

AISI 409 VE Ç1010 ÇELİĞİN ÖSTENİTİK ELEKTROD KULLANARAK MIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Sabri KILINÇER ve Nizamettin KAHRAMAN*

Metal İşleri Bölümü, Akören Çok Programlı Lisesi, Akören, Konya

*Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük

sabri_6767@hotmail.com, nkahraman@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 17.12.2007 ; Kabul/Accepted: 05.11.2008)

ÖZET

Bu çalışmada, gaz metal ark kaynak yöntemi ile farklı metallerin kaynaklanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, ferritik paslanmaz çelik (AISI 409) ile düşük karbonlu çelik (Ç1010) malzemeler östenitik bir ilave metal kullanılarak otomatik robot yardımıyla değişik parametrelerde birleştirilmişlerdir. Kaynaklı numunelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini belirlemek için, çekme, eğme, sertlik ve çentik darbe testi ile mikroyapı çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çekme testi sonucunda ayrılma, kaynak bölgesi dışarısında ve düşük karbonlu çelik levha ortasında meydana gelmiştir. Eğme testi sonucunda kaynak bölgesinde gözle görülebilir bir çatlak ve yırtılma hatasına rastlanmamıştır. Bütün kaynak parametrelerinde, kaynak metali sertliğinin ITAB ve esas metalden yüksek olduğu görülmüştür. Mikroyapı çalışmaları sonucunda kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölgede (ITAB) tane irileşmesinin meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: MIG kaynağı, farklı metallerin kaynağı, ferritik paslanmaz çelikler, kaynak robotu.

MIG WELDING OF AISI 409 AND Ç1010 STEEL USING AN AUSTENITIC ELECTRODE AND INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT

In this study, joinability of dissimilar metals by using gas metal arc welding was investigated. For this aim, a ferritic stainless steel (AISI 409) and a low carbon steel (Ç 1010) were joined at different welding parameters through automated robotic gas metal arc welding process using an austenitic filler metal. Mechanical and metallographic properties of the specimens were obtained by means of tensile test, bending test, microhardness test, impact test and optical microscopy examinations. In the tensile tests, fracture always occurred in the low carbon steel portion of the welded specimens away from the weld zone. Visual observation of the bended specimens showed no crack and tears. For all welding parameters, hardness test results showed that weld metal gave higher hardness value than HAZ and base metal. From the results of metallographic examination, it was seen that grain growth in the weld metal and HAZ increased with increasing heat input.

Keywords: MIG welding, dissimilar welding, ferritic stainless steel, welding robot.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gaz metal ark kaynağı (GMAK), endüstride demir ve demir dışı malzemelerin kaynağında en çok kullanılan kaynak yöntemidir [1]. Eğitimi bir kaynak yöntemi olan bu kaynak yöntemi hem bir üretim hem de bir tamir yöntemi olarak endüstride

yerini almıştır [2-4]. Yüksek kaynak hızı, otomatik olarak uygulanabilmesi [5], yüksek metal biriktirme oranı, curuf olmayışı ve bütün pozisyonlarda kolaylıkla yapılabilmesi yöntemin önemli avantajlarından [6].

Gazaltı kaynağında kaynak için gereken ısı, eriyen

ve sürekli beslenen bir tel elektrotla iş parçası arasında oluşan ark yoluyla ve elektrottan geçen kaynak akımının elektrotta oluşturduğu direncin ısınması yoluyla üretilir. Tükenebilir elektrot (kaynak teli) ark bölgesine otomatik olarak beslenir, ergir ve kaynak metalini (depozit) oluşturur (3,7-11). Bu kaynak yönteminde, kaynak yapılacak bölge, havanın olumsuz etkilerinden koruyucu bir gaz ile korunmakta [12-15] ve kullanılan gaz ve/veya gaz karışımı kaynak yapılan metallerin çeşidine göre seçilmektedir. Gaz seçiminde, kaynak esnasında koruyucu gaz ile ergimiş kaynak metalinin kimyasal-metalurjik olarak etkileşimi hesaba katılmalıdır [16,17]. Özellikle, gaz karışımlarının dikiş özelliklerinin iyileştirilmesi ve daha hızlı, ekonomik bağlantılar oluşturulması açısından önemi de oldukça büyüktür [18,19]. Gaz altı kaynağında koruyucu gazdan beklenen iyi bir metal transferi, nüfuziyet, ergime genişliği, kaynak geometrisi, kaynak hızı ve düşük maliyettir. Ayrıca çatlak ve gözenek oluşturmamasıdır [20]. Koruyucu gaz ayrıca sıçramalar nedeniyle meydana gelen kayıplar üzerinde de etkilidir [21].

Manuel olarak yapılan kaynak işlemlerinde, önemli ve kontrol edilmesi gerekli parametreler (elektrot ile kaynatılan parçalar arasındaki mesafe, akım büyüklüğü, tork hızı ve koruyucu gaz tip ve miktarı gibi) bulunmaktadır. Bu parametreler kaynak yapılan kişiye göre değişmekte ve aynı kişi için bile yorgunluk durumuna göre farklılıklar göstermektedir [22]. İşte bu nedenden dolayı gaz metal ark kaynak tekniği otomasyon ve robotik uygulamalara oldukça uygundur [23,24].

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 [25-27]. Ancak kaynak yapılan metallerin fiziksel, mekanik ve metalurjik özelliklerinin farkından dolayı benzer olmayan metallerin birleştirilmesi, benzer olan

metallerin birleştirilmesinden daha zordur [28]. Farklı iki malzemenin kaynak ile birleştirilmesi ve bunun için en uygun ilave (kaynak) metalin seçilmesi oldukça zor bir problemdir [29]. Fiziksel ve kimyasal farklılıklar yüzünden iki farklı malzemenin iyi dayanım ve devamlılık sağlaması için ilave metalin, bu iki metalin özellikleri ile uyuşması gerekir [30].

