

## MIG/MAG KAYNAĞI İLE KAYNATILAN ÇELİK YAPILARDA KORUYUCU GAZ KARIŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI\*

Aydın ŞİK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, ANKARA  
E-posta: aydins@gazi.edu.tr, Tel: (0312) 4851124/1092

Alınış: 22 Aralık 2006

Kabul Ediliş: 11 Temmuz 2007

**Özet:** Bu çalışmada 4 mm kalınlığındaki yapı çeliği (St 52-3) endüstride çok yaygın uygulama alanı olan MIG/MAG kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir. MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan karışım gazları bu yöntemde büyük öneme sahiptir. Bundan dolayı üç farklı gaz karışımı seçilmiştir. Karışım gazları olarak; 80Ar+18CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub>, 88Ar+10CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> ve 93Ar+5CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> kullanılmıştır. Elektrod ise SG2 seçilmiştir. Seçilen gazlar ve elektrod ile MIG/MAG kaynağı yapıldıktan sonra kaynak dikişinden çıkarılan numunelerin mekanik özellikleri ve metalografik yapısı incelenmiştir. Üç farklı gaz karışımı kullanımı sonucu yapılan deneylerde; SG2 elektrodu kullanılarak 88Ar+10CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> gaz karışımı ile yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerinin yüksek olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Koruyucu gazlar, MIG/MAG kaynağı, St 52-3, Yorulma

### Investigation of the Effect of Shielding Gas Mixtures on the Mechanical Properties of Steel Constructions That are Applied MIG/MAG Welding

**Abstract:** In this study, construction steel (St 52-3) in 4 mm thickness was welded through MIG/MAG welding method, which has a large area of usage in industry. Mixture gases used in MIG/MAG welding method are of great significance in this method. Accordingly, three different gas mixtures was chosen. The mixture gases; 80Ar+18CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub>, 88Ar+10CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub>, and 93Ar+5CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub>. In the joints made SG2 was chosen. After the application of the MIG/MAG welding with the chosen shielding gases, the mechanical properties of the specimen taken from the welding seam were examined. In the experiment in which three different gas mixtures and SG2 electrode was used, it was found out that the joints made with SG2 electrodes and 88Ar+10CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> displayed high mechanical properties.

**Keywords:** Fatigue, MIG/MAG welding, Shielding gases, St 52-3

\*Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir

### Giriş

Yapı çelikleri 1980 ve 1990'lı yıllarda çelik yapılar kompozit kiriş ve döşemenin etkili bir şekilde kullanımı ile birlikte Batı Avrupa Ülkelerinde ve özellikle İngiltere'de daha çok kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde henüz yeterli derecede kullanılmayan çelik özellikle 1999 Marmara depremi sonrasında inşaat sektöründe adında sıkça söz edilen bir yapı malzemesi olmuştur (1). Yapı çeliği; endüstriyel binalarda, köprü ve demiryollarında, geçici ve kalıcı zemin altyapı projelerinde, denizde yapılan dalgakıranlarda, gemi inşa yapımı, şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direklerde, petrol ve gaz offshore platformlarda, çok amaçlı sosyal tesisler, ticari yapılar, binaya yük bindirmeyen çatı katlarında kullanılmaktadır. Yapı çeliği kaynaklarında oldukça yaygın olarak kullanılan MIG/MAG kaynağının kullanımının artması ile bu yöntemde kullanılan koruyucu gazların geliştirilmesi, çeşitli gaz karışımları ile yapılan kaynak bağlantılarında dikiş özelliklerinin incelenmesi yolunda araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle, gaz karışımlarının dikiş özelliklerinin iyileştirilmesi ve daha hızlı, ekonomik bağlantılar oluşturulması açısından önemi de oldukça büyüktür.

