T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANGANLI ÇELİK BORULARDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK AKIŞINA, MİKROYAPIYA VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Gülbahar ALKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Programı

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Hakan YILMAZER

Haziran, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANGANLI ÇELİK BORULARDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK AKIŞINA, MİKROYAPIYA VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Gülbahar ALKUŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Üretim Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr.Öğr.Üyesi Hakan YILMAZER
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr.Öğr.Üyesi Hakan YILMAZER, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç Dr. Işıl KERTİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr.Öğr.Üyesi Sercan BASIT, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Hakan YILMAZER sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Manganlı çelik borularda kaynak parametrelerinin kaynak akışına, mikroyapıya ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması “ başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Gülbahar ALKUŞ

İmza

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FYL-2022-4883 sözleşme numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Aileme

ve

sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışman hocam Öğr.Üyesi Dr. Hakan YILMAZER'e araştırma boyunca rehberliği, geri bildirimleri ve yardımlarımlarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım. Kapsamlı destekleri ve bu araştırmaya ilişkin genel görüşleri sayesinde bu çalışmayı birlikte gerçekleştirdiğim ve beni destekleyen firmama yardımlarımdan dolayı teşekkür ederim.

Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi'nin FYL-2022-4883 No'lu proje çerçevesinde araştırmamı maddi olarak desteklediğini minnetle kabul ederim.

Son olarak her zaman yanımda oldukları ve destekleri için aileme, arkadaşlarıma ve beni destekleyen herkese teşekkür ederim.

Gülbahar ALKUŞ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xiii
HARİTA LİSTESİ xiv
ÖZET xv
ABSTRACT xvii
1 GİRİŞ 1
1.1 LİTERATÜR ÖZETİ 1
1.2 TEZİN AMACI 2
1.3 HİPOTEZ 2
2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI 3
2.1 ÇELİKLER 3
2.1.1 Kompozisyonlarına Göre Sınıflandırma 3
2.1.1.1 Karbon İçerikli Çelikler 3
2.1.1.2 Alaşımlı çelikler 4
2.1.1.3 İçerdikleri alaşım elementine göre sınıflandırma 4
2.1.2 Üretim Metotlarına Göre Sınıflandırma 4
2.1.3 Piyasaya Arz Edildikleri Kesit Şekillerine Göre Sınıflandırma 4
2.1.4 Çeliklerin Kalite Niteliği Belirleme Durumuna Göre Sınıflandırma 4
2.1.5 Çeliklerin Kullanım Yerlerine Göre Sınıflandırma 4
2.2 Çelik Malzemelerde Alaşım Elementlerinin Etkisi 5
2.3 Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi 5
2.3.1 Mangan Etkisi 6
2.3.1.1 26ManganBor5 6
2.4 Boru Çeşitleri 8
2.5 Yüksek Frekans Kaynağı Yöntemi (HFW) 12
2.6 Yüksek Frekans Kaynağı Avantajları 15
2.7 Yüksek Frekans Kaynağı Dezavantajları 16
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR 17
3.1 Numune Üretimi 17

3.2 Üretim Parametreleri 18
3.3 Numune Hazırlama 18
3.4 Mikroyapı Çalışmaları 19
3.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 20
3.6 X-Işını Difraksiyonu (XRD) 21
3.7 Sertlik Testi 22
3.8 Genişletme Testi 23
3.9 Yassıltma Testi 24
4 BULGULAR VE TARTIŞMA 26
4.1 Manganlı Boruların Yüzeysel Görüntüsü 27
4.2 Mikroyapı Analizi 28
4.2.1 Optik Mikroskop İncelemeleri 28
4.2.2 XRD Analizi 34
4.2.3 SEM-EDS Analizi 35
4.3 Mekanik Özellikler 44
4.3.1 Genişletme/Ağız Açma Testi Verileri 44
4.3.2 Sertlik Testi Sonuçları 46
4.3.3 Yassıltma Testi Sonuçları 47
5 ÖNERİLER 48
6 SONUÇ 49
KAYNAKÇA 52
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 54

SİMGE LİSTESİ

C	Sabit (0.10-0.07)
D	Dış Çap
H	Borunun Yük Altındaki Ezilen Mesafesi
MM	Milimetre
T	Borunun Et Kalınlığı
C	Sabit (0.10-0.07)
PPM	Parts Per Million

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
B	Bor
BM	Base Metal
C	Karbon
CR	Krom
EDS	Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi
FE	Demir
HAZ	Heat Affected Zone
HF	High Frekans
HV	Vickers Hardness
HFW	High Frekans Welding
MN	Mangan
MPa	MegaPascal
O	Oksijen
OM	Optik mikroskop
P	Fosfor
S	Kükürt
SEM	Scanning Electron Microscopy
Sİ	Silisyum
Tİ	Titanyum
XRD	X-ray Diffraction

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Çelik Malzemelerin Gruplandırılması……...……**3**

Şekil 2.2 Alaşım elementlerinin çelik üzerinde etkisi. …….**5**

Şekil 2.3 Aks stabilizatör çubuğunun bir şeması …….……...……..**7**

Şekil 2.4 Denge çubuğunun kullanım alanı görselidir……..**8**

Şekil 2.5 Dikişli -Dikişsiz Boru görseli yer almaktadır……..……..**8**

Şekil 2.6 HFW yöntemi üretim şemasıdır. ……..……**9**

Şekil 2.7 Saclardaki C ve O formuna ait görseller yer almaktadır……..…**10**

Şekil 2.8 Girdap akımları ile muayene; a)Bobin, b) Bobinde manyetik alan oluşumu, c)Manyetik alan incelenen parça etkileşimi…….**10**

Şekil 2.9 Eddy Current testinde hata tespitinin örneğine dair görseldir……..…**11**

Şekil 2.10 Boru Kaynak Prosesi…….....**12**

Şekil 2.11 HFW yönteminin şekli yer almaktadır……..….**13**

Şekil 2.12 Empederin ve kontakların şekli ve yerleşimi …..…….……..**14**

Şekil 2.13 Yüksek frekans kaynağında parametrelerin gösterimidir.……..…**14**

Şekil 3.1 Numunelere ait görseller…….....**18**

Şekil 3.2 Bakalite alınan numuneler……..….**20**

Şekil 3.3 Optik mikroskop ait görseldir……..**20**

Şekil 3.4 Parlatma cihazı görselidir…….……..**20**

Şekil 3.5 Empyrean MultiCore görünümüdür……..……..**22**

Şekil 3.6 Vickers Sertlik Testi Cihazı…….....**23**

Şekil 3.7 Genişletme/Ağız Açma Düzeneğidir……..……**24**

Şekil 3.8 26MnB5 borulara ait Genişletme/ağız açma testi uygulanması ve uygulama sonrası borunun görselidir..……..…...**25**

Şekil 3.9 Borulardaki yassıltma testinin gösterimi……...……...…...**25**

Şekil 3.10 Farklı parametreler kullanılarak üretilen borulardaki yassıltma testinin görselidir.……..……...**25**

Şekil 4.1 Manganlı Borunun profil görüntüsü…….……...….**27**

Şekil 4.2 Kaynak dikişinde boşluklar olan borudan görüntüsüdür……...…..….**28**

Şekil 4.3 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait a.)1,25x b) 2,5x, c) 5x d) 10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri……...….**30**

Şekil 4.4 3,8 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numenesine ait a.)1,125x b)2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop……..…..….**31**

Şekil 4.5 4mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru nnumunesine a.)1,25x b)2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri ……..**31**

Şekil 4.6 100mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine a.)1,25x b) 2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri……...**32**

Şekil 4.7 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait a)1,25x b) 2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri. e)malzemedeki çatlağa ait görüntüdir……..**33**

Şekil 4.8 150mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait ait a)1,25x b) 2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri……...…....**34**

Şekil 4.9 XRD verileri yer almaktadır…….....….**35**

Şekil 4.10 MS/3,6/125 numunesine ait 2500x ve 5000x'teki SEM görüntüleridir… ……...**36**

Şekil 4.11 a ve c şekilleri MS/3,8/125 numunesine ait; b ve d ise MS/4.0/125 numunesine ait 2500x ve 5000x'teki SEM görüntüleridir.……..……**36**

Şekil 4.12 a ve b şekillerinde MS/3,6/100 numunesine ait; c ve d şekillerinde MS/3,6/140 numunesine ait; f ve e şekillerinde ise MS/3,6/150 numunesine ait 2500x ve 5000x'teki SEM görüntüleridir.……...**37**

Şekil 4.13 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi verileri ve görüntüleridir.…….……..**38**

Şekil 4.14 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi verileri ve X-ışını dağılım haritası görüntüleri yer almaktadır.……...…....**40**

Şekil 4.15 4 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine SEM-EDS analizi verileri ve görüntüleri……...**41**

Şekil 4.16 4 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait X-ışını dağılım haritası görüntüleri yer almaktadır……..…...**41**

Şekil 4.17 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi görüntüleri……..…**42**

Şekil 4.18 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi verileri…….…...**43**

Şekil 4.19 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait X-ışını dağılım haritası görüntüleri yer almaktadır…….……..……...**44**

Şekil 4.20 Farklı parametre değerleri ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine ait genişletme/ağız açma testi görüntüleridir……....**44**

Şekil 4.21 Farklı parametre değerleri ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine ait genişletme/ağız açma testi görüntüleridir…….……...**45**

Şekil 4.22 Farklı parametre değerleri ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine ait Vickers sertlik testi grafiğidir……..……....**47**

Şekil 4.23 Farklı parametre değerleri ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine ait yassıltma testi görselleridir……..……...**48**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 SAE 26MnB5 kompozisyonu……...**6**
Tablo 2.2 SAE 26MnB5 in mekanik özellikleri.....**7**
Tablo 3.1 Numunelere ait SAE 26MnB5 kompozisyonu.....**17**
Tablo 3.2 Belirlenen parametrelere göre numune üretimi verileri.....**18**
Tablo 4.1 Numunelerin yüzde hata değerleri yer almaktadır.....**42**
Tablo 4.2 Elde edilen numurelerin Vickers sertlik değerleri.....**43**

HARİTA LİSTESİ

Harita 4.1 47
Harita 4.2 47

ÖZET

Manganlı Çelik Borularda Kaynak Parametrelerinin Kaynak Akışına, Mikroyapıya ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması

Gülbahar ALKUŞ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan YILMAZER

Otomotiv sektöründe seri aynı zamanda da kaliteli üretimin sağlanması için optimum parametreleri belirlemenin önemi oldukça önem kazanmıştır. Otomotiv sektöründe kaynak edilebilirlik ve işlenebilirlik özelliklerinden dolayı Mangan oranı yüksek borular vazgeçilmezi haline gelmiştir. Demir Çelik sektöründe fazla şekilde uygulanan kaynak yöntemi, borunun kimyasal, mekanik özelliklerini ve iç yapısını önemli derecede etkilemektedir. HFIW/HFW (Yüksek Frekanslı İndüksiyon Kaynağı) küçük çaplı aynı zamanda yüksek hassasiyeti bulunan boruların üretiminin gerçekleşmesi için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Otomotiv sektöründe malzemenin kalitesini ve hızını üretimde gerçekleşen birleştirme işlemi sırasındaki kaynak parametreleri önemli ölçüde etkilemektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte üretimin kaliteli ve hızlı yapılmasına olanak sağlamaktadır. Deneyim ve istatistiksel veriler sonucunda kalite kontrol sağlanarak bunun sonucunda kalitenin garanti altına alınması imkan sağlanmıştır. Manganlı boru üretiminde kaynak parametrelerinde en verimli üretimin gerçekleşmesini sağlamaktır. Yapılan bu çalışma sonucunda otomotiv sektöründe denge çubukları ve şaft boruları olarak kullanılan 26MnB5 çelik borular yüksek frekans kaynak yöntemi kullanılarak

üretilmiş; üretim parametrelerinden ile kaynak altı çıkış mesafesi, indüktör mesafesi farklı parametreleri borunun şekillendirilmesi malzemenin mikro yapısı, mekanik özellikleri diğer kuvvetler altındaki davranışının yorumlanması ve en uygun parametreler belirlenmesidir. Bu hedef doğrultusunda en verimli ve kaliteli parametrelere ulaşılması hedeflenerek hem mikroskobik hem de mekanik testler uygulanarak, ulaşılan sonuçlara bağlı olarak literatüre ve otomotiv sektörüne katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mangan Alaşımlı Çelik, Kaynaklı Borular, Yüksek Frekanslı Kaynak (HFW), Kaynaklanabilirlik, Manganlı Çeliklerde Mikroyapı.

ABSTRACT

Effect of Welding Parameters on Welding Flow, Microstructure and Mechanical Properties in Manganese Steel Tubes

Gülbahar ALKUŞ

Department of Metallurgical and Materials Engineering,
Master's Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Hakan YILMAZER

Today, the importance of determining the optimal parameters for high-quality and fast production is quite high to carry out corrective actions efficiently. And, pipes with a high manganese content are indispensable for the automotive sector, as they significantly affect the properties of the material, mainly its malleability and weldability. The welding method, the use of which is quite common, significantly affects the microstructure and mechanical properties of the material. It is widely used to produce small diameter pipes with higher sensitivity to defects in the welding bond line during the HFIW/HFW (High Frequency Induction Welding) process. For this reason, it is of great importance to determine the welding parameters in the joints made in the automotive sector, where speed and material quality are very important in the production. Thanks to today's advanced technology, it is possible to make quality and fast production.

As a result of the experience in engineering applications and statistical evaluations, it has been possible to control quality and thus guarantee quality. To ensure the most efficient production welding parameters in conventionally produced manganese pipes. In this study, 26MnB5 steel pipes, which are used as balance bars, especially in the automotive sector, are used in high frequency welding method; it is aimed to shape the pipe under the welding outlet diameter, inductor distance and power parameters with high pulse value process parameters and to interpret the

microstructure, hardness, behavior of the material under other forces by changing these parameters and to determine the existence of the most appropriate parameters. For this purpose, it is aimed to contribute to the literature and industry by reaching the most efficient and high-quality parameters by using both microscopic examinations and mechanical tests.

Keywords: Manganese Alloy Steel, Welded Pipes, High Frequency Welding (HFW), Weldability,

1
GİRİŞ

1.1 LİTERATÜR ÖZETİ

Çelikler içerdeki alaşım elementine bağlı olarak birçok sektörde farklı alanlarda kullanılmaktadır. Manganlı çelikler ise kaynak edilebilirlik ve malzeme kazandırdığı tokluk özelliğinden dolayı kullanılması tercih edilmektedir. Aynı zamanda malzemeye sertlik ve mukavemette kazandırmaktadır. Manganlı borular, otomotiv sektörü için amortisör boruları (denge çubuğu), yüksek kalitedeki hammadde ve yüksek teknoloji ile üretimi gerçekleştirilen denge çubuğu, şaft borularında, istenilen bütün özelliklere, dikiş kaynak kalitesi ve uygulanan mekanik ve mikroyapı testleriyle ulaşılmaktadır. Bu nedenle gazlı amortisör boruları, şaft boruları, rot boruları, denge çubuklarında kullanılmaktadırlar. Hassas çelik boru ve profil boruların günümüzde kullanım yerleri oldukça fazla ve geniştir. Üretilen borular, otomotiv sektörü, endüstri, makine ve mobilya gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Boruların üretimi dikişli ve dikişsiz olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Bu çalışmada kaynaklı borular ile çalışılacağından dikişli borular ile çalışılmıştır. Dikişli boru üretimi sac halindeki rulonun dilimlenip daha sonrasında hat üzerinde kaynak işlemi ile birleştirilmesine dayanmaktadır. Kaynak kalitesinin verimli şekilde gerçekleşmesi için kaynak parametrelerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Sac üretim sırasında makinelerden geçerek önce “C” formu daha sonrasında ise “O” formunu alarak kaynaklanır. İndüksiyon bobini içerisinden geçirilen “O “ formu verilmiş rulonun içerisinde empeder mevcuttur. Empeder de bulunan direnç yardımıyla rulonun iki ucu ısınarak birbiri ile birleşmesi sağlanır.

Manganlı borularda kaynak parametrelerinin kaynak akışına, mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisinin incelenmesidir. Bu çalışmada amaçlanan, otomotiv sektöründe önemli yere sahip olan üretimdeki hızın ve malzeme kalitesinin birleştirmelerdeki kaynak parametrelerini belirlenmesini sağlamaktır. Bu çalışmada kaynak edilebilirliği önemli ölçüde etkileyen iki parametre üzerinde çalışılmıştır. Bu iki parametre; boru kaynak altı çıkış mesafesi ve indüktör mesafesidir.

Bahsedilen iki parametre üzerinde çalışılarak Yüksek Frekans kaynağı (HF) Welding işlemi sonrası Manganlı çelik boruların kaynak edilebilirlikleri incelenmiş. Gerekli mekanik testler ve mikroskobik incelemeler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile Mangan içerikli boruların üretimi sırasında kaynak parametrelerindeki optimum değerler tespit edilmiştir. Böylece uygun kalitede verimli üretimin gerçekleşmesi sağlanmıştır. Boruların üretimi sırasında kaynak parametrelerinden kaynaklı oluşabilecek malzeme hatalarının önüne geçilmiştir.

1.2 TEZİN AMACI

Tezin amacı Manganlı borularda kaynak parametrelerinin kaynak akışına, mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisinin incelenmesidir. Yapılan çalışmada amacımız üretimdeki hızın ve malzeme kalitesinin oldukça önemli olduğu otomotiv sektöründeki kullanılan birleştirme yöntemindeki kaynak parametrelerini belirlenmesini sağlamaktır. Günümüzde gerçekleşmiş olan teknoloji ile birlikte yüksek kaliteli ve hızlı üretimin gerçekleşmesi mümkün hale gelmiştir. Geçmişte yapılan çalışmalar ve gerçekleştirilen uygulamalardaki veriler sonucunda kalitenin kontrol altına alınabilmesi ve buna bağlı olarak kalitenin güvence altına alınmasına olanak sağlanmıştır. Otomotiv sektöründe üretilen Manganlı borularda kaynak parametrelerinde en verimli ve kaliteli üretimin gerçekleşmesini sağlamak amaçlanmıştır.

1.3 HİPOTEZ

Amaçlanan Manganlı Çelik Borularda Kaynak Parametrelerinin Kaynak Akışına ve Mikroyapıya Etkisinin incelenerek üretilen Mn içerikli borularda kaynak parametrelerinde optimum değerlerle üretiminin sağlanması hedeflenmektedir. Üretilebilirlik için,

- Yüksek Frekans Kaynağı,

Kaynak edilebilirlik parametreleri olarak,

- Boru kaynak altı çıkış çapı, İndüktör (bobin) mesafesi

Mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelemesi için,

- Vickers Sertlik Testi, Yassıltma Testi, Genişletme Testi, Optik Ölçüm Cihazı, Optik Mikroskobu, SEM, EDS Analizi, XRD Analizi

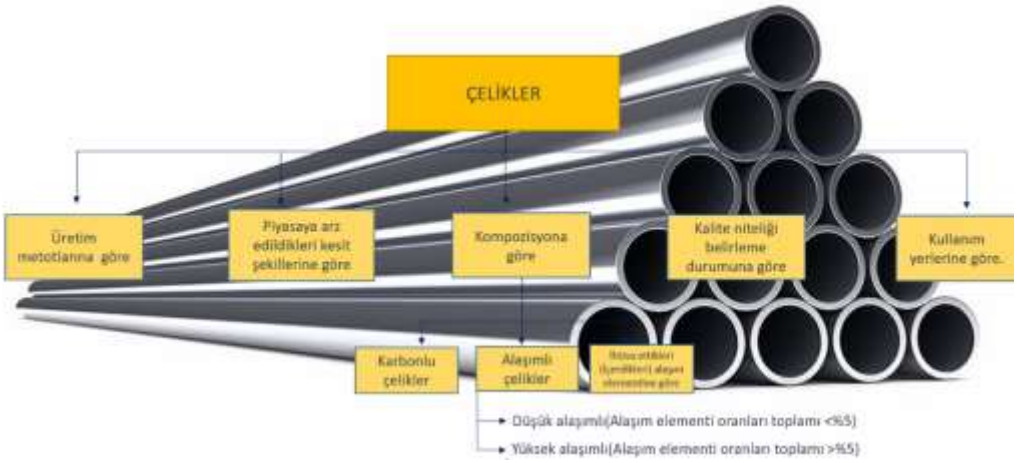
2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 ÇELİKLER

Çelikler kullanım yerlerine ya da özelliklerine bağlı olarak çeşitli şekilde sınıflandırılmaktadır. Buna göre sınıflandırma aşağıda verilmiştir. Çelikleri beş grupta sınıflandırabiliriz [1].

1. Kompozisyona göre
2. Üretim yöntemlerine bağlı olarak
3. Sektöre hizmet edilen kesit şekline bağlı
4. Kalitelerine göre
5. Kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaktadırlar.



Şekil 2.1 Çelik Malzemelerin Gruplandırılması.

2.1.1 Kompozisyonlarına Göre Sınıflandırma

2.1.1.1 Karbon İçerikli Çelikler

Demire karbon ilavesiyle çelik elde edilir. İçerisinde bulunan C miktarı maksimum %0,20 oranında bulunan çeliklere Karbonlu Çelik denir. Bu çeliklerin aynı zamanda mekanik özelliklerinden dolayı yumuşak çelikte denilmektedir. İçerdiği karbon miktarı %0,20-0,60 oranındaki çeliklere ise Orta Karbonlu çelikler olarak

adlandırılmaktadır. C oranına göre mekanik özellikleri değişiklik göstermektedir. Bu değerlerin üzerindeki çelikler ise yüksek karbonlu çelik olarak isimlendirilir [1].

