

Farklı Pozisyonlarda MAG Kaynağı ile Birleştirilen Boruların Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik ve Mekanik Muayenesi

İlhan CANDAN, Ahmet DURGUTLU*, Nizamettin KAHRAMAN ** Behçet GÜLENC*
Emek Boru Makine A.Ş. Kalite Kontrol Bölümü, Sincan, ANKARA
*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA
**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, KARABÜK

ÖZET

Bu çalışmada X52 (API 5L) malzemesinden imal edilmiş spiral kaynaklı çelik borular, değişik pozisyonlarda tam otomatik gazaltı (MAG) kaynak yöntemi ile alın altına birleştirilmişlerdir. Kaynak esnasında kullanılan torç konumunun kaynak bölgesindeki etkilerini görmek amacıyla numunelere eğme, sertlik ve çentik kırma (nick break) testleri uygulanmıştır. Ayrıca kaynaklı numunelerin ultrasonik muayeneleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelere uygulanan çentik kırma ve eğme testleri sonucunda, sadece yatay oluk ve aşağıdan yukarı tüm pozisyonlarda olumlu sonuçlar alınmıştır. Sertlik ölçümleri sonucunda, en yüksek sertlik değerlerinin ITAB'da olduğu ve onu sırasıyla kaynak metal ve esas metalin takip ettiği tespit edilmiştir. Ultrasonik muayene sonucunda da yatay oluk ve aşağıdan yukarı tüm pozisyonlarda kaynak dikişlerinin sağlam olduğu görülürken diğer bütün pozisyonlarda hatalı oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: MIG-MAG kaynağı, Kaynak pozisyonu, Ultrasonik muayene

Ultrasonic and Mechanic Inspection of Welding Beads of Pipes Joined by MAG Welding at Different Positions

ABSTRACT

In this study, spiral welded steel pipes made of X52 (API 5L) material were butt joined at different positions using full automatic gas metal arc welding (MAG). In order to examine the influence of the torch position on the weldment, the specimens were subjected to bending, hardness and nick-break tests. In addition ultrasonic inspections were also carried out on the welded specimens. The results obtained from nick-break and bending tests indicated that samples welded in the position of flat and vertical-travel up showed good results. The highest hardness values were obtained from HAZ and this is followed by weld metal and the base metal. Ultrasonic inspection revealed that only flat and vertical-travel up position led to robust weld beads.

Keywords: MIG-MAG welding, Weld position, Ultrasonic inspection.

1. GİRİŞ

Boru hatları, tüketimi büyük olan ve devamlı kullanılan sıvıların ve gazların (petrol, su, doğalgaz gibi) uzun mesafelere nakledilmesinde kullanılmaktadır (1). Uzun yıllardan beri petrol veya doğalgazın taşındığı Uluslararası ve Ulusal boru hatlarının yapımında, alı-şılmış çelikler ve/veya ince taneli yapı çeliklerinden imal edilmiş borular kullanılmaktadır (2). Boru hatları- nın yapımında el ile yapılan kaynağın yerine yarı oto- matik veya tam otomatik MIG-MAG kaynağının kulla- nıldığı haberleri çok yaygınlaşmış olmasına rağmen bu tekniklerin kullanımı çok yavaş olmaktadır. Otomatik kaynak işlemi ile hız ve güvenilirlik arttırılmakta ve kaynakçının daha kolay yetişmeleri sağlanmaktadır (3).

Günümüzde çeliklerin kaynağında kullanılan dolgu metal tüketimi son yirmi yıl içinde gaz metal ark (MIG-MAG) kaynağında iki kat artmıştır. Bu kaynak yönteminin artış sebebi yüksek verim ve işlemin esnek

oluşudur (4,5). MIG-MAG kaynağı yüksek kalitede kaynak dikişleri ürettiği için demir ve demir dışı mal- zemelerin kaynağında çok sık kullanılmaktadır (6). Bu kaynak yöntemi endüstride bakım ve onarım işlerinde, boru hatlarının kaynağında ve imalat ve montaj işlerinde sıkça kullanılmaktadır (7,8). Yöntem yarı otomatik ve tam otomatik olarak uygulanabilmektedir (9-11). Kay- nak maliyetini düşürmek, temrin süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için günümüz teknolojisinde “mekanize veya otomatik” kaynak yöntemleri uygulanmaktadır (12).