MIG/MAG kaynağında kullanılan gaz karışımlarında Argon asal gaz olduğu için herhangi bir reaksiyona girmeyeceği böylece ark oluşumu ve kararlılığının kolay olacağı, CO<sub>2</sub>'nin ise ergimiş banyoyu oksitleyeceği ve tüm pozisyonlarda kısa devre kaynağını kolaylaştıracağı ve iyi bir geçiş sağlayacağı görülmüştür. Yapılan çalışmalar CO<sub>2</sub>'nin sıçrama dezavantajının yüksek olacağını, buna karşılık CO<sub>2</sub>'e O<sub>2</sub> katılmasıyla kaynak formunun ark akışının düzeleceği, sıçramanın azalacağı ve kaynak veriminin artacağına göstermektedir (2).

Bu çalışmada da gaz karışımları seçilirken gazların kaynak dikişine verdikleri etkileri göz önüne alınarak seçilmiştir. 3 farklı gaz kullanılarak yapılan kaynaklı parçadan ve esas metalden çıkarılan numunelere eğmeli yorulma deneyi, metalografik inceleme ve sertlik ölçümleri yapılmıştır.

### Materyal ve Metod

Deneylerde kullanılan malzemelerden esas malzeme; Tablo 1’de kimyasal özellikleri ve Tablo 2’de fiziksel özellikleri verilen 4 mm kalınlığında St 52-3 yapı çeliği kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri (3)

Standard karşılığı	Standart karşılığı	Kimyasal bileşim (%)						
		C	P	S	Mn	Si	Cu	Al
DIN EN 10025-94	DIN 17 100-80	Max	Max	Max	Max	Max		Min.
S355J2G3	St52-3	0,20	1,035	0,035	1,60	0,55	0,25-0,40	0,020

**Tablo 2.** Kullanılan malzemenin fiziksel özellikleri (3)

Fiziksel özellikler		
Akma mukavemeti (Min) N/mm <sup>2</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	Çekme mukavemeti N/mm <sup>2</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	Uzama (% Min) L <sub>0</sub> =80mm
Kalınlık (mm) ≤16	Kalınlık (mm) ≥3≤50	≥3≤40
355 (36,2)	490-630 (50,0-64,3)	20

İlave metal (tel elektrod) olarak; Tablo 3’te kimyasal bileşimi ile Tablo 4’te mekanik özellikleri verilen 1 mm çaplı G3Si1 (SG2) teli kullanılmıştır.

**Tablo 3.** Deneylerde kullanılan EN 440’a (DIN 8559) (4) göre imal edilmiş G3 Si1 (SG2) tel elektrodların kimyasal bileşimi

Simge	Kimyasal Bileşim (%)					
	C	Mn	Si	P	S	Cu
G3 Si1 (SG2)	0,07-0,10	1,4-1,6	0,7-1,0	<0,025	<0,025	<0,30

**Tablo 4.** Deneylerde kullanılan EN 440’a (DIN 8559) (4) göre imal edilmiş G3 Si1 (SG2) tel elektrodların mekanik özellikleri

Akma mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Darbe enerjisi (J) ISO-V	Uzama (%) (L <sub>0</sub> =5d <sub>0</sub> )
450	550	80 (-20 <sup>0</sup> C)	28

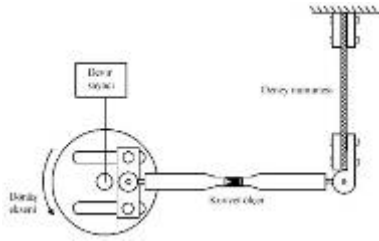
Deneylerde koruyucu gaz olarak, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağına uygun olabileceği saptanan ve daha önce yapılmış olan araştırmaların sonuçlarına göre Ar, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> kullanılmıştır (5). Tablo 5’te kullanılan karışım gazların oranı verilmiştir.

