



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE ÜRETİLEN ÇELİK
BORULARA ISIL İŞLEM UYGULAMALARININ ETKİLERİ**

RAHMİ HİDİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ALİ GÜRSEL**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE ÜRETİLEN ÇELİK
BORULARA ISIL İŞLEM UYGULAMALARININ ETKİLERİ**

Rahmi Hıdır tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ali Gürsel
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ali Gürsel
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Karabük Üniversitesi

Doç. Dr. Nuri ŞEN
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 08/06/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

08 Haziran 2022

Rahmi Hıdır



TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Ali Gürsel'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Deneyisel bulguların oluşturulmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Nuri Şen'e teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin yapılmasında yardımcı olan Uğur Özcan ve Emre Ayyıldız'a teşekkür ederim.

08 Haziran 2022

Rahmi Hıdır



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xi
KISALTMALAR.....	xii
SİMGELER	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE BORU ÜRETİM PROSESİ3	
2.1. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE ÜRETİLEN ALIN DİKİŞLİ ÇELİK BORULARDA ÜRETİM AŞAMALARI	5
2.1.1. Bant Açıcı	6
2.1.2. Uç Kaynak Ünitesi.....	7
2.1.3. Akümülatör	7
2.1.4. Form Ünitesi.....	8
2.1.5. Yüksek Frekans Kaynak Ünitesi.....	9
2.1.6. Çapak Sıyırma Ünitesi	10
2.1.7. Kalibre Ünitesi	10
2.1.8. Türk Kafa Grubu	11
2.1.9. Uçar Testere	11
2.2. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞINDA KULLANILAN ÇELİKLER.....	12
2.2.1. Sıcak Haddelenmiş Çelikler.....	13
2.2.2. Soğuk Haddelenmiş Çelikler	13
2.2.3. 1311 Tipi Çelik.....	14
2.2.4. 6112 Tipi Çelik.....	15
2.2.5. 7114 Tipi Çelik.....	16
2.3. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞININ UYGULANIŞI.....	18
2.3.1. Endüktör	19
2.3.2. Empeder	19
2.4. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI OLUŞUMU İÇİN KAYNAK GEOMETRİSİ.....	20
2.4.1. Vee Açısı	21
2.4.2. Kenarların Birleşme Geometrisi.....	22
3. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞININ MALZEME ÜZERİNDEKİ	

ETKİSİ	24
3.1. MİKRO YAPI HATALARI	24
3.1.1. Plastik Deformasyon ve Gerilmeleri.....	24
3.1.2. ITAB Bölgesi	25
3.2. GEOMETRİK HATALAR VE PROSES HATALARI.....	25
3.2.1. Malzeme içeriği.....	26
3.2.2. Dilme ve İstifleme Faktörü	26
3.2.3. Kaynak Ekipmanlarının Ebatlarının ve Konumunun Ayarlanması.....	26
3.2.4. Kaynak Gücü ve Frekansı	26
3.2.5. Vee Açısı ve Kaynak Geometrisinden Kaynaklanan Hatalar	27
4. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE OLUŞAN KUSURLARIN GİDERİLMESİNDE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER	28
4.1. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	30
4.1.1. Sertleştirme	30
4.1.2. Normalizasyon Tavlaması.....	31
4.1.3. Yumuşatma Tavlaması	32
4.1.4. Yeniden Kristalleşme (Rekristalizasyon) Tavlaması	32
4.1.5. Difüzyon Tavlaması.....	32
4.1.6. Gerilim Giderme Tavlaması.....	32
5. TESTLER VE MUAYENELER.....	34
5.1. TAHRİBATLI MUAYENE.....	34
5.1.1. Yassıltma Testi.....	34
5.1.2. Genişletme Testi.....	35
5.1.3. Sertlik Testi	36
5.1.4. Çekme Testi.....	37
5.2. TAHRİBATSIZ MUAYENE	38
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
6.1. KULLANILAN MATERYALLER	41
6.2. ÜRETİM PARAMETRELERİ.....	42
6.3. NUMUNELERE UYGULANAN ISIL İŞLEM PROSELERİ.....	42
6.4. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA YAPILAN TESTLER VE MUAYENELER	43
6.4.1. Yassıltma Testi.....	44
6.4.2. Genişletme Testi.....	47
6.4.3. Sertlik Testi	49
6.4.4. Çekme Testi.....	52
6.4.5. Metalografik İnceleme	65

6.4.5.1.	1311 Tipi Çelik Metalografik İncelemesi.....	67
6.4.5.2.	6112 Tipi Çelik Metalografik İncelemesi.....	79
6.4.5.3.	7114 Tipi Çelik Metalografik İncelemesi.....	92
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	104
8.	KAYNAKLAR.....	107
9.	EKLER	113
9.1.	EK 1: EN10346-2015 DX51D + Z (1311) ÇELİK SERTİFİKASI.....	113
9.2.	EK 2: EN 10130-2006 DC01 (6112) ÇELİK SERTİFİKASI.....	114
9.3.	EK 3: EN 10130-2006 DC04 (7114) ÇELİK SERTİFİKASI.....	115
9.4.	EK 4: 550°C ISIL İŞLEM RAPORU	116
	ÖZGEÇMİŞ.....	117



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. Boru makinesi form ünitesi [4].....	3
Şekil 2. 2: Dilinmiş sacdan boru haline geliş aşamaları [5].....	4
Şekil 2. 3: 120°'lik açı ile konumlandırılan kaynak makarası grubu [6].....	5
Şekil 2. 4: Bant açıcı genel görünümü [14]	6
Şekil 2. 5: Yatay akümülatör genel görünümü [15].....	7
Şekil 2. 6: Boru üretim aşamasında çiçek deseninin oluşumu [16]	8
Şekil 2. 7: Form ünitesi üst görünüş ve bölümleri [4]	9
Şekil 2. 8: Frekans kaynağı gerçekleştirilen makine bölgesi [14]	9
Şekil 2. 9: Çapak alma ünitesi [14].....	10
Şekil 2. 10: Türk kafa istasyonu [14].....	11
Şekil 2. 11: Uçar testere ünitesi [19].....	12
Şekil 2. 12: Yüksek frekans kaynağının şematik gösterimi [28]	18
Şekil 2. 13:Empeder ve soğutma sistemini [30]	19
Şekil 2. 14: Kaynak bölgesi ölçüleri [31]	20
Şekil 2. 15: Vee açısı ve uzunluğu [29].....	22
Şekil 2. 16: Bandın iki uğunun birleşme konumu [6]	23
Şekil 4. 1:Çeliklere uygulanan ısıt işlemlerinin demir karbon denge diyagramı üzerinde gösterilişi [50]	29
Şekil 4. 2: Demir-Karbon denge diyagramı [55]	30
Şekil 4. 3: Normalizasyon tavlama sisteminin demir karbon diyagramı [56]	31
Şekil 4. 4:Gerilim giderme tavlama sisteminin ısıt işlemlerinin demir karbon denge diyagramı [56]	33
Şekil 5. 1: Yassıltma testi uygulanış yönleri [60,61]	35
Şekil 5. 2: Genişletme testi uygulanışı [60,61]	36
Şekil 5. 3: Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri [64].....	37
Şekil 5. 4: Borudan alınan numunenin çekme testi	38
Şekil 5. 5:Girdap akımlarının boru profil sektöründe kullanımını [70].....	39
Şekil 5. 6: Girdap akımı probu basit gösterimi [72]	40
Şekil 6. 1: 550°C'de uygulanan gerilim giderme tavlama sisteminin ısıt işlemlerinin demir karbon denge diyagramı [56]	43
Şekil 6. 2: Yassıltma testi uygulanışı.....	45
Şekil 6. 3: Yassıltma testi kabul gören numune.....	47
Şekil 6. 4: 6112 tipi numunelere 550°C gerilim giderme tavlama sisteminin ısıt işlemlerinin demir karbon denge diyagramı [56]	48
Şekil 6. 5: boru kesiti üzerinden alınan mikro sertlik noktaları.....	49
Şekil 6. 6: 1311 tipi çelik mikrosertlik sonuçları.....	50
Şekil 6. 7: 6112 tipi çelik mikrosertlik sonuçları.....	51
Şekil 6. 8: 7114 tipi çelik mikrosertlik sonuçları.....	51
Şekil 6. 9: Çekme numunelerinin hazırlanışı.....	53
Şekil 6. 10: Çekme testi numuneleri.....	54
Şekil 6. 11: Çekme testi ile uygulanan numuneler	55
Şekil 6. 12: 1311 tipi çeliklerin üretim sonrası çekme testi sonuçları	56
Şekil 6. 13: 1311 tipi çeliklerin 550°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	56
Şekil 6. 14: 1311 tipi çeliklerin 600°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	57
Şekil 6. 15: 1311 tipi çeliklerin 650°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	57
Şekil 6. 16: 6112 tipi çeliklerin üretim sonrası çekme testi sonuçları	59

Şekil 6. 17: 6112 tipi çeliklerin 550°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	59
Şekil 6. 18: 6112 tipi çeliklerin 600°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	60
Şekil 6. 19: 6112 tipi çeliklerin 650°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	60
Şekil 6. 20: 7114 tipi çeliklerin üretim sonrası çekme testi sonuçları	62
Şekil 6. 21: 7114 tipi çeliklerin 550°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	62
Şekil 6. 22: 7114 tipi çeliklerin 600°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	63
Şekil 6. 23: 7114 tipi çeliklerin 650°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.....	63
Şekil 6. 24: Zımparalama ve parlatma yapılan makine	65
Şekil 6. 25: Mikroskop altında inceleme ve görüntü alma	66
Şekil 6. 26: Mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri için hazırlanan numuneler	66
Şekil 6. 27: Üretim sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.....	67
Şekil 6. 28: Üretim sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	68
Şekil 6. 29: Üretim sonrası 1311 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	69
Şekil 6. 30: Üretim sonrası 1311 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü	69
Şekil 6. 31: 550°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü..	70
Şekil 6. 32: 550°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	71
Şekil 6. 33: 550°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	71
Şekil 6. 34: 550°C Tavlama sonrası 1311 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü..	72
Şekil 6. 35: 600°C tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü ..	73
Şekil 6. 36: 600°C tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	74
Şekil 6. 37: 600°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	74
Şekil 6. 38: 600°C tavlama sonrası 1311 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü..	75
Şekil 6. 39: 650°C tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü ..	76
Şekil 6. 40: 650°C tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	77
Şekil 6. 41: 650°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	77
Şekil 6. 42: 650°C tavlama sonrası 1311 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü..	78
Şekil 6. 43: Üretim sonrası 6112 tip numunenin kaynak bölgesi makro görüntüsü.....	80
Şekil 6. 44: Üretim sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	81
Şekil 6. 45: Üretim sonrası 6112 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	81
Şekil 6. 46: Üretim sonrası 6112 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü	82
Şekil 6. 47: 550°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü..	83
Şekil 6. 48: 550°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	84
Şekil 6. 49: 550°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	84
Şekil 6. 50: 550°C Tavlama sonrası 6112 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü..	85
Şekil 6. 51: 600°C tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü ..	86
Şekil 6. 52: 600°C tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	87
Şekil 6. 53: 600°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	87
Şekil 6. 54: 600°C tavlama sonrası 6112 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü..	88

Şekil 6. 55: 650°C tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü ..	89
Şekil 6. 56: 650°C tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	90
Şekil 6. 57: 650°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	90
Şekil 6. 58: 650°C tavlama sonrası 6112 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü..	91
Şekil 6. 59: Üretim sonrası 7114 tip numunenin kaynak bölgesi makro görüntüsü	92
Şekil 6. 60: Üretim sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	93
Şekil 6. 61: Üretim sonrası 7114 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	93
Şekil 6. 62: Üretim sonrası 7114 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü	94
Şekil 6. 63: 550°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.	95
Şekil 6. 64: 550°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	96
Şekil 6. 65: 550°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	96
Şekil 6. 66: 550°C Tavlama sonrası 7114 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.	97
Şekil 6. 67: 600°C tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü ..	98
Şekil 6. 68: 600°C tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	99
Şekil 6. 69: 600°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	99
Şekil 6. 70: 600°C tavlama sonrası 7114 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü	100
Şekil 6. 71: 650°C tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü	101
Şekil 6. 72: 650°C tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü	102
Şekil 6. 73: 650°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	102
Şekil 6. 74: 650°C tavlama sonrası 7114 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü	103

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2. 1:Çalışmada kullanılan çeliklerin genel kullanım alanları ve başlıca özellikleri [22].....	14
Tablo 2. 2. EN 10346:2015 standardı çeliklerin kimyasal bileşimleri [22].....	14
Tablo 2. 3.EN 10346:2015 standardı çeliklerin mekanik özellikleri [22]	15
Tablo 2. 4. EN 10130:2006 standardı çeliklerin kimyasal bileşimleri [22].....	15
Tablo 2. 5. EN 10130:2006 standardı çeliklerin mekanik özellikleri [22]	16
Tablo 2. 6:EN 10130:2006 standardı beyaz eşya sektöründe kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri [22].	17
Tablo 2. 7. EN 10130:2006 standardı beyaz eşya sektöründe kullanılan çeliklerin mekanik özellikleri [22].....	17
Tablo 6. 1: 1311 tip çelik kimyasal kompozisyonu	41
Tablo 6. 2. 6112 tip çelik kimyasal kompozisyonu	41
Tablo 6. 3. 7114 kalite çelik kimyasal kompozisyonu	42
Tablo 6. 4. Üretim ve kaynak parametreleri tablosu.....	42
Tablo 6. 5. Yassılma testi sonuçları.....	46
Tablo 6. 6. Genişletme testi sonuçları.....	47
Tablo 6. 7. Vickers cinsinden sertlik sonuçları.....	50

KISALTMALAR

AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
EMK	Elektro motor kuvvet
ERW	Elektrik direnç kaynağı
HFIW	Yüksek frekans indüksiyon kaynağı
ITAB	Isı tesiri altında kalan bölge



SİMGELER

A	Akım
B	Bor
C	Karbon
Cu	Bakır
Fe-C	Demir Karbon
J	Joule
Mn	Magnezyum
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
Sn	Saniye
Ti	Titanyum
°C	Santigrat derece
%	Yüzde

ÖZET

YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE ÜRETİLEN ÇELİK BORULARA ISIL İŞLEM UYGULAMALARININ ETKİLERİ

Rahmi HIDIR

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ali GÜRSEL

Haziran 2022, 117 sayfa

Boru imalatında, yüksek frekans kaynağı ile sürekli alın dikişli üretim her geçen gün artmaktadır. Artan üretim, son kullanıcıya her zaman en iyi ürünü ulaştırmak için yüksek kalite standartları beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada boru sektöründe kullanılan yüksek frekanslı indüksiyon kaynağının (HFIW) farklı kullanım amaçlarına yönelik olarak üretilen ürünlerden numuneler alınarak, aynı şartlar altında ısıtılma işlemi öncesi ve sonrası özellikleri incelenerek, kaynaktan dolayı oluşan gerilmeleri gidermek ve daha kaliteli, dayanıklı ve uzun ömürlü ürün elde etmek amaçlanmıştır.

Bu çalışmada beyaz eşya, havlupan (heated towel) ve mobilya malzemesi olarak kullanılan ince cidarlı borulardan üretilen üç farklı cinsten profil numunesi, kaynak öncesi, kaynak sonrası ve ısıtılma işlemi sonrası mekanik testlere tabi tutulup gözlemlenmiştir. Kaynak yapılan borunun malzeme kalitesi havlupan için Erdemir Standardı olan 6112, beyaz eşya için 7114 ve mobilya malzemesi için 1311 olarak belirlenerek ve kalınlıkları hepsinde 1 mm tutulmuştur.

Üretilen numunelere kaynak öncesi, kaynak sonrası ve ısıtılma işlemi sonrası olmak üzere üç aşamalı testler uygulanmıştır. Uygulanan test ve analizler; mekanik (çekme) testleri, sertlik analizleri, boru ezme ve konik açma test yöntemleriyle dikiş mukavemeti muayeneleri ile mikro yapı analizleri yapılarak elde edilen veriler analiz edilmiştir. İncelenen numunelerde ısıtılma işlemi etkileri belirlenip, yüksek frekans kaynağında ısı girdisinin sebep olduğu gerilmeler yanında, ısıtılma işleminden kaynaklanan gerilmeler de olduğu gözlemlenmiş, her iki işlemten kaynaklı gerilmeleri gidererek kalite standartlarının dışına çıkan ürünleri standartlara uygun hale getirmek için yapılması gerekenler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın sonunda, üretim sırasında kaynak tesirinin altında kalıp sertleşen bölgeye uygun ısıtılma işlemi uygulandığı takdirde, malzeme üzerindeki mekanik özelliklerin iyileştiği gözlemlenmiştir. Boru şekillendirme ve yüksek frekans kaynağı esnasında meydana gelen gerilmeler ve kusurlar bu sayede giderilebilmiştir.

Anahtar sözcükler: Boru imalatı, Yüksek frekans kaynağı, Kaynak gerilmeleri, Isıl işlem

ABSTRACT

MANUFACTURED BY HIGH FREQUENCY WELDING EFFECTS OF HEAT TREATMENT APPLICATIONS ON STEEL PIPES

Rahmi HIDIR
Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical Engineer
Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali GÜRSEL

June 2022, 117 pages

In pipe manufacturing, high frequency welding is increasing day by day with continuous butt seam. Increasing production brings with it high quality standards to always deliver the best product to the end user.. In this study, it is aimed to remove the stresses caused by welding and to obtain a higher quality, durable and long-lasting product by taking samples from the products manufactured in different purposes of the high frequency induction welding (HFIW) used in the pipe industry, and examining the properties of them before and after the heat treatment under the same conditions.

In this study, three different types of profile samples manufactured from thin pipes used as home appliances, towel warmers and furniture materials were subjected to mechanical tests before and after welding, and after heat treatment were observed. The material quality of the welded pipe was determined as Erdemir Standard 6112 for towel warmer, 7114 for home appliance and 1311 for furniture material, and their thickness was kept as 1 mm in all.

Three-step tests were applied to the produced samples: before welding, after welding and after heat treatment. Applied tests and analyzes; the data obtained from mechanical (tensile) tests, hardness analysis, pipe crushing and taper opening test methods, seam strength tests, and also microstructure analyzes were employed. The effects of the heat treatment were determined in the samples examined, besides the stresses caused by the heat input in the high frequency welding, it was observed that there were also stresses arising from the heat treatment, and it was tried to determine what should be done to make the products that go beyond the quality standards in accordance with the standards by removing the stresses caused by both processes.

At the end of the study, it was observed that the mechanical properties on the material were improved if appropriate heat treatment was applied to the hardened area under the influence of welding during production. In this way, the stresses and imperfections that occur during pipe forming and high frequency welding were able to eliminated.

Keywords: Pipe manufacturing, High frequency welding, Welding stress, Heat treatment

1. GİRİŞ

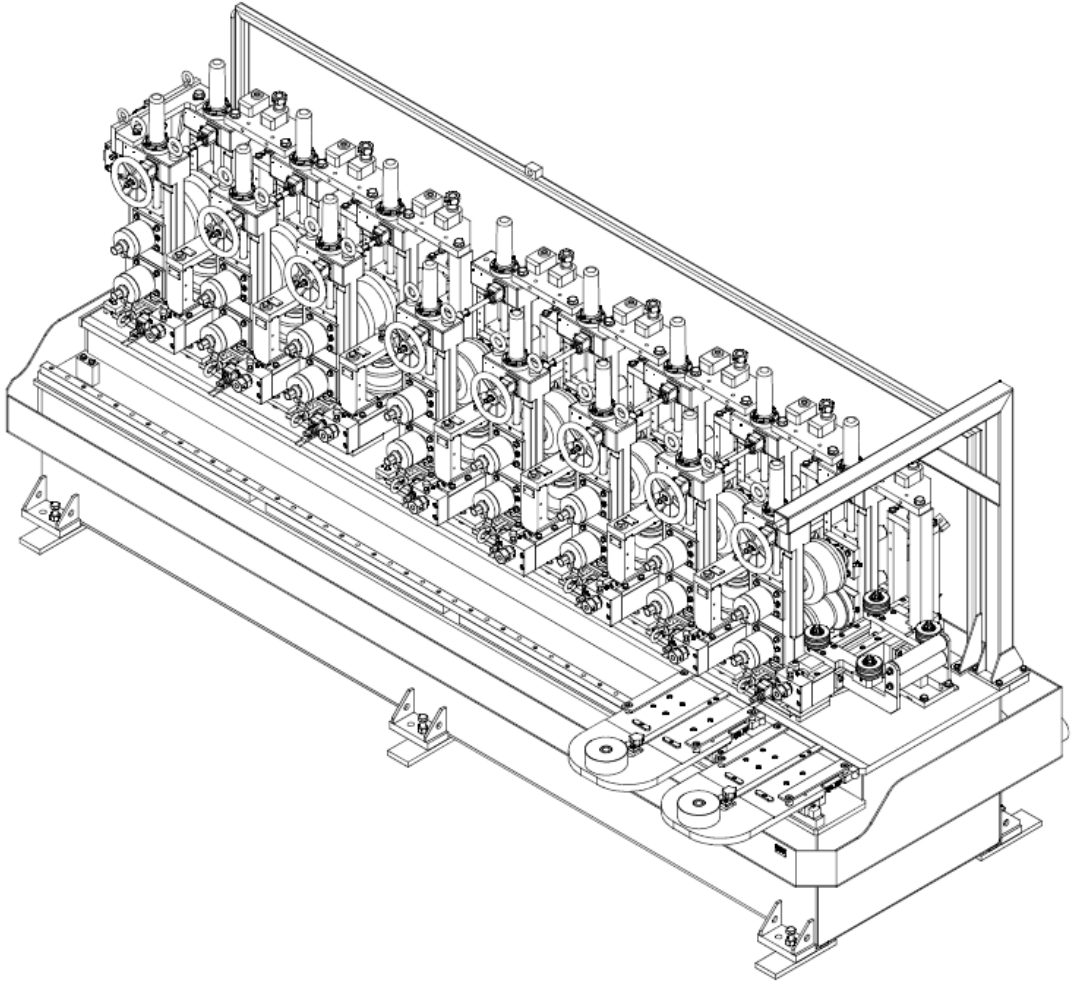
Yüksek frekans kaynağı ile üretilen boru ve profillerde standartlara uygun üretim, çelik sektöründe maliyetlerin yüksek olması, iş gücü kaybı ve zaman tasarrufu açısından önem taşımaktadır. Oturduğumuz sandalye, ısıtma amaçlı kullandığımız havlupanlar, çelik konstrüksiyon inşaat ve yapılar, otomotiv sanayi, seracılık, sıvı transfer hatları ve bunun gibi birçok sektörde boru ve profiller kullanılmaktadır. Bundan dolayı boru ve profillerin insan yaşamının her alanında var olduğu, maliyet ve emniyet bakımından önem taşıdığı için yüksek kalitede ve hatasız üretilmesi gerekmektedir. Yarı mamul olarak üretilen boru ve profil, yeni bir ürünün alt parçasını oluşturacaktır. Boru ve profillerde özellikle otomotiv, beyaz eşya ve iklimlendirme sistemlerine yönelik üretilen ürünler, nitelik açısından üretim standartları yüksek tutulan ürünlerdir. Bundan dolayı yeniden eğme, bükme, genişletme gibi şekil değiştirmelere maruz kalacaktır. Yeniden şekillendirilen ürün standartların dışında ise, şekillendirme sırasında yırtılma ve patlama gibi problemler karşımıza çıkacak ve maliyet açısından oldukça zarar meydana getirecektir. Çelikler boruların standartlar dahilinde olup olmadığı önceden laboratuvar ortamında yapılan testlerle tespit edilebilmektedir. Fakat sac halden işlenerek boru haline dönüştürülüp yüksek frekans kaynağına maruz kalan ürün standartların dışına çıkabilmektedir. Üretilen ürünlere yeniden testler uygulanmakta, standart toleransları içerisinde kalıyor ise müşteriye sevk edilmektedir. Ürün standart dışı kalıyor ise müşteriye gönderilmemekte ve fireye ayrılmaktadır. Müşteriye gönderilmemesi oluşabilecek başka büyük zararların önüne geçmektedir ancak, fireye ayrılan ürünlerin hurda niteliğine dönüşmesi ve bundan doğan işletme maliyeti, zamanında üretilemeyen ürün ve iş gücü kaybı işletmeler açısından büyük bir zarar teşkil etmektedir. Standart dışı kalan ve hurdaya dönüşen ürünler aynı zamanda milli servet kaybımızdır. Bundan dolayı üretim sürecinin şekillenmesi ve uygulanacak işlemlerle kalitenin yükselmesi ve nitelikli ürün olarak müşteriye sevk edebilmek adına çalışmalar yapılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmada özellikle bu problemin üzerine yoğunlaşıp, yüksek frekans kaynağının ardından çeliğin iç yapısında meydana gelen değişimlerden dolayı standartların dışına çıkma süreçleri incelenip, iç gerilmelerle sertleşen çeliğe ısıtma işlemi uygulanarak standartlara uygun hale getirilebilmesi amaçlanmıştır. Üretim sonrası uygulanan ısıtma işlemi

ile uygun standartlara kavuşan ürünleri sayesinde işletmelerdeki karlılık ve verim de artmış olacaktır.



2. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE BORU ÜRETİM PROSESİ

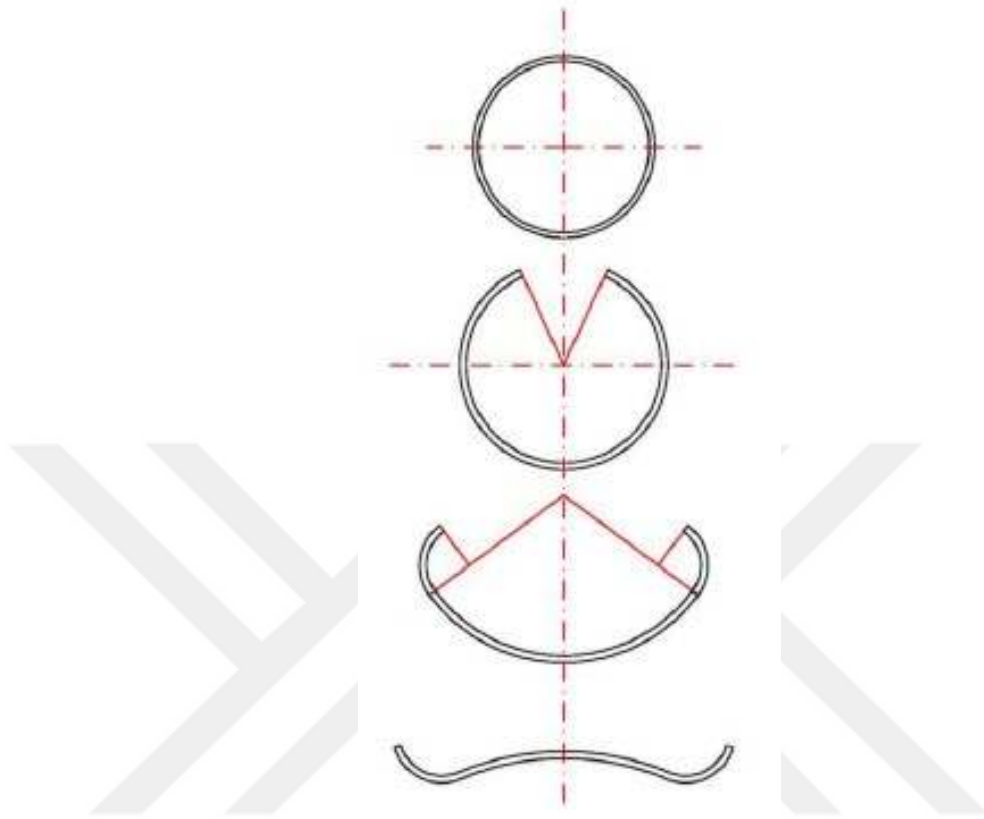
Yüksek frekans kaynağı, boru profil sektöründe genel olarak başvurulan kaynak yöntemidir [1]-[3]. Yüksek frekans kaynağına girmeden önce dilinmiş çelik boru, form grubu adı verilen istasyonlarda boru kalıplarının arsından geçirilerek uygun forma getirilir (Şekil 2.1). Her bir istasyon motor redüktör grubundan gelen şaft yardımı ile tahrik alır ve sürekli bant akışını sağlar.



Şekil 2.1. Boru makinesi form ünitesi [4].

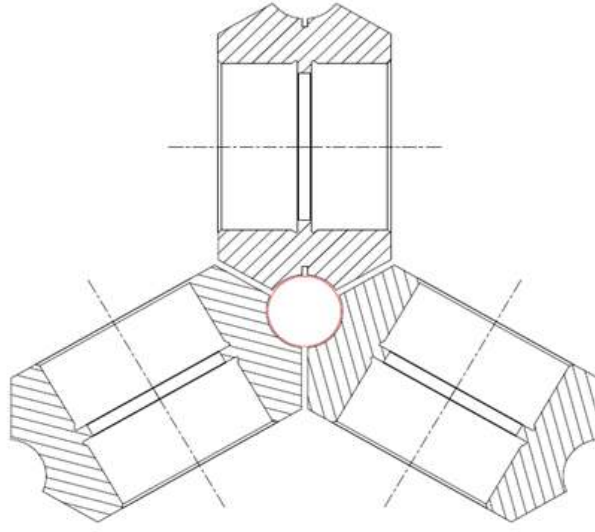
Şekil 2.1’de boru makinesinin form bölgesi ve kaynak ünitesine giriş bölümü görülmektedir. Her bir istasyon tahrik olarak ve kalıpların arasındaki sacı şekillendirerek akışın sürekliliğini sağlar. Form alan bant kaynak bölgesine girer. Kaynak işlemini gerçekleştirmek için ısı ve basınç kullanılır. Boru kalıpları girişten itibaren belirli

derecelerle sacı şekillendirerek istenilen forma gelene kadar sürekli baskı uygular. Baskı altında kalan sac bükülerek istenilen form yapısına getirilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Dilinmiş sacdan boru haline geliş aşamaları [5].

Şekil 2.2’de görülen yapıda sac, belirli kalıpların içerisinde geçerek kademe kademe bükümlere maruz kalarak şekillendirilir. Form grubunun en sonunda boru haline getirilir. Üretilen malzeme tam ölçüye getirilmeden, tam ölçüye yakın daha büyük bir çapta kaynak makaralarının içine yönlendirilir. Kaynak makaraları üçlü, dördü veya beşli olabilir. Genel olarak üçlü yapıda ve birbirleri ile 120° açı yapan kaynak makaralarının kullanım tercih edilir [6].



Şekil 2.3. 120°'lik açı ile konumlandırılan kaynak makarası grubu [6].

Kaynak makaralarının kullanımındaki amaç kaynaklanacak sacın iki ucunu yan yana getirip belli bir açıda yanaştırmak ve 'V' şeklinde bir yarığa doğru birleşim sağlamaktır. Kaynak makaraları ısı altında ve manyetik alan etkisinde çalıştığı için her malzeme ile yapılamaz. Burada kullanılacak olan malzemenin manyetik alandan etkilenmemesi gerekmektedir. Aksi halde kaynak makaraları aşırı ısınıp boru üzerinde deformasyonlara yol açabilmektedir. En büyük üretim hataları kaynak bölgesinde meydana gelmektedir. Birçok parametreye bağlı olduğu gibi kaynak makarasının seçimi de kaynak oluşumunda oldukça etkilidir [7]-[11].

2.1.YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE ÜRETİLEN ALIN DİKİŞLİ ÇELİK BORULARDA ÜRETİM AŞAMALARI

Yüksek frekans kaynağı kullanılarak üretilen alından dikişli borularda üretim sağlayabilmek için birkaç makinanın bir arada senkronize olarak çalışması gerekmektedir. Bu makinalar bir araya gelerek bir hattı oluştururlar. Bu hat boru makinasının tamamını oluşturur. Boru makinası dediğimizde boru çekmek için bir arada çalışan makinalar grubu olarak düşünebiliriz. Yüksek frekans kaynağında boru olarak üretilcek olan malzemenin ilk etapta boru makinasına uygun dilinmesi ve hazırlanması gerekmektedir. Bunun için rulo haldeki sacı istenilen boru çapına göre dilmek gerekmektedir. Boru üretimindeki ilk adım budur. İstenilen boru çapına göre basitçe çevresel bir hesap yapılarak bant genişliği bulunur. Bu genişlik neticesinde dilme

makinasında istenilen ebatta bıçak ayarları yapılarak makine açıcısına takılır. Bir dizi bant düzeltme işleminden geçtikten sonra sac dilinmek üzere bıçak kasasına ulaşır ve dilme işlemi gerçekleştirilir. Burada aynı anda birkaç şerit halinde dilinen bant baskı merdaneleri yardımı ile sarıcı grupta dilinmiş halde tekrardan sarılır. Artık boru makinasına girmeye hazır hale gelen bant hasar verilmeden taşınarak boru makinasının başlangıç ayağında istiflenir [12], [13].

2.1.1. Bant Açıcı

Yüksek frekans kaynağına girmeden önce malzeme, boru makinası grubunda ilk olarak bant açıcı ile yükleme gerçekleştirilerek başlangıç yapılır. Boru makinesini ilk ünitesi bant açıcıdır. Burada dilinmiş olan bant yüklenerek makinanın diğer bölümlerine geçiş için hazırlanır [2],[14].



Şekil 2.4. Bant açıcı genel görünümü [14].

Bant açıcı makinasında bantlar şekildeki mandrenlere bağlanarak uç kaynak ve ardından akümülatör bölümüne geçiş yapar. Burada bantlar bittikçe yenisi bağlanır.

2.1.2. Uç Kaynak Ünitesi

Yüksek frekans kaynağının kesintiye uğramadan sürekli gerçekleşmesini sağlamak amacıyla bantların uç uca eklenmesi gerekmektedir. Bu bölüm bantların uç uca eklenerek sürekliliğinin sağlandığı ünedir. Burada bantlar ucu bir araya getirilerek giyotin bir makas yardımı ile kesilip aynı eksene getirilir. Ardından bant uçları yaklaştırılıp bir kaynak ünitesi ile birleşim sağlanır. Kaynaklı birleşim malzemenin kalınlığına ve cinsine göre değişebilmektedir. Otomatik sisteme bağlı gaz altı veya tungsten elektrot kaynağı uygulanabilir. Otomatik sistemin olmadığı yerde kaynak el ile gerçekleştirilebilir. Bu bölüm fireye ayrılacağı için yalnızca makinada kopmayacak kadar sağlıklı bir kaynak olması yeterlidir [2],[14].

2.1.3. Akümülatör

Yüksek frekans kaynağında, bandın makine form grubuna girmeden önceki son ünitesi akümülatördür. Bu ünite de bant makinaya duruş olmaksızın sürekli verilir. Açıcı ve uç kaynak ünitelerinde bant yüklenirken ve uç uca kaynaklanarak eklenirken bant akışı beklemek zorundadır. Bu makinanın olağan akışına aykırı bir durum meydana getirir. Yüksek frekans kaynağının kesintiye uğramaksızın sürekli akış halinde olması gerekmektedir. Yeniden kaynağa başlangıç ve duruş anlarında frekansın tam sağlanamamasından dolayı malzemeler fireye çıkmaktadır. Bu duruşun olmaması için akümülatör ünitesi kullanılmaktadır. Uç kaynaktan akümülatöre gelen bant yatay olarak tamburun içerisinde sarılır (Şekil 2.5).

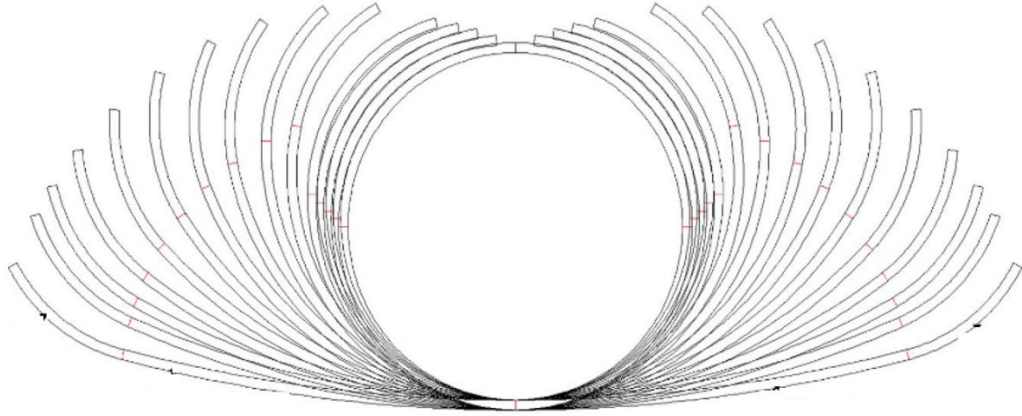


Şekil 2.5. Yatay akümülatör genel görünümü [15].

Dış sargı, uç kaynaktan gelen bant ile oluşurken iç sargı makinanın form grubuna gidecek olan bandı oluşturur. Tamburun içerisinde sürekli bant yüklüdür ve makinanın bandı çekmesine olanak sağlayan yatay merdanelere sahiptir. Makinanın dış sargısı genel hat hızından daha fazla olmalıdır. Çünkü uç kaynak ve yükleme aşamasında kaybedilen zamanı telafi etmek zorundadır [2],[14].

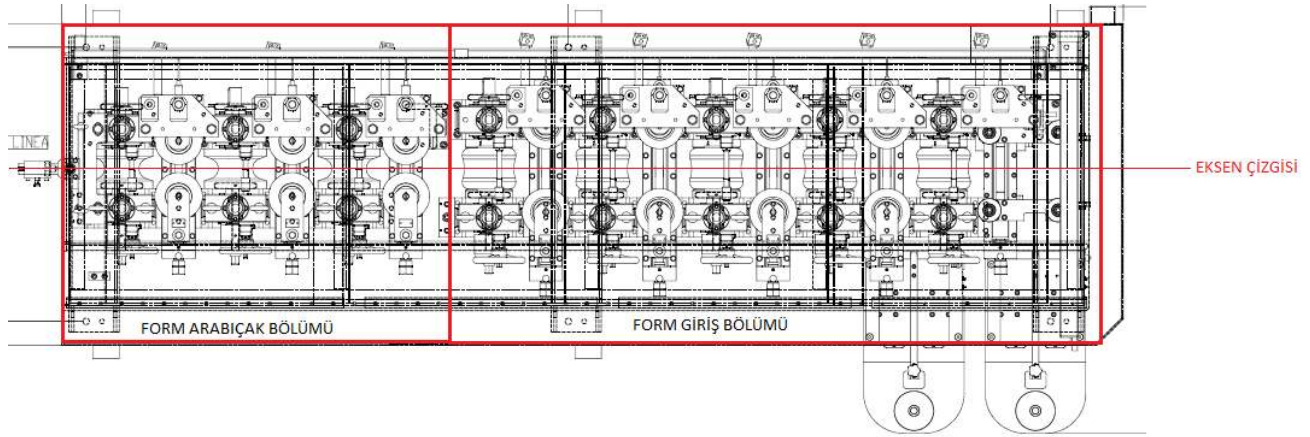
2.1.4. Form Ünitesi

Yüksek frekans kaynağı ile kaynaklanacak olan çelik bantların boru formunun verildiği bölümdür. Form bölgesinde birçok kalıbın takılı olduğu istasyonlar vardır. Her bir istasyon bağımsız olarak tahrik alır. Fakat yuvarlanma çapları her zaman aynı yolu almalarını sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Her kalıbın çapı farklı olsa da dönüş hızlarından bu istasyon grubunun beraber aynı hızda bant akışı yapması sağlanır. Aksi halde istasyonlar arası yığılma ya da patinaj olacaktır. Form grubunda baştan sonra kesit alınmış olsa bantın çiçek formatına benzer bir şekilde kırıldığı gözlemlenebilir (Şekil 2.6) [2], [5], [14].



Şekil 2.6. Boru üretim aşamasında çiçek deseninin oluşumu [16].

Yukarıda ki gibi çiçek desenini oluşturmak için öncelikle açık halde birbirlerinin içerisine geçmeli kalıplar kullanılır. Bu sayede bant kenarlarının boru formuna göre kırılması sağlanır [17], [18]. Ardından ara bıçaklı form grubuna geçer ve burada da bant uçları boru halini aldırılıp paralel olarak birbirine yaklaştırılır. Kaynaktan önceki son hal böylelikle verilmiş olur. Buradan yüksek frekans kaynağının gerçekleştiği ünitenin içerisine gider.

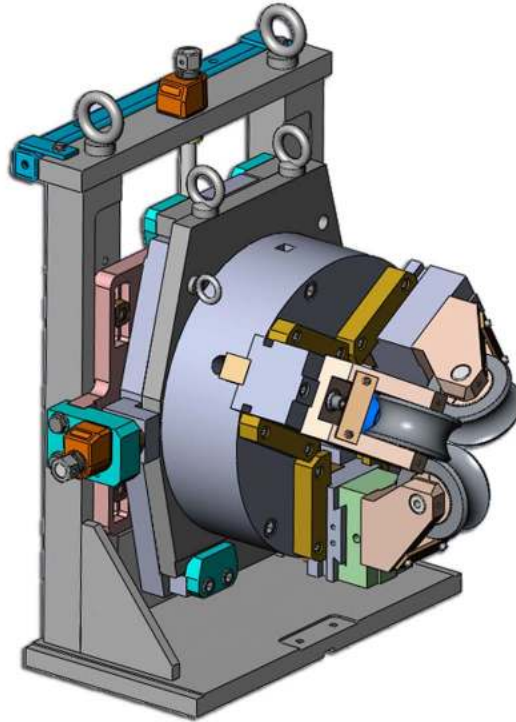


Şekil 2.7. Form ünitesi üst görünüş ve bölümleri [4].