2.1.1.2 Alaşımlı çelikler

Alaşımlı çeliklerin farkı ise şu şekilde açıklanabilir. Karbonlu çeliklerden sağlanamayan özelliklerin sağlanması için bir ya da birden fazla alaşım elementinin eklenmesiyle oluşan çeliklerdir. Bu çeliklerin kullanımı oldukça yaygındır.

2.1.1.3 İçerdikleri alaşım elementine göre sınıflandırma

Çelik malzemeler içerdikleri alaşım elementine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma ise, krom nikeli çelikler, paslanmaz çelikler olarak sınıflandırılabilmektedir. İhtiyaca göre alaşım elementi ilavesiyle malzemelerin özellikleri geliştirilebilmektedir.

2.1.2 Üretim Metotlarına Göre Sınıflandırma

Çelikler, üretim metotlarına göre kendi aralarında gruplara ayrılmaktadır. Bu gruplar birden fazla şekilde sınıflandırılmaktadır. Sıcak ve soğuk haddelenmiş çelikler, Siemens-Martin çeliği, oksijen konverter çeliği, pota çeliği, kaynar çelik, durgun çelik, yarı durgun çelik olarak gruplandırılmaktadır [1, 2]. Bu sınıflandırma üretim yöntemlerine göre yapılmıştır.

2.1.3 Piyasaya Arz Edildikleri Kesit Şekillerine Göre Sınıflandırma

Piyasada bulunma durumlarına göre ise kendi aralarında gruplara ayrılmıştır. Bu gruplar; altı köşe çubuk, yuvarlak çubuk, plaka, sac, profildir. Buna bağlı olarak sektörde kullanıma ayrılmışlardır.

2.1.4 Çeliklerin Kalite Niteliği Belirleme Durumuna Göre Sınıflandırma

Çeliklerin kalite niteliği belirleme durumuna göre sınıflandırma aşağıdaki gibidir. Bu sınıflandırma beş farklı şekilde olmaktadır. Bu sınıflandırma ise Sıcak haddelenmiş karbonlu çelik çubuklar, Karbon çeliği levhalar, Sıcak hadde saclar/Soğuk hadde saclar, Alaşımlı çelik plakalar, Sıcak haddelenmiş çelik çubuklar şeklindedir [2].

2.1.5 Çeliklerin Kullanım Yerlerine Göre Sınıflandırma

Çeliklerin kullanım yerlerine göre sınıflandırmada ise farklı gruplar ayrılmaktadır. Bunlar; Kalitesiz yumuşak çelikler, kolay kaynak çelikler, yapı çelikler, imalat

çelikleri, Islah çelikler, transmisyon çelikleri, paslanmaz çelikler, takım çelikleri [1].

2.2 Çelik Malzemelerde Alaşım Elementlerinin Etkisi

Çeliklerde alaşım elementi oldukça önemli rol oynamaktadır. Alaşım elementi etkisine bağlı olarak çeliklerin mekanik ve kimyasal özellikleri yüksek oranda geliştirilebilmektedir.

1) Sertlik miktarını yükseltmektedir.

2) Dayanım oranını arttırmaktadır.

3) Malzemenin sertleşmesinde rol oynar. Olumlu yönde gelişimini sağlamaktadır.

4) Yüksek sıcaklıklara dayanımın artmasını sağlar.

5)Alaşım etkisine bağlı olarak malzemenin mıknatıslanması geliştirir.

6) Korozyonu dayanımını sağlamaktadır. Bunun belirli oranda gelişmesini sağlamaktadır.

7) Elektrik direncini etkiler.

8) Malzemenin genleşmesine katkı sağlar [3].

2.3 Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi

Çelik, karbon ile demirin bir alaşımına olmasına rağmen, alaşımlı çelik tabiri, genellikle karbondan başka alaşım elementlerinin bu çelik bileşiminde bulunduğunu belirtmek için kullanılır. Karbon (C), Mangan (Mn), Kükürt: (S), Fosfor (P), Krom (Cr) gibi birçok elementin bileşiminden oluşabilmektedir. [4]

Alaşım Elementi	Element Simgesi	Mukavemet	Sertlik	Sertleştirilebilirlik	Şekillendirilebilirlik	Darbe Dayanımı	Kaynaklanabilirlik	Tokluk	Aşınma Direnci	Kırılganlık	Korozyon Direnci	Isı Direnci	Oksijen Giderici
Karbon	C	↑	↑		↓		↓	↓	↑				
Mangan	Mn	↑	↑	↑	↓		↑		↑				↑
Fosfor	P	↑	↑		↓	↓		↓		↑			
Kükürt	S		↓			↓		↓		↑			
Silisyum	Si	↑	↑	↑	↑				↑		↑		↑
Bakır	Cu	↑	↑		↓						↑		
Azot	N	↑	↑						↓	↑	↑		
Alüminyum	Al												↑
Krom	Cr	↑	↑	↑					↑		↑		
Nikel	Ni	↑	↑		↑	↑		↑			↑	↑	
Vanadyum	V	↑	↑	↑		↑			↑			↑	
Molibden	Mo	↑	↑						↑		↑		
Tungsten	W	↑	↑									↑	
Titanyum	Ti	↑	↑								↑		

Şekil 2.2 Alaşım elementlerinin çelik üzerinde etkisi.

2.3.1 Mangan Etkisi

Mangan elementi ilavesiyle çeliğin dayanımı artar. Mangan elementinin çekme ve akma mukavemetlerindeki etkisi benzer şekilde gerçekleşmektedir. % 3 Mn değerine bağlı olarak her Mn katkısı için çekme mukavemetini belirli miktarda artış göstermektedir. Isıl işlem uygulanmış çelik malzemelerde Mn tokluğu arttırma etkisine sahiptir. Mangan, çeliğin dövülebilirlik özelliğini ve aynı zamanda çeliğin sertleşebilirliğini arttırmaktadır. % 13 Mn değeri üzerindeki yüksek Manganlı ve yüksek karbona sahip çelik malzemeler yüksek miktarda aşınma direnci ve aynı zamanda yüksek tokluğa sahiptir[4,5]. Bu da Mangan katkılı malzemelerin tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

2.3.1.1 26ManganBor5

Alaşım elementi olarak Mangan (Mn) çeliğin dayanımını arttırır. Bor (B) çelikleri çelikleri genellikle sertleşebilme özelliği nedeniyle ısıl işlem gören otomotiv parçalarında kullanılmaktadır. 26ManganBor5 (26MnB5) martezitik çelik kullanılmış olup, daha yüksek sertleşebilirlik sergileyen bir mangan-bor çeliğidir. Bunda B'nun etkisi oldukça yüksektir. Az miktarda bir B ilave edildiğinde, çeliğin sertleşebilirliğini önemli ölçüde yükseltir. Bu sertleşebilirlik, ferriti bastırma eğiliminde olan tane sınırı boyunca B'nin ayrılmasıyla arttırılır. Tane sınırı enerjisini azaltarak ve büyüme oranlarını etkilemeden çekirdeklenmedir. Bu 26MnB5 alaşımlı çeliğinin, B gibi sertleşebilirlik arttırıcının varlığı nedeniyle su verme sonrasında yüksek mukavemet özellikleri göstermesini sağlar. Kimyasal bileşim, östenizasyon sıcaklığı ve soğuma hızı, mekanik özellikleri ve mikroyapı gelişimini etkileyen önemli faktörlerdir. İçinde sıcak haddelenmiş durumda, 26ManganBor5 (26MnB5) tipik olarak ferrit-perlit içeriğine sahip birmikro yapı sergiler [6].

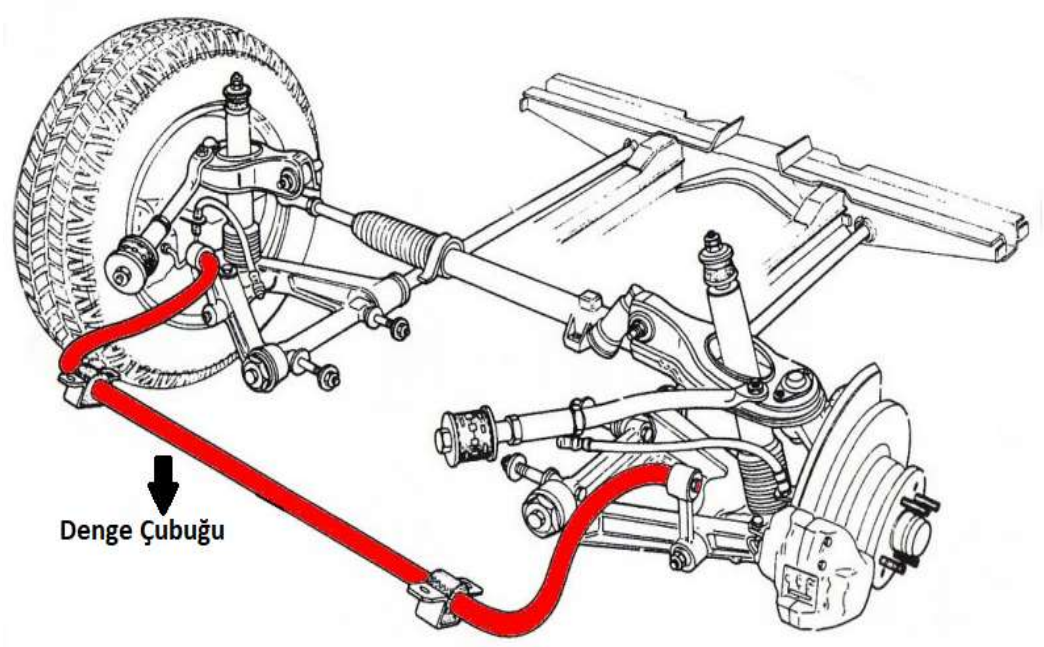
Tablo 2.1 SAE 26MnB5 kompozisyonu.

Sembol	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cr %	B %	Ti %
26MnB5	0.22~ 0.29	1.15~ 1.45	0.15~ 0.351	0.005	0.005	0.01~ 0.045	0.01~ 0.045	0.01~ 0.045

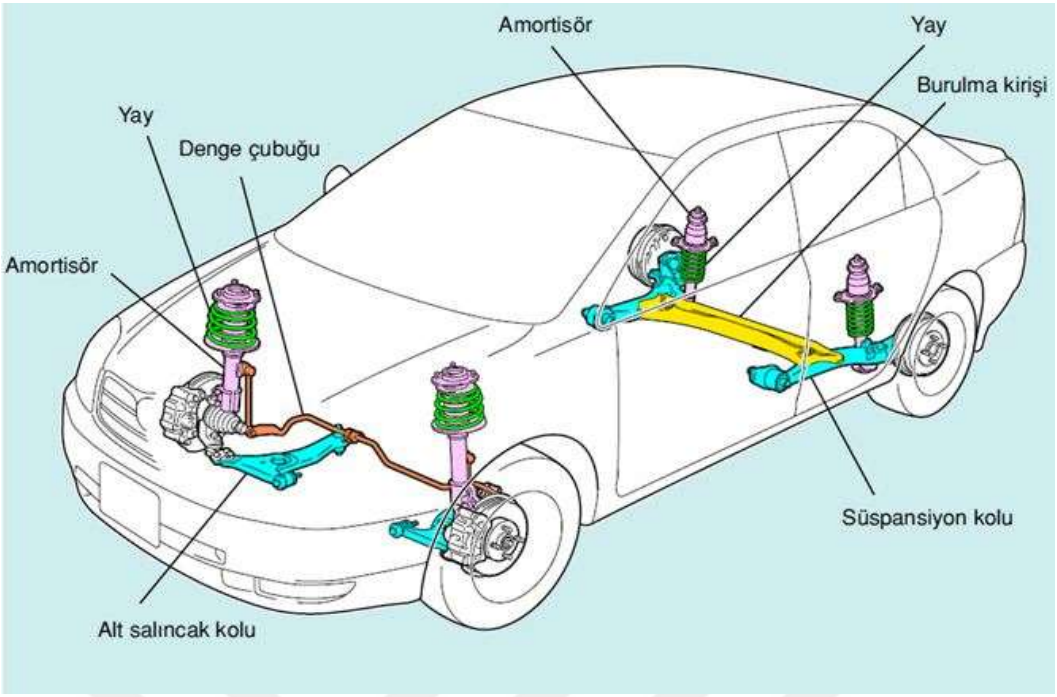
Tablo 2.2 SAE 26MnB5 in mekanik özellikleri.

Sembol	Çekme Mukavemeti Rm MPa	Akma Mukavemeti ReH MPa	Uzama A80 ≥ %
26MnB5	360-580	580-740	12

Çelik, en çok tercih edilen kaynak çeşitlerinden biri olan yüksek frekanslı elektrik direnç kaynağı (HFW) kullanılarak kaynaklanır. Boyuna dikiş kaynaklı çelik boruların üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Borular AC3 sıcaklığının üzerinde sertleştirilir. Genellikle mekanik özelliklerle ilişkili olarak değişiklik göstermektedir. Yorulma ayrıca mikro yapıya bağlı olarakta farklılık göstermektedir. Bu nedenle mikro yapı ayrıca bileşenin yorulma ömrünü de belirler. Yorulma mukavemeti genellikle daha yüksek olacaktır. Bu sayede daha yüksek nihai çekme mukavemetine sahip malzeme, yani martenzit mikroyapıya sahip bir çelik malzeme elde edilmiş olacaktır [6,7]. Bu alaşıma sahip çelikler genellikle otomotiv sektöründe şaft ve denge çubuğu olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 Aks stabilizatör çubuğunun bir şeması [7].

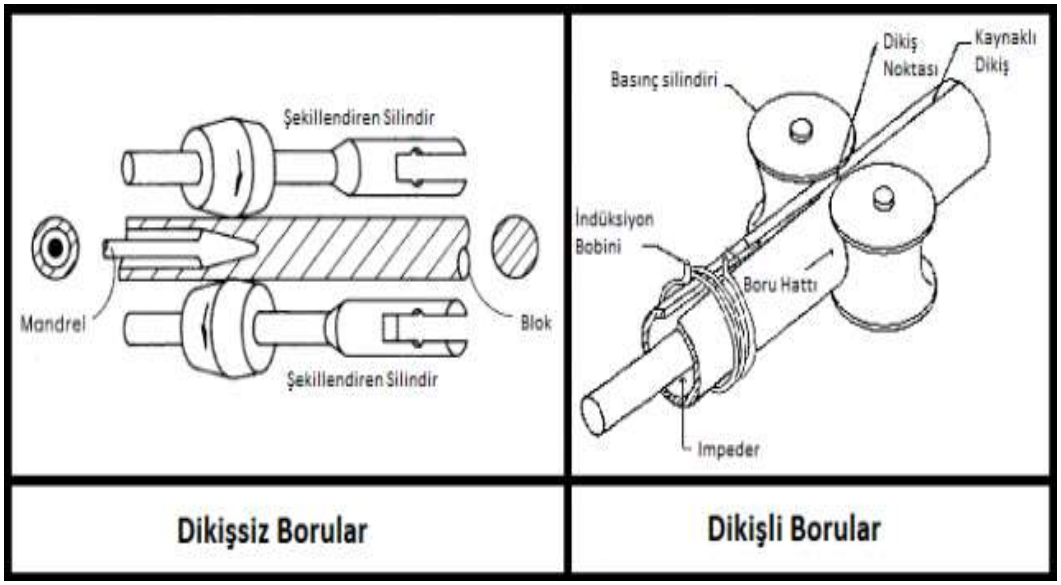


Şekil 2.4 Denge çubuğunun kullanım alanı görselidir [7].

Şekil 2.3' de Aks stabilizatör çubuğunun bir şemasına ait görsel yer almaktadır. Bu aks stabilizatör çubuğunun ve denge çubuğunun kullanım alanlarına ait görsel ise Şekil 2.4' te yer almaktadır.

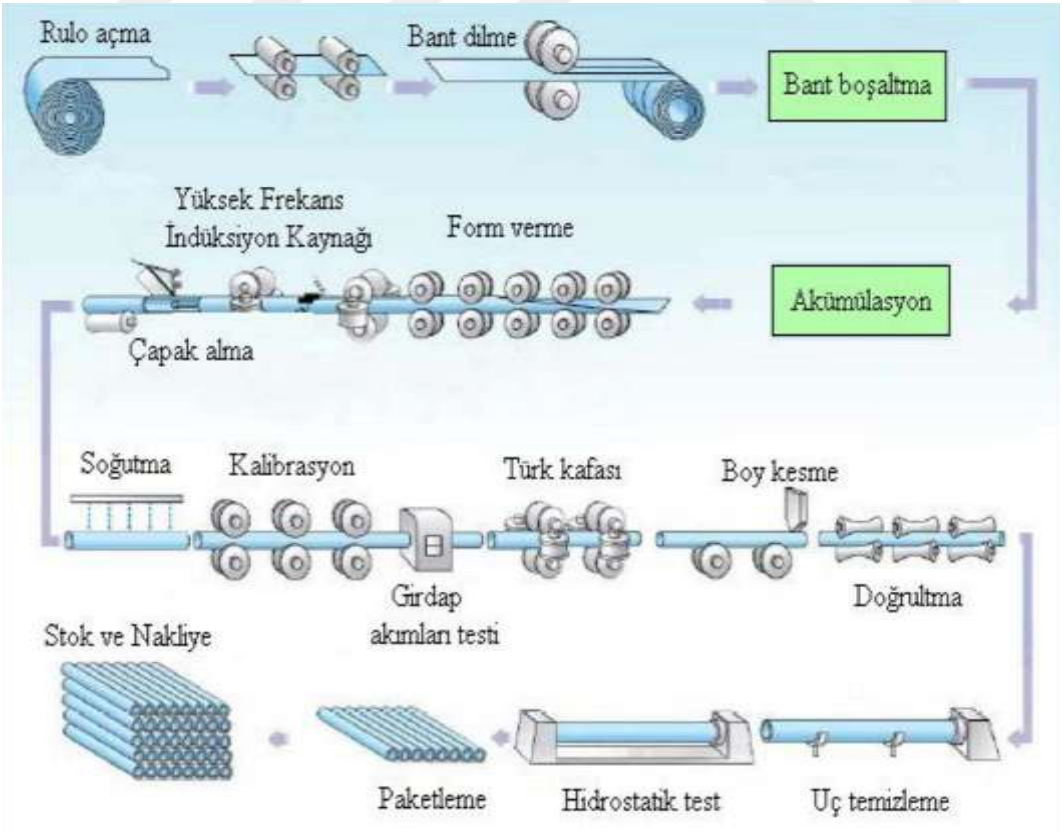
2.4 Boru Çeşitleri

Borular üretim yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Boruların üretimi dikişli ve dikişsiz olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Şekil 2.5'te dikişli ve dikişsiz Boru görseli yer almaktadır.



Şekil 2.5 Dikişli -Dikişsiz Boru görseli yer almaktadır [9].

Dikişsiz borularda kaynak işlemi bulunmamaktadır. Bu nedenle bakıldığında daha çok tercih edilmesi gerekirken bu borular üretim maliyeti nedeniyle daha pahalıdırlar. Bu boruların bir diğer avantajı ise dikişsiz borular korozyon direnci sağlamaktadır çünkü dikişli borudaki kaynak bölgesinde olabilecek kirlilikler, kusurlar gibi kusurlar dikişli borularda gerçekleşmez [8]. Dikişli borunun üretimde kullanılan ham ürünü, yarı ürün olarak adlandırdığımız Rulo (coil) sac malzemelerdir. Bu rulolar borular dilimlendirilir. Dilimlenmiş rulo saclar argon kaynağı ile hat üzerinde birleştirilir daha sonrasında ise hat üzerinde saclar şekil aldırılarak ilk olarak hilal "C" formu aldırılır. Daha sonrasında hat üzerinde şekillendirme devam eder ve yüksek frekans kaynağı ile "O" formu verilerek hat üzerinde bulunan istem yardımıyla uçlar bir araya getirilerek birleştirilir. Endüstrinin kullanım şekline göre Yüksek Frekanslı İndüksiyon Kaynağı (HFIW / HFW) ya da TIG yöntemi ile üretimi gerçekleşebilmektedir [8,9]. Kullanılan birleştirme yöntemiyle, belirlenen boru çapına göre temin edilmiş ya da üretilmiş sac plakalar kullanılmaktadır. Yüksek frekans kaynağı sonrasında doğrultma ve çapak alma gerçekleşir. Bu işlemlerden sonar paketleme yapılarak stok ve nakliye alanında borular stoklanır.

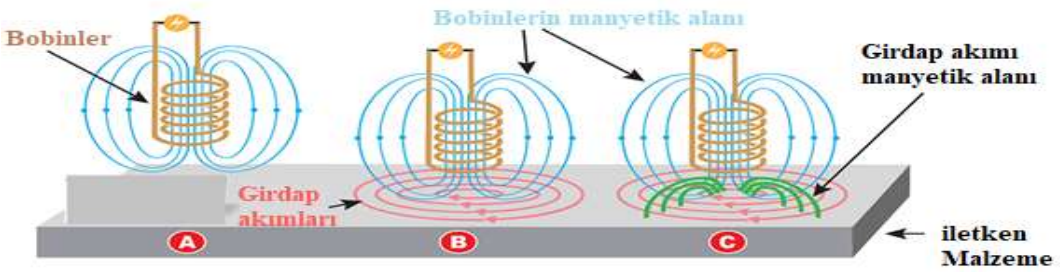


Şekil 2.6 HFW yöntemi üretim şemasıdır [8].