Ergiyen metal elektrodla koruyucu gazaltı kay- nağı, (MIG-MAG) koruyucu bir gaz atmosferi altında kaynak edilecek olan malzemeyle, sürekli bir şekilde kaynak bölgesine gelen tel elektrod arasında ark olu- şumu esasına dayanan bir kaynak yöntemidir (13-16). Tükenebilir elektrod (kaynak teli) ark bölgesine otoma- tik olarak beslenir, ergir ve kaynak metalini (depozit)

oluşturur (17-20). Bu yöntemde kaynak yapılacak bölge, havanın olumsuz etkilerinden koruyucu bir gaz ve/veya gaz karışımı ile korunmaktadır (21,22). Gazaltı ark kaynağında birlikte düşünülmesi gereken üç parametre vardır. Bunlar, kaynak makinası, ilave metal ve koruyucu gazdır. Bu üç bileşenin birbirlerine uyumsuzluğu kaynak işlemini olumsuz yönde etkiler (23). Bu kaynak yönteminde yavaş kaynak hızı derin nüfuziyet, geniş bir kaynak dikişi ve daha fazla ısı girdisi üretirken hızlı kaynak ise bunların zıttını üretmektedir. Ancak, maksimum mukavemet için uygun kaynak hızı seçilmelidir (24).

MIG-MAG kaynak yöntemi ile kaynak edilen malzemeler üretim hattı (on-line) esnasında otomatik olarak düşük maliyetle ve yüksek güvenilirlikle kalite kontrol yapılabilmektedir (25). Ultrasonik muayene yöntemi ile özellikle kaynaklı malzemelerde kaynak bölgesinde malzeme ayrılmaları, çatlaklar ve yetersiz ergime hataları kolaylıkla saptanabilir (26,27). Bu çalışmada da otomatik MAG kaynak yöntemi ile alın altına değişik pozisyonlarda birleştirilen spiral dikişli boruların ultrasonik muayenesi ile mekanik testleri gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Çizelge 1’de kimyasal bileşimi verilen düşük alaşımlı ince taneli yüksek mukavemetli X52 (API 5L) malzemeden imal edilmiş spiral kaynaklı çelik boruların, Çizelge 2’de kimyasal bileşimi verilen \varnothing 1,6 mm SG2 gaz altı kaynak teli ile Çizelge 3’de belirtilen torç konumları ve kaynak parametrelerine göre

Çizelge 1. X52 malzemenin kimyasal kompozisyonu

Element	C	Mn	P	S	Si	Cu	Al	N	Fe
% Ağırlık	0,20	1,60	0,020	0,020	0,55	0,25-0,40	0,25-0,40	0,012	Kalan

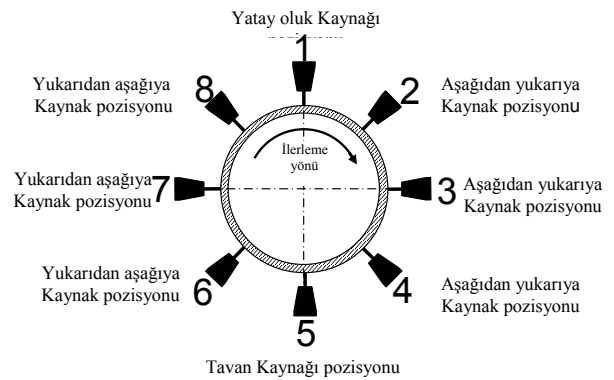
Çizelge 2. SG2 kaynak telinin kimyasal kompozisyonu

C	Si	Mn	P ≤	S ≤	Cu ≤	Müsaade Edilen Safsızlık
0,07-0,14	0,7-1,0	1,3-1,6	0,025	0,025	0,30	Cr 0,15 / V 0,05 / Zr + Ti 0,15 Al 0,02 / Ni 0,15 / Mo 0,15

MAG kaynağı ile birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemleri için ölçüleri \varnothing 406x310x6,4 mm olan 36 adet kaynak numunesi, 30° lik V kaynak ağızı açılarak hazır hale getirilmiştir. Numunelerin kaynak işlemleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü tarafından oluşturulan otomatik conta kaynağı tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin hazırlanması ve muayeneleri ise Emek Boru Makina. A.Ş.’ de gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanmış olan numuneler, ağız ağıza getirilip 1.2 mm boşluk bırakılarak puntalanmış ve puntalanan numuneler tezgaha bağlanmıştır. Bu işlemin ardından boru numunenin çevresi sekiz eşit parçaya bölünerek

her dilim başına bir adet torç, kaynak ağını merkezleyecek şekilde konumlandırılarak, Şekil 1’de gösterilen sistem mekaniği hazır hale getirilmiştir. Son olarak ise tezgahın saat yönünde ve kendi eksenine etrafında dönmesi sağlanarak Çizelge 3’te verilen kaynak parametreleri dahilinde ve 12 mm serbest tel uzunluğu kullanılarak kaynak işlemleri MAG gaz altı kaynak yöntemiyle (CO₂ koruyucu gazıyla) gerçekleştirilmiştir. İşleme başlamadan önce ayarlanan parametreler, gaz altı kaynak torcu tetiğine basıldığı andan itibaren kaynak süresince korunarak sabit tutulup, işlemin el değmeden tamamlanması sağlanmıştır. Kaynak işlemleri yatay oluk pozisyonundan (1) başlayarak, aşağıdan yukarı kaynak (2, 3, 4), tavan kaynağı (5) ve yukarıdan aşağı kaynak (6, 7, 8) pozisyonuna ait olan toplam sekiz farklı pozisyonunda tamamlanmıştır

