

MIG/MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN ÇELİK MALZEMELERDE İLAVE TEL TÜRLERİ VE KORUYUCU GAZ KARIŞIMLARININ EĞMELİ YORULMA ÖMÜRLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Aydın ŞİK

Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Gölbaşı, Ankara
aydins@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 27.10.2006; Kabul/Accepted: 05.06.2007)

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 gaz karışımları bu yöntemde büyük öneme sahiptir. Bu yüzden bu çalışmada üç farklı gaz karışımı ve iki farklı elektrod seçilmiştir. Gaz karışımları; 80Ar+18CO₂+2O₂, 88Ar+10CO₂+2O₂ ve 93Ar+5CO₂+2O₂ kullanılmıştır. Yapılan birleştirmelerde SG2 ve SG3 elektrodları seçilmiştir. Seçilen gazlar ve elektrodlarla MIG/MAG kaynağı yapıldıktan sonra kaynak dikişinden çıkarılan numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Üç farklı gaz karışımı ile iki farklı elektrod kullanımı sonucu yapılan deneylerde; SG3 elektrodu kullanılarak 88Ar+10CO₂+2O₂ gaz karışımı ile yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerin yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: St 52-3, MIG/MAG kaynağı, koruyucu gazlar.

A RESEARCH INTO THE EFFECT OF ADDITIONAL ELECTRODE TYPES AND PROTECTIVE MIXTURE GASES ON THE BENDING FATIGUE LIFE OF STEEL MATERIAL THAT IS WELDED WITH MIG/MAG WELDING METHOD

ABSTRACT

In this study, construction steel (St 52-3) in 4 mm thickness was welded by MIG/MAG welding method, which is commonly used in many industries. Mixture gases used in MIG/MAG welding method are of great significance in this method. Thus, in the present study, three different gas mixtures and two different electrodes were used. The mixture gases are 80Ar+18CO₂ + 2O₂, 88Ar+10 CO₂+2O₂, and 93Ar + 5CO₂ + O₂. SG2 and SG3 electrodes were used to join the materials. After the application of the MIG/MAG welding, the mechanical properties of the specimen taken from the welding seam were examined. In the experiment in which three different gas mixtures and two different electrodes were used, it was found out that the joints made with SG3 electrodes and 88Ar+10 CO₂ +2O₂ displayed high mechanical properties.

Keywords: St 52-3, MIG/MAG welding, shielding gases.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapı çelikleri 1980 ve 1990'lı yıllarda çelik yapılar kompozit kiriş ve döşemelerinin imalatında 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 yapı çelikleri özellikle 1999 Marmara depremi sonrasında inşaat sektöründe

adından 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 yapımında, şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direklerde, petrol ve gaz offshore platformlarda, çok amaçlı sosyal tesisler, ticari yapılar, binaya yük bindirmeyen çatı katları gibi alanlarında

kullanılmaktadır. Yapı çeliklerinin birleştirilmesinde 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 [2].

Sanayileşmiş ülkelerde günümüzün en popüler yarı otomatik kaynak yöntemi olan MIG/MAG yöntemi son yıllarda ülkemizde de hızla yayılmaktadır. Üretilen makina ve tel elektrodlar bunun açıkça göstergesidir. MIG/MAG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok fazla üstünlükleri bulunmaktadır. Hız, emek gücü, yüksek verim, fazla ergime gücü, kullanılan malzeme ve kalitenin artması bu üstünlükleridir.

Çeliklerin koruyucu gaz kaynağında saf Ar, Ar ve CO₂ karışımları, Ar ve O₂ karışımları ve saf CO₂ gazı kullanılır. Gazların görevi damlaları, kaynak banyosunu ve ısıdan etkilenmiş bölgeyi havadan korur ve kaynak arkı davranışlarını iyileştirir. Gazların seçimi ayrıca arkın penetrasyonunu da etkiler [3,4,5,6].

Gazların ayrışma enerjileri, iyonizasyon potansiyelleri, yoğunlukları, ısı ve elektrik iletim özellikleri, maliyetleri büyük farklılıklar göstermekte ve bunun sonucu olarak da arkın oluşumu ve kaynak sırasındaki davranışı, ark içinde malzemenin taşınımı ve elde edilen kaynak bağlantısının profili farklılıklar göstermektedir. Sadece tek bir tür gazın kullanımında gazların her biri bir takım üstünlükler ve sınırlamalar gösterdiklerinden, günümüzde gazların iyi özelliklerini optimize edebilmek sınırlamalarını en aza indirebilmek için MIG/MAG kaynak yönteminde çeşitli karışım gazlar kullanılır [7,8].

Çeliğin MIG kaynağında argon gazına oksijen ve karbondioksit karıştırılmaktadır. Böylece oksijen kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, ergiyen elektrod telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatmakta ve ince taneli bir metal geçişi sağlamaktadır. Oksijenin oksitleyici etkisi, kullanılan kaynak telindeki mangan, silisyum, alüminyum, titanyum ve zirkonyum gibi alaşım elementlerinin artırılması ile dengelenir [9].