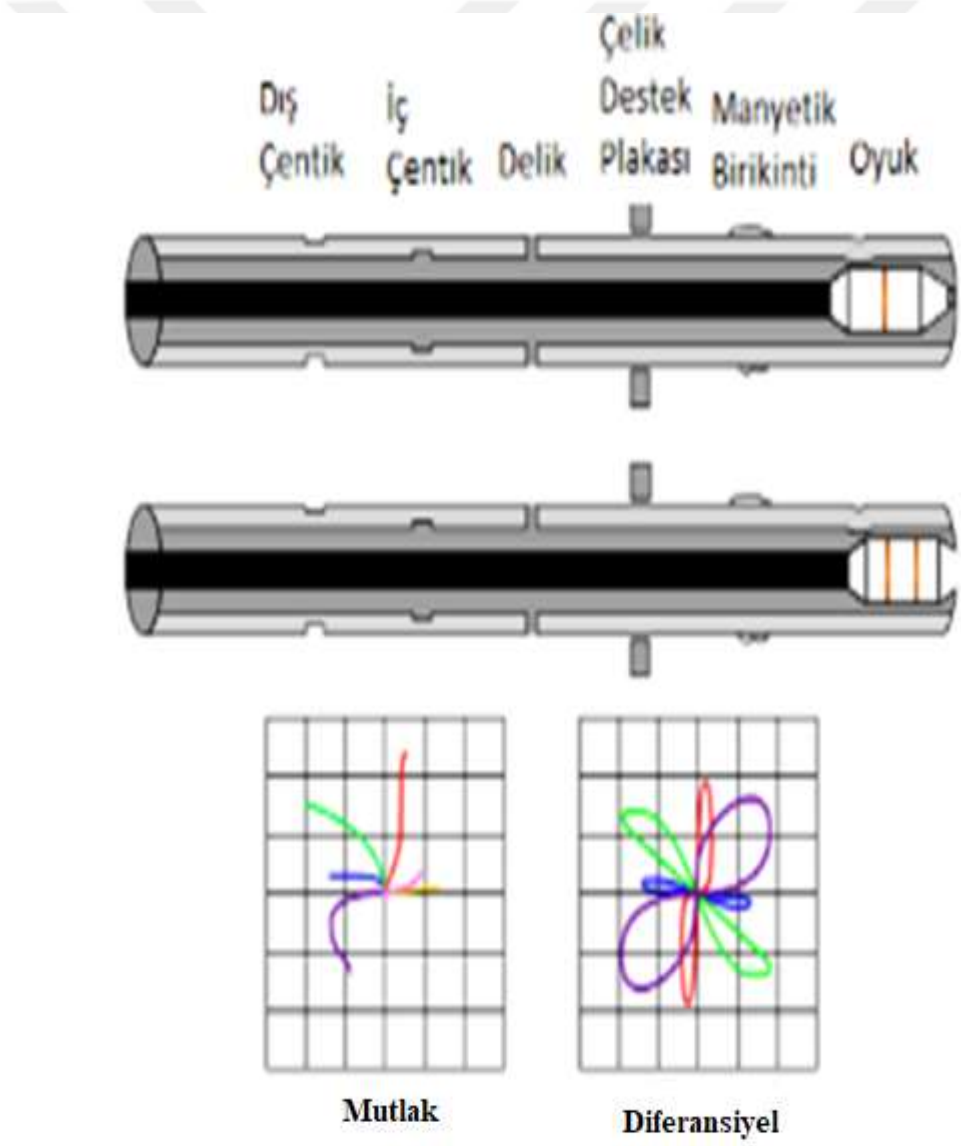
Şekil 2.7 Saclardaki C ve O formuna ait görseller yer almaktadır.

HFW boru üretimi gerçekleştirilirken kaynak kalitesinde üretim sırasındaki parametrelerin etkisi oldukça önemlidir. Kullanılan parametrelerin iyi bilinmesi ve bu parametrelerin sabit tutulması oldukça önemlidir. Bu nedenle üretim aşamasında üretilen boruların tahribatlı ve tahribatsız muayene ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Üretilen boruların ultrasonik muayenesinde ise Girdap akımları (Eddy Akımı) ile Muayene yöntemi kullanılmaktadır. Eddy-Current (Girdap Akımları) metodu yüzey ya da yüzeye yakın hataların belirlenebilmesinde kullanılan bir metottur. Bu metotu elektrik iletkenliğine sahip olan bütün metal ve alaşımlarında kullanılabilmektedir. Bu metot ile çatlak, korozyon, iletken bir malzeme üzerindeki boya veya kaplama kalınlığının ölçülmesi ve iletkenlik ölçümüne olanak sağlamaktadır. Şekil 2.8' de Eddy Currrent metodunun adımları yer almaktadır.



Şekil 2.8 Girdap akımları ile muayene; a) Bobin, b) Bobinde manyetik alan oluşumu, c) Manyetik alan incelenen parça etkileşimi [11].

Yukarıda yer alan şematik gösterimde ilk görsel (a görseli) alternatif akım bobini ve iş parçasını, ikinci görsel (b görseli) uyarılan bobinde oluşan değişken manyetik alanın malzeme yüzeyinde dairesel girdap akımlarının oluşturulmasını, üçüncü görsel (c görseli) bobinde meydana gelen manyetik alanla etkileşimde bulunarak var olan manyetik alana zıt yönde ikinci bir manyetik alan oluşumunu göstermektedir. Boru numunesinde girdap akımlarının oluştuğu alanda süreksizlik oluşursa, boru ve süreksizlik arasındaki elektrik direnci farkından dolayı akımlar farklı bir yörünge izlemek durumunda kalacaktır. Bu farklılık bobin (prob) tarafından algılanarak süreksizlik değerlendirilir [10, 11]. Bu süreksizlik ise malzeme olan bir hatanın tespitini doğrulamaktadır. Şekil 2.9' da Eddy Current testinde hata tespitinin örneğine dair görsel yer almaktadır.

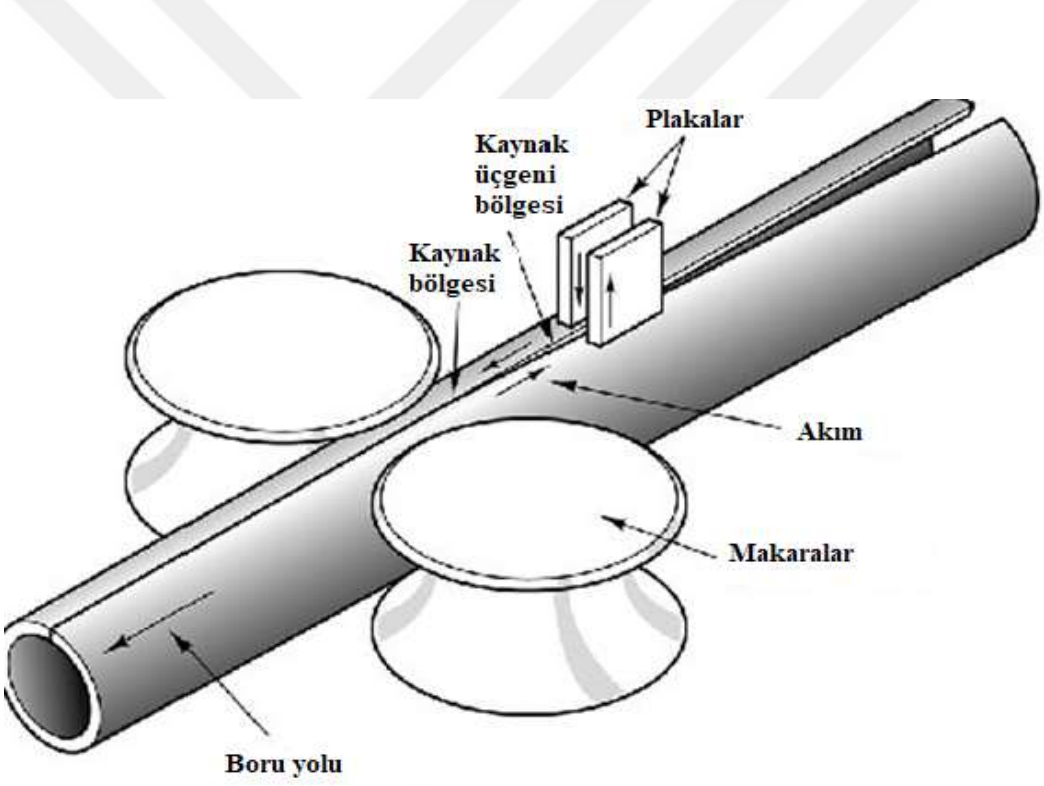


Şekil 2.9 Girdap Akımları testinde hata tespitinin örneğine dair görseldir [11].

2.5 Yüksek Frekans Kaynağı Yöntemi (HFW)

Alın kaynaklı borularda dirençli bir dikiş kaynağı oluşturulmasını sağlamak amacıyla yüksek sıkma rulo frekansı AC (Alternating Current) akımı tercih edilir. Kontaklardan gelen oklar, yüksek frekanslı akımın yolunu göstermektedir [10].

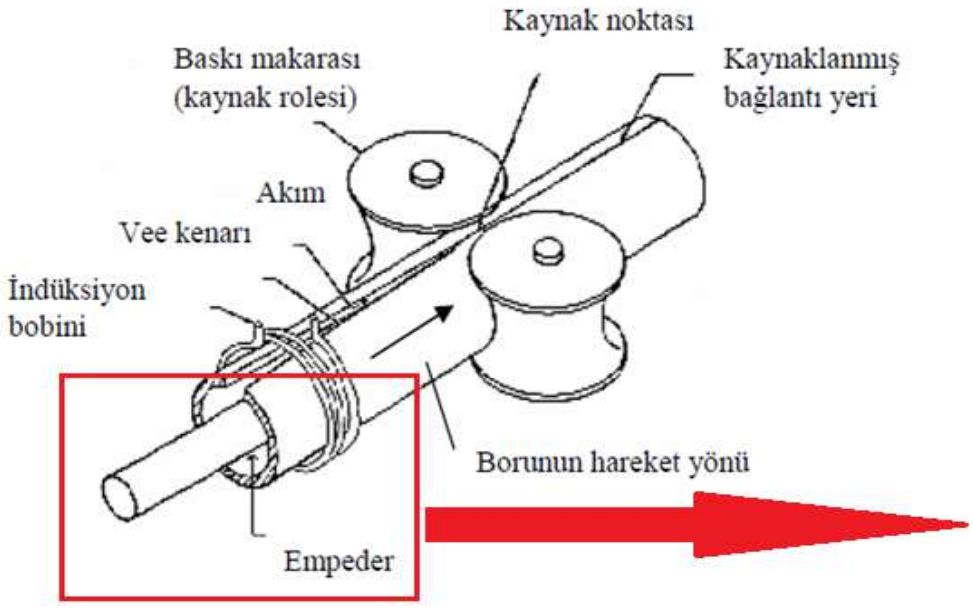
Elektriksel direnç kaynağı işleminde yüksek frekanslı akım ile uygulanabilir indüksiyonla (HFIW) veya kayan kontaklarla malzeme (HFERW – Yüksek Frekanslı Elektrik Direnç Kaynağı)kullanılmaktadır. Burada HF kısaltması bunu temsil etmek için kullanılır genel bir süreçtir [10]. Oluşum ayırma bölgesinin metalin çıkarılmasına karşılık gelir, yüzeylere uygulanan elektromanyetik basınçla kaynaşmış akımın yönlerde geçişi nedeniyle kaynak yapmak karşıtlar [12, 13,14].



Şekil 2.10 Boru Kaynak Prosesi [10].

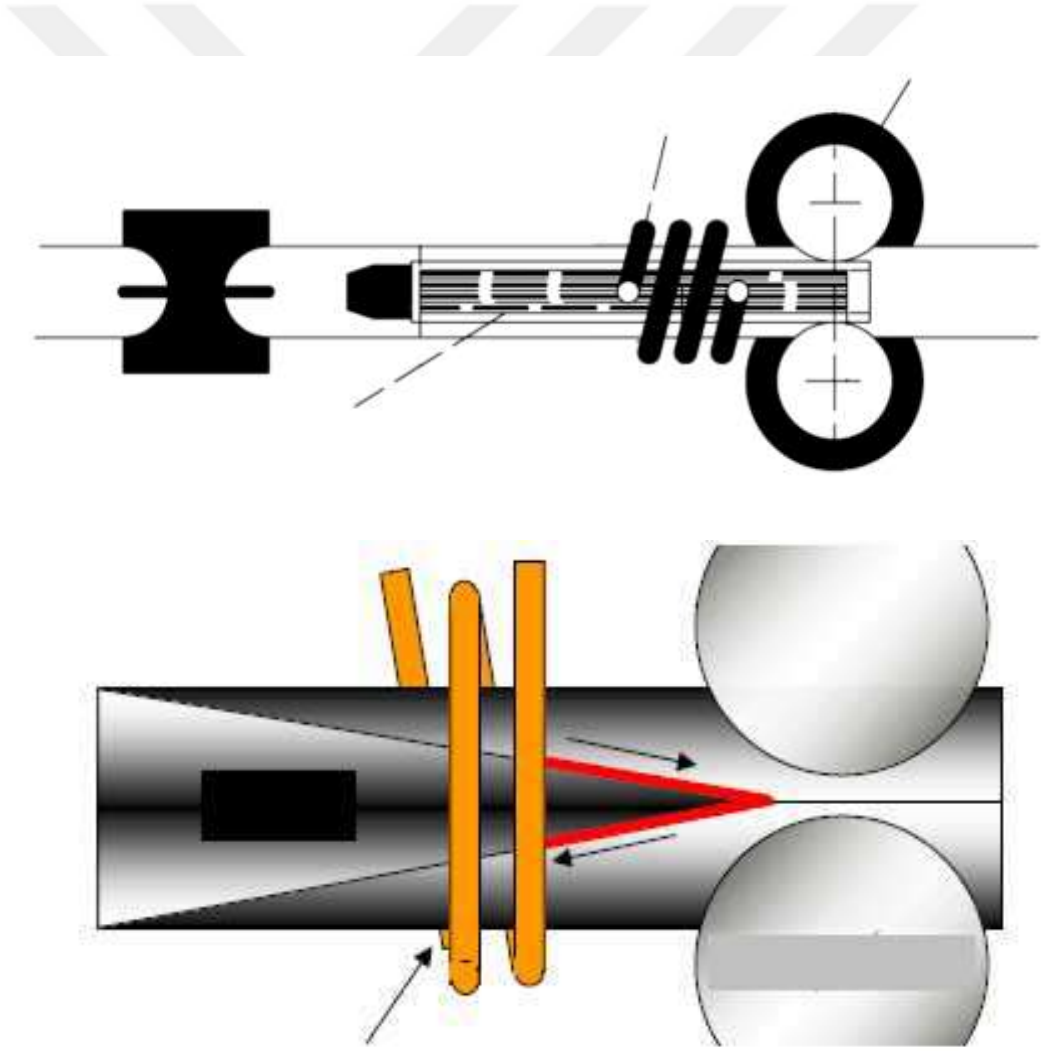
Yüksek frekans kaynağı yönteminin temel prensibi Lenz Kanunu ve joule etkisine dayanmaktadır, farklı özelliklere sahip malzemelerin bir araya getirilmesi/kaynaklanmasında kullanılan birleştirme yöntemidir [12, 16]. Yüksek frekans kaynak yönteminde kullanılan makineleri ise yaklaşık olarak 50 kW – 2000 kW aralığında güce sahiplerdir. Bu makineler düşük güç üniteleri için 800 kHz gibi değerlerde yüksek ve maksimum seviyede 100 – 400 kHz frekans seviyelerinde

dikiş yapabilme kabiliyetine sahiptiler. [13]. Kaynak işlemi gerçekleşirken, kaynak indüktörü ile bir akım oluşur. Oluşturulan bu akımın etkisinde kalan bölgede ise elektromanyetik alan meydana oluşmaktadır. Sac üretim sırasında makinelerden geçerek önce "C" formu daha sonrasında ise "O" formu verilir. İndüksiyon bobini içerisinden geçirilen "O " formu verilmiş sacın içinde bulunarak empeder mevcuttur. Empeder, bu alana direnç göstermektedir. Empeder böylece direnç nedeniyle ısınır. Gerçekleşen ısınmaya "joule etkisi" olarak adlandırılır. Empederin oluşturmuş olduğu ısıya bağlı olarak sacın kenar kısımlarında çelik ergir. Buna bağlı olarak sac ergir. Ergiyen sac ise kenar bölgesine baskı makaraları (kaynak roleleri) ile bir baskı uygulanır böylece sacın birleşmesi sağlanmış olur [15]. Sonuçta, kaynak işlemi tamamlanmış olur. Kullanılan bu yöntemle, bant kenarlarındaki basınç ve aynı zaman da ısının etkisiyle herhangi bir ekstra tel ya da elektrot kullanılmadan birleştirme işlemi gerçekleşmiş olur. Aşağıda yüksek frekans kaynak yönteminde boru üretimindeki şematik resim görülmektedir. Aşağıdaki görselde sac malzemenin boru formuna gelmiş ve bu halinin yüksek frekans kaynağı yöntemiyle kaynaklanmasındaki "Vee" kaynak üçgeni olarak adlandırılan kısım yer almaktadır. Yüzey, yakınlık ve uzaklık sebebiyle yüksek frekansın akımı, sacın yanak denilen kısımları boyunca devam etmektedir ve bu bölgelerde toplanmaktadır. Bu yöntem sayesinde, yüzeylerde ergime meydana gelir ve makaraların baskısı yardımıyla kaynak işlemiyle birleştirme gerçekleşmiş olur [12, 13].



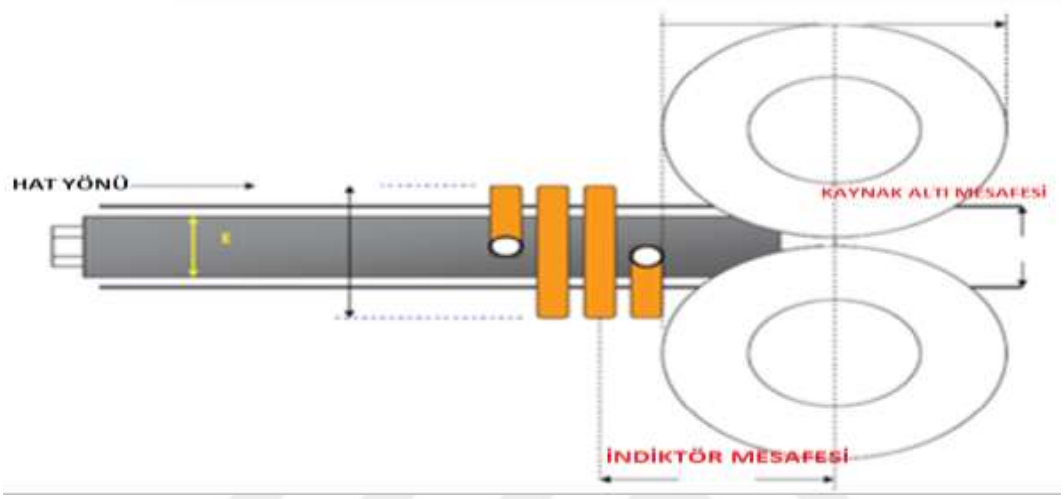
Şekil 2.11 HFW yönteminin şekli yer almaktadır [16].

Yüksek frekans kaynak yönteminde kullanılan empeder önemli bir yere sahiptir. Bu parçanın görevi ise, profilin arka kısmında yüksek frekans meydana gelmektedir ve empeder bu akımı azaltmayı sağlar buna bağlı olarak ısıyı Vee içine yoğunlaştırır diyebiliriz. Bu yöntemde kullanılan empederin görevi oldukça önemlidir. Bu parça yeterince soğutulmazsa ferrit aşırı ısınır. Empeder akımı ve buna bağlı olarak ısıyı, borunun kaynak rölesindeki yanak kısımlarına yoğunlaşması sağlanır. Bu kaynak yönteminde en az güç kullanılarak borunun fazla miktarda ısınmasına engel olunur. Bu işlem sırasında eğer empeder olmazsa ısı aynı zamanda da akım borunun çevresine yayılır. Bunun sonucunda kaynak işleminin gerçekleşmesi için fazla miktarda güç harcanarak normalden fazla olarak Manganlı borunun bütün gövdesinin ısınmasına neden olmaktadır [12].



Şekil 2.12 Empederin ve kontakların şekli ve yerleşimi [16, 17].

Şekil 2.13'de Yüksek frekans kaynağında parametrelerin gösterimi yer almaktadır. Şekil incelendiğinde kaynak altı mesafesi ve indüktör mesafesinin konumu görülmektedir. Baskı rolelerinin merkezinden indüktöre kadar olan olan kısım indüktör mesafesi, baskı roleleri arasındaki mesafeye ise kaynak altı mesafesi denilmektedir. Görselde detaylı olarak bölgeler gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Yüksek frekans kaynağında parametrelerin gösterimidir.