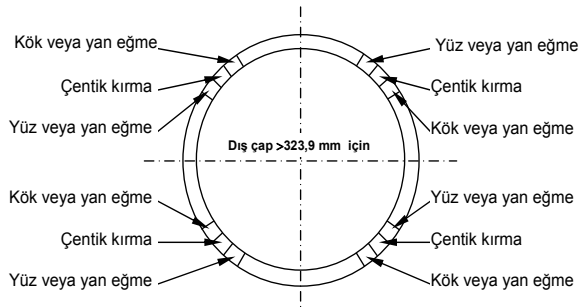


Şekil 1. Kaynak işlemi için hazırlanan düzenekte kaynak torçlarının boru numunesine göre konumlarının götserilişi

Çizelge 3. Torç konumlarına ait kaynak parametreleri

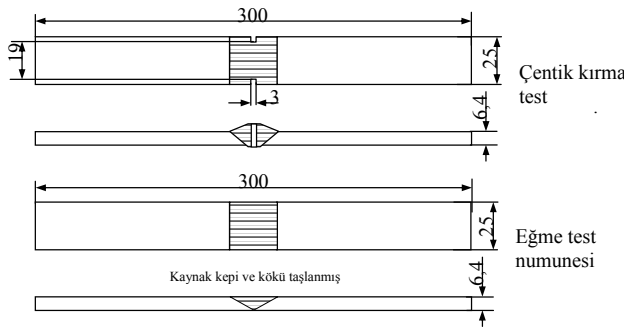
Torç Konumları	Kaynak Hızı (mm/sn)	Akım (Amper)	Voltaj (Volt)	Gaz Debisi (lt/dk)
1-Yatay Oluk	10.5	144 (139-149)	2/6 (25)	12
2-Aşağıdan Yukarı	10.0	140 (137-143)	2/5 (25)	12
3-Aşağıdan Yukarı	9.5	130 (115-135)	1/7 (20)	12
4-Aşağıdan Yukarı	8.0	115 (106-120)	1/3 (20)	12
5-Tavan Kaynağı	8.5	122 (113-136)	2/4 (25)	12
6-Yukarıdan Aşağı	9.5	138 (126-144)	2/5 (26)	12
7-Yukarıdan Aşağı	10.5	144 (136-152)	2/6 (25)	12
8-Yukarıdan Aşağı	10.5	144 (135-150)	2/6 (25)	12

Tahribatlı testler ve ultrasonik muayene için alınan numunelerinin ilk kesimi oksit-asetilen vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kesme işleminden meydana gelen ısı işlemin testlere olumsuz etkide bulunmasını önlemek amacıyla numuneler ölçülerinin 100 mm fazlasıyla kesilmiş daha sonra giyotin makas, vargel ve freze tezgahları yardımıyla standart ölçülerine getirilmiştir. Ana malzeme, kaynak dikişi ve ısının tesiri altında kalan bölgelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için kaynaklı numunelerden Şekil 2’de görüldüğü gibi API 1104’a göre eğme ve çentik kırma (nick-break) test numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 3’de eğme ve çentik kırma test numune ebatları gösterilmiştir.



Şekil 2. Kaynaklı numunelerden hazırlanan test numune bölgeleri

Kaynaklı borulardan kesilmiş eğme ve çentik kırma numuneleri, API 1104 normlarına göre, malzeme kalınlığına göre beş farklı test bölgesine ve 400 KN’ luk yükleme gücüne sahip olan Heckert marka cihazda test edilmişlerdir. Sertlik ölçümlerinde ise Krautkramer Branson Mic 10 marka olan manuel sertlik ölçme cihazı kullanılmış ve bütün testlerden (eğme, çentik kırma ve sertlik) dört adet yapıp ortalamaları değerlendirilmiştir.



Şekil 3. API 1104’e göre çentik kırma ve eğme test numune ölçüleri

Tahribatsız muayene testi ise API 5L normları gözetilerek yapılmıştır. Ana malzeme, kaynak dikişi ve ısının tesiri altında kalan bölgelerinin mekanik elastik ses dalgalarıyla muayenesi 70⁰, lik açılı prob vasıtasıyla Sonatest UFD-7A manuel ultrasonik muayene cihazı ile yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Çentik Kırma Test Sonuçları

MAG kaynak yöntemi ile değişik kaynak pozisyonlarından elde edilmiş kaynaklı numunelerden elde edilen çentik kırma test sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde torç pozisyonunun 1, 2, 3 ve 4 konumlarında kaynak dikişlerinin API 1104 standartlarını tam olarak karşıladığı ancak diğer bütün po-

