Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 38:2 (2023) 963-974

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University
Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Investigation on the mechanical properties of X42N, grade A and grade B steel pipes joined by shielded metal arc and TIG welding

Cevat Özarpa[1], Ahmet Akkuş[2], Bahadır Furkan Kınacı[1]*
[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Karabük University, 78050 Karabük, Türkiye
[2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Türkiye

Highlights:

- Effect of welding method on mechanical properties of was determined
- Comparison of mechanical properties of pipes of different quality
- Examining the change in hardness values

Keywords:

- TIG welding
- Shielded metal arc welding
- Natural gas steel pipelines
- Mechanical properties

Article Info:

Research Article
Received: 05.02.2022
Accepted:23.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1068748

Correspondence:

Author: Bahadır Furkan Kınacı
e-mail: furkankinaci@karabuk.edu.tr
phone: +90 553 354 9733

Graphical/Tabular Abstract

After the increasing energy demand, the importance of natural gas pipelines has increased. With increasing importance, welding methods used in pipelines have become important. In this study, TIG and shielded metal arc welding methods were investigated. In Figure A, it was determined that the X42N pipe obtained better mechanical properties and higher hardness values by TIG welding.

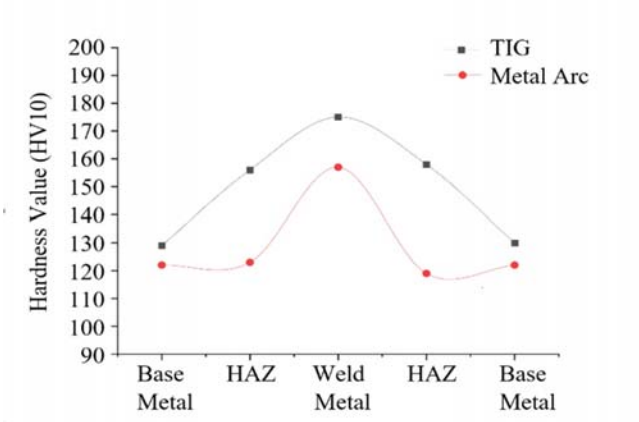


Figure A. TIG welding hardness values, Shielded metal arc welding hardness values

Purpose:
The aim of this study is to investigate the effect the joining method on the mechanical properties of X42N, grade A and grade B pipes joined by TIG welding and shielded metal arc welding methods.

Theory and Methods:
The samples that were found the successful in the radiographic examination were then subjected to nick break, root bend, macro structure and hardness tests according to the API 1104 standard. The strength of the material against the applied impact was examined with the nick break and root bend tests. With the macro structure analysis, the joint conditions and material amounts in the weld area were examined.

Results:
All specimens passed root bending tests. In the notched fracture test, the X42N pipe, which was joined by shielded metal arc welding, was broken in the weld zone while the other 5 specimens were broken from the base metal. In macrostructural examination, it was determined that the welding zone was no defect, the weld penetration was good, there were no discontinuities and defects in the base metal and weld zone. Hardness measurements revealed that the hardness was increased both in the HAZ and in the weld zone due to the heat input during welding.

Conclusion:
It was shown the TIG welding method adopted on all materials yielded successful joints when compared with the shielded metal arc welding method. The X42N pipe was broken in the welding zone when the shielded metal arc welding method was applied. This shows that the mechanical properties of X42N pipe are superior to that for grade A and grade B pipes.

Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 38:2 (2023) 963-974

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Örtülü metal ark ve TIG kaynağı ile birleştirilen X42N, kalite A ve kalite B sınıfı çelik boruların mekanik özelliklerinin incelenmesi

Cevat Özarpa[1], Ahmet Akkuş[2], Bahadır Furkan Kınacı[1]*
[1]Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 78050 Karabük, Türkiye
[2]Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Kaynak yönteminin mekanik özelliklere etkisi belirlenmiştir
- Farklı kalite boruların mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır
- Sertlik değerlerindeki değişim incelenmiştir

Makale Bilgileri
Araştırma Makalesi
Geliş: 05.02.2022
Kabul: 23.04.2022

DOI:
10.17341/gazimmfd.1068748

Anahtar Kelimeler:
TIG kaynağı,
örtülü metal (elektrot) ark kaynağı,
doğalgaz çelik borusu,
mekanik özellikler

ÖZ

Bu çalışmada, ilk olarak TS EN ISO 3183 standartlarındaki X42N, kalite A ve kalite B borular, TIG ve örtülü metal (elektrot) ark kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemleri sonrası malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek ve kaynak uygulamasının performansını belirlemek için radyografik muayene, kök eğme, çentikli kırma, makro yapı incelemesi ve sertlik testi uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda, TIG kaynağı yönteminin, örtülü metal ark kaynağı yöntemine göre boru iç çapında daha az daralma oluşturduğu ve daha iyi mekanik özellikler sağladığı tespit edilmiştir. Testleri gerçekleştirilen boru tipleri arasında ise X42N kalite borunun, diğer iki boru sınıfına göre daha iyi mekanik özellikler sağladığı tespit edilmiştir. Öte yandan, sertlik değerlerinin artışıyla mekanik özelliklerin iyileşmesi arasında paralellik olduğu gözlemlenmiştir.

Investigation on the mechanical properties of X42N, grade A and grade B steel pipes joined by shielded metal arc and TIG welding

HIGHLIGHTS

- The effect of welding method on mechanical properties was determined
- The mechanical properties of pipes that have different qualities were compared
- The examination of the change in hardness values was investigated

Article Info
Research Article
Received: 05.02.2022
Accepted:23.04.2022

DOI:
10.17341/gazimmfd.1068748

Keywords:
TIG welding,
shielded metal arc welding,
natural gas steel pipe,
mechanical properties

ABSTRACT

In this study, three different pipe grades, namely X42N, quality A, and quality B, were joined by TIG and shielded metal arc welding methods per TS EN ISO 3183 standard. In order to determine the mechanical properties of the materials and the quality of welding application, radiographic examinations, root bend test, nick break test, macrostructure examination, and hardness measurements were carried out. As a result of these analysis, it was determined that the TIG welding method creates less shrinkage in the pipe inner diameter of the weld seam region and provides higher mechanical properties compared to the shielded metal arc welding method. It was also revealed that X42N quality pipe provides better mechanical properties compared to grade B and grade A pipes. When the hardness values were examined, it was found the mechanical properties were improved with increasing hardness value.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : cevatozarpa@karabuk.edu.tr, aakkus@cumhuriyet.edu.tr,
*furkankinaci@karabuk.edu.tr / Tel: +90 553 354 9733