2.6 Yüksek Frekans Kaynağı Avantajları

Günümüzde, boruların üretiminde kullanılan Yüksek Frekans Kaynağı yönteminin avantajlarını aşağıda maddeler halinde yer almaktadır.

(a) Yüksek hız seviyesinde kaynak dikişi elde edilmesi mümkündür bu nedenle seri imalatta kullanılmaktadır. Bu nedenle tercih edilmektedir.

(b) 5 - 323 mm çap aralığındaki boru kaynaklanmasına olanak sağlamaktadır. Bu da geniş skala da çalışılmasına olanak sağlamaktadır.

(c) Farklı özelliklere sahip çeliğin kaynaklı birleştirilmesi bu yöntem ile gerçekleştirilebilir.

(d) Malzemenin kaynak kalitesinin sağlanması için herhangi bir koruyucu atmosfere ihtiyaç duyulmamaktadır.

(e) Ek bir malzemeye (tel, elektrot vs.) birleştirme işleminde esnasında gerek duyulmamaktadır.

(f) Kaynak işlemi esnasında yüzeyde yer alan oksitlerde parçalanma meydana gelir, bu nedenle kaynak kalitesi yüksektir.

(g) İnsan sağlığına zararlı herhangi bir kimyasal ya da gaz oluşmamaktadır.

(h) Kullanılan yöntemin otomatik bir şekilde çalışabilmektedir.

(ı) Bu tekniğin kullanımı sadece çelikle sınırlı olmadığından farklı malzemelerde de örneğin alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler vs. kullanımı söz konusudur.

(i) Ekstra maliyete neden olan yüzey işlemlerine gereksinim kalmamaktadır. Kumlama vs. işlemlerin uygulanmasına gerek yoktur.

(j) Hurda miktarı oldukça düşüktür.

(k) Kullanılan teknolojiye bağlı olarak kullanılan ekipmanların değişimi daha az sıklıkla gerçekleşmektedir [17].

2.7 Yüksek Frekans Kaynağı Dezavantajları

Yüksek Frekans Kaynağı yönteminin dezavantajlarını aşağıda maddeler halinde yer almaktadır.

a) Bu yöntemin bir dezavantajı ise, yüksek kaynak hızlarına elverişlidir. Bu nedenle de düşük hızlarda tercih edilmemektedir.

(b) Bu yöntemde, tamir, onarım işlemlerinde kullanılmasına uygun değildir.

(c) Kullanılan frekans kaynağı yöntemi sürekli devam eden bir sistem olduğundan bu işlem sırasında kaynağın durup tekrar başlatılması gibi bir durum söz konusu değildir. Kaynak işleminin durdurulup tekrar başlatılması durumunda dikişte süreklilik bulunamayacağından malzemenin dikişinde hata oluşma riski bulunmaktadır [17]

3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Manganlı borular üretilirken iki ayrı üretim parametresi değiştirilerek uygun parametreler belirlenmiştir. Bu değişkenlerden bir tanesi indüktör mesafesi iken bir diğeri ise kaynak altı mesafesidir. Her parametrenin kontrolü için üçer adet numune üretimi yapılmıştır. Seçilen alaşımlı çelik türü 26MnB5 kalitesindeki çeliktir. Bu numunelerin üretimi esnasında parametrelerin sahip olduğu değerler değiştirilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. Kimyasal analizleri spektrometre ile yapılmıştır. Numunelerin kimyasal analizleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Bu verilerde elementlerin max. değerleri yer almaktadır.

Tablo 3.1 Numunelere ait SAE 26MnB5 kompozisyonu.

SEMBOL	%C	%Si	%Mn	%P	%Cr	%S	%Al	%Ca	%B (ppm)
26MnB5	0.250	0,02	1,22	0.014	0. 155	0.005	0.036	0.002	30

3.1 Numune Üretimi

Numune üretiminin gerçekleşmesi için 6 adet 26MnB5 sac önce dilinmiş daha sonrasında uç kaynak gazı(argon kaynağı) yöntemiyle sacların birbirine bağlanması sağlanmıştır. Saclara önce “C” formu daha sonrada “O” formu verilmiştir. Fon grubu kısmında Yüksek Frekans Kağnağı parametreleri belirlenmiştir. Daha sonrasında çapak alma işlemi gerçekleşmiştir. Yüksek Frekans Kaynağı yöntemi ile 26MnB5 kalitedeki boruların numune üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve elde edilen numuneler üzerinde hem mikroyapı özellikleri hemde mekanik özellikleri incelenmiştir. Üretim sırasında, güç, akım, malzeme kalitesi ve ölçüsü, baskı kuvveti, sıcaklık, Vee mesafesi gibi sabit parametreler; kaynak altı mesafesi ve indüktör mesafesi gibi değişken parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 38 mm dış çap, 5,00 mm et kalınlığındaki 26MnB5 boruları üzerinde çalışılarak diğer et kalınlıkları ve dış çaplara da referans olması hedeflenmiştir. Bu çalışma sırasında 6 adet numune üzerinde çalışılmıştır.

3.2 Üretim Parametreleri

Numune üretimi için kaynak işlemi esnasında elde edilen altı adet numuneye ait parametre değerleri kaynak altı mesafesi ve indüktör mesafesi aşağıda yer almaktadır. Bu parametreler dışındaki parametreler üretim sırasında sabit tutulmuştur.

Tablo 3.2 Belirlenen parametrelere göre numune üretimi verileri.

NUMUNE	KAYNAK ALTI MESAFESİ (mm)	İNDÜKTÖR MESAFESİ (mm)
1	3,6	125
2	3,8	125
3	4	125
4	3,6	100
5	3,6	140
6	3,6	150

3.3 Numune Hazırlama

Metalurjik optik mikroskop (OM) görüntü incelemesi yapılmak üzere numuneler bakalite alınmıştır. Sırası ile 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000 ve 2500 no'lu zımpara kağıtları ile zımparalama işlemleri gerçekleştirildikten sonra sonra numuneler çuha ve elmas süspansiyon kullanılarak parlatılmıştır. Numuneler parlatıldıktan sonra nitrikasit-etanol ile dağlanmıştır. Şekil 3.1 numunelere ait görseller yer almaktadır.



Şekil 3.1 Numunelere ait görseller.

Şekil 3.2’ de bakalite alınan numuneler görseli ve Şekil 3.3’ de çalışılan optik mikroskobuna ait görsel yer almaktadır. Hazırlanan numuneler mikroskop ile 1,25x, 2,5x, 5x ve 10x büyütme ile incelenmiştir.



Şekil 3.2 Bakalite alınan numuneler.



Şekil 3.3 Optik mikroskop ait görseldir.

3.4 Mikroyapı Çalışmaları

Mikroyapı çalışmaları için hazırlanan boru numunelerin yüzeylerinin tamamen düzgün olması gerekmektedir. Bu nedenle numunelerde kesme esnasında oluşan deformasyonun giderilmesi amacıyla zımparalama ve parlatma yapılmıştır. Mikroyapı incelemelerinin, metalurjik optik mikroskop incelemelerinin ardından

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS analizi yapılacağından dağlama işlemi de gerçekleştirilmiştir. Metalurjik optik mikroskop (OM) görüntü incelemesi yapılmak üzere numuneler sıcak bakalite alınmıştır. Sıcak bakalit ile önce karışım hazırlanmış daha sonrasında numuneler bakalit içerisinde oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Sırası ile 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000 ve 2500 no'lu zımpara kağıtları ile zımparalama işlemleri gerçekleştirildikten sonra sonra numuneler çuha ve elmas süspansiyon kullanılarak parlatılmıştır. Numuneler parlatıldıktan sonra nitrikasit-etanol ile dağlanmıştır.



Şekil 3.4 Parlatma cihazı görselidir.

Zımparalama işleminin ardından yapılan parlatma işleminde, yine METKON GRIPO-2 cihazı kullanılmıştır. Parlatma işleminde çuha kullanılmıştır. Numune hazırlama işlemi tamamlandıktan sonra bakalitler kırılarak mikroskop ile inceleme yapılmaya hazır duruma gelmiştir. Optik mikroskop incelendikten sonra daha detaylı şekilde mikroyapı incelenmesinin yapılması amacıyla SEM'de EDS analizleri de yapılmıştır.

3.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM analizinin gerçekleşebilmesi için farklı parametrelerde üretimini gerçekleştirdiğimiz altı adet numunenin yüzeyi ilgili analiz için hazırlandı. SEM analizi veya SEM olarak da tanınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemi

pek çok alanda kullanılmaktadır [20]. Etkili olarak kabul edilebilir nanometreden mikrometreye (µm) ölçekte organik ve inorganik malzemelerin analizinde kullanılan yöntemdir Enerji Dağıtıcı X-ışını Spektroskopi (EDS), kalitatif ve yarı kantitatif sonuçlar sağlamak için SEM ile birlikte çalışır. [21,22]. Optik mikroskop ile yapılan incelemeler sonucunda malzemenin yapısı ve kaynak akışının daha detaylı olarak incelenmesi için Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarlarında SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Numunelerin yüzeyi SEM ve EDS analizleri için hazırlanmıştır. Numune yüksekliği 5mm olarak tel erozyon ile kesilmiştir. Daha sonrasında yüzeyler metalografik olarak hazırlanmıştır. EDS analizinde üç numune üzerinde çalışılmıştır. SEM analizinde 2500x ve 5000x'te inceleme yapılmış ve bu inceleme sonucunda SEM görüntüleri elde edilmiştir.

3.6 X-Işını Difraksiyonu (XRD)

Numunelerin yüzeyi XRD için hazırlanmıştır. Numune yüksekliği 3mm olarak tel erozyon ile kesilmiştir. Farklı kaynak altı çıkış çapı ve indüktör mesafesi kaynak parametreleri ile üretilen numunelerde kaynak işlemi sonrasında oluşan fazların belirlenmesi için 3.6 X-Işını Difraksiyonu analizi yapılmıştır. Numunelerin incelenmesinde "Empyrean MultiCore" cihazı kullanılmıştır. Numunelerden X-ışını paternleri verilerine ulaşılabilmesi için 40 mA, 45 kV akım değerinde (voltaj/akım) Cu-Kα ışıması kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan XRD cihazı Şekil 3.5' te yer almaktadır.



Şekil 3.5 Empyrean MultiCore görünümüdür.

3.7 Sertlik Testi

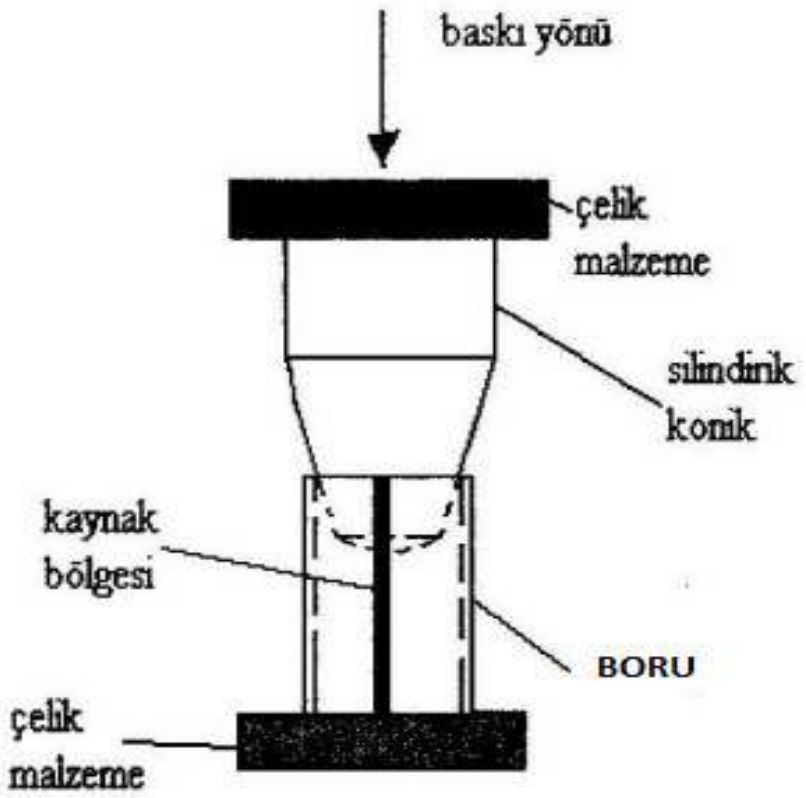
Sertlik, malzemenin yüzeyine batırılan sert bir cisme karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Sertlik ölçümü üç farklı gruba ayrılmaktadır. Brinell, Vickers, Rockwell sertlik ölçme yöntemi olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Boru malzemesinde özellikle de çelik borularda sertlik ölçümleri ise, Vickers sertlik cihazı kullanılarak ilgili ölçüm yöntemleri kullanılarak yapılarak sertlik verilerine ulaşılmaktadır. Elde edilen 26MnB5 numuneleri önceden tel erozyon yardımı ile kesilmiş ve sıcak bakalite alınmıştır. Bu numunelerin yüzeyi ilk olarak zımpara işlemine tabii tutulmuş daha sonrasında parlatılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir numune için 33 adet Vickers sertlik testi verisi elde edilmiştir. Bu veriler alt alta 3 sıra şeklinde bir sırada 11 adetten haritalama metodu yardımıyla sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Bu çalışmada deneysel hataların en aza indirgenmesi için her bir numuneden 11 ölçüm değeri alınarak alınan ölçüm değerlerinin istatistiksel ortalaması elde edilmiştir. Her bir numuneye 140µm aralıklar ile 2 saniye aralıklarla Vickers sertlik testi yapılmıştır. Ağırlık olarak HV10 kullanılmıştır. Şekil 3.6'da çalışmada kullanılan Vickers Sertlik Testi Cihazı yer almaktadır.



Şekil 3.6 Vickers Sertlik Testi Cihazı.

3.8 Genişletme Testi

Elde edilen numunelerde genişletme testi, metal boruların şekillendirilmesiyle, çelik borularda oluşabilecek hataların varlığının saptanabilmesi için belirli açılarda koni şeklindeki malzemeler yardımıyla genişletilerek kaynak bölgesinde bir açılma veya çatlak olup olmadığının tespitinin sağlanması için yapılmıştır. Bu testte muayene, örneğin boruda bir çatlak oluşmuşsa bu çatlağın miktarının borunun dış çapına oranlanması ile hata yüzdesi elde edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.7' de bu düzeneğe ait görsel yer almaktadır.



Şekil 3.7 Genişletme/Ağız Açma Düzeneğidir [18].

Farklı parametreler ile üretimi gerçekleşen altı boru öncelikle testere yardımı ile kesilip ilgili testin gerçekleştirilebilmesi için uygun boyuta getirilmiştir. Daha sonrasında farklı kaynak altı ve indüktör mesafesi ile üretilen bu numuneler, boruların ağız açma testinde belirlenen standartta boruların uç kısmından belirli bir uzaklıkta kesilen deney numunelerinin konik bir mandren de (konik açısı 60 derece) boyuna doğrultusunda standartta belirtilen oranlarda basılarak boru ağzının genişletilmesi sağlanmıştır. Uygulanan kuvvet 100 MPa civarındadır. Elde edilen

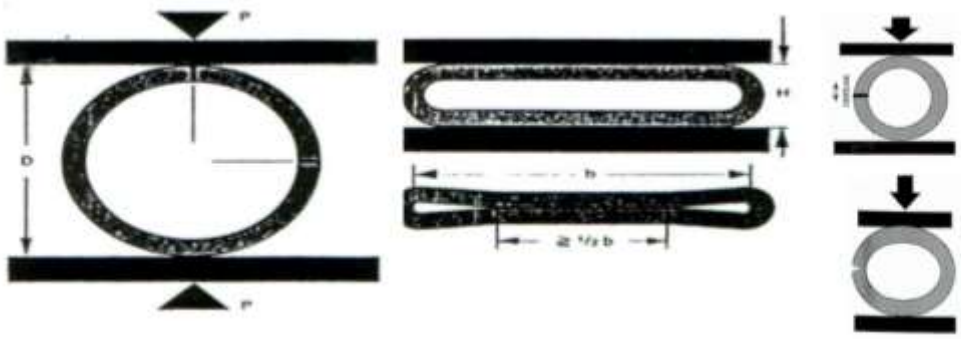
sonuçlara bağlı olarak Borunun test öncesindeki dış çapından genişletme testi sonrasında oluşan çatlağın uzunluğu hesaplanarak %hata tespiti verileri elde edilmiştir. Şekil 3.8' de genişletme/ağız açma deneyinde kullanılan 26MnB5 kalitedeki boruların (38,00mmx5,00mm) deney sırasındaki görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.8 26MnB5 borulara ait Genişletme/ağız açma testi uygulanması ve uygulama sonrası borunun görselidir.

3.9 Yassıltma Testi

Üretilen boruların kaynak bölgesindeki hataların varlığının test edilmesi için çeşitli testler uygulanmaktadır. Bu testlerden bir tanesi de yassıltma testidir. Üretilen borular uygun boy için testere yardımıyla kesilmiştir.



Şekil 3.9 Borulardaki yassıltma testinin gösterimi [19].

Yassıltma testinde ise üretilen borunun düz bir zemin üzerine yerleştirilip sonrasında düz zemin üzerine yerleştirilen borunun üzerine uygulanan kuvvet sonucunda malzemenin çıplak göz ile kontrol edilmiştir. Bu testin çalışma prensibini anlatan şematik görsel aşağıda yer almaktadır [19]. Yassıltma deneyi numuneleri sırasıyla MS/3,6/125, MS/3,8/125, MS/4.0/125, MS/3,6/100, MS/3,6/140, MS/3,6/150 parametre değerleri olan numunelere uygulanmıştır. Aşağıda farklı parametreler kullanılarak üretilen numune boruların yassıltma testine ait test düzeneği ve görseline yer verilmektedir. Bu test sonucunda boruların yüzeyinde herhangi bir çatlak ya da deformasyon oluşup/oluşmama durumu kontrol edilmiştir. Borunun zemin üzerine konumlandırılmasında boruda bulunan kaynak dikişinin olduğu yüzeyin yan tarafta kalmasına önemli bir detaydır. Tüm numunelere bu test uygulanarak baskı kuvvetinin yan yüzeylerinde herhangi bir hasar ya da çatlak oluşumu gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmiştir.



Şekil 3.10 Farklı parametreler kullanılarak üretilen borulardaki yassıltma testinin görselidir.

4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tezin amacı, Manganlı çelik borularda kaynak parametrelerinin kaynak akışına, mikroyapıya ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılmasıdır. Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için 26MnB5 tercih edilmiştir. Bu çalışmanın verileri ile diğer manganlı borularında (30MnB5, 34MnB5 gibi) kaynak parametrelerinin belirlenmesinde önemli ölçüde rol oynacağı düşünülmektedir. Uygulanan deneysel çalışmalar ve mikroyapı incelemeleri sonucunda, malzemenin özellikleri hem mekanik hem de mikro açılardan incelenmiştir. Bu bölümde bu tez çalışmasının bulguları sunulmaktadır.

Literatür araştırması sonucunda yapılmış hem Türkçe hemde İngilizce olarak yayınlanan literatürün kapsamlı inceleme sonucunda teze genel bir bakış aktarılmaktadır. Literatür incelemesi sonucunda birçok bilgi eksikliği tespit edilmiştir. Yapılan literatür araştırması sonucunda birçok malzemenin ve çelik boruların araştırma gerçekleşmiştir ancak Manganlı borularda kaynak parametrelerin araştırılması üzerine çok sınırlı sayıda araştırma yapılmış aynı zamanda 26MnB5 üzerine çalışma yapılmadığına saptanmıştır. Borularda kaynak akışına, kaynak parametrelerinin etkisini en doğru şekilde anlaşılması için muhakkak mekanik testler ve mikro yapı incelemesi yapılması gerekmektedir.

Yapılan bu çalışma sonucunda boru olarak alaşımlı çelik olan 26MnB5 çelik seçildi ve kaynak parametreleri olarak kaynak altı çıkış mesafesi ve indüktör mesafesi değiştirilerek diğer parametreler sabit tutuldu. Bunun sonucunda altı adet numune elde edildi.

Elde edilen numuneler ise belirli mekanik testler ve mikroyapı incelemeleri tabii tutuldu. Bu incelemeler: optik mikroskobu, sertlik testi, genişletme testi, yassıltma testi, XRD , Sem ve EDS analizinden oluşmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda mikro yapısının esas olarak ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, deneysel çalışmalar ve mekanik testler ile Mn içerikli borularda kaynak parametreleri detaylı şekilde incelenmiştir. Literatür araştırmasında daha

önceden çelik profillerin mekanik özellikleri, 20MnB4 ün soğuma hızının tufal yapıya etkisi, Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı ile üretilen borularda kaynak zayıflığı incelenmiştir.