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi form ünitesi bandın ilk hali için giriş kalıplarını kullanır. Burada kalıplar iç içe geçmiş halde bulunur. Buradan ara bıçaklı kalıplara geçildiğinde kalıplar bantları çevresel olarak sararlar.

2.1.5. Yüksek Frekans Kaynak Ünitesi

Yüksek frekans kaynağının gerçekleştiği bölüm burasıdır. Form grubundan uçları birleştirilmemiş boru halinde çıkan bükülmüş sac bu bölgede yüksek frekans kaynak ünitesinden gelen enerji ile kaynaklanır. Ünite de gerçekleşen kaynağın uygulanışı bu çalışmada daha geniş kapsamlı olarak anlatılacaktır.

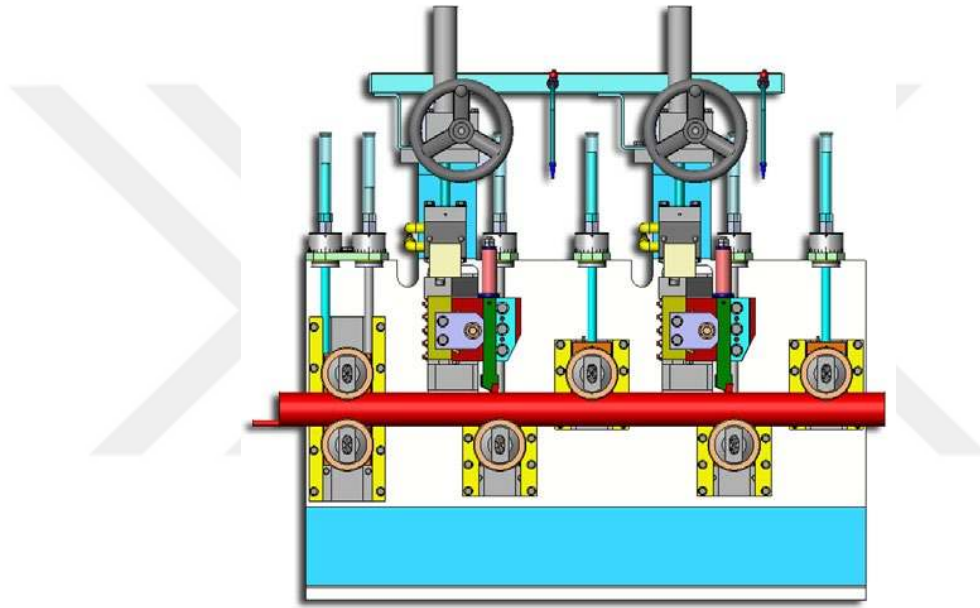


Şekil 2.8. Frekans kaynağı gerçekleştirilen makine bölgesi [14].

Şekil 2.8’de gösterilen yapıda üçlü kaynak makaralarının bağlandığı bir yüksek frekans kaynak ünitesi görülmektedir.

2.1.6. Çapak Sıyırma Ünitesi

Yüksek frekans kaynağının oluşumu ile eriyen bant kenarları boru içerisinde ve dışarısında kaynak dikişi meydana getirir. Bu kaynak dikişi dışa taşkın şekilde olmaktadır. Boru formu verilen çelikte pürüzsüz ve düzgün bir kaynak yüzeyi istenir. Bundan dolayı kaynak dikişi bir kater yardımı ile talaş kaldırmak suretiyle uzaklaştırılır [2], [14].



Şekil 2.9. Çapak alma ünitesi [14].

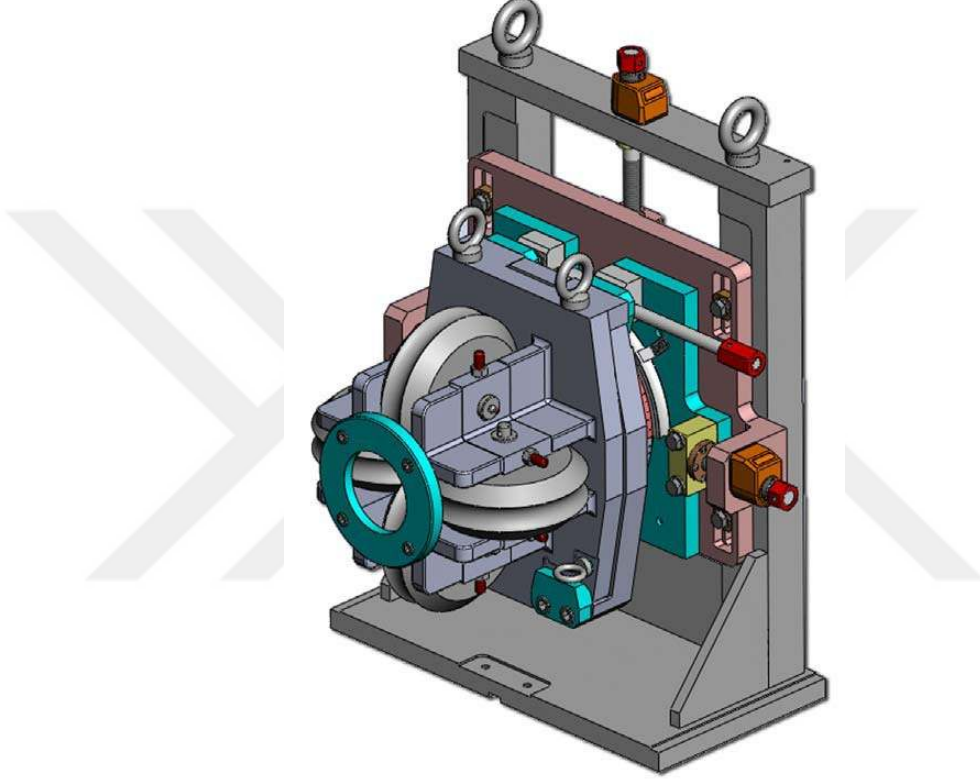
Çapak alma ünitesinde boru kırmızı ile gösterilmiştir. Üstteki volanlar yardımı ile kater boru üzerine istenilen derinlikte daldırılır ve kaynak dikişi temizlenir.

2.1.7. Kalibre Ünitesi

Kaynak çapağı temizlenen boru tam olarak istenilen formda olmayabilir. Kusursuz olarak istenilen forma getirilebilmesi için ürün iki üniteden daha geçecektir. Bu ünitelerin ilki kalibre bölgesidir. Kalibre bölgesinde form ünitesinde olduğu gibi tahrikli istasyonlar bulunur. Bu istasyonlarda çok ufak haddeleme yöntemi ile boru istenilen çap değerine getirilir [2], [14].

2.1.8. Türk Kafa Grubu

Yüksek frekans kaynağı ile üretilen çelik borularda, borudan farklı bir geometrik şekle geçerken kullanılan üniteye Türk kafa denir. Bu gruptaki merdaneler avare çalışır ve malzemeyi haddeleyerek farklı geometrik şekillere dönüştürür. Dönüştürülmek istenen geometrik şekle birkaç istasyon yardımı ile ulaşılır. Bükümler kademe kademe gerçekleştirilerek batmaların ve kaynak yırtılmasının önüne geçilir [14].



Şekil 2.10. Türk kafa istasyonu [14].

Türk kafa istasyonları genelde şekildeki gibi olur. İstenilen son şekle göre istasyon sayısı ve istasyonlardaki kalıp sayısı değişkenlik gösterir. Genel olarak dört istasyonlu ve her istasyonda dört kalıp şeklinde kullanılır.

2.1.9. Uçar Testere

Yüksek frekans kaynağı ile üretilen boruları istenilen boyda hassas bir şekilde kesmek için uçar testere ünitesi kullanılır. Uçar testere denilmesinin sebebi, akış halinde olan makinayı durdurmadan makine ile beraber hareket edip kesim işlemini yapan bir testere ünitesine sahip olmasıdır. Testere ünitesi üzerinde bulunan mengeneler yardımı ile akış halinde olan boruyu tutarak, makine hızında ilerler ve kesme işlemini gerçekleştirir.

Kesim bittikten sonra mengenerler malzemeyi serbest bırakır. Uçar testere tekrardan geri dönerek kesim yapabilmek için makinanın iki katından fazla ivmeli bir hareket yaparak yeniden kesim yapılacak boydan malzemeyi kavrar. Kesilecek boyu ayarlamak için bir enkoderden sinyal alır. Testere üzerindeki servo motorlar, enkoder üzerinden gelen sinyale göre tam istenilen pozisyonda malzemeyi tutarlar [19].



Şekil 211. Uçar testere ünitesi [19].

Uçar testere ünitesi, bir şase üzerinde yerleştirilmiş raylar yardımı ile boru ile aynı hızda akabilmektedir. Bu raylar üzerine tam 90° açı ile yerleştirilmiş ufak şasenin üzerinde dönmekte olan motor ve testere grubu malzemeye dalış yaparak kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Buradan kesilen boru konveyör aracılığıyla taşınmaktadır. Konveyör ünitesi, uçar testereden paketleme bölümüne geçerken arada ki taşıyıcılık bölümünü yapan ünedir. Buradan paketlemeye ulaşan malzeme istenilen şekilde son paket düzenine getirilip müşteriye sevk edilir.

2.2.YÜKSEK FREKANS KAYNAĞINDA KULLANILAN ÇELİKLER

Yüksek frekans kaynağı ile üretilen boyuna dikişli borularda genel olarak düşük karbonlu çelikler kullanılmaktadır. Çelikleri içerdikleri karbon oranına göre sınıflandırırsak düşük karbonlu çelikler, orta karbonlu çelikler, yüksek karbonlu çelikler ve yüksek karbonlu takım çelikleri olmak üzere dört ana başlık altında toplayabiliriz. İçeriğindeki karbon

%0.25'e kadar ise düşük karbonlu, 0.25 ila 0.55 oranları arasında ise orta karbonlu, %0.55 - %0.9 ise yüksek karbonlu ve %0.9 - %1.6 arasında karbon içeriyorsa yüksek karbonlu takım çelikleri olarak sınıflandırabiliriz [20], [21].

Üretim esnasında birçok kez plastik deformasyona maruz kalan çelik sac malzemenin şekillendirilebilir sertlikte olması gerekir. Bu sebeple yüksek frekans kaynağı tekniği ile üretilen borularda kullanılan çeliklerde karbon miktarı %0.25 değerini aşmadığı için düşük karbonlu çelikleri yüksek frekans kaynağı uygulamaları için uygundur diyebiliriz. Üretim şekline göre sıcak haddelenmiş veya soğuk haddelenmiş çelikler kullanılabilir.

2.2.1. Sıcak Haddelenmiş Çelikler

Sıcak haddelenmiş çelikler adından da anlaşılacağı üzere belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak haddelenmesi ile elde edilen sıcak yassı ürünlerdir. Bükme ve soğuk şekillendirme uygulamalarında çok iyi performans göstererek derin çekme ve yüksek mukavemet alanlarında yüksek performans vermesinden dolayı otomotiv endüstrisinde kullanıma oldukça uygundur. Yüksek mukavemet, yüksek tokluk ve çok iyi kaynaklanabilir özelliklerinden dolayı sıvı nakil borularında kullanımları da uygundur. Mukavemet ve kaynaklanabilir özellikleri sayesinde gemi sanayi ve basınçlı kapların yapımında kullanıma uygunlardır [22].

2.2.2. Soğuk Haddelenmiş Çelikler

Soğuk haddelenmiş çelikler, ısıtma işlemi yapılmadan haddelenen çeliklere denir. Sıcak haddelenmiş çeliklere göre daha ince ebatlara kadar haddelenebilir. Üretilen malzemelerin fiziksel özellikleri rulo boyunca homojen olurken, yüzey düzgünlüğü, genişlik ve kalınlık değerleri de beklentileri en üst seviyede karşılar. Soğuk haddelenmiş çelikler otomotiv sektöründe, radyatör ve havalandırma ekipmanlarında, otomotiv, beyaz eşya, mukavemet, tokluk ve süneklik gereken uygulamalarda kullanılırlar. Soğuk haddelenmiş çeliklerin yüzeyi parlak ve temiz olur [22].

Çelikler çok fazla çeşitlilikte olduğu için bu çalışmada kullanılan çelikler üzerine özellikle durulacaktır. Çalışmada kullanılan çelikler soğuk haddelenmiş çelikler içerisinde seçilmişlerdir.

Tablo 2. 1. Çalışmada kullanılan çeliklerin genel kullanım alanları ve başlıca özellikleri [22].

Genel Kullanım Alanı ve Başlıca Özellikleri	Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No
	Standart	Kalite	
Soğuk şekillendirmeye uygun düşük karbonlu “çinko ile kaplanmış” galvanize çelikler	EN 10346:2015	DX51D+Z	1311
Çekme işlemine uygun genel uygulama (Otomotiv sanayi, buzdolabı, çamaşır makinesi, mutfak eşyası, vs.)	EN 10130:2006	DC01	6112
Yaşlanmaya dayanıklı ekstra derin çekmeye uygun (Çok düşük karbonlu IF çelikleri)	EN 10130:2006	DC04	7114

Tablo 2.1’de Erdemir standartlarında belirtilen çeliklerin, kalite ve başlıca özellikleri gösterilmiştir. Bu çalışmada yapılan uygulamalar Erdemir standartları üzerinden ele alınacaktır.

2.2.3. 1311 Tipi Çelik

1311 tipi çelikler soğuk şekillendirmeye uygun, düşük karbonlu, çinko ile kaplanmış çeliklerdir. EN 10346:2015 standartlarına göre sınıflandırılır. EN 10346:2015 standardına göre soğuk şekillendirmeye uygun çelikler ve bileşimleri şu şekildedir;

Tablo 2. 2. EN 10346:2015 standardı çeliklerin kimyasal bileşimleri [22].

KİMYASAL BİLEŞİM %								
Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Ti max.
Standart	Kalite							
EN10346	DX51D+Z	1311	0.18	0.50	1.20	0.12	0.045	0.30
EN10346	DX52D+Z	1312	0.12	0.50	0.60	0.10	0.045	0.30
EN10346	DX53D+Z	1313	0.12	0.50	0.60	0.10	0.045	0.30
EN10346	DX53D+Z	1303	0.12	0.50	0.60	0.10	0.045	0.30
EN10346	DX54D+Z	1314	0.12	0.50	0.60	0.10	0.045	0.30
EN10346	DX54D+Z	1304	0.12	0.50	0.60	0.10	0.045	0.30
EN10346	DX56D+Z	1315	0.12	0.50	0.60	0.10	0.045	0.30

EN 10346:2015 standardı içinde yer alan 1311 tipi çelikler tablodan da görüldüğü üzere düşük karbonlu çelikler sınıfında bulunmaktadır. 1311 tipi çeliklerin mekanik özellikleri ise Tablo 2.3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. EN 10346:2015 standardı çeliklerin mekanik özellikleri [22].

MEKANİK ÖZELLİKLER									
Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No	Garanti Süreleri		Ra Rp0.2/RaL N/mm ² (kg/mm ²)	Rm(1) N/mm ² (kg/mm ²)	A80(2) (%) min.	r90 min.	n90 min.
			Mekanik Değerler	Akma İzi Oluşmaması					
EN10346	DX51D+Z	1311	1 ay	-	-	270-500 (27.6-51.0)	22	-	-
EN10346	DX52D+Z	1312	1 ay	-	140-300 (14.3-30.6)	270-420 (27.6-42.8)	26	-	-
EN10346	DX53D+Z	1313	1 ay	-	140-260 (14.3-26.5)	270-380 (27.6-38.7)	30	-	-
EN10346	DX53D+Z	1303	1 ay	-	140-260 (14.3-26.5)	270-380 (27.6-38.7)	30	-	-
EN10346	DX54D+Z	1314	6 ay	6 ay	120-220 (12.2-22.4)	260-350 (26.5-35.7)	36	1.6	0.18
EN10346	DX54D+Z	1304	6 ay	6 ay	120-220 (12.2-22.4)	260-350 (26.5-35.7)	36	1.6	0.18
EN10346	DX56D+Z	1315	6 ay	6 ay	120-180 (12.2-18.4)	260-350 (26.5-35.7)	39	1.8	0.21

EN 10346:2015 standartları içerisinde yer alan 1311 tipi çeliklerin mekanik özellikleri Tablo 2.3'te sunulmuştur. Bu değerler sac haline getirilmiş çeliğin mekanik özelliklerini gösteren değerleridir. Bu çalışma ile kaynak sonrası ve ısıtılma sonrası mekanik test sonuçları da tablo haline getirilip karşılaştırılabilecektir.

2.2.4. 6112 Tipi Çelik

6112 tipi çelikler çekme ve derin çekme işlemine uygun düşük karbonlu soğuk haddelenmiş çeliklerdir. EN 10130:2006 standardına göre sınıflandırılır.

Tablo 2.4. EN 10130:2006 standardı çeliklerin kimyasal bileşimleri [22].

KİMYASAL BİLEŞİM %									
Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No	C max.	P max.	Cu max.	S max.	Mn max.	B max.	Ti
EN 10130	DC01	6112	0.12	0.045	-	0.045	0.60	-	-
EN 10130	DC01	6182	0.12	0.045	0.15-0.45	0.045	0.60	-	-
EN 10130	DC01	7111	0.12	0.045	-	0.045	0.60	-	-
EN 10130	DC01	6612	0.12	0.045	-	0.045	0.60	-	-
EN 10130	DC01	7612	0.12	0.045	-	0.045	0.60	20-30	-
EN 10130	DC03	6113	0.10	0.035	-	0.035	0.45	-	-
EN 10130	DC04	6114	0.08	0.030	-	0.030	0.40	-	-
EN 10130	DC05	6115	0.06	0.025	-	0.025	0.35	-	-

EN 10130:2006 standardı içerisinde yer alan çeliklerin karbon oranı %0.25'in altında kalmaktadır. Düşük karbonlu çelik sınıfında yer almaktadır.

Tablo 2. 5. EN 10130:2006 standardı çeliklerin mekanik özellikleri [22].

MEKANİK ÖZELLİKLER										
Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No	Yüzey Kalitesi	Garanti Süreleri		Ra N/mm ² (kg/mm ²) max.	Rm(1) N/mm ² (kg/mm ²)	A80(2) (%) min.	r90 min.	n90 min.
Standart	Kalite			Akma İzi Oluşmaması	Mekanik Değerler					
EN 10130	DC01	6112	A B	- 3 ay	-	280 (28.6)	270-410 (27.5-41.8)	28	-	-
EN 10130	DC01	6182	A B	- 3 ay	-	280 (28.6)	270-410 (27.5-41.8)	28	-	-
EN 10130	DC01	7111	A B	- 3 ay	-	280 (28.6)	270-410 (27.5-41.8)	28	-	-
EN 10130	DC01	6612	A B	- 3 ay	-	280 (28.6)	270-410 (27.5-41.8)	28	-	-
EN 10130	DC01	7612	A B	- 3 ay	-	280 (28.6)	270-410 (27.5-41.8)	28	-	-
EN 10130	DC03	6113	A B	6 ay	6 ay	240 (24.5)	270-370 (27.5-37.7)	34	1.3	-
EN 10130	DC04	6114	A B	6 ay	6 ay	210 (21.4)	270-350 (27.5-35.7)	38	1.6	0.18
EN 10130	DC05	6115	A B	6 ay	6 ay	180 (18.4)	270-330 (27.5-33.7)	40	1.9	0.20

EN 10130:2006 standardı sınıfı içerisinde yer alan 6112 tipi çelik ve diğer çelikler Bakır (Cu) takviyeli olarak üretilirler. Bu sebeple elektrik direnç kaynağına ve dolayısıyla yüksek frekans kaynağı ile kaynatılmaya oldukça uygundur [22].

2.2.5. 7114 Tipi Çelik

7114 tipi çelikler çekme ve derin çekme işlemine uygun çok düşük karbonlu (IF) beyaz eşya üretimine yönelik soğuk haddelenmiş çeliklerdir. Standart olarak EN 10130:2006 standartları arasında yer almaktadır. Aynı kalite standartları içerisinde yer alan çelikler aşağıda tabloda gösterilmiştir (Tablo 6). 6122 tipi çelikler ile aynı standartlarda yer almaktadır. Bu çeliklerin farkı çekme ve derin çekme işlemine uygun çok düşük karbonlu ve beyaz eşya üretimine yönelik soğuk haddelenmiş çelikler olmasıdır. Beyaz eşya grubunda tercih edilen çelikleri oluşturmaktadır.

Tablo 2.6. EN 10130:2006 standardı beyaz eşya sektöründe kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri [22].

KİMYASAL BİLEŞİM %							
Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No	C max.	P max.	S max.	Mn max.	Ti max.
Standart	Kalite						
EN 10130	DC01	7122	0.12	0.045	0.045	0.60	0.050-0.060
EN 10130	DC03	7123	0.10	0.035	0.035	0.45	0.060-0.070
EN 10130	DC04	7114	0.08	0.030	0.030	0.40	0.065-0.075
EN 10130	DC04	145	0.07	0.030	0.025	0.35	0.085-0.095
EN 10130	DC05	7115	0.06	0.025	0.025	0.35	0.085-0.095
EN 10130	DC06	7116	0.02	0.020	0.020	0.25	0.30

EN 10130:2006 standardı içinde yer alan 7114 tipi çeliklerinin karbon oranı, yine EN 10130:2006 standardı içerisinde yer alan 6112 tipi çeliğe göre daha az orandadır. 7114 tipi çelikler ile aynı grupta sınıflandırılan çelikler Tablo 2.6’da sunulmuştur.

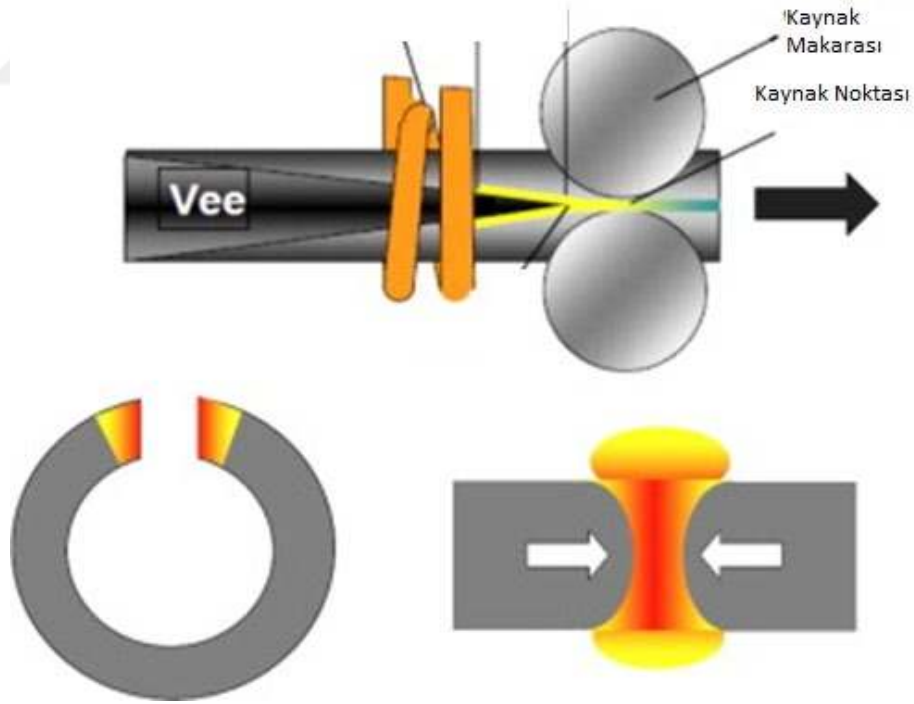
Tablo 2. 7. EN 10130:2006 standardı beyaz eşya sektöründe kullanılan çeliklerin mekanik özellikleri [22].

MEKANİK ÖZELLİKLER										
Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No	Yüzey Kalitesi	Garanti Süreleri		Ra N/mm ² (kg/mm ²) max.	Rm(1) N/mm ² (kg/mm ²)	A80(2) (%) min.	r90 min.	n90 min.
				Akma İzi Oluşmam	Mekanik Değerler					
EN 10130	DC01	7122	A B	- 3 ay	- 3 ay	280 (28.6)	270-410 (27.5-41.8)	28	-	-
EN 10130	DC03	7123	A B	6 ay	6 ay	240 (24.5)	270-370 (27.5-37.5)	34	1.3	-
EN 10130	DC04	7114	A B	6 ay	6 ay	210 (21.4)	270-350 (27.5-35.7)	38	1.6	0.18
EN 10130	DC04	145	A B	6 ay	6 ay	190 (19.3)	270-330 (27.6-33.6)	40	1.6	0.18
EN 10130	DC05	7115	A B	6 ay	6 ay	180 (18.4)	270-330 (27.5-33.7)	40	1.9	0.20
EN 10130	DC06	7116	A B	sınırsız	6 ay	170 (17.3)	270-330 (27.6-33.7)	41	2.1	0.22

Tablo 2.7’de belirtilen garanti süreleri, malzemenin üretildiği ve sevke hazır olduğu bildirildiği tarihte başlar. Bu kalitede analiz olarak limitler belirtilmemiş olup, tablodaki limitler Erdemir pratiklerine göre referans olarak verilmiş değerlerdir.

2.3.YÜKSEK FREKANS KAYNAĞININ UYGULANIŞI

Kaynak işlemi, kaynak makaralarının oluşturduğu basınç ve frekans ünitesinin ürettiği ısı ile gerçekleştirilir. Aslında kaynak bölgesinde meydana gelen birleşme dövme kaynağına benzemektedir [23]. Bantların ucunu kaynatmak için ihtiyaç duyulan ısı, frekans kabininden sağlanır. Yüksek Frekans Kaynak Jeneratörü şebekeden aldığı alternatif akımı (50 Hz AC) önce doğru (DC) akıma çeviren ve bu işlemi müteakiben kullanıma hazır olan DC akımı tekrardan alternatif akıma (400 kHz AC) çevirerek indüksiyon bobini vasıtası ile kaynatılmaya hazır olan boruya aktaran kaynak makinesidir [10]. Frekans kaynağı sayesinde sürekli ve hızlı bir kaynak dikişi oluşumu sağlanır. Frekans kabininden üretilen akım iletkenler vasıtasıyla bandın üzerinden ilerler ve bandın uç noktalarında yığılıp tam birleşme noktasında atlama yapar. Atlama yapan akım birleşme noktasında ısı oluşturur ve çeliği eriterek birleşim oluşmasını sağlar. Yüksek frekans kaynağının gerçekleşmesi için kaynaklanacak malzemenin kesinlikle iletken olması gerekmektedir [24]-[27]. Ana hatlarıyla yüksek frekans kaynağı bu şekilde gerçekleşmektedir.



Şekil 2.12. Yüksek frekans kaynağının şematik gösterimi [28].

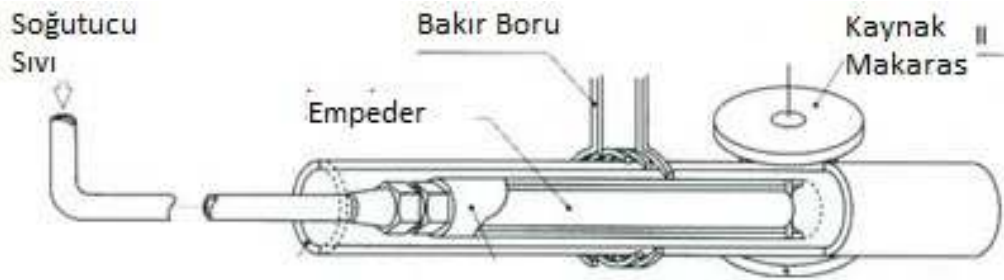
Borunun kenarlarına akımı taşıyıp kaynak oluşumunun sağlanması için birkaç parça bir arada çalışır.

2.3.1. Endüktör

Borunun birleşme noktasına yakın bir konumda ve dışında sarmal olarak bakır boru bulunmaktadır. Bu bakır bir bobindir ve akımın boru yüzeyine taşınması için kullanılmaktadır. Endüktörün sarım sayısı ve sarmal çapı kaynatılacak borunun çapına ve et kalınlığına göre değişmektedir. Endüktör çapının kaynatılacak malzemeden büyük olması veya tam tersi küçük olması kaynak oluşumunu doğrudan etkilemektedir. Bundan dolayı boru üreticileri deneysel olarak buldukları çap değeri ile endüktörü hazırlayıp kaynak ünitesinde kullanmaktadır [6].

2.3.2. Empeder

Kaynaklı birleşmenin sağlanması için manyetik akıyı meydana getiren bir diğer unsur empederdir. Bu parça birleşmek üzere olan borunun iç kısmında bulunur. Form istasyonunun geniş kısmından bağlanarak birleşme noktasına kadar uzanmaktadır. Empeder, yüksek frekans kaynağının oluşması için kritik bir bileşendir. Empeder yüksek manyetik geçirgenliğe sahip su soğutmalı bir tür kömürden imal edilmiş malzemedir. Empederin amacı indüklenen akımın boru çevresinde birikmesini ve o bölgede tutulmasını sağlamaktır. Böylece Vee açısının kenarlarında biriken akım 1300-1400°C'de bir ısının oluşmasını ve o bölgeye hapsolmesini sağlayacaktır. Kaynak bölgesinde oluşan ısının %40'ını emdiği için içerisinden soğutucu akışkan geçen bir kanal ile üretilmiştir. Bu sayede sağlıklı bir şekilde kaynak oluşumunu sağlayıp aynı zamanda empederin soğuması sağlanmıştır [29].

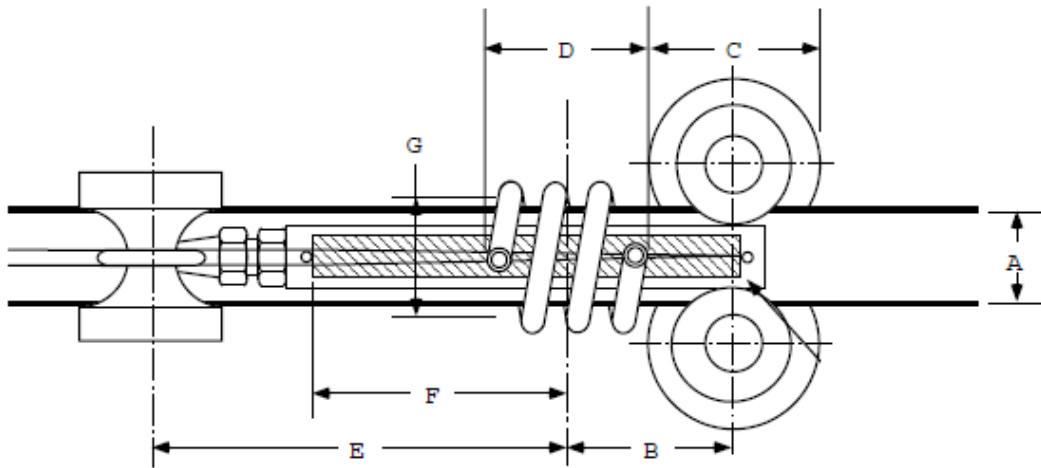


Şekil 2.13. Empeder ve soğutma sistemini [30].

Şekil 2.13'te görüldüğü gibi ferrit empeder çubuğu, boruların indüksiyon kaynağı ile kaynatılması için kullanılmaktadır. Ferrit empeder çubuğu 150°C'ye kadar çalışma sıcaklığına dayanabilmektedir. Yaklaşık 1300-1400°C civarı ısınan bölgede 150°C'nin üzerine çıkmadan kalabilmek için empeder çubuğunun içerisinden sürekli soğutucu akışkan geçirilmektedir [30].

2.4.YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI OLUŞUMU İÇİN KAYNAK GEOMETRİSİ

Boru makinesinde yüksek frekans kaynağının oluşabilmesi için kaynak ünitesinde kullanılan ekipmanların konumu ve kaynatılacak malzemeye etkileri belli bir geometriye dayanmaktadır. Kaynak makarası, empeder, endüktör ve kaynak birleşme açısı kaynağın sağlıklı yapılabilmesi için önemlidir. Empeder ve endüktörün konumları enerji kullanımı açısından ayrıca bir öneme sahiptir. Kaynak ünitesinde bulunan ekipmanların konumları bir teorik değere göre hesaplanmaya çalışılmıştır. Buna göre aşağıdaki şekil ve benzerleri elde edilmiştir [31].



Şekil 2.14. Kaynak bölgesi ölçüleri [31].

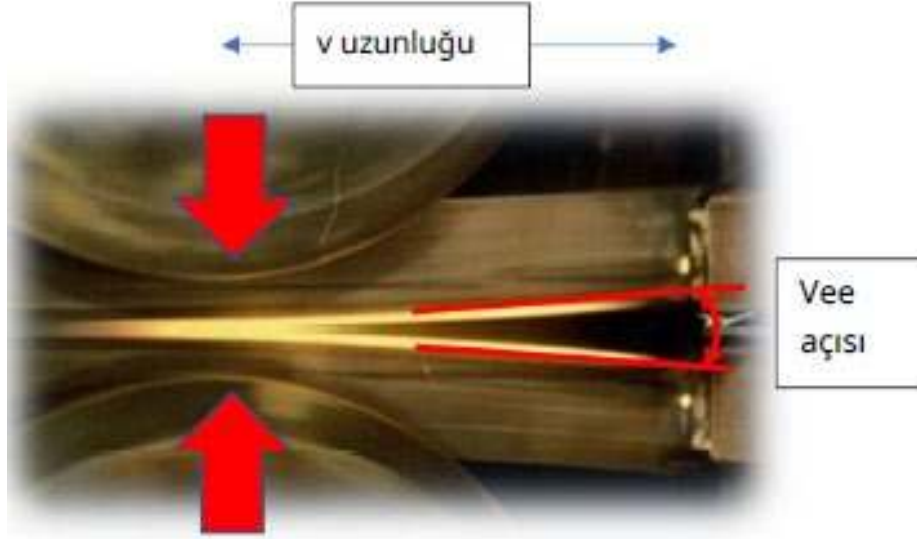
Şekil 2.14'e göre teorik değerler hesaplanmış ve sağlıklı bir kaynak oluşumu için ekipmanların konumlandırılması bir şemaya dönüştürülmüştür. Bu sonuca göre aşağıdaki hesaplar elde edilmiştir;

A = Boru çapı	
B = Vee açısı	Minimum
C = Kaynak makarası dış çapı	Minimum
D = Bakır boru uzunluğu (bobin)	Minimum
E = Ara bıçaklı kalıp ile bobin merkezi arası	2 X (Vee uzunluğu)
F = Kömür başlangıcı ile bobin merkezi arası	1 Ya da 3/2 X (Vee uzunluğu)
G = Bobin merkez çapı	5/4 X (A) (Maksimum Ø 1” ‘e kadar)

Ekipmanların konumu kaynağa her ne kadar etki etse de kaynak için en önemli etken kaynak birleşme açılarıdır. Aşağıda bu açılar ile geniş kapsamlı açıklamalar yer almaktadır.

2.4.1. Vee Açısı

Yüksek frekans kaynağının sağlıklı bir şekilde oluşması için en önemli parametrelerden birisi Vee açısıdır [25], [32], [33]. Vee açısı bandın iki ucunun kaynak makaraları içerisinde birleştiği nokrada oluşturduğu açıdır. Sürekli dikişin sağlanması için birleşmeye hazır çelik borunun kenarları açık halde kaynak makaralarına kadar gelir. Kaynak makarasının tam merkez noktasında bant uçları birbirine temas ettiği anda ‘V’ şeklinde bir birleşme açısı meydana getirir, buna Vee açısı denir. Kaynak makaraları Vee açısının birleştiği noktada basınç uygular ve bakır bobinin sağladığı ısı ile dövme kaynağı şeklinde birleşme gerçekleşir. Dışarıdan harici bir elektrot benzeri ilave metal girdi olmadan bandın iki ucu eriyerek kaynak işlemi sağlanır. Vee açısı ile ilgili birçok açı dereceleri üzerine çalışmalar vardır. Genel olarak 2-8° derece arasında değişkenlik göstermektedir. Bu açı kaynatılacak olan malzemenin cinsi ile alakalıdır. Her malzemede farklı bir açıyla kaynak sağlanmaktadır. Kaynak yapılacak olan malzemeye göre eğer Vee açısı çok küçükse kenarlar arasında ark oluşabilir. Bu yüzden kaynak noktasının gerçekleştiği yeri sabit bir bölgede tutamak mümkün olmayabilir. Eğer kaynak açısı olması gerekenden geniş ise bant kenarlarının ısınması yeteri derecede olmayıp kaynak zafiyetine ve birleşmek eksikliğine neden olacaktır. Bu yüzden kaynatılacak metalin özelliğine göre açı belirlenmesi önemlidir [6], [29], [34].



Şekil 2. 15. Vee açısı ve uzunluğu [29].

Şekil 2.15’de görüldüğü üzere gerçek bir kaynak anında çekilmiş görüntüde Vee açısının oluşumu net olarak gözlemlenmektedir. Bu bölgede açının daraldığı noktaya doğru ısı artmaktadır. En son metali eritecek düzeyde ısı biriktiğinde eriyik meydana gelir. Bu bölgede meydana gelen ısı joule cinsinden şu şekilde hesaplanmıştır;

$$Q = I^2 * \rho * \frac{2 * Vee\ uzunluğu}{w * \delta} * t \quad (2.1)$$

Q = Vee açısında üretilen ısı (Joule) ‘J’

I = kenarlardan geçen akım (A)

r = Vee’nin T sıcaklığında öz direnci

A = Alan: Duvar kalınlığı x Yüzey derinliği

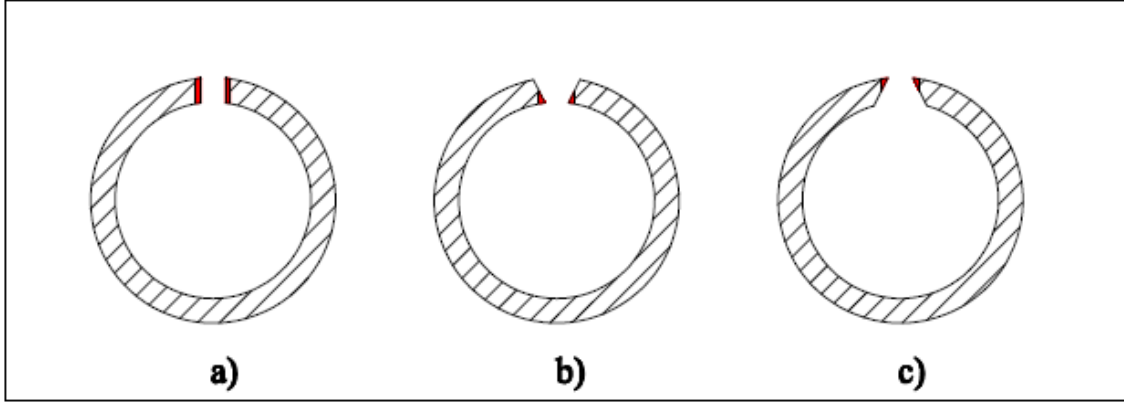
t = Zaman (sn)

Yüksek frekans kaynağında en önemli faktörlerden biri olan ideal Vee açısı değerlerine bu eşitlik yardımıyla ulaşabilmektedir. Vee uzunluğu, Vee açısı gibi faktörler ısı dengesini sağlamak için sabit tutulmalıdır. Burada ısı etkisini en üst düzeyde tutabilmek için görülüyor ki, açının mümkün olduğunca minimum değerde ayarlanması gerekmektedir [29].

2.4.2. Kenarların Birleşme Geometrisi

Yüksek frekans kaynağında Vee açısı ile beraber bant kenarlarının birleşme sırasında birbirleri ile oluşturdukları geometrik şekil de kaynak kalitesine doğrudan etki eden etmenler arasındadır. Bant uçlarının birbirleri ile konumunu, form grubundaki kalıplar ve

form grubunun çıkışındaki kılavuz merdaneleri ayarlamaktadır. Form grubunda kırılmalar düzgün yapılırsa birleşme noktasında bant kenarlarının paralelliği sağlanmış olacaktır. Kalıplar kademeli olarak bükümleri yaptığından dolayı her kalıptan büküm kesiti alırsak ortaya çiçek deseni şeklinde bir yapı çıkacaktır. Genellikle form grubunun son üç kalıbı ara bıçaklı kalıplardan oluşur ve bantı kaynak birleşmesine hazır hale getirir [35], [36].



Şekil 2.16. Bandın iki ucu birleşme konumu a) paralel kenar b) içe yakın kenar c) dışa yakın kenar [6].