1. Giriş (Introduction)

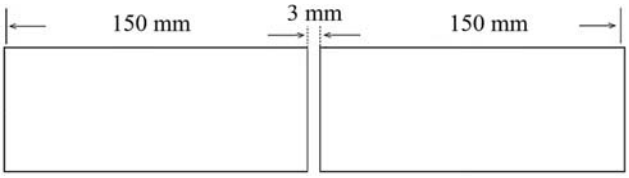
Sanayi ve teknoloji alanındaki gelişmeler ile tüm dünyada enerji ihtiyacı artmıştır. Bu artış, enerji iletim hatlarında meydana gelen deprem benzeri doğal olaylar ve sabotaj benzeri dış etkiler nedeni ile enerji iletim güvenliğini önemli bir noktaya taşımıştır. Birincil enerji kaynakları içerisinde yer alan doğalgaz, sıvılaştırılmış gaz (LNG), sıkıştırılmış gaz (CNG) şeklinde ve boru hatları ile taşınabilmektedir. En sık kullanılan yöntem olan boru hatları ile taşımada, gazın üretim tesislerinden başlayarak son kullanıldığı noktaya kadar güvenli bir şekilde taşınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğalgaz hatlarında kullanılan borular, gazın yanıcı, patlayıcı ve boğucu özelliklerinden etkilenmeden güvenli taşıma uygulamaları ile iletilmesine ve dağıtılmasına olanak sağlamalıdır. Doğalgaz taşıma için kullanılan boru hatları imal edilirken, borular, flanşlı, dişli ve kaynaklı bağlantılar kullanılarak birleştirilirler. Bu birleştirme işlemleri içerisinde en sık kullanılan metot kaynaklı birleştirme yöntemidir [1, 2]. Yapılan çalışmalarda doğalgaz hatlarının kaynaklı birleştirme uygulamaları, TIG, örtülü metal (elektrot) ark, MIG, MAG ve oksi-gaz kaynak yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Doğalgaz iletimindeki sektörel uygulamalar incelendiğinde, oksi-gaz kaynak uygulamasında meydana gelen yüksek ısı girdisi ve kaynak özelliklerindeki olumsuz etkilerinden dolayı tercih edilmediği, bununla beraber çok yoğun oranda örtülü metal ark ve TIG kaynak yöntemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir [3-5]. Doğalgaz iletiminde ve dağıtımında kullanılan farklı kalite sınıflarında boru malzemeleri bulunmaktadır. Çelik borular, ülkemizde de kullanılan uluslararası API 5L standardının eşdeğeri olan TS EN ISO 3183 standardı ile tanımlanmaktadır. Sektörel uygulamalar incelendiğinde X42N, kalite A ve kalite B boruların sıklıkla tercih edilen malzemeler olduğu tespit edilmiştir. Doğalgaz enerji iletimindeki önemi ve çevresel tehlikeler göz önüne alındığında en uygun kaynak yöntemi ve boru malzemesinin tespit edilerek kullanılması büyük önem arz etmektedir [6, 7].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, doğalgaz hatlarında kullanılan API 5L (TS EN ISO 3183) standardına sahip borular ile ilgili çalışmaların bulunduğu ve kalite B, X60, X65 ve X70 [8, 9], X42 [10-12], X52, X56 [13] kalite borularda korozyon davranışı, makro yapı, mikro yapı, malzeme davranışları ile ilgili detayların incelendiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise, sektörde sıklıkla kullanılan TIG ve örtülü metal ark kaynak yöntemleri ile X42N, kalite A ve kalite B boruların birleştirilmesi sağlanarak mekanik özellikler karşılaştırılmıştır. Numune özelliklerini inceleyebilmek için radyografik muayene, kök eğme, çentikli kırma, makro yapı incelemesi ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2. Deneysel Metot (Experimental Method)

Bu çalışmada ilk olarak doğalgaz iletiminde kullanılan TS EN ISO 3183 standardına sahip Kalite A, Kalite B ve X42N borular TIG ve örtülü metal ark kaynak metotları kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirilen bu numuneler radyografik muayene, kök eğme testi, çentikli kırma testi, makro yapı incelemesi, sertlik ölçümleri ile incelenmiştir. TIG kaynak yöntemi ile 3 adet (Kalite A, Kalite B ve X42N) ve örtülü metal ark kaynak yöntemi ile 3 farklı (Kalite A, Kalite B ve X42N) boru kaynak edilerek 6 adet numune hazırlanmıştır. Borular, yeterli mekanik özellikleri gözlemleyebilmek ve kaynak edilebilirliği sağlamak amaçlı, dış çapı 2 inç (60,3 mm) ve et kalınlığı 3,9 mm olarak seçilmiştir. Seçilen boruların mekanik özellikleri Tablo 1'de kimyasal bileşimleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Borular kaynak işlemi uygulanmadan önce otomatik testere ile 150 mm uzunluğunda parçalar olacak şekilde kesilmiştir. Kesilen numuneler kaynak işlemi öncesi birleşimin düzgün olması, cüruf ve gözenek kalmaması amacıyla taşlanarak temizlenmiş ve kaynak ağzı oluşturulmuştur. Taşlama işlemi yapılan borular kaynak işlemi öncesi 3 mm aralık olacak şekilde puntalanıp aralık ve birleşim şekli sabitlenmiştir. Şekil 1'de boruların birleşim şekli gösterilmiştir.



Şekil 1. Boruların birleşimi (Joining of pipes)

TIG kaynak yöntemi, uygulanırken koruyucu gaz olarak argon gazı ve kaynak metali olarak 2,4 mm çapa sahip SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak işlemi, literatürdeki benzer çalışmalardan hareketle kök, dolgu ve kapak olarak 3 paso olacak şekilde yapılmış ve tüm pasolarda gerilim 21,5 Volt, akım şiddetleri kök pasoda 115 Amper, dolgu pasoda 100 Amper ve kapak pasoda 90 Amper olarak uygulanmıştır [14-17]. Örtülü metal ark kaynak yöntemi, uygulanırken elektrot olarak 2,5 mm çapa sahip S-6010 selülozik elektrot kullanılmıştır. Kaynak işlemi, kök, dolgu ve kapak olarak 3 paso olacak şekilde yapılmış ve tüm pasolarda gerilim 30 Volt, akım şiddetleri kök pasoda 80 Amper, dolgu pasoda 75 Amper ve kapak pasoda 70 Amper olarak uygulanmıştır [18-20]. Tablo 3'te kaynak metali detayları, Şekil 2 ve Şekil 3'te kaynak yöntemleri uygulaması ve kaynak sonrası görüntüleri gösterilmektedir.

Tablo 1. Boru kalite detayları (Pipe quality details) [2]

TS EN ISO 3184		Dış Çap	Et Kalınlığı	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı
Şartname Seviyesi		mm		MPa	MPa
PSL2	X42N	60,3	3,9	495	655
PSL1	Kalite B			245	415
	Kalite A			210	335

Tablo 2. Boru malzemelerinin kimyasal bileşimleri (Chemical compositions fort he pipe materials) [2]

Boru Kalitesi	C	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Si
Kalite A (PSL1)	0,22	0,9	0,03	0,03	-	-	-	-
Kalite B (PSL1)	0,28	1,2	0,03	0,03	a	a	a	-
X42N (PSL2)	0,24	1,2	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	0,4
				a = Nb + V + Ti ≤ 0,15 %				



Şekil 2. TIG kaynak yöntemi birleştirilen borular; a) kalite A, b) X42N, c) kalite B
(Pipes joined with TIG welding method: a) grade A, b) X42N, c) grade B)

Kaynak edilen numunelerden, API 1104 standardına göre test numuneleri çıkartılmıştır. İlgili standardın kaynaklı borular için boru boyutları ve bu boyutlara göre her bir kaynaklı borudan çıkarılabilecek numune adetleri Tablo 4'te verilmiştir.

API 1104 standardının numune testleri ile ilgili detayları dikkate alınarak kaynak filmi sonuçları başarılı olan numunelerden her biri için 1 adet çentikli kırma, 1 adet kök eğme, 1 adet sertlik ve 1 adet makro yapı testleri yapılıp incelenmiştir. Testler için belirlenen numune adet detayları Tablo 5 ve ilgili standardın deney numuneleri için belirtmiş olduğu detaylar Şekil 4'teki gibidir.

Kaynak edilen borulardan numuneler, CNC freze tezgâhı kullanılarak elde edilmiştir. Kesilen numunelerin kesim yüzeyinde çentik etkisi oluşmaması için kesim yüzeyleri zımparalanmıştır. Kök eğme testleri için numunelerin kaynak bölgesi taşlanmıştır. Çentikli kırma testi için kaynak bölgesine çentik açılmıştır. Makro yapı ve sertlik testi için aynı numuneler kullanılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla TIG ve örtülü metal ark kaynağı ile birleştirilmiş numuneler gösterilmektedir.

