir. Lin and Chen'in yaptığı çalışmada (Lin and Chen, 2001), 316L paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde azot miktarına bağlı olarak voltaj yükselmesi Şekil 3 (b)'de, yüksek ve düşük ısı girdisi durumlarında kaynak metalindeki ferrit içeriği değişimi ise Şekil 3 (c)'de gösterilmektedir. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, kaynak akımı ve hızı sabit tutulmasına rağmen voltaj ve ısı girdisinin artışına koruyucu gaz içerisindeki azot miktarı neden olmaktadır. Buna ilave olarak Şekil 3 (c)'de görüldüğü gibi, düşük ısı girdisinde ferrit içeriğinin yüksekliği, koruyucu gaz içerisindeki azot miktarının hacim olarak % 2'yi geçmediği durumlarda görülmektedir. Düşük ısı girdisinde yüksek soğuma oranı, yüksek sıcaklık fazı olan δ -ferritin östenit matris içerisinde kalıntı olarak kalmasına neden olabilir (Lin and Chen, 2001). Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarı kaynak dikişinin nüfuziyetine ve genişliğine etki etmektedir (Şekil 4).

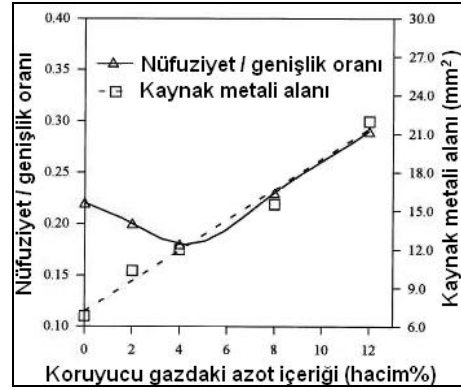
Şekilden, % 4 azot içeren koruyucu argon gazı kullanıldığında en düşük nüfuziyet/genişlik oranına erişildiği görülmektedir. Bunun nedeni, düşük voltaj elde edilmesi ile kaynak bölgesine olan ısı



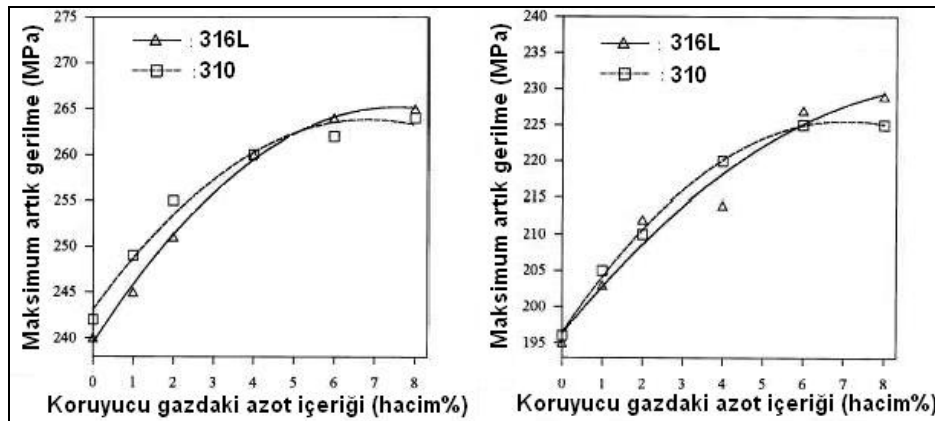
Şekil 3. Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarına bağlı olarak (a) kaynak metalinde ölçülen azot miktarı, (b) 316L östenitik paslanmaz çelik için gerilim değerleri ve (c) farklı ısı girdilerinde kaynak metalindeki ferrit miktarı (Lin and Chen, 2001)