**Tablo 5.** Deneylerde kullanılan karışım gazların (%) oranları

Karışımın adı	Karışım oranı (%)		
	Ar	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
1.Grup	80	18	2
2.Grup	88	10	2
3.Grup	93	5	2

Kullanılan kaynak makinası; 400 amperlik yatay karakteristikli, su soğutmalı 5 kaba 6 ince ayar kademeli 30 gerilim basamaklı doğru akım (DC) kaynak makinası olup transistorlu akım basamağı ayarlayıcısı ile kısa devre akımı en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Deneylerde kullanılan eğme yorulma makinası; DIN 50142 ile uyumlu olan termoplastikler, demir esaslı olmayan metaller ve çeliklerden yapılmış numuneler üzerinde dinamik yorulma testlerini yapılmasına olanak sağlar. Bu makina özellikle sac malzemelerin test edilmesi amacı ile geliştirilmiştir. Makina kapasitesinin izin verdiği ölçüde dinamik ve statik yükler, değişken olarak yüklenebilir. Makinada Alman Standardı DIN 50100’e göre uygun Wöhler ve yorulma dayanımı testi olan (S-N) diyagramları oluşturabilmektedir.



Şekil 1. Eğmeli yorulma makinasının şematik gösterilişi

### Kaynaklı Bağlantı ve Uygulamaları

Kesilen parçalar otomatik MAG kaynak yöntemi ile belirlenen üç farklı gaz karışımında kaynak edilmişlerdir. Kaynak dikişleri tüm bağlantılarda yatay oluk (PA) pozisyonundadır. Deneylerde 4 mm'lik malzeme kullanıldığından V kaynak ağızı açılarak aynen standartlarda olduğu gibi birleştirilmiştir. Bütün deneylerin aynı koşulları sağlaması amacıyla kaynak torcunu rahatlıkla monte edebildiğimiz, ileri geri doğrusal hareket edebilen otomatik araba kullanılmıştır. Tablo 6'da birleştirmelerin oluşturulmasında kullanılan kaynak koşulları verilmiştir.

Tablo 6. (SG2) elektrodu ile yapılan alın birleştirmelerde uygulanan MAG kaynak parametreleri

Koruyucu gazın bileşimi	1. 80Ar+18CO <sub>2</sub> +2O <sub>2</sub> 2. 88Ar+10CO <sub>2</sub> +2O <sub>2</sub> 3. 93Ar+5CO <sub>2</sub> +2O <sub>2</sub>
Akım şiddeti (Am.)	280
Gerilim (Volt)	18-22
Tel çapı (Ø)	1 mm
Telin simgesi	G3Si2
Tel ilerleme hızı (m/dak)	4,2
Kaynak hızı (cm/dak)	36

### Kaynaklı Levhaların Görsel İncelenmesi

Deney numunelerinin hazırlanacağı bağlantılarda uygulanan kaynak işlemi sonrası görülebilecek yüzeysel hataları saptamak amacı ile görsel muayene yapılmıştır. Bu muayenede "ANSI/AWS D9.1-90 Sheet Metal Welding Code" esas alınmıştır (6, 7). Kaynak sonrası oluşan dikiş yüksekliği, dikişlerin üzerinde oluşan tırtıllarda, yanma olukları, sıçramalar ve dikiş kök sarkmasının yanı sıra dikiş genişliği, kökte oluşabilen yetersiz ergime bölgeleri görsel olarak detaylı incelenmiş olup, sıçrantıların ve diğer hususların kabul sınırları içinde olduğu görülmüştür.

### Yorulma Deneyleri

Eğmeli yorulma deneyleri sonucu elde edilen değerler ve Wöhler eğrileri en yüksek gerilmeye karşılık çevrim sayısı logaritmik işaretlenerek çizilmiştir. Bir defaya mahsus mukayese amaçlı esas metalden, kaynaklı bağlantılarda ise her gaz karışımı için 8'er adet numune hazırlanarak yapılmıştır. Tüm deneylerde sınır çevrim sayısı olarak literatürde tavsiye edilen titreşim sayısı  $N=2 \times 10^6$  alınmıştır (8).

Hazırlanan numunelere uygulanan yorulma dayanımı sonrasında kırılan deney parçaları incelenerek yorulma çatlağının oluştuğu yer saptanmıştır. Şekil 2-a'da esas metalden alınmış numunelerin yorulma deneyi sonrası kırılma şekli şematik olarak gösterilmiştir. Esas metale ait numunelerde yorulma çatlaması kesitin ince olduğu bölgede oluşmuştur. Literatür araştırmalarına göre bu durum normaldir (8,9,10).