Bu çalışmada, özellikle otomobil egzozlarının imalatında sıkça kullanılan ferritik paslanmaz çelik malzemeler [31,32] ile yine egzozların sabitlendiği gövdelerde kullanılan düşük karbonlu çelik malzemeler. gazaltı kaynak yöntemi (MIG) ile otomatik olarak robot yardımıyla değişik parametrelerde birleştirilmişlerdir. Kaynaklı malzemelere, bağlantının dayanımlarını belirlemek için çekme, eğme ve çentik darbe testi ile sertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynak metalini ile ısının tesiri altında kalan (ITAB) bölgede meydana gelen mikroyapılar ve tane morfolojisi değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

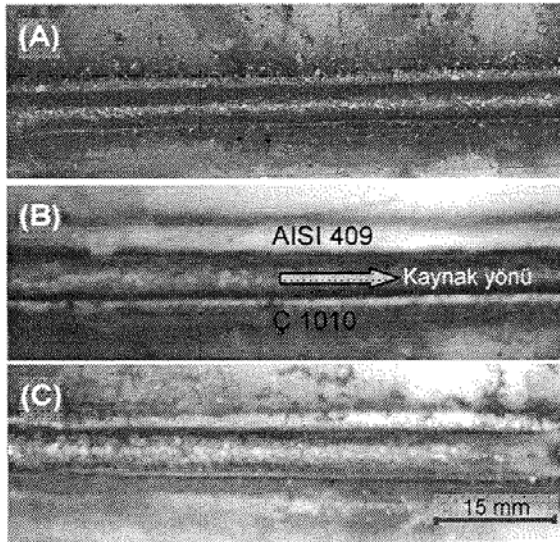
Bu çalışmada, 200x200x2 mm ebatlarında ve Tablo 1'de kimyasal bileşimleri verilen AISI 409 kalite ferritik paslanmaz çelik ile Ç1010 düşük karbonlu çelik levhalar gazaltı ark kaynak yöntemi ile Motoman robot yardımıyla otomatik olarak birleştirilmişlerdir. Birleştirme işlemlerinde literatürde verilen bilgiler doğrultusunda [33], farklı metallerin kaynaklı bağlantılarında tavsiye edilen ve kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen 1 mm östenitik tip ER307Si ilave metal (tel) ve koruyucu gaz olarak da argon+CO₂+O₂ (argon ark) gaz karışımı kullanılmıştır. Kaynak işlemleri FRONIUS TransPuls Synergic 5000 tip yeni nesil kaynak makinesinde yapılmış ve kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri de Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmalarda kullanılan kaynak parametre değerlerine, yapılan ön çalışmalar sonucu karar verilmiştir. Kaynak işlemi biten numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır. Kaynak sonrası kaynaklı numunelerden elde edilen makro görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Esas metal ve ilave metalin kimyasal bileşimleri (% Ağırlık) (Chemical compositions of base metal and filler (% Weight))

Malzeme	C	Mn	Cr	Ni	Si	Mo	Cu	Al	Ti	V	Fe
AISI409	0,014	0,380	11,633	0,108	0,610	0,014	0,086	0,027	0,203	0,090	Kalan
Ç 1010	0,072	0,554	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,035	0,002	0,001	Kalan
Elektrod	0,075	7,06	18,7	8,11	0,815	-	-	-	-	-	Kalan

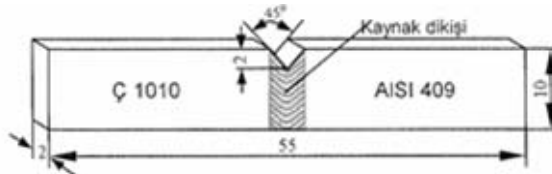
Tablo 2. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used in this study)

Kaynak kodu	Kaynak akımı (A)	Kaynak voltajı (V)	Tel hızı	Kaynak hızı (cm/dk)	Gaz miktarı (lt/dk)	Serbest tel uzunluğu (mm)
A	88	18	4,5	30	14	10
B	97	18	5	30	14	10
C	105	19,1	5,5	30	14	10



Şekil 1. Kaynak dikişleri makro görüntüleri (Macro pictures of the weld beads)

Kaynaklı numunelerden 4'er adet çekme, 3'er adet çentik darbe, 2'şer adet eğme, 1'er adet mikroyapı ve sertlik numunesi hazırlanmıştır. Çekme numuneleri, TS 287 EN 895 göre ve eğme numuneleri ise TS 282 pr EN 910'a göre. Freze tezgahında işlenerek hazırlanmıştır. Birleştirmelere uygulanan çekme ve eğme işlemleri Autograph-Shimadzu tipi cihaz ile 2 mm/dk ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe numuneleri ostenitik kaynak dikişinden Şekil 2'de verilen ebatlarda hazırlanmış ve kırma işlemleri Devotrans Devo (CDC 0700014) marka cihaz ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çentik darbe test numunesi (Impact test specimen)

Mikroyapı ve sertlik numuneleri bakalite alma işlemlerine tabi tutulmuş ve standart yöntemlerle zımparalama, parlatma, ve dağlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Dağlama işlemleri iki kademe gerçekleştirilmiş olup öncelikle birleştirmelerin düşük karbonlu çelik tarafı % 2 Nital ile, daha sonra ferritik paslanmaz çelik tarafı Vilella (100 ml etanol, 5 ml HCl ve 1 g pikrik asit) ile dağlanmıştır. Birleştirmelerin mikroyapı görüntüleri NIKON Epiphot 200 marka optik mikroskop ile elde edilirken, sertlikler Shimadzu HMV marka cihaz ile HV cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde 500 g yük kullanılmış ve her bir bölgede gerçekleştirilen 5 ölçüm sonucunun ortalaması alınmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