girdisi düşük olmakta ve dar bir kaynak dikişi elde edilmektedir. Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarına bağlı olarak ısı girdisi artmakta, ortaya çıkan ısı ise ark ile kaynatılan parçalara iletilmektedir. Çünkü azot argon gazından daha yüksek ısı iletimine sahiptir (Cary, 1994). Açıklamadan da anlaşılabilir gibi azot, kaynak bölgesine argondan daha fazla ısı taşımaktadır. Şekil 5'de koruyucu gaz içerisindeki azot gazının kaynak bölgesindeki artık gerilmelerine etkisi gösterilmektedir. Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarına paralel olarak artık gerilme artmaktadır. Bunun nedeni olarak, genellikle ark kaynaklarında soğuma hızlı olmakta ve yüksek sıcaklıklarda östenitik paslanmaz çelik içerisinde bulunan δ -ferritin büyük bir olasılıkla kaynak metalinde kalması açıklanabilir. Kaynak bölgesinde farklı fazların oluşması kaynak sırasında bu fazların ısıl davranışlarındaki farklılıklarından

dolayı kaynak metalinde artık gerilmelerin artmasına neden olacaktır.



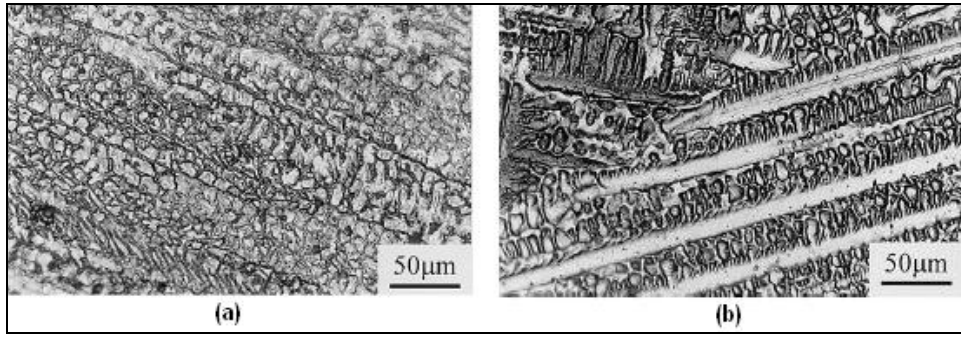
Şekil 4. Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarının kaynak dikişinin nüfuziyetine ve genişliğine etkisi (Lin and Chen, 2001).



Şekil 5. Koruyucu gazdaki azot içeriğinin 316L ve 310 östenitik paslanmaz çeliğin artık gerilmelerine etkisi (Lin and Chen, 2001)

Şekil 6'da, 316L paslanmaz çeliğin kaynağında kullanılan argon koruyucu gazın içerisine önce saf argon ile ve sonra % 8 azot içeren koruyucu gazla yapılan birleştirme sonucunda elde edilen kaynak dikişinin optik mikroskopta çekilmiş mikro yapıları

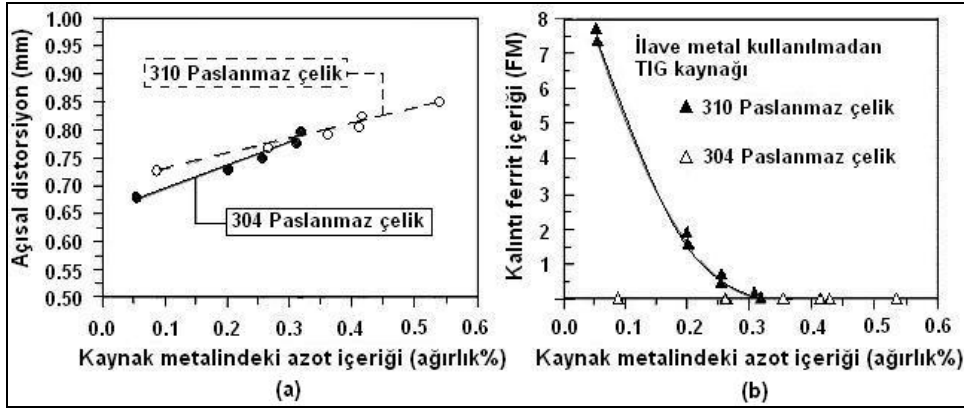
verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, her iki farklı koruyucu gaz ortamında oluşan mikroyapılar birbirlerinden oldukça farklıdır. Bu durum, yapı içerisindeki δ -ferrit miktarının farklılığından kaynaklanmaktadır (Lin and Chen, 2001).