MIG/MAG kaynağında kullanılan gaz karışımlarında argon asal gaz olduğu için herhangi bir reaksiyona

girmeyeceği böylece ark oluşumu ve kararlılığının kolay olacağı, CO₂'in ise ergimiş banyoyu oksitleyeceği ve tüm pozisyonlarda kısa devre kaynağını kolaylaştıracağı ve iyi bir geçiş sağlayacağı görülmüştür. Fakat CO₂'in sıçrama dezavantajının yüksek olacağını, buna karşılık CO₂'e O₂ katılmasıyla akımın düşerek kaynak formunun ve akışının düzeleceği, sıçramanın azalacağını, kaynak veriminin artacağını göstermektedir[10].

Endüstride kullanılan makine parçaları ve yapı elemanları kullanım sırasında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmakta; ancak bu gerilmeler malzemenin ya da parçanın statik dayanımından küçük olmaktadır. Bu duruma karşın belirli bir tekrardan sonra çatlama ve bunu takip eden kopma olayı oluşmaktadır bu olaya yorulma denir. Makina parçalarının görevlerini yapamamalarının %90 nedeni yorulmadan dolaydır. Bu yüzden bu çalışmada değişik gaz karışım oranları seçilmiş ve bu gaz karışımlarının yorulma özelliklerine etkileri incelenerek tartışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

2.1 Deneyleerde Kullanılan Malzemeler (Materials Used In Experiments)

2.1.1 Esas Malzeme (Main Material)

Tablo 1'de kimyasal özellikleri ve Tablo 2'de mekanik özellikleri verilen 4 mm kalınlığında St52-3 yapı çeliği bu çalışmada kullanılmıştır.

2.1.2. İlave Metal (Tel Elektrod) (Additional Wire)

Deneyleerde Tablo 3'te kimyasal bileşimleri ile Tablo 4'te ise mekanik özellikleri verilen 1 mm çaplı G3Si1 (SG2) teli ve G3Si1 (SG3) elektrodları kullanılmıştır.

2.1.3. Kullanılan Koruyucu Gazlar (The Protective Gas Used)

Bu çalışmada, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağına uygun olabileceği saptanan ve daha önce yapılmış olan araştırmaların sonuçları ve literatüre göre Ar, CO₂ ve O₂ karışımı gazlar kullanılmıştır [13]. Kullanılan gaz karışımları Tablo 5'te verilmiştir.

2.1.4. Kullanılan Kaynak Makinesi (The Welding Machine Used)

Deneyleerde 400 amperlik yatay karakteristikli, su soğutmalı 5 kaba 6 ince ayar kademeli 30 gerilim basamaklı doğru akım (DC) kaynak makinesi

Tablo 1. Kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri [11] (Chemical properties of the material used)

Yeni Standard karşılığı	Önceki Standard 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 mekanik özellikleri [11] (Mechanical properties of the material used)

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

kullanılmıştır ve transistörlü akım basamağı ayarlayıcısı ile kısa devre akımı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Makinenin teknik özellikleri Tablo 6'da gösterilmektedir.

2.1.5. Deneylerde Kullanılan Eğme Yorulma Makinesi (The Bending Fatigue Machine Used in Experiments)

Eğme yorulma makinesi DIN 50142 ile uyumlu olan termoplastikler, demir esaslı olmayan metaller ve çeliklerden yapılmış numuneler üzerinde dinamik yorulma testlerin yapılmasına olanak sağlar. Bu

makine özellikle sac malzemelerin test edilmesi amacı ile geliştirilmiştir. Makine kapasitesinin izin verdiği ölçüde dinamik ve statik yükler, değişken olarak yüklenebilir. Makinede Alman Standardı DIN 50100'e göre uygun Wöhler ve yorulma dayanımı testi olan (S-N) diyagramları oluşturabilmektedir. Bu makinenin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.

2.2. Kaynaklı Bağlantı ve Uygulamaları (Welded Joints and Applications)

Kesilen parçalar otomatik MAG kaynak yöntemi ile belirlenen üç farklı gaz karışımında kaynak

Tablo 3. Deneylerde kullanılan EN 440'a (DIN 8559) [12] göre imal edilmiş G3 Si1 (SG2) ve G4 Si1 (SG3) tel elektrodların kimyasal bileşimi (Chemical compound of SG2 and SG3 wires used in experiments and produced as per EN 440 standards)

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
G4 Si1 (SG3)	0,07-0,10	1,6-1,9	0,8-1,2	<0,025	<0,025	<0,30

Tablo 4. Deneylerde kullanılan EN 440'a (DIN 8559) [12] göre imal edilmiş G3 Si1 (SG2) ve G4 Si1 (SG3) tel elektrodların mekanik özellikleri (Mechanical properties of the SG2 and SG3 wire electrodes produced as per 440 and used in experiments)