4.1 Manganlı Boruların Yüzeysel Görüntüsü

Manganlı borular üretimi sırasında kaynak altı çıkış çapı, kaynak akımı, baskı kuvveti (baskı makarasındaki), hammadde özellikleri, vee mesafesi, role ayarları, empeder konumu, empeder çapı gibi birçok kaynak parametresine bağlı olarak üretimi gerçekleşmektedir. Bu çalışmada 26MnB5 malzemesi üzerine çalışılmış farklı bir çalışmada 20MnB4 özel alaşımlı çelik tel çubukların farklı serme kafa sıcaklıkları ve soğuma hızları ile üretimi yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Bir başka benzer çalışmada ise yüksek frekanslı indüksiyon kaynağıyla üretilen boruların malzemelerin kaynak zayıflığını hakkında bir çalışma yapılmıştır. Belirtilen kaynak parametrelerinde farklılıklar olduğunda ya da uygun kaynak parametreleri seçilmediğinde üretilen borularda bazen gözle görülen bazen de gözle görülmeyen hataların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle kaynak işlemi sırasında birleşme probleminin saptanmasının sağlanması amacıyla mikro yapısının incelemesi ve mekanik testlerin yapılması gerekmektedir. Yapılan testler sonucunda daha doğru verilere ulaşılacağı düşünülmektedir. Bu nedenle deneysel çalışmalar, ilgili çalışma için yapılarak kaynak bölgesinde bulunan kaynak parametresiyle kaynak parametrelerinin kaynak akışına, mikroyapıya ve mekanik özelliklere etkisinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Şekil 4.1'de Manganlı Borunun profil görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.1 Manganlı Borunun profil görüntüsü.

Uygun olamayan parametrelerin tercih edilmesi sonucunda ortaya kaynak birleşme noktalarında bazı hatalar ortaya çıkmaktadır. Bunlardan en çok rastlanılanı ise kaynak bölgesindeki boşluklar yani kaynaksızlıktır. Bu muayeneler ilk aşamada göz ile tespit edilmektedir. Aşağıdaki yapılan çalışmaya ait uygun olmayan parametre seçimi nedeniyle oluşmuş olan boruda meydana gelmiş olan kaynak boşluğuna ait görsel yer almaktadır. Literatürde kutu profillerin yüzeysel görüntüleri incelenerek değerlenmiştir. Bu çalışmada ise Manganlı borular üzerinde çalışılmıştır.



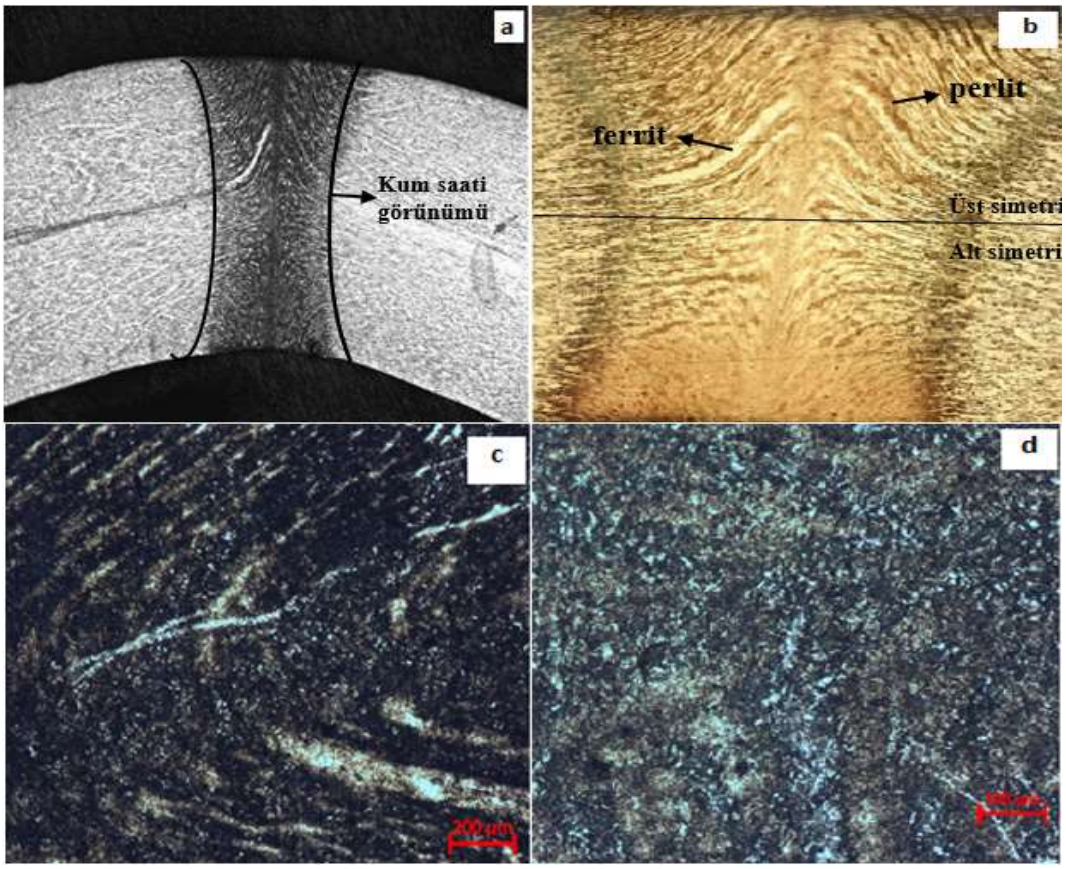
Şekil 4.2 Kaynak dikişinde boşluklar olan borudan görüntüsüdür.

4.2 Mikroyapı Analizi

4.2.1 Optik Mikroskop İncelemeleri

Yüksek Frekans Kaynağı ile dikişlenmiş 26MnB5 borusunda gerçekleşen yöntem hataları ve mikro çatlak oluşumu, karbon difüzyonu kaynak öncesinde malzemenin tane boyutu, tane yönlenmesi, barındırdığı inklüzyon ve safsızlık miktarları ile doğrudan ilişkili olduğundan anilizin gerçekleşmesi için numune alımı ve optik mikroskop incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Metalurjik optik mikroskop (OM) görüntü incelemesi yapılmak üzere numuneler bakalite alınmıştır. Sırası ile 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000 ve 2500 no'lu zımpara kağıtları ile zımparalama işlemleri gerçekleştirildikten sonra sonra numuneler çuha ve elmas süspansiyon kullanılarak parlatılmıştır. Numuneler parlatıldıktan sonra nitrikasit-etanol ile

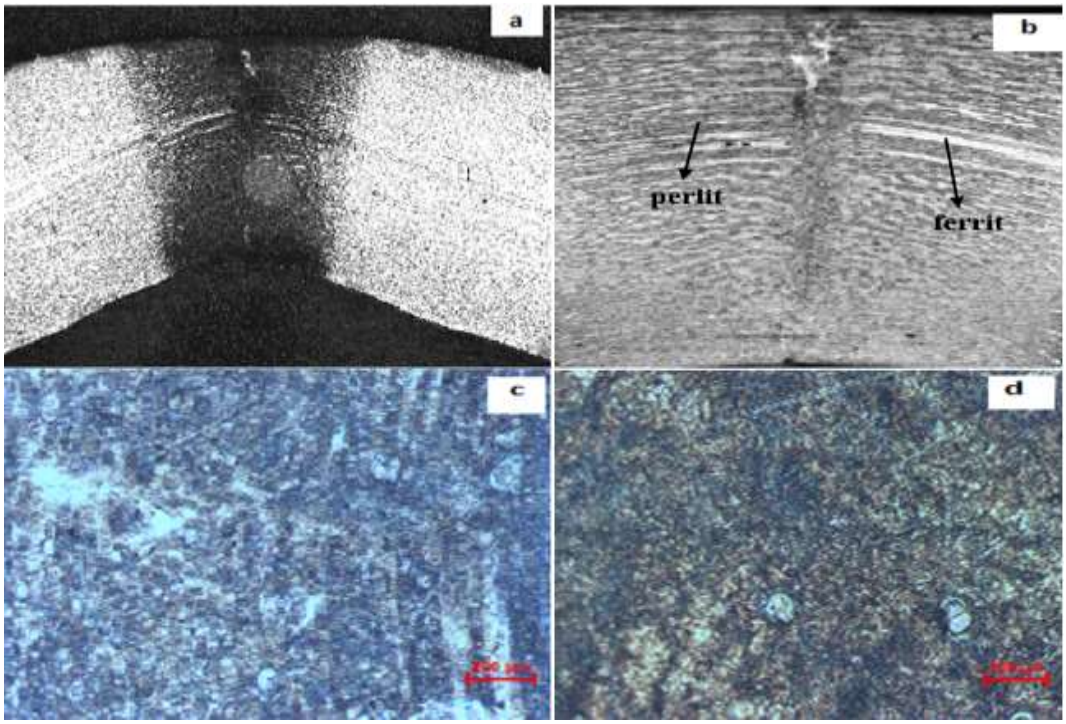
dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin optik miktroskopta 1,25x, 2,5x, 5x, 10x, büyütmelerde görüntüleri alınmıştır Şekil 4.3'te 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait 1,25x, 2,5x, 5x, 10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntülerine ait görseller yer almaktadır.



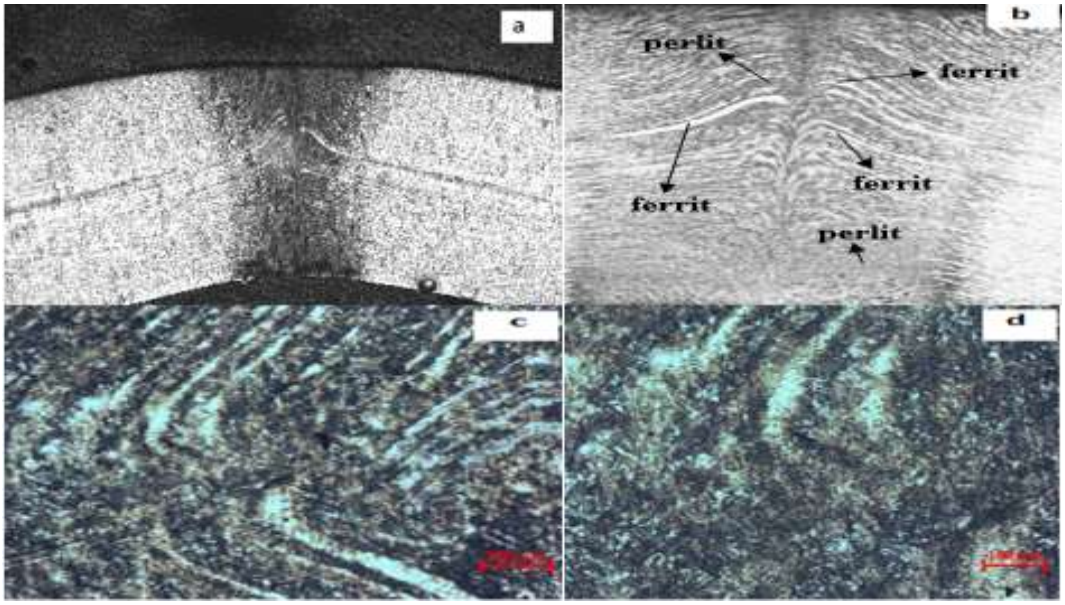
Şekil 4.3 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait a.)1,25x b) 2,5x, c) 5x d) 10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 1, 2 ve 3'te indüktör mesafesi sabit, şekil 4, 5 ve 6'da ise kaynak altı mesafesi sabit numunelerin görüntüleri yer almaktadır. Optik mikroskopta alınan görüntüler eşliğinde mikroyapı analiz çalışmaları devam etmektedir. Şekil 4.4'te ise 3,8 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait 1,25x, 2,5x, 5x ve 10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri yer almaktadır. Kaynak bölgesinde oluşan ısıyla birlikte o bölgedeki karbonlar difüze oluyor yani tepkimeye girerek bu bölgeden uzaklaşıyor. Karbon gibi küçük çaplı atomlar difüze olarak komşu atomlara difüze olabilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda siyah olarakgörülen kısımlar yoğun karbon bölgesi olup perlit yapılardır, beyaz bölgeler ise karbonun uzaklaşması sonrasında oluşan ferritik yapılardır. Karbonun uzaklaşması sonucu ferritik bir yapı oluşmaktadır. Optik mikroskop incelemeleri

sonucunda elde edilen görüntülerde yer alan bu çizgiler sayesinde kaynak birleşmesinin alın alına olup olmadığı, kaynak ısısının tam olarak nüfuz edip etmediği kontrol edilerek bu sayede kaynak ve kaynak akışı hakkında yorum yapılabilmekte eş zamanlı olarak parametrelere bağlı olarak kaynak akışına etkisi incelenebilmektedir.

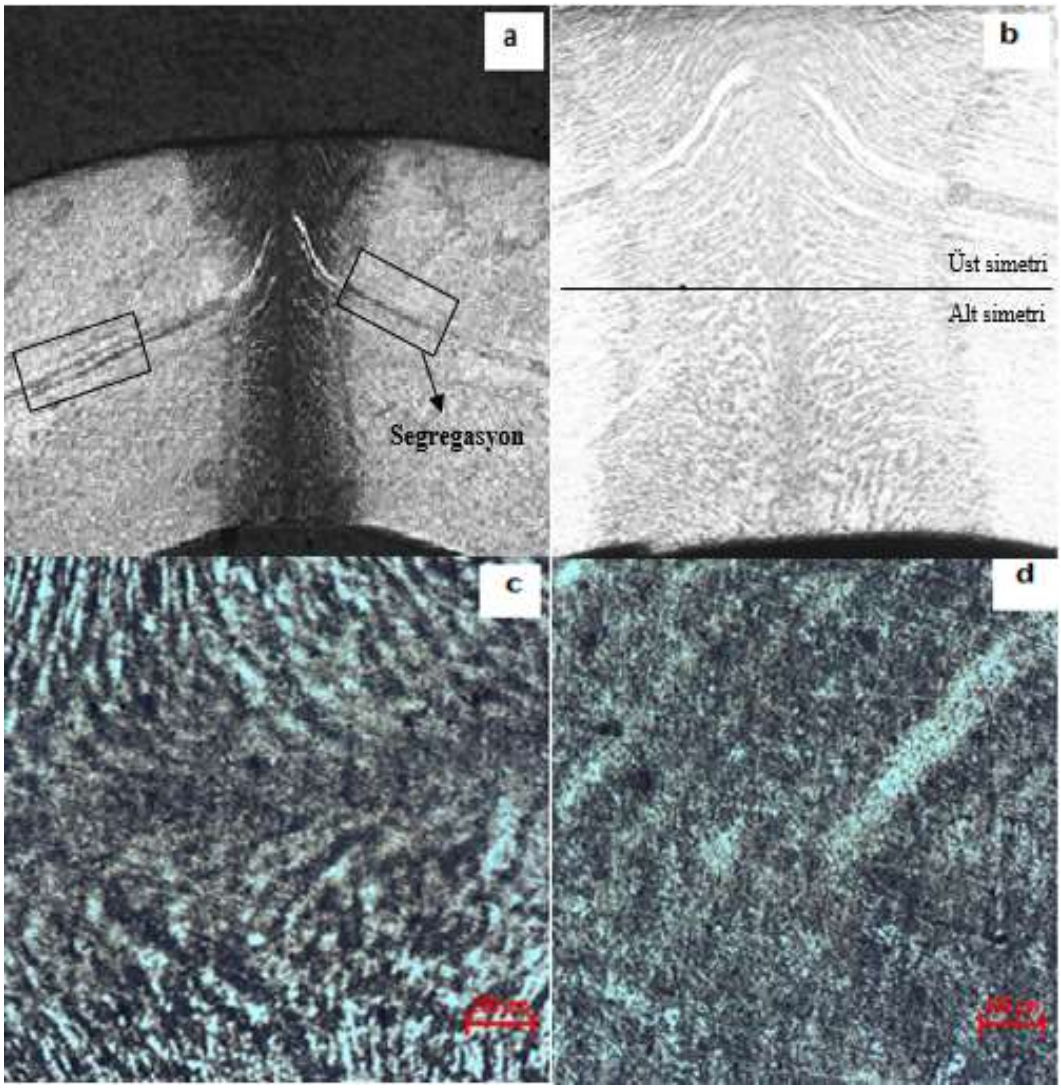


Şekil 4.4 3,8 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait a.)1,25x b) 2,5x c) 5x d) 10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri.



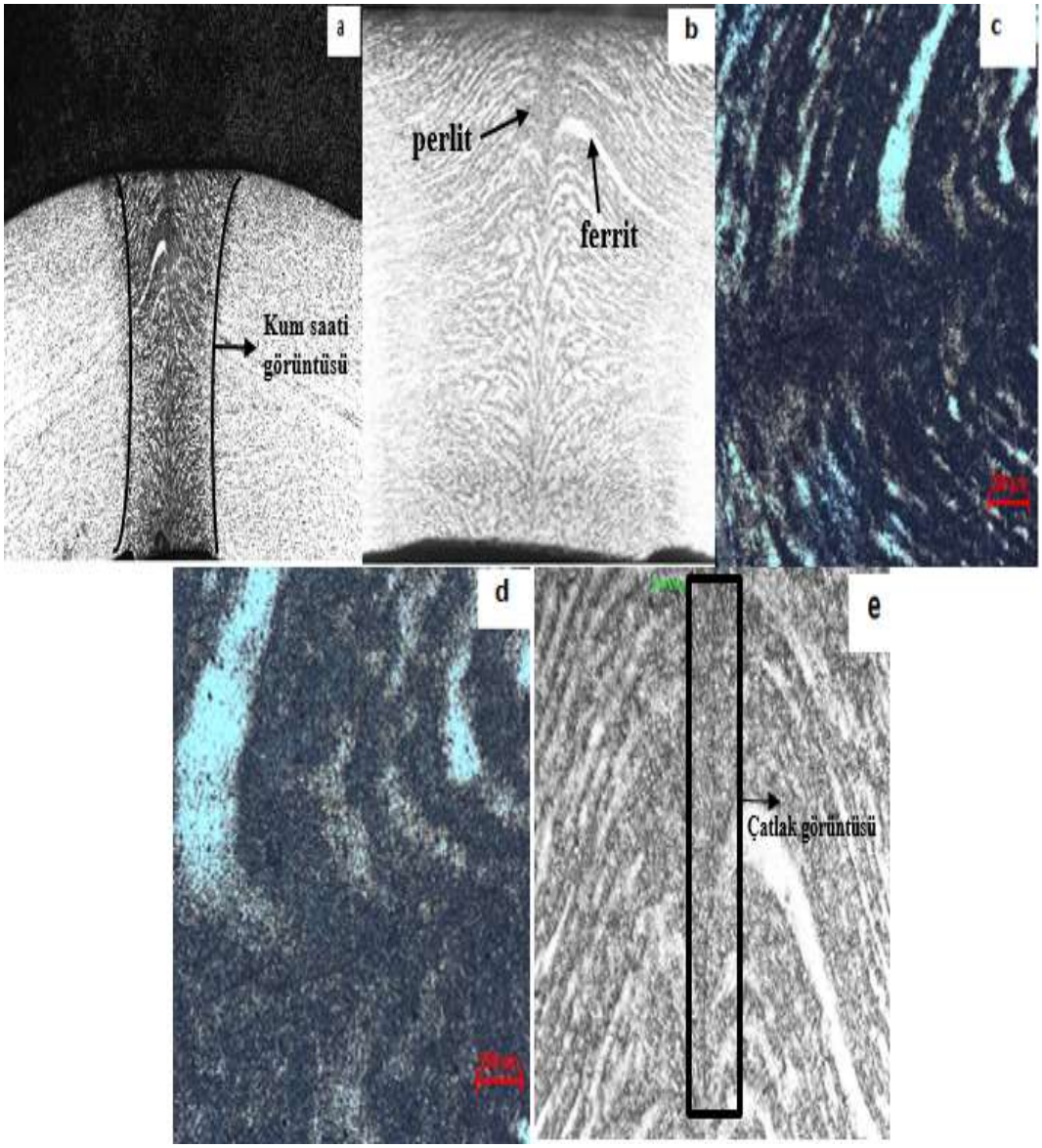
Şekil 4.5 4 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine a.)1,25x b) 2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 4.6 100 mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait 1,25x, 2,5x, 5x ve 10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri yer almaktadır. Bu şekil incelendiğinde Şekil a'da kum saati figürünün tam olarak oluşmadığından alt ve üstte simetrinin oluşmadığı gözlemlenmiştir. 26MnB5 borularında alt ve üst simetrinin oluşumu oldukça önemlidir. Bu oluşumun belirli açılar ile oluşması gerekmektedir. Bu nedenle üretim sonrasında mikroyapı sonuçları incelenerek kontrolü yapılmaktadırŞekil b' de simetrinin oluşmadığı daha net bir şekilde görülmektedir. Özellikle alt bölgede karbon difüzyonunun tam olarak oluşmadığı buna bağlı olarak malzemin iç yapısında kusurlar oluştuğu saptanmıştır. Bu hatalar Şekil 4.6'da üzerinde dikdörtgen içerisine alınarak belirtilmiştir.