Tablo 4 API 1104 standardına göre kaynaklı parçadan çıkarılabilecek numune adedi
(Number of samples prepared from welded part according to API 1104 standard) [6]

Boru Boyutu (mm)	Çekme Testi	Çentikli Kırma	Kök Eğme
	Et kalınlığı ≤ 12.7 mm		
< 60.3	0	2	2
60.3 - 114.3	*0*	*2*	*2*
114.3 - 323.9	2	2	2
> 323.9	4	4	4

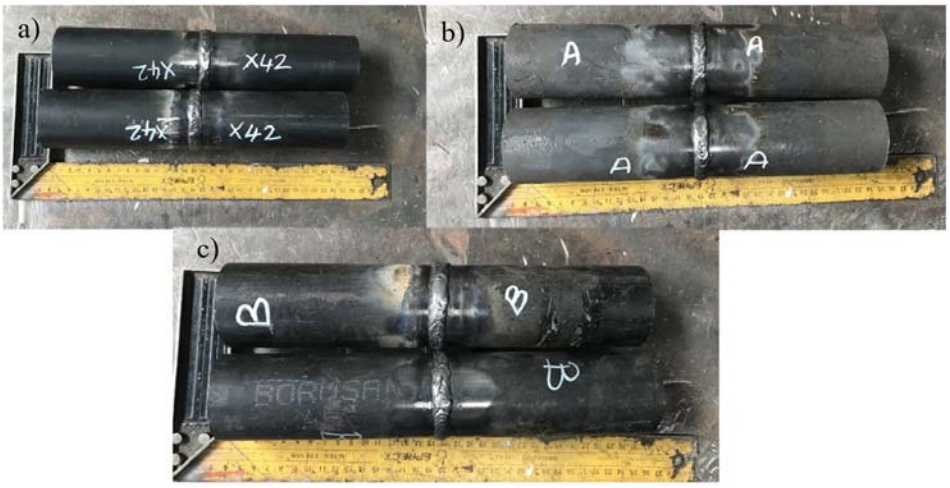
Tablo 5. Test numune detayları (Test sample details) [6]

Boru Kalitesi		Kaynak Yöntemi	Test			
TS EN ISO 3184	Kalite A Kalite B X42N	Örtülü Metal Ark	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
	Kalite A Kalite B X42N	TİG				

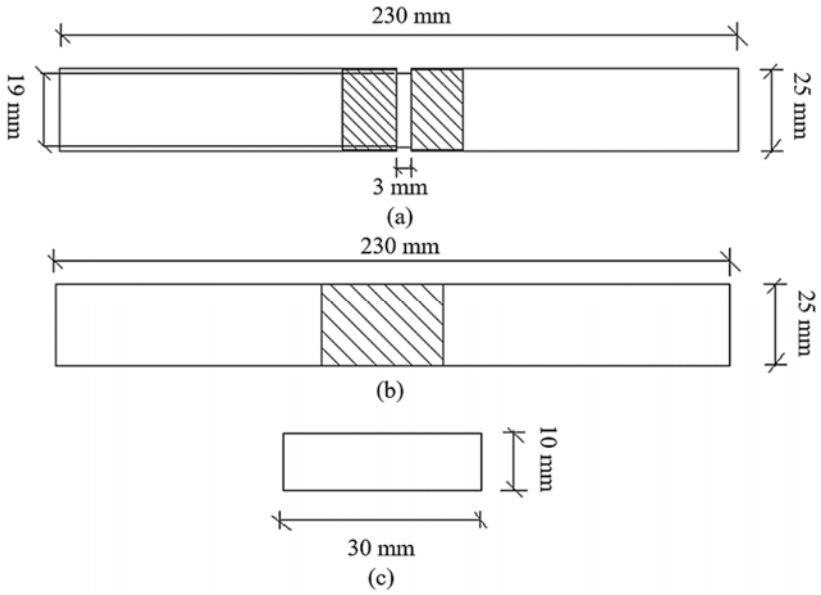
Yapılan incelemelerde, TS EN 3183 standardına sahip borular, API 1104 deney standardına göre farklı yöntemlerle incelenmiştir. Radyografik muayenede, kaynaklı boruların kaynak bölgeleri incelenmiştir. Kök eğme testi yapılırken numuneler 3 noktadan 180° eğmeye maruz bırakılmıştır. Çentikli kırma testi, ilgili standardın belirttiği şekilde yüzeyden çentik açılarak gerçekleştirilmiştir. Makro yapı ve sertlik deneyi aynı numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Makro yapı incelemesi için numune 1200 tane numaralı zımpara ile yüzey hazırlığı yapılarak yüzey hazırlığı tamamlanmıştır. Yüzey hazırlığı tamamlanan numuneler 20° sıcaklığa sahip Nital (1-10 ml HNO_3 + 90-99 ml CH_3OH veya C_2H_5OH) dağlama çözeltisinde 1 dakika süre ile bekletilmiş sonrasında mikroskop ile incelenmiştir.

Tablo 3. İlave metal detayları (Weld metal details)

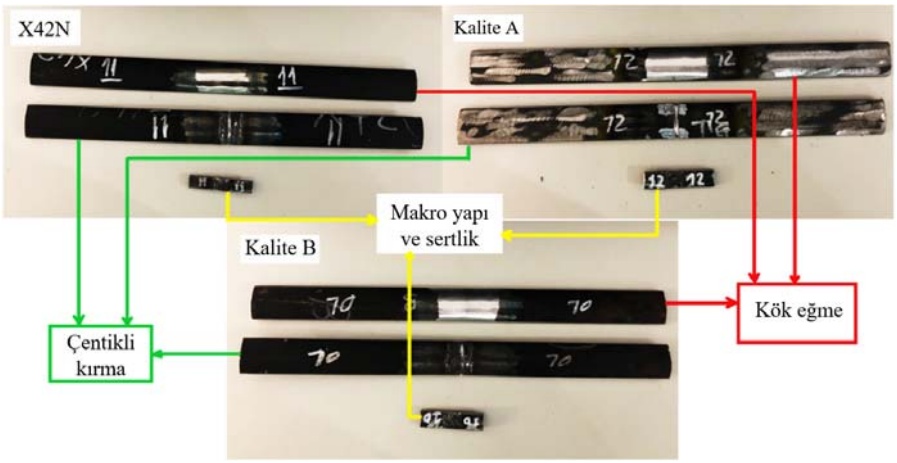
Kaynak Metali	Kimyasal bileşimleri %			Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama
	C	Si	Mn	(MPa)	(MPa)	%
GEKA SG2	08	0,85	1,45	420	640	22
AS KAYNAK S-6010	0,08	0,2	0,6	420	530	25



Şekil 3. Örtülü metal ark kaynak yöntemi birleştirilen borular; a) X42N, b) kalite A, c) kalite B
(Pipes joined by shielded metal arc welding method; a) X42N, b) grade A, c) grade B)



Şekil 4. API 1104 Standardına göre numune çıkarımları (a) çentikli kırma, (b) kök eğme, (c) makro yapı ve sertlik
((a) nick break, (b) root bend (c) macro structure and hardness)



Şekil 5. TIG kaynağı uygulanmış test numuneleri (TIG Welded Test Samples)

Sertlik testi, Vickers sertlik yöntemi kullanılarak HV10 (10 kg yük) metodu ile test edilmiştir. Malzeme üzerinde esas metal, ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) ve kaynak metali bölgelerinde 3'er adet sertlik ölçümü alınmış ve ortalama değerleri hesaplanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results And Discussions)

TIG ve örtülü metal ark kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş TS EN ISO 3184 standardına sahip X42N, Kalite A ve Kalite B borular, API 1104 standardına göre analizlere tabi tutulmuştur. İlk olarak radyografik muayene uygulanmıştır. Radyografik muayenede başarılı olan malzemelerin, Şekil 4'teki detaylara göre numune üretimleri sağlanmıştır. Üretilen numuneler kök eğme, çentikli kırma, makro yapı incelemesi ve sertlik testi yöntemleri uygulanarak analiz edilmiştir.