2 mm kalınlığındaki düşük karbonlu çelik (Ç1010) ile ferritik paslanmaz çelik (AISI 409)

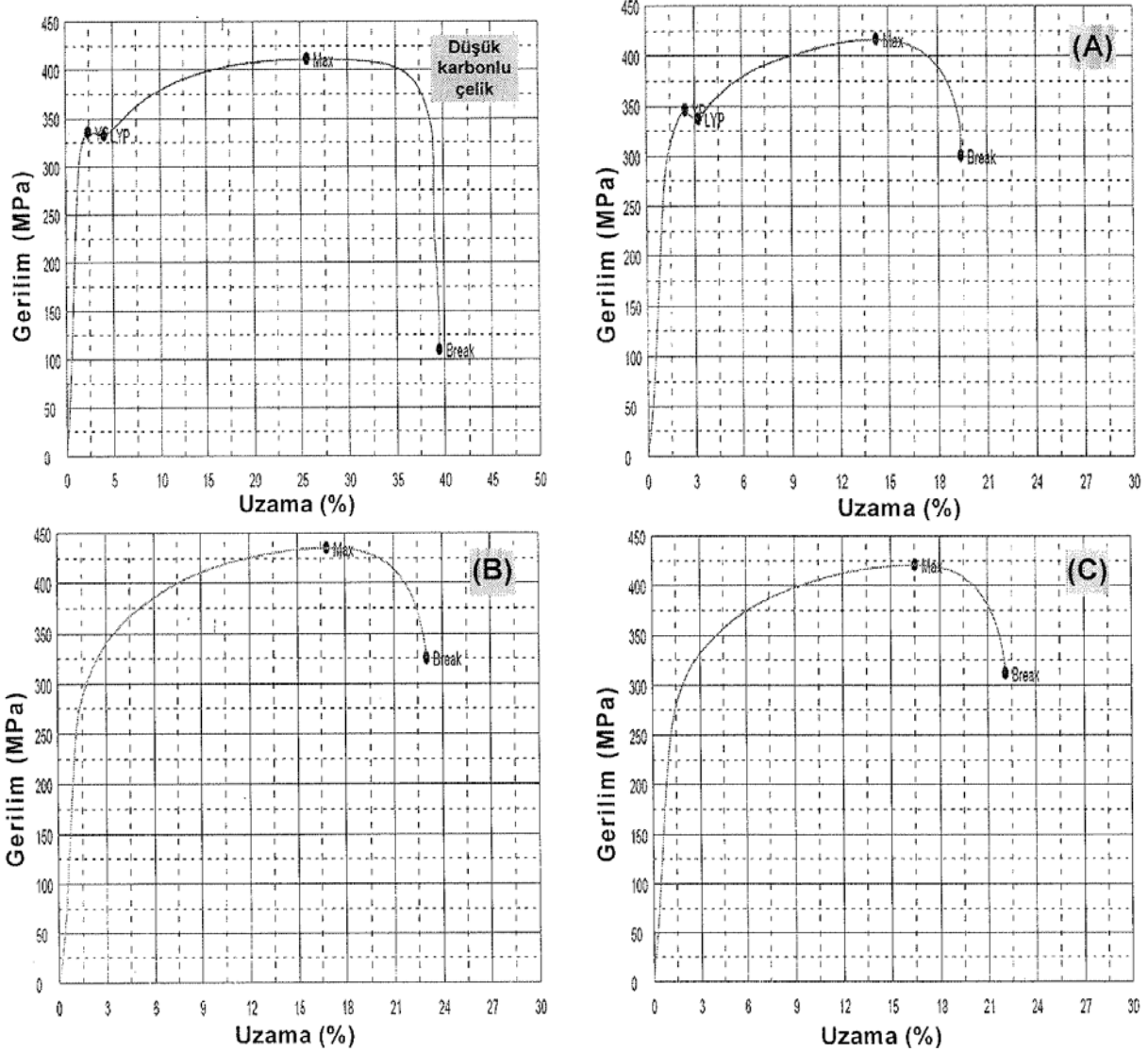
levhaların ve gazaltı ark kaynak yöntemi ile otomatik olarak birleştirilen bu kaynaklı bağlantılardan enine yönde çıkarılan numunelerin çekme deneyi sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 3'de de düşük karbonlu çelik malzeme ile birleştirmelerden çekme esnasında elde edilen grafikler verilmiştir.

Tablo 3. Çekme deney sonuçları (Tensile test results)

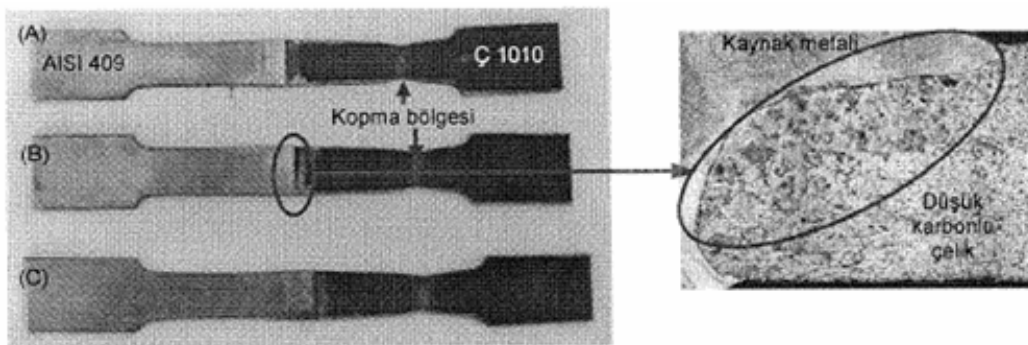
Malzeme	Çekme mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
AISI 409	434.06	40.41
Ç 1010	411.87	39.42
A	412.85	19.73
B	434.79	23.18
C	418.15	22.75

