

AISI 304 VE AISI 430 PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG, MIG VE ÖRTÜLÜ ELEKTROD ARK KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yakup KAYA

Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Balıklarkayası mevki, 78050, Karabük
ykaya@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 09.09.2009 ; Kabul/Accepted: 22.12.2009)

ÖZET

Bu çalışmada, 3 mm kalınlığında AISI 304 ostenit paslanmaz çelik levha ile aynı kalınlıkta AISI 430 ferritik paslanmaz çelik levhalar TIG (Tungsten Inert Gas), MIG (Metal Inert Gas) ve Örtülü elektrod ark kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş ve birleştirilen malzemelerin çekme dayanımı, çentik darbe dayanımı, mikrosertlik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Çekme testleri sonucunda tüm numunelerde kopma birleştirmenin ferritik paslanmaz çelik esas metal tarafında ve kaynak metaline yakın olan Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)' de gerçekleşmiştir. Kaynaklı bağlantılarda en yüksek çekme dayanımı ise TIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan elde edilmiştir. Çentik darbe testlerinde, TIG ve MIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantıların çentik darbe kırılma enerjileri, ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan yüksek ölçülmüştür. Mikrosertlik testleri sonucunda, tüm kaynak yöntemlerinde en yüksek sertlik değeri AISI 430 ferritik paslanmaz çelik esas metal tarafında kaynak metaline yakın olan ITAB' da ölçülmüştür. Mikroyapı incelemelerinde, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin ITAB bölgesinde belirgin bir tane irileşmesinin meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: TIG, MIG, Örtülü elektrod ark kaynağı, ostenitik paslanmaz çelik, ferritik paslanmaz çelik,

AN INVESTIGATION ON JOINABILITY OF THE AISI 304 AND AISI 430 STAINLESS STEEL BY TIG, MIG AND SHIELDED METAL ARC WELDING METHODS

ABSTRACT

In this study, AISI 430 ferritic stainless steel and AISI 304 austenitic stainless steel sheets with 3 mm thickness were joined by Tungsten Inert Gas (TIG), Metal Inert Gas (MIG) and shielded metal arc welding methods. Mechanical properties of the welded samples were investigated in terms of tensile strength, notch impact strength, microhardness and microstructure. The results of the tensile test indicated that fracture occurred at the HAZ of the ferritic stainless steel side in the all samples. The highest tensile strength in welded samples were obtained in the samples joined with TIG welding. According to the notch impact test, impact energy of the samples joined with TIG and MIG is higher than that of the samples joined with shielded metal arc welding. Microhardness test showed that the highest hardness was obtained in the HAZ at the AISI 430 stainless steel for all welding condition used in this work. According to microstructure investigation, it was observed that grain growth occurred in the HAZ of the AISI 430 ferritic stainless steel.

Keywords: TIG, MIG, Shielded metal arc welding, austenitic stainless steel, ferritic stainless steel

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır [1-7]. Paslanmaz çelikler; petro-kimya, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı

kaplar [2,4-7], mutfak eşyaları [8,9], kara ve deniz taşıtları üretimi gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır [10]. Paslanmaz çelikler içerdikleri minimum % 12 Krom (Cr) sayesinde, artan krom miktarına bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri artmaktadır [2-6,8-15].

Paslanmaz çelikler hem sprey iletim, hem kısa devre iletim hem de darbeli iletim tekniğiyle kaynak edilebilirler [16].

Ostenitik paslanmaz çelikler, paslanmaz çelikler grubunda %70' lik oranla en çok kullanılan çeliklerdir [3,7,8,10,17,18]. Ostenitik paslanmaz çelikler içinde; korozyon direnci, yüksek mukavemet, iyi biçimlendirilme ve kaynaklanabilme kabiliyeti olan AISI 304 tipi ostenitik paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır [7,19-21].

Ferritik paslanmaz çelikler, ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha ucuz olmaları, kolaylıkla şekillendirilebilmeleri ve atmosferik korozyona karşı iyi direnç göstermelerinden dolayı [22], otomobil egsoz sistemlerinde [23], mimaride, iç ve dış dekorasyonda, mutfak eşyalarında, gıda endüstrisinde geniş bir uygulama alanına sahiptir [24-26].

Günümüz endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması farklı özelliklere sahip malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır [6,27-30]. Farklı metallerin kaynağı, genellikle katı hal kaynak yöntemleri [29] ile yapılmasına rağmen elektrik ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile de yapılabilmektedir [6,27].

Bu çalışmada, paslanmaz çelik grubunun en yaygın kullanım alanına sahip olan AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik ve AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemeler, TIG, MIG ve Örtülü elektrod ark kaynak yöntemleriyle birleştirilmişlerdir. Farklı malzemelere uygulanan farklı kaynak yöntemlerinin, kaynak bölgesi üzerindeki etkilerini belirlemek için, birleştirilen malzemelere çekme, çentik darbe ve mikrosertlik testleri yapılmış ayrıca kaynaklı bağlantılar üzerinde mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

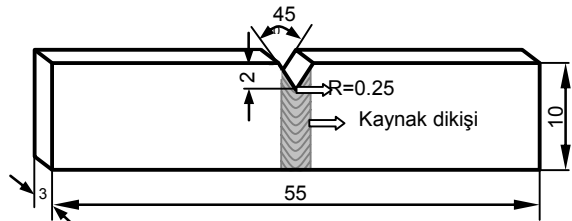
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Deneysel çalışmada, 200x80x3 mm ebatlarında AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çelik levhalar kullanılmıştır. Kullanılan AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşim (% ağırlık olarak) değerleri Çizelge 1' de verilmiştir. Ayrıca kaynak işlemlerinde, kaynak sonrası paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde görülen istenmeyen yapıyı (sigma fazı, krom karbür çökmesi) önlemek için düşük karbonlu L tipi, TIG kaynağında ER 316L, MIG kaynağında ER 308L ve Örtülü elektrod ark kaynağında E 316L-16 (350°C' de 2 saat kurutulmuş) ek kaynak metalleri kullanılmıştır. İlgili ek kaynak metallerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2' de verilmiştir. Kaynak yapılan malzemeler açık havada soğutulduktan sonra, curufları temizlenmiştir.