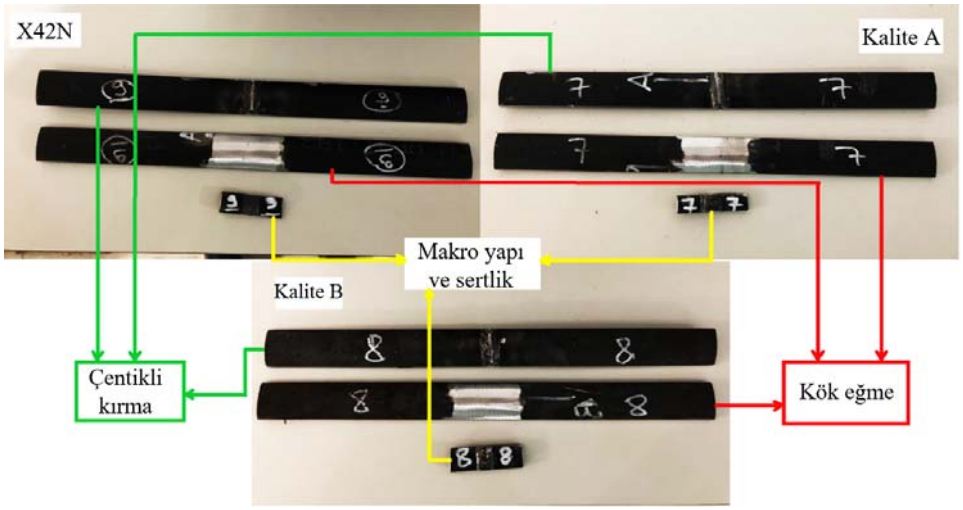
3.1. Radyografik Muayene Sonuçları
(Radiographic Examination Results)

Yapılan kaynak işlemleri sonrası tüm numuneler radyografik muayenelere tabi tutulmuş ve tüm numuneler radyografik muayeneden başarılı olarak geçmiştir. Şekil 7'de TIG kaynağı yöntemi ile ve Şekil 8'de örtülü metal ark kaynağı yöntemi ile birleştirilmiş sırasıyla X42N, kalite A ve kalite B numunelerin farklı açılardan radyografik muayene görüntüleri gösterilmiştir.

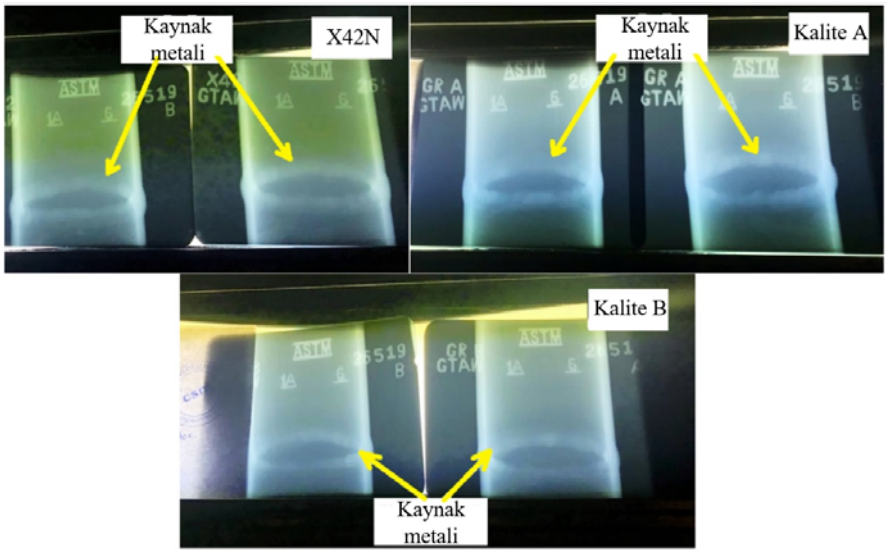
Radyografik muayeneler sonucunda, tüm numunelerin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, çatlak ve boşluğun bulunmadığı, kaynak bölgesinin düzgün görüntüye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca örtülü metal ark kaynağında kaynak bölgesinde ilave metalin yığılmasının, TIG kaynağı uygulamasına göre daha fazla miktarda olduğu tespit edilmiştir. Oluşan bu fazla malzeme yığılması, malzeme iç yüzeyinde daralmaya sebep olacağından TIG kaynağı ile birleştirmenin daha iyi iç yüzey oluşumu sağladığı gözlemlenmiştir. Radyografik muayenelerin başarılı sonuç vermesi kaynak işleminin başarılı olduğunu göstermektedir.

3.2. Kök Eğme Testi Sonuçları (Root Bending Test Results)

Radyografik muayenede başarılı sonuçlar veren numunelere, API 1104 standardına göre 3 noktadan 180 derece kök eğme testi



Şekil 6. Örtülü metal ark kaynağı uygulanmış test numuneleri (Shielded metal arc welded test samples)



Şekil 7. TIG kaynağı radyografik muayene görüntüleri (TIG welding radiographic examination images)

uygulanmıştır. TIG ve örtülü metal ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N, Kalite A ve Kalite B borular 180 derece kök eğme testinde başarılı performans sergilemiş ve malzemeler 180 derece eğilmesine rağmen kırılmamıştır. Test yapılırken 400 kN yükleme kapasitesine sahip test ekipmanı kullanılmıştır. Numuneler incelendiğinde gözle görülebilir bir süreksizlik veya hata tespit edilememiştir. Şekil 9'da TIG kaynağı ile ve Şekil 10'da ise örtülü metal ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin test sonrası görüntüleri verilmiştir.

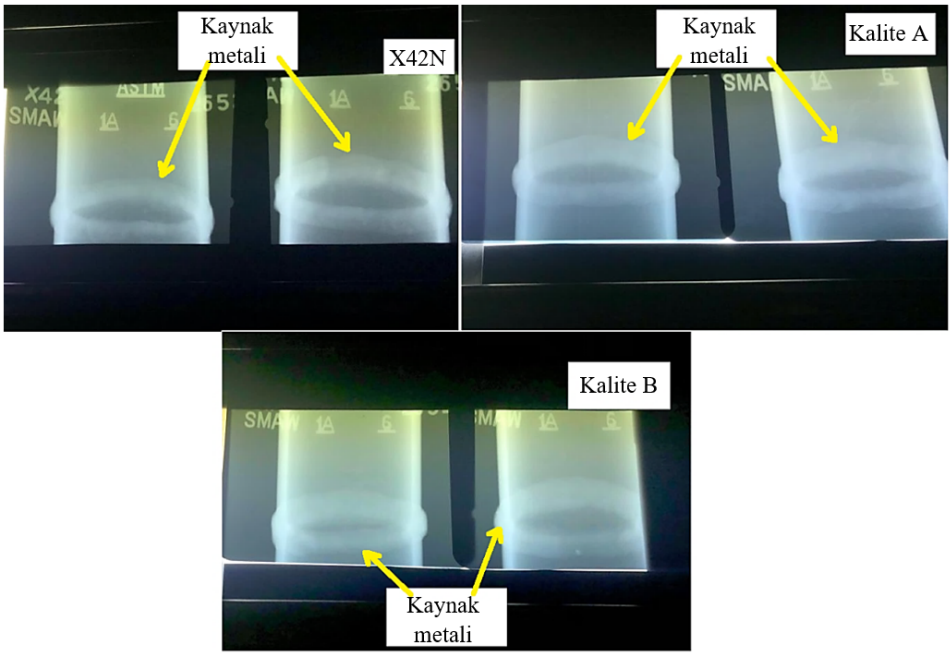
3 noktadan 180° eğmeye maruz bırakılan numunelerin başarılı sonuç vermesi, kaynak işleminin doğru şekilde yapıldığını ve seçilen ilave metallerin uygun olduğunu göstermektedir. Yapılan farklı bir çalışmada MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X52 doğalgaz borusu benzer sonuçlar vermiş kök eğme testinde başarılı olmuştur [22].