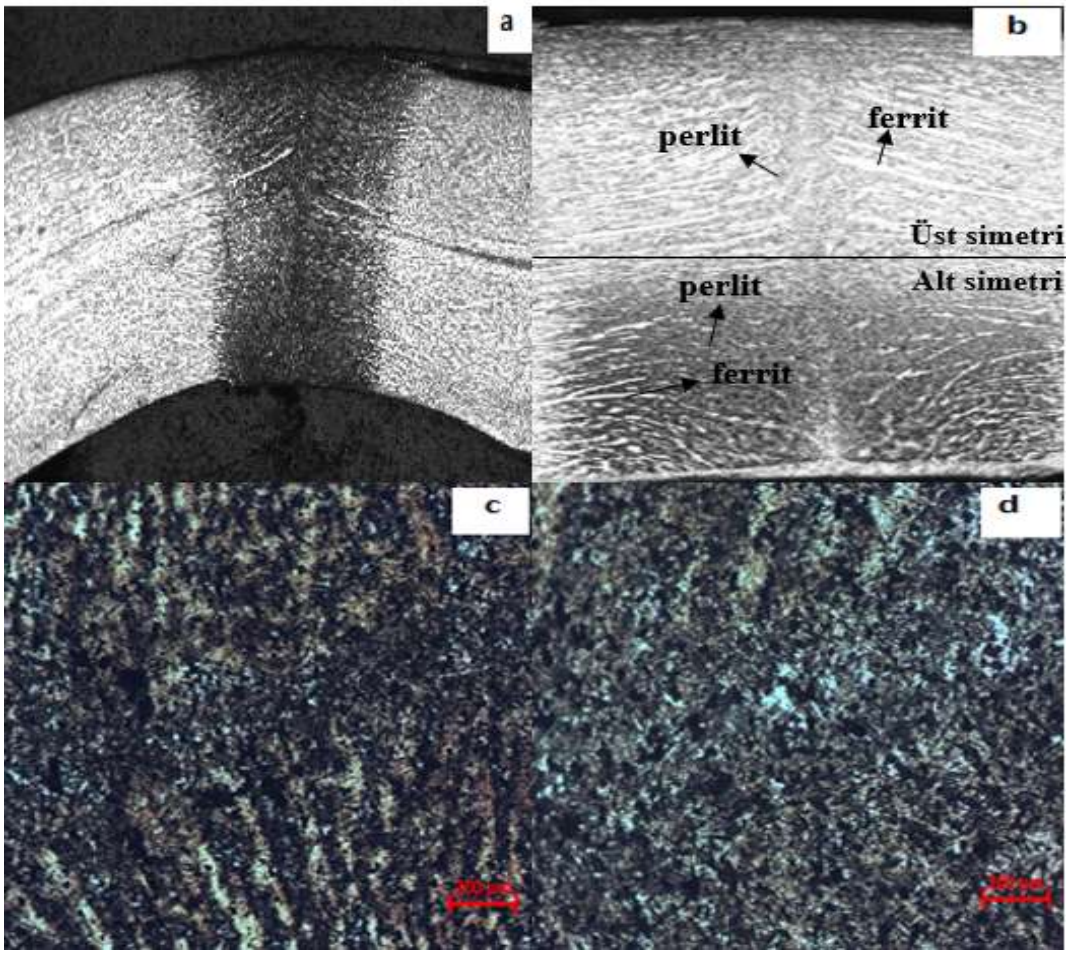
Şekil 4.6 100mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine a.)1,25x b) 2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 4.7’de 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait 1,25x, 2,5x, 5x ve 10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri yer almaktadır. Şekil e’de ise çatlak görünüme ait görsel yer almaktadır. Şekil 4.7’de de kum saati figürü oluşmamıştır. Şekil a’ da oluşan kum saati figürünü andırmakta ancak tam anlamıyla oluşumu sağlanmamaktadır. Şekil b incelendiğinde ise karbon difüzyonlarında süreksizliklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda malzemede çatlak oluşumu söz konusudur. Bu nedenle 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine üretiminde kullanılan parametreler uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.7 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait a)1,25x b) 2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri. e)malzemedeki çatlağa ait görüntüdür.

Şekil 4.8'de 150mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait 1,25x, 2,5x, 5x ve 10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde 150mm indüktör mesafesi ile üretilmiş numunede kum saati figürü oluşmamış ve buna bağlı olarak alt ve üst simetri oluşmamıştır. Malzemede hata görüntüsü şekil üzerinde işaretlenmiştir.

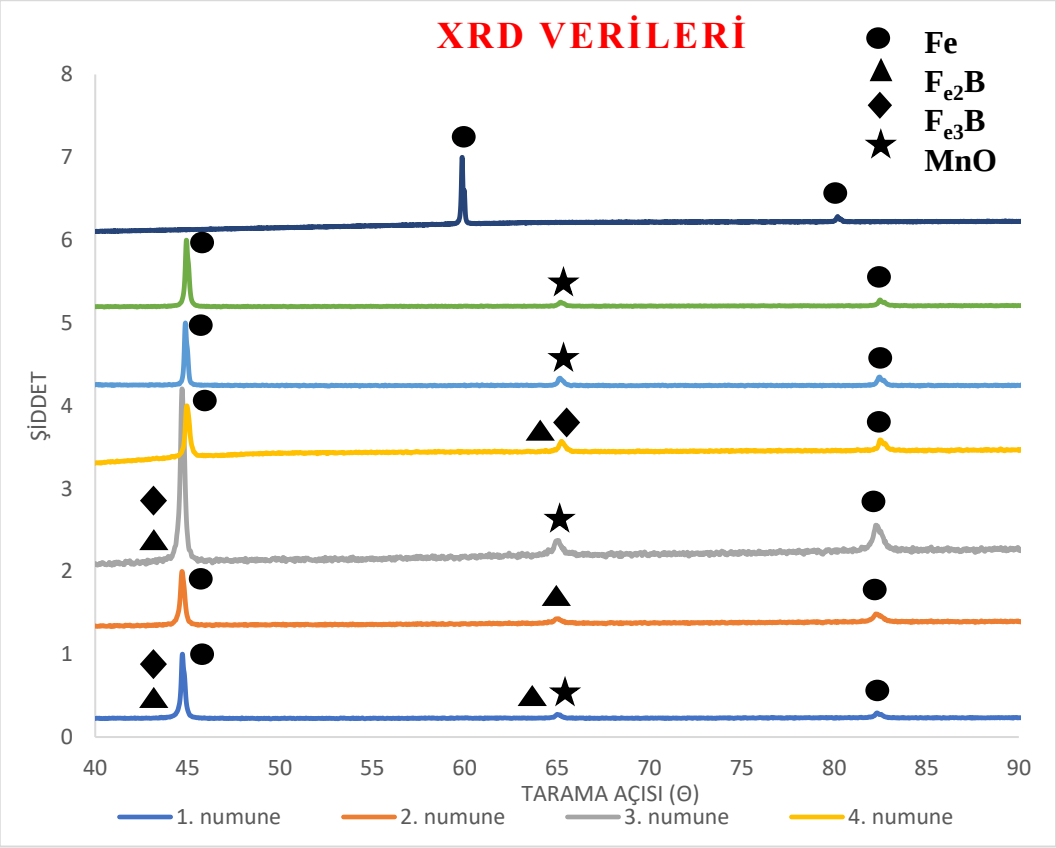


Şekil 4.8 150mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait ait a)1,25x b) 2,5x c)5x d)10x büyütme ile çekilmiş optik mikroskop görüntüleri.

Yapılan optik mikroskop incelemelerine göre tam olarak kum saati oluşumu 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesinde gözlemlenmiştir. Aynı zamanda bu numuneden alt-üst simetri oluşumu söz konusudur. Malzemede herhangi bir hata oluşmamıştır. Baskı rolelerinden kaynaklı C formu şeklinde birbirine simetrik kum saati formatı oluşumu saptanmış, bu yapıların kaynak açılarının 50-70 derecelik açılar arasında olması gerektiği saptanılmıştır. Bu simetri sağlanmazsa yapıda çatlak vb. hatalara rastlanmıştır.

4.2.2 XRD Analizi

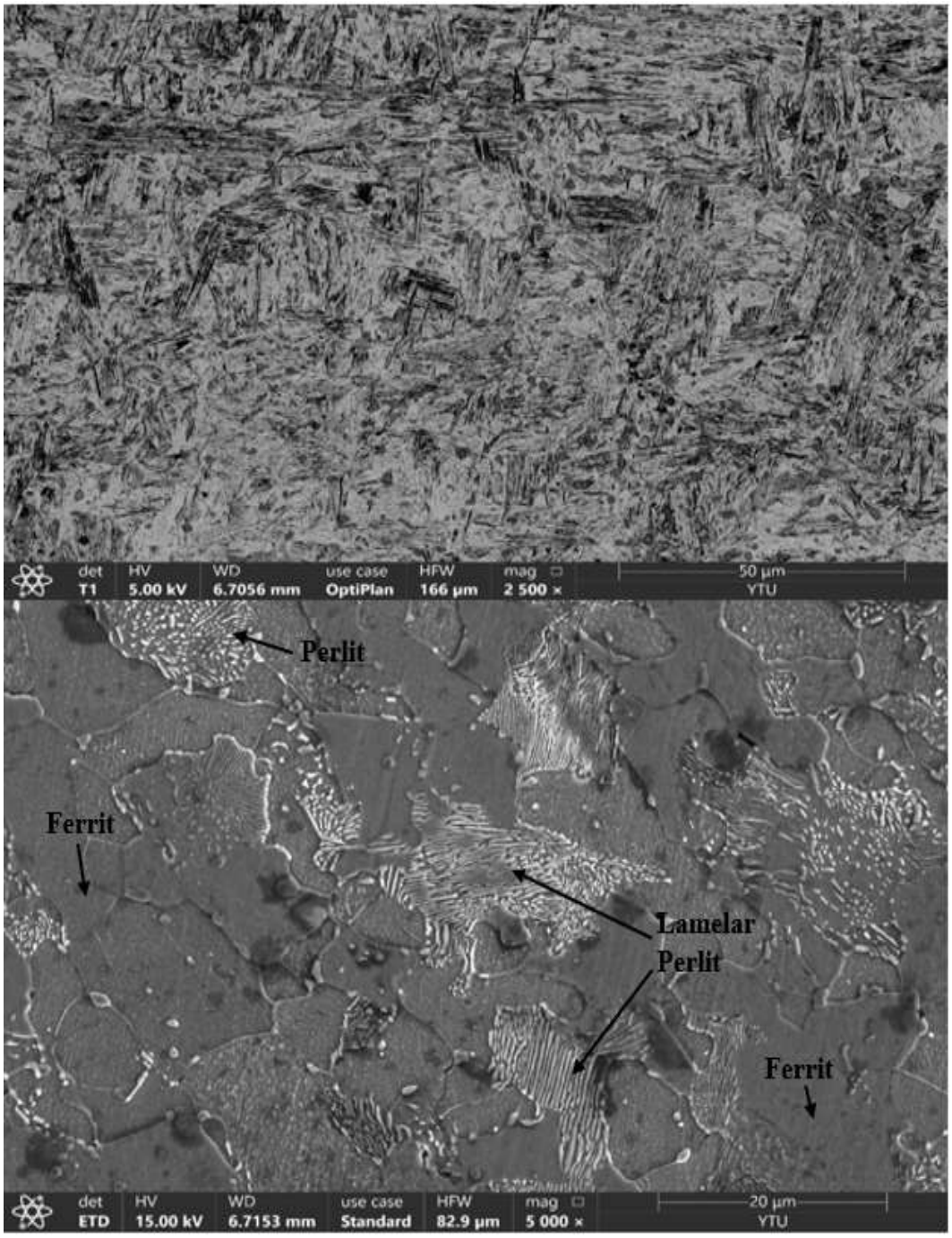
Yüksek Frekans Kaynağı ile farklı parametrelerde üretilen 26MnB5 çeliğinin kaynaklı birleştirmesinde Demir, Mangan, Oksijen, Karbon, Bor ve Silisyum kaynak metalinde ve esas metalde öne çıkan elementlerdir. Şekil 6.24'te yapılan XRD analizi sonucunda Fe, Fe_2B, Fe_3B fazları oluşmuş, bu fazların oluşma nedeni ise Demir elementinin, Mangan'ın Bor ile kolayca reaksiyona girmesidir. MnO Malzemenin mikroyapısı göz önüne alındığında genellikle ferrit, perlitten ve bazı noktalarda beynit oluşumu söz konusudur. Bor elementinin morfolojisi balık kılçığını andırmaktadır. Bu balık kılçığı mikroyapı görüntüsünü Şekil 4.10'da lamelli yapılar olarak görülebilmektedir. Bor elementinin varlığı, bileşim oranı ve dağılımı malzemenin (borunun) sertliğini, aşınma direncini ve malzemede oluşabilecek kalite kusurlarını önemli oranda etkilemektedir. Bazı bölgelerde oluşan yüksek sertlikteki bor fazıyla birlikte ana metal bölgesindeki uyum iyi derecede mekanik özelliklerin oluşumunu ve Mn etkisi ile malzemede toklukta iyi bir noktaya gelinmesini sağlamaktadır.



Şekil 4.9 XRD verileri yer almaktadır.

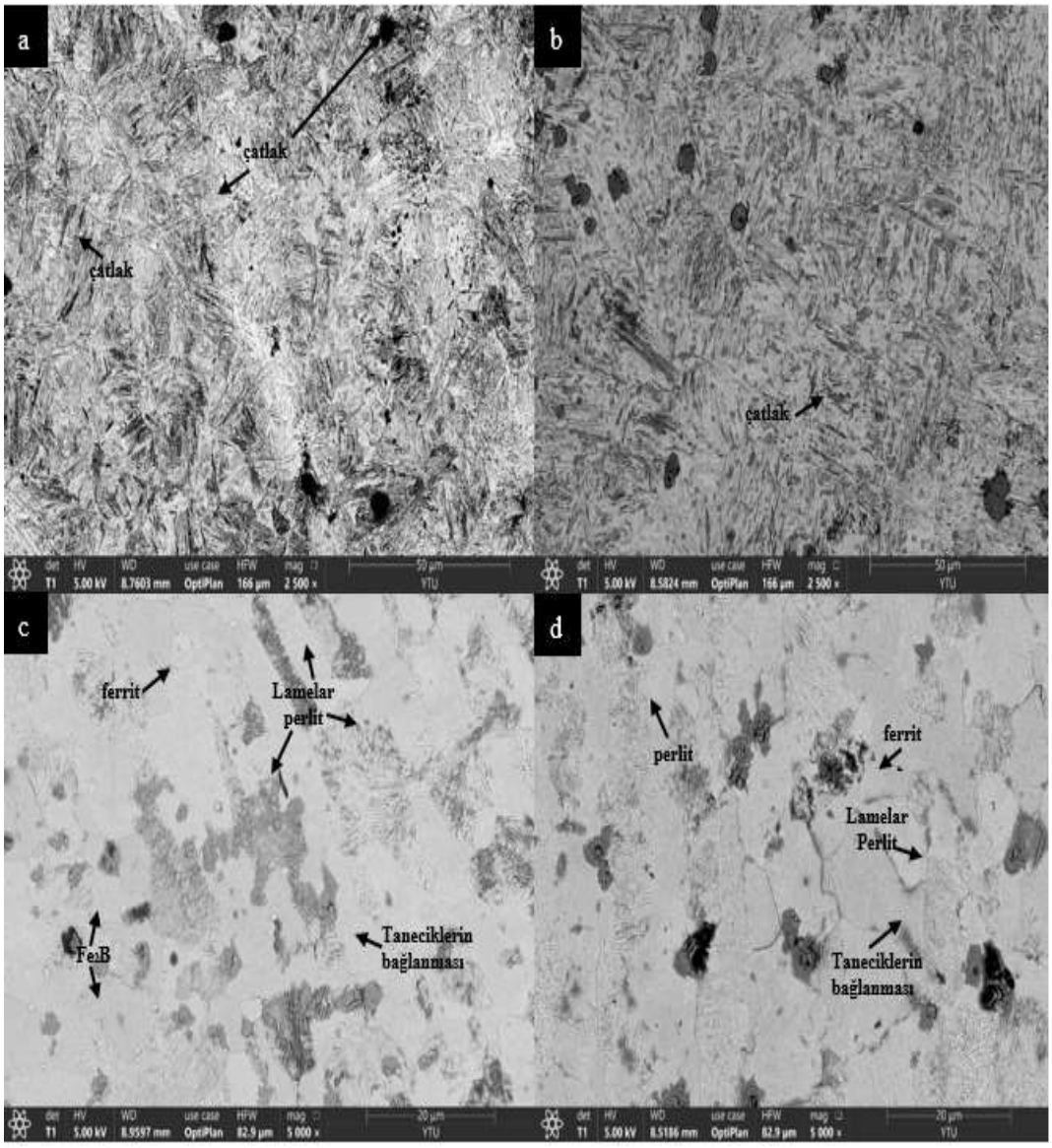
4.2.3 SEM-EDS Analizi

HFW yöntemi ile üretimi gerçekleşen numunelerim SEM ve EDS analizleri yapılmış, aşağıda bu analizlerin sonuçlarına ait veriler yer almaktadır. SEM analizinde ortalama sayım hızı 2500-2700 cps, hızlanma gerilimi 5 kV, toplam edinme süresi 140-260 saniyedir. SEM-EDS analizi 3,6mm kaynak altı mesafesi, 4 mm kaynak altı mesafesi ve 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine uygulanmıştır.



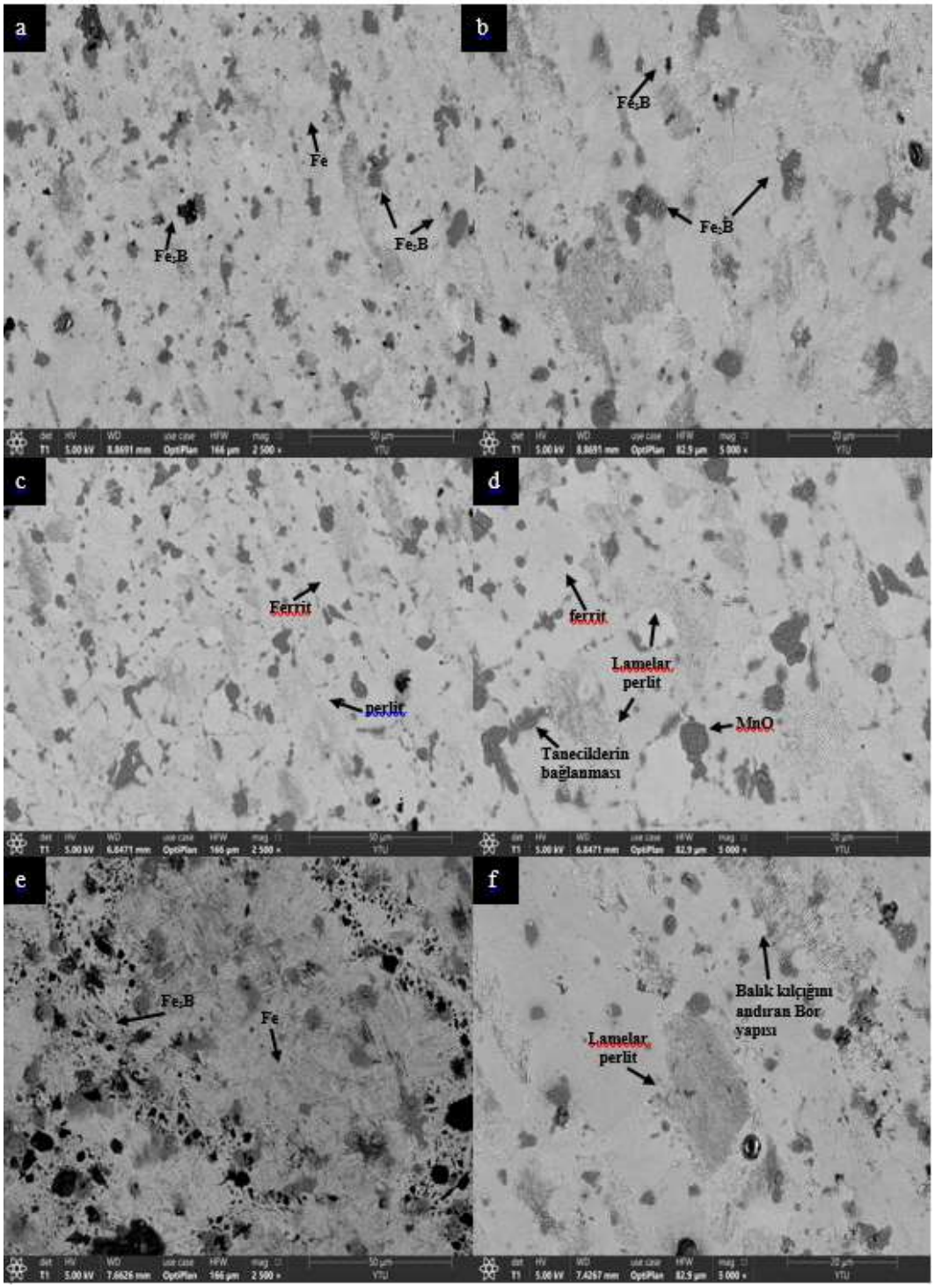
Şekil 4.10 MS/3,6/125 numunesine ait 2500x ve 5000x'teki SEM görüntüleridir.

26MnB5 çeliğinin kaynaklı birleştirmesinde Demir, Mangan, Oksijen, Karbon ve Silisyum kaynak metalinde ve esas metalde öne çıkan elementlerdir. Elde edilen verilerde Fe, Mn, Si, C ve O nin oranlarına erişilmiştir. Malzemenin yapısı genellikle ferrit ve perlitten oluşmaktadır. Aynı zamanda lamelar perlit oluşumu da söz konusudur. Yüzde Karbon miktarına bağlı olarak bazı kısımlarda difüzyon söz konusudur. Şekiller üzerinde perlit ve ferrit yapılarının konumları gösterilmektedir. Karbon difüzyonuna bağlı olarak malzeme içerisindeki fazlarda perlitik ve ferritik yapılar söz konusudur.