Birleştirme işlemlerinde; TIG kaynağında CEBORA Power TIG 1665 DC HF Inverter tipi, MIG kaynağında MIG 550 SW tipi ve Örtülü elektrod ark kaynağında RV 500 tipi kaynak makineleri kullanılmıştır. TIG kaynağı darbeli akımda gerçekleştirilmiş olup üst akım olarak 120 A ve alt akım olarak da 80 A seçilmiştir. Ayrıca, makina kaynak esnasında saniyede 5 darbe frekansı verebilecek şekilde ayarlanmıştır. Deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 3' de verilmiştir.

Kaynaklı bağlantıların başlangıç ve bitiş kısımlarından 20 mm lazer kesme yöntemi ile kesilerek atılmıştır. Kalan kısımlarından çekme deneyi, çentik darbe deneyi ve mikroyapı incelemeleri için numuneler hazırlanmıştır. Çekme numuneleri TS EN 895 standartına göre her bir kaynaklı bağlantıdan 3' er adet hazırlanmış ve Autograph-Shimadzu AG-IS tipi cihaz ile 2 mm/dk ilerleme hızında çekilmiştir. Çentik darbe numuneleri (Esas metaller, kaynak metalleri ve birleştirmelerin ferritik paslanmaz çelik tarafı ITAB'ı) Şekil 1' de verilen ölçülerde ve standarda göre her bir numuneden 3' er adet hazırlanmış ve Dewotrans marka çentik darbe cihazıyla oda sıcaklığında kırılmıştır.

Mikroyapı numuneleri, bakalite alma işleminden sonra standart metalografik numune hazırlama işlemlerine (zımparalama, parlatma) tabi tutulmuştur. Bu numuneler daha sonra oksalik asit ile elektrolitik olarak 14 V - 3 A uygulanarak 10 sn dağlama yapılmış ve mikroyapı incelemesi için hazır hale getirilmişlerdir. Hazırlanan numunelerin mikroyapı çalışmaları Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan mikroyapı numuneleri aynı zamanda mikrosertlik ölçümü için de kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Shimadzu HVM marka cihaz ile HV cinsinden ölçülmüştür. Mikrosertlik ölçümlerinde 500 g yük uygulanmış ve sonuçlar her bir bölgede gerçekleştirilen 5 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Çentik darbe test numunesi (Notch Impact test specimen)

Çizelge 1. Esas metallerin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %) (Chemical compositions of base metals) (wt. %)

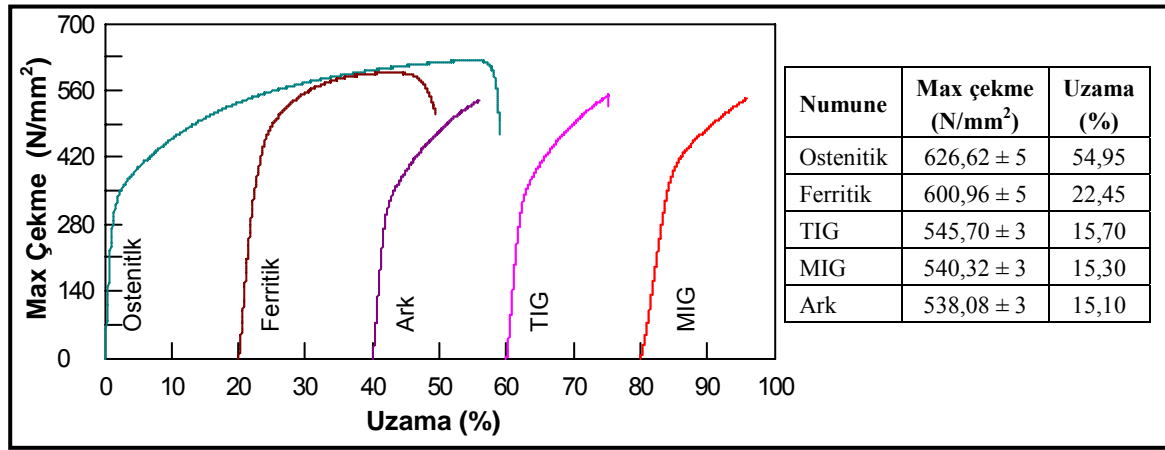
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Fe
AISI 304	0.07	1.01	0.75	18.23	8.12	0.027	0.02	Kalan
AISI 430	0.055	0.42	0.45	17.25	-	0.03	0.008	Kalan

Çizelge 2. Ek kaynak metallerin kimyasal bileşimleri (Ağırlıkça %) (Chemical compositions of filler metals) (wt. %)

Elektrod	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
ER 316L (TIG)	0.021	18.5	11.5	2.44	1.5	0.40	0.03	0.04
ER 308L (MIG)	0.03	19.5	10	-	1.75	0.85	0.03	0.03
E 316L-16 (Ark)	0.025	18.5	12	2.7	0.8	0.9	0.022	0.024

Çizelge 3. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used in this study)