3.3. Çentikli Kırma Testi Sonuçları (Nick Break Test Results)

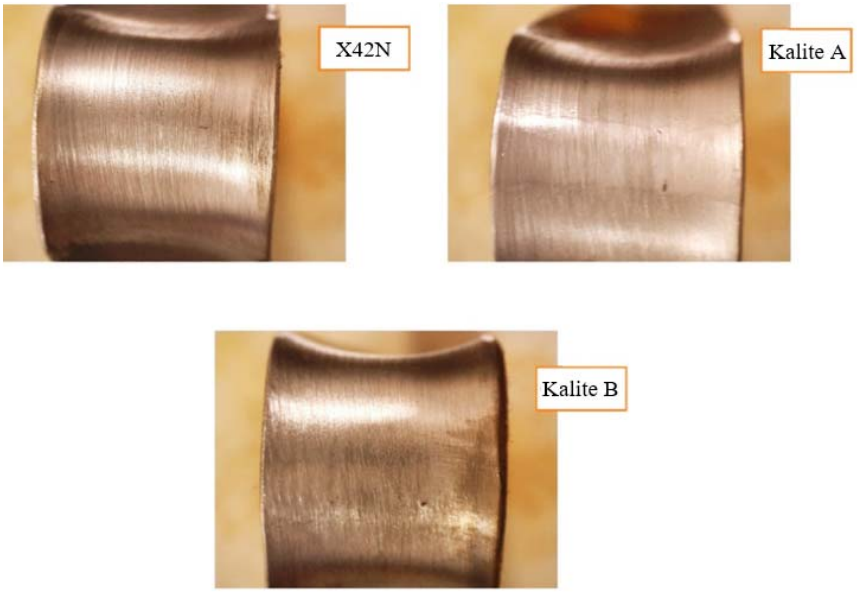
Yapılan çentikli kırma testleri sonuçlarına göre; malzeme üzerinde kırılmanın gerçekleştiği noktalar incelenmiştir. Test yapılırken 450 Joule yükleme kapasitesine sahip test ekipmanı kullanılmıştır. TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N, Kalite A ve Kalite B borular çentikli kırma testinde kaynak metali bölgesinden kırılmamış, esas metal yüzeyinden kırılmıştır. Kırılmalar sünek kırılma olarak gerçekleşmiştir. Şekil 11'de TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin test sonrası görüntüleri görülmektedir.

Örtülü metal ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N boru kaynak metali bölgesinden kırılmıştır. Kalite A ve Kalite B borular çentikli kırma testinde malzemeler kaynak metali bölgesinden kırılmamış, esas metal yüzeyinden kırılmışlardır. Kırılmalar sünek kırılma olarak gerçekleşmiştir. Şekil 12'de örtülü metal ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin test sonrası görüntüleri görülmektedir.

Çentikli kırma testi sonuçlarına göre TIG kaynağı uygulanmış numunelerin tamamının esas metal yüzeyinden kırılmasının, kaynak metali ve IEB bölgesinin kaynak işlemi sonrası esas metal yüzeyinden daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu, seçilen SG2 ilave metalin uygun olduğunu ve kaynak işleminin düzgün uygulandığını göstermektedir. X65 boru malzemesi ile yapılan farklı bir çalışmada da benzer sonuçlar gözlemlenmiştir [7]. Örtülü metal ark kaynak



Şekil 8. Örtülü metal ark kaynağı radyografik muayene görüntüleri (Electric arc welding radiographic examination images)



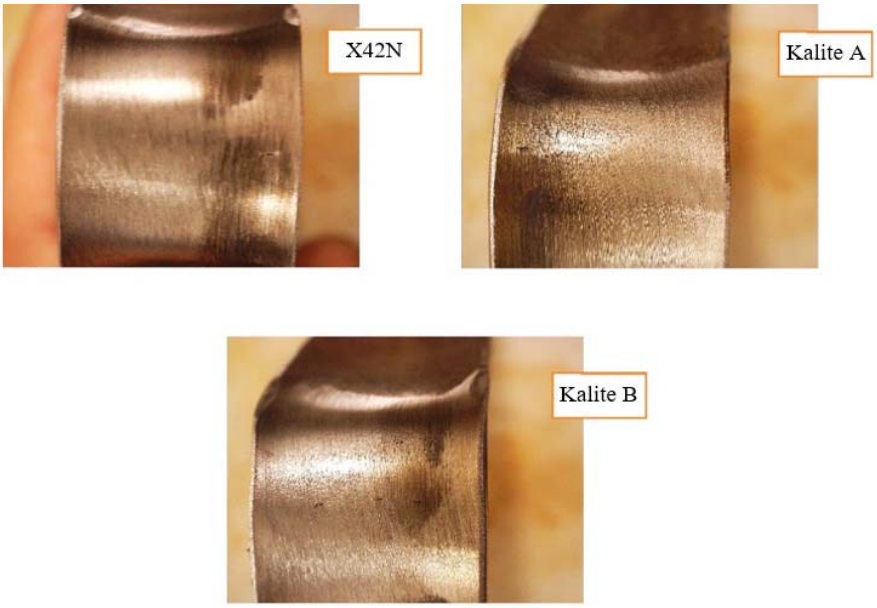
Şekil 9. TIG kaynak yöntemi ile birleştiren numunelere uygulanan kök eğme testi sonrası görüntüler
(Images after root bend testing of TIG welded specimens)

yöntemi uygulanan numunelerde X42N kalite borunun kaynak bölgesinden kırılması, X42N kalite borunun çekme dayanımının 655 MPa olması ve S-6010 selülozik elektrotun 530 MPa olması nedeni ile beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Kalite A ve Kalite B borularda malzemelerin esas metal yüzeyinden kırılması, kaynak uygulamasının ve ilave kaynak metalinin uygun olduğunu göstermektedir.

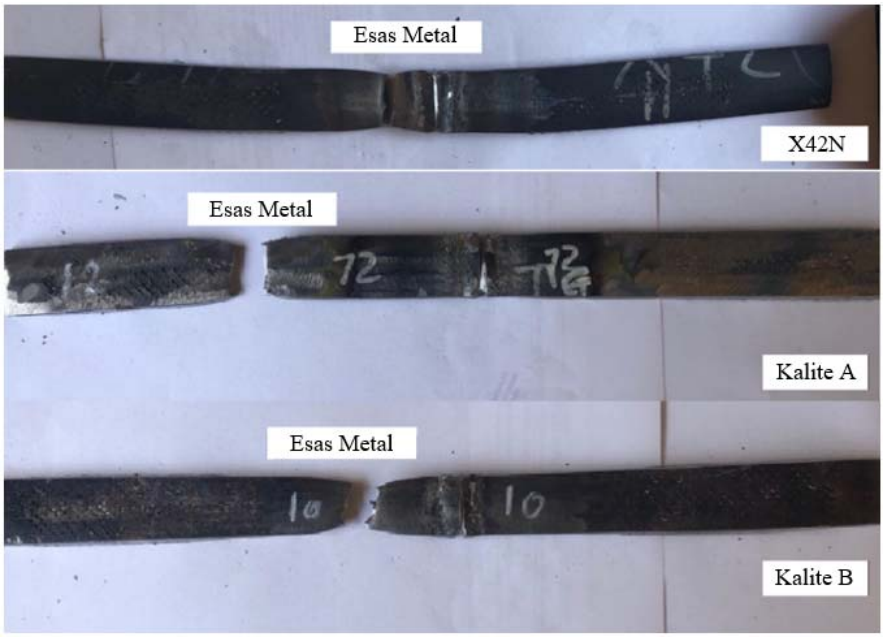
3.4. Makro Yapı İncelemesi (Macrostructural Investigation)

Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası incelemeye tabi tutulmuştur. TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan TS EN ISO 3183 standart X42N, Kalite A ve Kalite B boruların makro yapı incelemelerinde boru malzemesinin birleştirme yüzeylerinin ve aralıklarının düzgün olduğu, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu kaynak yüzeyi ve esas metalde herhangi bir çatlak veya boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Malzeme et kalınlığı 3,9 mm olarak bilinen boru malzemesinin TIG kaynak uygulaması sonrasında kaynak metali bölgesinde et kalınlığının, X42N boruda 6,84 mm, kalite A boruda 5,59 mm ve kalite B boruda 6,5 mm ye yükseldiği tespit edilmiştir. TIG kaynak uygulaması sonrasında kaynak metali bölgesindeki et kalınlığı ortalamasının 6,31 mm olduğu tespit edilmiştir. Şekil 13'te TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin test sonrası görüntüleri görülmektedir.