Birleştirmelerden elde edilen çekme sonuçları incelendiğinde, en yüksek çekme mukavemeti B numunesinden elde edilirken, onu sırasıyla C ve A numuneleri takip etmektedir. Ayrıca birleştirmelerin tümünden elde edilen çekme mukavemetlerinin AISI 409 malzemeye göre mukavemeti daha düşük olan Ç1010 malzemeden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çekme deneyi esnasında malzemelerin kaynak metali veya ısının tesiri altında kalan bölgeden ayrılmadığı, kopmanın Ç1010 malzeme çekme boyu ortasında ve de ITAB'dan uzak bir bölgede meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Bu da Ç1010 malzemenin çekme dayanımının, AISI 409 levha ve ostenitik kaynak metali çekme dayanımından düşük olduğundan kaynaklanmaktadır. Literatürde [26] kaynak işleminde ilk aranan şartın birleştirmenin mukavemetinin esas malzemeye aynı veya ona yakın olması gerektiği, farklı metallerin kaynağında ise kaynak metali mukavemetinin, mukavemeti düşük olan malzemeden daha dayanıklı olması gerektiği belirtilmiştir. Bilindiği gibi kaynaklı bağlantıların en kritik bölgesi ITAB'dır ve birçok çatlama ve kırılma bu bölgede meydana gelmektedir. Ancak, Şekil 4 incelendiğinde kopma işleminin ITAB'dan uzak bir bölgede meydana geldiği görülmektedir. Çekme esnasında numunelerin iri taneli bölgenin dışından kopmasına sebep olarak, düşük karbonlu çelik malzemenin, iri taneli bölgesi üzerine gelen, ostenitik kaynak metalinin kompozit bir etki yapması gösterilebilir. Bu olay Şekil 4'deki mikroyapı resminde açıkça görülmektedir. Belirtilen sebepten dolayı da kopma işlemi en kritik bölge olan ITAB dışından gerçekleşmiştir.

Ayrıca çekme testleri sonucunda orijinal düşük karbonlu çelik malzemenin % uzama miktarı % 40 olurken, kaynak sonrası bu değer % 19 ile % 23 arasındaki değerlerde okunmuştur. Bu değer düşüşünün sebebi, kaynaklı bölgede meydana gelen sertlik artışı ile ferritik paslanmaz çelik levhanın düşük karbonlu çelik malzemeye göre deformasyonun az oluşudur. Çalışmada, çekme numuneleri standartlara uygun olarak hazırlandığından, orijinal



Şekil 3. Çekme test grafikleri (Tensile test curves)

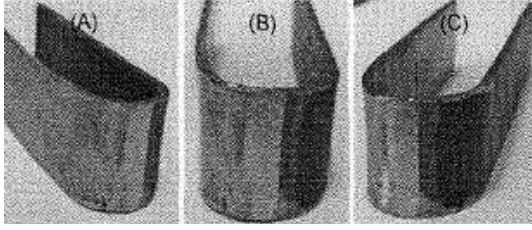


Şekil 4. Çekme numunelerinin kopma bölgeleri (Fracture regions of the tensile specimens)

malzemeler tam boyda uzama gösterirken kaynaklı numunelerde kompozit etkisinden dolayı uzamanın daha çok düşük karbonlu çelik tarafında olması sebebiyle ve de ferritik paslanmaz çelik malzemenin deformasyona az uğramasından dolayı % uzama değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Çekme test numuneleri, deney sonrası gözle incelendiğinde ve de Şekil 4'de de anlaşıldığı üzere deformasyonun çoğunlukla

düşük karbonlu çelik malzeme meydana geldiği gözlenmiştir.

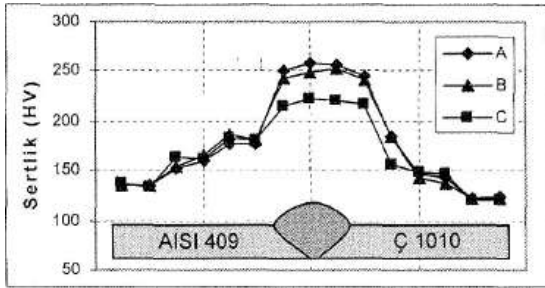
Şekil 5. kaynaklı numunelerden gerçekleştirilen yüz eğme testi sonucunda elde edilen makro görüntüleri göstermektedir. Kaynaklı numunelere, kaynak bölgesinin çatlamadan şekil değiştirme özelliğinin belirlenmesi için uygulanan eğme testleri sonucunda, numuneler 180° eğildiklerinde, kaynaklı



Şekil 5. Eğme numunelerinin görüntüleri (Macro pictures of the bended samples)

numunelerde gözle görülebilir bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Değişik üç kaynak parametresi ile birleştirilmiş kaynaklı numuneler, kaynak sonrası servis şartlarına göre 180°'ye kadar istenilen açıda bükülerek güvenli bir şekilde kullanılabilir.

Tüm kaynaklı bağlantılardan alınan makro kesitler üzerinde gerçekleştirilen Vickers sertlik deney sonuçları (HV0.5) Şekil 6'daki grafikte verilmiştir.