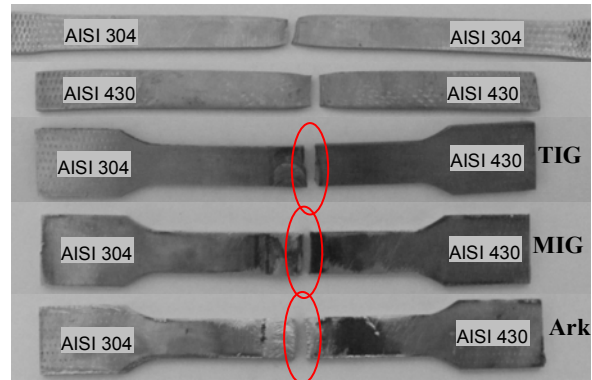
Kaynak Yöntemi	Kaynak akımı (Amper)	Kaynak hızı (cm/dk)	Isı girdisi (kJ/mm)	Gaz basıncı (lt/d)	Ek metal çapı (mm)	Akım türü
TIG Kaynağı	80-120	15	1.2	12	2	DC (-)
MIG Kaynağı	80	20	0.72	12	1.2	DC (+)
Örtülü Elektrot ile Ark Kaynağı	100	25	0.75	-	2.5	DC (+)

**Şekil 2.** Çekme test sonuçları (Tensile test results)

Üç farklı kaynak yöntemi kullanılarak oluşturulan kaynaklı birleştirmelerden elde edilen çekme numunelerinin kopma bölgeleri ile esas malzemelerin çekme deneyi sonrası kopma bölgesi fotoğrafları ise Şekil 3' de verilmiştir.

Kaynaklı bağlantılara yapılan çekme testleri sonucunda, üç farklı kaynak yöntemiyle birleştirilen bağlantıların çekme dayanımları ostenitik ve ferritik esas metallerin çekme dayanımından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Numunelerin tümünde kopma işlemi kaynaklı bağlanın ferritik paslanmaz çelik esas metal tarafında ve kaynak ergime sınırına bitişik olan ITAB' ın iri taneli bölgesinde meydana gelmiştir. Literatürde [31,32] bu bölge, yüksek sıcaklık ısıdan etkilenmiş bölge olarak tanımlanmakta ve kaynak ısı çevriminde A₃ sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara ısıtılmış esas metali temsil etmektedir.

Çekme testleri sonuçlarında, kopma işlemlerinin kaynak metallerinden gerçekleşmemesi nedeni ile her üç birleştirmenin (TIG, MIG ve ark) kaynak metallerinin dayanımlarına olan etkisi hakkında yorum yapılamamaktadır. Ancak, her üç yöntemle

**Şekil 3.** Çekme numunelerinin kopma bölgeleri (Fracture regions of the tensile specimens)

birleştirilmiş kaynak metallerinin dayanımlarının en az AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin ITAB' dan daha yüksek dayanım sergilediği anlaşılabilmektedir. Diğer yandan ek kaynak metalleri bileşim ve mekanik özellikler açısından esas metalle göre daha iyi özelliklerde üretilmektedirler. Bu nedenle kaynak bölgesi, esas metal ve ek kaynak metali karışımı olduğundan kopmanın bu bölgede meydana gelmemesi beklenen bir durumdur. Bu sonuçlar

kaynak dikişlerinin güvenli olduğunu ancak, kaynak esnasındaki ısı girdisinin esas malzemelerin dayanımlarını etkilediğini göstermektedir.

Şekil 2 incelendiğinde üç değişik kaynak yöntemiyle birleştirilmiş bağlantılardan en yüksek çekme dayanımı (545.70 N/mm^2) TIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan elde edilmiştir. Çok büyük bir fark olmamakla beraber MIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan ölçülen çekme dayanımı 540.32 N/mm^2 olurken, ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan ölçülen çekme dayanımı 538.08 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Kopmaların kaynak metalinden olmamasına rağmen üç kaynak yöntemi ile birleştirilen bağlantılardaki bu çekme farkı, kaynak yöntemine bağlı olarak kaynak esnasındaki ısı girdilerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kaynak esnasında malzemelere verilen ısı en çok ITAB' da etkili olmakta ve bu bölgede ısı girdisi artışına bağlı olarak tane irileşmesi de artmaktadır. Bilindiği gibi iri taneli yapıların dayanımı ince taneli yapılara göre daima düşük olmaktadır [33]. Çünkü malzeme içerisinde herhangi bir dislokasyon, bir tane sınırı ile karşılaşmadan önce, sadece kısa bir mesafede hareket eder ve böylece malzemelerin dayanımını artırır. Bu kural literatürde Hall-Petch eşitliği olarak bilinmektedir [33]. $\sigma_y = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$; Hall-Petch eşitliği metalik malzemelerde kayma gerilmesi ve tane boyutu arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır.

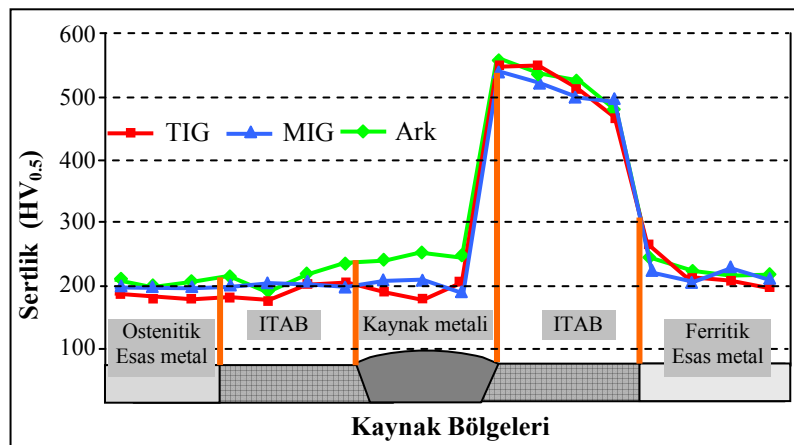
Kaynak esnasındaki ısıdan dolayı orijinal ferritik paslanmaz çelik malzemeye göre kaynaklı haldeki ferritik paslanmaz çelik malzemenin çekme dayanımında bir düşüş meydana gelmiştir. Birleştirmenin ostenitik paslanmaz çelik tarafında gözle görülebilir (kesit daralması, uzama) herhangi bir tahribat meydana gelmemiştir. Normalde kaynak esnasında malzemelere verilen ısı girdisi kaynak yönteminin yanında, kaynak akımı, kaynak ark gerilimi ve en önemlisi de kaynak hızı ile değişmektedir [34]. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak parametrelerine bakıldığında en düşük kaynak hızı TIG kaynağında olmasına rağmen, en yüksek çekme dayanımı bu numunelerden elde edilmiştir.