Şekil 2-b'de kaynaklı numuneden çıkartılan yorulma deneyi sonrası kırılma şekli verilmiştir. Burada verilen şekil şematik olmasına karşın bu tür bağlantıların kırılma bölgesi incelendiğinde kırılmanın bağlantının en zayıf ve hassas bölgesi olan ısıdan etkilenmiş bölgede oluştuğu saptanmıştır. Bu oluşumda gayet normal olup bu konuda çalışan araştırmacıların deney sonuçları ile uyum halindedir (8,9,10).



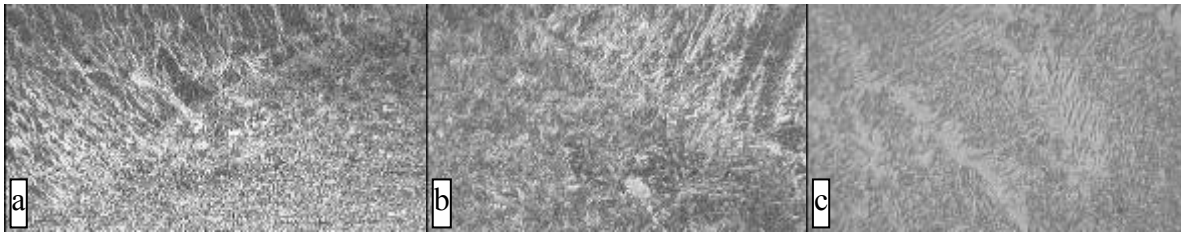
Şekil 2 a)-Kaynak edilmemiş, b)- kaynak edilmiş sactan çıkartılan numunelerin yorulmadan dolayı kırılma şekilleri

### Sonuçlar Metalografik İncelemeleri

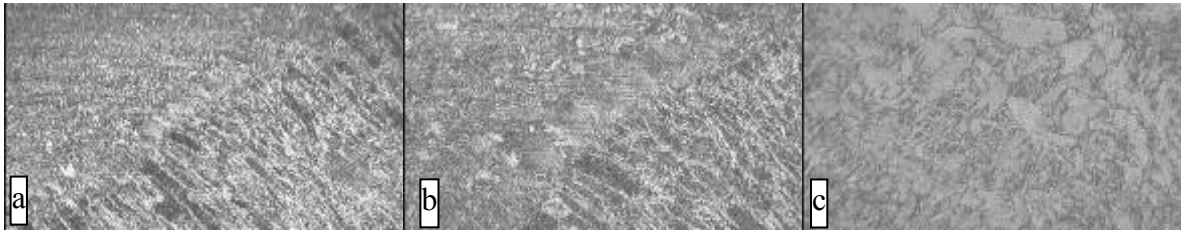
SG2 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin metalografi incelemeleri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 3'te ise esas metalin mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 3 Esas malzeme (X400)



Şekil 4 80Ar+18CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> a)- İEB X50 b)- İEB X100 c)-Kaynak X400



Şekil 5 88Ar+10CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> a)- İEB X50 b)- İEB X100 c)-Kaynak X400

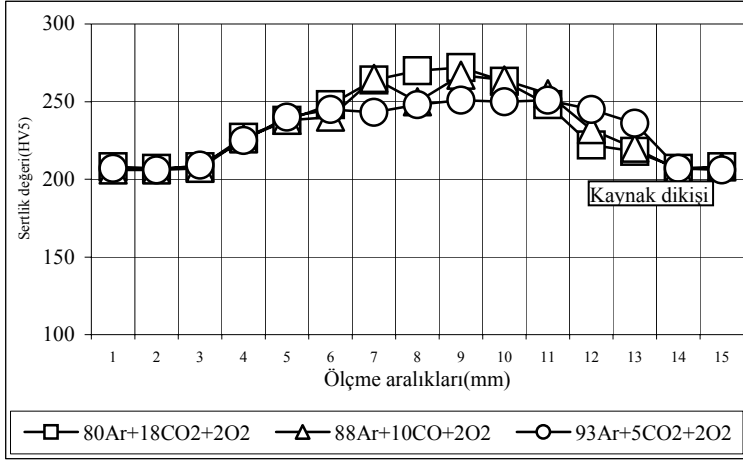


Şekil 6 93Ar+5CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> a)- İEB X50 b)- İEB X100 c)-Kaynak X400