Şekil 6. Düşük ısı girdisi altında 316L östenitik paslanmaz çeliğin (a) argon + % 0 azot ve (b) argon + % 8 azot içeren koruyucu gazla yapılan kaynak dikişinin mikroyapı fotoğrafları (Lin and Chen, 2001).

Tseng and Chou yaptıkları çalışmada (Tseng, and Chou, 2003), koruyucu gaz olarak kullanılan argona çeşitli yüzdelerde azot karıştırılarak yapılan TIG kaynağında, gaz kompozisyonunun birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin çarpılma ve kaynak

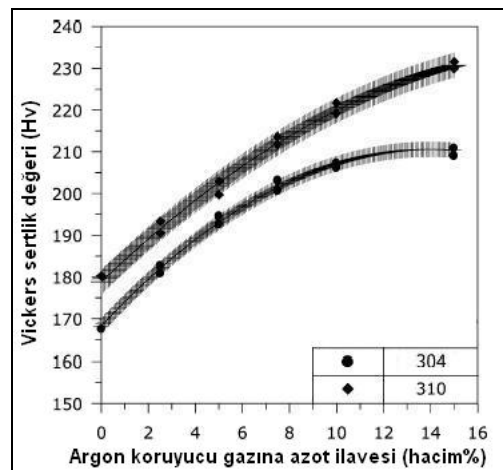
metalinde meydana gelen sertlik değişimlerini incelemiştir. Kaynak metali içindeki azot miktarı ile açılmal distorsiyon artmakta ve buna karşılık kalıntı ferrit miktarında ise düşme görülmektedir (Şekil 7 (a) ve (b)).



Şekil 7. Kaynak metalindeki azot içeriğinin 304 ve 310 östenitik paslanmaz çeliklerin (a) açılmal distorsiyonuna (b) kalıntı ferrit miktarına etkisi (Tseng and Chou, 2003)

Argon gazı içerisindeki azot miktarına paralel olarak kaynak bölgesindeki ısı miktarı artmaktadır. Bu, kaynak bölgesindeki sıcaklık yükselmesine neden olarak soğuma oranını düşürmektedir. Aynı zamanda, kaynak metalindeki azot miktarı da artmaktadır. Lancaster'e (Lancaster, 1993) göre, kullanılan metal içerisindeki krom miktarının artmasına bağlı olarak azot çözünebilirliği artmaktadır.

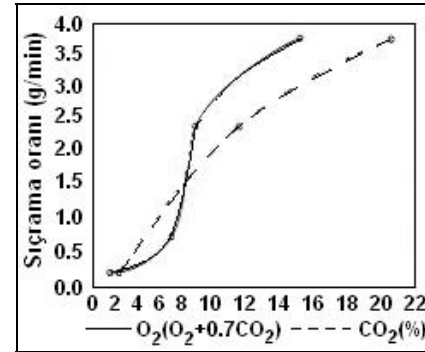
Şekil 8'de, koruyucu argon gazı içerisindeki azot miktarına bağlı olarak kaynak metali içerisindeki sertlik değerlerindeki dağılım verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi koruyucu gaz içerisindeki azot miktarı arttıkça sertlik değerlerinde de artma olmaktadır. Oluşan ara yer katı çökeltme mekanizması büyük bir olasılıkla östenitik paslanmaz çeliğin içerisindeki sertlik artışına neden olmaktadır (Ogawa, Suzuki, and Zaizen, 1984).