Şekil 2.16’da görüldüğü üzere, boru kalıplarından bükülerek gelen malzemenin oluşabileceği konumlar gösterilmiştir. Burada istenilen şekil (a – Paralel kenar) olan halidir. Bandın kalıpların içerisinde geçerek a şeklindeki gibi paralel kenarlı yapıda kaynak birleşme noktasına ulaşmaktadır. Burada kalıp tasarımının kaynak birleşme geometrisini etkilediği için ne kadar önemli olduğunu anlayabilmekteyiz. “a” görselindeki gibi kaynak noktasına ulaşan bandın üzerine biriken enerji ısıya dönüştüğü zaman tam bant uçlarını eşit şekilde kaynatacaktır. Böylelikle birleşme en sağlıklı şekilde gerçekleşmiş olacaktır. “b” şeklindeki gibi kaynak noktasına ulaşırsa bant, yalnızca alt noktalarda ısı birikeceği için asıl erime burada gerçekleşir. Üst bölgede yalancı bir birleşme olacağı için üretilen ürün kusurlu olacaktır. Yeniden şekillendirme esnasında kaynak yerinden yırtılma meydana gelebilir. Aynı şekilde “c” görselindeki birleşme şeklinde de yalnızca üst bölgeden birleşme olacağı için kaynak zafiyeti meydana gelecektir.

3. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞININ MALZEME ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Yüksek frekans kaynağı uygulamasında frekans kabininin ürettiği enerji kaynak bölgesinde ısı enerjisine dönüştürülüp, borunun sürekli alın kaynağı olmasını sağlamaktadır. Kaynak oluşumu için borunun komple bobinin içerisinden geçmesi ve boru bant kenarlarına yığılan ısıнын 1300-1400°C civarına çıkması ile çeliğin üzerinde bir ısı işlem etkisi meydana getirmektedir. Aynı zamanda kaynak bölgesinde uygulanan soğutma sıvısı ile çeliğin ısıısının ani olarak düşmesi sağlanır. Çeliklerin kaynağında karşılaşılabilecek en önemli problemlerden bir tanesi kaynak için aşırı ısınma ve ardından hızlı soğumanın gerçekleşmesidir. Kaynak bölgesinde meydana gelen bu hızlı değişim ITAB (ısı tesiri altında kalan bölge) bölgesinde sertleşme eğilimine neden olmaktadır. Çelikte ısı tesiri altında kalan bölgede martenzit ve östenit mikro yapılar meydana gelmektedir. Yüksek frekans kaynağı ile kaynatılmış çeliklerde yüksek sıcaklık nedeniyle karbon (C) miktarında azalma meydana gelmektedir. Buna karbonsuzlaşma denir. Bu karbonsuzlaşmış bölge kaynak sonrası giderilmesi gereken mikro yapısal bir kaynak hatasıdır [29],[37]. Bu hatanın giderilmesi için gerilim giderme işlemi uygulanması gerekir. Isıl işlemin uygulanışı çok önemlidir. Uygun sıcaklıkta uygun zaman aralığında bekletilmelidir. Isıl işlem uygulanması doğru uygulanmadığı takdirde gevrekliğe sebep olabilmektedir. Bu çalışmada uygulanacak ısıl işlemlerin bir amacında, ani ve yüksek ısı değişimleriyle oluşan bu mikroyapısal kusurların giderilmesine yönelik olmasıdır.

3.1. MİKRO YAPI HATALARI

Yüksek frekans kaynağı ile üretilen boruların, kalıplar arasında ezilerek plastik deformasyona uğraması ve kaynak bölgesinde çevresel olarak ısıya maruz kalmasından dolayı mikro yapılarında değişiklikler meydana gelmektedir.

3.1.1. Plastik Deformasyon ve Gerilmeleri

Yüksek frekans kaynağı ile üretilen sürekli alın dikişli çelik boruları sac halden boru formuna getirene kadar bir dizi işlemlerden geçirmek gerekmektedir. Bant kenarları form ünitesinin başından itibaren sürekli kırılmalara maruz bırakılmaktadır. Her ne kadar bant genişliği tam boru formatına göre analiz edilip hesaplanmış olsa da form ünitesinde sürekli bir şekillendirmeye maruz kalır. Bu işlemler dizisinde her bir form istasyonunda

enine kesitte bir deformasyon meydana gelir. Meydana gelen deformasyonlar mikro yapıda birtakım değişimlere sebep olur. Mikro yapıda meydana gelen bu değişimlerle malzeme sertleşir ve malzemenin çekme geriliminde artma olur. Malzemenin daha sert daha gevrek ve kırılğan bir yapıya dönüşmesine sebebiyet verir [38], [39].

3.1.2. ITAB Bölgesi

Kaynaklı birleştirmelerde birleşen iki metal ile beraber kullanılan yönteme ve elektrotla göre bazen elektrot da birleşme bölgesinde ana metallere karışabilir. Bu tamamen kaynak yöntemiyle alakalı gerçekleşir. Kaynak ile beraber ergiyen bir elektrot kullanılıyor ise ergiyen iki metalin haricinde birde elektrot metali ergiyip dikiş yapısını oluşturacaktır. Elektrot bu durumda hem birleştirme hem de dolgu görevi görecektir. Kullanılan elektrot kaynak yapılan metallere aynı cins veya o metallere daha iyi metalik özelliklerde seçilmektedir.

Kaynak sırasında ergiyen iki ana metal arasında bir hazne ya da kaynak banyosu oluşur. Eğer eriyen bir elektrot veya ilave metal varsa bu eriyik hazneye karışır ve soğuyarak katılaştığında ana metalleri birbirine bağlamış olur. İçerisinde ergimiş sıvı bulunan bu haznenin çeperi soğuk metale temas ederken iç kısmında yüksek ısıda sıcak metal bulunmaktadır. Haznedeki ergimiş metalden çevredeki katı ve soğuk metale doğru bir ısı transferi gerçekleşecektir. Böylelikle ısıya maruz kalmış bir bölge oluşacaktır. Bu bölgeye ITAB bölgesi denilmektedir [23], [40].

Plastik deformasyona maruz bırakılarak boru formu verilen çelik sac, yüksek frekans kaynağının uygulandığı üniteye geldiği zaman yüksek ısıya maruz kalır. Yüksek ısının hemen ardından hızlı bir soğutma prosesinin içine giren boru sert ve kırılğan bir yapıya dönüşür. Meydana gelen ısı değişimleri metalin tanecik yapısını değiştirmektedir [41]. Bu plastik deformasyonlar ve yüksek ısı etkisi ile mikro yapıda gerilimler ve kusurlar meydana gelmektedir.

3.2. GEOMETRİK HATALAR VE PROSES HATALARI

Yüksek frekans kaynağı uygulanırken bütün parametrelerin optimum şartlarda ayarlanması gerekmektedir. Her bir parametre kaynak verimliliğini etkilemektedir. Yüksek standartların istendiği proseslerde kalite kontrol aşamaları titizlikle izlenmelidir.

Yüksek frekans kaynaklarında meydana gelebilecek kaynak hatalarını birkaç başlık altında aşağıdaki şekilde toplamak mümkündür.

3.2.1. Malzeme içeriği

Malzeme içeriği kalitenin belirlenmesindeki birinci etmen olarak görülebilir. Boru imal etmek için üretilen çelik sacın kimyasal kompozisyonunda bulunan alaşım elemanları veya farklı erime noktalarına sahip diğer metaller, kaynak sırasında farklı zaman aralıklarında eriyeceği için kaynak bölgesinde de homojen olmayan bir yapıya neden olabilir. Bu bir kaynak kusuru olarak karşımıza çıkabilmektedir [42]-[45].

3.2.2. Dilme ve İstifleme Faktörü

Yüksek frekans kaynağı uygulanacak malzemelerin bant kenarlarının düzgün kesilmiş olması çok önemlidir. Kenarlarında çapak olan bantlar, kaynak birleşme noktasına geldiğinde birleşme noktasından önce akım atlamalarına sebebiyet verebilmektedir. Bu durum kaynak bölgesinde akımın zayıflamasına, birleşme yetersizliğine ve kaynağın sağlam olmamasına sebep olabilmektedir [6].

3.2.3. Kaynak Ekipmanlarının Ebatlarının ve Konumunun Ayarlanması

Yüksek frekans kaynağının sağlıklı oluşabilmesi için kaynak bölgesinde bütün ekipmanların uygun konumlarda ve ebatlarda yerleştirilmesi gerekmektedir. Malzemelerin konumu yukarıda Şekil 14’te verilmiştir. Bu konumların yanında empeder ve endüktörün ebatları da kaynak verimliliğini etkilemektedir. Endüktör sarmal borunun çapının büyük olması ve kaynatılacak malzemeden uzak olması istenilmeyecek bir durumdur. Yine endüktör sarmal çapının küçük olması istenmeyen bir durumdur. Aynı şekilde empederin çapının boru çapından çok büyük veya küçük olması enerjinin yanlış kullanılmasına ve kaynak hatalarına zemin hazırlayacaktır [6], [25].

3.2.4. Kaynak Gücü ve Frekansı

Malzeme kalitesi ve cinsinin bilindiği kaynak uygulamalarında, akım değerleri değişkenlik gösterdiği takdirde kaynak bölgesinde çok ergime veya yetersiz ergime gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Yüksek akımda kaynak, sıçramalar ve akıntı oluştururken, düşük akımda yer yer kaynaklı olmayan bölgeler meydana gelmesine sebep olabilmektedir [46].

3.2.5. Vee Açısı ve Kaynak Geometrisinden Kaynaklanan Hatalar

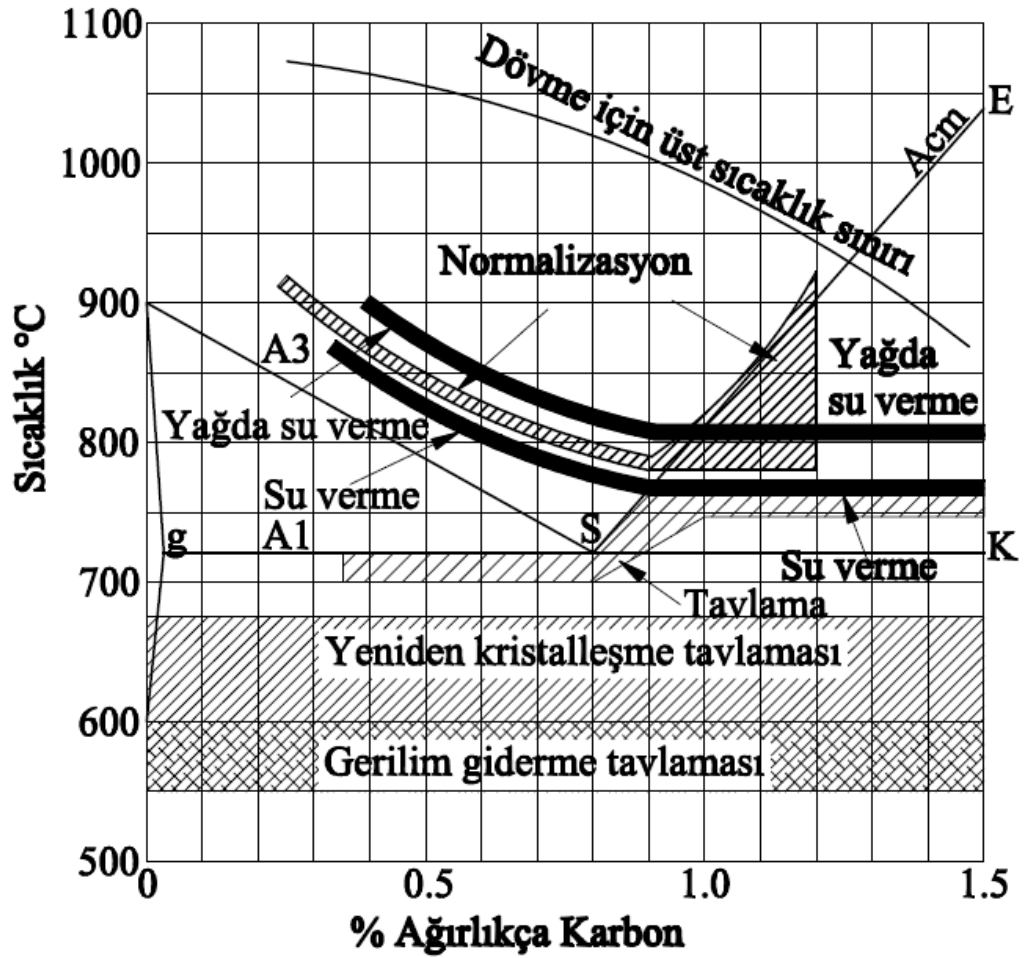
Yukarıda Vee açısı ve kaynak geometrisi ile alakalı geniş çaplı açıklamalar yapılmıştır. Bu açı ve geometri değerlerinin dışına çıkılması halinde kaynak hataları meydana gelecektir.



4. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE OLUŞAN KUSURLARIN GİDERİLMESİNDE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Günümüz dünyasının hızlı büyümesi ile teknoloji ve sanayi alanına ilgi artmıştır. Sanayi ve teknoloji alanında hızlı ilerleme ile madencilik sektörünün ilerlemesini de sağlamıştır. Fiziksel ve mekanik özellikleri, şekillendirilebilir olması ve iletkenliği gibi özellikleri sayesinde en önemli mühendislik malzemesi özelliğini koruyan metaller teknolojinin ve sanayileşmenin ağırlıklı olarak metal üzerine kurulmasına sebep olmuştur. Metaller içerisinde dünya üzerindeki bulunuş önceliği ile demir cevheri ön plana çıkmaktadır. Demir-çelik sanayinin gelişimi bir ülkenin kalkınması ve gelişmiş bir ülke olması adına önemli bir gösterge olagelmıştır. Bunun başlıca sebebi demir çeliğin bütün endüstriyel dallara doğrudan ya da dolaylı olarak hammadde özelliği taşımasıdır [47].

Çelik kullanımı geçmişte olduğu gibi günümüz teknolojisinde de önemini korumaktadır. Uzay teknolojileri, inşaat sektörü, otomotiv sektörü, ulaşım, havacılık, makine imalat sektörü ve daha birçok sektörde çeliğin yaygın olarak kullanımı, çeliğe özel bir ilgiyi sürdürmektedir. Endüstride ve gelişmişlikte bu denli önemli olan çeliğin kullanım şekli ve ıslahı da ihtiyaçlarımız ölçüsünde gelişmiştir [48], [49]. Isıl işlem; metal ve alaşımlarında kullanım alanındaki ihtiyaca göre katı haldeki parçalara uygulanan kontrollü ısıtma ve kontrollü soğutma işlemi olarak tanımlanır. Isıl işlem ile çelik malzemelerde plastik deformasyonlar sonucu oluşan gerilmeler giderilebilir. Aynı zamanda ısıtma işlemleri, çeliğin talaşlı imalat işlemlerinin sebep olduğu yüzey gerilmelerinin giderilmesi, iç gerilmelerin giderilmesi ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, sertlik ve darbe direncinin artırılması ve tanecik yapısının düzenli ve homojen hale getirilmesini gibi özellikler sağlanabilmektedir. Kısacası katı fazda bulunan çeliklere uygulanan ısıtma işlemleri geniş sınırlar kapsamında özellikler kazandırılabilen ve bu suretle çeliklerin kullanım alanları daha geniş bir alana yayılmaktadır. Çeliklere uygulanan ısıtma işlemin türünü belirlemede yararlanılabilecek temel ölçü, demir karbon denge diyagramıdır. Buna göre ısıtma işlemi üç kademe uygulanabilmektedir. Öncelikle kontrollü olarak belli bir dereceye kadar ısıtılır. Ardından ısıtma işlemi uygulanacak olan dereceye geldiğinde bu ısıda sabit tutularak bir süre bekletilir. Daha sonra kontrollü olarak soğutma işlemi gerçekleştirilir. Böylelikle çeliğe üç kademe de ısıtma işlemi uygulanmış olur. Aşağıdaki demir karbon diyagramında ısıtma işlemi bölgeleri gösterilmiştir (Şekil 4.1) [50], [51].



Şekil 4.1. Çeliklere uygulanan ısıtıl işlem alanlarının demir karbon denge diyagramı üzerinde gösterilişi [50].

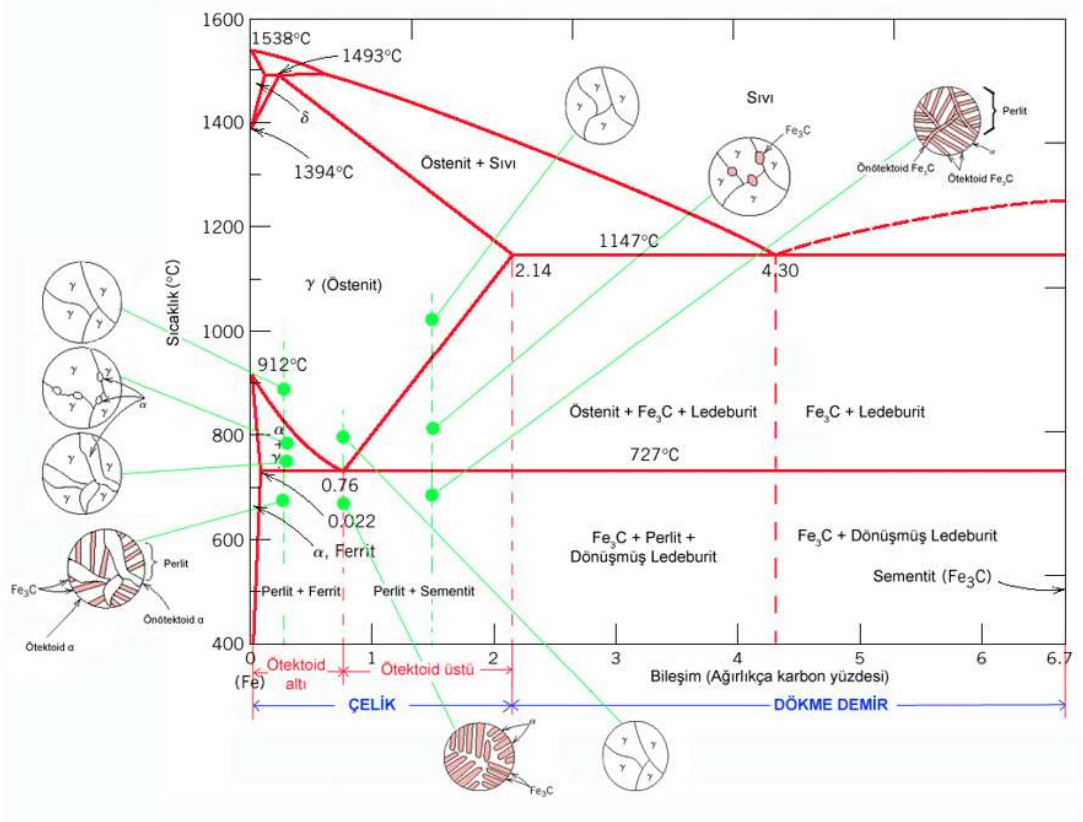
Çeliğe uygulanan ısıtıl işlemler yukarıda Fe-C denge diyagramında gösterilmiştir. Çeliğe uygulanan ısıtıl işlem proseslerinde elde edilen mikroyapı, östenitin dönüşümünün bir sonucudur. Östenitik dönüşüm, çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyen en büyük etmendir. Bunun için malzemenin belli bir sıcaklığa ısıtılması gerekmektedir [52]. Kaynak prosesinin uygulanması, ITAB bölgesinde mikroyapıda değişiklikler meydana getirdiği yukarıda bahsedilmiştir. Bu değişimler kalıcı gerilimler oluşturması sebebiyle bir kaynak kusuru olarak ele alınabilir. Bu kusurları giderebilmek için çeliğe ısıtıl işlem uygulayarak istenilen özelliklere ve homojen tane yapısına kavuşması amaçlanır. Çeliklere. Tavlama, sertleştirme ve ıslah etme (gerilim giderme, normalizasyon, tane büyümesi vb) gibi birçok ısıtıl işlem uygulanır. Çeliğin bozulan iç yapısını düzeltmek, tanecik yapısını inceltmek ya da büyötmek, yumuşatmak ve gerilimleri almak için tavlama işlemleri uygulanır [53].

4.1. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Çeliklerin mikroyapısını değiştirmek için kullanılan ısıtma işlemleri, uygulanış şekillerine göre değişiklikler göstermektedir. Uygulanan ısıtma işlem proseslerini aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

4.1.1. Sertleştirme

Çelik alaşımları demir-karbon denge diyagramında ötektoid bölgeyi oluşturmaktadır. Birleşimdeki karbon miktarı arttıkça ötektoid bölgeden çıkılır ve dökme demir sınıfına girmektedir. Tam ötektoid nokta 723°C 'dir. Bu sıcaklığın altında çelik karbon yüzdesine göre ferrit+perlit (ötektoid altı) veya perlit + sementit (ötektoid üstü) fazlarından oluşmaktadır. Tam ötektoid nokta sıcaklığının (723°C) üzerine çıkıldığında zaman yapı tamamen östenit faza geçer. Çeliklere uygulanan ısıtma işleminin genel prensibi çeliğin kristal yapısını tamamen östenit fazına geçirmek, ardından hızlı bir şekilde soğutmaya dayanmaktadır. Hızlı soğutma sonucunda kristal yapı yüksek sertliğe sahip martenzit fazına geçer (Şekil 4.2) [54].

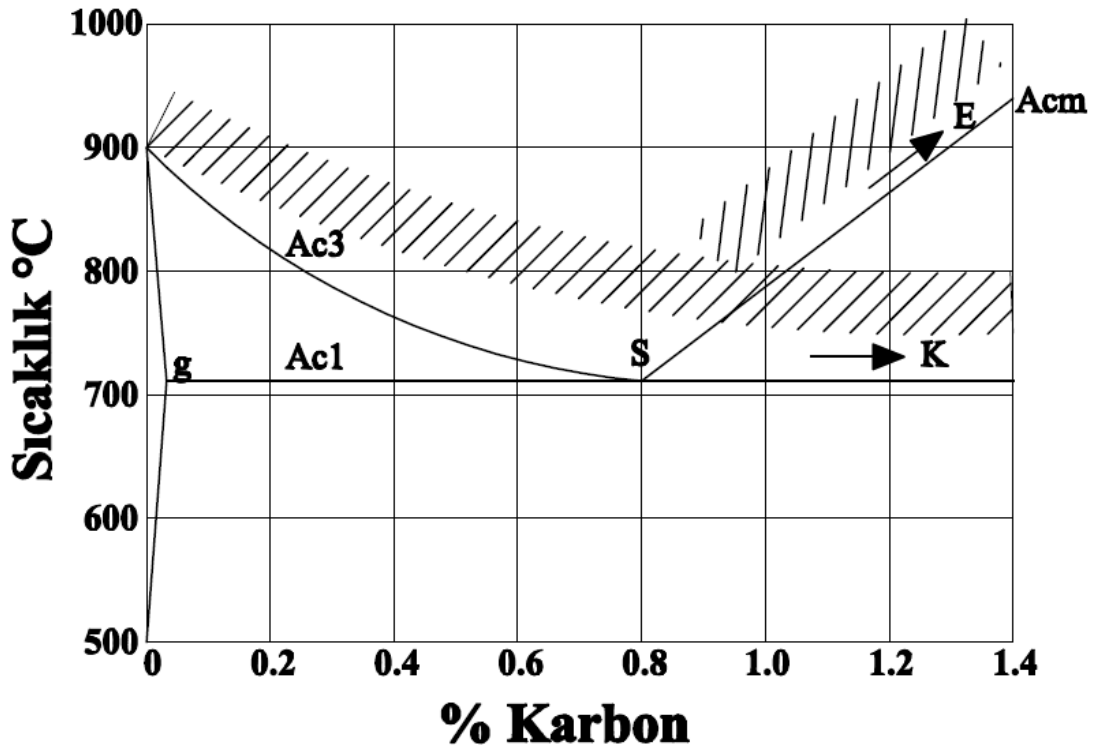


Şekil 4.2. Demir-Karbon denge diyagramı [55].

Şekil 4.2’de Demir karbon diyagramı üzerinde östenit, ötektoid altı ve ötektoid üstü bölgeler ve tanecik yapıları ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

4.1.2. Normalizasyon Tavlama

Normalizasyon tavlama daha çok kaba taneli oluşumlar gösteren yapıları ince taneli yapılara döndürmek için kullanılırlar. Bu tavlama yöntemi ile mikroyapı içerisindeki homojen olmayan yapı giderilir ve daha homojen bir yapı elde edilir. Normalizasyon ile mekanik özelliklerde de iyileşme olur. Bunun için ötektoid altı çelikleri AC_3 ve ötektoid üstü çelikleri AC_m dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık 40-50°C üzerindeki sıcaklıklara kadar çıkarıp tavladıktan sonra havada soğuma işlemidir [50], [56].



Şekil 4.3. Normalizasyon tavlama sisteminin demir karbon diyagramı [56].

Yukarıda demir karbon diyagramından da görüleceği üzere bu sıcaklık ve karbon değerlerine ihtiva eden bölge, normalizasyon ısıtma işleminde ince ve orta perlit mikroyapıları elde edilir.

4.1.3. Yumuşatma Tavlaması

Yumuşatma tavlamasını çeliği yumuşatmak için uygulanan ısıtma işlemi prosesidir. İşlemi yapmaktaki amaç, perlit içerisindeki lamel yapıları küresel sementite dönüştürmektir [57]. Yumuşatma tavlaması yüksek karbonlu çeliklere uygulanır. Yüksek karbonlu çelikler 680-860°C sıcaklıklar arasında yumuşatma tavlaması işlemine tabii tutulur. Fırın içerisinde yaklaşık 780°C’de 5 saat tavllanır ve sıcaklığı 80-100 °C aralığına düşene kadar fırın içerisinde tutulur, sonra atmosfer ortamında soğumaya bırakılır. Yüksek karbon ihtiva etmesine rağmen yumuşak ve şekillendirilebilir bir çelik yapısı elde edilmiş olur. Talaşlı imalatla kullanıma gayet uygun bir yapı kazandırılmış olur [53], [58].

4.1.4. Yeniden Kristalleşme (Rekristalizasyon) Tavlaması

Soğuk şekil verme işlemlerinin ardından deformasyona uğrayan malzemenin kristal tane yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmaların neticesinde malzemede iç gerilmeler artar ve sert bir yapıya dönüşür. Süneklik ve şekillenebilme kabiliyeti azalır. Bu durumu tersine çevirip, yeniden metale soğuk şekillendirme özelliklerini kazandırmak için uygulanan tavlamaya yeniden kristalleşme tavlaması denir. Tavlama işlemi yaklaşık 600-700°C arasında gerçekleştirilir [56].

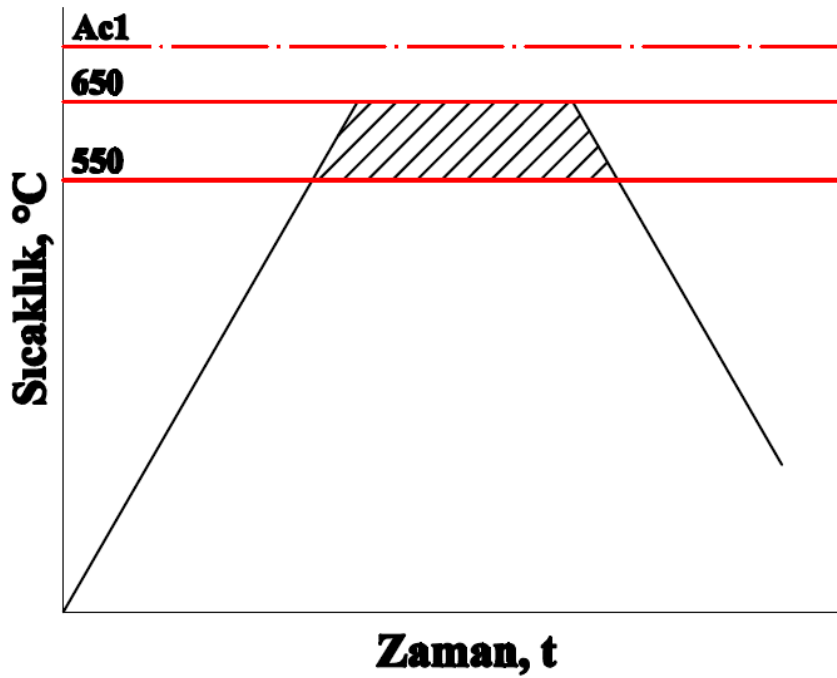
4.1.5. Difüzyon Tavlaması

Difüzyon tavlaması, katılaşma sırasında meydana gelen bileşim farklarının dengelenmesi için uygulanır. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için malzemenin 1200°C civarı katılaşma noktasına yakın bir sıcaklığa çıkması ve bu sıcaklık değerinde uzun süre tutulması gerekir. İşlemin ardından malzemede çok fazla tanecik büyümesi kaba taneler meydana gelecektir. Bunu gidermek için normalizasyon tavlaması yapılması zorunludur [53].

4.1.6. Gerilim Giderme Tavlaması

Çeliklerde kaynak, döküm plastik şekil verme ve ısıtma işlemi sırasında, soğuk işlem yapılan yüzeyler içerisinde gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler malzemede plastik deformasyon veya ısı tesiri altında kalan bölgede diğer bölgelere göre sertliğin artmasına neden olur. Üretilen ürüne yeniden işlem yapabilmek oldukça güçleşir ve standart kabul edilen değerlerin altında kalarak kırılmalara ve hatalara sebep olabilir. Ürünün yeniden şekillendirebilir bir hal alarak işlenmesine olanak sağlamak için malzemeye gerilim giderme tavlaması uygulamak gerekmektedir [50], [52], [53], [56], [59].

Söz konusu gerilmeler plastik şekil verme ve kaynak sonrasında meydana geldiği için her iki alanda da işlem gören yüksek frekans kaynağı ile üretilen boruları doğrudan ilgilendirmektedir. Bundan dolayı çalışmanın ana amacı gerilim giderme tavlaması çevresinde şekillenecektir. Düşük alaşımlı çeliklerde uygulanması gereken ısıtma işlemi değeri 550-650°C'dir [52], [56], [59]. Bu işlem karbon miktarı arttıkça 600-750°C arasında uygulanmaktadır. Normalde 1-2 saat tavlama yeterli olmaktadır. Tavlama süresi, tavlama sıcaklığına göre 15 saati bulabilmektedir. Çeliklerde bu tavlama şekli faz dönüşümünün altındaki ısılarda gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamada ısıtma ve soğutma işlemlerinin de yavaş yapılması gerekmektedir. Aksi halde sıcaklık farkından dolayı malzemenin iç yapısında yeniden gerilmeler meydana gelecektir ve işlem başarısız olacaktır. Gerilim giderme ısıtma işlem uygulamasının diyagramı aşağıda verilmiştir (Şekil 4.4) [56].



Şekil 4.4. Gerilim giderme tavlaması ısıtma işlem diyagramı [56].

Gerilim giderme tavlamasında sıcaklık değeri en üst kullanım sıcaklık değerinin üzerinde, fakat özellik değişimlerine denk gelen sıcaklık değerinin altında seçilmelidir.

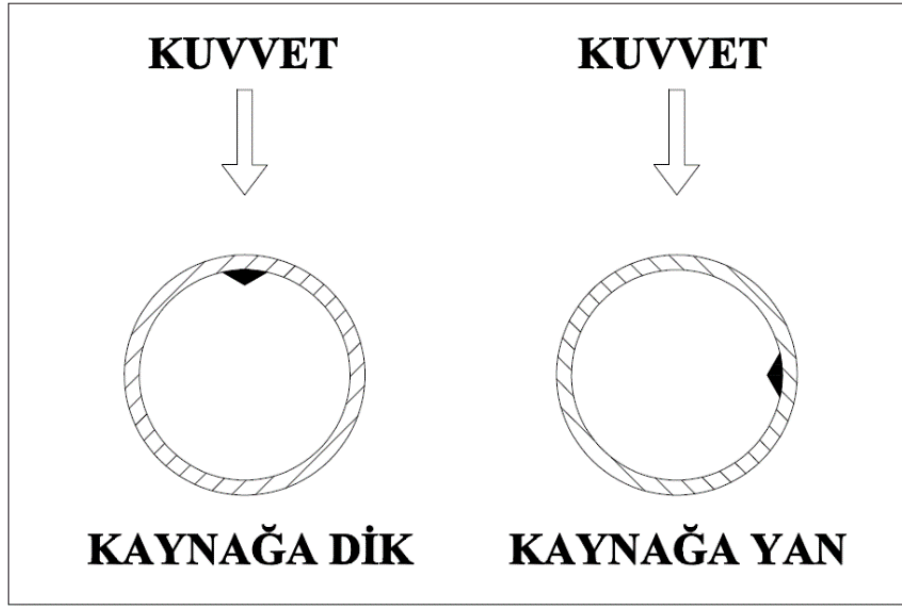
5. TESTLER VE MUAYENELER

Yüksek frekans kaynağı ile üretilen çelik boruların çok yaygın bir kullanım alanı vardır. Birçoğu nitelikli ürünlerin oluşturduğu bu sektörde kalite standartlarına uygun ürün üretmek rekabet için zorunluluk halini almıştır. Üretilen borular, kullanım alanlarına göre istenilen fiziksel ve mekanik davranışları sergileyebilmesi için özel testlerden ve muayenelerden geçirilmek durumundadır. Bütün bu sebeplerden dolayı üretilen borular müşteriye gönderilmeden önce üretim esnasında ve üretim sonrasında bir dizi test ve muayeneye tabii tutulur [60], [61]. Bu testler tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki başlık altında toplanabilir. Tahribatlı testler üretim sonrasında ürün hazır olduktan sonra yapılan testlerdir. Üretim esnasında ürün kalitesini düşürmemek ve standart dışına çıkmamak için üretim boyunca hat üzerinden anlık numuneler alınarak test edilir. Anlık alınan numuneler hazır üretilmiş ürünlerdir. Yassılma testi (ezme), genişletme testi, sertlik ölçümü ve çekme testi yapılır. Tahribatsız muayene olarak ise üretim sırasında anlık olarak gerçekleşen girdap akımları (Eddy Akımları) testi en yaygın olarak uygulanan testlerdendir.

5.1. TAHRİBATLI MUAYENE

5.1.1. Yassılma Testi

Yassılma testi kaynak bölgesinin kalitesini ve ürünün şekil alma kabiliyetini inceleyen bir testtir. Üretim esnasında test yapılacak ebatta bir numune alınarak pres altında kaynak bölgesine dik ve kaynak bölgesini yan konuma alarak iki farklı şekilde uygulanır. Bu test ile müşteriye sevk edilen yarı mamul ürünler, yeniden şekillendirilirken uygulanan işlemlerde kaynak kalitesinden emin bir şekilde ürünün hazırlanması hedeflemektedir.

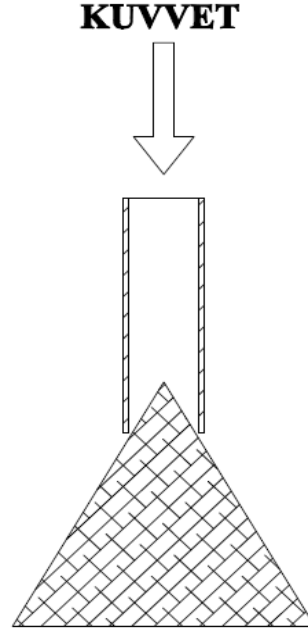


Şekil 5.1. Yassıltma testi uygulanış yönleri.

Yassıltma testinde kuvvet uygulamak için hidrolik preslerden yararlanılır. Boruyu tamamen ya da kısmen ezmek için ne kadar kuvvet gerekirse pres altında o kadar basınca maruz bırakılır. Şekil 5.1’de görüleceği üzere kaynağa dik olarak uygulanan kuvvette, kaynağın üzerine gelen bölgede çekme gerilmesi, iç bölgesinde ise basma gerilmesi oluşacaktır. Kaynağa yan olarak uygulanan kuvvete ise kaynağın dışı açmaya zorlanacağı için dıştan çekme gerilmesi iç bölgeden ise basma gerilmesi oluşacaktır. Böylelikle yassıltma testinde kaynağın iç ve dış yüzeyleri hem basma hem de çekme gerilmeleri yönünden kontrol edilmiş ve müşteride uygulanacak proseslerin her şekline hazır olarak sevk edilecektir.

5.1.2. Genişletme Testi

Genişletme testi, yassıltma testinde olduğu gibi üretilen borunun şekil alabilme kabiliyeti hakkında bilgi almak için yapılan bir testtir. Üretilen çelik boru, konik bir aparata dik konumlandırılarak yine pres altında ezilerek yapılan bir uygulamadır.



Şekil 5.2. Genişletme testi uygulaması.

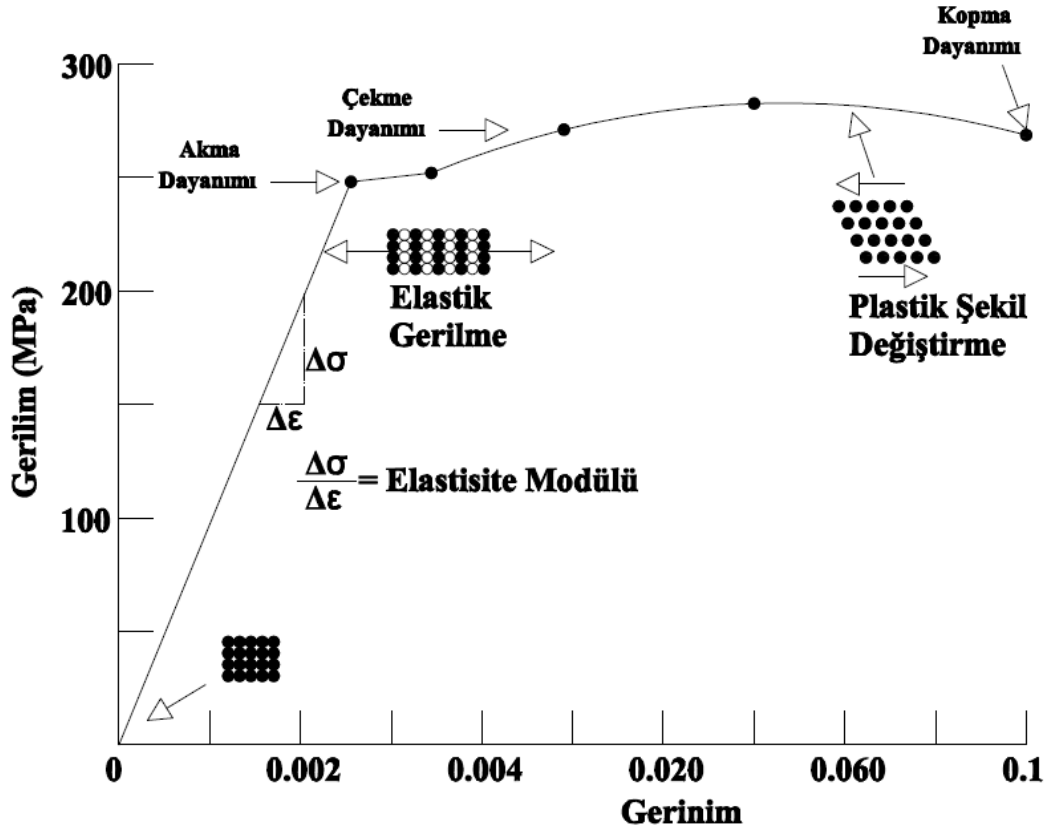
Genişletme testi Şekil 5.2’de görüldüğü üzere boru eksenine dik bir vaziyette uygulanır. Üstten hidrolik pres ile baskılanarak borunun altından konik olarak genişletmeye zorlanılır. Belirli bir genişletme yapıldıktan sonra yırtılan bölgenin kaynak tarafından değil, kaynak dışı bir noktadan olması beklenir. Güvenilir test sonuçları almak için düzgün kesme yüzeyleri almak gerekmektedir. Numune alınan boru belli ölçülerde kesilmesi gerektiğinden, kesim sırasında temiz bir kesim yüzeyi elde edilmediği takdirde çentik oluşturacaktır ve yırtılma çentik etkisinin olduğu yerden ilerleyecektir. Bundan dolayı testin uygulanmasında hassasiyet gösterilmeli ve sağlıklı sonuçlar elde etmek için mükerrer testler uygulanmalıdır.

5.1.3. Sertlik Testi

Sertlik testi bir malzemeye kendisinden daha sert bir malzemenin batmasına gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir [62]. Sertlik testi, sac metalin kalıplar arasında ezilirken uğradığı plastik deformasyon sonrası meydana gelen değişimler ile yüksek frekans kaynağının oluşturduğu ısıdan dolayı meydana gelen iç gerilmeleri ölçmek için kullanılır.

5.1.4. Çekme Testi

Çekme testi malzemenin mukavemeti hakkında bilgi edinmek ve malzemenin özelliklerine göre sınıflandırılmasını amacıyla uygulanan tahribatlı bir test yöntemidir [63], [64].



Şekil 5.3. Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri [64].

Şekil 5.3'te görüldüğü üzere malzemenin çekme kuvveti altındaki birim uzamasının grafiği verilmiştir. Bu grafik üzerinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri yer almaktadır. Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemelerin; orantı sınırı, elastik sınırı, akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk değerleri bulunabilir [64]. Bu sonuçlar malzeme hakkında sınıflandırma yapabilmemizi ve mukavemeti hakkında bilgi sahibi olabilmemizi sağlar.

Borularda yapılan çekme testinde, numune borunun hem kaynaklı hem de kaynaklı bölgeden alınır [65]. İnce cidarlı ve daha düşük çaplı borularda ise çekme testi kesit alınarak değil, borunun tamamını çekme testine sokmak suretiyle yapılır. Kaynak mukavemetinin araştırıldığı çekme testlerinde, borunun kesilerek açılması ile kaynağa çekme testi uygulanır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Borudan alınan numunenin çekme testi.