Çizelge 4. Çentik kırma test sonuçları

Torç Pozisyonu	Çentik kırma test sonucu
Yatay oluk kaynağı pozisyonu	(1) Kaynak tamamen sağlamdır
Aşağıdan yukarı kaynak pozis.	(2) Kaynak tamamen sağlamdır
Aşağıdan yukarı kaynak pozis.	(3) Kaynak tamamen sağlamdır
Aşağıdan yukarı kaynak pozis.	(4) Kaynak tamamen sağlamdır
Tavan kaynağı pozisyonu	(5) Yetersiz ergime mevcut
Yukarıdan aşağı kaynak pozis.	(6) Yetersiz ergime mevcut
Yukarıdan aşağı kaynak pozis.	(7) Yetersiz nüfuziyet mevcut
Yukarıdan aşağı kaynak pozis.	(8) Yetersiz nüfuziyet mevcut

zisyonlarda standartların yakalanamadığı görülmektedir. Torç konumunun zeminle 90°’lik açı yaptığı (1) yatay oluk pozisyonu, bu çalışmada oluşturulması en basit ve en problemsiz birleştirme işlemi olmuştur. Çünkü bu pozisyonda torç borunun üst tepe noktasına konumlandırılmıştır. Dolayısıyla kaynak işlemi, borunun eğiminden dolayı olumsuz olarak en az etkilenen konuma sahiptir. Bu konumda yer çekimi kuvvetinin kaynak metaline olumsuz etkisi olmadığından kaynak metalini kaynak ağızına uyumlu bir dolgu oluşturacak şekilde iyi bir nüfuziyetli birleştirme oluşturmuştur.

Aşağıdan yukarı kaynak pozisyonunun geçerli olduğu (2, 3 ve 4) pozisyonlarında (Şekil 2) torç, borunun üst tepe noktasına belli bir açıda olmasından dolayı, ergiyik kaynak metalini yer çekimi etkisi ile aşağı yönde akarak daha önce katılmış olan kaynak metalini üzerinde katılarak, kaynak dikiş şeklini daraltmış ve yükseltmiştir. Bu oluşumu önlemek ve delinme problemini ortadan kaldırmak için ergiyik metale verilen enerji miktarını azaltmak amacıyla (Çizelge 3) pozisyonlara ait kaynak akım şiddeti değerleri azaltılmış ve kaynak hızı yükseltilerek ısı girdisi azaltılmıştır. Bir önceki yatay oluk (1) pozisyonuna göre değiştirilen akım değerleri ve kaynak hızında yukarıdan aşağı tüm kaynak pozisyonlarında (2, 3 ve 4) çentik kırma test sonuçları API 1104 standardına göre kabul edilebilir değerler arasında bulunmuştur.

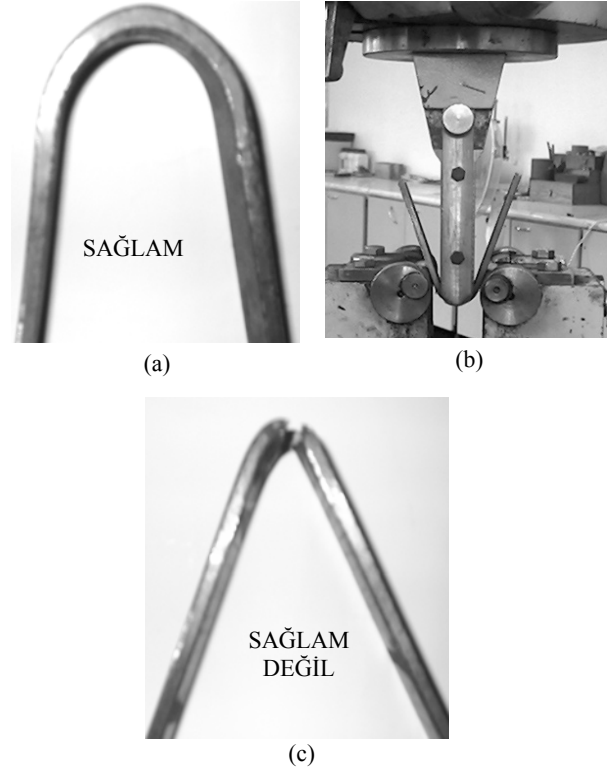
Torc konumunun (5) pozisyonunda olduğu tavan kaynağında karşılaşılan problem, sıvı kaynak metalinin, kaynak banyosunun önüne veya arkasına akma gibi bir eğilime sahip olmayıp direk olarak zemine doğru sarkması olmuştur. Bu nedenle sarkmayı önlemek için 1,2 mm olan kök aralığı bu pozisyonda 2,0 mm’ye çıkarılmıştır. Kök paso aralığının artırılmasıyla akım değeri mümkün olduğunca düşük seçilerek kısa devre metal geçişi sağlanmıştır. Kök aralığının 2,0 mm’ye çıkarılmıştır.

ması nedeni ile de 1,2 mm' lik kaynak telinin verildiği kaynak torcu, diğer pozisyonlardaki gibi kaynak ağzının merkezinde sabitlenememiştir. Kaynak arkı başlangıcı; torcun, kaynak ağzı merkezinden 2-3 mm sağında verildikten hemen sonrasında, torç manuel olarak kaynak ağzı merkezine getirilip kalan kısmın otomatik olarak kaynaklanması sağlanmıştır. Bu işlemlerin ardından elde edilen kaynağın, yeterince iyi olmayan nüfuziyet profiline sahip olduğu ve kaynak sarkmalarının meydana geldiği görülmüştür. Yapılan çentik kırma test sonucunda da bu pozisyonda elde edilen kaynakların standartları karşılayamadığı tespit edilmiştir.