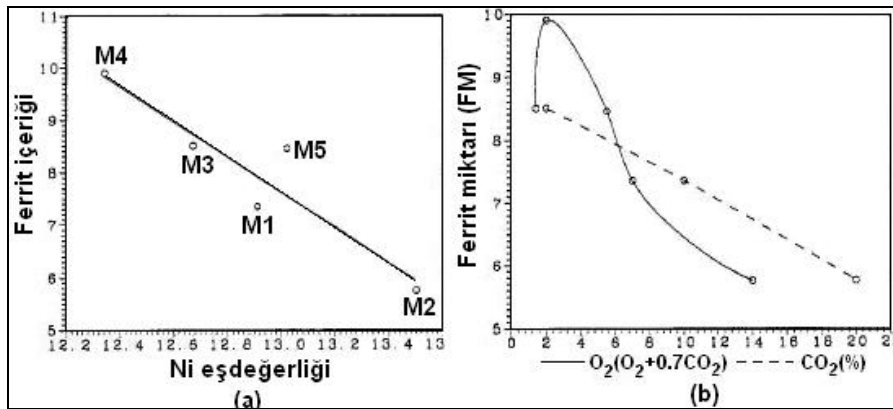
Şekil 8. TIG kaynak yönteminde koruyucu argon gazına azot ilavesine bağlı olarak östenitik paslanmaz çeliklerde Vickers sertlik değerleri (Ogawa, Suzuki, and Zaizen, 1984)

Liao and Chen tarafından yapılan çalışmada (Liao and Chen, 1998), östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak argona çeşitli miktarlarda karbondioksit ilavesinin sıçrama oranları, mikroyapı ve çentik darbe deneylerine etkileri yapılarak gaz kompozisyonları incelemiştir. Çalışmada kullanılan karışım gazların kompozisyonları (M1) 90 % Ar + 10 % CO₂, (M2) 80 % Ar + 20 % CO₂, (M3) 98 % Ar + 2 % CO₂, (M4) 98 % Ar + 2 % O₂, (M5) 93 % Ar + 2 % O₂ + 5 % CO₂ şeklindedir. Şekil 9'da karışım gazı içerisinde karbondioksit miktarının artışı ile beraber sıçrama miktarının arttığı görülmektedir. Sıçrayan parçaların boyutları karbon oranı ile paralel olarak artmaktadır. Şekilde yatay eksenle belirtilen oksijen potansiyeli, koruyucu gazın oksitleme etkisi ya da kaynak metali içerisindeki oksijen miktarı olarak tanımlanmaktadır. Oksijen ve karbondioksit oksitleyici gazlar olup, yüksek sıcaklıklarda oldukça aktif olduğundan, kaynak bölgesine kimyasal olarak etki etmektedirler. Şekil 10'da, argon gazı içerisinde oksijen ve karbondioksit miktarının kaynak metalinde bulunan ferrit miktarına etkisi verilmektedir. Koruyucu gaz içerisindeki karbondioksit miktarının artışı ile beraber ferrit miktarı düşmektedir. Karışım gazı içerisindeki karbondioksit gazının artışına paralel olarak kaynak metali içerisindeki karbon miktarı da artmaktadır. Bundan şekilce, ferrit miktarı azalmakta ve nikel eşdeğerliği (Ni_{eq}) yükselmektedir. Karbondioksit miktarının artışı aynı zamanda metal içerisindeki krom ve silisyum elementlerini oksitlediğinden krom eşdeğerliği (Cr_{eq}) düşmektedir (Liao, and Chen, 1998). Aynı çalışmada, koruyucu gaz içerisindeki karışım gazlarının mikroyapıya olan etkisini de araştırmışlardır. Kaynak metalleri içerisinde östenitik ve ferrit fazları bulunmaktadır. Genellikle östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında katılma

sonucunda ortaya çıkan bu ferritler fermikular ve levhalı ferrit morfolojisi şeklindedir. Fermikular ferrit doku elemanı, katı durumda ferritin yayınma kontrollü olarak östenite dönüşmesi sırasında oluşmakta ve katılma yapıyı takip eden aşamada ise birincil ferrit olarak görülmektedir. Ferritin bu tipi, birincil ferrit katılma sonrasında dentrit kolları arasında bulunmaktadır. Levhalı ferrit tipi ise birincil ferrit katılma sırasında oluşmaktadır. Karakteristik yönü levha ya da iğne formundadır. Alt tane sınırlarında katılmaktadır. Ferritin bu morfolojisi, yüksek ferritli ya da düşük ferritli kaynak metalinde hızlı soğuma sonucu ortaya çıkmış olup levhalı ve fermikular mikroyapıların birlikte bulunduğu dokulara sıkça rastlanmaktadır (Liao and Chen, 1998; Odabaş, 2002). Östenitik paslanmaz çeliklere azot ilavesi kaynağın katılma sırasında birincil δ-ferritten birincil östenite dönüşür. Ferrit fazının ısı iletim katsayısı östenitin sahip olduğu ısıl genişleme katsayısı değerinden daha düşüktür (Callister, 1997). Bundan dolayı, kaynak metali içerisinde kalıntı ferrit olması çift fazlı yapılarda, östenit içerisinde δ-ferritte olduğu gibi, oluşabilecek ısıl uyumsuzluğu azaltır (Lin and Chen, 2001).