Bunun sebebi, TIG kaynağının klasik kaynak parametreleriyle değil, inverter türü kaynak makinelerine özgü bir özellik olan darbeli akımla kaynak yapılmasından ileri gelmektedir. Inverter türü kaynak makineleri ile darbeli akımda yapılan kaynak işlemleri esnasındaki ısı girdisinin, klasik akımda yapılan TIG kaynağına göre daha düşük olduğu rapor edilmiştir [4,35].

Çekme deneyi sonucunda elde edilen % uzama değerleri incelendiğinde, ostenitik paslanmaz çelik numune ortalama % 54.95, ferritik paslanmaz çelik numune ortalama % 22.45, TIG kaynaklı bağlantı ortalama % 15.70, MIG kaynaklı bağlantı ortalama % 15.30, örtülü elektrod ark kaynaklı bağlantı ortalama % 15.10 uzama değeri elde edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların % uzama miktarları incelendiğinde değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu ve üç farklı kaynak yöntemiyle birleştirilen bağlantıların ortalama % uzama değerlerinin her iki esas malzemeden daha düşük olduğu görülmüştür. Kaynaklı bağlantılardaki % uzama miktarının azalmasının nedeni, bu numunelerdeki çekme dayanımının azalmasına ve kaynak esnasında sertliği artarak deforme olmayan bölgelerin varlığına bağlanabilir. Kaynaklı bağlantıların az miktarda farklı % uzama göstermesinin nedeni, kaynak yöntemlerindeki farklı ısı girdilerinden ve kaynak esnasında kullanılan ek metallerin farklı kimyasal bileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir [27].

3.2. Mikrosertlik testi (Microhardness test)

Şekil 4' de TIG, MIG ve örtülü elektrod ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantıların mikrosertlik değerleri verilmiştir. Her üç kaynak yöntemi ile birleştirilmiş bağlantılardan ölçülen sertlik değerlerinin birbirlerinden çok farklı olmadıkları görülmektedir. Kaynak metallerinden ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek sertlik değerini ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılar verirken, onu sırasıyla MIG ve TIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılar takip etmektedir. Kaynaklı bağlantılarda, esas metal kısımlarındaki sertlik değerleri incelendiğinde ise çok



Şekil 4. Mikrosertlik testi sonuçları (Microhardness test results)

az bir fark olmakla birlikte ferritik paslanmaz çelik levhanın daha sert olduğu görülmektedir. Ayrıca her üç yöntemde birleştirilen kaynak metali sertliklerinin de esas metal sertlik değerlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Bir kaynaklı bağlantıda esas metal ve/veya metaller ile kaynak metali sertliklerinin birbirlerine yakın ölçülmesi, kullanılan kaynak yöntemleri için ek kaynak metallerinin doğru seçildiğinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

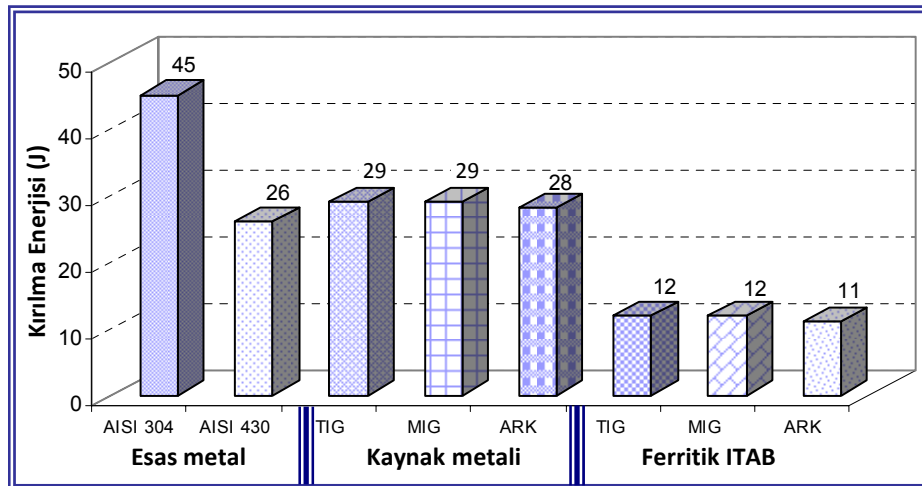
Üç farklı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş bağlantıların en dikkat çekici yeri sertliğin en yüksek olduğu ferritik malzemenin ITAB' dir. Buradan ölçülen sertlik değerleri her iki esas malzeme ve her üç yöntemle birleştirilmiş kaynak metallerinden ölçülen sertlik değerlerinden iki kattan daha yüksektir. Bunun sebebi olarak, kaynak esnasındaki yüksek ısıdan dolayı ITAB bölgesinde meydana gelen tane irileşmesi gösterilebilir. Literatürde [36] bu çeliklerin en karakteristik özelliğinin, kaynak metalinde ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan tane büyümesi olduğu belirtilmektedir. Kaynak yöntemine göre (TIG, MIG ve elektrik ark) kaynak bölgesine verilen ısı girdisi değiştiğinden, kaynaklı bağlantılardaki gerek kaynak metali, gerekse ITAB' ın sertlik değerlerinin değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca kaynak metalinden ölçülen sertlik değerlerinin farklı olmasında, her üç kaynak yöntemlerinde kullanılan ek metalin kimyasal bileşimin etkisinin olduğu düşünülmektedir.