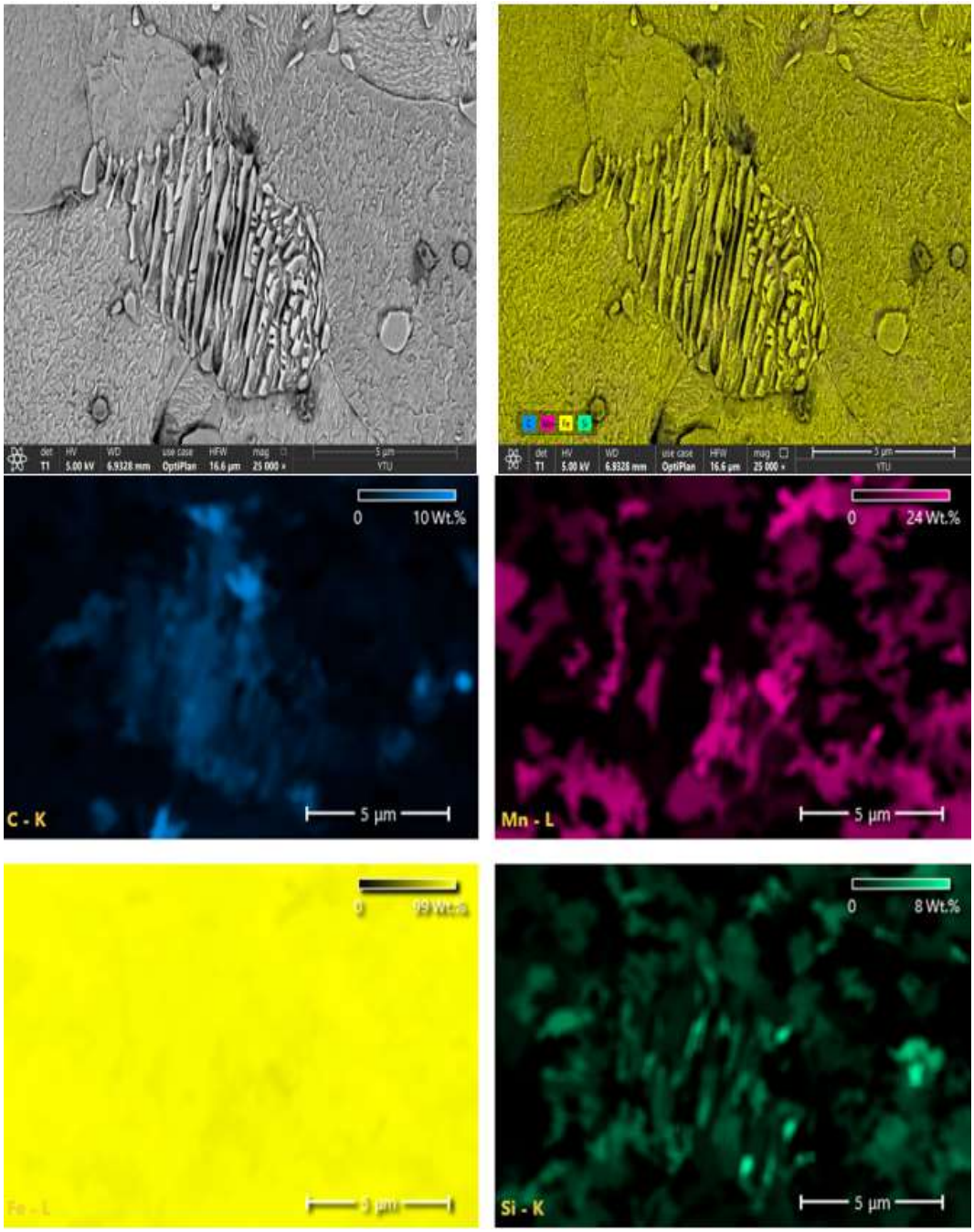
Şekil 4.11 a ve c şekilleri MS/3,8/125 numunesine ait; b ve d ise MS/4.0/125 numunesine ait 2500x ve 5000x'teki SEM görüntüleridir.

Şekil 4.12’ de a ve b şekillerinde MS/3,6/100 numunesine ait; c ve d şekillerinde MS/3,6/140 numunesine ait; f ve e şekillerinde ise MS/3,6/150 numunesine ait 2500x ve 5000x’teki SEM görüntüleridir.



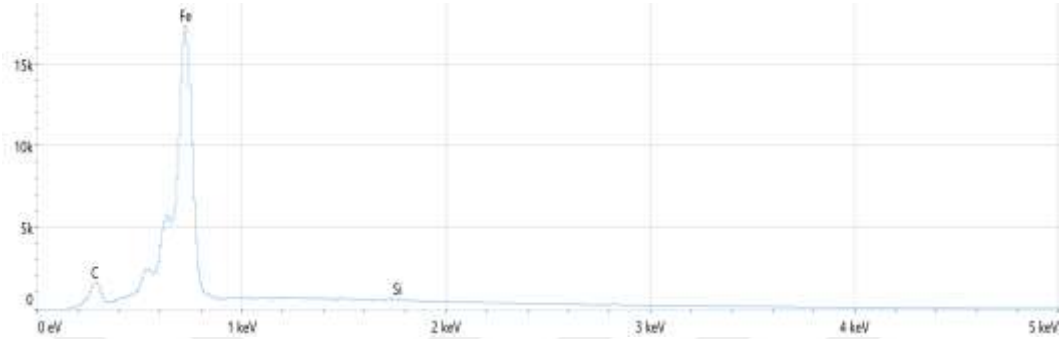
Şekil 4.13 a ve b şekillerinde MS/3,6/100 numunesine ait; c ve d şekillerinde MS/3,6/140 numunesine ait; f ve e şekillerinde ise MS/3,6/150 numunesine ait 2500x ve 5000x’teki SEM görüntüleridir.

EDS analizleri yapılırken üç numune üzerinde çalışılmıştır. Bu numuneler 1,3 ve 5. numunelerdir. Bu üç numunenin kaynak bölgesindeki EDS verilerine ait bilgiler aşağıda yer almaktadır. Veriler incelendiğinde 3,6 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5'te yer alan Mangan' ın atomik değerlerinin daha yüksek olduğu ve demir-oksit formunun oluşmadığı gözlemlenmiştir. Aşağıdaki şekillerde EDS alınan bölgelerin görselleri, grafikleri ve elementlerin yüzdelik değerleri görülmektedir.

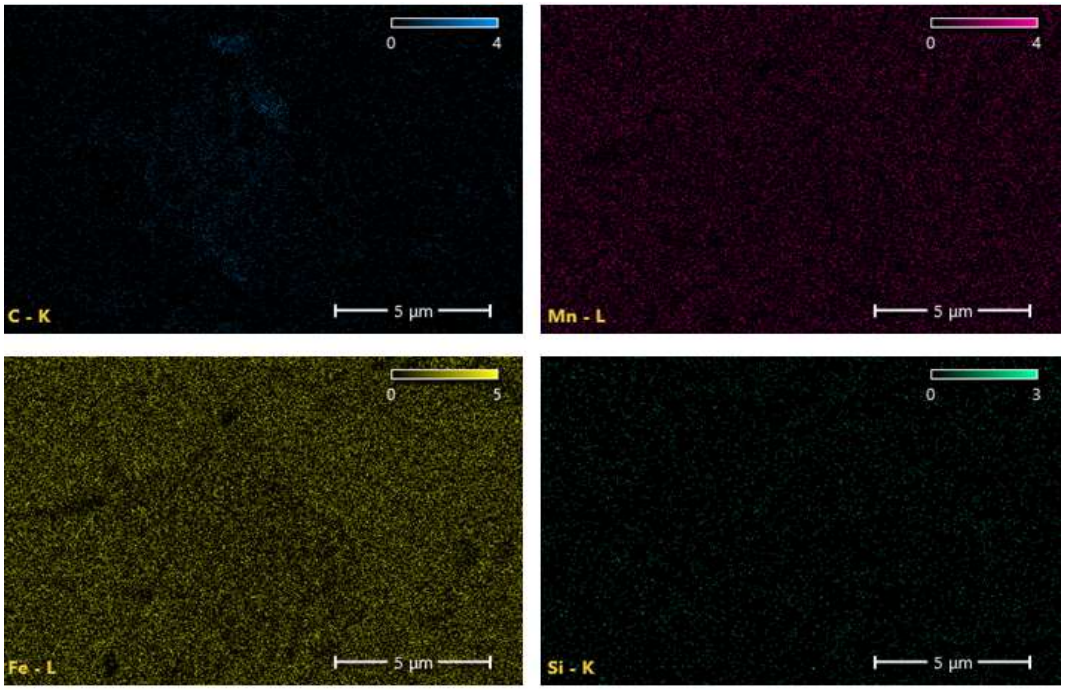


Şekil 4.14 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi verileri ve görüntüleridir.

Uygun parametrelerde üretilmeyen Manganlı borularda homejenliğinin bozulduğu ve segregasyon oluşumu gözlemlenmiştir. Ana Metalden malzemenin kaynak bölgesine doğru gidildikçe malzemede tane büyümesi gözlemlenmiştir. Şekil 4.14'te 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi verileri ve X-ışını dağılım haritası görüntüleri yer almaktadır.

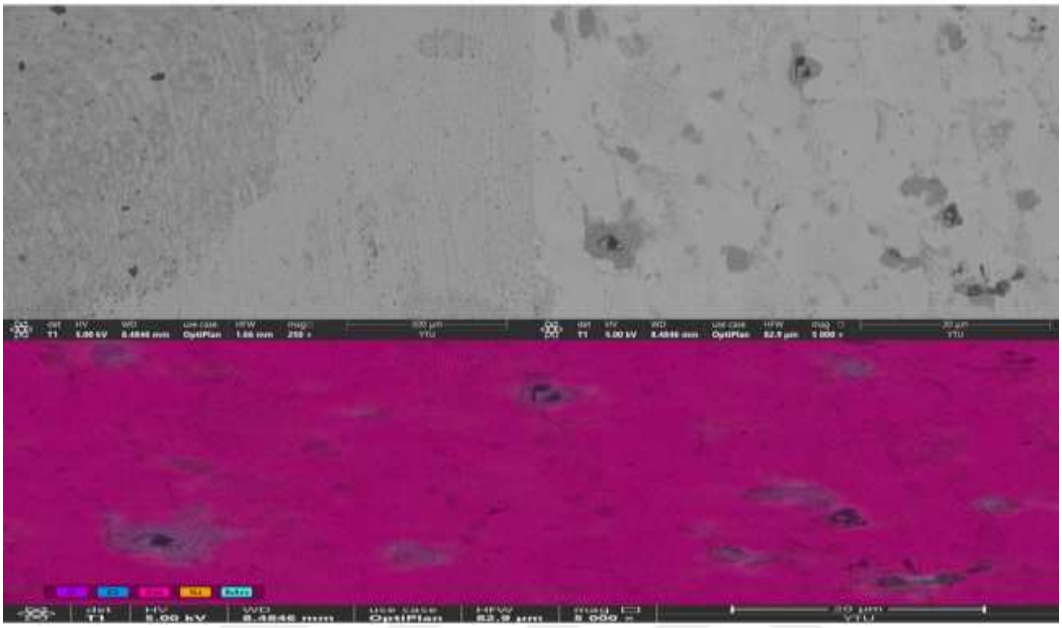


Element	Atomik %	Atomik % Hatası	Ağırlık%	Ağırlık % Hatası	Net Sayılar
C	4.6	0.1	1.0	0.0	10 801
Mn	14.3	1.0	14.7	1.0	21 231
Fe	80.6	1.0	84.0	1.0	150 794
Si	0.6	0.1	0.3	0.1	1 038

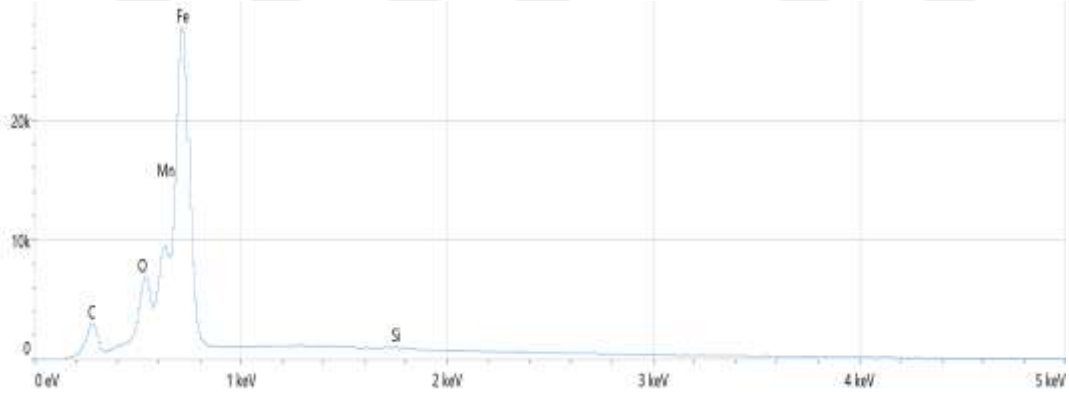


Şekil 4.15 3,6mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi verileri ve X-ışını dağılım haritası görüntüleri yer almaktadır.

Şekil 4.15'te 4 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine SEM-EDS analizi görüntüleri yer almaktadır. Verilerden yola çıkarak ana metalin Fe ve C'dan oluştuğu sonucuna varılmıştır.



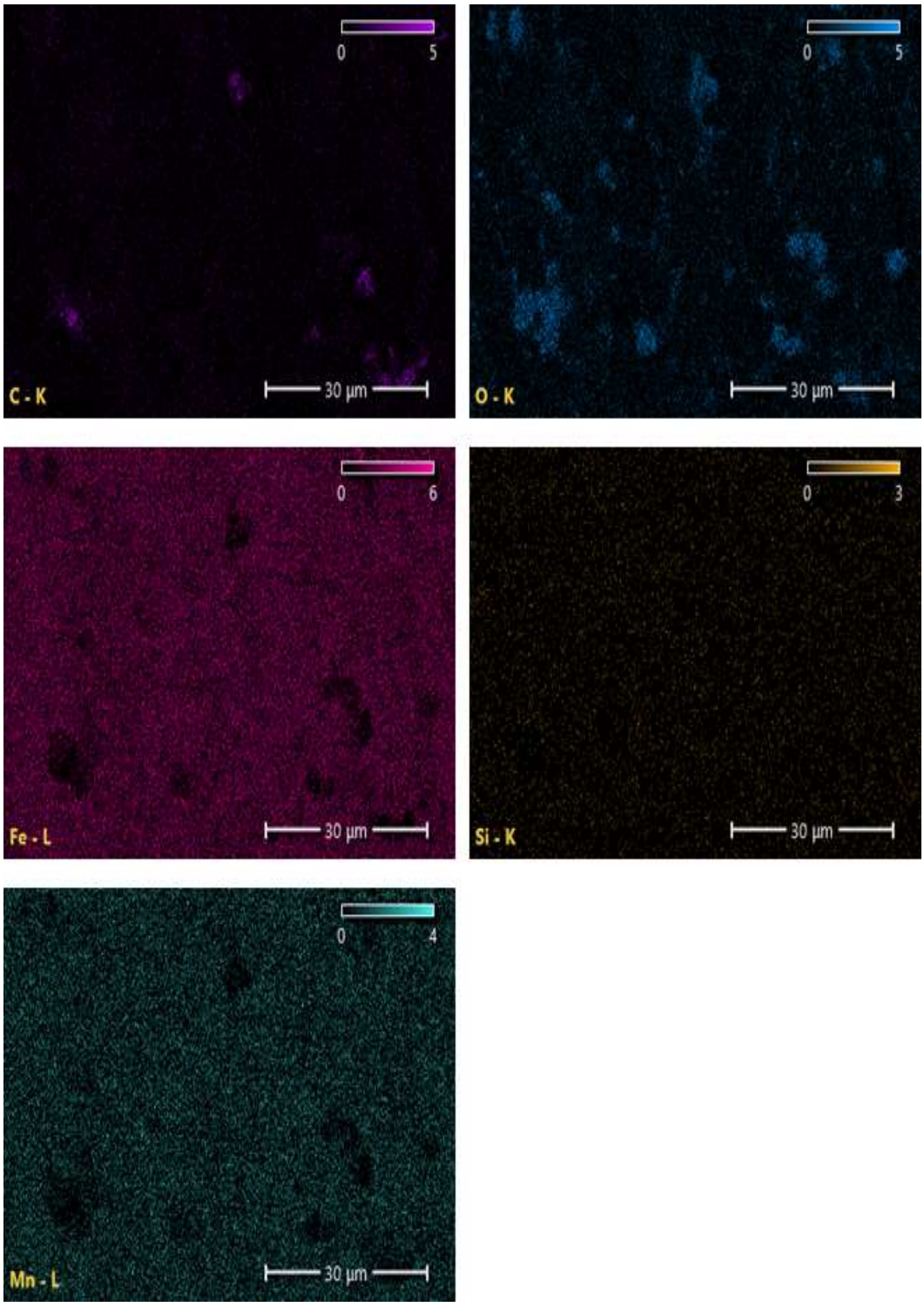
Şekil 4.16 4 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine SEM-EDS analizi görüntüleridir.



Element	Atomik %	Atomik % Hatası	Ağırlık%	Ağırlık % Hatası	Net Sayılar
Mn	1.2	0.4	1.3	0.4	2 735
C	4.7	0.0	1.1	0.0	18 220
O	10.1	0.2	3.2	0.1	29 895
Si	0.5	0.1	0.3	0.0	1 353
Fe	83.7	0.4	94.1	0.4	273 529

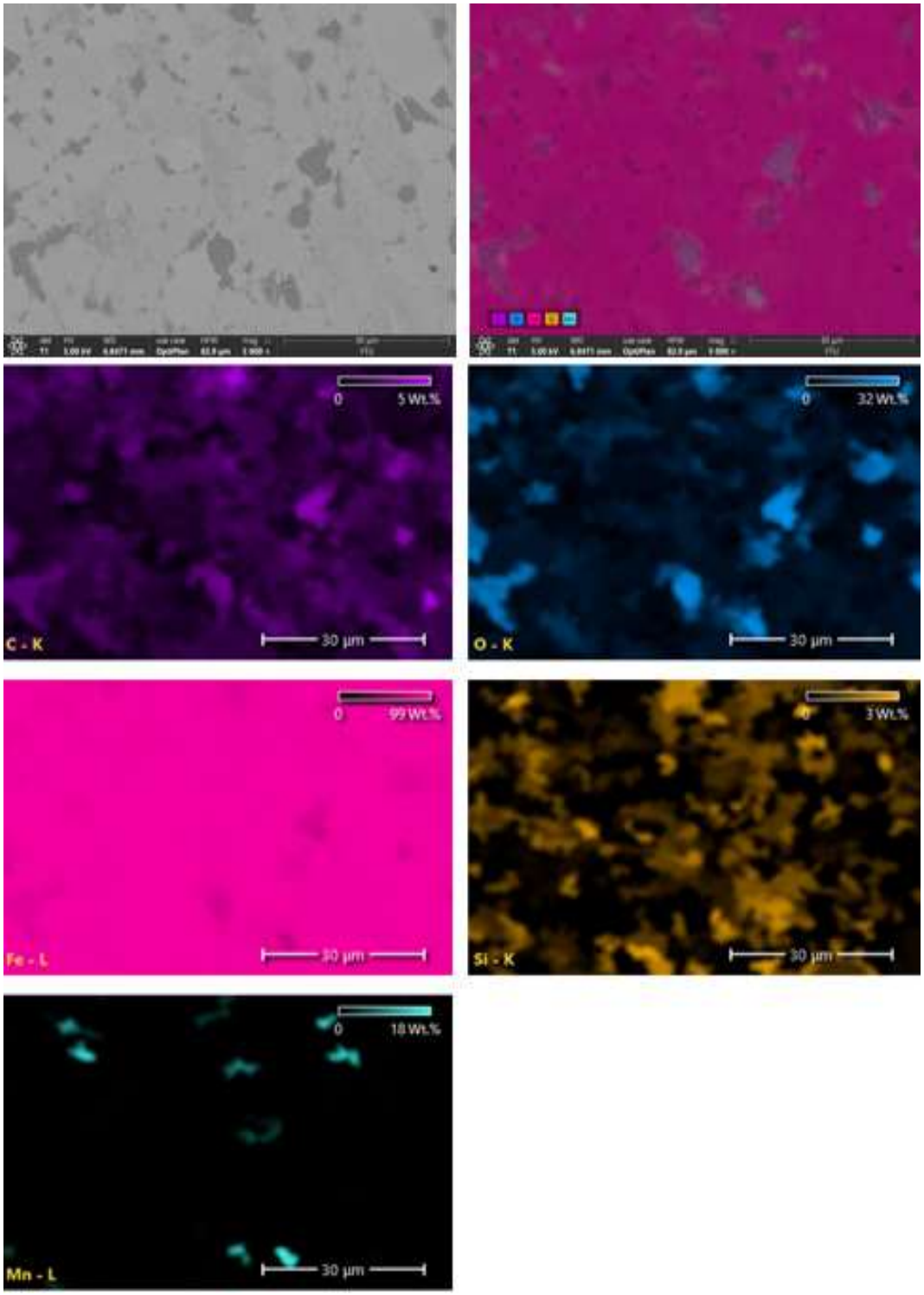
Şekil 4.17 4 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine SEM-EDS analizi verileri ve görüntüleri.

Şekil 4.17’de 4 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait X-ışını dağılım haritası görüntüleri yer almaktadır. Dağılım haritası incelendiğinde malzemenin C, Fe, O, Si ve Mn dağılımlarında aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.18 4 mm kaynak altı mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait X-ışını dağılım haritası görüntüleri yer almaktadır.