Örtülü metal ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan TS EN ISO 3183 standart X42N, Kalite A ve Kalite B boruların makro yapı incelemelerinde birleştirme şeklinin düzgün olduğu, kaynak



Şekil 10. Örtülü metal ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş borularda kök eğme testi sonuçları
(Images of root bend specimens welded with shielded metal arc welding method)



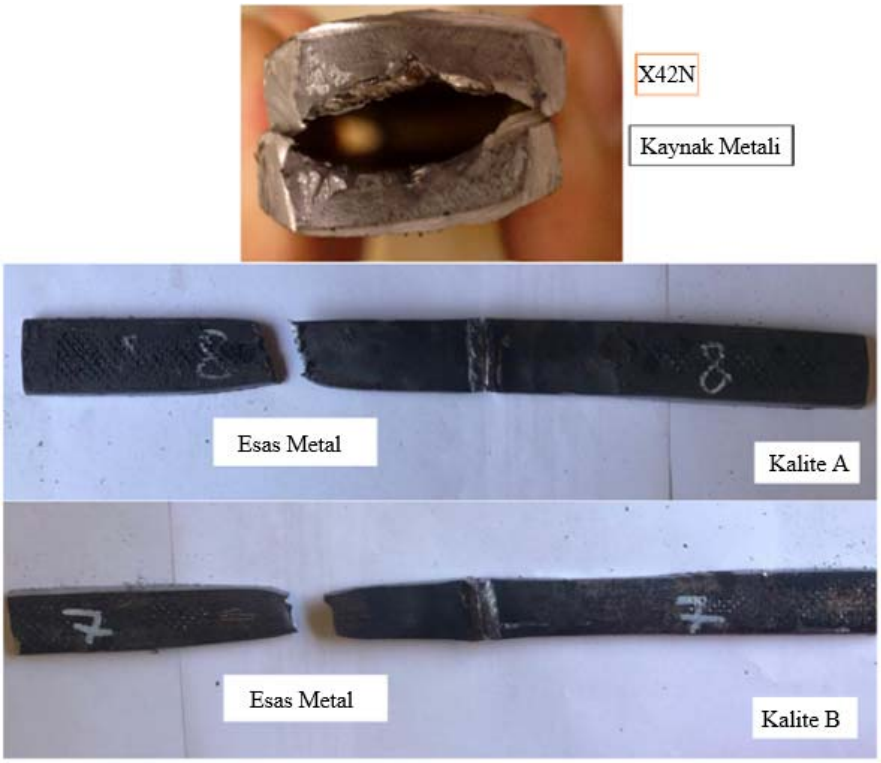
Şekil 11. TIG kaynak yöntemi çentikli kırma testi kırılma bölgesi (Nick fracture testing of shielded TIG welded specimens)

nüfuziyetinin iyi olduğu kaynak yüzeyi ve esas metalde herhangi bir süreksizlik veya hata bulunmadığı tespit edilmiştir. Malzeme et kalınlığı 3,9 mm olarak bilinen boru malzemesinin örtülü metal ark kaynak uygulaması sonrasında kaynak metali bölgesinde et kalınlığının, X42N boruda 7,8 mm, kalite A boruda 7,65 mm ve kalite B boruda 7,92 mm'ye yükseldiği tespit edilmiştir. Örtülü metal ark kaynak uygulaması sonrasında kaynak metali bölgesindeki et kalınlığı ortalamasının 7,79 mm olduğu tespit edilmiştir. Şekil 14'te örtülü metal ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin test sonrası görüntüleri görülmektedir.

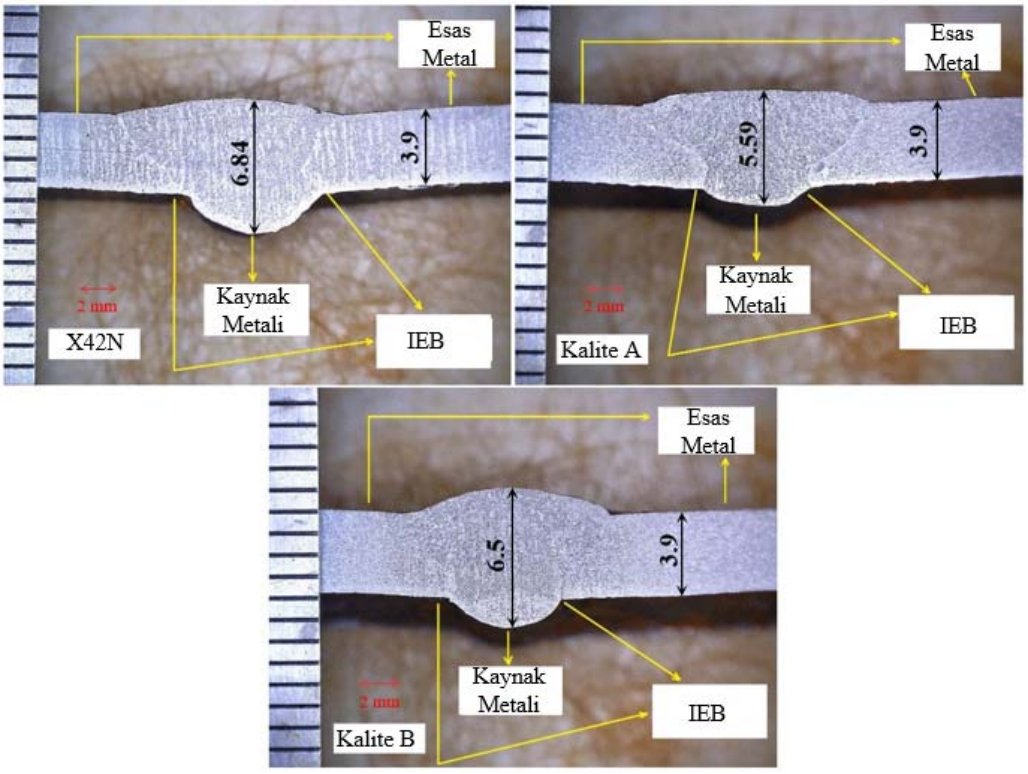
Yapılan makro yapı incelemelerinde örtülü metal ark kaynak yöntemi uygulamasının, TIG kaynak yöntemi uygulamasına göre kaynak metali bölgesinde yaklaşık %20-25 aralığında daha fazla miktarda malzeme yığılmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, TIG kaynağının boru malzemesi iç yüzeyinde daha az daralmaya sebep olduğunu ortaya koymaktadır.

3.5. Sertlik Sonuçları (Hardness Results)

Yapılan çalışmada, malzeme üzerinde esas metal yüzeyi, IEB bölgesi ve kaynak metali bölgesinde 3'er sertlik ölçümü alınıp her bölgenin ortalaması alınmıştır. Literatürde farklı çalışmalar incelendiğinde benzer şekilde farklı sertlik ölçme yöntemlerinde çok sayıdaki sertlik ölçümünün ortalamasının rapor edildiği görülmüştür [23, 24]. 2 adet metal yüzeyi, 2 adet IEB bölgesi ve 1 adet kaynak metali bölgesi olmak üzere her bir numunede toplam 5 bölge incelenmiştir. TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan TS EN ISO 3183 standart