Şekil 5.4’te görüldüğü üzere boru üzerinden alınan test numunesi, 2 çene arasına düzgünce yerleştirilerek çekme testi gerçekleştirilir.

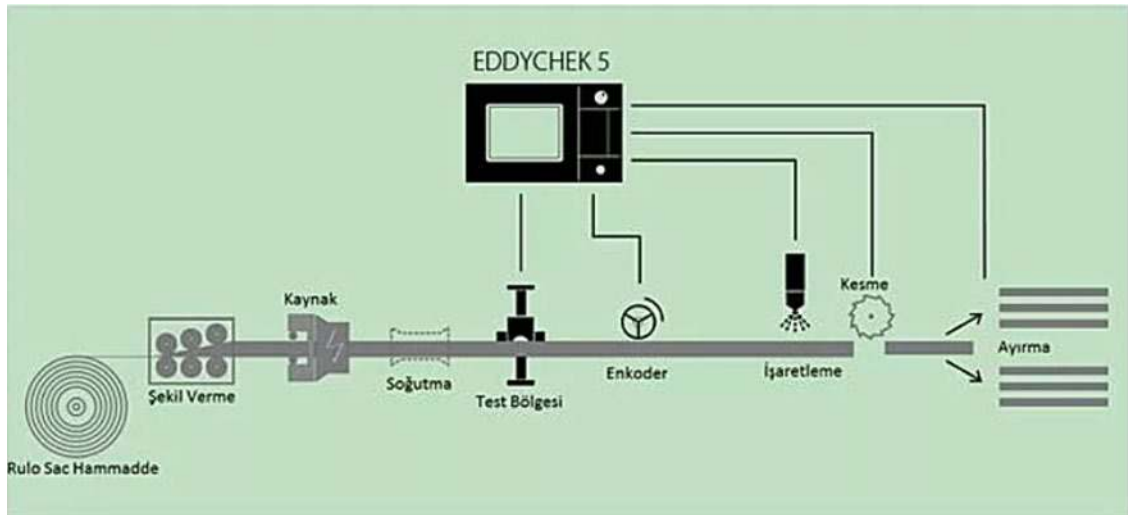
5.2. TAHRİBATSIZ MUAYENE

Tahribatsız muayene, malzemenin yüzeyinde veya içyapısındaki gözle tespit edilemeyen süreksizliklerin, malzemeye zarar vermeden tespit edilmesinde kullanılan yöntemlerdir [66]. Yüksek frekans kaynağıyla üretilen borularda en yaygın kullanılan tahribatsız kaynak yöntemi Girdap Akımları (Eddy Current) yöntemidir.

Yüksek frekans kaynağı ile üretilen dikişli çelik borularda, imalatın yüksek hızlar ile gerçekleşmesi ve çok fazla ürünü kısa sürede üretmesinden dolayı bu prosese en uygun tahribatsız muayene yöntemi girdap akımları yöntemidir.

Girdap akımları yöntemi, hızlı, elektromanyetik ve temassız tahribatsız muayene yöntemidir [67], [68]. Girdap Akımları, Faraday 'ın indüksiyon yasasına göre, iletkenler içinde zamanla değişen bir manyetik alan tarafından indüklenen elektriksel akımlar şeklinde dolaşımıdır. Özel problemleri entegre eden uygun test cihazları ile metal parçalardaki çatlakları ve kusurları tespit etmek için kullanılabilirler [69].

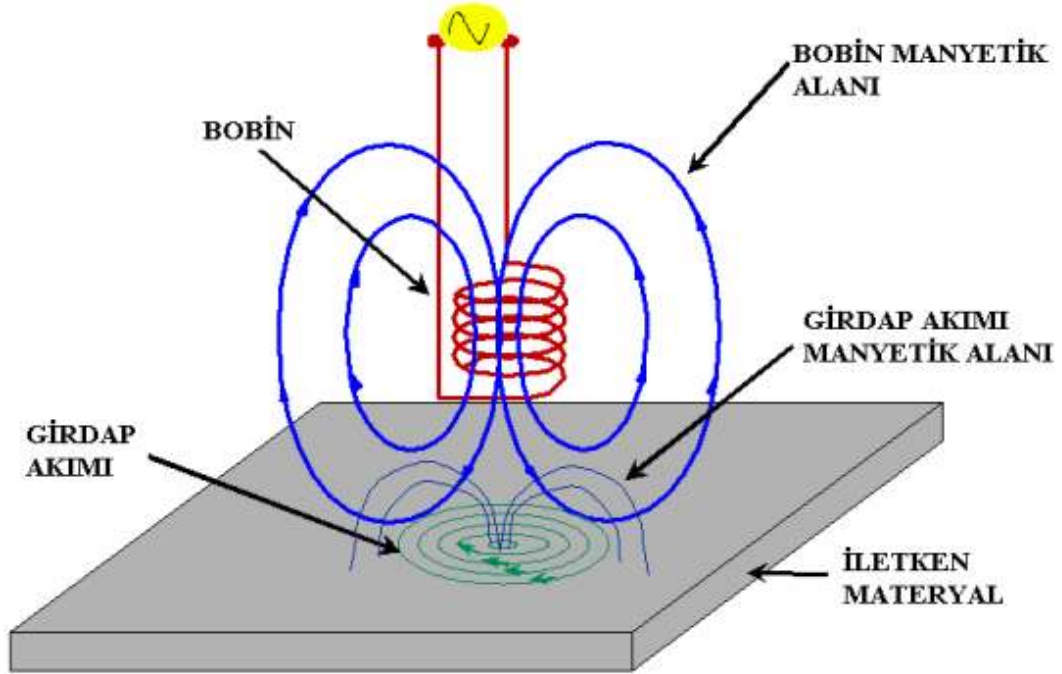
Doğalgaz, Su, Sanayi, Otomotiv ve İnşaat sektöründe kullanılan çelik boru üreticileri günümüzün rekabetçi dünyasında, kaliteli ürün üretmek için yüksek kaliteli hammadde ve güvenilir boru makinası üreticileri ile çalışmayı tercih etmektedirler. Zorlu rekabet koşulları bazı durumlarda üreticileri zorlasa da ürünlerin kalitelerinin devamlılığını sağlamayı ve alıştıkları tedarikçiler ile yollarına devam etmeyi tercih ederler. Ancak çelik boru üretimi yaparken en iyi araçlara sahip olsanız dahi bazen kaynak üzerinde veya hammadde üzerinde gelen bazı beklenmeyen kusurlar sebebi ile ürün kalitelerinde kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar hem hammadde kaybına hem de zaman kaybına sebebiyet vermektedirler. Maddi kayıpların yanında, bu kusurların müşterilere gitmeden önce tespit edilememesi güven ve prestij kaybına, tekrarlanması ise müşteri kayıplarına sebep olabilmektedir. Boyuna dikişli kaynaklı boru üretiminde Girdap Akımları test yöntemi kullanarak, çelik borunun kullanım bütünlüğünü bozmadan, üretim hızı üzerinde herhangi bir düşüş gerçekleşmeden, kaynak bölgesi ve tam gövde tahribatsız testleri başarıyla yapılmaktadır [70].



Şekil 5.5. Girdap akımlarının boru profil sektöründe kullanımını [70].

Girdap Akımları test yöntemi, tahribatsız bir muayene yöntemi oluşu, temassız yapılması ve özellikle hız içeren uygulamalarda başarı ile kullanılması sebebi bile boru imalat

sektöründe özel problemler ve cihazlar ile kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. En basit girdap akımı probu aşağıda şematik olarak gösterilen bir çift bobin sargısından oluşur [71].



Şekil 5.6. Girdap akımı probu basit gösterimi [72].

Bir bobin uyarma bobini, AC akım ile uyarılır, diğeri ise alıcı bobin bir voltmetreye bağlanır. Uyarma bobini ana magnetik alanı oluşturur. Bu alanın bir kısmı alıcı bobine doğru geçer. Böylece algılayıcı bobinde bir endüksiyon elektromotor kuvveti (EMK) oluşturur. Şayet sabit bir sürücü akımı ve sabit bir bobin pozisyonu oluşturulursa alıcı bobinden okunan gerilim sabit kalır. Bu sabitlik bobine ferro-manyetik veya iletken bir malzeme yaklaştırılması ve alanın dağıtılması ile değişime uğrar. Manyetik alandaki değişiklik alıcı bobinde indüklenen elektromotor kuvvetini değiştirir [71,72].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. KULLANILAN MATERYALLER

Bu çalışmada yüksek frekans kaynağı ile üretilen üç farklı tipte ve aynı kalınlıkta olan borulara literatürdeki bilgiler ışığında gerilim giderme tavlaması uygulanarak sonuçları analiz edilmiştir.

1. Numune Erdemir standardı 1311 (DX51D+Z) – EN10346:2015
2. Numune Erdemir Standardı 6112 (DC01) – EN10130:2006
3. Numune Erdemir standardı 7114 (DC04) – EN10130:2006

Bütün numunelerde 1 mm cidar kalınlığı kullanıldı. Müşteri talebine göre en çok tercih edilen çaplar belirlenerek, 1311 ve 7114 tip çelikler için Ø16 ve 6112 tip için Ø23 boru numuneleri kullanıldı.

1311 tip borular mobilya malzemesi olarak üretilmektedir. 1311 kalite ürünler galvanizli sac kullanılarak boru üretilmektedir. Paslanma uygulamalarına karşı dayanıklı ürünlerdir.

Tablo 6.1’de 1311 tip çeliğin kimyasal kompozisyonu görülmektedir.

Tablo 6.1. 1311 tip çelik kimyasal kompozisyonu.

KİMYASAL BİLEŞİM, DÖKÜM ANALİZİ (% AĞIRLIKÇA)							
DÖKÜM NO	C	Mn	P	S	Si	Al	Ti
	%	%	%	%	%	%	%
2BA047923	0.045	0.196	0.011	0.009	0.015	0.056	0.000

6112 tip çelik borular bu üretimde iklimlendirme sistemleri olan havlupan imalatlarında kullanılacaktır. Bu ürünün kimyasal kompozisyonu aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. 6112 tip çelik kimyasal kompozisyonu.

KİMYASAL BİLEŞİM, DÖKÜM ANALİZİ (% AĞIRLIKÇA)							
DÖKÜM NO	C	Mn	P	S	Si	Al	Ti
	%	%	%	%	%	%	%
GM22CR7075	0.039	0.118	0.014	0.009	0.013	0.038	0.001

7114 tip çelik borular bu üretimde beyaz eşya sektöründe kullanılmaktadır. Bu ürünün kimyasal kompozisyonu aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 6.3).

Tablo 6.3. 7114 kalite çelik kimyasal kompozisyonu.

KİMYASAL BİLEŞİM, DÖKÜM ANALİZİ (% AĞIRLIKÇA)								
DÖKÜM NO	C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	AES
	%	%	%	%	%	%	%	%
117955	0.002	0.100	0.006	0.007	0.006	0.044	0.055	13.450

Yukarıdaki tablolarda çeliklerin kimyasal kompozisyonları malzemelerin sertifikaları üzerinden alınmıştır. Sertifikaların orijinali ekler kısmında yer almaktadır.

6.2. ÜRETİM PARAMETRELERİ

Üretimin gerçekleştirildiği yüksek frekans kaynaklı boru hattı İtalyan menşeli Officine M.T.M. S.P.A. tarafından 2013 yılında tamamlanıp devreye alınan Ø76'lık boru makinasıdır.

Boru makinasında gerçekleşen üretim parametreleri Tablo 6.4'de görülmektedir.

Tablo 6.4. Üretim ve kaynak parametreleri tablosu.

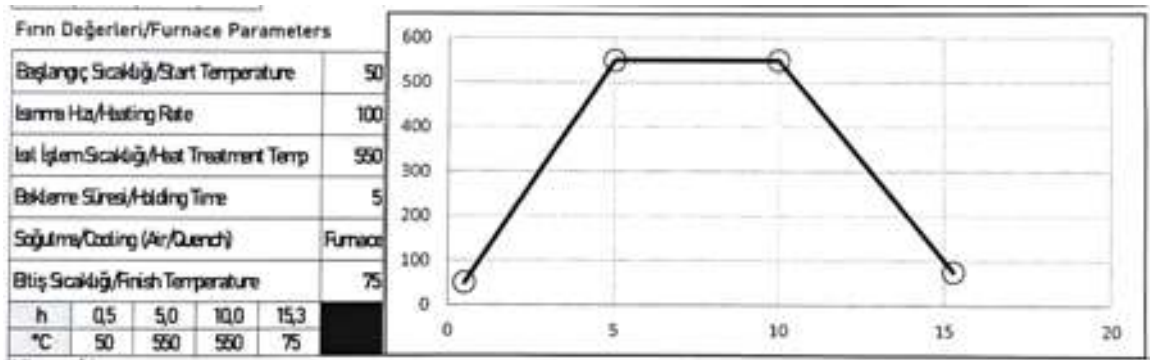
KALİTE	EBAT	HIZ (m/dk)	VOLTAJ (V)	AKIM (A)
1311	Ø16X1.00	100	69	42
6112	Ø23X1.00	80	48	44
7114	Ø16X1.00	100	63	45

İşletmede üretilen boru parametreleri her ürün için deneysel olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan boruların üretim parametreleri yukarıdaki tabloda verilmiştir. Kaynak zafiyeti vermeden belirlenen verimli çalışma parametreleri bu şekildedir.

6.3. NUMUNELERE UYGULANAN ISIL İŞLEM PROSELERİ

Yüksek frekans kaynağı kullanılarak üretilmiş olan çelik boruların kaynak bölgesinde meydana gelen iç gerilmeleri ve üretim esnasında boru kalıplarının içerisinde geçerek şekil alan malzemenin iç yapısında plastik deformasyondan dolayı oluşan gerilmeleri giderebilmek adına gerilim giderme ısıtma işlemi uygulanmıştır. Bu iç gerilmeler, üretim sonrası yeniden şekillendirme sırasında meydana gelen deformasyonlardan dolayı problem teşkil etmektedir. Üretilen ürünlerdeki bu sorunun gerilim giderme tavlama ile giderilmesi amaçlanmaktadır.

Gerilim giderme ısıt işlemleri daha önceden belirlediğimiz üç farklı çelik tipinde ve her bir çelik çeşidinden üçer adet alınarak farklı gerilim giderme sıcaklıklarında tavlandı. Isıl işlem uygulaması Termo-İndüksiyon Ltd. firmasında gerçekleştirildi. Her numune grubu önce 550 °C’de, daha sonra 600 °C ve 650°C’de gerilim giderme tavlmasına tabii tutuldu. Bu ısı değerlerinin belirlenmesindeki amaç, gerilim giderme ısıt işleminin 550-650°C arasında olmasından dolayıdır. Her numune grubu ısıt işlem fırınında öncelikle 550°C’ye kadar sabit ısıda yavaş yavaş 5 saate ısıtıldı. Ardından 550°C’de 5 saat bekletildikten sonra kontrollü soğumaya bırakıldı ve yine kademeli ve dengeli bir şekilde 5 saat içerisinde tamamen soğutuldu. Isıl işlem grafiği Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. 550°C’de uygulanan gerilim giderme tavlaması.

Şekil 6.1’de görüldüğü üzere ısıt işlem uygulaması kademeli olarak başlatılıp, 550 °C’de sabit tavlansak yine kademeli olarak soğutulmuştur. Aynı uygulama 600 °C ve 650°C için de kademeli olarak ısıtılarak yine 5 saat zaman aralıkları kullanılarak yapılmıştır.

6.4. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA YAPILAN TESTLER VE MUAYENELER

Yüksek frekans kaynağı ile üretilen boru ve profillerde kaynak bölgesinde frekansın ısı enerjisine dönüşmesi ile sürekli dikiş kaynağı gerçekleşmektedir. Kaynak bölgesinde ısının komple boru etrafında oluşması ve bant uçlarına doğru yoğunlaşması, boru üzerinde iç gerilmelere sebebiyet vermektedir. Kaynağın sebep olduğu gerilmeler yanında, sac halden boru formuna geçişte birtakım kalıplar arasında ezilerek şekillendirilen çelik, plastik deformasyonlara uğramaktadır. Bu deformasyonlar kaynak gerilmeleri ile birleşince ortaya çıkan üründe çok fazla gerilim yığılması meydana gelmiş olur. Bu gerilim yığılmaları yarı mamul boruların daha sonra yeniden şekil değiştirme

işlemleri sırasında meydana çıkarak ürün deformasyonuna ve dolayısıyla zaman kaybı, iş gücü kaybı ve ürünlerin hurdaya çıkmasıyla sonuçlanmaktadır.

Gerilmelerin meydana getirdiği kusurları gidermek ya da azaltmak için gerilim giderme tavlamalarından yararlanılmıştır. Gerilim giderme tavlaması 500°C, 550°C ve 650°C sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Gerilim giderme tavlaması 550°C, 600°C ve 650°C 5 saat tutularak gerçekleştirilmiştir. Bu sıcaklıklara ulaşmak için kademeli ve kontrollü olarak ısıtma ve soğutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. 5 saat boyunca istenilen sıcaklığa ulaşabilmesi için numuneler kademeli olarak ısıtılmıştır. Nihai sıcaklığa ulaştıktan sonra 5 saat bu sıcaklıkta tavllanmış ve yine kontrollü olarak 5 saatlik zaman zarfında soğutulmaya bırakılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda hazırlanan numunelere aşağıda belirtilen testler uygulanmıştır. Bu uygulamalar boru üretiminden önce malzeme sertifikasyon değerleri, boru üretiminden sonra ve ısıtma işlem parametrelerinin her birinden sonra olmak üzere üç ayrı grupta ele alınmıştır. Ve her bir değer kendi içinde karşılaştırılmıştır.

Üretilen boru numuneleri için farklı sıcaklıklarda gerilim giderme tavlaması uygulanmıştır. Gerilim giderme tavlaması için uygulanan sıcaklık aralığı şekil 4.4'te 550°C ile 650°C aralığında verilmiştir.

1. 550°C'de gerilim giderme tavlaması sonrası alınan numuneler
2. 600°C'de gerilim giderme tavlaması sonrası alınan numuneler
3. 650°C'de gerilim giderme tavlaması sonrası alınan numuneler

Isıl işlem sonrası yapılacak incelemeler için her bir durumdan üçer numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere sertlik, mekanik ve metalografik testler yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

6.4.1. Yassılma Testi

Yassılma testi, üretilen boruların sonradan işleme ve şekil alma kabiliyetini gözlemlemek için yapılmıştır. Yassılma testi için hazırlanan numuneler 300 mm boyunda borular olarak hazırlanmıştır. Numuneler TS EN ISO 8492 :2007 standartlarına göre presle ezilen taraf “H” yüksekliğine gelene kadar presle basılarak herhangi bir durumun oluşup oluşmadığı gözlemlenir [61].

$$H = \frac{(1 + C)T}{C + \frac{T}{D}} \quad (6.1)$$

H: Yük altındaki bölümdeki ezilen borunun mesafesi [mm]

D: Borunun dış çapı [mm]

T: Borunun et kalınlığı [mm]

C: Çelik kalitesine göre değişen bir sabit 0.10-0.07 arası

Yassılma testi için hazırlanan numuneler Şekil 5.1’de görüldüğü gibi önce kaynağa dik, ardından kaynağı yanda tutarak yukarıdaki denkleme göre presle ezilir ve kaynaktaki deformasyon durumu gözlemlenir. Testin uygulaması şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2. Yassılma testi uygulaması.

Şekil 6.2’de yassılma testinin numunelere uygulaması görülmektedir. Şekil 5.1’de belirtildiği gibi test kaynağına göre iki farklı yönden uygulanır.

Bu deney için her üç tip çelik borulardan öncelikle üretimden çıkan numunelerden üçer numune hazırlanarak teste tabii tutulmuştur. Ardından 550°C, 600°C ve 650°C’de uygulanan gerilim giderme tavlaması neticesinde elde edilen ve her bir durum için üçer adet hazırlanan numunelere testler yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanan üç farklı tipteki çelikten üretim sonrası, 550°C tavlama sonrası, 600°C tavlama sonrası ve 650°C tavlama sonrası olmak üzere dört farklı parametre için hazırlanan numunelerden yassılma testi sonucu ile elde edilen sonuçlar Tablo 6.5’te verilmiştir.

Tablo 6.5. Yassıltma testi sonuçları.

İŞLEM		ÜRETİM SONRASI		550°C TAVLAMA		600°C TAVLAMA		650°C TAVLAMA	
NO	NUMUNE	KAYNAK DİK	KAYNAK YAN	KAYNAK DİK	KAYNAK YAN	KAYNAK DİK	KAYNAK YAN	KAYNAK DİK	KAYNAK YAN
1	1311	KABUL	RED	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
2	1311	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
3	1311	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
1	6112	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
2	6112	KABUL	RED	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
3	6112	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
1	7114	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
2	7114	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
3	7114	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL

Yassıltma testi dört farklı parametre için uygulanıp Tablo 6.5’de sonuçlar ve tolerans değerleri sunulmuştur. Buna göre üretimden hemen sonra alınıp yapılan testlerde 1311 tip çelik kaynak yan bölgede 1. numunede ve 6112 tip çelik kaynak yan bölgede 2. numunede problem görülmüştür. Kaynak bölgesinde çok bariz bir açılma meydana gelmese de sorun oluşturabileceği düşünülüp red olarak sınıflandırılmıştır. Geri kalan numunelerin testleri kabul görmüştür. Kabul gören bir numunenin görseli Şekil 6.3’de görülmektedir.

Yapılan bir çalışmada, farklı üretim parametreleri denenerek yüksek frekans kaynağı ile üretilen borulara yassıltma testi uygulanmıştır. Parametrelerin birinde daha sert kaynak bölgesine sahip numunede kaynak yan pozisyonda iken yassıltma testi sonucu red olmuştur. Kaynaktaki sertlik ve kaynak bölgesinde oluşan gerilim, uygulanan teste istenilen sonucu verememiş ve kaynak bölgesinde açılma başlamıştır [61]. Tablo 6.5’de ki red olan malzemelere de bakıldığı taktirde üretimden çıkan numunelerde sorun ile karşılaşıldığı görülmektedir. Isıl işlem uygulamalarından sonra sonuçlar yeniden kontrol edilip tabloya işlenmiş ve ısıl işlem öncesi meydana gelen deformasyonlar gözlemlenmemiştir. Her iki ısıl işlem değeri için de malzemeler kabul almıştır. Bununla beraber belirtmek gerekir ki 550°C gerilim giderme tavlama uygulanan malzemenin yüzeyi daha temiz olurken, 600°C ve 650°C gerilim giderme tavlama maruz bırakılan numunelerde yüzeyler daha bozuk ve yassıltma testi sırasında dış yüzeyde paslanmaya benzer toz halinde döküntüler görülmüştür. Özellikle 6112 tipi çelik ele alındığında 600°C ve 650°C’de uygulanan gerilim giderme tavlama kabul almış olsa da yüzey kalitesi ve yassıltma testinde gösterdiği şekil alma kabiliyetinden dolayı 550°C’de gerilim

giderme tavlamaşı uygulanan numuneler daha uygun görünmektedir. Yine diğerk çelik tiplerinin de şekil alma kabiliyeti ısııl işleml etkileri ile daha iyi performans göstermiştir.



Şekil 6.3. Yassıltma testi kabul gören numune.

6.4.2. Genişletme Testi

Genişletme testi, 60° açı ile konik olarak üretilmiş bir malafa kullanılarak, 10 cm boyunda kesilen boru numuneleri hidrolik pres ile dik konumda ezerek gerçekleştirilmiştir. Testin uygulama şekli Şekil 5.2’de gösterilmektedir.

Genişletme testi üç farklı parametre için de uygulanmış sonuçlar analiz edilmiştir. Her bir durum için hazırlanan numuneler sırası ile 60° konik açı ile hazırlanmış olan malafa kullanılarak genişletilme testi uygulanmıştır. Genişletme testinin uygulandığı numuneler üç farklı parametre için incelenmiş ve aşağıdaki tablo oluşturulmuştur (Tablo 6.6).

Tablo 6.6. Genişletme testi sonuçları.

İŞLEM		ÜRETİM SONRASI	550°C TAVLAMA	600°C TAVLAMA	650°C TAVLAMA
NO	NUMUNE				
1	1311	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
2	1311	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
3	1311	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
1	6112	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
2	6112	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
3	6112	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
1	7114	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
2	7114	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL
3	7114	KABUL	KABUL	KABUL	KABUL

Genişletme testinin uygulama sonuçlarına göre yukarıdaki red ve kabul tablosu oluşturulmuştur. Burada dikkat edilen nokta kaynak bölgesindeki yırtılmalar veya kaynak dışında meydana gelen yırtılmalardır. Bunun için her bir parametrede üretilen numunelerden üçer numune teste tabii tutulmuştur. Alınan sonuçların hiçbirisinde kaynak bölgesinde yırtılma meydana gelmemiştir. Bu yönden kıyaslama yapıldığı taktirde kaynak açısından bütün numuneler kabul görmüştür. Fakat şekil alabilme kabiliyeti açısından değerlendirildiği taktirde ısıl işlem sonrası gözle görülür bir sonuç alınmıştır. Özellikle 6112 tipi numunelerde daha belirgin bir şekil alma kabiliyetinin kazanıldığı görülmektedir (şekil 6.4).



şekil 6.4. 6112 tipi numunelere 550°C gerilim giderme tavlaması sonucu uygulanan genişletme testi.

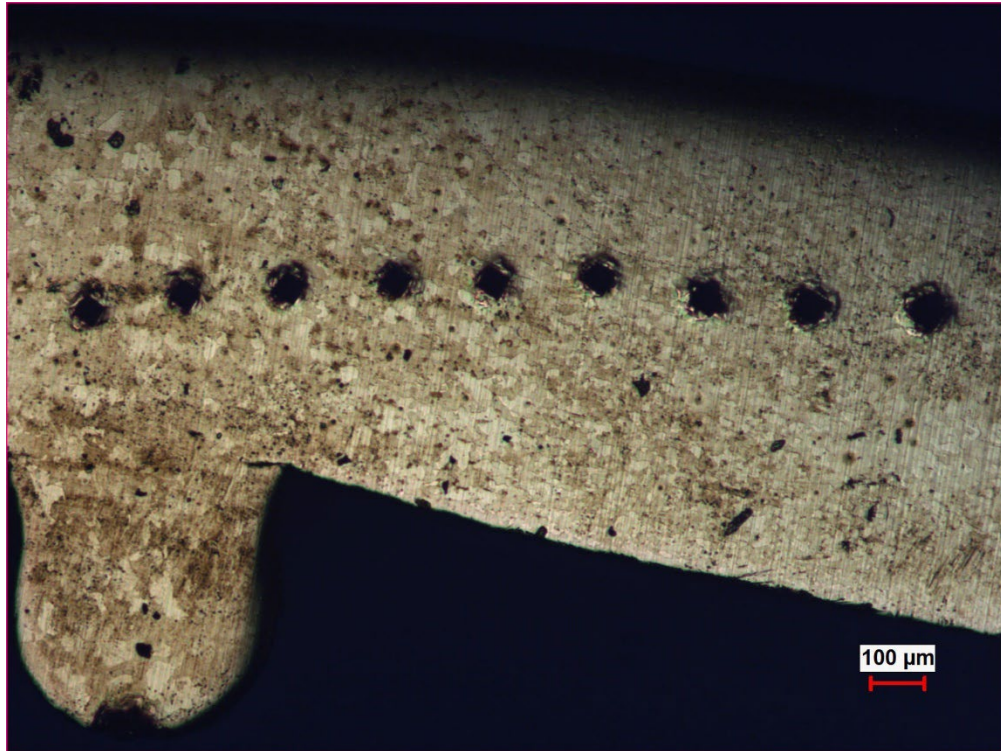
Üretim sonrasında uygulanan testlerde genişletilmeye maruz bırakılan borular kaynak bölgesinden açılmamış, kaynak dışında ana malzemede yırtılma meydana gelmiştir. Konik kısmın baskı yaptığı yerde yırtılma oluşmuş, düz kısmın baskı uyguladığı yerde düzensiz bir katlanma meydana gelmiştir. şekil 6.4’de net bir şekilde 550°C gerilim giderme tavlaması sonucu yapılan testte numunenin boyu kısılana kadar ezildiği ve çok kolay şekil alabildiği görülmektedir. 6112 tipi numunelere 550°C gerilim giderme tavlaması uygulandıktan sonra yapılan testlerde konik kısımdan basılan noktada bir açılma meydana gelmemiştir ve rijit bir şekilde genişleme olmuş, presin düz kısmının bastığı bölgede düzenli bir katlama meydana gelmiştir. 600°C ve 650°C gerilim giderme

tavlama sonucunda düzenli katlama oluşmuştur fakat aynı zamanda konik kısımda açılma meydana gelmiştir. Bunun sebebi yüzey üzerindeki döküntülerin malzemeyi incelterek yırtılmaya sebep verdiği yorumlanabilir veya çentik etkisi meydana geldiği için açılma gerçekleşmiş de olabilir.

Yapılan araştırmalarda gerilim giderme tavlama ile ortaya çıkan genel sonuç şöyle değerlendirilmiştir. 650°C'ye kadar sıcaklık uygulanan gerilim giderme tavlama ile düşük alaşımlı çeliklerin akma mukavemeti o kadar düşürülür ki plastik deformasyon ile oluşan artık gerilme büyük oranda azaltılabilir [73]. Yapılan çalışmada derlenen araştırmalar göstermektedir ki gerilim giderme tavlama ile iç gerilimler azalmakta ve yeniden şekil alabilme kabiliyeti artmaktadır. Şekil 6.4'te genişletme testi sonucu da bunu doğrular niteliktedir.

6.4.3. Sertlik Testi

Sertlik testi için Vickers cinsinden mikrosertlik ölçüm yapan Metkon Duroline M serisi ölçme aleti kullanılmıştır. Her dört numuneden boru kesitleri üzerinden toplamda her biri için dokuz noktadan ölçüm yapılmıştır. Kaynak bölgesi, kaynak geçiş bölgesi ve ana metal üzerine doğru ölçümler ilerlemiştir. Ölçüm alınan borunun makro görüntüsü aşağıda şekil 6.5'de görülmektedir.



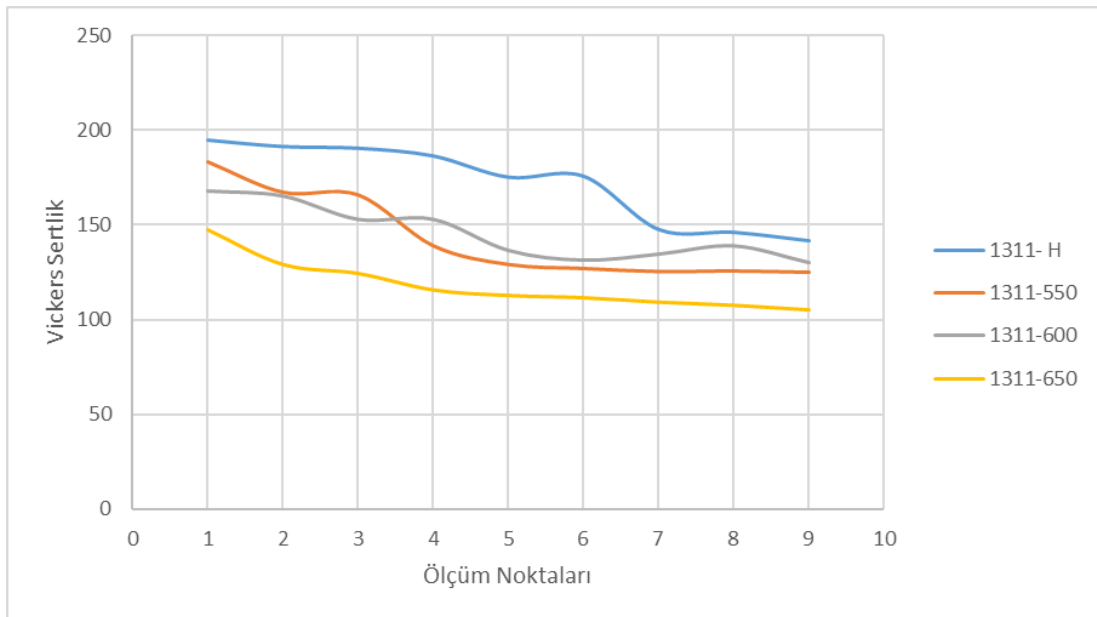
Şekil 6.5. Boru kesiti üzerinden alınan mikro sertlik noktaları.

Şekil 6.5'te kesitten mikrosertlik uygulanan numunelerin örnek alma noktaları gösterilmiştir. Her numuneden toplanda dokuz adet sertlik alınmış ve alınan sonuçlar aşağıda tablo haline getirilerek yazılmıştır (Tablo 6.7).

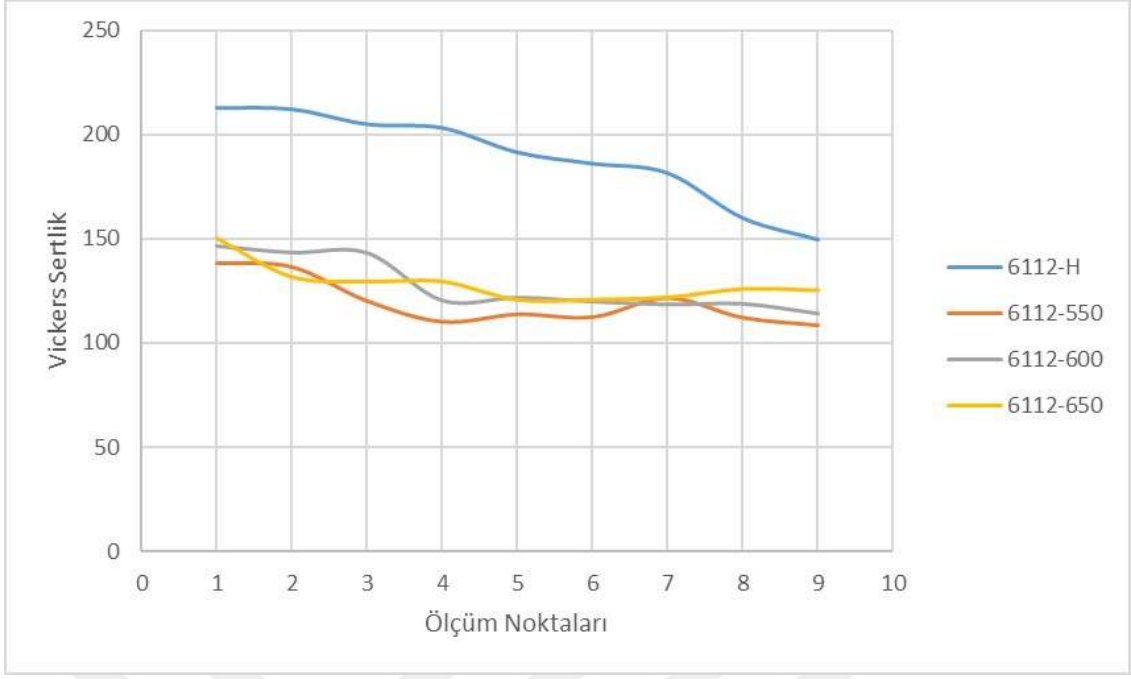
Tablo 6.7. Vickers cinsinden sertlik sonuçları.

HV	KAYNAK			ITAB			METAL		
NUMUNE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1311-H	195	191,6	190,7	186,6	175,3	175,8	147,5	146	141,5
1311-550	183,2	167,3	165,9	139,2	129,4	127,3	125,7	126	125,3
1311-600	168	165,4	153,1	153,1	136,7	131,6	134,8	139,1	130,3
1311-650	147,1	128,9	124,2	115,5	112,6	111,4	109,1	107,4	105
6112-H	212,9	212,2	205	203,2	191,4	186	181,4	159,7	149,3
6112-550	138,1	136,2	120,1	110,3	113,8	112,5	121,5	112,2	108,6
6112-600	146,3	143,2	143	120,2	121,6	119,7	118,3	118,6	114
6112-650	150,1	131,6	129,4	129,4	120,6	120,7	121,8	125,8	125,2
7114-H	139,6	118,9	94,1	98,4	102,1	102,1	103,9	102,7	95,6
7144-550	143,3	130,2	111,7	106,2	107,5	113,8	105,9	108,7	105,2
7114-600	145,6	133,8	115,4	105,2	109,9	117,7	109,7	107,3	101,2
7114-650	134,9	122,5	105,8	101	103,5	107,3	105,8	106,6	100,4

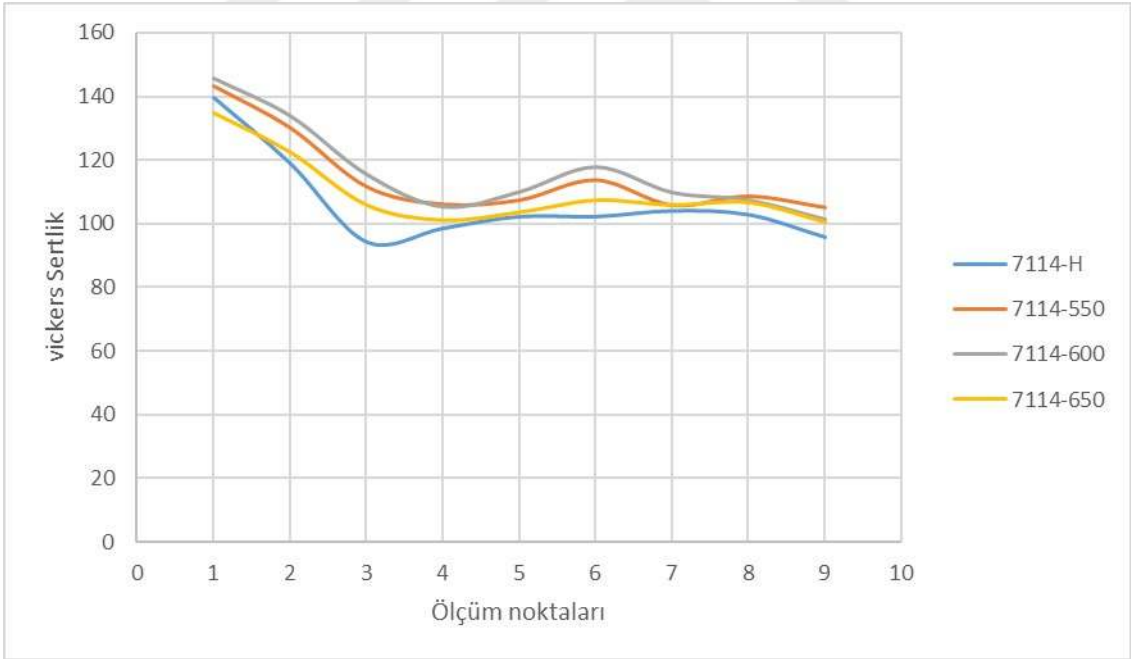
Tablo 6.7'de her bir ısıtım işlem uygulaması ve üretim sonrası çelik borulardan alınan numunelerin mikrosertlikleri verilmektedir. Tablodaki verilerin daha iyi anlaşılabilmesi için her bir çelik tipi kendi içinde dört farklı durum karşılaştırılarak aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 6.6. 1311 tipi çelik mikrosertlik sonuçları.



Şekil 6.7. 6112 tipi çelik mikrosertlik sonuçları.



Şekil 6.8. 7114 tipi çelik mikrosertlik sonuçları.

Şekil 6.6’da 1311 tipi çeliğin, Şekil 6.7’de 6112 tip çeliğin ve Şekil 6.8’de 7114 tipi çeliğin mikro ölçüm sonuçlarının grafiği verilmektedir. Her çelik tipi için üretim sonrası ham hali, 550°C tavlama sonrası hali, 600°C tavlama sonrası hali ve 650°C tavlama sonrası hallerinin Vickers (HV) ölçüm sonuçları kendi içlerinde kıyaslanmıştır.

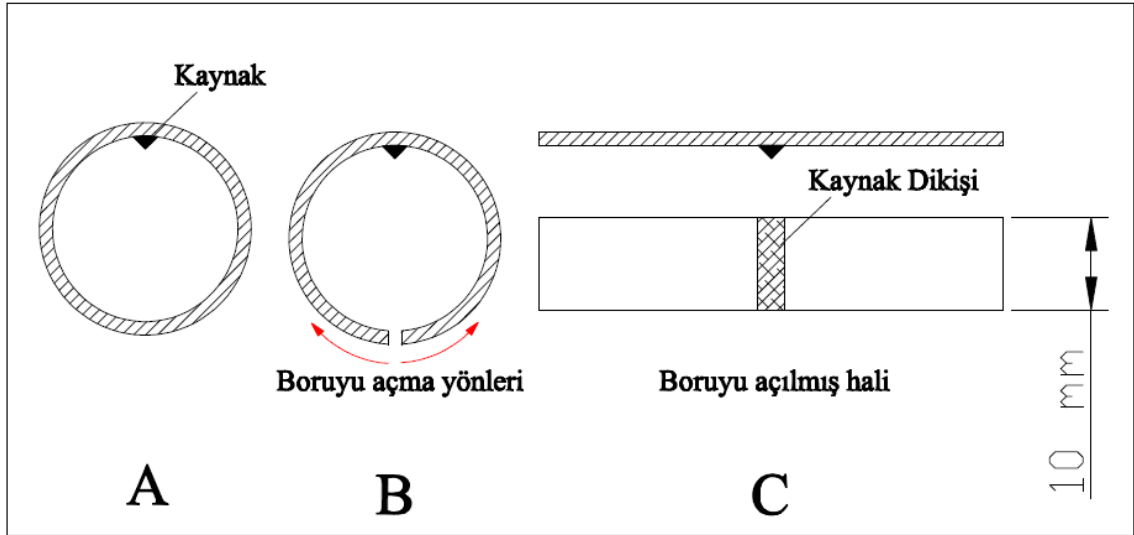
Yapılan mikro sertlik test yöntemi ile malzeme üzerinde kaynak bölgesinden başlayarak ITAB ve ana metal tarafına doğru değişen sertlik değerleri incelenmiştir. Grafiklerden yola çıkarak, 7114 tipi çeliğinin ısıtma işlemleri ile yumuşaması ve plastik şekil değiştirmeye daha müsait hale gelmesi beklenirken tam aksine sertleşme meydana gelmiştir. Malzemenin ham hali olan üretim sonrası hali, en düşük yumuşaklık değerlerine sahip olmuştur. Metalografik sonuçlar incelendiğinde 7114 tipi çeliğinin makro görüntülerinden anlaşılabileceği üzere ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça kaynak bölgesinde tane sınırlarının daha belirgin ortaya çıktığı görülmektedir. Bundan dolayı 7114 tipi çeliğinde ısıtma işlemi ile sertleşme olduğu düşünülmektedir. Beklenenin dışında bir durumla karşılaşmıştır. Bu konu hakkında çalışma yapılabilir.