Yukarıdan aşağı kaynak yönteminin geçerli olduğu (6, 7 ve 8) pozisyonlarda negatif kaynak açısı ve sola kaynak (elektrod ucu kaynak yönünde olursa negatif, zıt yönde olursa pozitif hareket açısı) metodu geçerli olmuştur. İlk denemelerde karşılaşılan problem, sola hareket açısıyla kaynak yapıldığından dolayı sıvı metalin yer çekimi etkisiyle aşağı yönde akarak kaynak banyosunun önüne geçmesi olmuştur. Bu nedenle banyodan önce kaynak ağzında ince bir metal ara katmanı oluşumu gözlenmiştir. Bu ara katmanın üzerinden ilerleyen kaynak banyosu, kaynak ağzına nüfuz edememiştir. Bu problemi ortadan kaldırabilmek için sıvı metalin kaynak banyosu önüne geçmesine izin verilmeyecek şekilde kaynak hızı artırılmıştır. Ancak bu şekilde sıvı metal kaynak ağzına nüfuz ettirilmiştir. Fakat kaynak hızı yüksek olduğundan dolayı kaynak kenarlarında yetersiz ergime (soğuk yapışma) hatası oluşmuştur. Bu hatalardan dolayı da bu pozisyonlardaki numunelere uygulanan çentik kırma testleri sonucunda API 1104 standartları yakalanamamıştır. Bunun sebebi olarak, pozisyon gereği kaynak akımının yüksek olması dolayısıyla kaynak hızının da yüksek olması (yatay oluk ve aşağıdan yukarı pozisyonlarına göre) gösterilebilir. Çalış ve arkadaşları (28) çelik sacların MAG kaynak yöntemi ile küt alın birleştirmesinde pozisyonların çalışma haritasını çıkarmışlardır. Çalışmaları sonucunda uygun kaynak parametreleri kullanıldığında yatay oluk pozisyonunda hatasız kaynak elde edilebilirken korniş ve aşağıdan yukarı pozisyonlarda yetersiz nüfuziyet, aşırı nüfuziyete bağlı yanma oluk hataları ve aşırı sarkma hatalarının oluştuğunu belirtmişlerdir.

3.2. Eğme test sonuçları

Kaynaklı numunelerden API 1104 standartlarına göre yapılan eğme test sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.



Şekil 4. Eğme işleminin yapılışı ve eğme numunelerinin görüntüleri

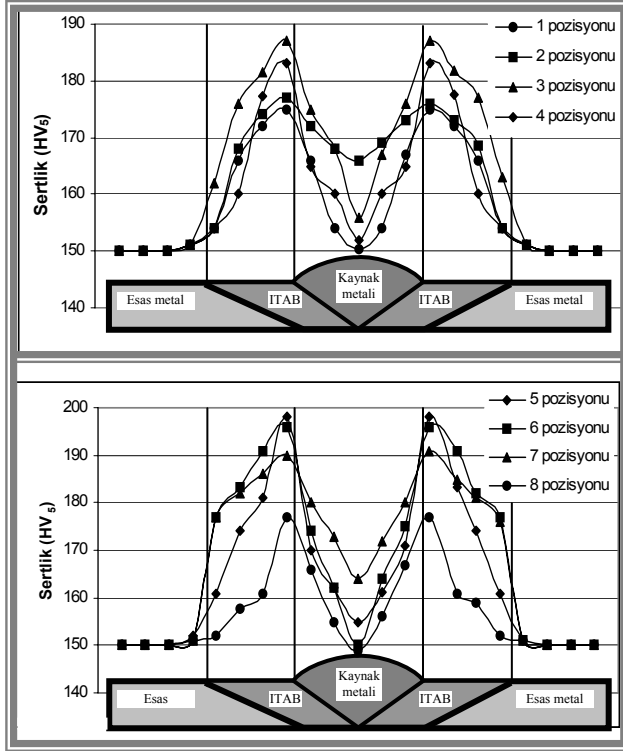
Eğme test sonuçları incelendiğinde yatay oluk pozisyonu (1) ve aşağıdan yukarı tüm kaynak pozisyonlarında (2, 3 ve 4) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesinde gözle görülebilir herhangi bir hataya (yırılma, çatlama vb) rastlanılmamıştır. Torç konumunun ve bazı kaynak parametrelerinin değiştirildiği bu pozisyonlardaki kaynaklarda, 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesinin tamamen sağlam olduğu ve standartlara uygun olduğu görülmüştür. Tavan kaynağı (5) ve yukarıdan aşağı tüm kaynak pozisyonlarında (6, 7 ve 8) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesinde kırılma meydana gelmiş ve istenen sonuçlar elde edilememiştir. Eğme sonuçları ile çentik kırma sonuçları beraber değerlendirildiğinde yatay oluk (1) ve aşağıdan yukarı bütün pozisyonlarda (2, 3 ve 4) kaynaklı birleştirmelerin standartları karşıladığı, ancak tavan kaynağı (5) ve yukarıdan aşağı tüm pozisyonlarda (6, 7 ve 8) standartların karşılanamadığı tespit edilmiş ve bu iki deney sonuçları birbirlerini desteklemiştir.