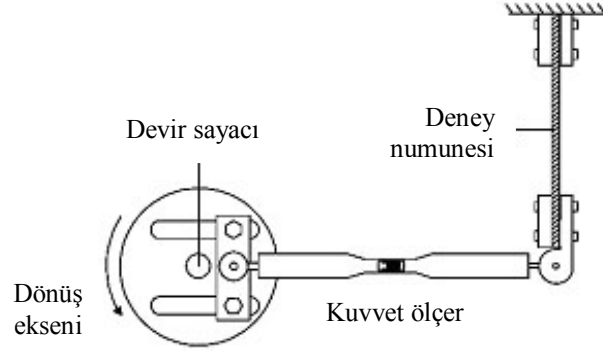
Kullanılan elektrodlar	Akma mukavemeti (N/mm ²)	Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Darbe enerjisi (J) ISO-V	Uzama (%) (L ₀ =5d ₀)
G3 Si1 (SG2)	450	550	80 (-20°C)	28
G4 Si1 (SG3)	480	590	80 (-40°C)	26

Tablo 5. Deneylerde kullanılan karışım gazların (%) oranları (The proportion of the mixture gases used in the experiments)

Karışımın adı	Karışım oranı (%)		
	Ar	CO ₂	O ₂
S1 (80Ar+18CO ₂ +2O ₂)	80	18	2
S2 (88Ar+10CO ₂ +2O ₂)	88	10	2
S3 (93Ar+5CO ₂ +2O ₂)	93	5	2

Tablo 6. Deneylerde kullanılan kaynak makinasının teknik özellikleri (Technical properties of the welding machine used in the experiments)

Devreler	Veriler
Şebeke gerilimi (3 faz, 50 Hz)	380 V
Akım ayar aralığı	40-400A
Gerilim ayar aralığı	16-43V
Nominal kaynak akımı (%60 D.K.O.)	400 A
Sürekli kaynak akımı (%100 D.K.O.)	350 A
Nominal akımı (%60 D.K.O.)	26 A
Nominal gücü (%60 D.K.O.)	17.1 kvA
Kaynak kablo kesiti	50 mm ²



Şekil 1. Eğmeli yorulma makinesinin şematik gösterilişi (Schematic display of the bending fatigue)

edilmişlerdir. Kaynak dikişleri tüm bağlantılarda yatay oluk (PA) pozisyonundadır. Deneylerde 4 mm'lik malzeme kullanıldığından V kaynak ağzı açılarak aynen standartlarda olduğu gibi birleştirilmiştir. Bütün deneylerin aynı koşulları yapılması için kaynak torcunu, ileri geri doğrusal hareket edebilen otomatik arabaya monte edilmiştir. Tablo 7'de birleştirmelerin oluşturulmasında kullanılan kaynak koşulları verilmiştir.

Tablo 7. SG2 ve SG3 elektrodu ile yapılan alım birleştirmelerde uygulanan MAG kaynak parametreleri (MAG welding parameters applied to butt joint welded with SG2 and SG3 electrodes)

Koruyucu gazın bileşimi	1. 80Ar+18CO ₂ +2O ₂ 2. 88Ar+10CO ₂ +2O ₂ 3. 93Ar+5CO ₂ +2O ₂
Akım şiddeti (Amper)	280
Gerilim (Volt)	18-22
Tel çapı (Ø mm)	1
Telin simgesi	SG2, SG3
Tel ilerleme hızı (m/dak)	4,2
Kaynak hızı (cm/dak)	36

2.3. Kaynaklı Levhaların Görsel İncelenmesi (Visual Inspection of the Welded Sheets)

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 [14,15].

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.

2.4. Deney Numunesi Çıkartma Esasları (Principles of Taking Specimens)

Kaynak işlemlerinden sonra numuneler ilgili standartlarda olduğu gibi normal soğuma koşullarında

soğumaya bırakılmıştır. Görsel muayeneden geçen bu levhalardan yapılacak deney planına göre EN-288-3'e [16] uygun deney numuneleri hazırlanmıştır. Kaynaklı levhaların başlangıç ve bitiminden 25 mm'lik kısımları kesilerek atılmıştır. Zira kaynağın başlangıç ve bitiminde oluşabilecek hataların önüne bu şekilde geçilmiş olmaktadır. Parça boylarının kısa tutulmasındaki amaç kaynak ısı girdisi nedeni ile parçalarda oluşabilecek çekme çarpılmalarını azaltmaktır. Şematik olarak numunelerin çıkarıldığı kaynaklı parça Şekil 2'de verilmiştir.

Bu çalışmada, 3 farklı gaz kullanılarak yapılan kaynaklı parçadan ve esas metalden çıkarılan numunelere eğmeli yorulma deneyleri ve sertlik ölçümleri yapılmıştır.

2.5. Yorulma Deneyleri (Fatigue Experiments)

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 çevrim sayısı $N=2 \times 10^6$ alınmıştır [17].