1311 ve 6112 tipi çeliklerin sertlik sonuçlarına bakıldığında grafiklerden de anlaşılabileceği üzere, ısıtma işlem etkisi ile malzemelerin yumuşadığı ve daha sonradan kullanılmak üzere plastik şekil vermeye daha uygun hale geldiği gözlemlenmiştir. 6112 ve 1311 tipi çeliğinin metalografik incelemelerine bakıldığında, makro görüntülerinden anlaşılabileceği üzere ısıtma işlem uygulama sıcaklığı arttıkça tane sınırları kaybolup daha homojen bir yapıya dönüşmüştür. Böylece sertlik değerlerindeki azalmayı desteklemektedir. Yapılan çalışmada 6112 ve 1311 tipi çeliklerinde uygulanan gerilim giderme tavlama ile alınan sonuçlar beklenen şekilde gerçekleşmiştir.

Çalışmada kullanılan çeliklerin Tablo 6.3’de kimyasal bileşim tablosuna bakıldığında, karbon bileşenlerinin ağırlıkça 6112 tipi çeliğinde %0.039, 1311 tipi çeliğinde %0.045 ve 7114 tipi çeliğinde %0.002 olduğu görülmektedir. 6112 ve 1311 tipi çeliğinde ısıtma işlem etkisi ile plastik şekil vermeye daha uygun yapıda çeliklerin elde edilmesindeki sebep, içeriğindeki karbon oranlarının daha yüksek seviyede olması ile olabilir.

6.4.4. Çekme Testi

Çekme testi ile, yüksek frekans kaynağı ile üretilen borularda meydana gelen iç gerilmeler ve bu iç gerilmeleri gidermek için uygulanan ısıtma işlem sonrası durumları incelenmiştir. Çekme testi numuneleri yüksek frekans kaynağının dayanıklılığı hakkında yorum yapabilmemizi sağlaması için boru kesiti açılarak kaynaktan çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir durum için üçer adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin hazırlanış şeması aşağıda Şekil 6.9’da verilmektedir.



Şekil 6.9. Çekme numunelerinin hazırlanışı.

Şekil 6.9’da görüldüğü üzere “A” resmindeki gibi 10 mm boyunda numuneler kesilmiştir. Çentik etkisini en aza indirmek için boru numunelerinin her biri kanal açma elması ile torna tezgahı kullanarak kesilmiştir. Kesilen numuneler “B” resminde görüldüğü gibi kaynak dikişinin tam karşısından kesilerek açma işlemi uygulanmış ve “C” resmindeki hale getirilmiştir. Bu sayede kaynak dikişi numunenin tam ortasında yer almıştır. Hazırlanan çekme numunelerine ait görsel şekil 6.10’da gösterilmektedir.



Şekil 6.10. Çekme testi numuneleri.

Şekil 6.10’da çekme testi için hazırlanan numuneler görülmektedir. Her çelik tipinden uygulanan ısıtıl işlem prosesine göre üçer numune ve ısıtıl işlem görmemiş halinden üçer hazırlanmıştır. Üretim sonrası çıkan ürünlerin oluşturduğu ısıtıl işlem görmeyen numuneler ‘ham’ olarak isimlendirilmiştir. Numune kodlamasına örnek olarak 6112 tipi çeliğin üretim sonrası birinci numunesi 6112-H-01 şeklinde isimlendirmiştir.

Çekme testi uygulaması için UTEST UTM-8050 çekme cihazı kullanılmıştır. Çekme cihazı parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Ön yük	:10 N/mm ²
Elastisite modülü tespit hızı	:40 N/mm ² s
Rp, ReH hızı	:30 MPa/s
Akma hızı	:0.00025 1/s
Test hızı	:0.007 1/s

Çekme testi uygulanarak koparılan numunelerin görseli Şekil 6.11’de görülmektedir.

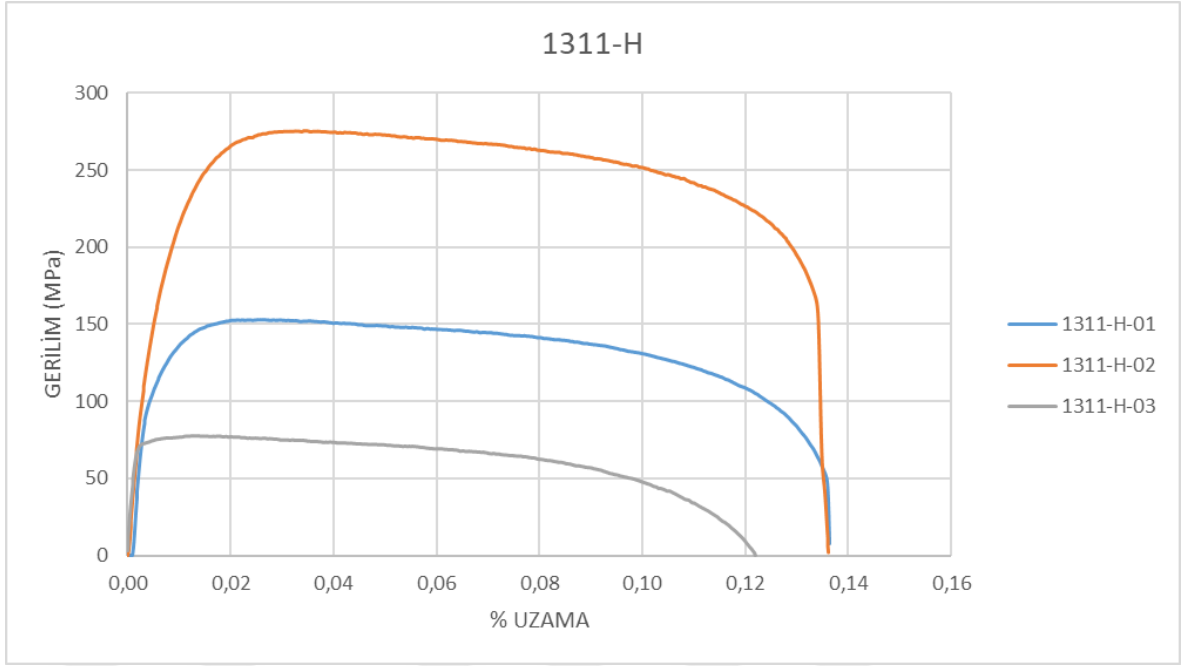


Şekil 6.11. Çekme testi ile uygulanan numuneler.

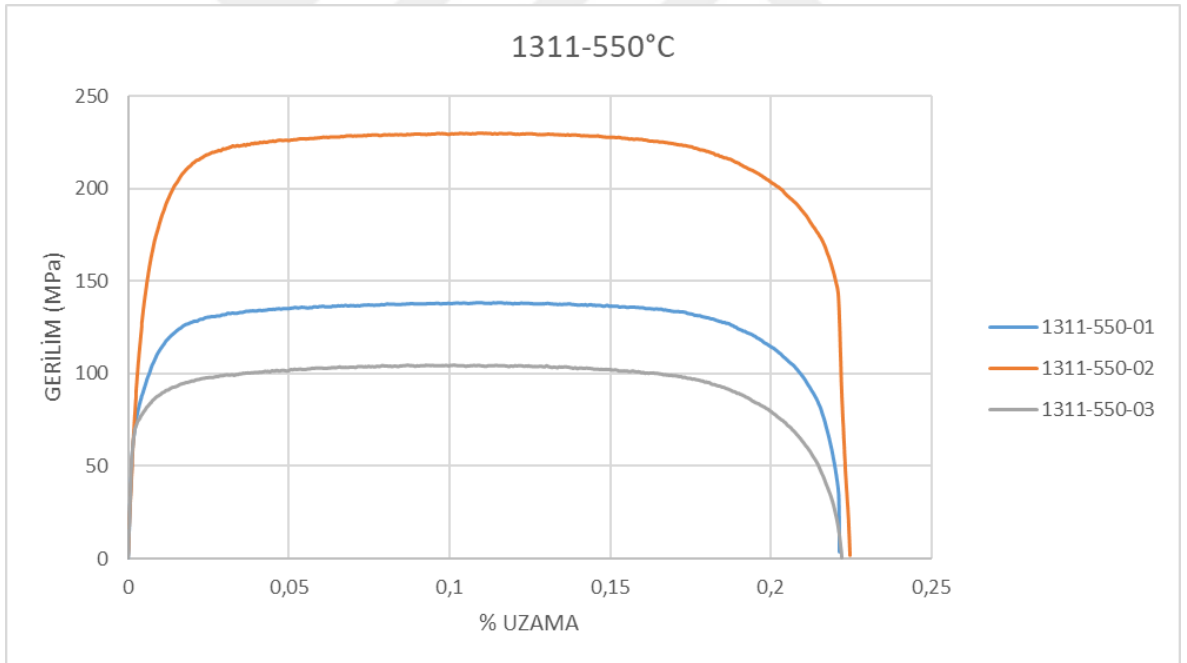
Şekil 6.11’de çekme testi uygulanarak koparılan numuneler yer almaktadır. Çekme testleri sonucu yalnızca bir adet 6112 tipi çeliğin 600°C gerilim giderme tavlaması uygulanan numunesinde kaynaktan kopma gözlemlenmiştir. 6112 tipi çeliğinin makro görüntüsü incelendiğinde kaynak dikişinde çentik olduğu görülmektedir. Kaynaktan kopmanın bu çentik faktörü ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Geri kalan hiçbir numune kaynaktan kopmamıştır. Bu durum yapılan yüksek frekans kaynağının başarılı ve dayanıklı olduğunu göstermektedir.

Çekme testi ile 1311 tipi, 6112 tipi ve 7114 tipi çeliklerin her biri kendi içinde değerlendirilmiş ve üçlü numune grupları uygulanan gerilim giderme tavlaması sonucu gözlemlenmiştir. Çekme testleri sonucu alınan veriler ile aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.

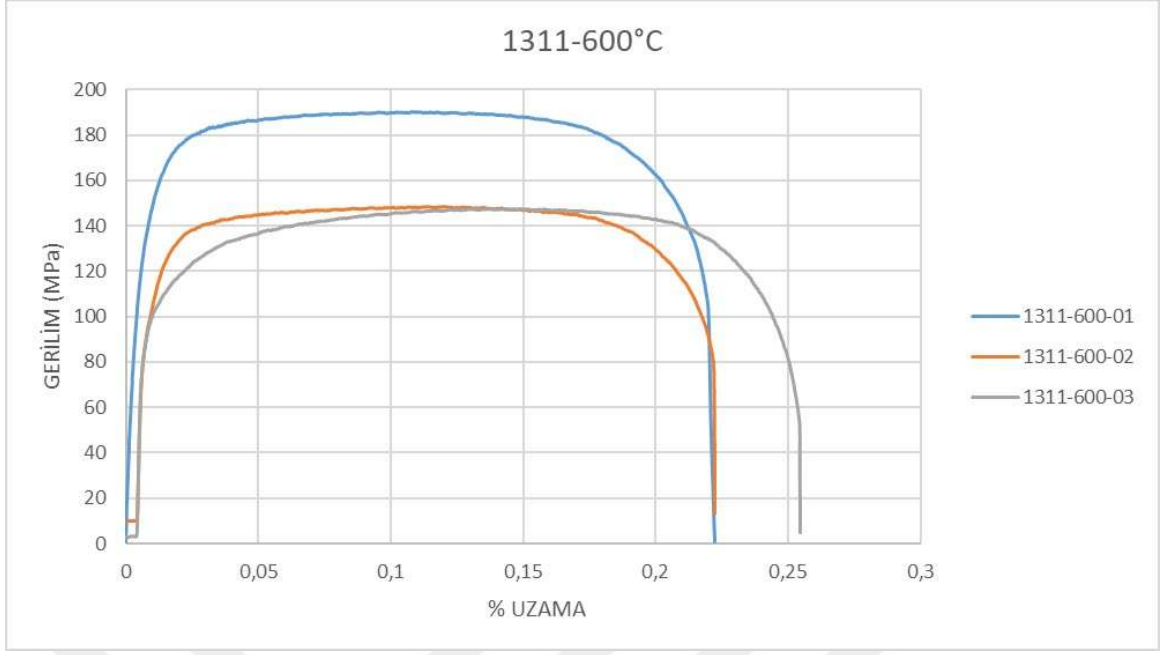
Aşağıdaki Şekil 6.12 ila Şekil 6.15 arasında 1311 tipi çeliklerin çekme testi sonuçlarından elde edilen grafikler yer almaktadır.



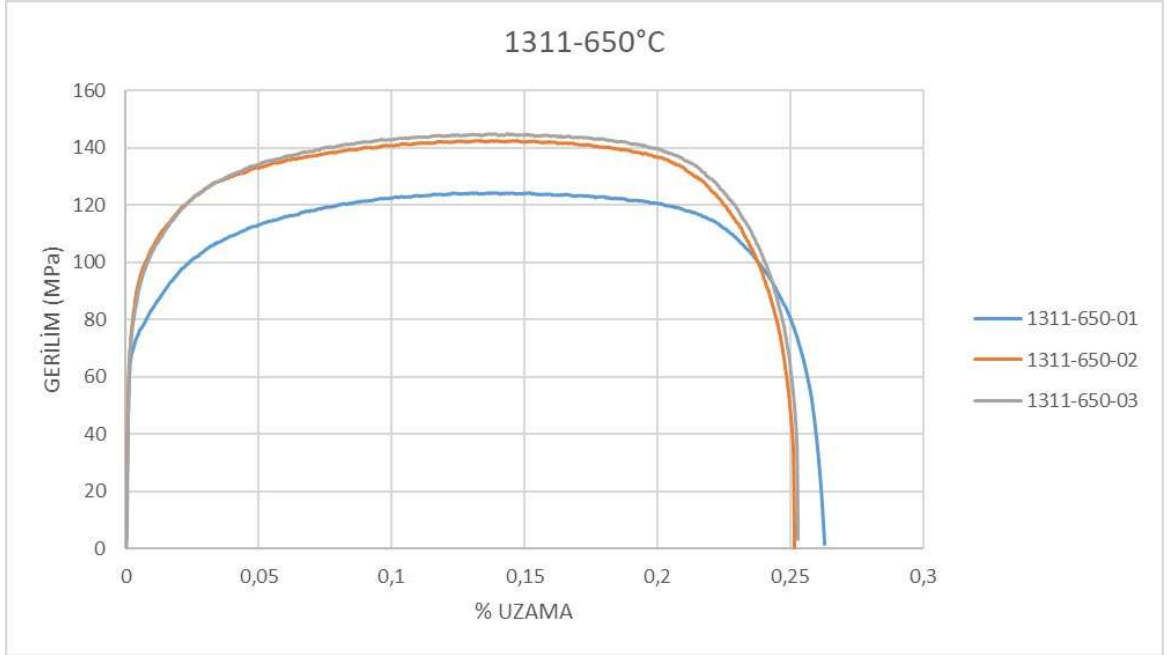
Şekil 6.12. 1311 tipi çeliklerin üretim sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.13. 1311 tipi çeliklerin 550°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.14. 1311 tipi çeliklerin 600°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.15. 1311 tipi çeliklerin 650°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.

1311 tipi çeliklerin çekme testi sonucu grafikleri yukarıdaki gibi oluşmuştur. Üretim sonrası alınan numunelerden elde edilen veriler 1311 Ham şeklinde isimlendirilmiş ve “H” harfi ile gösterilmiştir. Daha sonra uygulanan tavlama sıcaklığına göre 1311-550-01 şeklinde isimlendirilerek devam edilmiştir. 1311-550-01 numunesinin 1311 tip çeliğin 550°C tavlama uygulanan bir numaralı numunesi olduğu anlaşılmalıdır.

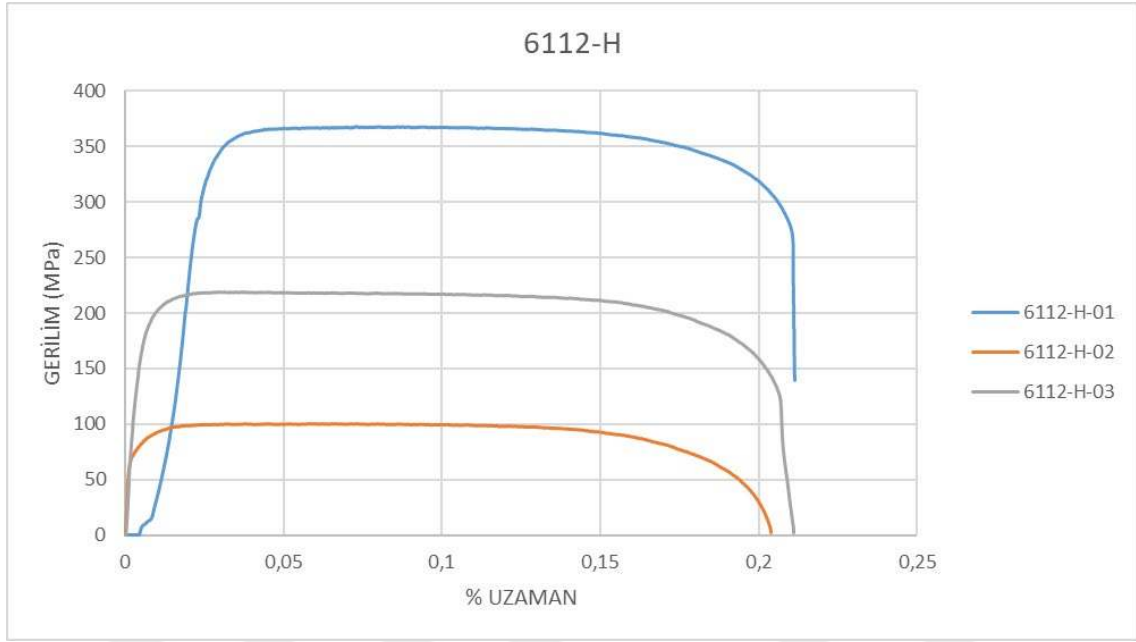
1311 tipi çeliğinin çekme testlerinden elde edilen grafiklerde görüldüğü üzere, uygulanan ısı işlem sıcaklığı arttıkça malzemenin mukavemetinde azalma, % uzamasında ise artış meydana gelmiştir. 650°C’de uygulanan gerilim giderme tavlama ile 550°C ve 600°C sıcaklıklarına nispeten mukavemetin düştüğü ve sünekliğin arttığı görülmektedir.

Grafiklere genel olarak bakıldığında değişken değerlerde eğrilerin oluştuğu görülmektedir. Buna sebep verebilecek durumlardan bir tanesi, kaynaklanmış olan boruyu çekme numunesi haline getirirken, kaynak dikişinin tersi yönünde açmaya zorladığı için metal iç yapısında oluşturduğu dislokasyonlar etkili olmuş olabilir. Oluşan dislokasyonlardan dolayı numune üzerinden bölgesel sertleşmeler ve deformasyonlar meydana geleceği için çekme testinin aynı numunelerde farklı sonuçlar vererek farklı grafikler oluşturmaya sebep olduğu düşünülmektedir.

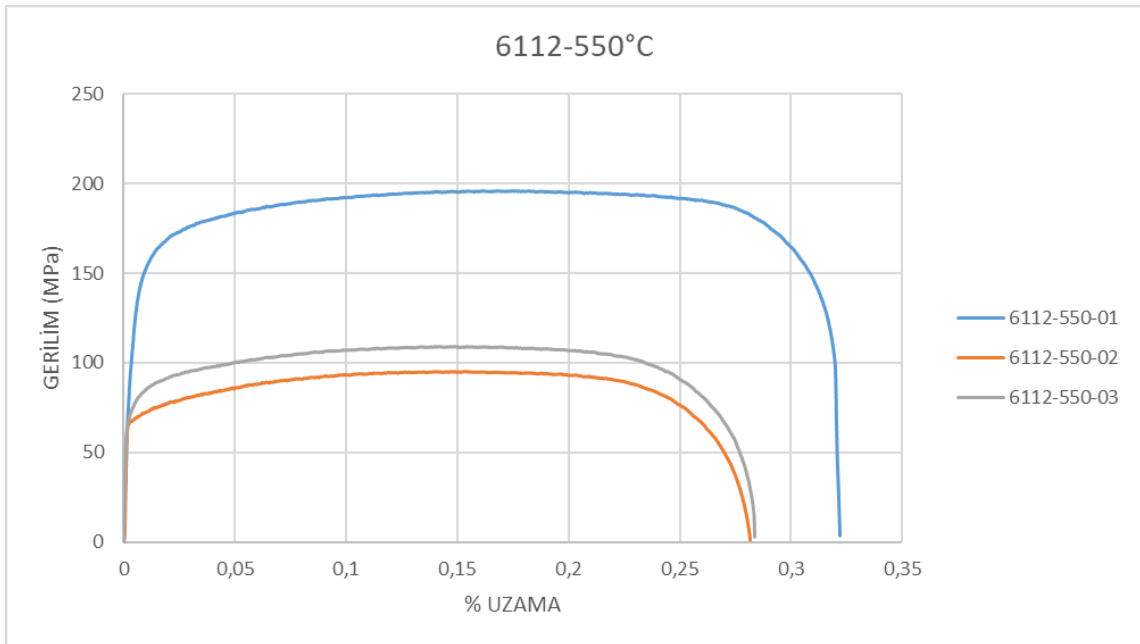
1311 tipi çeliğin ham olarak elde edilen numunelerine bakıldığında Şekil 6.12’de üç farklı grafik görülmektedir. Bu grafiklerden 1311-Ham-02 olan numune 275.3 MPa ile maksimum çekme gerilmesine sahip grafiği oluşturmuştur. Grafikteki diğer eğrilerin çentik etkisi ve numuneleri boru halden düz hale getirirken oluşan dislokasyon etkisi ile düşük kaldığı düşünülmektedir. Diğer tavlama sıcaklıklarındaki numuneler ile kıyas yapabilmek adına maksimum gerilmeye sahip numuneye bakabiliriz. Şekil 6.13’deki grafik incelendiğinde yine farklı eğrilerin oluştuğu görülmektedir. Burada en büyük gerilmeye sahip olan 1311-550-02 numunesine bakıldığında tavlama sonrasında malzemenin geriliminin 215 MPa seviyelerine indiği görülmektedir. % uzama değerinin de arttığı ve malzemenin daha yumuşak bir hal aldığı anlaşılmaktadır. Şekil 6.14’de 600°C de uygulanan tavlama sonucu elde edilen çekme sonuçları yer almaktadır. Bu grafikten de anlaşılabileceği üzere maksimum gerilmeye sahip olan 1311-600-01 numunesinin, ham haldeki ve 550°C tavllanmış haldeki numunelere göre daha düşük gerilime sahip olduğu görülmektedir. En son Şekil 6.15’e bakıldığında 1311 tipi çeliğin 650°C tavlama sonrası elde edilen çekme sonuçları yer almaktadır. Bu grafiğe bakıldığında taktirde numunelerin birbiri ile yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Malzemenin % uzaması en fazla 650°C sıcaklıkta gerçekleşmiş ve yine malzemenin en düşük gerilime sahip olduğu bu sıcaklık değerinde görülmektedir. Gerilme değeri 140 MPa seviyelerine inmiştir. Bu durumda şekil alma kabiliyeti artmış olmaktadır. 650°C de üç numunenin de yakın değerler izlemesi malzemenin yumuşamasından dolayı olabilir. Şekil alma kabiliyeti artan malzeme boru formundan düz forma getirilirken iç yapısında değişimlere uğramamış olduğu ve çekme testleri sonucunda yakın değerler izlediği düşünülebilir.

Şekil 6.6’da sertlik sonuçlarına da bakıldığında 1311 tipi çeliğin 650°C tavlama sonrası diğer durumlara nispeten daha yumuşak olduğu görülmektedir. Bu da çekme testleriyle paralel doğrultuda bir sonuç olduğunu göstermektedir.

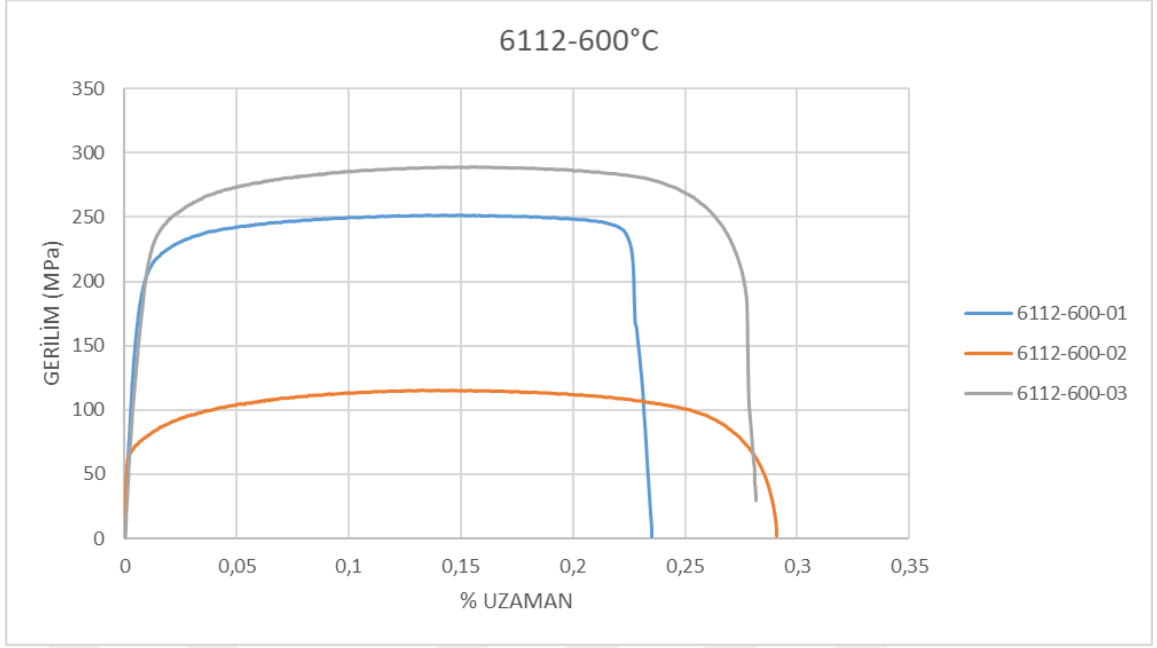
Aşağıdaki Şekil 6.16 ila Şekil 6.19 arasında 6112 tipi çeliklerin çekme testi sonuçlarından elde edilen grafikler yer almaktadır.



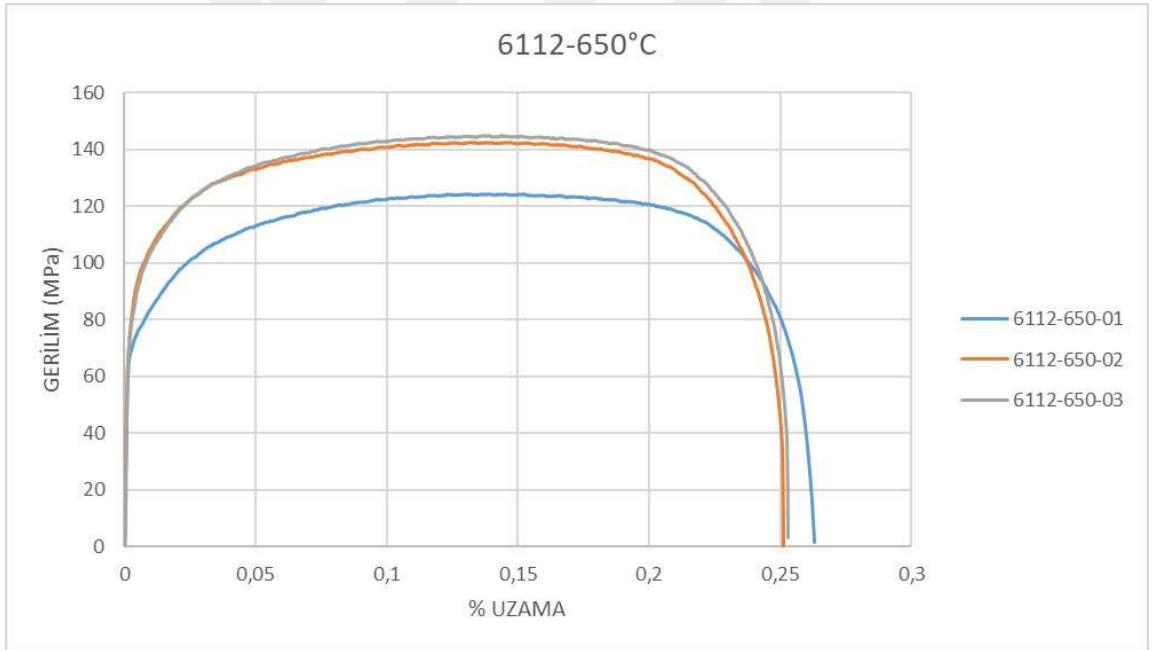
Şekil 6.16. 6112 tipi çeliklerin üretim sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.17. 6112 tipi çeliklerin 550°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.18. 6112 tipi çeliklerin 600°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.19. 6112 tipi çeliklerin 650°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.

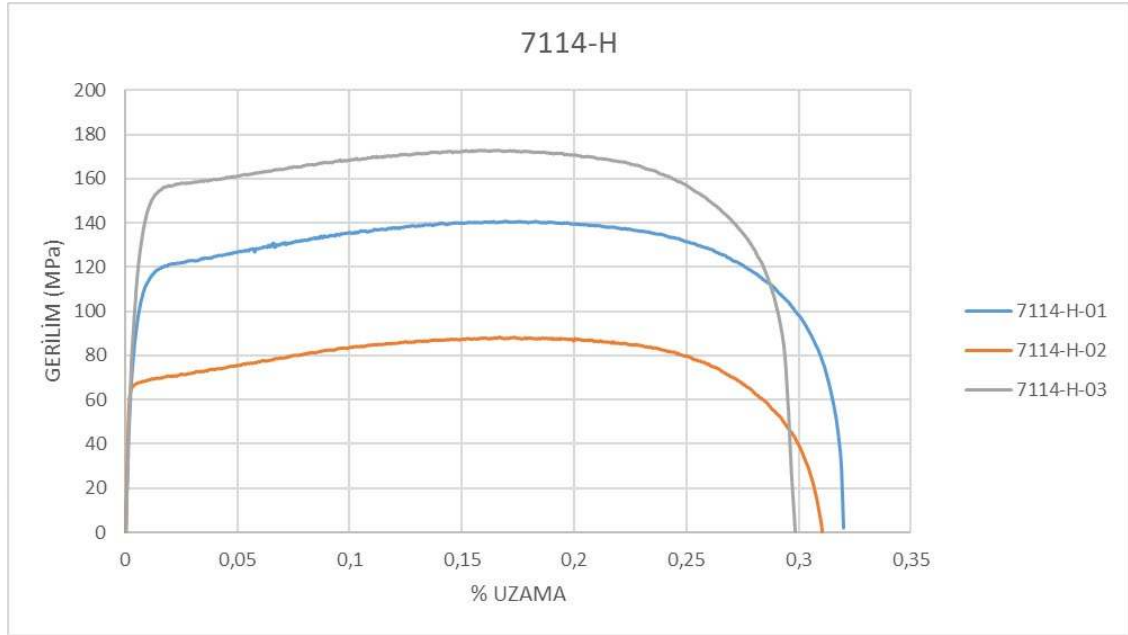
Yukarıda şekil 6.16, Şekil 6.17, Şekil 6.18 ve Şekil 6.19’da 6112 tip çeliğin çekme sonuçlarından elde edilen grafikler yer almaktadır. Numune isimlendirmeleri yine 1311 tip çelikte olduğu gibi yapılmıştır.

6112 tip çeliğin grafikleri incelendiğinde, 600°C ısı işlem uygulamasında beklenenin aksine malzemenin mukavemetinin arttığı görülmektedir. 600°C’de bu durumun

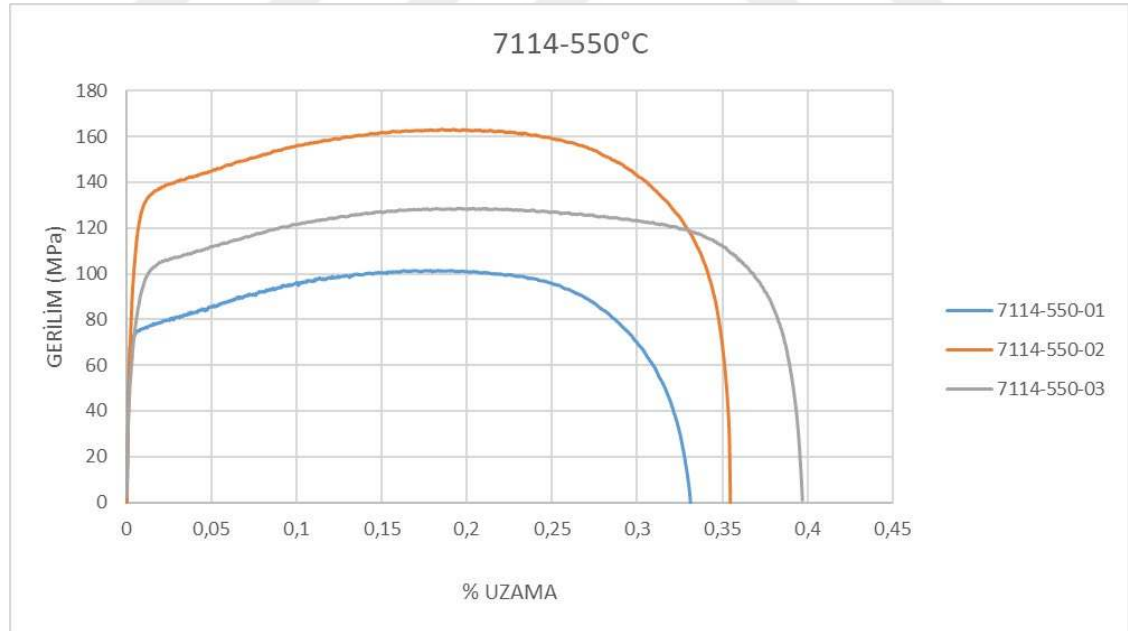
meydana gelme sebebi araştırılmalıdır. Mukavemetinin en düşük olduğu değer 650°C tavlama sonrası oluşmuştur. Diğerlerine nispeten en fazla süneklik 550°C meydana gelmiştir.

6112 tip çeliğin çekme numunelerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında 1311 tip çeliğin sonuçlarına benzer şekilde aynı tavlama ısısına sahip numunelerin farklı grafik sonuçlarına sahip olabildikleri görülmektedir. Bu duruma yukarıda 1311 tip çelikte olduğu gibi çeliğin boru formundan düz numune formuna geçirilirken oluşan dislokasyonlar sebebi ile olduğu düşünülmektedir. Elde edilen veriler tek tek değerlendirildiğinde 6112 tipi çeliğin 6112-Ham-01 numunesinde 350 MPa değerinin üzerine çıkarak maksimum çekme gerilmesine sahip olduğu görülmektedir. 550°C tavlama sonrası elde edilen numunelerde maksimum gerilim değerinin 200 MPa seviyelerine gerilediği ve % uzamanın en düşük olan 6112-550-02 numunesinde bile ham haldeki numunelere göre arttığı gözlemlenmektedir. Uygulanan tavlamanın malzeme içerisindeki iç gerilmeleri geri yönde değiştirdiği sonucuna ulaşılabilir. Fakat şekil 6.18’de 6112 tipi çelikte 600°C’de uygulanan gerilim giderme tavlama sonucunda elde edilen testlere bakıldığında malzemenin maksimum çekme geriliminin 300 MPa’a yaklaştığı görülmektedir. Ham haldeki numunelerden daha yüksek gerilim değerlerine sahip olmasa da 550°C’de uygulanan tavllanmış numunelere göre daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. En son tavlama sıcaklığı olan 650°C’de elde edilmiş numunelere bakıldığında 1311 tipi çelikte karşımıza çıkan grafiğe benzer bir grafikte karşılaşmaktayız. 650°C’de tavlanoarak çekme testi uygulanan numunelerin grafikleri birbirine yakın değerlerde seyretmiştir. 600°C’de mukavemeti artan numuneler 650°C tavlama uygulamasında tekrardan yumuşamış bir hale dönüştüğü sonucuna varılabilir. Bütün durumlara kıyasla 650°C’de tavllanmış numunelerin maksimum çekme gerilimlerinin bütün hepsinden daha düşük olduğu görülmektedir. % uzama değeri 0.25 civarında ve maksimum çekme gerilmesi 140 MPa çevresinde oluşmuştur. Deneyler için belirlenen en yüksek tavlama sıcaklığında en iyi şekil alabilme kabiliyeti net olarak 650°C’dir diyemeyiz. 550°C ‘de 6112-550-02 ve 6112-550-03 numunelerine bakıldığında taktirde numunelerin 550°C sıcaklıkta çoğunlukla çekme gerilimlerinin en düşük seviyede olduğu görülmektedir. 6112 tipi çelikler için gerilim giderme tavlamasında tek bir sıcaklık değeri yerine 550°C ve 650°C sıcaklıklarının daha uygun olabileceği düşünülebilir.

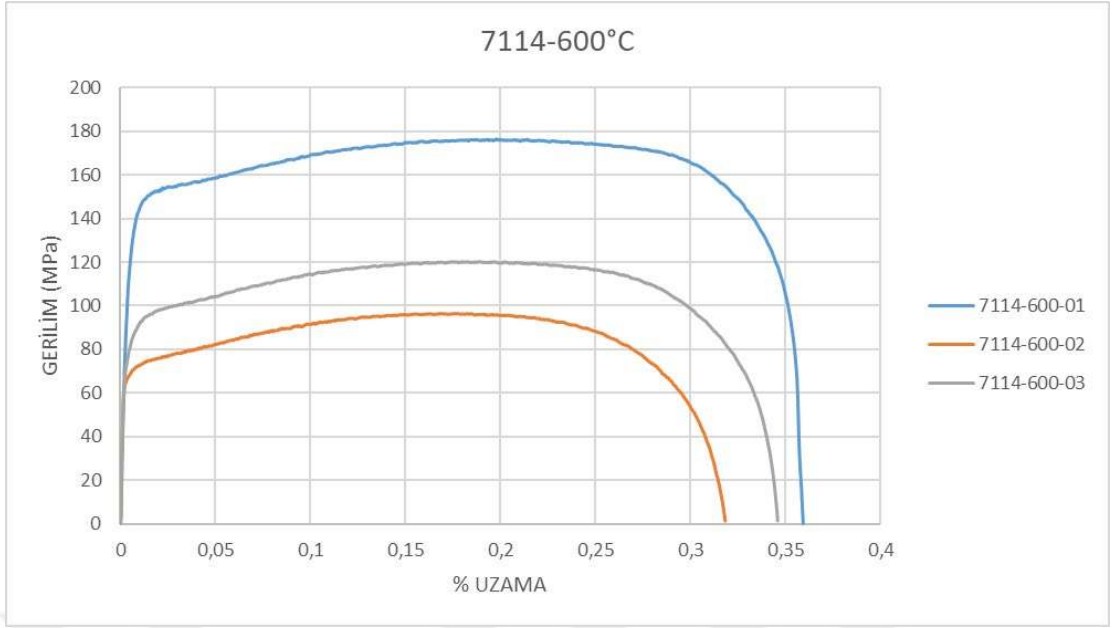
Aşağıdaki Şekil 6.20 ila Şekil 6.23 arasında 1311 tipi çeliklerin çekme testi sonuçlarından elde edilen grafikler yer almaktadır.