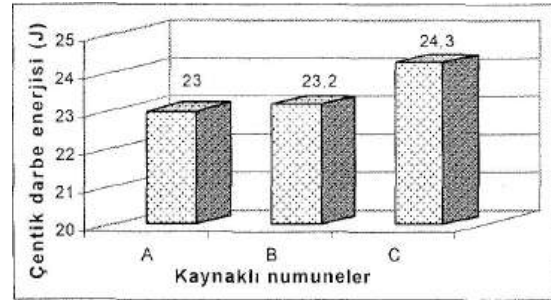


Şekil 6. Sertlik test sonuçları (Microhardness test results)

Şekil 6 incelendiğinde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak metallere ölçüldüğü ve onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği açıkça görülmektedir. Ayrıca, tel ilerleme hızının artmasına bağlı olarak da (dolayısıyla tel ilerleme hızı arttıkça kaynak akım değerleri artmakta) sertlik değerlerinde bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Bilindiği gibi kaynak ilerleme hızı sabit iken tel ilerleme hızının artmasıyla kaynak bölgesine verilen ısı girdisi artmaktadır. Gour [34], kaynak esnasında uygulanan ısı girdisinin; ark gerilimi, ark akımı ve kaynak hızı tarafından belirlendiğini rapor etmiştir. Dolayısıyla çalışmada kullanılan parametreler dahilinde, kaynak hızı sabit seçildiğinden, kaynak bölgesine gönderilen ısı girdisi artmış, bu ısı girdisi de sertlik düşüşüne neden olmuştur. Eroğlu ve Aksoy [35], kaynakta enerji girişinin kaynak

metali mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlar ve enerji girişindeki artışın sertlik düşüşüne neden olduğunu belirtmişlerdir. Sertlik düşüşüne sebep olarak da yumuşak ve aynı zamanda kabalaşmış fazların oluşumu gösterilmiştir. Benzer çalışmalarında Çelik ve Alsaran [36], Kahraman ve arkadaşları [29] farklı malzemeleri birleştirmişler ve en yüksek sertliğin kaynak metalinde olduğunu ve onu sırasıyla ITAB ve esas metalin takip ettiğini belirtmişlerdir.

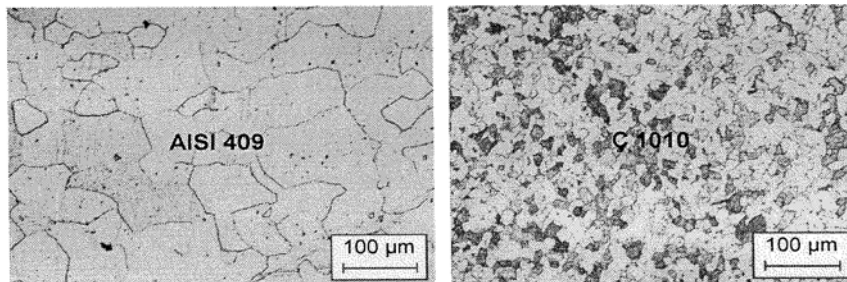
Düşük karbonlu çelik ile ferritik paslanmaz çelik levhaların birleştirildiği ve östenitik kaynak metalinden oda sıcaklığında elde edilen çentik darbe test sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek çentik darbe tokluğu C numunesinden elde edilirken en düşük tokluk değeri de A numunesinden elde edilmiştir. Şekil 6'daki sertlik değerleri ile kaynaklı numunelerden elde edilen tokluk değerleri kıyaslanacak olursa sertliğin artmasıyla tokluğun düştüğü görülmektedir. Benzer çalışmada Kahraman ve arkadaşları [37], Kılınçer [38] ve Çetinkaya [39] kaynak metalindeki sertliğin artmasına bağlı olarak çentik darbe dayanımının düştüğünü rapor etmişlerdir.



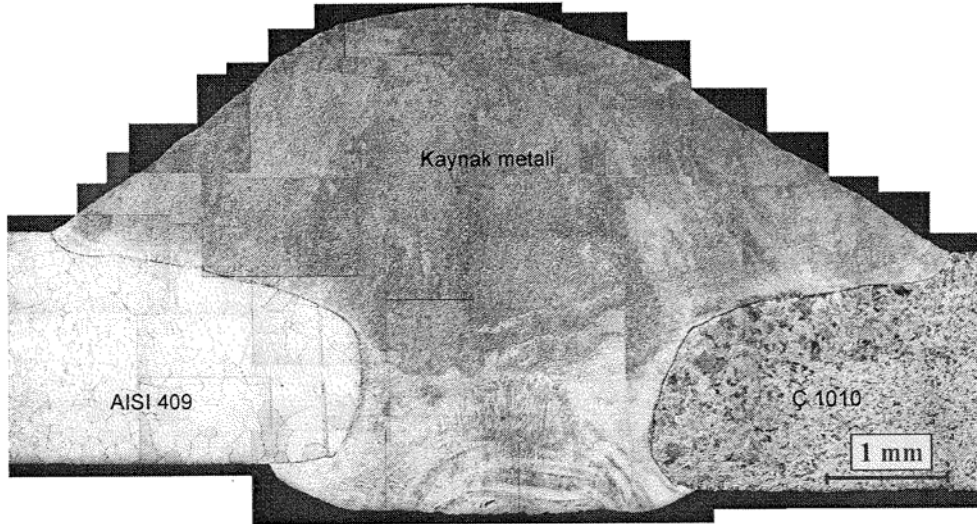
Şekil 7. Kaynak metalinin darbe test sonuçları (Weld metal impact test results)

Şekil 8'de kaynak işlemlerinde kullanılan orijinal malzemelerin ve Şekil 9'da da kaynak yapılmış A numunesinden elde edilen mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Orijinal malzemelerin mikroyapıları incelendiğinde her iki malzemenin de genel olarak eş eksenel taneli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 9'da A kaynak bağlantısından çıkarılarak hazırlanan makro kesitler incelendiğinde, ferritik paslanmaz çelik, düşük karbonlu çelik ve östenitik paslanmaz çelik kaynak metalinin farklı



Şekil 8. Kaynak işlemlerinde kullanılan malzemelerin mikroyapıları (Microstructures of the base metal used in this study)



Şekil 9. A numunesinin optik mikroskop görüntüsü (Optical microscopic Picture of sample A)

görünüm sergilediği görülmektedir. Ayrıca kaynaklı bağlantının gerek ferritik gerekse düşük karbonlu çelik ergime sınırına bitişik bölgede tane irileşmesinin meydana geldiği görülmektedir. Bunun yanında östenitik kaynak metalinin her iki malzeme ile de düzenli ve simetrik bir birleşme bölgesi meydana getirdiği ve de kaynak dikişinin gayet düzgün bir kaynak kepi oluşturduğu görülmektedir.