3.3. Çentik darbe testi (Notch Impact test)

TIG, MIG ve örtülü elektrod ark kaynak yöntemleriyle birleştirilen bağlantıların kaynak metali ve birleştirmenin ferritik tarafının ITAB' ı ile AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik ve AISI 430 ferritik paslanmaz çelik esas malzemelerin çentik darbe kırılma enerjisi sonuçları Şekil 5' de verilmiştir. Çentik darbe deneyleri, sadece esas metaller ile kaynaklı bağlantıları ve kaynaklı bağlantıları birbirleriyle kıyaslamak (kaynak yönteminin etkilerini belirlemek) amacıyla yapılmıştır.

Şekil 5' de verilen çentik darbe kırılma enerjileri incelendiğinde, en yüksek kırılma enerjisi ostenitik esas metal malzemede elde edilirken, en düşük kırılma enerjileri birleştirmenin ferritik tarafındaki ITAB' da ölçülmüştür. Kırılma enerjisi, ostenitik paslanmaz çelik esas metalde 45 J, ferritik paslanmaz çelik esas metalde 26 J, TIG ve MIG kaynaklı bağlantılarda 29 J ve örtülü elektrod ark kaynaklı bağlantıda ise 28 J olarak ölçülmüştür. Her üç kaynak yöntemi ile birleştirilmiş bağlantılardan ölçülen kırılma enerjisi değerleri, orijinal ostenitik paslanmaz çelik esas metalin kırılma enerjisi değerinden düşük fakat orijinal ferritik paslanmaz çelik esas metalin kırılma enerjisi değerinden ise yüksek değerlerde bulunmuştur. Kaynaklı birleştirmelerinin ferritik tarafındaki ITAB' dan ölçülen kırılma enerjileri, TIG ve MIG kaynağı ile birleştirilen bağlantılardan 12 J olarak ölçülürken elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan 11 J olarak ölçülmüştür. Her üç kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kaynaklı bağlantıların en kritik bölgesinin, aşırı tane büyümesine bağlı olarak ITAB' da olduğu bir gerçektir. Literatürde [14,37] tane büyümesinin kaynak esnasındaki sıcaklık derecesi ve bu sıcaklıkta durulan süre ile ilgili olduğu ve ısıdan etkilenen bölgede tokluk kaybına neden olduğu belirtilmiştir. Şekil 4' deki mikrosertlik grafiği ile kaynaklı bağlantılardan elde edilen kırılma enerjisi değerleri (Şekil 5) kıyaslanacak olursa sertliğin belirli bir noktaya kadar artmasıyla tokluğun düştüğü görülmektedir. Ferritik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerin, ostenit bir ek kaynak metali ve MIG kaynağı ile birleştirildiği bir çalışmada da [28] kaynak metalindeki sertliğin artmasına bağlı olarak çentik darbe dayanımının düştüğünü rapor etmişlerdir.

Ostenitik ek kaynak metalinin kullanıldığı benzer ve farklı paslanmaz çeliklerin kaynağında, kullanılan kaynak yöntemi ve kaynak parametrelerine göre gerek kaynak metalinde gerekse ITAB' da farklı ısı girdilerinden dolayı tane büyümesinin farklı olması



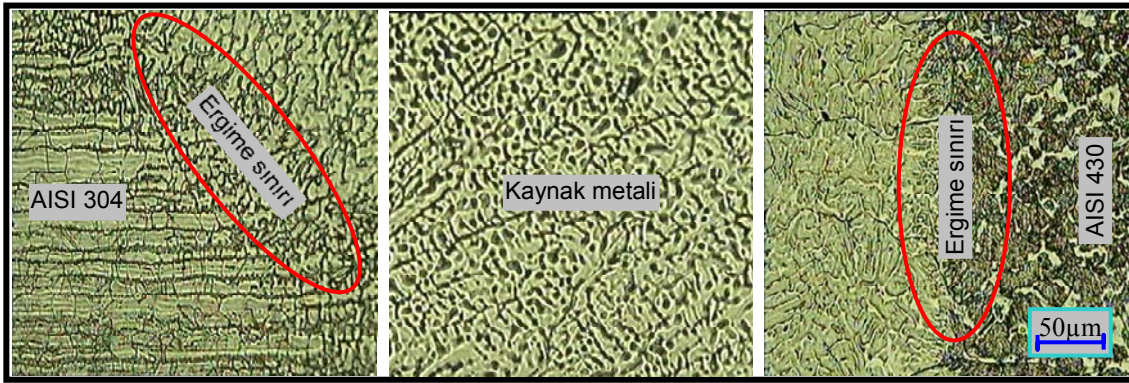
Şekil 5. Esas metal, kaynak metali ve ITAB darbe test sonuçları (Base metal, weld metal and HAZ notch impact test results)

beklenen doğal bir sonuçtur. Literatürde [36] paslanmaz çeliklerin en karakteristik özelliğinin; kaynak dikişinde ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesinin olduğu belirtilmektedir. Normal halde ferritik paslanmaz çelikler ince taneli bir yapıya sahiptirler. Ancak, bu malzemeler 1150°C' nin üzerindeki sıcaklarda tane büyümesine karşı aşırı eğilimlidir. Kaynak sırasında İTAB' ın bir bölümü 1150°C üzerindeki bir sıcaklığa ısınır ve bu bölgede aşırı tane büyümesi oluşur. Kaba taneli hale gelen yapı gevrekleşir ve geçiş sıcaklığı da yükselir. Bu malzemelerde katı halde ostenitin ferrite dönüşmesi olayı meydana gelmediğinden ısı işlem yardımı ile