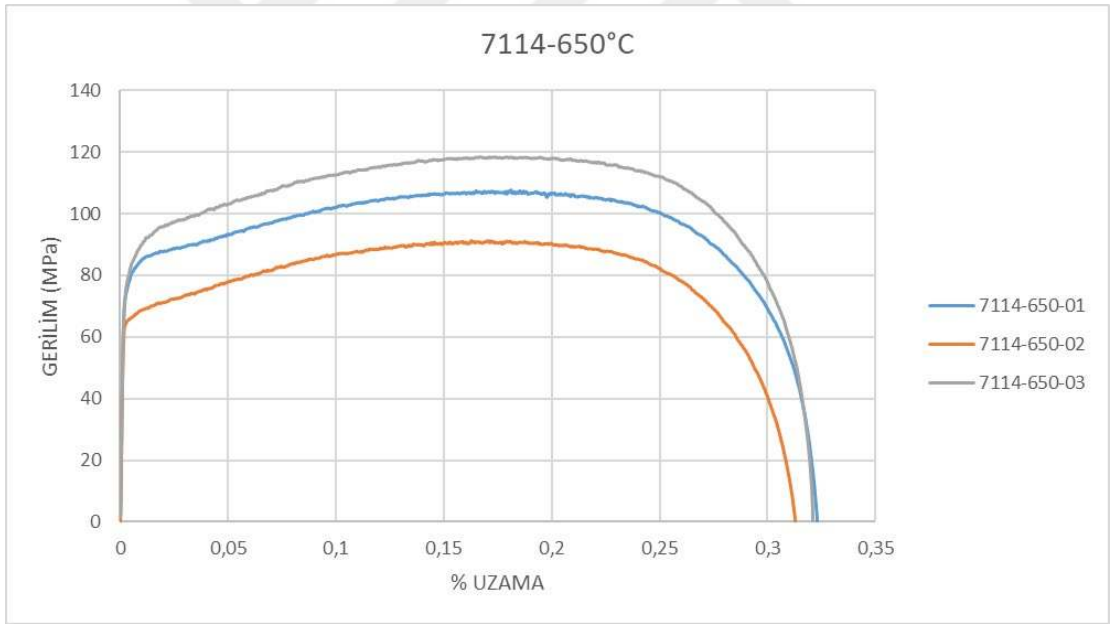
Şekil 6.20. 7114 tipi çeliklerin üretim sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.21. 7114 tipi çeliklerin 550°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.22. 7114 tipi çeliklerin 600°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.



Şekil 6.23. 7114 tipi çeliklerin 650°C tavlama sonrası çekme testi sonuçları.

Çekme testleri için incelenen son çelik tipi olan 7114 tipi çelik için yukarıdaki Şekil 6.20, Şekil 6.21, Şekil 6.22 ve Şekil 6.23 sonuçları ile oluşturulan grafikler elde edilmiştir. Diğer çelik tiplerinde de olduğu gibi 7114 tipi çeliklerde de grafik üzerindeki eğriler farklı sonuçların alındığını göstermektedir. Farklı sonuçların sebebi diğer numunelerde olduğu düşünüldüğü gibi malzemeyi açarken oluşan iç yapıdaki değişiklikler olabilir.

7114 tipi çeliğin grafiklerinden görüldüğü üzere malzemeye uygulanan ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça mukavemetinde düşme meydana gelmiştir. Süneklik büyük oranda değişmese de ham hale nispeten ısıtma işlem etkisi ile artış olmuştur. En düşük mukavemet 650°C’de uygulanan ısıtma işlem sonrası meydana gelmiştir.

7114 tipi çeliğin çekme testlerinden alınan sonuçlar ile oluşturulan grafiklerde değerlerin belli bir fark ile birbirlerinden ayrıldığı görülmektedir. Ham haldeki numuneler, 550°C tavlama sonrası elde edilen numuneler ve 600°C tavlama sonrası elde edilen numunelerin çekme testi sonuçlarına bakıldığında maksimum çekme gerilmelerine 160 MPa ile 180 MPa arasında bir bölgede olduğu gözlemlenmektedir. 7114 tipi çelikten elde edilen çekme testlerinde bu üç durum için yaklaşık sonuçlar alındığı görülmektedir. Tablo 6.8’deki mikrosertlik sonuçlarına da bakıldığında taktirde belli bir aralıkta kümeleşen sonuçlar topluluğu görülmektedir. Çekme testlerinden de benzer bir durum yakalanmış görünüyor. 7114 tipi numunelerden alınan test sonuçlarında 650°C gerilim giderme tavlama uygulanarak elde edilen numunelerin çekme testlerine bakıldığı durumda ise malzemenin maksimum çekme gerilmesinin en düşük seviyede olduğu görülmektedir. 1311 ve 6112 tipi çeliklerde de benzer durum gözlemlenmiştir. Tavlama için belirlenen maksimum sıcaklık olan 650°C’de bu çalışmada belirlenen her çelik tipi için en yakın değerlerde seyreden grafikler elde edilmiştir. Tavlama için belirlenen sıcaklık değerinin yükselmesi malzemelerde daha düzenli ve birbirine yakın değerlerde çekme sonuçlarının alınmasını sağlamıştır. Tavlama sıcaklığının yükselmesi ile malzemelerdeki yumuşama ve şekil alma kabiliyetinin artması doğru orantılı olarak gerçekleştiği yorumlanabilir. 7114 tipi çelikte uygulanan gerilim giderme tavlama sonucunda oluşan çekme testi grafiklerinin 6112 ve 1311 tipi çeliklere göre daha yakın değerlerde seyretmesi içerdikleri karbon miktarı ile bağlantılı olabilir. Üç numune arasında 7114 tipi çelik en düşük karbon oranına sahip malzemeyi oluşturuyordu. Ağırlıkça 6112 tip çelikte %0.039, 1311 tip çelikte %0.045 ve 7114 tipi çelikte %0.002 oranında karbon bulunmaktadır. Bu durum tavlama ile bu çelik tipi üzerinde büyük değişimlere sebep vermemiş olabilir. Bundan dolayı çekme testinde ve sertlik testinde birbirine yakın eğrilerde grafikler alınmış olabilir. Üç tip çeliğe genel olarak bakacak olursak ham hallerinde en büyük çekme gerilmesine sahip olan çelik tipi 6112’dir.

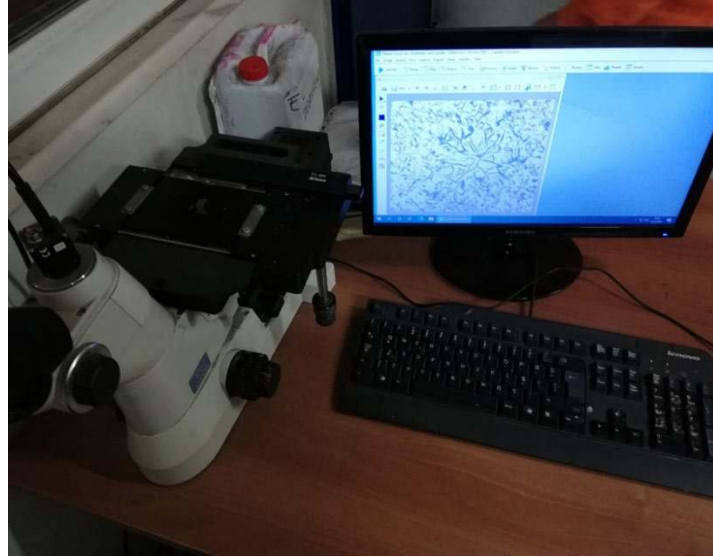
6.4.5. Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme numunelerin her biri 240 kum zımparadan 2000 kum zımparaya kadar temiz bir yüzey oluşturuncaya kadar zımparalanmıştır. Zımparalama işlemi içinde dönen bir zımparanın olduğu makine yardımı ile yapılır (Şekil 6.19). Bu makineye zımparalama işlemi bittikten sonra parlatmak için keçe takılarak parlatma işlemi yapılır.



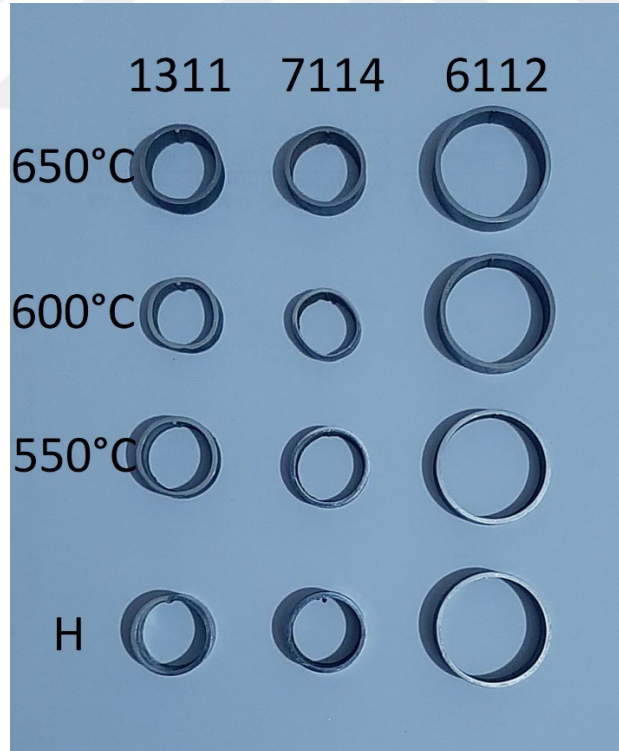
Şekil 6.24. Zımparalama ve parlatma yapılan makine.

Yüzey süreksizlikleri zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra giderilir. Temizlenen yüzeyde görüntülerin daha iyi alınabilmesi için dağlama işlemi yapılır. Dağlama işlemi numuneyi asit banyosuna sokarak yapılır. Bu çalışmada %3 nitrik asit çözeltisi dağlama için kullanıldı. Numune asitte bekletilmez. Hemen daldırılıp çıkarılır ve ardından hemen yıkanır. Dağlama işlemi ile numunedeki parlamalar ve yansımalar ortadan kalkar, böylece malzeme tane yapıları daha net görülebilir. Dağlama işleminden sonra numuneler mikroskop altında incelenmiştir (Şekil 6.25).



Şekil 6.25. Mikroskop altında inceleme ve görüntü alma.

Mikroskop altındaki görüntüler ile incelenen malzemenin iç yapısı hakkında yorum yapabilmemize olanak sunar. Mikroyapıları incelenmek üzere hazırlanan numunelerin görseli Şekil 6.26’da verilmektedir.



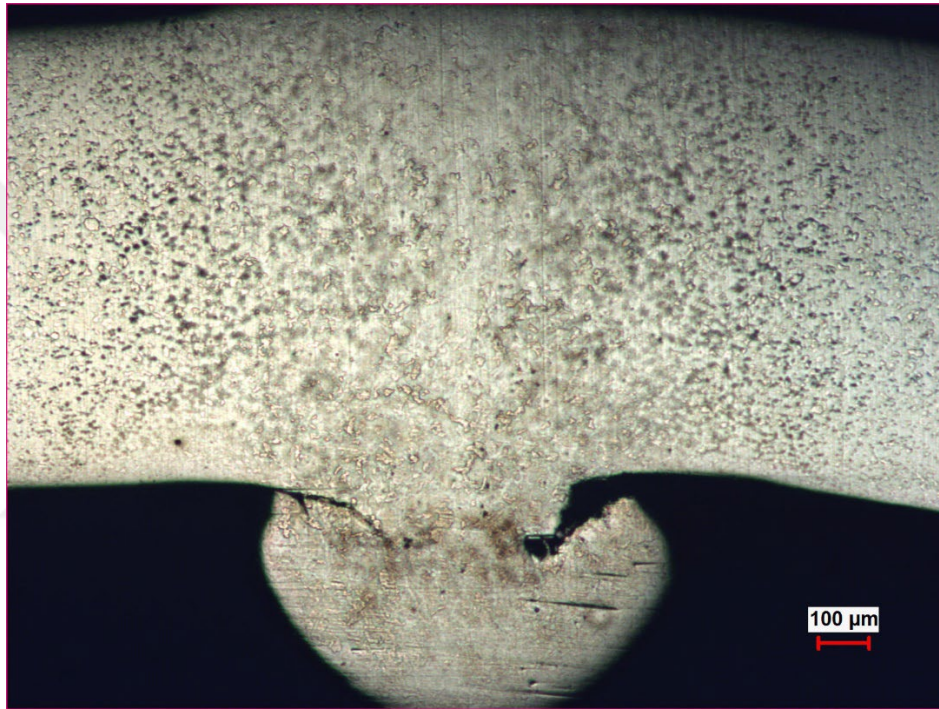
Şekil 6.26. Mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri için hazırlanan numuneler.

Şekil 6.26’da her bir ısıtım işlem uygulaması için ve ısıtım işlem uygulanmadan üretim sonrası elde edilen test numuneleri görülmektedir. Bu numuneler zımparalanıp parlatıldıktan

sonra mikrosertlik ve metalografik incelemeler için hazır edilmiştir.

6.4.5.1. 1311 Tipi Çelik Metalografik İncelemesi

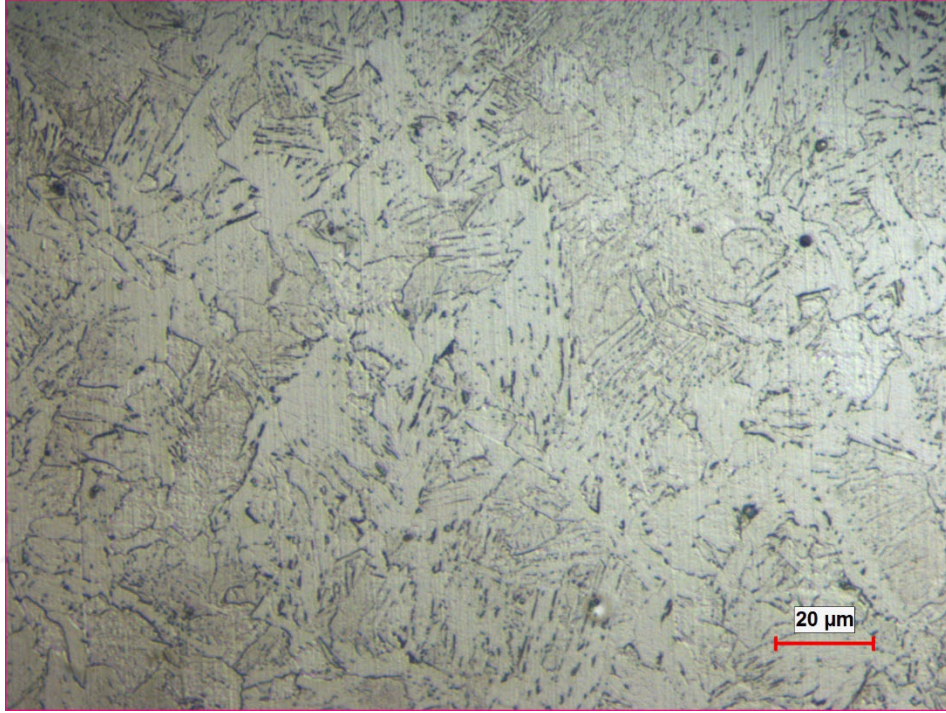
Aşağıda 1311 tip çeliğin üretim sonrasında elde edilen numuneler ile bu numunelere uygulanan 550°C, 600°C ve 650°C gerilim giderme tavlaması sonucunda elde edilen numunelerden alınan görüntüler yer almaktadır. Kaynak dikişlerinden X50 büyütme, tanecik yapılarından ise X500 büyütme ile inceleme yapılmıştır. Şekil 6.27’de üretimden sonrası alınan 1311 tipi çelik numunesinin makro yapısı görülmektedir.



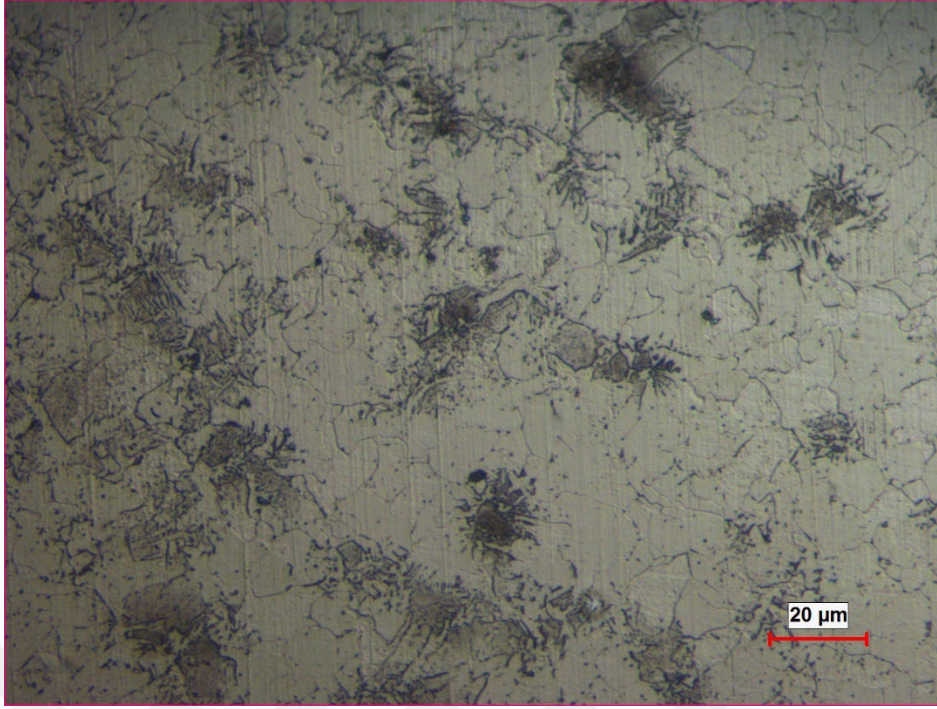
Şekil 6.27. Üretim sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Kaynak bölgesi makro yapısı incelendiğinde kaynak birleşme bölgesinde tane yapılarındaki farklılık ve ITAB bölgesi net olarak görülmektedir. Bu belirgin görüntünün sebebi aynı zamanda Yüksek Frekans Kaynağının sebep olduğu birleşme bölgesinde dekarbürize olmuş alan oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu karbonca fakir bölgede ferrit yapısı oluştuğundan yukarıdan aşağıya doğru beyaz bir alan oluşmaktadır. 1311 tipi çeliğin ham haldeki sertlik değerlerine bakacak olursak, beklendiği üzere ısıtma işlem görmemiş hallerine göre daha sert olduğunu görmekteyiz. Kaynak makro görüntüsünde oluşan bu tane yapılanması ana metal sertlik değerlerindeki farklılığı da ortaya koymaktadır. Yüksek frekans kaynağının etkisi ile metal üzerindeki karbonlar kenarlara doğru yığılarak kaynak dikişinde karbonsuz alan oluşmasına sebebiyet

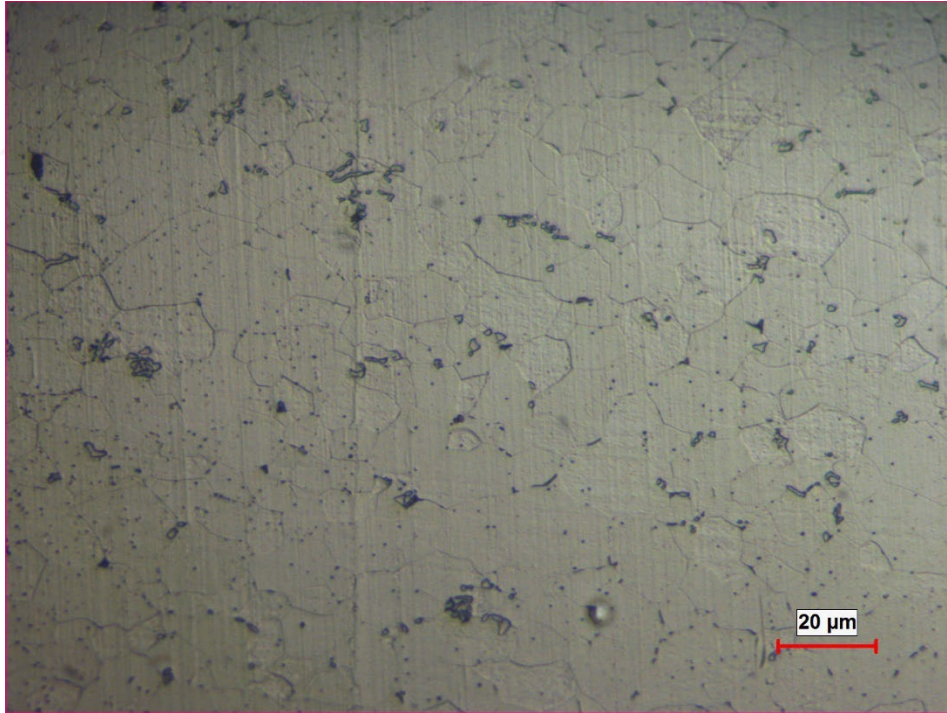
vermiştir. Kaynak dikişı kenarlarına doğru taneciklerin daha belirgin bir halde yığıldığı görülmektedir. ITAB bölgesinden ana metal tarafına doğru gidildikçe tanecik yapılarının küçüldüğü ve daha düzenli bir hale geldiği görülmektedir. Böylece yüksek frekans kaynağının kaynak bölgesinde tanecik yapısına olumsuz etkileri olduğu anlaşılmaktadır ve bu dekarbürize alanda oluşan kusurların düzeltilmesi için ek tedbirler alınmalıdır [74]. Yukarıda Şekil 6.28, 6.29 ve 6.30'da 1311 tip çelik boruların üretim sonrası elde edilen numunelerdeki mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.28. Üretim sonrası 1311 tip numune kaynak dikişı mikroyapı görüntüsü.



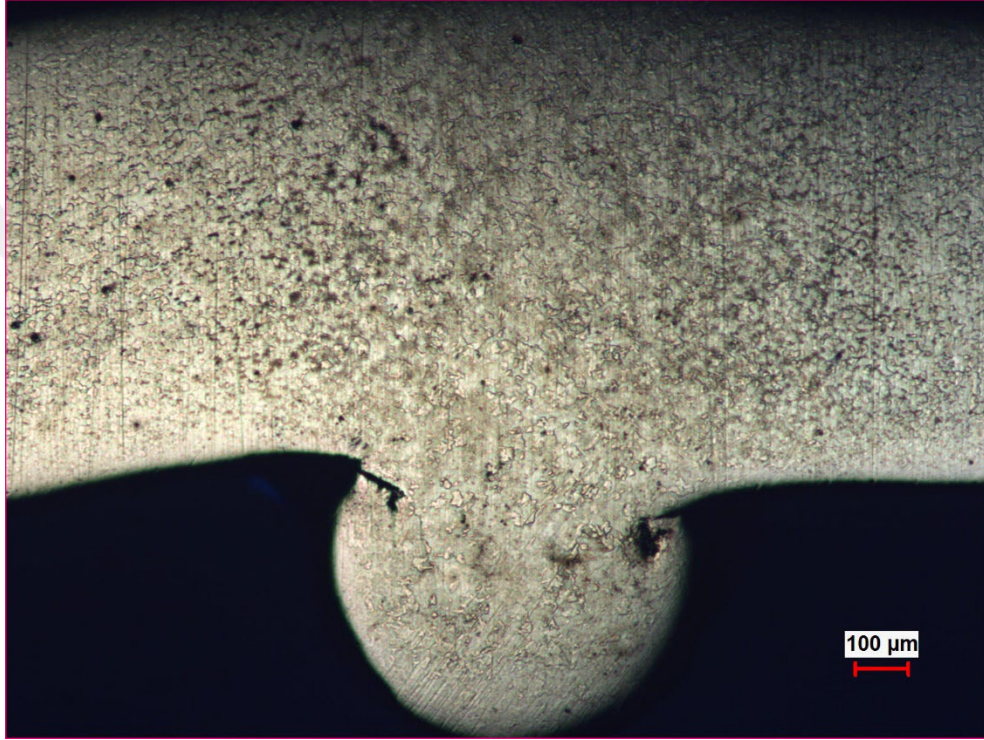
Şekil 6.29. Üretim sonrası 1311 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.30. Üretim sonrası 1311 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Şekil 6.28’de Kaynak merkezinin mikroyapı görüntüsü yer almaktadır. Bu yapıda ferrit, pertlik ve martenzit oluşumlar görülmektedir. Kaynak dikişinden kenarlara doğru ilerledikçe tanecik yapıları kaynak bölgesine kıyasla küçülmektedir. Kaynak geçiş bölgesinde tanecik yapısının küçük ve büyük tanelerden oluştuğu ve düzensiz bir yapıda

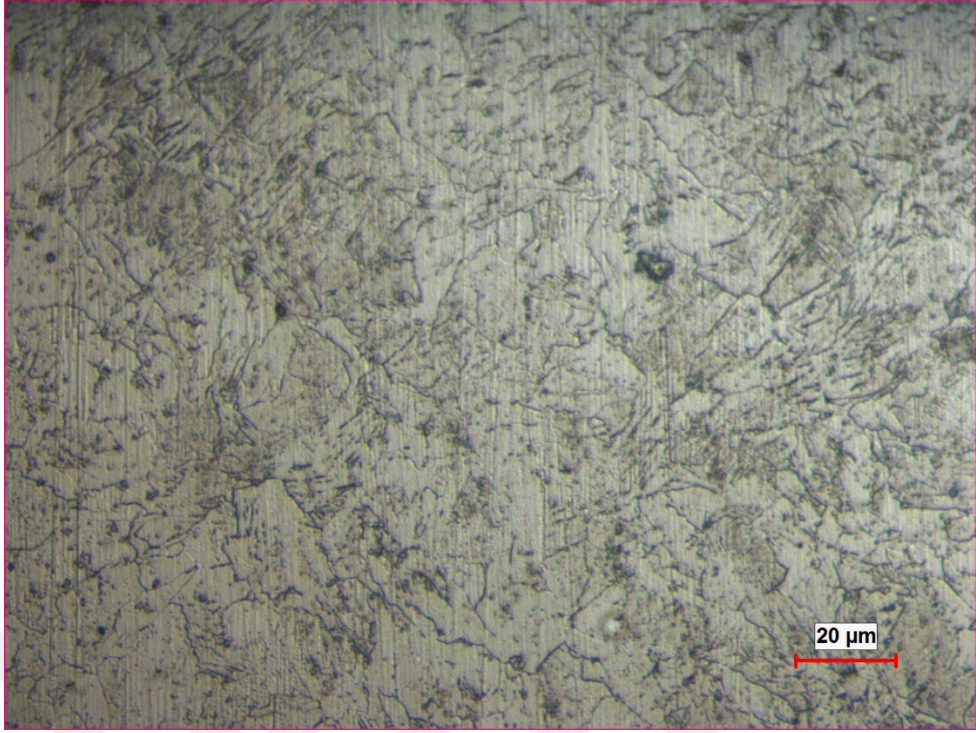
olduğu görülmektedir (Şekil 6.29). Geçiş bölgesinde mikroyapıda oluşan siyah görüntüler dağlamadan sonra ortaya çıkan segregasyonlar olduğu düşünülmektedir. Şekil 6.30'da ana metal görüntüsüne bakıldığında ise tanecik yapılarının düzenli ve homojen bir şekilde olduğu görülmektedir. makro yapıda da görüldüğü gibi ısı tesiri altında kalan bölgedeki tanecik bozulmaları düzeltilmesi gereken bir kaynak hatası olmaktadır. Aşağıdaki resimde 1311 tipi çeliğin 550°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



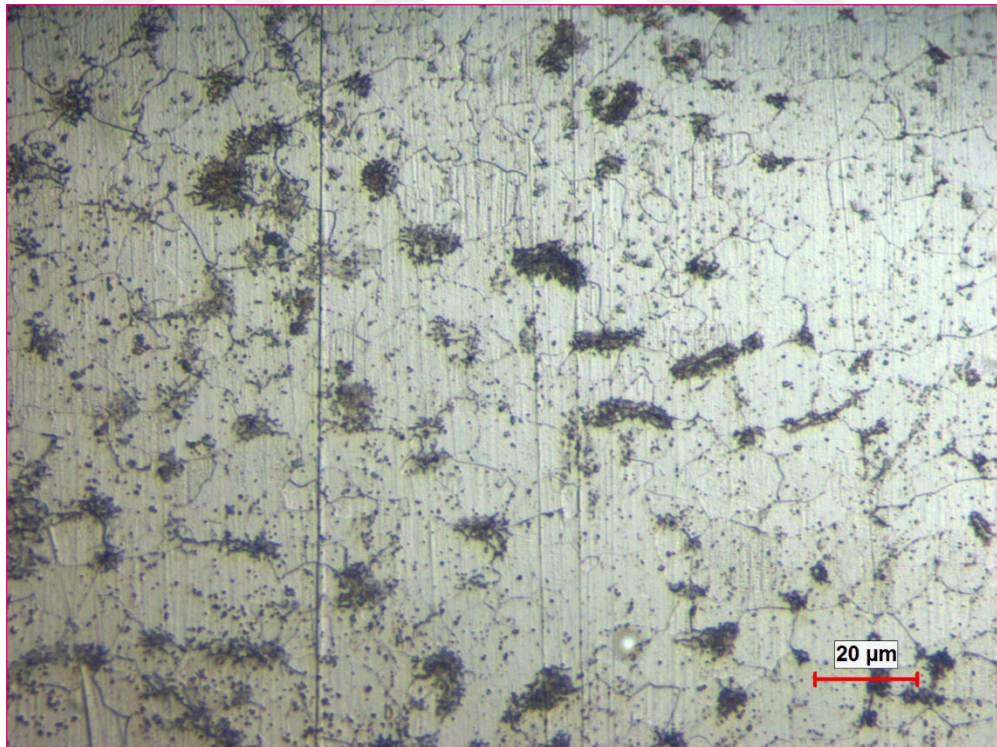
Şekil 6.31. 550°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda şekil 6.31'de 1311 tipi çeliğin 550°C tavlama sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. Üretim sonrası elde edilen numunedeki makro görüntüye göre tavlama sonrasında kaynak dikişinde oluşan dekarbürize olmuş bölgenin azaldığı görülmektedir. Kaynak bölgesindeki sertlik sonuçlarına da bakılacak olursa 550°C ısıtma işlem sonrasında yumuşama olduğu görülmektedir. Bu durum makro yapıdan alınan görüntüyü desteklemektedir. Kaynak bölgesinden kenarlara doğru gidildikçe karbon yapılarının buralarda biriktiği görülmektedir. Üretim sonrasına nispeten daha homojen bir görüntü elde edilmiştir.

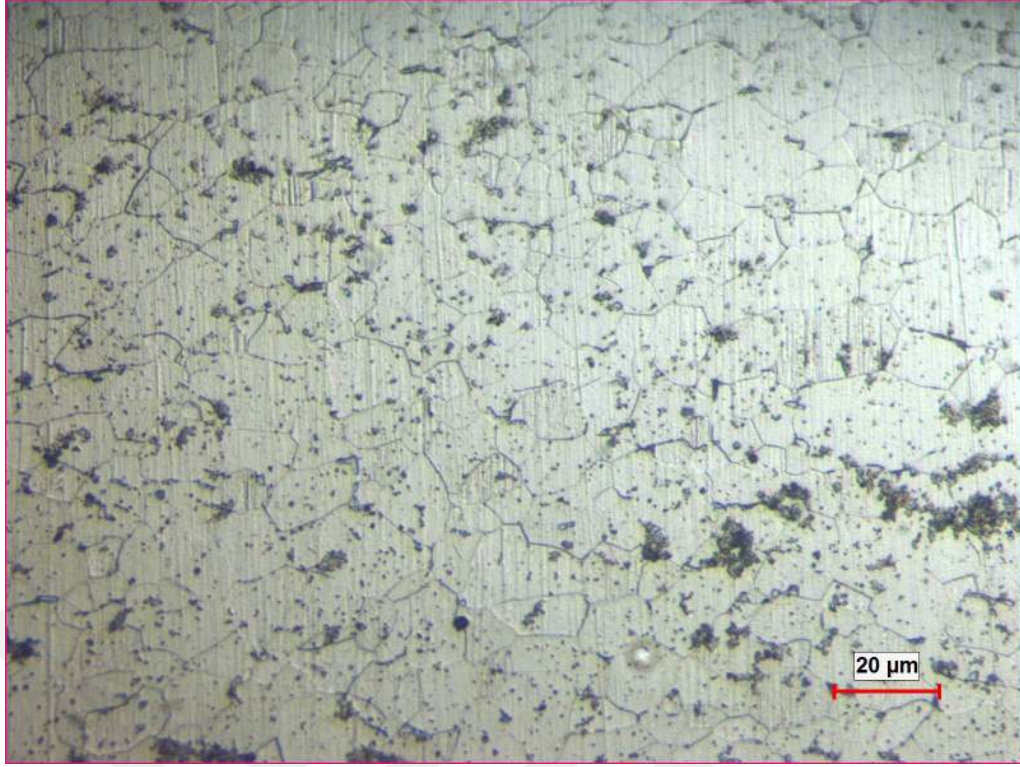
Şekil 6.32, 6.33 ve 6.34'de 1311 tip çelik boruların 550°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.32. 550°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişı mikroyapı görüntüsü.



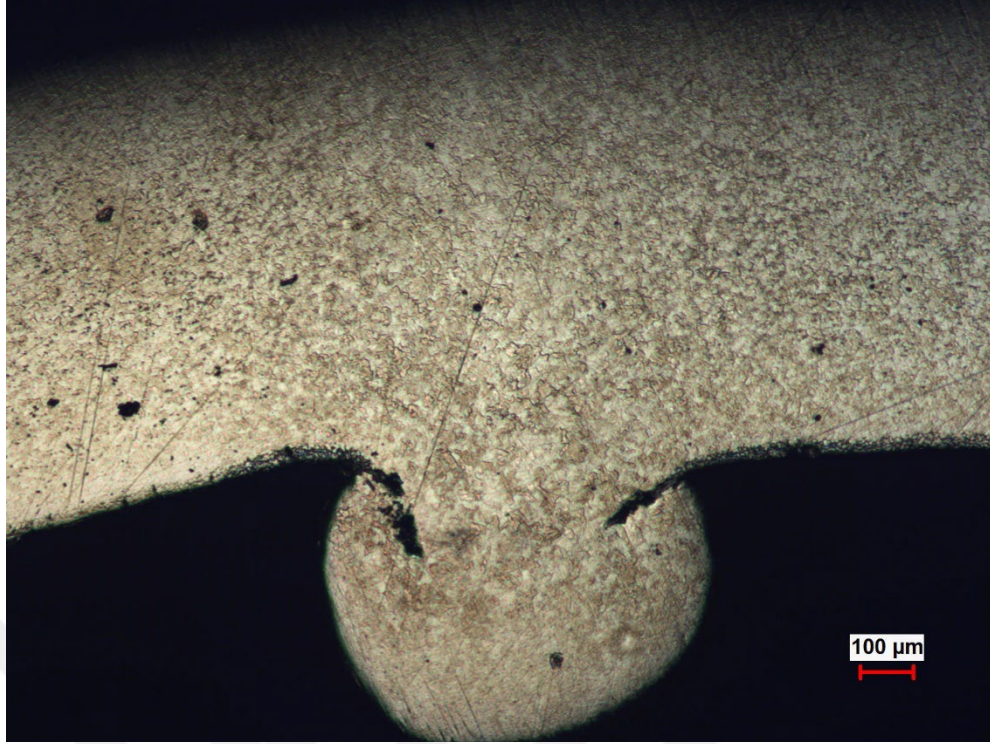
Şekil 6.33. 550°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.34. 550°C Tavlama sonrası 1311 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak yapısının mikroyapısı incelendiğinde üretim sonrası elde edilen numunelerde olduğu gibi ani ve yüksek ısı değişiminde dolayı ferrit yapıların, perlit ve martenzit yapılarına dönüştüğü, üretim sonrası kaynak dikişi mikroyapısına nispeten perlitik alanların arttığı düşünülmektedir. 1311 tipi çeliğin 550°C tavlama sonrası mikrosertlik sonuçlarına bakıldığında yumuşama olduğu görülmektedir. Ferrit alanların azalması sertliğin azalmasına etkili olmuş olabilir. Kaynak geçiş bölgesindeki tanecik yapıları kaynak bölgesine nispeten daha küçük yapılardan oluşmaktadır. Dağlama sonrasında oluşan siyah noktalara burada da rastlanmaktadır. Segregasyonların burada da devam ettiği sonucu düşünülebilir. Ana metal üzerine gelindiğinde ise tanecik yapılardaki sınırların kaynak geçiş bölgesine nispeten daha düzenli olduğu görülmektedir. Sertlik sonuçlarına da bakacak olursak kaynak bölgesinden uzaklaştıkça sertliğin düştüğü görülmektedir.

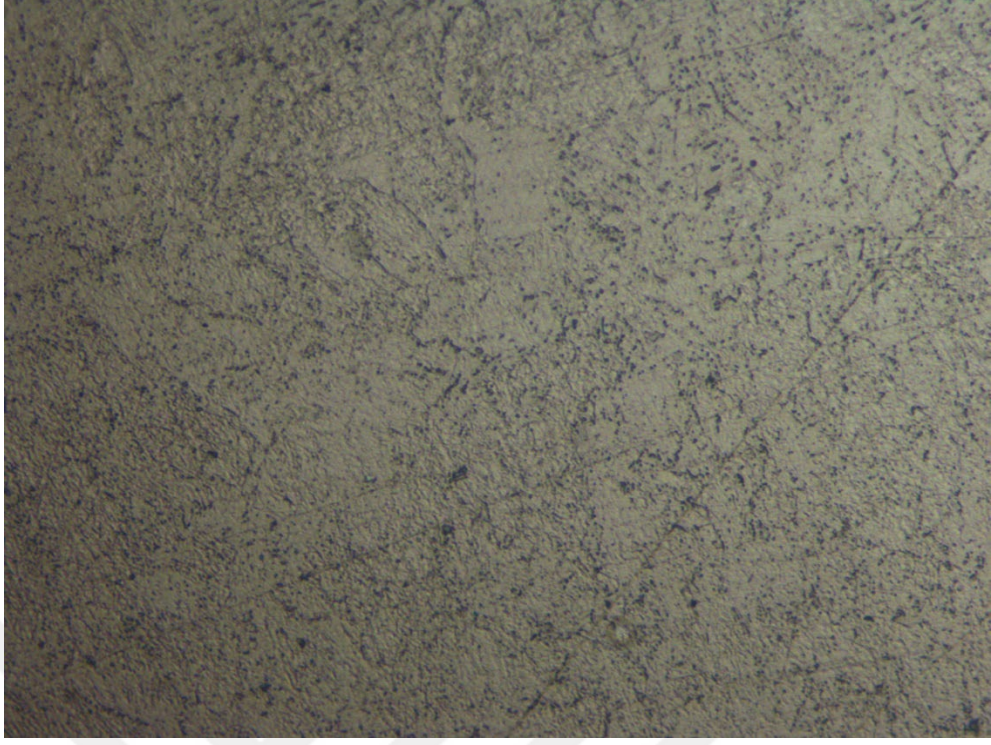
Aşağıdaki resimde 1311 tipi çeliğin 600°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



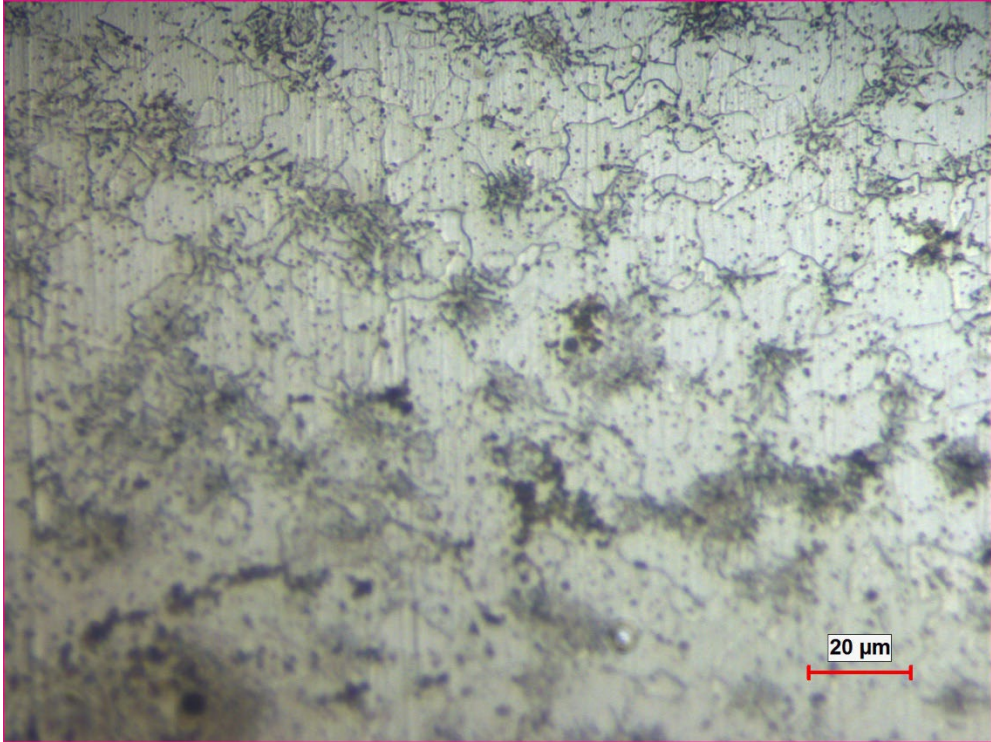
Şekil 6.35. 600°C tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda Şekil 6.35’de 1311 tipi çeliğin 600°C tavlama sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. Üretim sonrası ve 550°C tavlama sonrası elde edilen görüntülere nispeten kaynak dikişinde tabe büyüklüklerindeki farklılıkların ve segregasyonların neredeyse tamamen kaybolmak üzere olduğu gözlemlenmektedir. Sertlik testlerinden elde edilen verilere bakıldığında kaynak dikişindeki yumuşamanın 600°C ısıtım işlem uygulamasında daha da arttığı görülmektedir. Bu durum makro yapı ile elde edilen görüntüleri desteklemektedir. Kaynak dikişinden uzaklaştıkça tanecik yapılarının daha homojen bir şekilde oluştuğu, Isı tesiri altında kalan bölge ile ana metal arasında birbirine benzer yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir.