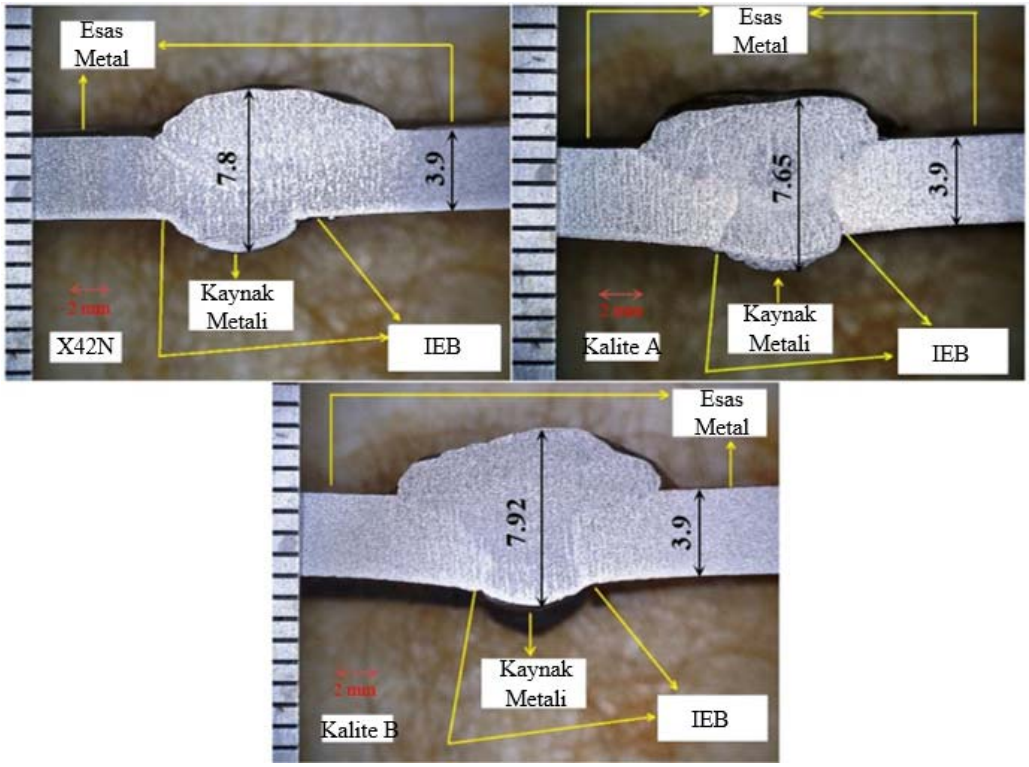


Şekil 12. Örtülü metal ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelere uygulanan çentikli kırma testi sonrasında kırılma bölgesi
(Nick fracture testing of shielded metal arc welded specimens)



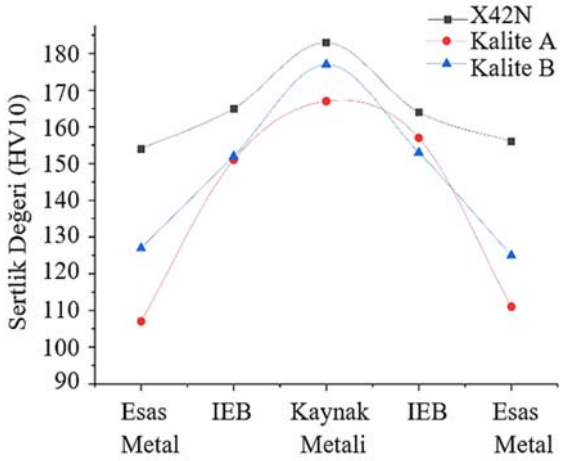
Şekil 13. TIG kaynak yöntemi ile birlestirilen boruların makro yapı incelemesi (Macrostructural investigation of TIG welded samples)

X42N, Kalite A ve Kalite B boruların sertlik verileri incelendiğinde ortalama en yüksek sertliğin kaynak metali bölgesinde 176 HV , IEB bölgesinde 157 HV ve esas metal bölgesinde 130 HV olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ortalama sertlik değeri X42N kalite boruda gözlemlenmiştir. Öte yandan, Kalite B borunun ortalama sertlik değerinin Kalite A borununkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.



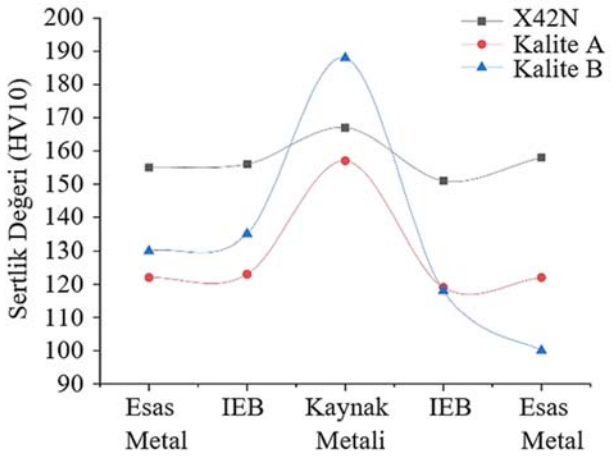
Şekil 14. Örtülü metal ark kaynak yöntemi ile birleştirilen boruların makro yapı incelemesi
(Macrostructural investigation of shielded metal arc welded samples)

Şekil 15'te TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin sertlik değeri verileri gösterilmiştir.



Şekil 15. TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen boruların sertlik ortalama verileri
(Average hardness data of pipes welded by TIG)

Örtülü metal ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan TS EN ISO 3183 standart X42N, Kalite A ve Kalite B boruların sertlik verileri incelendiğinde ortalama en yüksek sertliğin kaynak metali bölgesinde 170 HV, IEB bölgesinde 133 HV ve esas metal bölgesinde 131 HV olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ortalama sertlik değeri X42N kalite boruda gözlemlenmiştir. Kalite B borunun ortalama sertlik değerinin Kalite A borudan daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 16'da örtülü metal ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin sertlik değeri verileri gösterilmiştir.



Şekil 16. Örtülü metal ark kaynak yöntemi sertlik ortalama verileri
(Average hardness data of pipes welded by shielded arc welding method)

Bu veriler değerlendirildiğinde kaynak işlemi esnasında oluşan ısı ve ilave metal girdisinin sertlik değerlerini yükselttiği gözlemlenmiştir. Sertlik verilerine göre, en iyi mekanik özelliklere sahip olan X42N borunun diğer kalite borulardan yüksek ortalama sertlik değerine sahip olduğu; Kalite A borudan daha iyi mekanik özelliklere sahip olan Kalite B borunun, Kalite A borudan daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan farklı çalışmalarda da sertlik değerinin kaynak metali bölgesinde ve IEB'de yükseldiği gözlemlenmiştir [25-27]. Malzeme özelliklerine göre sertlik ortalamaları Tablo 6'daki gibidir [28].

Sertlik verileri kaynak yöntemine göre incelendiğinde, TIG kaynak yöntemi kullanılan malzemelerin örtülü metal ark kaynak yöntemi

kullanılan malzemelerden daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak özelliklerine göre ortalamalar Tablo 7'deki gibidir [27].

Tablo 6 Malzemeye göre ortalama sertlik değerleri
(Average hardness values by material)

	Malzeme	Sertlik Ortalaması (HV)
TS EN ISO 3183	X42N	173
	Grade B	159
	Grade A	149

Tablo 7. Kaynak özelliklerine göre ortalama sertlik değerleri
(Average hardness values according to welding properties)