Çizelge 5. Eğme test sonuçları

Torç Pozisyonu	Eğme test sonucu
Yatay oluk kaynağı pozisyonu	(1) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesi sağlamdır.
Aşağıdan yukarı kaynak pozisyonu	(2) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesi sağlamdır.
Aşağıdan yukarı kaynak pozisyonu	(3) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesi sağlamdır.
Aşağıdan yukarı kaynak pozisyonu	(4) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesi sağlamdır.
Tavan kaynağı pozisyonu	(5) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesi kırılmıştır.
Yukarıdan aşağı kaynak pozisyonu	(6) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesi kırılmıştır.
Yukarıdan aşağı kaynak pozisyonu	(7) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesi kırılmıştır.
Yukarıdan aşağı kaynak pozisyonu	(8) 180°'lik eğme sonucunda kaynak bölgesi kırılmıştır.

3.3. Sertlik Test Sonuçları

Şekil 5’de kaynaklı numunelerden ölçülen sertlik grafikleri verilmiştir. Grafiklerin tümü incelendiğinde en yüksek sertliğin ısının tesiri altında kalan bölgede (özellikle iri taneli bölgede) olduğu tespit edilmiştir. Bilindiği gibi kaynaklı bir bağlantının en kritik bölgesi ITAB’dır ve buradaki yüksek sertliğin sebebi de malzemenin kimyasal bileşimine ve soğuma hızına bağlı olarak ITAB’da meydana gelen tane irileşmesi olarak gösterilebilir. Literatürde de (29) kaynaklı bağlantılardaki kaynak metaline bitişik bölgedeki sertlik artışının sebebi olarak tane irileşmesi gösterilmiştir.



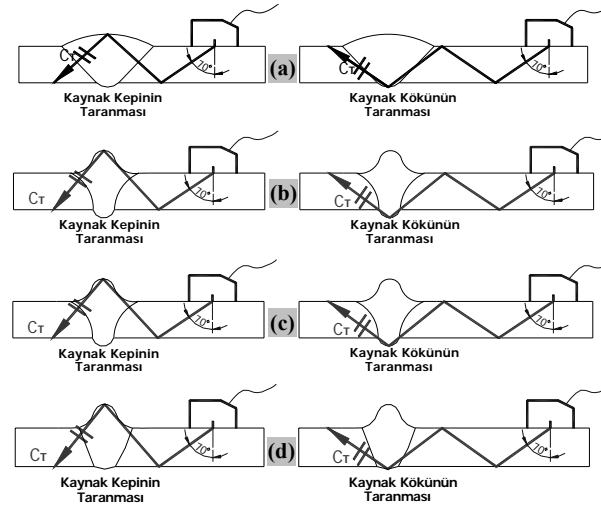
Şekil 5. Sertlik ölçüm bölgeleri ve sonuçları

Kaynak metalinden ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde ise, elde edilen en düşük sertlik değerlerinin kaynak metalinde olduğu ve 1, 6 ve 8 nolu kaynak pozisyonlarındaki sertliklerin esas metal ile aynı değerde olmasına rağmen diğer bütün pozisyonlardaki sertlik değerlerinin esas metalden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. ITAB’da ölçülen sertlik değerlerinde ise en yüksek sertlik 5 nolu tavan kaynak pozisyonunda ölçülürken en düşük sertlik değeri 1 nolu yatay kaynak pozisyonunda elde edilen kaynaklı numunelerden ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri sonucunda, uygulanan kaynak pozisyonunun ITAB ve kaynak metalinden ölçülen sertlik değerlerini belirli bir yönde artırıcı ve/veya azaltıcı etkilediğine dair bir bulguya rastlanmamıştır.

Çünkü kaynak esnasında pozisyonuna göre kaynak hızı ve akım değerleri (zorunlu olarak) değiştirildiğine göre, kaynaklı bölgedeki ısı girdisi ve dolayısıyla soğuma hızı değişmiş ve de elde edilen sertlik değerleri farklılık göstermiştir.