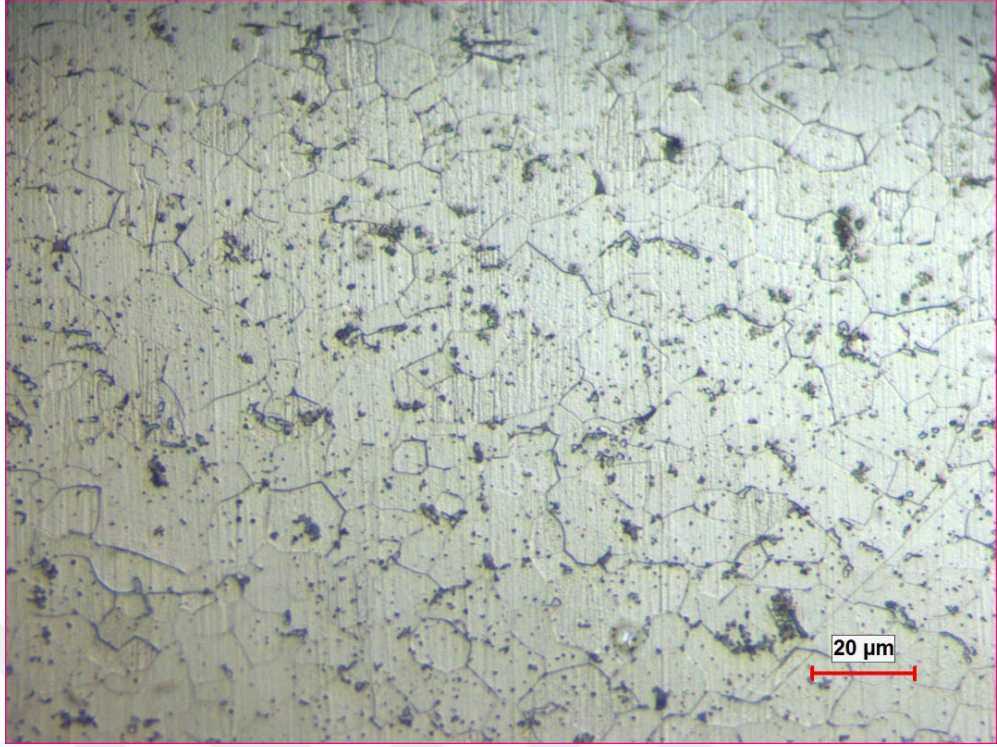
Şekil 6.36, 6.37 ve 6.38’de 1311 tip çelik boruların 600°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.36. 600°C tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



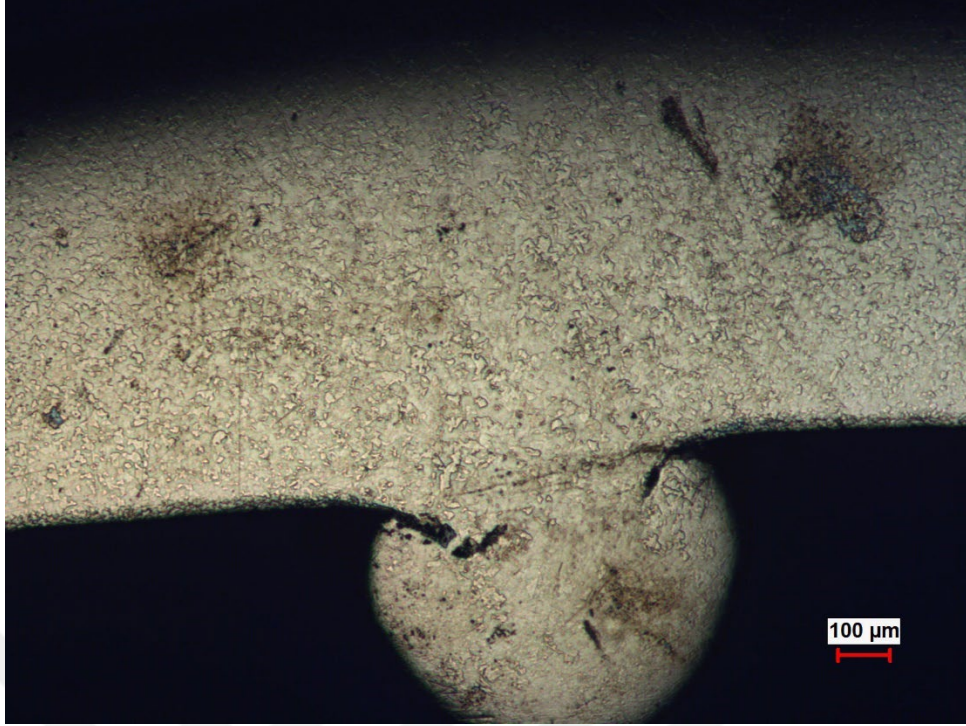
Şekil 6.37. 600°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.38. 600°C tavlama sonrası 1311 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişi üzerindeki mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, düzensiz tanecik yapılarının burada da oluştuğu gözlemlenmektedir. Üretim sonrası ve 550°C tavlama sonrası kaynak dikişi mikroyapı görüntülerine nispeten martenzit yapıların azaldığı görülmektedir. kaynak geçiş bölgesinde ise kaynak dikişine göre tane yapıları küçülmüş ve dağlama sonrası oluşansiyah noktalar halindeki segregasyonlar burada da belirmiştir. Kaynak geçiş bölgesinden ana metal üzerine doğru tanecik yapıların daha homojen oluştuğu ve segregasyonların kaybolduğu görülmektedir.

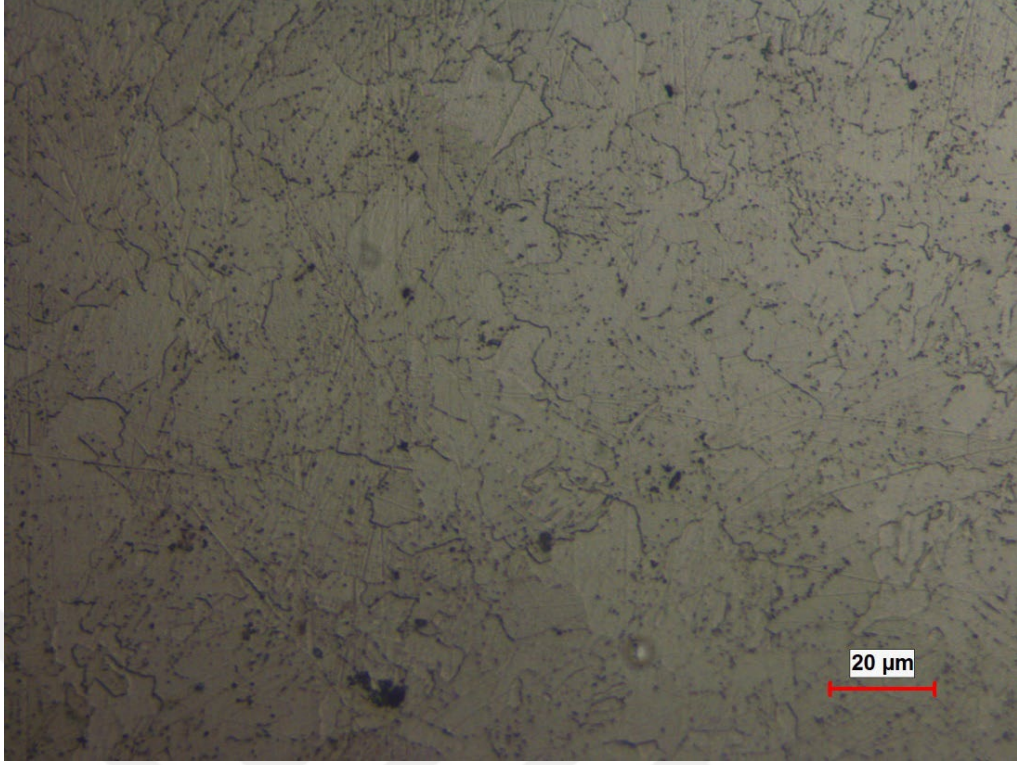
Aşağıda, Şekil 6.39'daki resimde 1311 tipi çeliğin 650°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



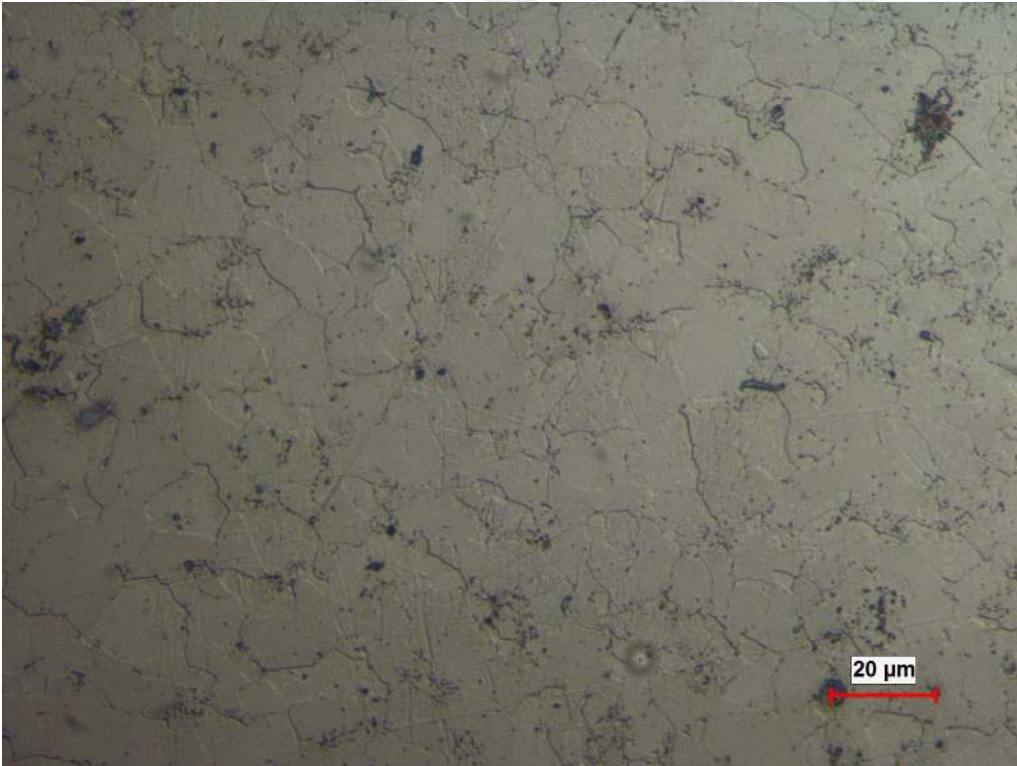
Şekil 6.39. 650°C tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda Şekil 6.39’da 1311 tipi çeliğin 650°C tavlaması sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. Makro görüntüden görüldüğü üzere, kaynak dikişindeki yapısal farklılıklar neredeyse kaybolmuştur. 1311 tipi çeliğin 650°C’de elde edilen sertlik sonuçlarına bakıldığında diğer ısıtma işlem sıcaklıklarına nispeten sertliğin en düşük değerlerde olduğu görülmektedir. 650°C de tanecik yapılarındaki homojen dağılım ve sertlik sonuçları birbirini desteklemektedir. Isı tesiri altında kalan bölgeden ana metal üzerine geçildiğinde tanecik yapılarının benzerlik gösterdiği ve homojen dağıldığı görülmektedir.

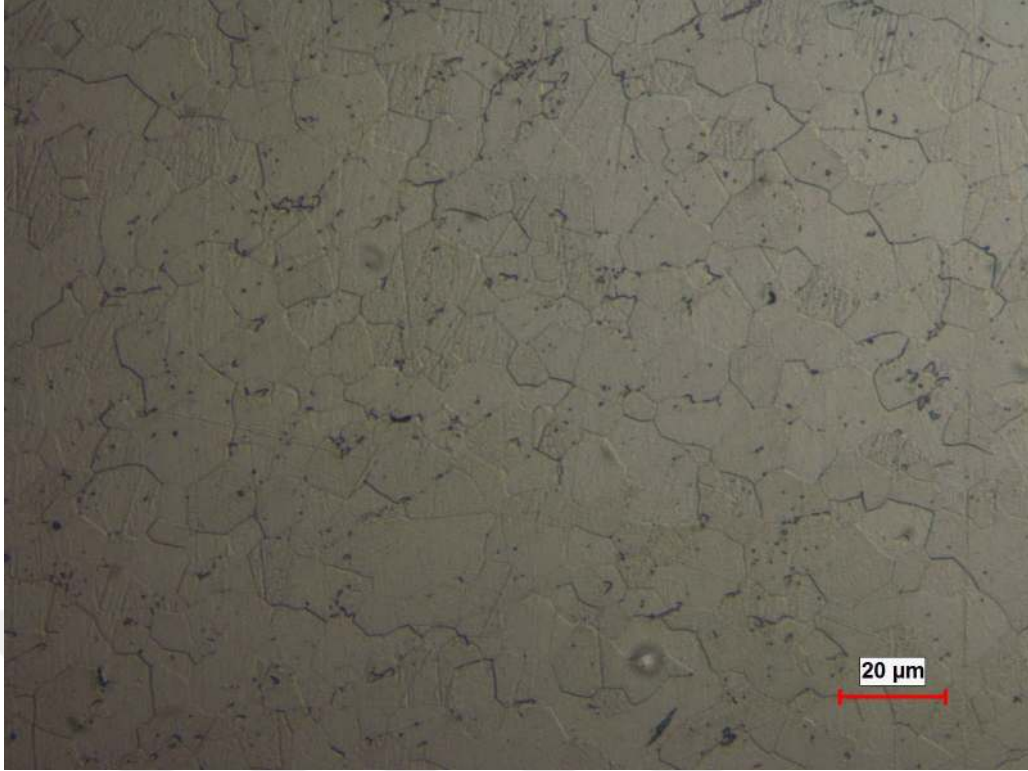
Şekil 6.40, 6.41 ve 6.42’de 1311 tip çelik boruların 650°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.40. 650°C tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.41. 650°C Tavlama sonrası 1311 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.42. 650°C tavlama sonrası 1311 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişinin merkezinde elde edilen mikroyapı görüntüsüne bakıldığında ferrit ve perlit alanların olduğu fakat martenzit alanların azaldığı görülmektedir. Sertlik sonuçlarına bakıldığında kaynak dikişi üzerinde yumuşamanın olduğu, mikroyapı sonuçları ile örtüşmektedir. Kaynak geçiş bölgesine bakıldığında tanecik yapılarının diğer ısıtma işlem sıcaklıklarına nispeten daha düzenli olduğu görülmektedir. Ana metal üzerine bakıldığında tanecik yapılarının homojen dağıldığı ve kaynak geçiş bölgesinin mikroyapısı ile benzer görüntüye sahip olduğu görülmektedir. Sertlik sonuçlarına bakıldığında kaynak geçiş bölgesi ve ana metal noktalarındaki sertlik değerleri yakın sonuçlar vermiştir. 1311 tipi çeliklerin kopma sonuçları kaynak dışında ana metal üzerinde gerçekleşmiştir. Sertlik ve çekme testlerinde mukavemetin en düştüğü ve sünekliğin arttığı değer 650°C olmuştur, mikroyapı görüntüleri de bunu desteklemektedir. 1311 tipi çelikte 650°C ısıtma işlem uygulamasının en uygun sonuçları verdiği mikroyapı sertlik ve çekme testleri sonuçlarından da anlaşılmaktadır.

1311 tip çeliğin ham haldeki numuneleri incelendiğinde Şekil 6.27’de kaynak bölgesi makro yapısında kaynak birleşme noktasında Yüksek Frekans Kaynağının sebep olduğu birleşme bölgesinde dekarbürize olmuş alan oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu karbonca fakir bölgede ferrit yapısı oluştuğundan yukarıdan

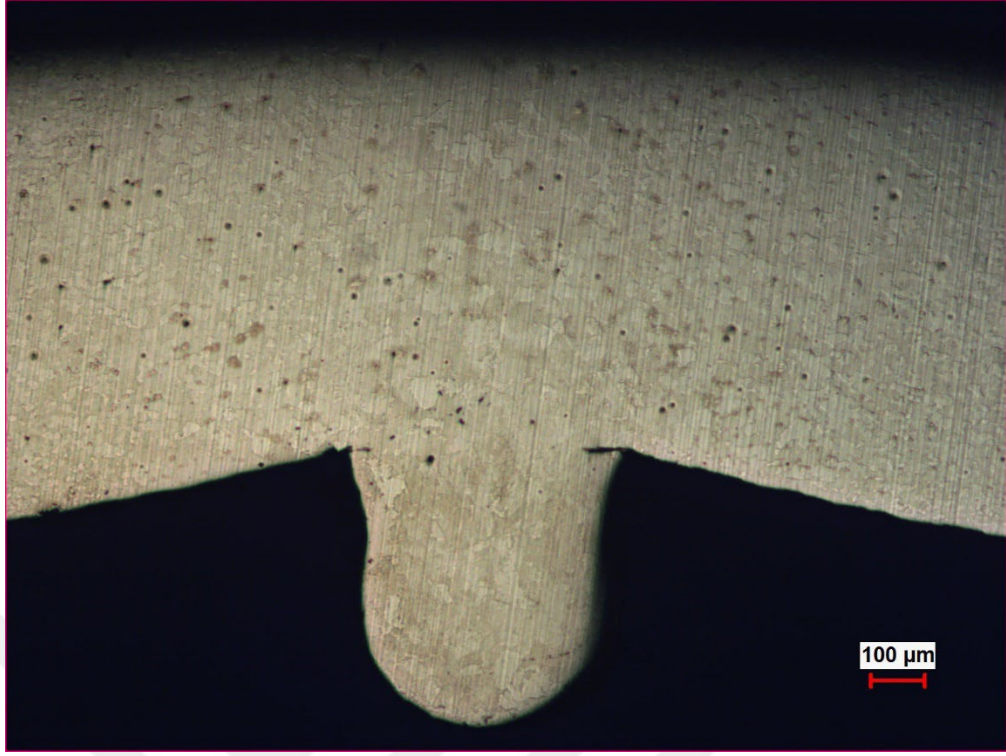
aşağıya doğru beyaz bir alan oluşmaktadır. Sırası ile Şekil 6.31, Şekil 6.35 ve Şekil 6.39'a bakıldığında 550, 600 ve 650 °C de uygulanan gerilim giderme tavlama sonucu elde edilen kaynak dikişi görüntüleri yer almaktadır. Uygulanan tavlama sıcaklık değeri yükseldikçe tane yapısının daha homojen bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Tavlama ısısının yükselmesi ile segregasyonların neredeyse yok olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Kaynak merkezinden uzaklaştıkça ferrit bölgenin dışında ısı tesiri altında kalan bölgeye doğru ferritik ve martenzit yapıların oluştuğu görülmektedir. Şekil 6.28, Şekil 6.32, Şekil 6.36 ve Şekil 6.40'da 1311 tipi çeliğin dört numunesi de incelendiğinde kaynak bölgesi mikroyapısında ferrit, perlit ve martenzit alanlar görülmektedir. 1311 tipi çeliğin ham numunesinde özellikle bu yapıların daha belirgin ortaya çıktığı görülmektedir. ısıtıl işlem tavlama sıcaklığı arttıkça bu yapıların daha homojen ve düzenli hale geldiği şekillerden anlaşılıyor. Kaynak çizgisinden ısı tesiri altında kalan bölgeye doğru gidildikçe tane boyutlarının küçüldüğü ve kaynak bölgesine göre daha ince taneli yapıların oluştuğu gözlemlenmektedir. Kırbaş [75] yapmış olduğu çalışmada 620°C, 650°C ve 680°C gerilim giderme tavlama uygulayarak hazırladığı AISI P11 numunelere mikroyapısal inceleme yapıldığında 680°C ile uygulanan gerilim giderme tavlama sonucu daha ince taneli mikroyapıların oluştuğunu gözlemlemiştir. Buradan hareketle bu çalışmada yaptığımız incelemelere paralel sonuçlar aldığı gözlemlenmektedir. Kaynak bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölgenin dışına çıkılıp Şekil 6.30, Şekil 6.34, Şekil 6.38 ve Şekil 6.42'de ana metal mikroyapılarının değişime uğramadığı söylenebilir. Bu sonuçlara dayanarak kaynak bölgesindeki yapısal farklılıkların, gerilim giderme tavlama ile tavlama sıcaklığının yükselmesi ile bu karbonca fakir bölgenin neredeyse tamamen kaybolduğu ve daha homojen tanecikli bir yapının oluştuğu söylenebilir.

6.4.5.2. 6112 Tipi Çelik Metalografik İncelemesi

Aşağıda 6112 tip çeliğin üretim sonrasında elde edilen numuneler ile bu numunelere uygulanan 550°C, 600°C ve 650°C gerilim giderme tavlama sonucunda elde edilen numunelerden alınan görüntüler yer almaktadır.

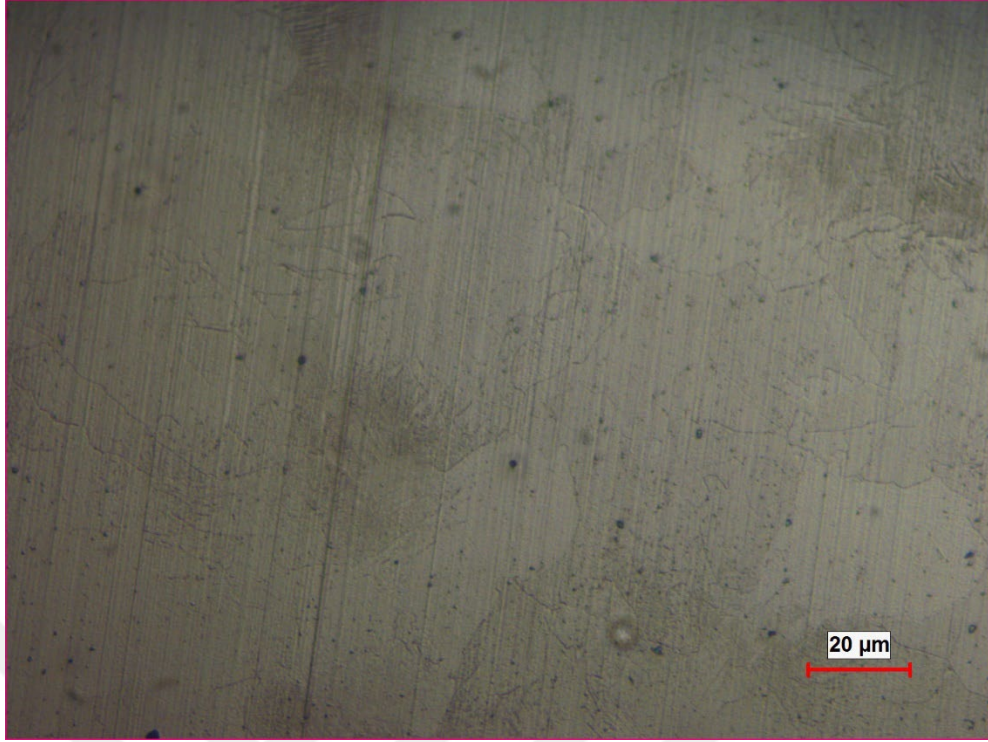
Şekil 6.43'de üretimden sonrası alınan 6112 tipi çelik numunesinin makro yapısı görülmektedir.



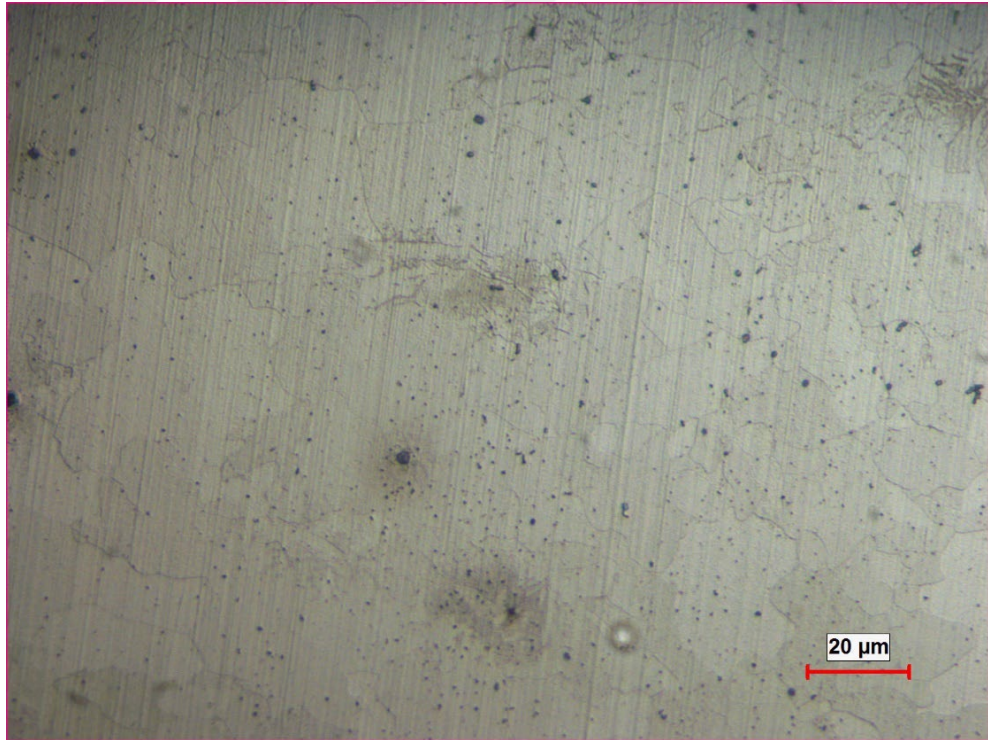
Şekil 6.43. Üretim sonrası 6112 tip numunenin kaynak bölgesi makro görüntüsü.

Makro görüntü incelendiğinde kaynak dikişi üzerinde taneciklerin daha büyük yapıda olduğu görülmektedir. İri taneler kaynak çapağının üzerine doğru kesit boyunca ilerlemektedir. Kaynak dikişinden ana metal üzerine gidildikçe tanecik yapısının küçüldüğü ve daha homojen yapıda tanelerin meydana geldiği görülmektedir. Sertlik testlerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında, kaynak dikişi üzerinde maksimum sertlik değerinin elde edildiği görülmektedir. Ana metalden uzaklaşıldıkça tanecikler homojen yapılı ve daha küçük olmaktadır. Bu da sertlik testlerinde ana metal üzerine doğru yumuşamanın neden gerçekleştiğini desteklemektedir.

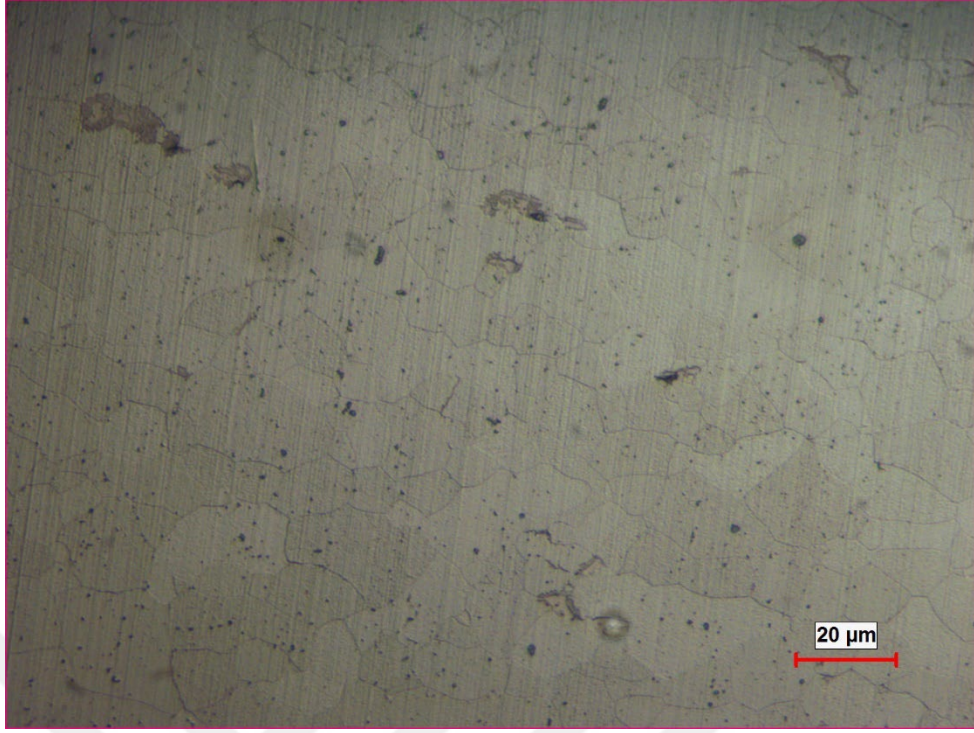
Şekil 6.44, 6.45 ve 6.46’da, 6112 tip çelik boruların üretim sonrası elde edilen numunelerdeki mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.44. Üretim sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



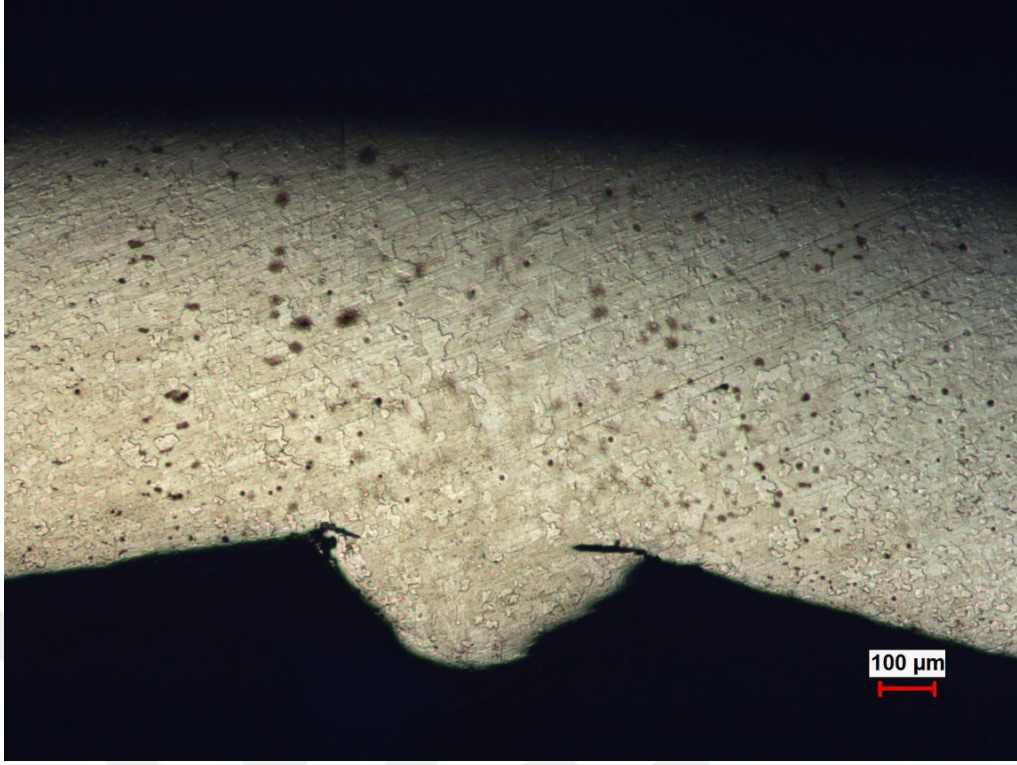
Şekil 6.45. Üretim sonrası 6112 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.46. Üretim sonrası 6112 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişi mikroyapısı incelendiğinde ferrit ve perlit yapıların oluştuğu görülmektedir. oluşan ferrit ve perlit yapılar düzensiz bir biçimde yayılmış ve yönlendirilmiştir. Tanecik boyutlarına bakıldığında kaynak geçiş bölgesi ve ana metal mikroyapı görüntülerine nispeten oldukça belirgin olduğu ve ana metalden farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum kaynak bölgesindeki sertliğin fazla olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Kaynak dikişinden ana metal üzerine gidildikçe taneciklerin daha homojen ve düzenli olduğu görülmektedir. Kaynak dikişinden ana metale doğru sertlik sonuçlarına bakılacak olursa sertlik değerlerinin azaldığı ve buradan hareketle mikroyapı incelemelerinin bunu desteklediği sonucuna ulaşılabılır.

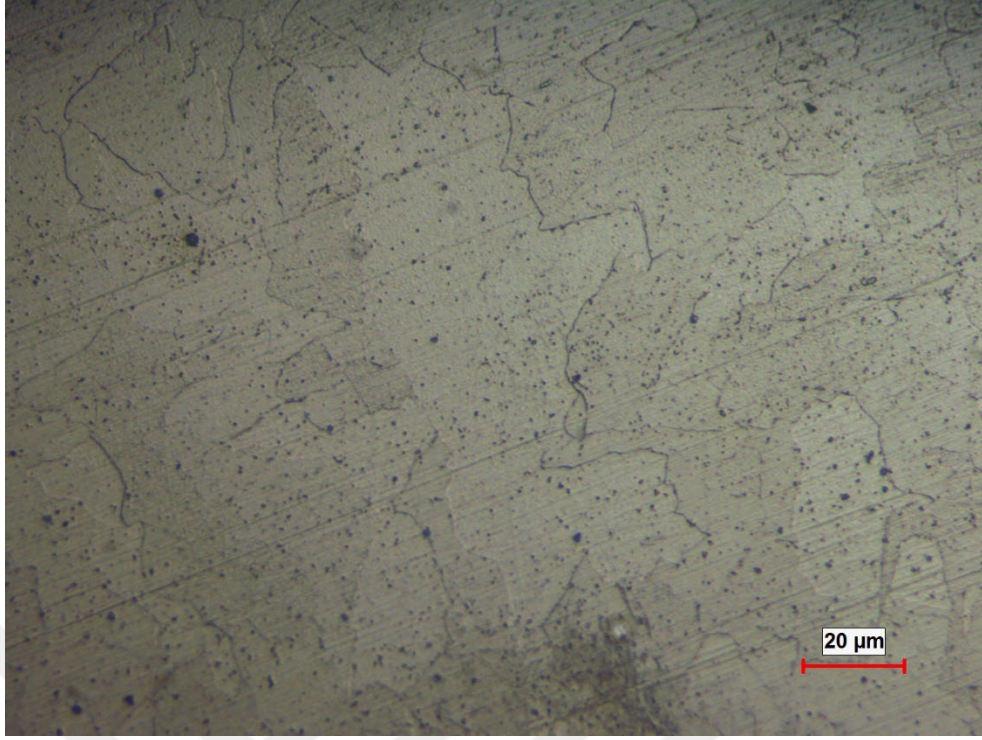
Aşağıdaki resimde 6112 tipi çeliğin 550°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



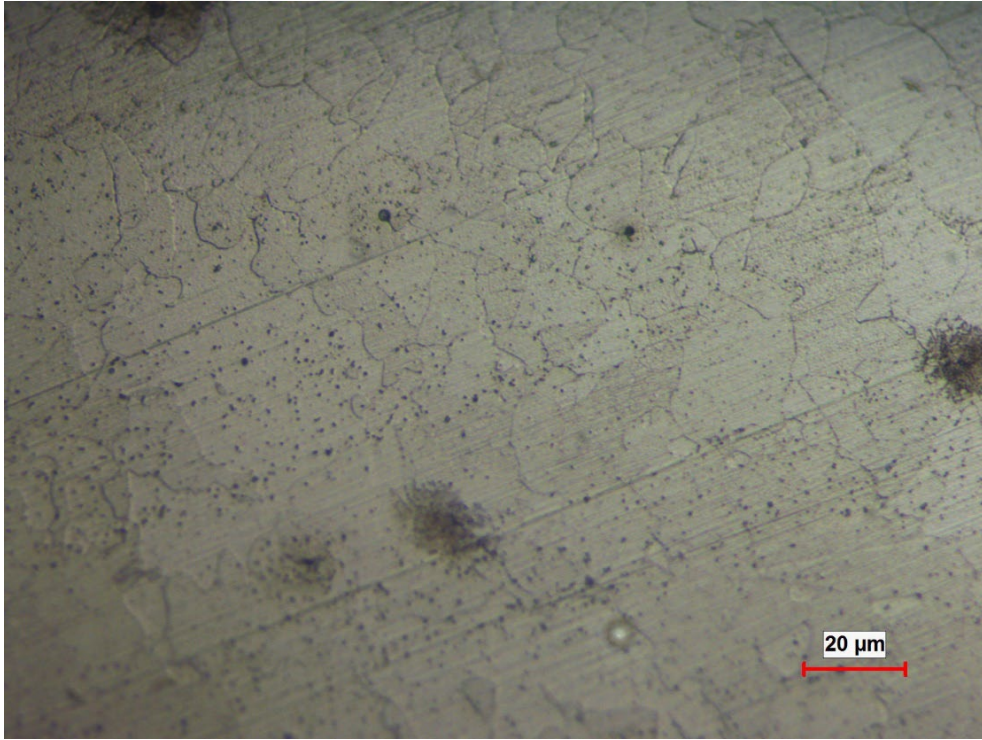
Şekil 6.47. 550°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda şekil 6.47’de 6112 tipi çeliğin 550°C tavlama sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. Kaynak dikişi üzerinde taneciklerin iri yapılı olduğu ve kaynaktan uzaklaşıldıkça taneciklerin küçüldüğü görülmektedir. Üretim sonrası elde edilen kaynak dikişi makro görüntüsüne nispeten taneciklerin küçüldüğü görülmektedir. Sertlik sonuçlarına bakıldığında kaynak bölgesindeki sertlik değerlerinin yaklaşık 60 HV azaldığı ve yumuşamanın büyük oranda gerçekleştiği görülmektedir. Üretim sonrası ısıtım uygulamalarında 1311 ve 7114 tipi çeliklere göre sertlik düşüşü 6112 tipi çelikte gerçekleşmiştir. Mikroyapısının daha homojen olmasının bu durumun gerçekleşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

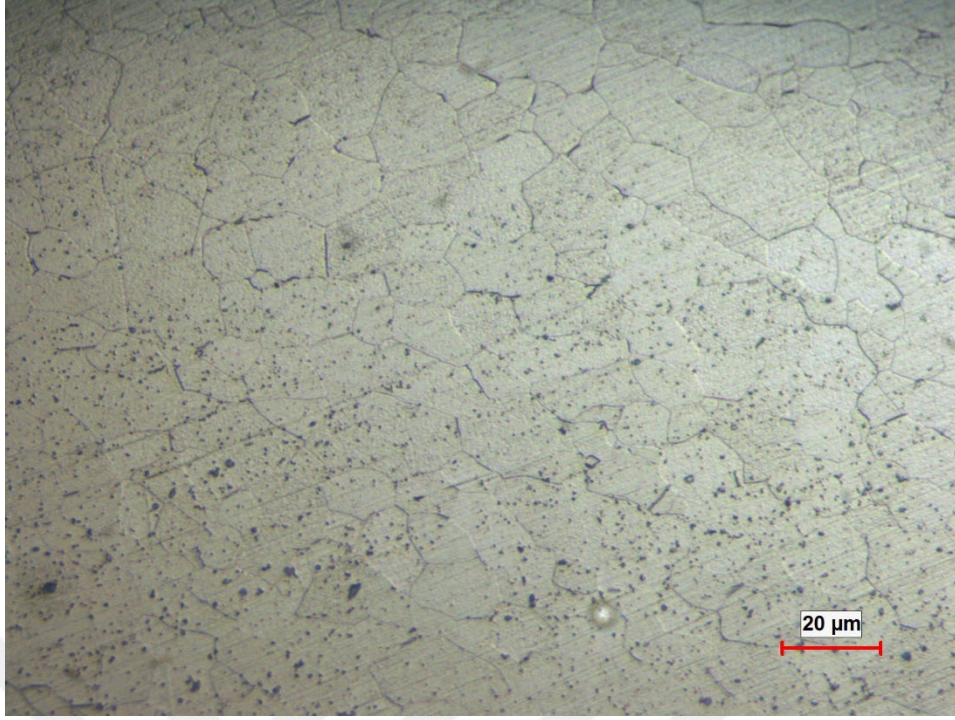
Şekil 6.48, 6.49 ve 6.50’de, 6112 tip çelik boruların 550°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.48. 550°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