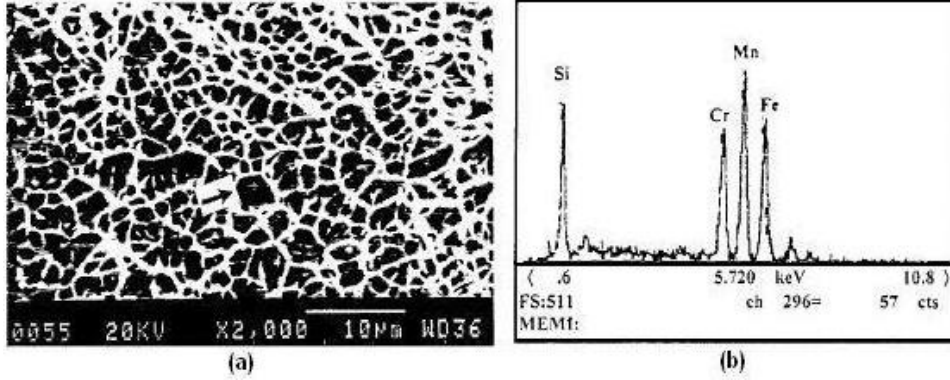


Şekil 9. O₂ ve CO₂ yüzdesine bağlı olarak sıçrama oranları (Liao and Chen, 1998)

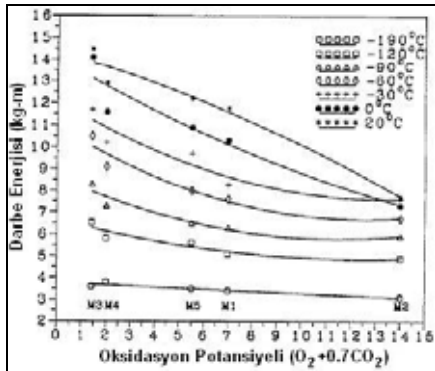


Şekil 10. Kaynak metalindeki ferrit miktarının (a) nikel eşdeğerliğine ve (b) argon gazı içerisindeki O₂ ve CO₂ oranına bağlı olarak değişimi (Liao and Chen, 1998)

Oda sıcaklığında yapılan çekme deneyleri sonucunda (Liao and Chen, 1998), kırılma yüzeyinin morfolojisi Şekil 11 (a)'da gösterilmektedir. Yüzey kırılma morfolojisi kırılma yüzeyinden parça kopması şeklinde olup, kaynak bölgesindeki saf olmayan partiküllerin kaynak bölgesindeki varlığından kaynaklanmaktadır. Bu partiküller kırılma yüzeyinde farklı ölçülerde bulunmakta ve bu yabancı maddelerin silisyum oksit ve mangan oksitten kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Şekil 11 (b)). Aynı çalışmada, argon gazı içerisindeki oksijen potansiyelinin çentik darbe enerjisine etkisi Şekil 12'de verilmiştir. Yapılan çentik darbe deneyleri oda sıcaklığından -196 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda yapılmış olup deney sıcaklığının azalması ile darbe enerjisi değerlerinin düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda,



Şekil 11. Oda sıcaklığında çekme numunelerinde kırılma sonucunda oluşan yüzey morfolojisinin (a) Tarama Elektron Mikroskop (SEM) görüntüsü ve (b) Şekil 9 (a)'da ok ile gösterilen kalıntının EDAX spektrumu (Liao and Chen, 1998).