SG2 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin metalografi incelemelerinde Şekil 3'te esas malzemenin düzensiz şekilde tane yapısına sahip zaman zaman eşeksenli denilebilecek tanelerden oluştuğu görülmektedir. Şekil 4'te geçiş bölgesinde ana metal tarafında çok ince tane yapısı görülmektedir. Kaynak metali bölgesinde ise ısı yayınımları ile paralellik sağlayacak şekilde tane yönelmesi söz konusudur. Kaynak bölgesinde dendiritik tane yapısı görülmektedir. Diğer kısımlarda çok küçük ve düzensiz şekilde tane yapısı hakimdir. Şekil 4-c ise dendiritik yerine düzensiz şekil ve ana metali andıran bir görüntü oluşmuştur. Şekil 5'te ise Şekil 4 ile hemen hemen aynıdır. Şekil 6'da kaynak bölgesinde daha iri ve sütunsal tane yapısı oluşmakta ana malzeme bölgesinde ise girintili ve çıkıntılı yapıdan oluşan düzensiz taneler söz konusudur. Kaynak bölgesinde ise çok iri taneli dendiritik tipik kaynak yapısı hakimdir.

### Sertlik Ölçümleri

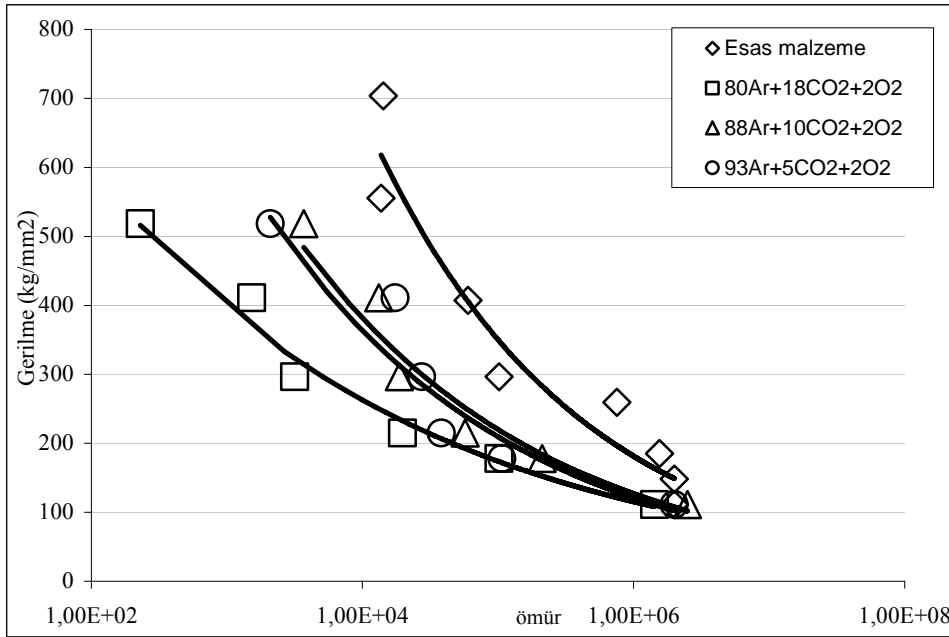
SG2 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin sertlik değerleri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7 SG2 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin sertlik değerleri

### Yorulma Deneyleri

SG2 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin eğmeli yorulma deney sonuçları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8 SG2 teli ile yapılan 3 farklı gaz karışımı ile yapılan numunelerin yorulma dayanımlarının grafikleri