Kaynak Yöntemi	Sertlik Ortalaması (HV)
TIG	150
Örtülü Metal Ark	140

İncelenen diğer deney bulgularında yüksek dayanım gösteren numunelerin sertlik ortalamalarının yüksek oluşu, iyi dayanım ile sertliğin paralel olabileceğini göstermektedir. Daha iyi mekanik özellikleri olan X42N boru ve TIG kaynak yöntemi daha yüksek sertlik değeri sağlamıştır. Bu durum, sertlikte kısmi yükselmelerin mekanik özelliklerin iyileşmesine katkı sağlamış olabileceğini ortaya koymaktadır.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada incelenen X42N, Kalite A ve Kalite B boruları ayrı ayrı örtülü metal ark ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilerek testlere tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen radyografik muayene sonrası, uygulanan kaynakların nüfuziyetlerinin yeterli olduğu, birleşim şekillerinin düzgün olduğu, kaynak metali bölgesinde herhangi bir boşluk olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca radyografik incelemede TIG kaynağı yönteminin örtülü metal ark kaynak yöntemine göre malzeme iç yüzeyinde daha az daralmaya sebep olduğunu gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen 180° derece kök eğme testi uygulamasında tüm numuneler başarı sonuç vermiş ve malzeme yüzeylerinde gözle görülebilir bir süreksizlik veya hata tespit edilmemiştir. Çentikli kırma testi uygulamasında, TIG kaynağı ile birleştirilen tüm numuneler esas metal bölgesinden sünek olarak kırılmış ve kaynak bölgesi iyi dayanım göstermiştir. Bu durum, kullanılan kaynak yöntemi ve ilave metalin (SG2) uygun olarak seçildiğini göstermektedir. Örtülü metal ark kaynağı kullanılan numunelerden kalite A ve kalite B borular esas metal yüzeyinden kırılırken, X42N boru malzemesi kaynak metali bölgesinden kırılmıştır. Bu durum, kullanılan elektrotun (S-6010) belirtilen çekme dayanımı 530 MPa olması ve X42N borunun çekme dayanımının 655 MPa olması ile tutarlı bir durum olduğunu ve TIG kaynağı yöntemi ve ilave metaline (SG2) daha düşük dayanım gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Yapılan makro yapı incelemesinde, birleştirme şekli, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynak yüzeyi ve esas metalde süreksizlik veya hatanın bulunmadığı tespit edilmiştir. TIG kaynağı uygulamasında, kaynak metali bölgesinde et kalınlığının ortalama 7,79 mm ve örtülü metal ark kaynağında kaynak metali bölgesinde et kalınlığının 6,31 mm olduğu tespit edilmiştir. İlave olarak makro yapı incelemesinde TIG kaynağının malzeme iç yüzeyinde %20-25 aralığında daha az daralmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan sertlik testi (HV10) incelemelerinde, daha iyi mekanik özellikler gösteren X42N borunun 173 HV sertlik değeri ile ilk sıradaki değere sahip olduğu, 159 HV sertlik değeri ile kalite B borunun ikinci sırada olduğu ve 149 HV sertlik değeri ile kalite A borunun son sırada olduğu tespit edilmiştir. Kaynak yöntemleri içerisinde 150 HV sertlik ortalaması ile TIG kaynağının 140 HV sertlik ortalamasına sahip örtülü metal ark yönteminden daha yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Daha iyi mekanik özelliklere sahip olan malzeme ve kaynak yöntemlerinin sertlik değerinde gözlemlenen yükselme ile paralel sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yüksek mekanik özelliklere sahip olan X42N borunun, kaynak işlemi uygulandıktan sonra da mekanik özellikleri değişmemiş bu nedenle endüstriyel tesislerde kullanılacak olan doğalgaz hatlarında X42N borunun kalite B ve kalite A borudan önce tercih edilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca, TIG kaynak yönteminin örtülü metal ark kaynak yönteminden daha öncelikli olarak tercih edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Kaynaklar (References)

1. Canoğlu, M. C., Boru hatlarında meydana gelen heyelan olaylarında jeoteknik etütler ve mühendislik jeolojisi yaklaşımları, International Journal of Engineering Research and Development, 10 (1), 12-21, 2017.
2. Umutlu, H., Bayraç, H. N., Türkiye'de doğalgaz tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: Granger nedensellik analizi, Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 20 (40), 217-226, 2020.
3. Serindağ H.T., Tardu C., Kirçiçek İ.Ö, Çam G., A study on microstructural and mechanical properties of gas tungsten arc welded thick cryogenic 9% Ni alloy steel butt joint, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 37, 1-10, 2022.
4. Serindağ H.T., Tardu C., Kirçiçek İ.Ö, Çam G., Gaz tungsten ark kaynaklı 9Ni kriyojenik çelik bağlantının içyapı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Mühendis ve Makine, 63 (706), 117-137, 2022.
5. Serindağ H.T., Çam G., Microstructure and mechanical properties of gas metal arc welded AISI 430/AISI 304 dissimilar stainless steels butt joints, Journal of Physics: Conference Series, 1777 (012047), 2021.
6. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 3183 Petrol ve doğal gaz sanayileri – boru hattı ile taşıma sistemleri için çelik borular, Türkiye, 2019.
7. American Petroleum Institute, API specification 5L 46th Edition, Line Pipe, USA, 2018.
8. Zandinava B., Bakhtiari R., Vukelic G., Failure analysis of a gas transport pipe made of API 5L X60 steel, Engineering Failure Analysis, 131, 1-14, 2022.
9. Giarola J.M., Calderón-Hernández J.W., Quispe-Avilés J.M., Avila J.A., Bose Filho W.W., Hydrogen-induced cracking and corrosion behavior of friction stir welded plates of API 5L X70 pipeline steel, International Journal of Hydrogen Energy, 46, 28166-28179, 2021.
10. Azam M. A., Sukarti S., Zaimi M., Corrosion behavior of API-5L-X42 petroleum/natural gas pipeline steel in South China Sea and Strait of Melaka seawaters, Engineering Failure Analysis, 115, 1-8, 2020.
11. Villavicencio J., Ulloaa N., Lozadac L., Moreno M., Castro L., The role of non-metallic Al2O3 inclusions, heat treatments and microstructure on the corrosion resistance of an API 5L X42 steel, Journal of Materials Research and Technology, 9, 5894-5911, 2020.
12. Bentrah H., Rahali Y., Chalab A., Gum Arabic as an eco-friendly inhibitor for API 5L X42 pipeline steel in HCl medium, Corrosion Science, 82, 426-431, 2014.
13. Oh D. H., Race J., Oterkus S., Chang E., A new methodology for the prediction of burst pressure for API 5L X grade flawless pipelines, Ocean Engineering, 212, 1-12, 2020.
14. Kahraman N., Gülenç B., Modern Kaynak Teknolojisi, EPAMAT Basım Yayın, Türkiye, 2016.
15. Durgutlu A., The effect of current type on welded metal microstructure and impact strength in TIG welding of aluminum, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 24 (1), 155-160, 2013.
16. Kumar K., Kumar C.S., Masanta M., Pradhan S., A review on TIG welding technology variants and its effect on weld geometry, Materials Today: Proceedings, 999-1004, 2022.
17. İrsel G., Study of the microstructure and mechanical property relationships of shielded metal arc and TIG welded S235JR steel joints, Materials Science and Engineering, 830, 1-14, 2022.
18. Ertürk İ., Selamoğlu A., Çelik boruların çevresel kaynağı, X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Türkiye, 1-15, 2017.
19. Durgutlu A., Kahraman N., Gülenç B., Joining of copper and steel plates by shielded metal arc and TIG welding methods and investigation of their interface properties, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 20 (2), 183-189, 2005.

20. Kaya Y., An investigation on joinability of the AISI 304 and AISI 430 stainless steel by TIG, MIG and Shielded Metal Arc welding methods, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 25 (3), 549-557, 2010.
21. American Petroleum Institute, API Standard 1104, Welding of Pipelines and Related Facilities, USA 2013.
22. Candan İ., Durgutlu A., Kahraman N., Gülenç B., Farklı pozisyonlarda mag kaynağı ile birleştirilen boruların kaynak dikişlerinin ultrasonik ve mekanik muayenesi, Politeknik Dergisi, 9 (3), 203-209, 2006.
23. Ekmekci D., Cora Ö.N., Effect of indentation loading type on the mechanical properties of advanced high strength steel grade dp 800, Applied Physics A-Materials Science & Processing, 126 (11), 2020.
24. Ekmekci D., Yılmaz F., Kolemen U., Cora Ö. N., Microindentation on the porous copper surface modulations, Applied Physics A-Materials Science & Processing, 123 (11), 2017.
25. Aksöz S., Ada H., Fındık T., Çetinkaya C., Bostan B., Candan İ., The investigation of effect of welding process on the microstructure and mechanical properties of API 5L X65 steel welded with electric arc welding method, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 4 (1), 72-81, 2017.
26. Kara R., Çolak F., Yıldırım G., Hiçyılmaz V., Investigation of natural gas pipes with different welding processes, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 4 (1), 108-115, 2017.
27. Harman M., Ada H., Çetinkaya C., Investigation of QStE 420 TM steel materials weldability using different basic electrodes by electric arc welding method, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37 (4), 2041-2056, 2022.
28. Kınacı, B.F., Endüstriyel tesislerde doğal gaz çelik boru kaynak uygulamaları ve kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2019.