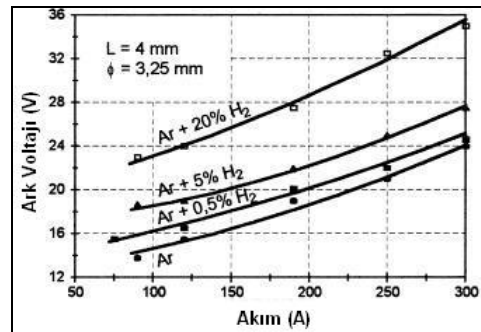


Şekil 12. Koruyucu gazların içerisindeki oksijen potansiyelinin çentik darbe enerjisine etkisi (Liao and Chen, 1998).

Tusek and Suban'ın koruyucu argon gazı içerisindeki hidrojen miktarının TIG kaynağında kaynak arkının statik karakteristiğinin üzerine yaptığı çalışmada (Tusek and Suban, 2000), hidrojen miktarı arttıkça ark voltajı da artmakta ve bu artış kaynak akımının artışına paralellik göstermektedir (Şekil 13). Hidrojen argona kıyasla

karışım gazı içerisinde bulunan karbondioksit miktarının da darbe enerjisi değerlerini azalttığı anlaşılmaktadır. δ -ferritin kırılma modu, kırılma çatlama şeklidir. δ -ferrit ve oksijen içeriği çentik tokluğu özellikleri açısından oldukça olumsuz olup, özellikle kırılma enerji değerlerindeki farklılık düşük sıcaklıklarda daha da artmaktadır. Östenit fazı yüzey merkezli kübik yapıya, δ -ferrit ise hacim merkezli kübik yapıya sahiptir. Yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan metal yüksek çentik tokluğuna sahip olmaktadır. Diğer taraftan, hacim merkezli kübik yapıya sahip olan metalin kırılma tokluğu tamamıyla sıcaklığa bağlı olmakta ve bundan dolayı düşük sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneylerinde gevrek kırılma göstermektedir (Dieter, 1988).

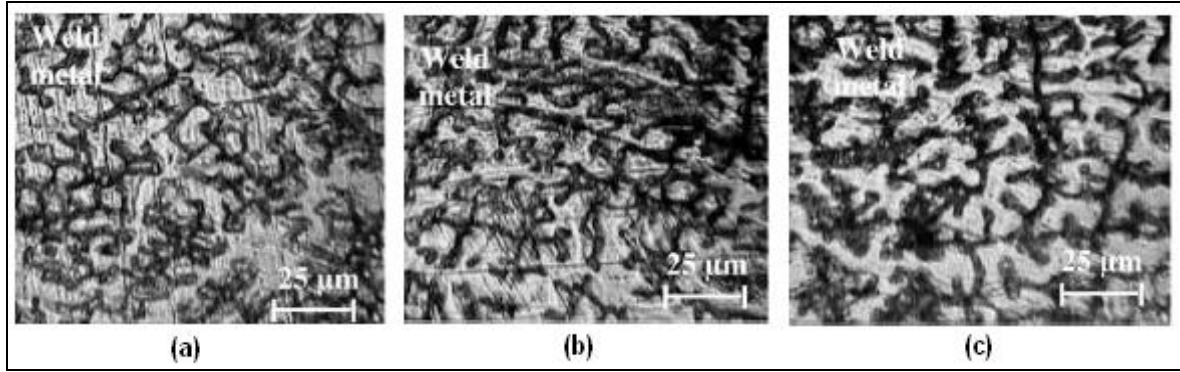
daha yüksek ısı iletkenliğe ve iyonizasyon enerjisine sahip olmasından dolayı güçlü ark voltaj düşümü sağlanmaktadır. Argon içerisindeki hidrojen miktarına paralel olarak hem TIG hem de MIG kaynağında ergiyen ana metal miktarı artmaktadır. Böylece, geniş ve derin kaynak dikiş şekli elde edilmektedir.



Şekil 13. TIG kaynak yönteminde koruyucu argon gazı içerisindeki çeşitli oranlardaki H_2 miktarının kaynak arkının statik karakteristilerine etkisi (Tusek and Suban, 2000).