Deneylerde kullanılan eğme momenti (M_e) değerlerinden eğilme gerilmesi (σ) değerlerine klasik mukavemet bilgileri kullanılarak dikdörtgen kesitli parçalar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [18];

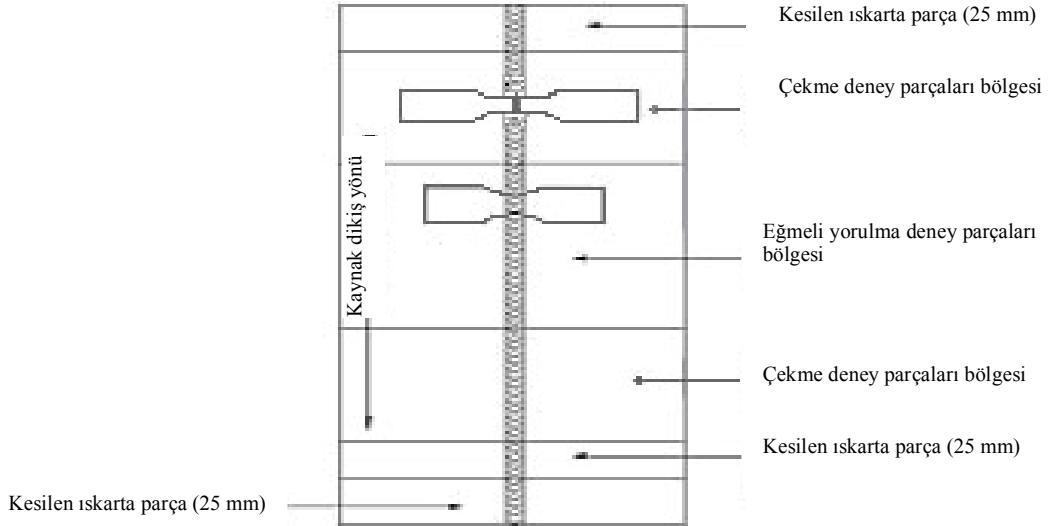
$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad \sigma = \frac{M_e}{W}$$

$$\sigma = \text{Eğilme gerilmesi (kg/cm}^2\text{)},$$

$$W = \text{Eksenel direnç momenti (cm}^3\text{)}$$

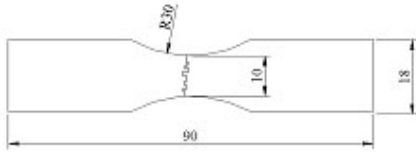
$$M_e = \text{Eğilme momenti (kgcm)},$$

$$b = \text{Genişlik (cm)}, \quad h = \text{Kalınlık (cm)}$$



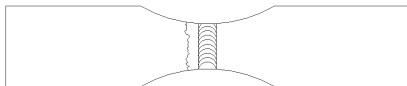
Şekil 2. EN 288-3'e göre numunelerin levhadaki dağılım planı (Distribution plan of the samples over the sheet as per EN 288)

Hazırlanan numunelere uygulanan yorulma dayanımı sonrasında kırılan deney parçaları incelenerek yorulma çatlaklarının oluştuğu yer saptanmıştır. Şekil 3'te esas metalden alınmış numunelerin yorulma deneyi sonrası kırılma şekli şematik olarak gösterilmiştir. Esas metale ait numunelerde yorulma çatlama kesitin ince olduğu bölgede oluşmuştur. Literatür araştırmalarına göre bu durum normaldir [17,19,20].



Şekil 3. Kaynak edilmemiş sactan çıkartılan numunenin yorulmadan dolayı kırılma şekli (Breaking form of the samples taken out of unwelded metal sheet due to fatigue)

Kaynaklı numuneden çıkartılan yorulma deneyi sonrası kırılma şekli Şekil 4'te verilmiştir. Burada verilen şekil şematik olması 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 [19,20].



Şekil 4. Kaynak yapılmış sactan çıkartılan numunenin yorulmadan dolayı kırılma şekli (Breaking form of the samples taken out of welded metal sheet due to fatigue)

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (RESULTS OF THE EXPERIMENT AND DISCUSSION)

3.1 Sertlik Ölçümleri (Measuring Hardness)

SG2 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin sertlik değerleri Şekil 5'te verilmiştir

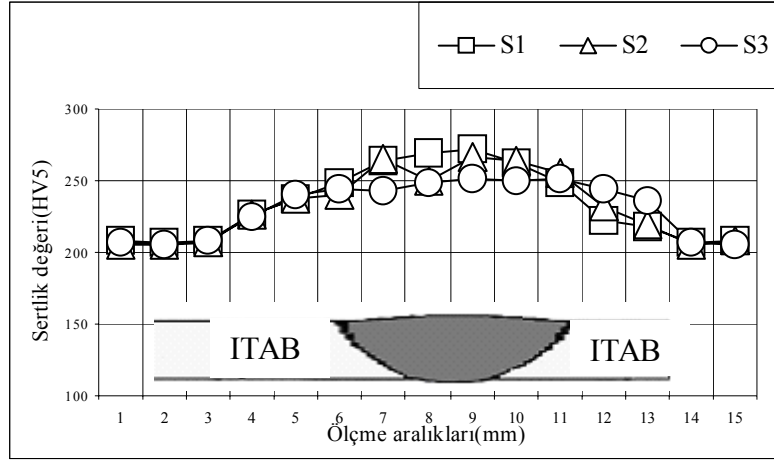
SG3 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin sertlik değerleri Şekil 6'da verilmiştir.