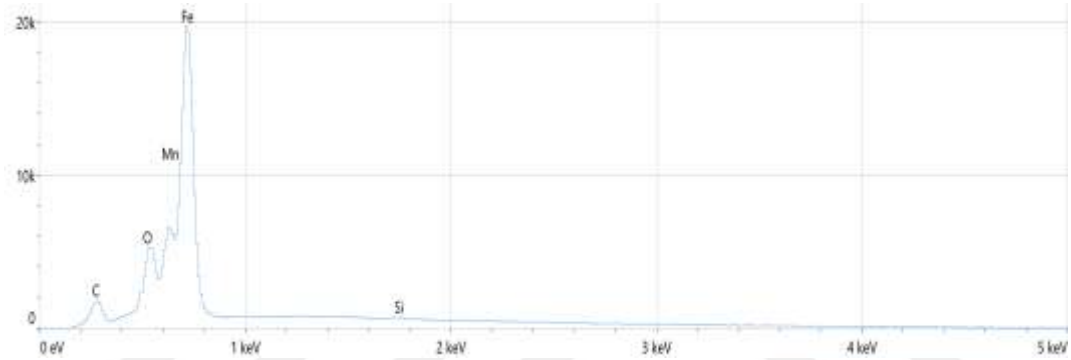
Şekil 4.18’de 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi görüntüleri yer almaktadır. Malzeme içerisindeki elemental analiz incelenmiştir.



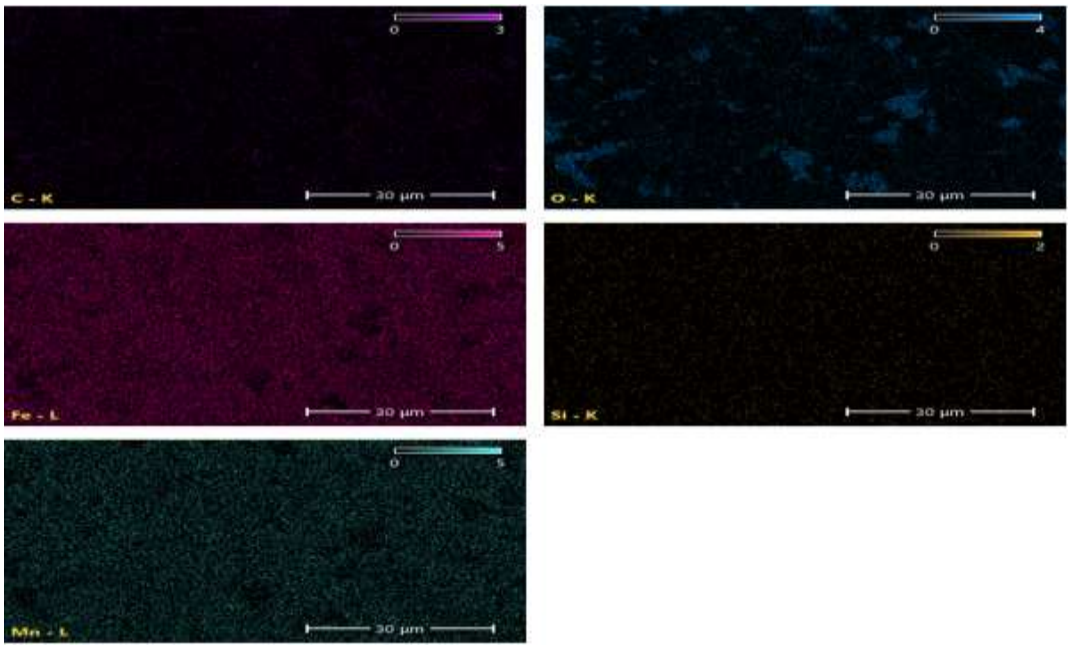
Şekil 4.19 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi görüntüleri.

140 mm indüktör mesafesi ile üretilmiş numunenin X-ışını dağılım haritası görüntüleri ve analiz verileri incelenerek değerlendirilmiş ve bu üç numunenin verileri karşılaştırılıp nihai sonuca varılmıştır.

Element	Atomik %	Atomik % Hatası	Ağırlık%	Ağırlık % Hatası	Net Sayılar
Mn	0.1	0.1	0.1	0.1	102
C	4.1	0.1	1.0	0.0	11 122
O	12.0	0.2	3.9	0.1	25 421
Si	0.5	0.1	0.3	0.1	1 127
Fe	83.3	0.4	94.7	0.5	194 400



Şekil 4.20 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait SEM-EDS analizi verileri.



Şekil 4.21 140mm indüktör mesafesi ile üretilmiş 26MnB5 boru numunesine ait X-ışını dağılım haritası görüntüleri yer almaktadır.

4.3 Mekanik Özellikler

4.3.1 Genişletme/Ağız Açma Testi Verileri

Yüksek frekans kaynağı (HFW) yöntemiyle farklı değerlerde kaynak parametreleriyle üretilmiş olan Manganlı boruların, uygun üretiminin gerçekleşip gerçekleşmediğini belirmek amacıyla genişletme/ağız açma testi uygulanmıştır. Bu testin uygulanması için üretilen borular testere yardımıyla deneyin uygulanmasını için uygun boyutta kesilmiştir. Genişletme deneyi numuneleri sırasıyla MS/3,6/125, MS/3,8/125, MS/4.0/125, MS/3,6/100, MS/3,6/140, MS/3,6/150 olan numunelere uygulanmıştır. Yapılan ağız açma testi sırasında çatlağın başlangıç noktasına erişilmeye çalışılmıştır. Boru genişletme/ağız açma deneyleri kaynak altı çıkış çapı, kaynak akımı, baskı kuvveti (baskı makarasındaki), hammadde özellikleri, vee mesafesi, role ayarları, empeder konumu, empeder çapı etkenleri dikkate alınarak üretimi sağlanan borulara uygulanmıştır. Şekil 4.22'de farklı parametre değerleri ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine ait genişletme/ağız açma testi görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.23 Farklı parametre değerleri ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine ait genişletme/ağız açma testi görüntüleridir.

Aşağıda ise brou numunelerinin hata yüzdelerinin hesaplanmasına dair eşitlik yer almaktadır.

$$\mathbf{HATA} = \frac{\mathbf{c}}{(\boldsymbol{b} - \boldsymbol{a})} \boldsymbol{x}\mathbf{100}$$

(4.1)

a:borunun dış çapı, **b:**borunun genişletme testi sonrasındaki dış çapı, **c:** çatlak uzunluğunu ifade etmektedir.

Tablo 4.1 Numunelerin yüzde hata değerleri yer almaktadır.

NUMUNE	YÜZDE HATA (%)
MS/3,6/125	0%
MS/3,8/125	19,15%
MS/4.0/125	6,78%
MS/3,6/100	8,34%
MS/3,6/140	4,50%
MS/3,6/150	4%

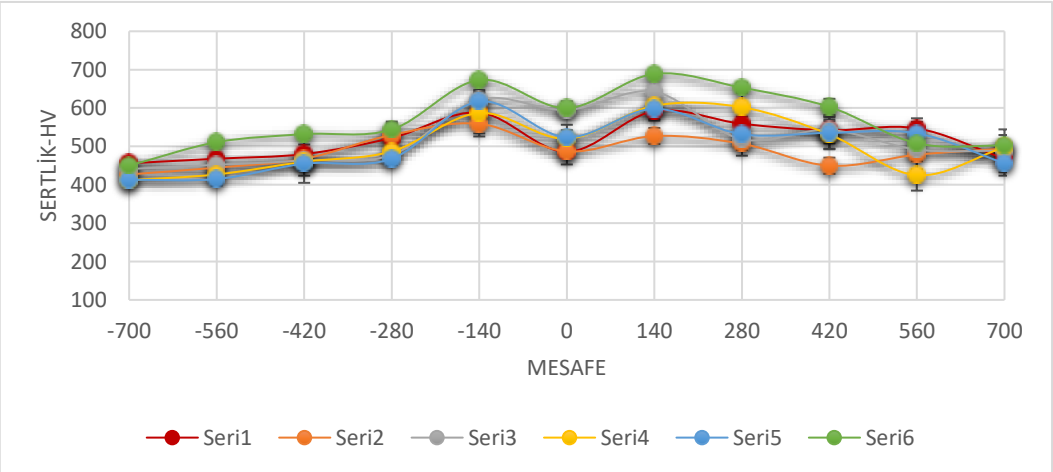
Tablo 4.1'de numunelere ait yüzde hata değerlerine ait veriler yer almaktadır. Elde edilen tabloya göre MS/3,6/125 numuneye uygulanan genişletme testinde herhangi bir çatlağa rastlanmamıştır. Ancak diğer parametreler ile üretilen numunelerde çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu çatlaklakların uzunlukları ve boyutları her numunede farklılık göstediği gözlemlenmiştir. En yüksek oranda hatanın %19,15 oranında MS/3,8/125 numunesinde oluştuğu gözlemlenmiştir. Daha sonrasında bu numuneyi %8,34 ile MS/3,6/100 numunesinin takip ettiği gözlemlenmiştir. Yapılan genişletme testitnde numunede çatlak oluşumunun gözlemlenmemesi önemli bir kriterdir. Bu verilere dayanarak uygun parametrelerin belirlenmesinin oldukça önemli olduğuna varılmıştır.

4.3.2 Sertlik Testi Sonuçları

HFW yöntemi uygulanarak birbirinden farklı değerlerde kaynak parametreleri ile üretilen Manganlı boruların, uygun üretiminin gerçekleşip gerçekleşmediğini belirmek amacıyla Vickers Sertlik testi uygulanmıştır. Şekil 4.22 'de her bir numune için 11 farklı noktadan elde edilmiş sertlik sonuçları haritala metodu kullanılarak elde edilmiş ve grafik haline getirilmiştir. Elde edilen Vickers sertlik grafiğinden ise şu sonuçlara varılmıştır. Bu grafikte, kaynak birleşim bölgesinin en fazla ısıya maruz kaldığından en yumuşak bölge olduğuna aynı zamanda malzemenin kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe malzeme sertliğinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.2 Elde edilen numunelerin Vickers sertlik testi değerleri.

Aralık (µm)	1.Numune	2.Numune	3.Numune	4. Numune	5.Numune	6. Numune
140	468	494	488	498	456	502
280	547	478	492	425	534	508
420	542	450	543	531	535	603
560	559	507	519	602	532	653
700	592	527	642	606	598	689
840	486	487	595	520	524	600
980	588	559	622	587	617	673
1120	522	530	478	487	468	544
1260	480	468	463	460	455	532
1400	468	445	452	427	415	511
1540	456	427	441	412	413	450



Şekil 4.24 Farklı parametre değerleri ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine ait Vickers sertlik testi grafiğidir.

4.3.3 Yassıltma Testi Sonuçları

HFW yöntemi kullanılarak eş zamanlı olarak kaynak altı, indüktör mesafesi değerleri farklı olarak üretilen boruların mekanik test verilerinin elde edilmesi için yassıltma testi uygulanmıştır. Uygulanan bu testte boru üzerine kuvvet uygulanarak üretilen dikişli boruların kaynak/dikiş bölgesinde herhangi bir deformasyon ya da çatlak oluşumu gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmektedir.



Şekil 4.25 Farklı parametre değerleri ile üretilmiş 26MnB5 boru numunelerine ait yassıltma testi görselleridir.

Aşağıda yassıltma testi verilerinin hesaplanmasını içeren formül aşağıda yer almaktadır.

$$H = \frac{(1 + C)xT}{C + (\frac{T}{D})} \tag{4.2}$$

H: Borunun yük altındaki ezilen mesafesi [mm], **D :** Dış çap [mm], **T :** Borunun et kalınlığı [mm], **C :** Sabit (0.10-0.07) [20]

5
ÖNERİLER

1. Kaynak altı çıkış mesafesi ve indüktör mesafesi dışındaki parametreler değiştirilerek mekanik özellikleri incelenebilir.

2. Manganlı boruların dışındaki alaşımlı borulardaki kaynak parametreleri incelenebilir.

3. Kaynak altı çıkış mesafesi ve indüktör mesafesi dışındaki parametreler değiştirilerek mikroyapı özellikleri incelenebilir.

4. 26MnB5 dışındaki Manganlı borularda kaynak akışının kaynak parametrelerine etkisi detaylı olarak incelenebilir.

5. Alaşımlı boruların kaynak işlemi sonrasında mekanik ve mikroyapısını incelenebilir.

6
SONUÇ

Yapılan bu çalışmada Manganlı borularda(26MnB5) Yüksek Frekans kaynağıyla ilave tel kullanılmadan birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin kaynak edilebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Manganlı borularda kaynak kalitesini etkileyen kaynakaltı çıkış çapı ve indüktör mesafesi parametrelerinde farklı değerlerde deneme çalışması yapılarak uygun parametrelere ulaşılması hedeflenmiştir. Üretilen 26MnB5 numunelerinde SEM-EDS analizi, mikroyapı incelemeleri, yassıltma testi, genişletme testi, sertlik testi yapılmıştır. 26MnB5 üzeri çalışma yapılarak Manganlı Borularda yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

1. Manganlı borularda Yüksek Frekans Kaynağı ile seri üretim gerçekleştirilebilmektedir.

2. Yüksek Frekans kaynağı yönteminde Manganlı borularda uygun parametreler ise aşağıdaki şekildedir.

a. 3,5-3,7 mm arasında kaynak altı mesafesi tercih edilmelidir.

b. İndüktör mesafesi 120-125 mm arasında seçilmelidir.

c. Kaynak röleleri uygun şekilde ayarlanmalıdır.

d. Kullanılan hammadde uygun seçilmelidir.

e. Yüksek Frekans Kaynağı sırasında kullanılan akım ise 600-630 amper seçilmelidir.

f. Kaynak işlemi sırasında kaynak hızı uygun değerlerde seçilmelidir.

3. Farklı parametrelerde üretilen borular mekanik testlere tabii tutulmuştur. Uygulanan yassıltma, genişletme ve sertlik testi verileri incelenerek uygun parametrede üretimde hangi parametre aralığının kullanılacağı tespit edilmiştir.

4. Farklı parametreler ile üretilen borularda kum saati profilinin tam olarak 3,6 mm kaynakaltı mesafesi ve 125mm indüktör mesafesindeki kaynak birleştirme yönteminde oluştuğu tespit edilmiştir. Baskı rolelerinden kaynaklı C formu şeklinde

birbirine simetrik kum saati formatı oluşumu saptanmış, bu yapıların kaynak açılarının 50-70 derecelik açılar arasında olması gerektiği saptanılmıştır. Bu alt-üst simetri sağlanmazsa yapıda çatlak vb. hatalara rastlanmıştır.

5. Uygun parametreler kullanılarak üretilen boruların mikroyapısı incelendiğinde kum saati şeklini alarak kaynağın her iki tarafı da simetrik olduğunda herhangi bir hataya ya da bozukluğa rastlanılmadığı ve karbon difüzyonunun eşit olarak gerçekleştiğine saptanılmıştır.

6. Uygun parametrelerde üretilen Manganlı boruda herhangi bir kaynak hatası ya da segregasyona rastlanmamıştır.

7. XRD ve EDS verilerine göre kaynak metali kaynak bölgesinde lamelli yapılara rastlanmıştır. Bununla birlikte malzemenin yapısının büyük çoğunluğunun ferrit ve perlitten oluştuğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kaynak bölgesinde tane boyutlarının ana malzemeye bölgesine göre daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır.

8. Malzemenin koyu renkli kısımlarının perlit fazını; açık renklı kısımlarının ise ferrit fazını oluşturduğunu bunun sebebinin ise karbon difüzyonu olduğu saptanılmıştır. Karbon gibi küçük çaplı atomlar difüze olarak komşu atomlara difüze olabilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda siyah ya da koyu renkli olarak görülen kısımlar yoğun karbon bölgesi olup perlit yapılardır, beyaz bölgeler ise karbonun uzaklaşması sonrasında oluşan ferritik yapılardır. Karbonun uzaklaşması sonucu ferritik bir yapı oluşmaktadır.

9. Kaynak merkezinde sertlik ~500 HV iken ana metal sertliği ~400 HV civarında olduğu gözlemlenmiştir. Malzemenin bazı bölgelerinde sertlik değerleri oldukça yüksek çıkmış bunun nedeninin ise ferrit-perlit segregasyonu kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. kaynak birleşim bölgesinin en fazla ısıya maruz kaldığından en yumuşak bölge olduğuna aynı zamanda malzemenin kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe malzeme sertliğinin azaldığı görülmektedir.

10. Uygun parametrelerde üretilmeyen borularda kaynak dikişinde boşluklar ve boruda çatlak oluşumu gözlemlenmiştir.

11. Genişletme testinde uygun parametrelerde üretilen Manganlı borularda %4-20 oranında yüzde hata tespit edilmiş, uygun parametrede üretilen boru ise bu testteki hata yüzdesi sıfırdır.

12. Yassıltma testi uygulanarak malzeme yüzeyinde göz ile çatlak tespiti yapılmış ve malzemenin sertliğinin yüksek olduğu alanlarda çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Çatlak oluşumunun önüne geçebilmek içinde uygun parametreler de üretim yapılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Karagöz, S. Malzeme Bilgisi. Ders Notu, Adnan Menderes Üniversitesi Aydın Meslek Yüksekokulu, 2008.

[2]https://www.celiklerinsnıflandırılması.com/celiklerin-siniflandirilmasi, 20.06.2022.

[3] İren, E. Çelik malzemelerde kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklerin güvenilirliğine etkisi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

[4] Brooks, J. A. Weldability of high N, high Mn austenitic stainless steel, Welding Journal, 54(6), 1975, 189-195.

[5] Li, S., Yang, S., Lu, Q., Luo, H., & Tao, W., A novel shim-assisted resistance spot welding process to improve weldability of medium-Mn transformation-induced plasticity steel. Metallurgical and Materials Transactions B, 50(1), 2019, 1-9.

[6] Alé, R. M., Vieira de Faria, A., Ferreira da Silva, R., Depizzol, A. C., & de Almeida Reinig, W.High frequency induction welding of high silicon steel tubes/Soldagem de tubos de aco patinavel de alto si pelo processo HFIW, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, 9(2), 2012, 95-103.

[7] Wright, J. Optimizing efficiency in HF tube welding processes. Tube & Pipe Technology, 1999.

[8] Çömlekçioğlu, M. Boru imalat sektöründe optimal üretim planlama yönteminin senaryo analiziyle belirlenmesi (Master's thesis, Kocaeli Universitesi, Fen Bilimleri Enstitusu), 2012.

[9]http://www.thefluidcompany.com/dikisli-ve-dikissiz-borular-arasindaki-farklar-nelerdir/, 11.08.2022.

[10]https://slidetodoc.com/resistance-and-solidstate-welding-processes-chapter-32-me215/, 08.09.2022.

[11] Günay, H. & Karadeniz, S. Boyuna dikişli çelik boruların girdap akımı yöntemiyle kontrol uygulamaları eddy current applıcatıons on longıtudınal welded steel tubes.

[12] Noyan, A. U. Alaşımlı Alüminyum Boruların Mıg Kaynak Yöntemiyle Kaynağına Kaynak Parametrelerinin Etkisi, Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.

[13] İşeri, U. Kare ve Dikdörtgen Profil Boruların imalatı ve Mekanik Özelliklerinin incelenmesi, Bitirme Ödevi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

[14] Haga, H., Aoki, K., & Sato, T. Welding phenomena and welding mechanisms in high frequency electric resistance welding: 1st report. Welding Journal, v. 59, n. 7, p. 208s-16, July 1980.

[15] Yeşildal, C. Otomotiv sektöründeki birleştirmelerde seçilen kaynak parametreleri ve kullanılan teknolojiler, geleneksel yöntemler ve laser tekniği. 33, 2009.

[16] Robert, K., & Nichols, R. K. High Frequency Welding-the Process and Applications. PE Thermatool Corp, 1999.

[17] Özsoy, N. Yüksel E. Birlik Makina San.ve Tic. Ltd. Sti., 150-350 Kw HF Welder, Empeder & indüktör Dizaynı , 2006.

[18] Orhan, S. Yüksek frekans kaynağı ile birleştirilen çelik profillerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Turkey, 2008.

[19] Yavuz, S. Türkiyede boru üretiminde kullanılan DKP sacların mekanik özelliklerinin incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü)

[20] Gündoğdu, A. S. Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı yöntemiyle üretilen boyuna dikişli çelik borularda kullanılan mikro alaşımlı malzemelerin kaynak zayıflığının azaltılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[21] Süslü, A., Elektro-eğirme yöntemi ile nanofiber ve nanotüp üretimi (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü), 2009.

[22] Coşkunsu, E. (2015). X-ray analizörlü enerji dağılımlı taramalı elektron mikroskobu (SEM/EDS) ile ENFSI/GSR (Europan Network Forensic Science Institue/gun shot residue proficiency test) numunesinde elementel atış artıklarının analizi ve optimizasyonu (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).

[23] Erdin, N. Tarama elektron mikroskobunun temel prensipleri ve numune hazırlığı, Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University, 1987, 102-124.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Gülbahar ALKUS, Hakan YILMAZER (2022). Manganlı Çelikte Kaynak Parametrelerinin Kaynak Akışı, Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi. 10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 24-26 (Aralık).