### Tartışma

Ar+O<sub>2</sub> koruyucu gaz karışımları ile yapılan numunelerin akma mukavemetleri O<sub>2</sub> yüzdesinin artması ile artmaktadır. Aynı şekilde O<sub>2</sub> yüzdesinin artmasıyla çekme mukavemeti düşmekte buna karşılık % uzama miktarı azalmaktadır. Ar+CO<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamında kaynak yapılan numunelerde CO<sub>2</sub> oranının artmasıyla akma ve çekme dayanımlarının düştüğü ve % sünekliliğin arttığı görülmüştür. Ar+CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>'nin üçlü karışım gazı ile kaynak edilen numunelerde Argona ilave edilen O<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> gazları belirli bir orandan sonra artması ile akma ve çekme mukavemetlerinde düşme % süneklilik miktarlarında artma görülmüştür. Argona CO<sub>2</sub> eklenmesi ark sıcaklığını artırıcı etki yapmakta O<sub>2</sub> kaynak banyosu yüzey gerilimine etki ederek daha üniform olmasını sağlamakta ve kaynak dikişi mukavemetini artırıcı etkiler ortaya koymaktadır. Çeliklerin kaynağında saf Ar kullanıldığı zaman yanma oluşu oluşabilir. % 1-5 O<sub>2</sub> veya % 3-25 CO<sub>2</sub> ilave ederek yanma oluşu önlenebilir. Aynı zamanda arkın dengesi sağlanmış olur. CO<sub>2</sub> derin nüfuziyet ve yüksek ark enerjisi sağlar, O<sub>2</sub> iyi ıslatma ile birlikte sıçramayı artırır (9,10,11,12,13). Koruyucu gaz içindeki aktif bileşenler (O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> miktarları) fazla olduğunda kaynak metali içerisindeki O<sub>2</sub> oranı artmakta, yüksek oranda O<sub>2</sub>'in elektrodadaki Mn ve Si oranını azaltmaktadır. Çünkü Ar+CO<sub>2</sub> gaz karışımı içindeki CO<sub>2</sub>

oranının artması ile ark voltajı ve toplam ısı girdisinin de yükseleceği, yüksek ısı girdisinin kaynak metalinin gaz-faz reaksiyonunu ve metalürjik yapısını da etkilemektedir. Bu etki ise mekanik dayanımının azalmasına neden olmaktadır (14).

Karışımdaki CO<sub>2</sub> oranlarının artması arkın kararlılığını azaltmakta ve sıçrama seviyesinin artmasına yol açmaktadır. Kırılma yüzeyden başladığı için özellikle eğilme ve burulma zorlamalarında, yüzeylerin işlenme durumu, yorulma ömrünü önemli derecede etkilemektedir. Belirli bir ortalama gerilimde elemanın taşıyabileceği gerilme, şekil değiştirme, üst yüzey kalitesine bağlıdır. Pürüzlü yüzeyler çentik etkisi yapmakta ve yorulma dayanımını düşürmektedir (9). Malzeme yüzeyinde yüzey pürüzlülüğü arttıkça yorulma ömrü de buna bağlı olarak azalacaktır (15). CO<sub>2</sub> oranı fazla olan gaz karışımı ile MIG/MAG kaynağı yapıldığında sıçramaların fazla olmasından dolayı pürüzlü yüzey oluşturur ve bunlarda çentik etkisi yapar. Çentik de yorulma dayanımını düşürdüğünden dolayı 80Ar+18CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> gazı ile yapılan yorulma dayanımı değerleri de düşük çıkmıştır. Aynı zamanda koruyucu gazın bileşiminin, dikiş mukavemeti, gözenek, erime karakteristiği ve alaşım elementlerinin denetimi açısından da etkileri vardır. Gözenek, dikiş özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kesit alanında bir kayba yol açar, bunun için uygun bir koruyucu gaz ya da gaz karışımının seçimi, gözeneklilik oranını etkili bir şekilde denetim altında tutabilir. Kullanılan koruyucu gazın bileşiminin doğru belirlenmesi ile erime hatalarının giderilmesi mümkün olur. Hassas olarak ve az miktarlarda O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> ilavesi ile kaynak banyosunun yüzey gerilimini azaltmakta mümkündür. Bu özelliklerin tümü de yapılan deney sonuçlarını doğrulamaktadır.