3.2 Yorulma Deneyleleri (Fatigue Experiments)

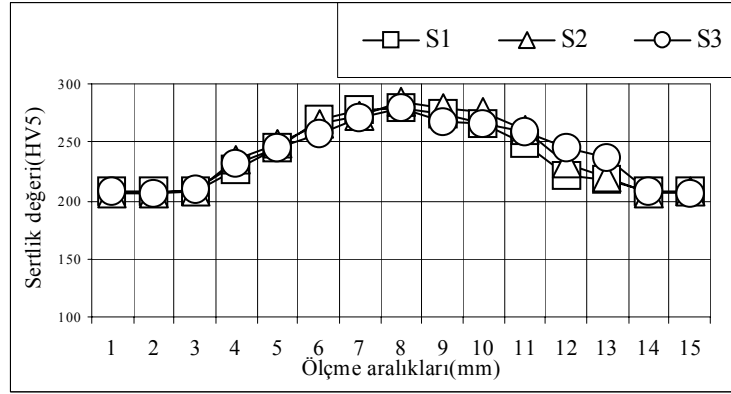
SG2 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin eğmeli yorulma deney sonuçları Şekil 7'de verilmiştir.

SG3 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin eğmeli yorulma deney sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.

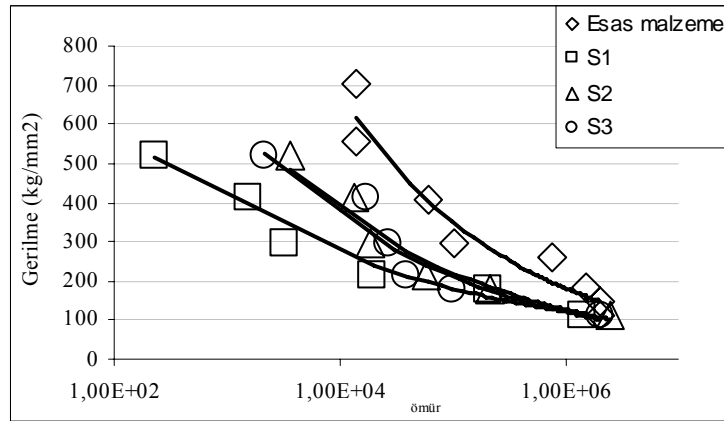
Argona CO₂ eklenmesi ark sıcaklığını artırıcı etki yapmakta O₂ kaynak banyosu yüzey gerilimine etki ederek daha üniform olmasını sağlamakta ve kaynak dikişi mukavemetini artırıcı etkiler ortaya koymaktadır [8,19,21,22]. Çeliklerin kaynağında saf Ar kullanıldığı zaman yanma oluşu oluşabilir. % 1-5 O₂ veya % 3-25 CO₂ ilave ederek yanma oluşu önlenir. Aynı zamanda arkın dengesi sağlanmış olur. CO₂ derin nüfuziyet ve yüksek ark enerjisi sağlar, O₂ iyi iletme ile birlikte sıçramayı artırır [23]. Ar+O₂ koruyucu gaz karışımları ile yapılan numunelerin akma mukavemetleri O₂ yüzdesinin artması ile artmaktadır. Aynı şekilde O₂ yüzdesinin artmasıyla çekme mukavemeti düşmekte buna karşılık % uzama miktarı azalmaktadır. Ar+CO₂ koruyucu gaz ortamında kaynak yapılan numunelerde CO₂ oranının



Şekil 5. SG2 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin sertlik değerleri (Hardness values of the samples welded with SG2 electrodes and three different mixture gases)



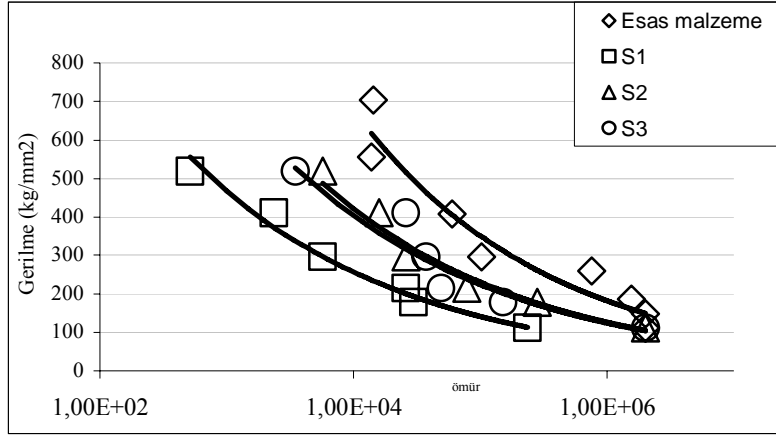
Şekil 6. SG3 elektrodu kullanılarak üç farklı gaz karışımı ile kaynak yapılan numunelerin sertlik değerleri (Hardness values of the samples welded with SG3 electrodes and three different mixture gases)



Şekil 7. SG2 teli ve 3 farklı gaz karışımı ile yapılan numunelerin yorulma dayanımlarının grafikleri (Diagrams of the fatigue resistance of the samples welded with SG2 wires and three different mixture gases)

artmasıyla akma ve çekme dayanımlarının düştüğü ve % sünekliliğin arttığı görülür. Ar+CO₂+O₂'nin üçlü karışım gazı ile kaynak edilen numunelerde Argona ilave edilen O₂+CO₂ gazları belirli bir orandan sonra artması ile akma ve çekme mukavemetlerinde düşme % süneklilik miktarlarında artma görülür [24].