Durgutlu'nun yapmış olduğu çalışmada (Durgutlu, 2004), koruyucu argon gazı içerisinde değişik oranlarda hidrojen ilave edilerek, 316L tipi östenitik paslanmaz çelikler TIG kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir. Argon içerisindeki hidrojen oranının artmasıyla malzemenin çekme dayanımının da arttığı görülmüştür. Fakat hidrojen oranındaki artışın devamında malzemenin çekme dayanımı ve yüzde uzama değerlerinde düşme görülmüştür. Ayrıca, kaynak metali içerisindeki hidrojen miktarının artışıyla artık gerilmenin artması, kaynak metalindeki sertlik değerlerinde artışa neden olmaktadır. Kullanılan bütün gaz

kompozisyonlarında, yapılan eğme deneyleri neticesinde numunelerde herhangi bir çatlakla rastlanmamıştır. Koruyucu gaz içerisinde bulunan hidrojen miktarının artması sonucu kaynak bölgesine olan ısı girdisi artmaktadır (Tusek and Suban, 2000). Isı girdisinin artmasıyla kaynak metalinin katılma süresi uzamaktadır. Bundan dolayı, Şekil 14 (b) ve (c)'de görüldüğü gibi tanelerin yönlenmesi farklı yönlerde olmaktadır. Kaynak metalinin mikroyapısında görülen tanelerin boyutu, koruyucu gaz olarak saf argon atmosferi kullanılan kaynaklı birleştirmelerinkine göre daha büyüktür (Şekil 14 (a) ve (c)).



Şekil 14. Koruyucu gaz olarak (a) saf argon (b) % 98.5 argon + % 1,5 hidrojen (c) % 95 argon + % 5 hidrojen kullanılarak yapılan kaynakların optik mikroskopta çekilmiş mikroyapı fotoğrafları (Durgutlu, 2004)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan koruyucu gaz kompozisyonlarının birleştirilen paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına etkileri literatür bilgilerinden faydalanılarak incelenmiş olup, aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır:

1. Östenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak genellikle argon kullanılmakla beraber bazı olumlu özelliklerinden dolayı argon gazına belirli oranlarda N_2 , H_2 ve CO_2 gazları ilave edilmekte ve bu karışım gazların kompozisyonları, birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etki etmektedir.
2. Kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun, birleştirilen paslanmaz çeliklerin mekanik ve mikroyapı üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. MIG kaynağında, argona karbondioksit gazı karıştırılarak kullanıldığında argon içerisindeki karbondioksit oranı arttıkça sıçrama oranı ve ferrit miktarı azalmasına karşın ferrit miktarı ve kırılma enerjisi değeri gaz içerisindeki oksijen potansiyeli ile artmaktadır. Bundan dolayı, kaynaklı

birleştirmenin çentik darbe dayanımı düşmektedir.

3. Argon gazı içerisindeki azot miktarının artmasına paralel olarak darbeli akım değerleri azalmakta ve azotun kaynak metali içerisinde çözünürlüğü azalmaktadır. Kaynak metali içerisindeki azot miktarının artması kaynak metali içerisinde δ -ferrit yüzdesini düşürmektedir. Böylece, birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine olumsuz etki etmektedir.
4. Paslanmaz çeliklerin, gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak kullanılan argon gazının içerisinde azot gazı ilave edildiğinde azot yüzdesine paralel olarak kaynak voltajı artmakta ve kaynak metali içerisindeki ferrit miktarı ile oluşan artık gerilmeleri azalmaktadır. Bunun esas nedeni, azot miktarının artışı ile artan ısı, ark tarafından metal parçasına transfer edilmesidir. Kaynak metali içerisindeki kalıntı ferrit miktarı artık gerilmelerine neden olmakta bu durum birleştirilen paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklere olumsuz etki yapmaktadır. Ayrıca, koruyucu gaz içerisinde bulunan azot miktarının artışı sertliği ve açılma distorsiyonu arttırmaktadır. Mikroyapı içerisinde bulunan kalıntı ferrit miktarının varlığı östenitik paslanmaz çeliklerin distorsiyon eğilimini azaltmaktadır.
5. MIG ve TIG kaynağında argon koruyucu gazının içerisinde hidrojen ilavesi, statik ark karakteristiğine etki ederek östenitik paslanmaz çeliklerin ergime miktarını ve ergime verimliliğini arttırmaktadır.