Şekil 10 ve 11'de sırasıyla B ve C kaynaklı numunelerden ve kaynaklı bölgenin karakteristik özelliklerini en iyi yansıtan değişik bölgelerinden elde edilen mikroyapı resimleri verilmiştir. Fotoğraflar dikkatli bir şekilde incelendiğinde, birleştirmelerin ferritik tarafında tane irileşmesi haricinde tane yapısının değişmediği ancak, birleştirmenin diğer tarafında orijinal eş aksel tane yapısının bozunarak irili ufaklı, kısmen kolonsal tipte ve genel olarak doğrusal tane sınırlarına sahip bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Burada, tanelerin morfolojik değişimine sebep olarak yapının normalizasyonu, ısıya kısa süreli maruz kalması ve nispeten hızlı soğuma gösterilebilir.

Şekil 10 ve 11 birbirleriyle kıyaslandığında, ısı girdisinin artmasına bağlı olarak gerek ferritik paslanmaz çelikte, gerekse düşük karbonlu çelik malzemede, ısının tesiri altında kalan bölgede tane irileşmesinin arttığı görülmüştür. Yapılan bir araştırmada, yüksek enerji girişinin soğumayı ve katılaşmayı yeterince yavaşlattığı, bu durumda oluşan yapıların daha fazla kabalaşmasına neden olduğu rapor edilmiştir [35], Ayrıca, literatürde [33] ferritik paslanmaz çeliklerin en karakteristik özelliği; kaynaktaki ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesidir denilmektedir. Normal halde ferritik paslanmaz çelikler ince taneli ve sünek bir yapıya sahiptirler. Ancak, bu

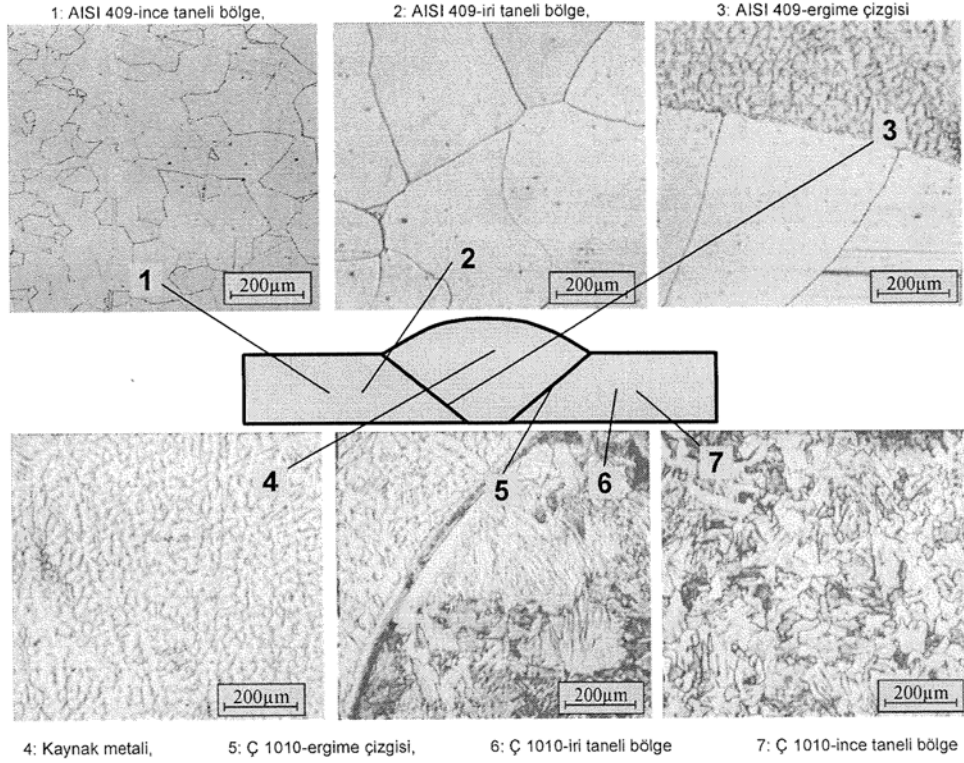
malzemeler 1150°C'nin üzerindeki sıcaklarda tane büyümesine karşı aşırı eğilimlidir. Kaynak sırasında ITAB'ın bir bölümü 1150°C üzerindeki bir sıcaklığa ısınır ve bu bölgede aşırı tane büyümesi oluşur. Kaba taneli hale gelen yapı gevrekleşir ve geçiş sıcaklığı da yükselir. Bu malzemelerde katı halde östenitin ferrite dönüşmesi olayı meydana gelmediğinden ısı işlem yardımı ile tanelerin küçülmesi olanağı da yoktur.