Koruyucu gaz içindeki aktif bileşenler (O₂ ve CO₂ miktarları) fazla olduğunda kaynak metali içerisindeki O₂ oranı artmakta, yüksek oranda O₂'in elektrodaki Mn ve Si oranını azaltmaktadır. Çünkü Ar+CO₂ gaz karışımı içindeki CO₂ 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



Şekil 8. SG3 teli ve 3 farklı gaz karışımı ile yapılan numunelerin yorulma dayanımlarının grafikleri (Diagrams of the fatigue resistance of the samples welded with SG3 wires and three different mixture gases)

mekanik dayanımının azalmasına neden olmaktadır [25].

Karışımındaki CO₂ oranlarının artması arkın kararlılığını azaltmakta ve sıçrama seviyesinin artmasına yol açmaktadır. Yorulma kırılmaları genelde yüzeyden başladığı için özellikle eğilme ve burulma zorlamalarında, yüzeylerin işlenme durumu, yorulma ömrünü önemli derecede etkilemektedir. Belirli bir ortalama gerilmede elemanın taşıyabileceği gerilme, şekil değiştirme, üst yüzey kalitesine bağlıdır. Pürüzlü yüzeyler çentik etkisi yapmakta ve yorulma dayanımını düşürmektedir [20]. Malzeme yüzeyinde yüzey pürüzlülüğü arttıkça yorulma ömrü de buna bağlı olarak azalacaktır [17]. CO₂ oranı fazla olan gaz karışımı ile MIG/MAG kaynağı yapıldığında sıçramaların fazla olmasından dolayı pürüzlü yüzey oluşturur ve bunlarda çentik etkisi yapar. Çentikte yorulma dayanımını düşürdüğünden dolayı 80Ar+18CO₂+2O₂ gazı ile yapılan yorulma dayanımı değerleri de düşük çıkmıştır. Aynı zamanda koruyucu gazın bileşimi, dikiş mukavemetini, 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 O₂ ve CO₂ ilavesi ile kaynak banyosunun yüzey gerilimini azaltmakta mümkündür. Bu özelliklerin tümüde yapılan deney sonuçlarını doğrulamaktadır.

Bu çalışmada da CO₂ oranı yüksek olan gaz karışımının (80Ar+18CO₂+2O₂) yorulma dayanımı diğer iki gaz karışımına göre düşük çıkmıştır.

Koruyucu gaz içindeki aktif bileşenler (O₂ ve CO₂ miktarları) ne kadar fazla olursa, ark sırasında oksidasyondan dolayı alaşım elementi kaybı o denli yüksek olduğunu ve en fazla etkilenen metallerin de

en aktif metaller olan Ti ve Zr gibi metaller olduğunu belirtmiştir.. Bunun yanı sıra dikişin mukavemetinde önemli rol oynayan Si, Mn, Ni ve Al gibi elementlerinde kaybı söz konusudur. Koruyucu gaz, kaynak metalinin bileşimini dolayısıyla da katılaştırarak kaynak metalinin mikro yapısını da etkileyecektir. MIG/MAG kaynağında koruyucu gazın oksitleme potansiyeli artırıldığında tokluk değerlerinde iyileşme sağlanabilmektedir [26].

Argon oranı arttıkça parmak izi şeklindeki görünüm artmış buna karşın dikiş yüksekliği azalmıştır. Artan CO₂ ve O₂ oranıyla birlikte nüfuziyette genişleme ile birlikte kaynak profilinde de yükselme meydana gelmiştir. Nüfuziyet açısından en ideal karışımın argona 15-30CO₂ ilavesinde görülmüştür. En iyi kaynak dikişi geometrisi O₂ ilavesi yapılan karışımlarda görülmüştür. CO₂'nin 30'lara çıkması sıçramayı arttırıp ark kararlılığını azaltmaktadır. Mekanik özelliklerin geliştirilebilmesi için argon ağırlıklı karışım gazlar kullanılmalıdır. Argon gazına katılan CO₂ ve O₂ arkın kararlılığını arttırmakta ve daha düzgün bir kaynak dikişi vermektedir [19].

Argona katılan az miktardaki O₂ kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Fakat O₂ çentik darbe dayanımını azda olsa olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca Ar+CO₂+O₂ üçlü gaz karışımlarına katılan 5O₂ kaynak metalinde mangan azalmasına yol açmaktadır [9]. CO₂ gazının kaynak metalinde meydana getirdiği oksitlenme ve gözeneklilik büyük problem olmuştur. Bu yapıyı ortadan kaldırmak için kaynak teline mangan ve silisyum katılarak iyi sonuçlar alınmış, kaynağın mekanik özellikleri iyileştirilmiştir. CO₂ korumalı kaynağa gözenek oluşumu ve sıçramaların azaltılması için kısa ark boyu ile kaynak tercih edilmiştir [27,28].