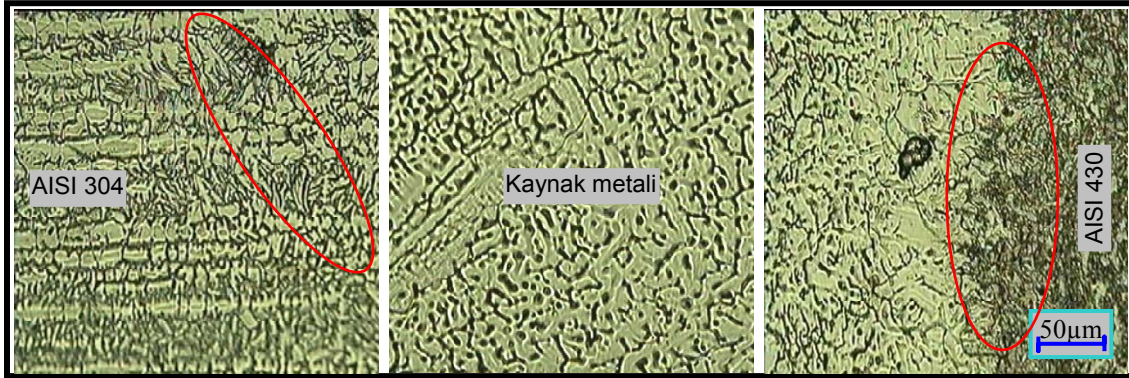
tanelerin küçülmesi olanağı da yoktur. Bu yüzden bu malzemelerin kaynağında kaynak öncesi ve kaynak esnasında alınan önlemlerle, tane büyümesi azaltılmaya/önlenmeye çalışılır.

3.4. Mikroyapı (Microstructure)

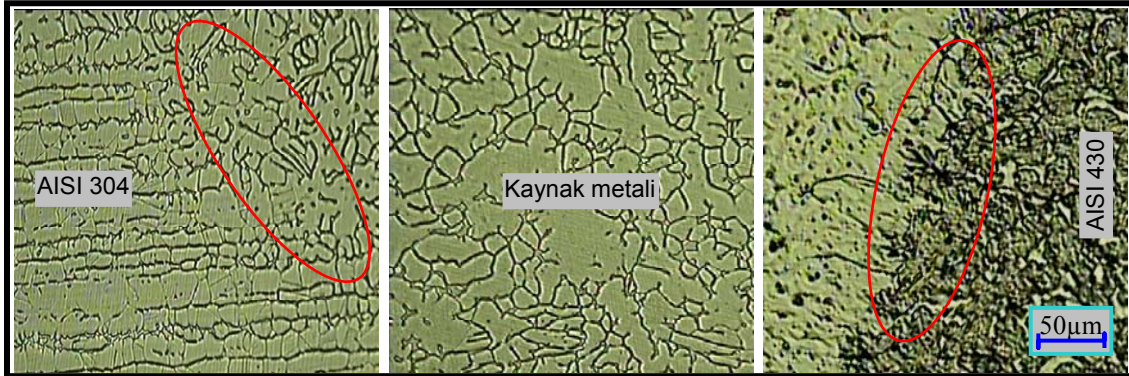
Üç farklı kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 ostenitik ve AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerden elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 6-8' de verilmiştir. Burada, Şekil 6, TIG kaynağı ile birleştirilen bağlantının, Şekil 7, MIG kaynağı ile birleştirilen bağlantının ve Şekil 8, ise örtülü elektrod kaynağı ile birleştirilen bağlantının kaynak bölgesi



Şekil 6. TIG kaynağı ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı resimleri (Optical microstructures of the samples joined by TIG welding)



Şekil 7. MIG kaynağı ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı resimleri (Optical microstructures of the samples joined by MIG welding)



Şekil 8. Ark kaynağı ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı resimleri (Optical microstructures of the samples joined by shielded metal arc welding)

(kaynak metali, geçiş bölgesi ve ITAB) mikroyapı görüntülerini göstermektedir. Ostenitik esas metalin tanelerinin hadde doğrultusunda yönlendikleri görülmektedir. Kaynak metali mikroyapıları incelendiğinde yapının yaklaşık % 90' ından fazlasının ostenitten meydana geldiği, geri kalan yaklaşık % 10' un altındaki bir kısmının ferritten oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca ostenit tanelerinin etrafında ferritin oluştuğu ancak ostenitin tamamen ferrit taneleri ile çevrilmediği görülmektedir. Literatürde [36] yapıda bulunması gereken ferrit miktarının belirli bir miktarda olması gerektiği (% 3-4) ancak esneklik kabiliyeti azalmaması için % 12' yi geçmesi tavsiye edilmektedir. Bu sonuç, AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik ile AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemelerin birleştirme işlemlerinde (TIG, MIG ve ark) kullanılan ek kaynak metallerin seçimlerinin doğru yapıldığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Şekil 6' de TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş bağlantının kaynak metali mikroyapısı incelendiğinde, ergiyip katılmış kaynak metalinin eş eksenli dendritik tanelerden meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, birleştirmenin ostenitik paslanmaz çelik tarafı ergime sınırına yakın bölgedeki tanelerin, kaynak metali taneleriyle benzer görünümde oldukları ancak, bu bölgedeki ısının karmaşıklığından dolayı tane yönelmelerinin düzenli olmadığı tespit edilmiştir.

Birleştirmenin ferritik paslanmaz çelik tarafı ergime sınırına yakın bölge incelendiğinde, bu bölgede oluşan taneler, ostenitik ek kaynak metali+ferritik esas metal karışımından oluştuğundan dolayı kaynak metali taneleriyle benzer görünümde olmadıkları görülmektedir. Bunun yanında, birleştirmenin ostenitik tarafında fazla bir tane irileşmesi gözlenmezken, birleştirmenin ferritik tarafında belirgin bir tane irileşmesinin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Şekil 7. ve Şekil 8. incelendiğinde de benzer sonuçların olduğu görülmektedir. Ancak, MIG ve örtülü elektrod ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardaki ısı girdisinin farklı olmasından dolayı kaynak metali tane iriliklerinin TIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan daha fazla olduğu görülmektedir. Normalde TIG kaynağı ısı girdisinin MIG ve ark kaynak yöntemine göre daha yüksek olduğundan dolayı daha iri taneli olması gerekirdi. Ancak, TIG kaynağının inverter türü kaynak makinesinde ve darbeli akımda yapılması, ısı girdisinin azalmasına ve yapının ince taneli olarak katılmasına neden olmuştur. Bu sonuç literatürle uyum içerisindedir [4].