Karışımdaki CO<sub>2</sub> oranının azalması ile iyi bir nüfuziyet elde edilemez. Düşük CO<sub>2</sub> içeren gaz karışımları yeterli ısıyı sağlayamaması nedeni ile banyoda argon hapsi ve azot çözülmesi meydana getirir. Bu da kaynak dikişinin mekanik özelliklerini kötü yönde etkilemektedir (9). Ayrıca Ar'a %12-15 CO<sub>2</sub> ilavesinin sertlikte çok az düşüşe neden olmaktadır (14). Sertlik, yorulma dayanımına etki eden malzeme özelliklerinden biridir. Sert malzemelerin yorulma dayanımları, yumuşak malzemelere göre genelde yüksektir (8,9). Bundan dolayı da yapılan yorulma dayanımı deneyleri sonucunda CO<sub>2</sub> miktarı az olan gaz karışımının (93Ar+5CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub>) değeri 88Ar+10CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> göre düşük çıkmıştır.

Sertlik değerleri; SG2 elektrodu ile yapılan birleştirmelerde sonuçlar birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. 80Ar+18CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> gazı ile yapılan kaynakta sertlik değeri sadece kaynak dikişinde çok az düşüşe neden olmuştur.

Şekil 8'de SG2 teli ile üç farklı gaz kullanılarak yapılan yorulma dayanımı deneyleri sonuçlarında çok büyük farklılık görülmemiştir. Üç farklı gaz karışımı ile yüksek gerilim altında yapılan birleştirmelerde yorulma dayanımları yüksek çıkan gaz karışımının 88Ar+10CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub>, düşük çıkan gaz karışımının ise 80Ar+18CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub> olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Çelikağ, M., "Yapısal Çelik nedir?" Doğu Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, 2002
- Pilarczyk, J. And Szczok, E., "Properties Of Gas Mixtures Used In MAG Welding", Welding International, 1994
- Erdemir Ürün Kataloğu, Ereğli Demir ve Çelik Fab., T.A.Ş., İstanbul, 2000
- EN 440, "Kaynak Sarf Malzemeleri- Alaşımız ve İnce Taneli Çeliklerin Koruyucu Gaz Metal Ark Kaynağı İçin TelElektrotlar ve Yığılmış Kaynaklar- Sınıflandırma", Ankara, 2002
- EN 439, "Kaynak Sarf Malzemeleri- Ark Kaynağı ve Kesme İçin Koruyucu Gazlar", Ankara, 1995
- AWS, "Sheet Metal Welding Code, American Welding Society, American National Standart, ANSI/AWS", Miami, 1990
- EN 25817 "Çeliklerde Ark Kaynaklı Birleştirmeler-Kusurlar İçin Kalite Seviyeleri Kılavuzu" EQV, 1992
- Güleç, Ş., Aran, A., "Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı", TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve EndüstriyelAraştırma Enstitüsü, MBEAE Matbaası-Gebze, 1983
- Gülenç, B., "MIG/MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Metalinin Mekanik Özelliklerine Etkisi", Gazi Ünv. Fen Bil. Enst., Dok. Tezi, Ankara, 1995
- ŞİK, A., "Otomobil Saclarının MIG/MAG Kaynağında Gaz Karışımlarının Bağlantının Mekanik Özelliklerine Etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2002
- Ertürk, İ., "MIG/MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi", Gazi. Üni. Fen Bil. Enst., Dok. Tezi, Ankara, 1994
- Nil, R., "Materialen Voor Dunwandige Constructies/Vvoorlichtingsblad, Dunne Plaat Booglassen", Nederland Instuut Voor Lastechniek, Nederland, 1987
- Hilton, D., "Shielding Gases for metal arc welding", Welding&Metal Fabrication, USA, 1990
- Tülbentçi, K., "Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağında (MIG/MAG) Kaynak Parametrelerinin Seçimi", Kaynak Dünyası Gedik Holding A.Ş., İstanbul, 1988
- Balraj, V., Rohira, K.L., Srinivasamurty and Awamy, "Evaluation of Shielding Gas and Flux Composition Effects on Weld Bead Properties", Int. J. For The Joining of Materials, Vol. 4 (2), 1992