Karışımındaki CO₂ oranının azalması ile iyi bir nüfuziyet elde edilemez. Düşük CO₂ 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 [20]. Ayrıca Ar'a %12-15 CO₂ ilavesinin sertlikte çok az düşüğe neden olmaktadır [25]. Sertlik, yorulma dayanımına etki eden mekanik özelliklerinden biridir. Sert malzemelerin yorulma dayanımları, yumuşak malzemelere göre genelde yüksektir [20]. Bundan dolayı da yapılan yorulma dayanımı deneyleri sonucunda CO₂ miktarı az olan gaz karışımının (93Ar+5CO₂+2O₂) yorulma dayanımı değerleri düşük çıkmıştır.

Sertlik değerleri; SG2 elektrodu ile yapılan birleştirmelerde birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. 80Ar+18CO₂+2O₂ gazı ile yapılan kaynakta sertlik değeri sadece kaynak dikişinde çok az değerde yüksek çıkmıştır.

SG3 elektrodu ile yapılan birleştirmelerde ise sertlik değerleri arasında pek farklılık görülmemiştir.

Kaynaklı metal malzemede gaz karışımları yorulma özelliklerine etki edebilir. Yorulma dayanımı daha çok kaynağın geometrisine bağlıdır. Ayrıca yorulma dayanımı malzeme içinde oluşum oksit miktarı tarafından da etkilenir. CO₂ yada O₂ miktarı karışım gazda ne kadar çok artırılırsa metal kaynağında oksit miktarı o kadar artar. Oksit malzemede yorulma çatlağının daha erken başlamasına neden olur [29]. Şekil 7'de SG2 teli ile üç farklı gaz kullanılarak yapılan yorulma dayanımı deneyleri sonuçları çok büyük farklılık görülmemiştir. Üç farklı gaz karışımı ile yapılan birleştirmelerin yorulma dayanımları yüksek çıkan gaz karışımı 88Ar+10CO₂+2O₂ olduğu en düşük yorulma dayanımları ise 80Ar+18CO₂+2O₂ olan gaz karışımından ortaya çıkmıştır. Burada artan CO₂ gazının artması ile oksit miktarı artmıştır. Oksit miktarı da yorulmaya kötü etki ettiğinden dolayı 80Ar+18CO₂+2O₂ gaz karışımının da yorulma dayanımı düşük çıkmıştır.

Şekil 8'de SG3 teli ile üç farklı gaz kullanılarak yapılan yorulma dayanımı deneyleri sonuçları çok büyük farklılık görülmemiştir. Üç farklı gaz karışımı ile yapılan birleştirmelerin yorulma dayanımları yüksek çıkan gaz karışımı 88Ar+10CO₂+2O₂ olduğu en düşük yorulma dayanımları ise 80Ar+18CO₂+2O₂ olan gaz karışımından ortaya çıkmıştır.

Şekil 7 ve Şekil 8'deki verilere bakıldığında SG2 ve SG3 telleri ile üç farklı gaz kullanılarak yapılan yorulma dayanımları sonuçlarında SG3 teli ile yapılan yorulma dayanımı değerleri biraz daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni ise SG3 telinin yapısında SG2 ye göre fazla bulunan mangan ve silisyum elementin verdiği mekanik özelliklerdir. SG3 elektrodunda Mn ve Si elementleri fazla bulunmaktadır. Mn miktarının artması ile ısıdan etkilenen bölgede tane boyunun küçülmesi ile de mekanik özelliklerinin iyileşmesi görülmüştür. Mn ve

Si mekanik özelliklerin artmasına neden olmaktadır [18]. Kaynak metalinde alaşım elementleri kaybı ne kadar düşük ise mukavemet de o kadar artar [24]. SG3 elektrodun mekanik özellikleri (çekme, akma ve uzama) SG2'den yüksektir. Yüksek olan bu değerlerde yorulma dayanımı deney sonuçlarına yansımıştır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, St52-3 yapı çeliğinin MIG/MAG kaynağında kullanılan farklı gaz karışımları ile birleştirilen kaynaklı numunelerin yorulma dayanımları ve sertlik özellikleri incelenmiş aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- İki farklı elektrod ve üç farklı gaz karışımları kullanılarak yapılan alın kaynaklı bağlantının yorulma dayanım değerleri esas metale göre düşük çıkmıştır.
- SG2 ve SG3 elektrodları ile üç farklı gaz karışımı kullanılarak yapılan yorulma dayanımı değerinin 88Ar+10CO₂+2O₂ karışım gazında yüksek çıktığı görülmüştür.
- SG2 ve SG3 elektrodları ile üç farklı gaz karışımı kullanılarak yapılan kaynakların yorulma dayanımı değerleri karşılaştırıldığında SG3 elektrodu ile kaynak yapılan 88Ar+10CO₂+2O₂ karışım gazında yüksek çıktığı görülmüştür.
- SG2 ve SG3 elektrodları ile yapılan farklı gaz karışımlarının sertlik değerlerine önemli oranlarda etki etmedikleri tespit edilmiştir. Fakat 88Ar+10CO₂+2O₂ gaz karışımı ile yapılan kaynaklı birleştirmenin sertlik değeri diğerlerinden daha fazla çıkmıştır. Bu da bu malzeme ve bu bileşenlerdeki optimum sertlik değerini vermiştir.
- Koruyucu gaz atmosferi altında yapılan kaynaklarda yorulma dayanımları ve sertlik özelliklerinin değişmesi kaynak atmosferinin gaz karışımlarının bir sonucu olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince Desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çelikağ, M., "Yapısal Çelik nedir?" Doğu Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, 2002.
2. Şık, A., "Yapı Çeliğinin (St 52-3) MIG/MAG Kaynağında Gaz Karışımlarının Çekme Dayanımı Özelliklerine Etkisi" *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1 2006.
3. Pierre, E.R., "Shielding Gases For Welding", *Welding Design&Fabrication*, USA March 1987.
4. Raoufi, F., "Parameter Optimization in MIG/MAG Welding Processes", ODTÜ Metalurji Müh., Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1994.