Mikroyapıların tümü (Şekil 6-Şekil 8) bir bütün olarak değerlendirildiğinde; ısı girdisinin artışına bağlı olarak tane irileşmesinin arttığı ve kaynak metalinin katılmasının kaynak merkez çizgisine

doğru gerçekleştiği ve de ergimiş-katılmış tanelerin ısı akış yönünde yönlendiği görülmüştür. Daha önce ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı üzerine yapılan çalışmalarda da [5,9,38], ısı girdisinin artışına bağlı olarak tane irileşmesinin arttığı ve kaynak metalinde ısı akışına göre tanelerde yönelmelerin oluştuğu belirtilmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- i) TIG, MIG ve elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş bağlantılardan yapılan çekme testleri sonucunda, en yüksek çekme dayanımı TIG kaynağı ile birleştirmiş bağlantılardan elde edilmiştir.
- ii) Kaynaklı bağlantıların tümünde kopma işlemi kaynaklı bağlantının ferritik paslanmaz çelik malzeme tarafında ve ITAB' ın iri taneli bölgesinde meydana gelmiştir.
- iii) Mikrosertlik ölçümleri sonucunda, en yüksek sertlik değerini ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılar verirken, onu sırasıyla MIG ve TIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılar takip etmektedir. Ayrıca, en yüksek sertlik değerleri, birleştirmenin ferritik tarafındaki ITAB' dan ölçülmüştür.
- iv) Çentik darbe deneyleri sonucunda, en düşük çentik darbe kırılma enerjileri birleştirmelerin ferritik paslanmaz çelik tarafındaki ITAB' dan ölçülmüştür. TIG ve MIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantıların kaynak metallere göre ölçülen kırılma enerjilerinin aynı olduğu ve ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan ise daha yüksek oldukları tespit edilmiştir.
- v) Optik mikroskop çalışması sonucunda, ergiyip katılmış kaynak metalinin eş eksenli dendritik tanelerden meydana geldiği belirlenmiştir.
- vi) Birleştirmenin ostenitik tarafında tane irileşmesi gözlenmezken, ferritik tarafında belirgin bir tane irileşmesinin meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- vii) Kullanılan kaynak yöntemine göre, ısı girdisinin değişiklik gösterdiği, ayrıca ısı girdisinin artışına bağlı olarak tane irileşmesinin arttığı ve kaynak metalindeki tanelerin ısı akış yönünde yönlendikleri belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Tülbentçi, K., **MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntem**, Arctech Kaynak Elektrodları Yayını, Yayın No: 2, İstanbul, 1998.
2. Kahraman, N., Gülenç B., ve Akça H., "Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Ostenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", **G.Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 17, No 3, 75-85, 2002.