Hidrojen miktarının artmasıyla temiz bir kaynak yüzeyi elde edilmektedir. Argon içerisindeki hidrojen miktarı arttıkça kaynaklı parçaların çekme dayanımı artmakta ve yapılan eğilme deneylerinde herhangi bir çatlama görülmemektedir. Ayrıca, argon içerisindeki hidrojen miktarının artışına bağlı olarak kaynak bölgesinde tane boyutunda ve sertlik değerlerinde de artma görülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2003K120970'nolu, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Projesi kapsamında literatür araştırması olarak gerçekleştirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

Callister, W. D. 1997. Materials Science and Engineering, 4th. John Wiley&Sons Inc., 788, New York.

Cary, H. B. 1994, Modern Welding Technology, 3rd ed., Prentice-Hall Inc., 417, London.

Dieter, G. E. 1988. Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, 476, London.

Durgutlu, A. 2004. 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.

Eryürek, İ. B. 1998. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı, As Kaynak Yayını, 55-61, İstanbul.

Hilton, D. 1990. Shielding Gases For Gas Metal Arc Welding, Welding and Metal Fabrication, 58 (6), 333-334.

Kaluç, E., Sarı, N. 1996. Paslanmaz Çeliklerin MIG Yöntemi ile Kaynağı, Metal ve Kaynak, 32-75.

Kerr, H. W., Leone, G. J. 1982. Ferrite to Austenite Transformation in Stainless Steels, Welding Journal, 61 (1), 13-17.

Kotecki, D. J. 1993. Welding of Stainless Steel, ASM Handbook Vol.6, Welding and Brazing and Soldering, p. 677-709.

Lancaster, J.F. 1993. Metallurgy Of Welding, Chapman & Hall, 64-82, London.

Liao, M. T., Chen, P. Y. 1998. The Effect of Shielding-Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments, Materials Chemistry and Physics, 55, 145-151.

Lin, Y. C., Chen, P. Y. 2001. Effect of Nitrogen Content and Retained Ferrite on Residual Stress in Austenitic Stainless Steel Weldments, Materials Science and Engineering A, 307, p.165-171.

Lin, Y. C., Chen, P. Y. 1997. Effect of Preheating on The Residual Stress in Type 304 Stainless Weldment, Journal of Materials Processing Technology 63, 797-801.

Lothongkum, G., Viyanit, E., 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.

Lyttle, K. A., Shielding Gases, In: Materials Handbook of ASM, Vol. 6, 64.

Odabaş, C. 2002. Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, As Kaynak Yayını, İstanbul.

Ogawa, T., Suzuki, K., Zaizen, T. 1984. The Weldability of Nitrogen-Containing Austenitic Stainless Steel: Part II- Porosity Cracking and Creep Properties, Welding Journal, 63 (7), 213-223.

Onsoien, M., Peters, R., Olson, D. L., Lui, S. 1995. Effect of Hydrogen in an Argon GTAW Shielding Gas: Arc Characteristics and Bead Morphology, Welding Journal, 74 (1), 10-15.

Smith, W. F. 2000. Paslanmaz Çelikler, Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri, Cilt 1-Bölüm 5, 169-214, Çeviri: Erdoğan, M. Ankara.

Tseng, K. H., Chou, C. P. 2003. The Study of Nitrogen in Argon Gas on the Angular Distortion of Austenitic Stainless Steel Weldments, Journal of Materials Processing Technology, 123, 139-144.

Tusek, J., Suban, M. 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.

Tülbentçi, K. 1990. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, MIG-MAG Ergiyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding, 137-142, İstanbul.

Tülbentçi, K., Kaluç, E. 1994. Geçmişten Günümüze Paslanmaz Çelikler, META.

Ural, M., Kaluç, E. 1996. Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi ile Kaynağı, Makine&Metal Dergisi, Mart, 12-20.