5. Kuna, J., “**Effect of shielding gas mixture on the impact toughness of pulsed arc welded joints**”, Tecnic University of Wroclaw, Poland, 1989.
6. Svensson, L. E., **Control Of Microstructures And Properties In Steel Arc Welds**, CRC Pres, USA, 1994.
7. Tülbentçi, K., “**Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağında (MIG/MAG) Kaynak Parametrelerinin Seçimi**”, Kaynak Dünyası Gedik Holding A.Ş., İstanbul, 1988.
8. Hilton, D., “**Shielding Gases For Metal Arc Welding**”, **Welding&Metal Fabrication**, USA, 1990.
9. Kurşun, T., “**Gazaltı kaynak tekniğinde kullanılan koruyucu gaz ve gaz karışımlarının 19Mn6 kalite çeliğinin kaynatılmasında mekanik özelliklere etkisi ve tozaltı kaynağı ile karşılaştırması**”, Erciyes Üniv. Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, Kayseri 1998.
10. Pilarczyk, J. And Szczok, E., “**Properties Of Gas Mixtures Used In MAG Welding**”, **Welding International**, 1994
11. Erdemir Ürün Kataloğu, Ereğli Demir ve Çelik Fab., T.A.Ş., İstanbul, 2000
12. EN 440, “**Kaynak Sarf Malzemeleri- Alaşimsız ve İnce Taneli Çeliklerin Koruyucu Gaz Metal Ark Kaynağı İçin Tel Elektrotlar ve Yığılmış Kaynaklar- Sınıflandırma**”, Ankara, 2002.
13. EN 439, “**Kaynak Sarf Malzemeleri- Ark Kaynağı ve Kesme İçin Koruyucu Gazlar**”, Ankara, 1995
14. AWS, “**Sheet Metal Welding Code**, American Welding Society”, American National Standart, ANSI/AWS”, Miami, 1990.
15. EN 25817 “**Çeliklerde Ark Kaynaklı Birleştirmeler-Kusurlar İçin Kalite Seviyeleri Kılavuzu**”, EQV, 1992.
16. EN 288-3, “**Specification and Approval of Welding Procedures For Metallic Materials**”, European Standard, 1997.
17. Güleç, Ş., Aran, A., “**Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı**”, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, MBEAE Matbaası–Gebze, 1983.
18. DIN 50 142, **Flat Bending Fatigue Test Deutsche Normen**, 1982.
19. Gülenç, B., “**MIG/MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Metalinin Mekanik Özelliklerine Etkisi**”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1995.
20. ŞIK, A., “**Otomobil Saclarının MIG/MAG Kaynağında Gaz Karışımlarının Bağlantının Mekanik Özelliklerine Etkisi**”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2002.
21. Ertürk, İ., “**MIG/MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi**”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1994.
22. Nil, R., “**Materialen Voor Dunwandige Constructies/Vvoorlichtingsblad, Dunne Plaat Booglassen**”, Nederland Instuut Voor Lastechniek, Nederland, 1987.
23. Müftüoğlu, F.E., “**Alaşimsız Çeliklerin Özlü Elektrotla Kaynağında Ar-CO₂ Koruyucu Gaz Karışımlarının Kaynak Dikişine Etkisi Ve Optimum Gaz Karışımının Tayini**”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bil. Enstitüsü, Makina ABD, Yük. Lisans Tezi, İstanbul, 1997.
24. Ateş, H., “**MIG-MAG Kaynağında Kullanılan Argon Gazına O₂ Ve CO₂ İlavesinin Kaynak Metali Tokluğu Ve Mikroyapısına Etkisi**”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1996.
25. 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.**
26. Okan, A.N., “**Gazaltı Kaynak Yönteminde Koruyucu Gazlar**”, Birleşik Oksijen Sanayi A.Ş., İstanbul, 1989
27. AWS, “**Sheet metal welding code**, American Welding Society”, American National Standart, ANSI/AWS, Miami, 1990
28. Bozacı, M., “**Gazaltı Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar Ve Uygulamadaki Yeri**”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1990
29. Uygur, İ.; Gülenç, B., “**The Effect Of Shielding Gas Compositions For MIG Welding Process On Mechanical Behavior Of Low Carbon Steel**” **METABK**, 43 (1) 35-40 2004