3. Gözütok, E., Kahraman, N., Durgutlu, A., ve Gülenç, B., "The Influence of Hydrogen Addition to the Shielding Argon Gas in TIG Welding of AISI 304 Materials", **1. International Conference On Welding Technologies**, Gazi Universty Ankara/Turkey, 778-786, 11-13 June 2009.
4. Durgutlu, A., Fındık, T., Arabacı, U., ve Gülenç, B., "The Effect of Current Type on Weld Metal Microstructure and Hardness Value in Welding of Stainless Stell", **1. International Conference On Welding Technologies**, Gazi Universty Ankara/Turkey, 591-597, 11-13 June 2009.
5. Kahraman, N., Durgutlu, A., ve Gülenç, B., "316L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması", **G.Ü., Politeknik Dergisi**, Cilt 7, No 3, 223-228, 2004.
6. Kahraman, N., ve Durgutlu, A., "316L Paslanmaz Çelik ile Bakır Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması", **Teknoloji Dergisi**, Cilt 8, No 1, 43-50, 2005.
7. Keskin, M. S., "Investigation Of The Weldability Of Austenitik Stainless Steel By Laser Welding Method", **5. International Advanced Technologies Symposium**, Karabuk Universty, Karabuk/Turkey, 940-942, 13-15 May 2009.
8. Özyürek, D., "An Effect of Weld Current and Weld Atmosphere on the Resistance Spot Weldability of 304L Austenitic Stainless Steel", **Materials and Design**, 29, 597-603, 2008.
9. Gülenç, B., Develi, K., Kahraman, N., ve Durgutlu, A., "Experimental Study of the Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas in MIG Welding of Austenitic Stainless Steel", **International Journal of Hydrogen Energy**, 30, 1475-1481, 2005.
10. Tekin, N., Küpeli, G., ve Gülsoy, H. Ö., "Welding of Stainless Steel with Low Carbon Stell by Submerged Arc Welding Methot", **1. International Conference On Welding Technologies**, Gazi Universty, Ankara/Turkey, 637-644, 11-13 June 2009.
11. Yıldırım, G., ve Kaçar, R., "TIG Arc Weldability of AISI 321 Stainless Stell", **1. International Conference On Welding Technologies**, Gazi Universty, Ankara/Turkey, 757-766, 11-13 June 2009.
12. Çetinkaya, C., Yumuşak M. D., ve Fındık, T., "TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Ferritik Paslanmaz Çeliklerde Argon ve Helyum Gazlarının Kaynak Karakteristik Üzerine Etkisinin İncelenmesi", **1. International Conference On Welding Technologies**, Gazi Universty, Ankara/Turkey, 963-971, 11-13 June 2009.
13. Silvaa, C. C., Fariasa, J. P., Mirandaa, H. C., Guimaraesa, R. F., Menezesb, J. W. A., and Netoc, M. A. M., "Microstructural Characterization of the HAZ in AISI 444 Ferritic Stainless Steel Welds", **Materials Characterization**, 59, 528-533, 2008.
14. Kölük, F., **Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Yönteminin Isı tesiri Altında Kalan Bölgeye Etkisinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2000.
15. Türkyılmazoğlu, A., **Dubleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı**, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006.
16. Eryürek İ. B, **Gazaltı Kaynağı**, Eczacıbaşı-Lincoln Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., 50-55, İstanbul, 2003.
17. Tsay, L. W., Yu, S. C., Chyou, S. D., and Lin, D. Y., "A Comparison of Hydrogen Embrittlement Susceptibility of Two Austenitic Stainless Steel Welds" **Corrosion Science**, 49, 4028-4039, 2007.
18. Kaluç, E., **Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı**, Kaynak Dünyası, 15-21, İstanbul, 1990.
19. Kanga, B. Y., Yarlagadda, K. D., Prasad, V., Kang, M. J., Kim, H. J., and Kim, I. S., "The Effect of Alternate Supply of Shielding Gases in Austenite Stainless Steel GTA Welding" **Journal of Materials Processing Technology**, 209, 4722-4727, 2009.
20. Moayed, M. H., Davoodi, A., and Ale-Yassin, A., "Galvanic Corrosion in Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) 304 Austenitic Stainless Steel Weldment", **1. International Conference On Welding Technologies**, Gazi Universty, Ankara/Turkey, 604-609, 2009.
21. Karcı, F., Kaçar, R., ve Gündüz, S., "The Effect of Process Parameter on the Properties of Spot Welded Cold Deformed AISI 304 Grade Austenitic Stainless Steel", **Journal of Materials Processing Technology**, 209, 4011-4019, 2009.
22. Lakshminarayanan, A K., Shanmugam, K., and Balasubramanian, V., "Effect of Autogenous Arc Welding Processes on Tensile and Impact Properties of Ferritic Stainless Steel Joints" **Journal Of Iron And Steel Research, International**, 16(1): 62-68, 16, 2009.
23. Wang, L., Song, C., Sun, F., Li, L., and Zhai, Q., "Microstructure and Mechanical Properties of 12 wt.% Cr Ferritic Stainless Steel with Ti and Nb Dual Stabilization", **Materials and Design**, 30, 49-56, 2009.
24. Çalgülü, U., Taşkın, M., Dikbaş, H., ve Gür, A. K., "The Effect on the Joining of Welding Speed on the Laser Welding with 2250 W Welding Power of Steels AISI 430-AISI 1010",

- 1. International Conference On Welding Technologies**, Gazi Universty, Ankara/Turkey,674-687, 11-13 June 2009.
25. Shanmugam, K., Lakshminarayanan, A. K., and Balasubramanian, V., “Effect of Weld Metal Properties on Fatigue Crack Growth Behaviour of Gas Tungsten Arc Welded AISI 409M Grade Ferritic Stainless Steel Joints”, **International Journal of Pressure Vessels and Piping**, 86, 517–524, 2009.
26. Dikbaş, H., Çalgülü, U., Gür, A. K., Orhan, A., ve Taşkın, M., “The Investigation of Bondability of AISI 430 Ferritic Stainless Steel with AISI 1010 Low Carbon Steel Using Copper Interlayer with Diffusion Bonding”, **1. International Conference On Welding Technologies**, Gazi Universty, Ankara/Turkey,743-748, 11-13 June 2009.
27. Durgutlu, A., Kahraman, N., ve Gülenç, B., “Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi” **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, Gazi Univ. Cilt 20, No 3, 183-189, 2005.
28. Kılınçer, S., ve Kahraman, N., “AISI 409 ve Ç1010 Çeliğin Östenitik Elektrod Kullanarak MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, Cilt 24, No 1, 23-31, 2009.
29. Satyanarayana, V. V., Madhusudhan, R. G., and Mohandas, T., “Dissimilar Metal Friction Welding of Austenitic–Ferritic Stainless Steels” **Journal of Materials Processing Technology**, 160, 128–137, 2005.
30. Kahraman, N., ve Gülenç, B., **Modern Kaynak Teknolojisi**, Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti, Ankara, 2009.
31. Taban, E., **Yapısal Uygulamalar İçin Gelistirilen Modifiye 12 Cr Ferritik Paslanmaz Çeliğinin Özellikleri ve Kaynak Kabiliyeti**, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007.
32. Taban, E., Deleu, E., Dhooge, A., Kaluç, E., “Evaluation of Dissimilar Welds Between the Ferritic Stainless Steel Modified 12% Cr and the Carbon Steel S355” **Welding Journal**, Vol. 87, No 12, P. 291- 297, December 2008.
33. Erdoğan, M., **Mühendislik Malzemelerinin Yapı ve Özellikleri**, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Cilt 2, 70-71, 2001.
34. Gour L. M., **Principles of Welding Technology**, Third ed. British Library Cataloguing in Publication Data, London, 40-42, 1995.
35. Durgutlu, A., Kahraman, N., ve Gülenç, B., “Al-Si Alaşımının TIG Kaynağında Darbeli Akımın Mikroyapı, Sertlik, Eğme ve Çekme Dayanımına Etkisi”, **Politeknik Dergisi**, Cilt 11, Sayı 4, Sayfa 339-334, 2008.
36. Eryürek, B., ve Odabaş, C., **Çelikler İçin Örtülü Elektrot Seçimi, Gazaltı Kaynağı, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı**, Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticareti A.Ş. Yayını, İstanbul, 109-113, 2006.
37. Kaluç, E., **Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı**, Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1989/3, s. 11-14, İstanbul, Kasım 1989.
38. 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,