Benzer şekilde Şekil 10'da verilen kaynak metal mikroyapısı ile Şekil 11'de verilen kaynak metal mikroyapısı incelendiğinde ısı girdisinin artışına bağlı olarak tane irileşmesinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kaynak metal mikroyapısı incelendiğinde, kaynak metalinin katılaşmasının kaynak merkez çizgisine doğru gerçekleştiği ve tanelerin ısı akış yönünde yönlendiği görülmüştür. Östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin ark kaynak yöntemi ile birleştirildiği benzer bir çalışmada da [29], ısı akışına göre tanelerde yönelmenin olduğu belirtilmiştir. Kaynak metalinin üzerinde yapılan benzer çalışmalarda [16,40,41] kaynak metal tanelerinin ısı akış yönünde yönlendiği belirtilmiştir.

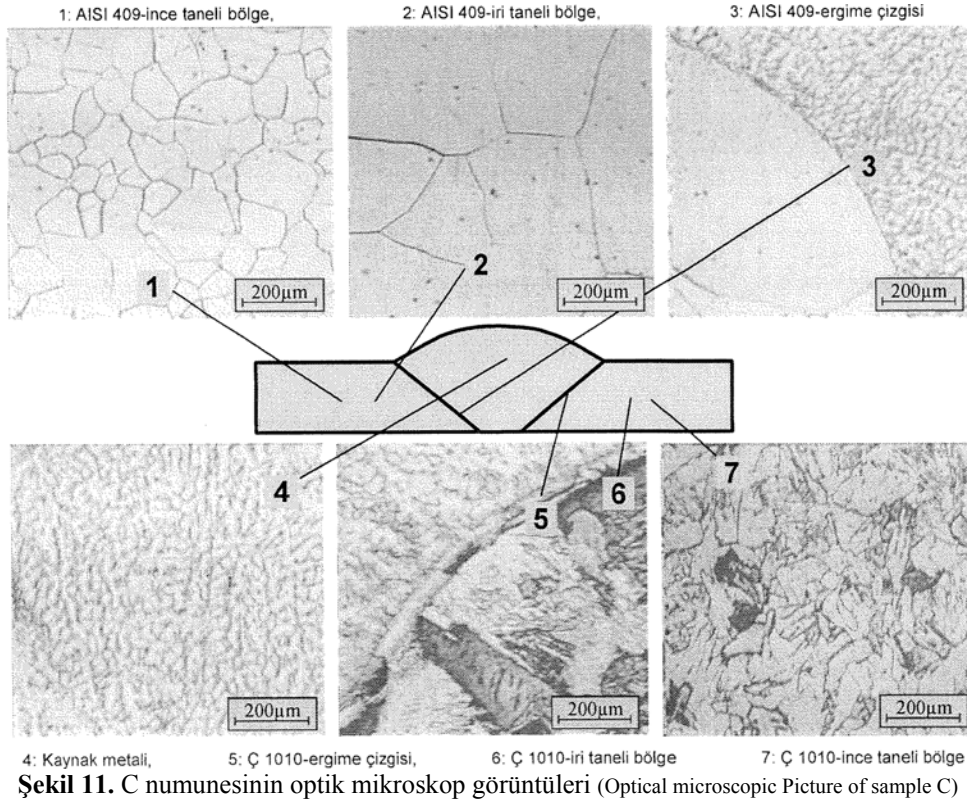
4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Gaz metal ark kaynak yöntemi ile ferritik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerin östenitik bir ilave metal kullanılarak birleştirildiği bu çalışma sonucunda;

- 2 mm kalınlığında AISI 409 ile düşük karbonlu çelik malzemeler uygun ilave metal ve kaynak parametreleri kullanılarak, gazaltı kaynak yöntemi ile güvenli bir biçimde birleştirilebilir.
- Kaynaklı numunelere uygulanan çekme testi sonucunda ayrılma, kaynak bölgesi dışarısında ve düşük karbonlu çelik levha çekme boyu ortasında meydana gelmiştir.



Şekil 10. B numunesinin optik mikroskop görüntüleri (Optical microscopic Picture of sample B)



Şekil 11. C numunesinin optik mikroskop görüntüleri (Optical microscopic Picture of sample C)

- Yapılan eğme testi sonucunda kaynak bölgesinde gözle görülebilir herhangi bir hataya rastlanmamıştır.
- Bütün kaynak parametrelerinde, kaynak metali sertliğinin ITAB ve esas metalden yüksek olduğu görülmüştür.
- Mikroyapı çalışmaları sonucunda kaynak

metali ve ısının tesiri altında kalan bölgede (ITAB) tane irileşmesinin meydana geldiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Praveen P., Yarlagadda P.K.D.V. ve Kang