3.4. Ultrasonik Muayene Test Sonuçları

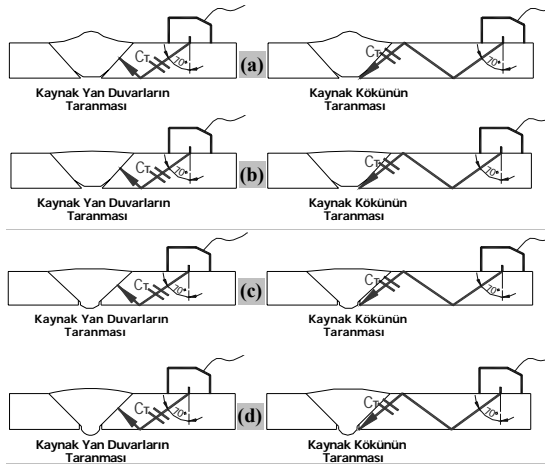
Şekil 6’de yatay oluk (1) ve aşağıdan yukarı (2, 3 ve 4) pozisyonunda birleştirilen kaynaklı numunelere uygulanan ultrasonik muayene sonucunda, kaynak dikişinden elde edilen kaynak kepi ve kaynak kökünün tarandığı (API 5L normlarına göre kalibre edilen tezgahlarda) ultrasonik muayene (muayene kaynağın her iki tarafında yapılmıştır) sonucunda kaynak numunelerinde iki boyutlu düzlemsel veya üç boyutlu hacimsel herhangi bir hataya rastlanmamıştır.



Şekil 6. Kaynaklı numunelerin ultrasonik muayene görüntüleri a) yatay oluk (1), b) aşağıdan yukarı (2), c) aşağıdan yukarı (3) ve d) aşağıdan yukarı (4) pozisyonu.

Sonuçlar incelendiğinde hem yatay oluk pozisyonunda (1) hem de aşağıdan yukarı bütün kaynak pozisyonlarında (2, 3, ve 4) kaynak kepi ve köklerinin sağlam olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar mekanik test sonuçları ile beraber değerlendirildiğinde bu pozisyonlara ait ultrasonik test sonuçlarının, eğme ve çentik kırma test sonuçlarını desteklediği tespit edilmiştir.

Şekil 7’de tavan kaynağı (5) ve yukarıdan aşağı (6, 7 ve 8) pozisyonunda birleştirilen kaynaklı numunelere uygulanan ultrasonik muayene sonucunda, kaynak dikişinden elde edilen kaynak kök ve kaynak yan duvarının tarama sonuçları verilmiştir



Şekil 7. Kaynaklı numunelerin ultrasonik muayene görüntüleri
a) tavan kaynağı (5), b) yukarıdan aşağı (6), c) yukarıdan aşağı (7) ve d) yukarıdan aşağı (8) pozisyonu.

Şekil 7 a incelendiğinde (tavan kaynağı), ultrasonik muayene yönteminde, kaynak kökünün oluşmadığı net bir şekilde görülmüştür. Buna ilave olarak, çok büyük olmamakla beraber kaynak kenarlarında yetersiz ergime hatasının olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7 b'ye bakıldığında (yukarıdan aşağı (6) pozisyonu) kaynağın merkezinde oluşturulamamış olan kök ve kaynak kenarların da yetersiz ergime hatasının olduğu görülmüştür. Şekil 7 c ve d (yukarıdan aşağı 7 ve 8 pozisyonları) incelendiğinde ise, kaynak kenarlarında yetersiz ergime ve kaynağın merkezinde oluşturulamamış olan kök hatalarının olduğu belirlenmiştir. Şekil 7'de ultrasonik muayeneden elde edilen sonuçlar ile mekanik testlerden (eğme ve çentik kırma) elde edilen sonuçlar kıyaslandığında tavan kaynağı (5) pozisyonu ve yukarıdan aşağı tüm pozisyonlarda (6, 7 ve 8), kaynak dikişlerinin sağlam olmadığı sonuçları tamamen birbirlerini desteklemektedir.

4. SONUÇLAR

- i Kaynaklı numunelere uygulanan çentik kırma testleri sonucunda, sadece yatay oluk ve aşağıdan yukarı tüm pozisyonlarda olumlu sonuçlar alınmıştır.
- ii Çentik kırma testinde sağlam olarak bulunan kaynakların tümü eğme testinde de iyi sonuçlar vermiştir.
- iii Kaynaklı numunelere uygulanan tahribatlı ve tahribatsız testler sonucunda, tavan kaynağı ve yukarıdan aşağı tüm kaynak pozisyonlarda olumlu sonuçlar alınamamıştır.
- iv Kaynaklı numunelerden en yüksek sertlikler ITAB'da iri taneli bölgede ölçülürken onu sırasıyla kaynak metali ve esas metal takip etmiştir.
- v Sertlik ölçümleri sonucunda, deneyde kullanılan parametreler dahilinde kaynak pozisyonunun sertlikle

direkt ilişkili olduğuna dair bir bulguya rastlanılmamıştır.