- M.J., "Advancements in pulse gas metal arcwelding", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 164-165, 1113-1119, 2005.
2. Suban M., ve Tusek J., "Dependence of Melting Rate in MIG/MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 119, No 1-3, 185-192, 2001.
 3. Gülenç B, Candan İ. ve Kahraman N, "Mig-Mag Kaynağı İle Birleştirilen Boruların Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 21, No 4, 631-637, 2006.
 4. Absi Alfaro S.C., Carvalho G.C. ve Melo Junior S.A., "Stand offs indirect estimation inGMAW", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 157-158, 3-7, 2004.
 5. Kaçar R., ve Kökemli K., "Effect of Controlled Atmosphere on the MIG-MAG Arc Weldment Properties", **Materials & Design**, Cilt 26, No6, 508-516, 2005.
 6. Raymond J. S., **Essentials of Welding**, Glencoe Publishing Company, California, 327-334, 1984.
 7. ASM Handbook, **Welding, Brazing and Soldering**, Cilt 6, USA, 180-186, 2000.
 8. Kalpakjian, S., **Manufacturing Processes for Engineering Materials**, Third Edition, Addison-Wesley, New York, 747-748, 1997.
 9. Groover, M. P., **Fundamentals of Modern Manufacturing Materials**, Processes and Systems, Prentice-Hall, New Jersey, 733-735, 1996.
 10. Geary D, **Welding**, McGraw-Hill, New York, 49-51, 2000.
 11. Messier W. R., **Principles of Welding**, John Wiley & Sons Inc, New York, 61-63, 1999.
 12. Candan İ, Durgutlu A, Kahraman N, Gülenç B, "Farklı Pozisyonlarda Mag Kaynağı İle Birleştirilen Boruların Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik ve Mekanik Muayenesi", **Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi**, Cilt: 9 Sayı 3, 203-209, 2006.
 13. Ertürk İ., Tülbentçi K., "MAG kaynak yönteminde kaynak akımı ve ark geriliminin sıçrama kayıplarına etkisi", **GEV Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu**, İstanbul, 71-78, 1996.
 14. Brumbaugh E. J., **Welders Guide**, Macmillan Publishing Company, New York, 265-280, 1986.
 15. Durgutlu A., **Ark kaynağı yöntemlerinde kaynak hızının mikroyapı ve nüfuziyete etkisinin incelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997.
 16. 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**, Cilt 30, No 13-14, 1475-1481, 2005.
 17. 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**, Cilt 25, 369-376, 2000.
 18. Şık A, "MIG/MAG Kaynağı İle Kaynatılan Çelik Yapılarda Koruyucu Gaz Karışımlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması", **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, Cilt 8, No 1, 55-60, 2007.
 19. Şık A, "MIG/MAG Metodu İle Kaynak Yapılan Yapı Çeliği (St37-2) Levhaların Eğme Yorulması Gerilmesine Çeşitli Aktif Gazlarının Etkisi", **Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi**, Cilt 15, 45-57, 2004.
 20. Gülenç B., Tülbentçi K., "Düşük karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin MIG-MAG kaynağında koruyucu gaz seçimi", **GEV Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu**, İstanbul, 66-70, 1996.
 21. Anık S, Vural M., Kiyıcı K, "MTG-MAG Kaynağında Bilgisayar Yardımıyla Kaynak Dikişi Maliyetinin Hesabı", **GEV Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu**, İstanbul, 168-177, 1996.
 22. Akkuş N., Gürler M., Yiğit Ş., "Robotik Ark Kaynak ile Manuel Ark Kaynak Üzerine bir İnceleme", **I. Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi**, İstanbul, Cilt III, 1235-1241, Eylül 2005.
 23. Kurşun T., Kılık R., "Çeliklerin Birleştirilmesinde Gazaltı Kaynak Tekniğinin Kullanılması Halinde Gaz Maliyeti", **GEV Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu**, İstanbul, 56-65, 1996.
 24. Ngo M. D., Duy V. H, Phuong N. T., Kim H.K. ve Kim S. B., Development of digital gas metal arc welding system, **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 189, No 1-3, 384-391, 2007.
 25. Kahraman N. ve Durgutlu A, "316L Paslanmaz Çelik ile Bakır Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması", **Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi**, Cilt 8, No 1, 43-50, 2005.
 26. Anık, S., **Farklı metallerin Kaynağı**, Gedik Kaynak Dünyası, İstanbul, 4-8, 1988.
 27. Kahraman, N., Titanyum ve Bakır Çiftinin Ara Bağlayıcı Difüzyon Sert Lehimlemesi ile Fırında Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Cilt

- 16, No3,611-618,2003.
28. Satyanarayana V. V., Reddy G. M., ve Mohandas T., "Dissimilar metal friction welding of austenitic-ferritic stainless steels", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 160, No 2, 128-137, 2005.
 29. Kahraman N., Gülenç B ve Akça H, "Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik İle Düşük Karbonlu Çeliğın Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 2, No 7, 75-85, 2002.
 30. Tusek J., Kampus Z. ve Suban M., "Welding of tailored blanks of different materials", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt119, No 1-3, 180-184, 2001.
 31. Uematsu Y., Akita M., Nakajima M. ve Tokaji K., "Effect of temperature on high cycle fatigue behaviour in 18Cr-2Mo ferritic stainless steel", **International Journal of Fatigue**, Cilt 30, No 4, 642-648, 2008.
 32. Ivan J. S., Paulo B. ve Modenesi P. J., "Highfrequency induction welding simulating on ferritic stainless steels", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 179, No 1-3, 225-230, 2006.
 33. Eryürek B., Odabaş C. "Çelikler için örtülü elektrot seçimi, Gazaltı kaynağı, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", **Askaynak Kaynak Tekniğı Sanayi ve Ticareti A.Ş. Yayını**, İstanbul, 109-113, 2006.
 34. Gour L. M., **Principles of Welding Technology**, Third ed. British Library Cataloguing in Publication Data, London, 40-42, 1995
 35. Eroğlu M., Aksoy M., Enerji Girişinin Kaynak Metali Mikroyapısı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, **Bilim Günleri, Bildiriler Kitabı**, Makina Mühendisleri Odası, Denizli, 434-439, 1999.
 36. Çelik A., Alsarın A., "Mechanical and Structural Properties of Similar and Dissimilar Steel Joints", **Materials Characterization**, Cilt 43, No 5, 311-318, 1999.
 37. Kahraman N., Gülenç B., Durgutlu A., "Tozaltı Ark Kaynağı ile Kaynaklanan Düşük Karbonlu Çeliklerde Serbest Tel Uzunluğunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, Cilt 18, No 3, 473-480, 2005.
 38. Kılınçer, S., "Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.
 39. Çetinkaya, C, "Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliği ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Cilt 12, No:2, 279-293, 1999.
 40. 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**, Cilt 25 No:1, 19-23, 2004.
 41. Durgutlu A, Gülenç B, Tülbentçi K. The effect of welding speed on the microstructure and penetration in arc welding, **Turkish Journal of Engineering and Environmental Science**, Cilt 23, 251-259, 1999.