- vi Boruların farklı pozisyonlardaki kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, yatay oluk ve aşağıdan yukarı kaynak pozisyonları tercih edilmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne Teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Kurttepelı İ. B., Boruların Kaynağı, Metal ve Kaynak, Makine ve Otomasyon Teknolojileri Uluslar arası Aylık Dergisi, İstanbul, 35-40, Mart-Nisan 1997.
2. Taban E., Kaluç E., Petrol ve Doğalgaz boru hatlarının yapımında kullanılan süpermartenzitik paslanmaz çelikler ve kaynak edilebilirliği, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Kocaeli, 257-262, Ekim 2003.
3. Kaluç E., Tülbentçi K., Boru hatlarında otomatik MIG-MAG kaynak yönteminin kullanımı, Mühendis & Makine Dergisi Sayı 513, 1-9, 2002.
4. Gülenç B., Tülbentçi K., "Düşük karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin MIG-MAG kaynağında koruyucu gaz seçimi", GEV Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu, İstanbul, 56-65, 1996.
5. Gülenç B., MIG-MAG kaynağında koruyucu gaz karışımının kaynak metalinin mekanik özelliklere etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1995.
6. Praveen P., Yarlagadda P. K. D. V., and Kang M. J., Advancements in pulse gas metal arc welding, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 164-165, 1113-1119, 2004.
7. Cary B. H., Arc Welding Automation, Marcel Dekker, Inc, New York, 43-48, 1995.
8. Absi Alfaro S.C., Carvalho G.C and de Melo Junior S.A., Stand off's indirect estimation in GMAW, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 157-158, Pages 3-7, 2004.
9. Althouse A. D., Turnquist C. H., Bowditch W. A., Bowditch K. E., Modern Welding, The Goodheart-Willcox Company, Inc, Tinley Park, 390-392, 1993.
10. Kaçar R., and Kökemli K., Effect of controlled atmosphere on the MIG-MAG arc weldment properties, Materials & Design, Volume 26, Issue 6, Pages 508-516, 2005
11. Galvery L. W., Marlow F. B., Welding Essentials, industrial Press, Inc, New York, 134-136, 2001.
12. Ertürk İ., Tülbentçi K., MAG kaynak yönteminde kaynak akımı ve ark geriliminin sıçrama kayıplarına etkisi, GEV Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu, İstanbul, 71-78, 1996.
13. Durgutlu A., Ark kaynağı yöntemlerinde kaynak hızının mikroyapı ve nüfuziyete etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997

14. Brumbaugh E. J., Welders Guide, Macmillan Publishing Company, New York, 265-280, 1986.
15. Tülbentçi K., MIG-MAG gazaltı kaynak yöntemi, ArctechYayımları, İstanbul, 21-125, 1998.
16. ASM Handbook, Welding, Brazing and Soldering, Vol. 6, USA, 180-186, 2000
17. Kalpakjian, S., "Manufacturing Processes for Engineering Materials", Third Edition, Addison-Wesley, New York, 747-748, 1997.
18. Groover, M. P., "Fundamentals of Modern Manufacturing Materials", Processes and Systems, Prentice-Hall, New Jersey, 733-735, 1996.
19. Messler W. R., Principles of Welding, John Wiley & Sons Inc, New York, 61-63, 1999.
20. Geary D., Welding, McGraw-Hill, New York, 49-51, 2000.
21. Robert W. M., "Principles of Welding, John Wiley & Sons, INC, New York, 160-162, 1999.
22. Cary, H.B., Modern Welding Technology, AWS (2nd ed.), A.B.D., 82-85, 1981.
23. Anık S., Dikicioğlu A., Vural M., Koruyucu gaz altında kaynak ve alüminyumun Mig kaynağı, Teknisyenler Matbaası, İstanbul, 8-10, 1994.
24. Graham E., Maintenance Welding, Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 45-50, 1985.
25. Grad L., Grum J., Polajnar I., and Slabe J. M., Feasibility study of acoustic signals for on-line monitoring in short circuit gas metal arc welding, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 44, Issue 5, Pages 555-561, 2004.
26. Oğuz B., Ark Kaynağı, Oerlikon Yayını, İstanbul, 384-386, 1986.
27. Gour, M. L., Principles of Welding Technology, Third Edition, Edward Arnold, A Member of the Hodder Headline Group, London Melbourne Auckland, London, 137-138, 1995.
28. Çalış İ., Çanacık A., Çatalgöl Z., Yükler İ., Çelik sacların MAG kaynak yöntemi ile yapılan küt alın kaynak birleştirmesi çalışma haritaları, 8. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 112-116, 2000.
29. Anık S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., Örtülü Elektrot İle Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Holding A.Ş., İstanbul, 196-199 (1991).