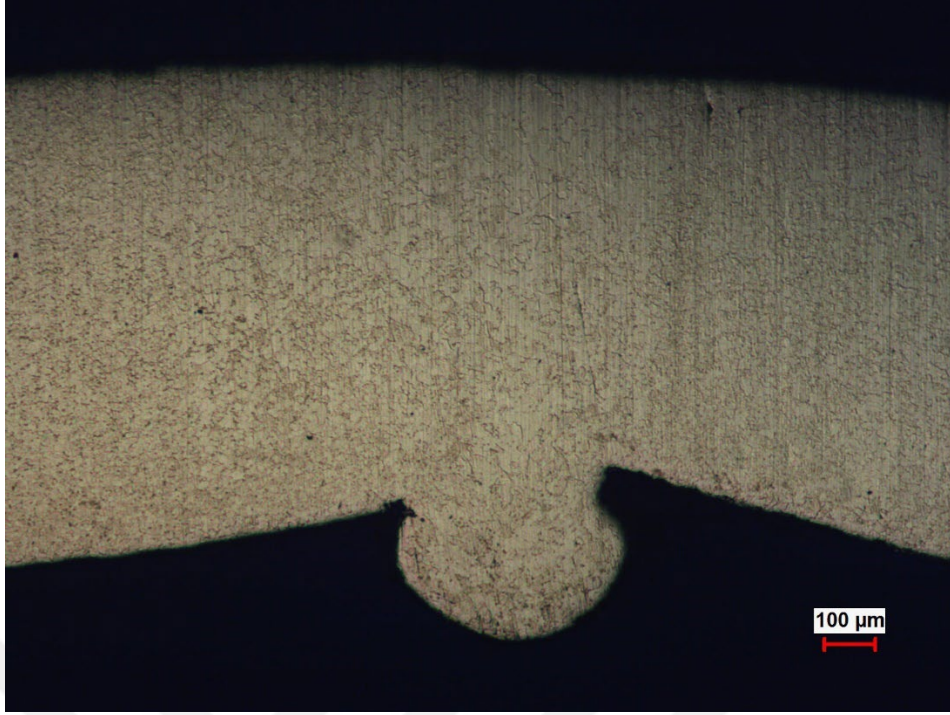
Şekil 6.49. 550°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.50. 550°C Tavlama sonrası 6112 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişindeki tanecik oluşumları incelendiğinde ferrit ve perlit oluşumları görülmektedir. Ferrit ve perlit alanların büyük taneler olarak yer almasına neden olmuş olabilir. Kaynak geçiş bölgesine gelindiğinde ise kaynak bölgesine nispeten tanecik boyutlarının küçüldüğü ve daha homojen bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Ana metal üzerinde gelindiğinde tamamen düzgün dağılmış tanecikler ve homojen bir yapı olduğu görülmektedir. Sertlik testine bakıldığında kaynaktan ana metale doğru sertliğin azalmasına, tanelerin küçülmesi ve daha homojen bir yapı oluşmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

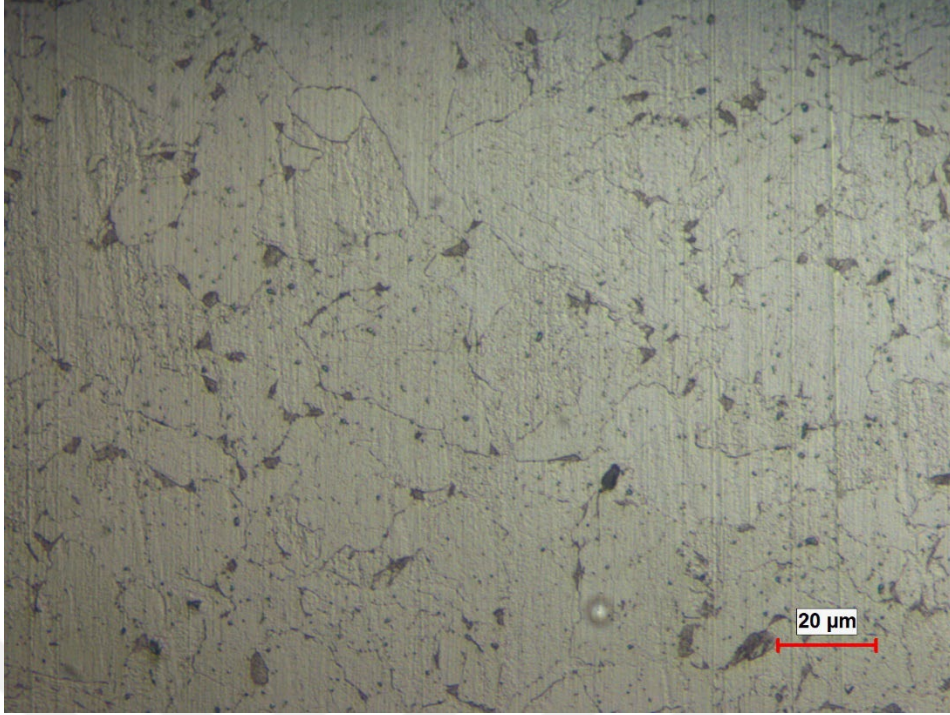
Aşağıdaki resimde 6112 tipi çeliğin 600°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



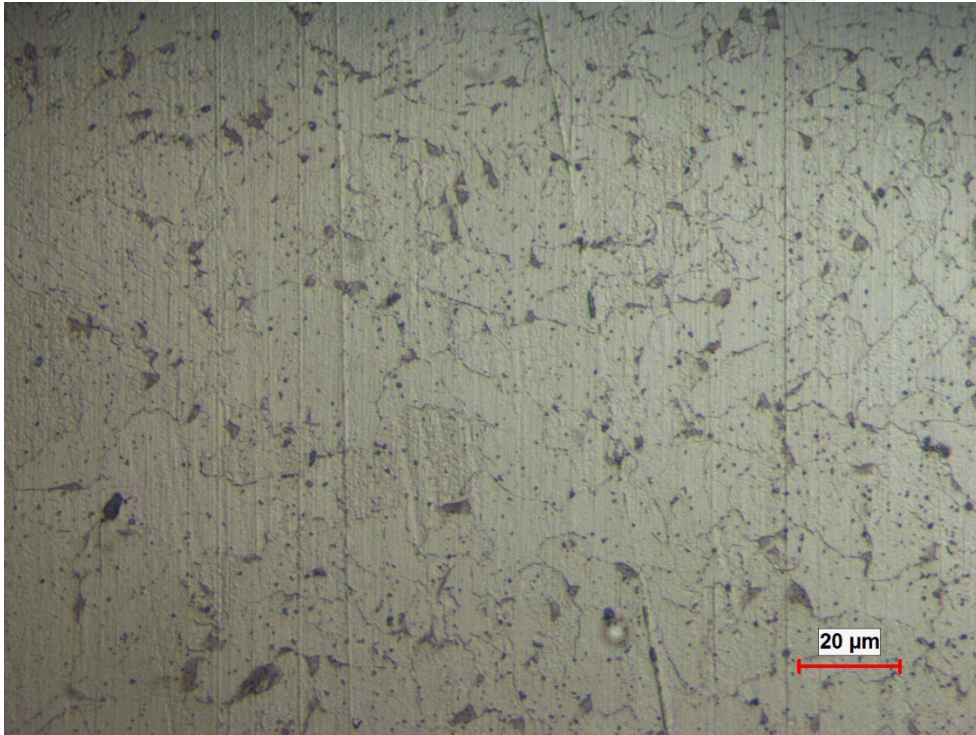
Şekil 6.51. 600°C tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda şekil 6.51’de 6112 tipi çeliğin 600°C tavlama sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. Kaynak dikişi üzerinde taneciklerin daha belirgin yapıda olduğu ve kaynaktan uzaklaştıkça taneciklerin küçüldüğü görülmektedir. Sertlik testi sonuçları incelendiğinde 600°C ısıtılma uygulamasında, 550°C ısıtılma uygulamasına nispeten sertliğin arttığı görülmektedir. Kaynak dikişi üzerinde oluşan segregasyonların dikiş boyunca uzanması veya tane yapılarındaki farklılaşmalar bu duruma sebep olmuş olabilir.

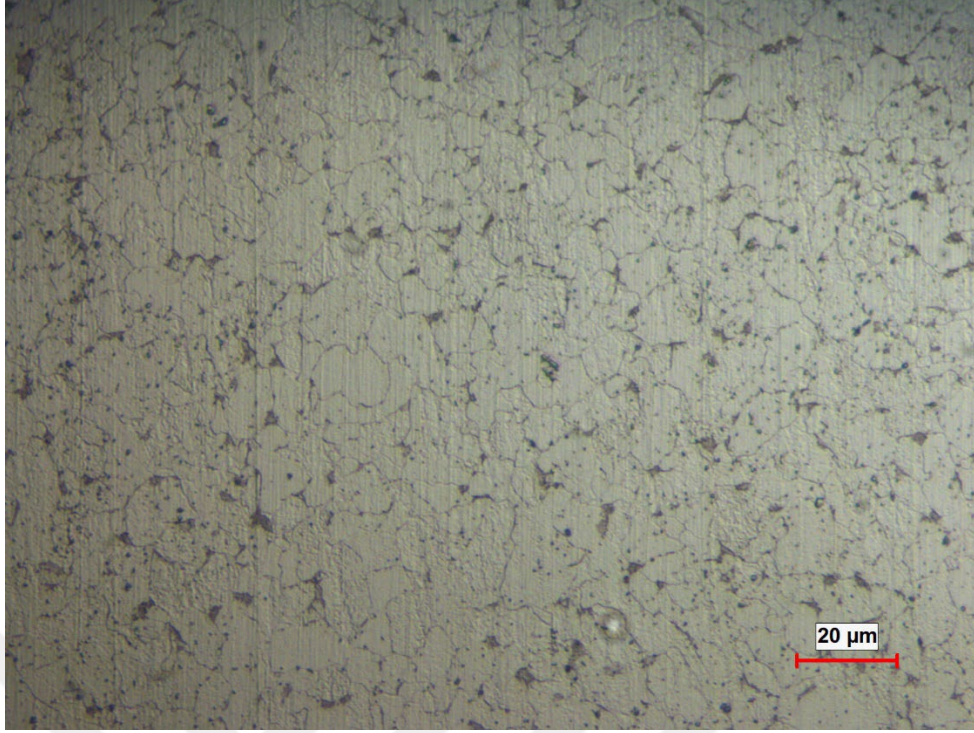
Şekil 6.52, 6.53 ve Şekil 6.54’de, tip çelik boruların 600°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.52. 600°C tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.53. 600°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.54. 600°C tavlama sonrası 6112 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişi mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, ferritik bir yapının olduğu gözlemlenmektedir. Kaynak dikişinde tanecik yapıları kaynak geçiş bölgesine doğru küçülmüştür. Ana metal üzerine gelindiğinde ise daha homojen bir tanecik yapısı oluşmaktadır. 6112 tip çeliğin 600°C ısıtım işlemi sonrası sertlik testi sonuçlarına bakıldığında, beklendiği üzere; sertlik değerlerinin azaldığı ayrıca kaynaktan uzaklaştıkça da yine sertliğin düştüğü görülmüştür.

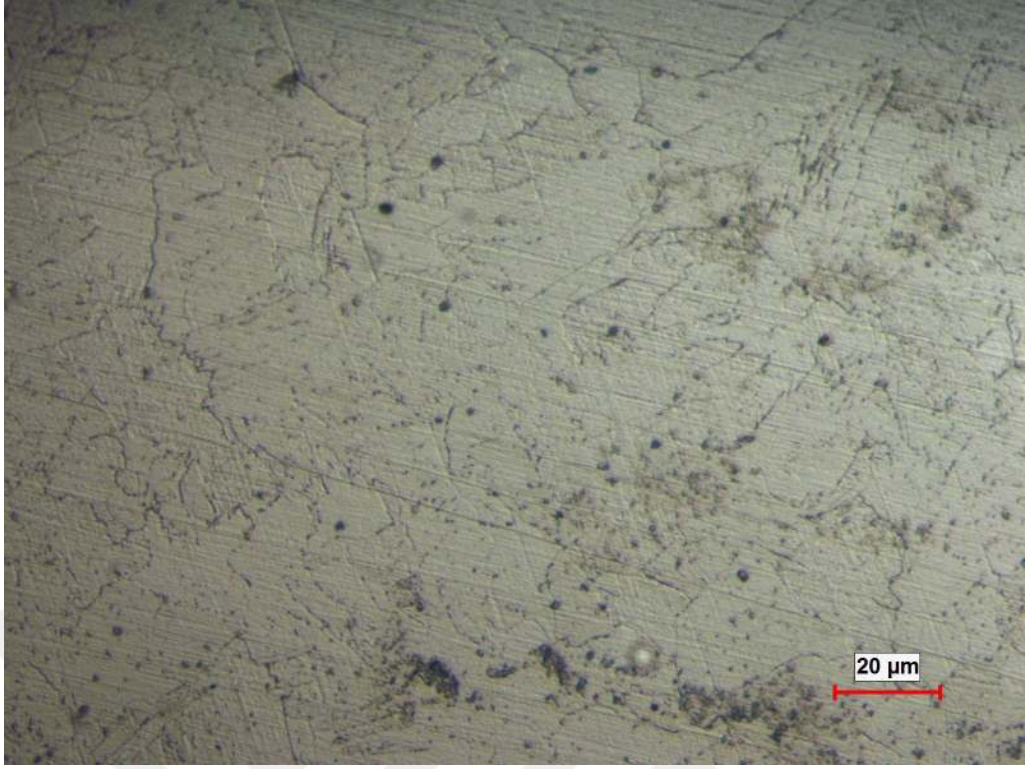
Aşağıdaki resimde 6112 tipi çeliğin 650°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



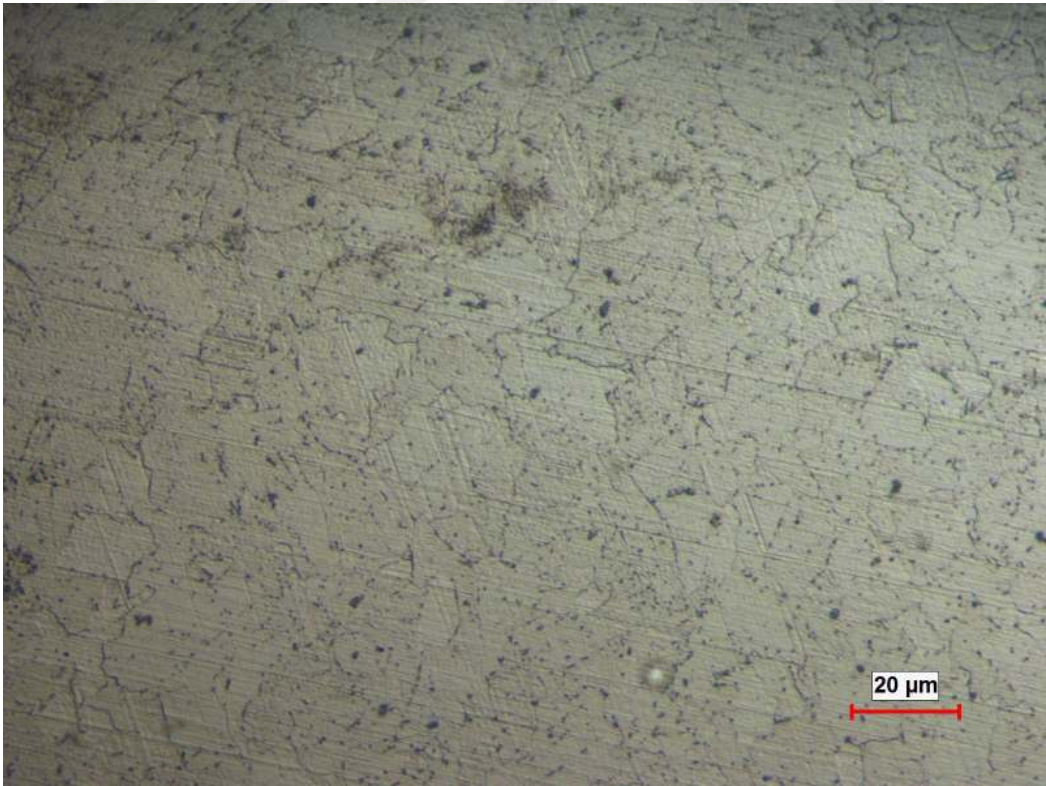
Şekil 6.55. 650°C tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda şekil 6.55’de 6112 tipi çeliğin 650°C tavlama sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. Görüntü incelendiğinde, kaynak dikişi üzerinde ferrit alanlarının büyük taneler halinde dikiş boyunca ilerlediği gözlemlenmektedir. Sertlik sonuçlarına bakıldığında 6112 tipi çeliğin 650°C ısıtılma işlem sonrasında, 550°C ve 600°C ısıtılma işlem sonuçlarına nispeten kaynak bölgesinde sertliğin arttığı görülmektedir. Isıl işlem uygulama sıcaklığının artması ile sertliğin azalması beklenmektedir. Fakat tam tersi sertlik artışı olmuştur. Bu duruma kaynak bölgesindeki ferrit alanların kaynak dikişi boyunca uzanması sebep olmuş olabilir. Bu durum öneriler kısmında da bahsedileceği üzere yapılacak yeni çalışmalarla araştırılmalıdır.

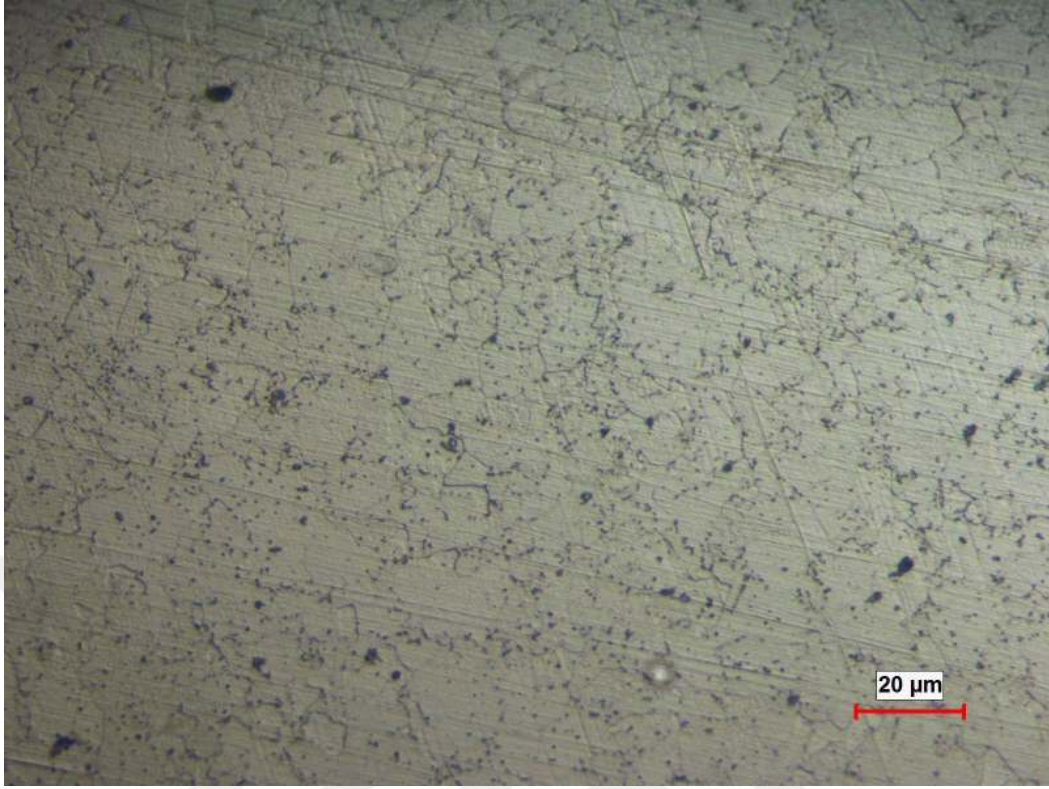
Şekil 6.56, 6.57 ve 6.58’de, 6112 tip çelik boruların 650°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.56. 650°C tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.57. 650°C Tavlama sonrası 6112 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.58. 650°C tavlama sonrası 6112 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişi mikroyapısı incelendiğinde ferritik bir yapının düzensiz bir şekilde olduğu görülmektedir. Kaynak dikişi tane boyutları, geçiş bölgesi ve ana metal tane boyutlarına nispeten daha büyük yapıdadır. Kaynak dikişinden ana metal üzerine gidildikçe tane yapısı daha homojen bir hal almaktadır.

6112 tip çeliğin metalografik sonuçları incelendiğinde kaynak bölgesindeki tanecik yapısının ham halde ısıtılma uygulanan hallere nispeten daha büyük olduğu görülmektedir. Isıl işlem uygulaması ile tanecik boyutları küçülmüş ve ana metal ile birbirine daha yakın tane boyutları oluşmaya başlamıştır. Bu durum sertlik ve çekme testlerinde aldığımız sonuçlar ile örtüşmektedir. Isıl işlem uygulaması ile tanecik yapılarının küçülmüş ve malzemenin tekrardan plastik şekillendirilmesine olanak sağlayan bir yapı elde edilmiştir. Uygulanan ısıl işlem sıcaklıklarında en çok sertlik düşüşü 550°C’de gerçekleşmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde kaynak bölgesinde 600°C ve 650°C’de tanecik yapılarının 550°C’ye göre büyüdüğü ve ferrit alanlarının daha fazla yer kapladığı görülmüştür. Bu durum sertlik testlerinin 550°C’de daha düşük olmasına sebep olmuş olabilir. Genişletme testi uygulamasında da en uygun şekil alma 550°C’de gerçekleşmiştir. Sertlik sonuçları ve mikroyapı analizleri bu sonuçları desteklemektedir.

6.4.5.3. 7114 Tipi Çelik Metalografik İncelemesi

Aşağıda 7114 tip çeliğin üretim sonrasında elde edilen numuneler ile bu numunelere uygulanan 550°C, 600°C ve 650°C gerilim giderme tavlaması sonucunda elde edilen numunelerden alınan görüntüler yer almaktadır.

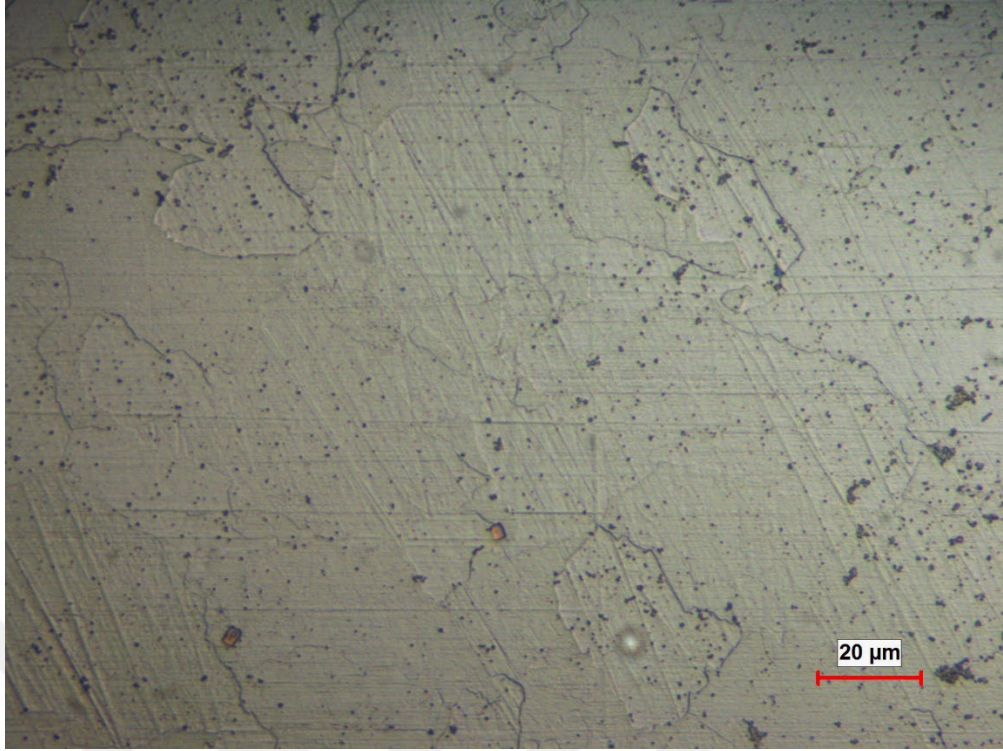
Şekil 6.59’da üretimden sonrası alınan 7114 tipi çelik boru numunesinin makro yapısı görülmektedir.



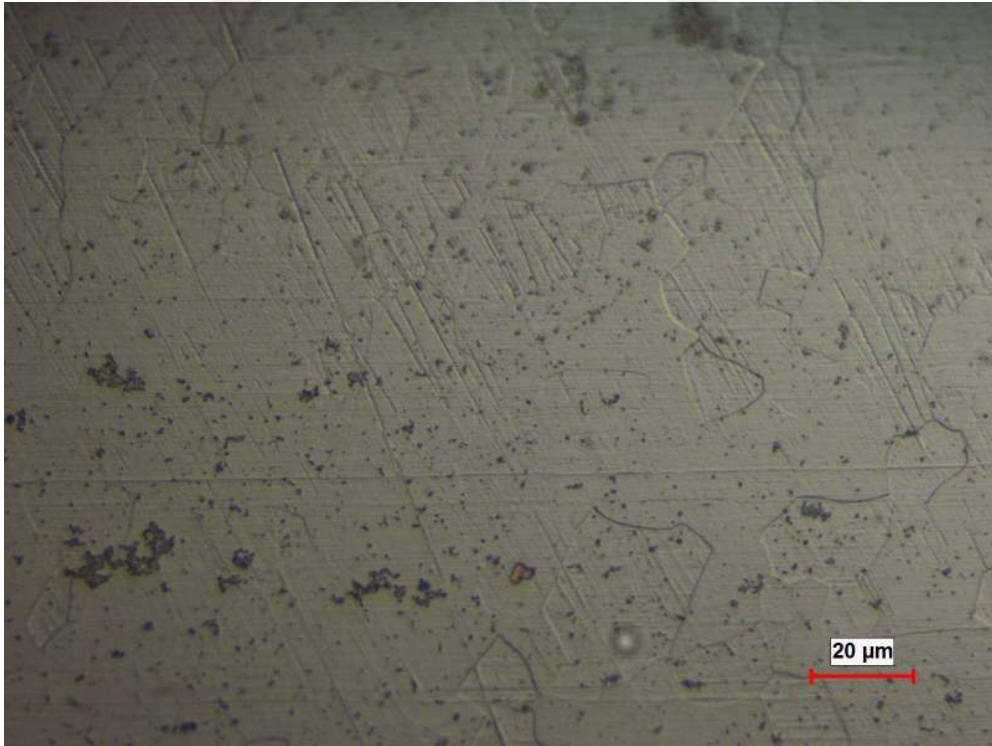
Şekil 6.59. Üretim sonrası 7114 tip numunenin kaynak bölgesi makro görüntüsü.

Kaynak bölgesi üzerinde taneciklerin irileştiği ve düzensiz olarak şekillendiği görülmektedir. Kaynak dikişi üzerinde ferrit ve perlit yapıları beraber bulunmaktadır. Kaynak dikişinde sertlik değeri yaklaşık 140 HV olarak okunmuştur. Sertlik değerleri kaynaktan ana metale doğru gidildikçe azalmıştır. Kaynak dikişinden ana metale doğru oluşan tanecik yapılarındaki farklılık sertlik ölçümleriyle de ortaya konmuştur.

Şekil 6.60, 6.61 ve 6.62’de, 7114 tip çelik boruların üretim sonrası elde edilen numunelerdeki mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.60. Üretim sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



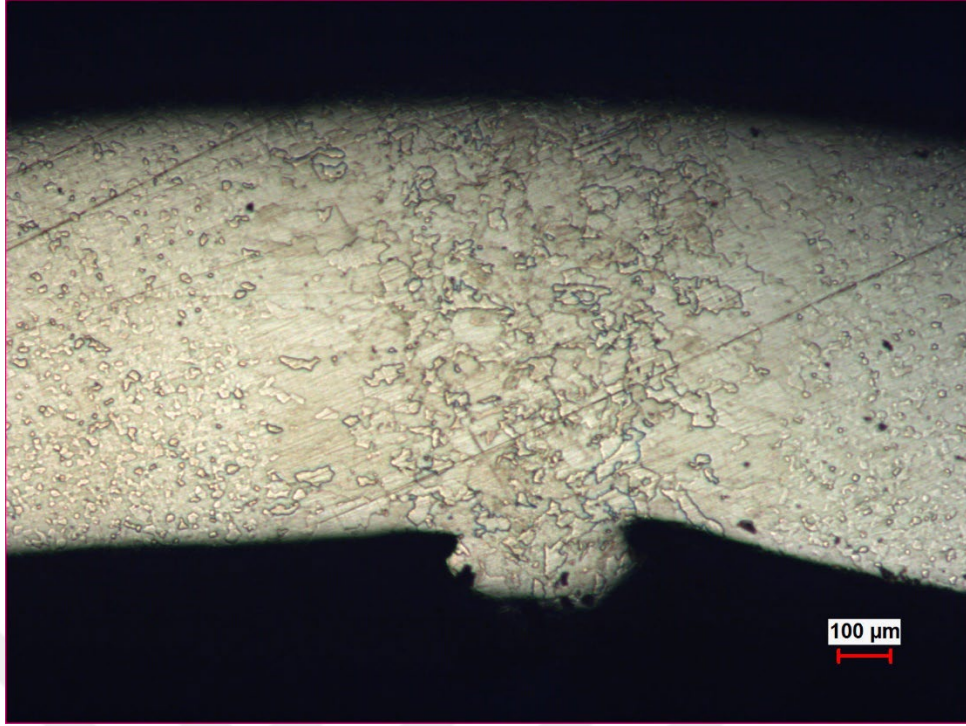
Şekil 6.61. Üretim sonrası 7114 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.62. Üretim sonrası 7114 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişi mikroyapısı incelendiğinde tane yapılarının kaynak geçiş bölgesi ve ana metale göre daha büyük olduğu görülmektedir. Oluşan tanecik yapıları düzensiz bir biçimde yayılmış ve yönlenmiştir. Bu durum kaynak bölgesindeki sertliğin fazla olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Kaynak dikişinden ana metal üzerine gidildikçe taneciklerin daha homojen ve düzenli olduğu görülmektedir. Kaynak dikişinden ana metale doğru sertlik sonuçlarına bakılacak olursa sertlik değerlerinin azaldığı ve buradan hareketle mikroyapı incelemelerinin bunu desteklediği sonucuna ulaşılabılır.

Aşağıdaki resimde 7114 tipi çeliğin 550°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



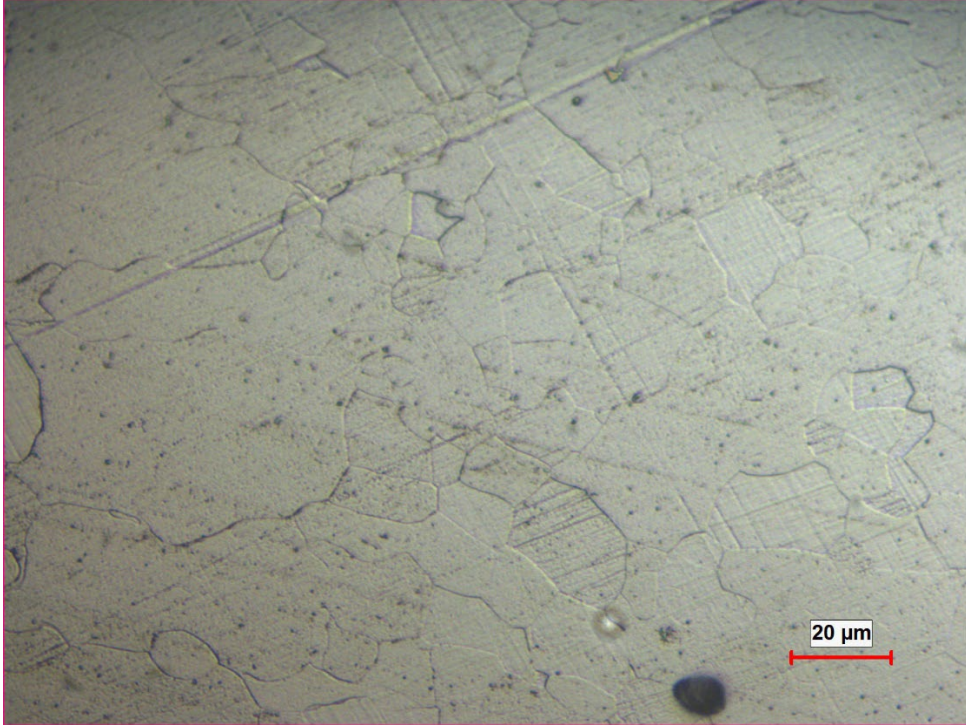
Şekil 6.63. 550°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda şekil 6.63’de 7114 tipi çeliğin 550°C tavlama sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. Kaynak dikişi üzerinde ferrit ve perlit alanların iri taneler halinde olduğu görülmektedir. 7114 tipi çeliğin 550°C ısıtma işlemi sonrası elde edilen makro görüntüleri, ham haldeki makro görüntülere kıyasla kaynak dikişi üzerinde daha belirgin ve iri halde olduğu görülmektedir. Normal şartlarda gerilim giderme tavlama ile çelik tanecik yapısının daha düzenli ve homojen bir yapıya dönüşmesi beklenir. Burada tam tersi bir durum gözlemlenmektedir. Sertlik sonuçlarına bakılacak olursa, 550°C tavlama sonrasında ham hale kıyasla sertliğin arttığı görülmektedir. Malzemenin yumuşaması beklenirken sertleşme gerçekleşmiştir. Tane yapısı ve sertlik değerleri bakımından oluşan bu beklenmedik durumlar, üzerinde detaylı araştırmalar yapılması gereken konulardır.

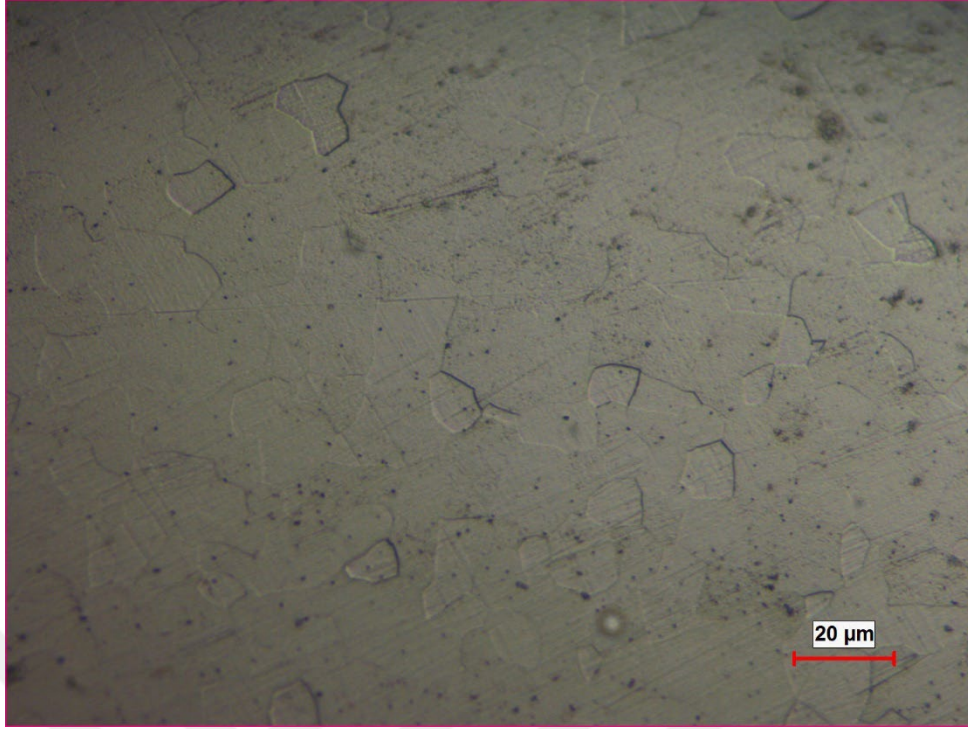
Şekil 6.64, 6.65 ve 6.66’da, 7114 tip çelik boruların 550°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.64. 550°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



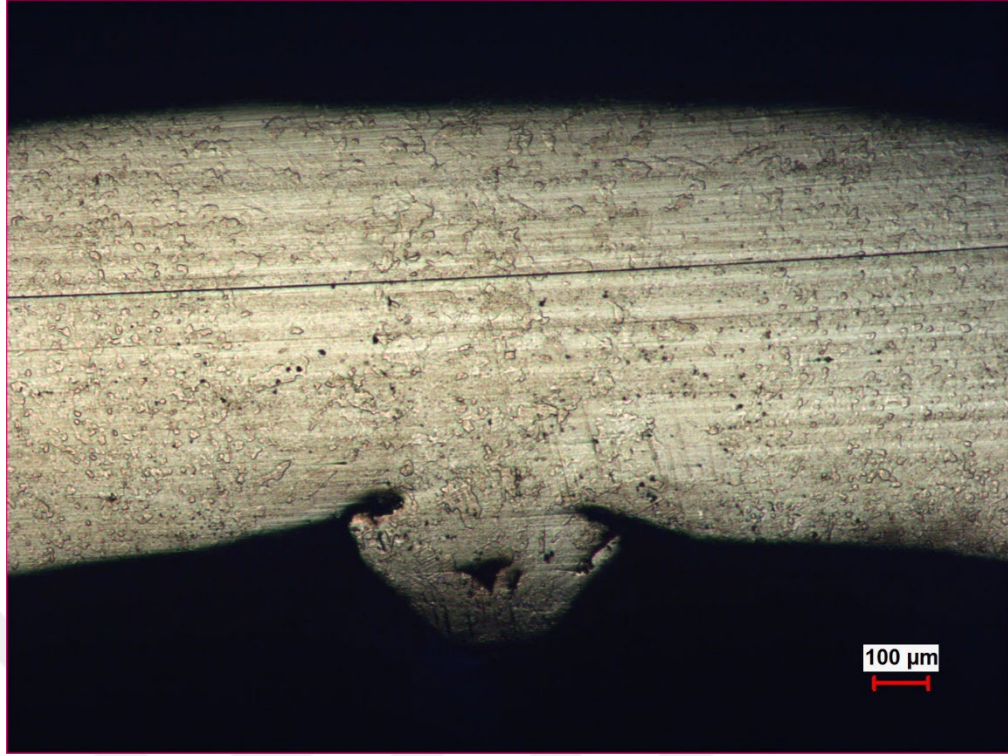
Şekil 6.65. 550°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.66. 550°C Tavlama sonrası 7114 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişi üzerinde mikroyapı görüntüleri incelendiğinde oluşan taneciklerin iri yapılı ve düzensiz bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Kaynak bölgesinden uzaklaşıldıkça kaynak geçiş bölgesinde yine iri tanelerden oluştuğu fakat kaynak dikişine nispeten daha küçük ve homojen bir dağılımın olduğu gözlemlenmiştir. Ana metal üzerine gelindiğinde tanelerin küçüldüğü ve homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Sertlik değerlerine bakıldığında kaynak dikişi üzerinden ana metale doğru sertliğin azaldığı ve en sert bölgenin kaynak dikişi üzerinde oluştuğu görülmüştür. Mikroyapı görüntüleri, malzeme kesitinden ölçülen sertlik değerlerini desteklemektedir. Fakat 550°C’de uygulanan ısı işlem sonrası sertliğin ham hale nispeten artması yeni bir çalışmayla araştırılmalıdır.

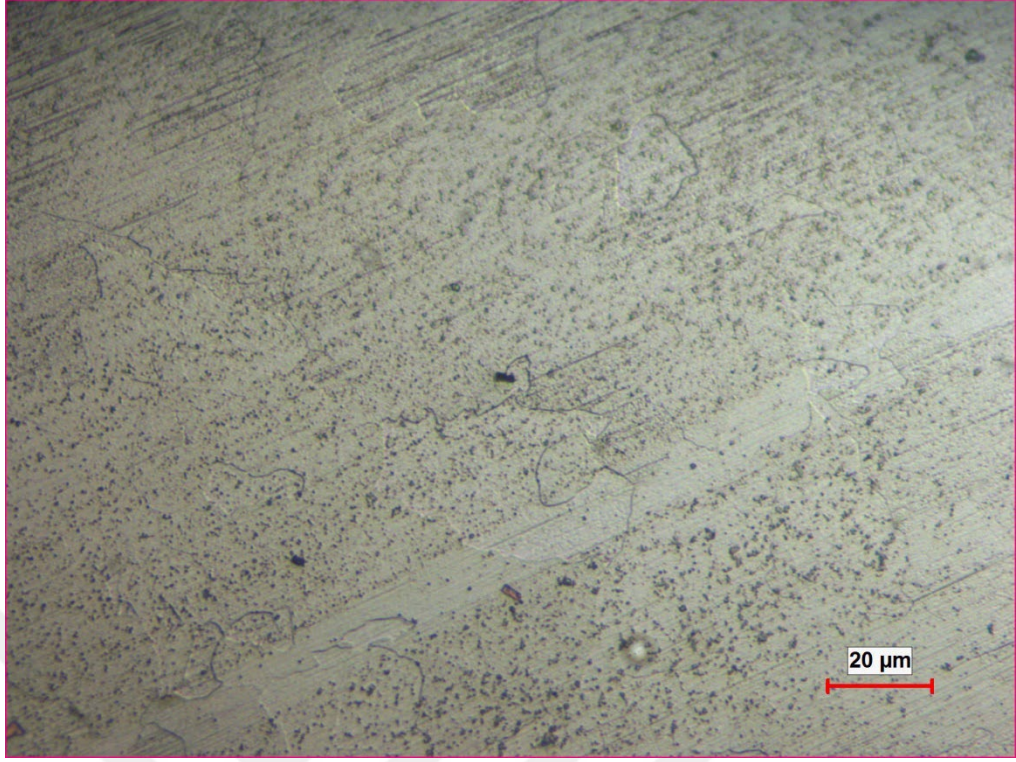
Aşağıdaki resimde 7114 tipi çeliğin 600°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



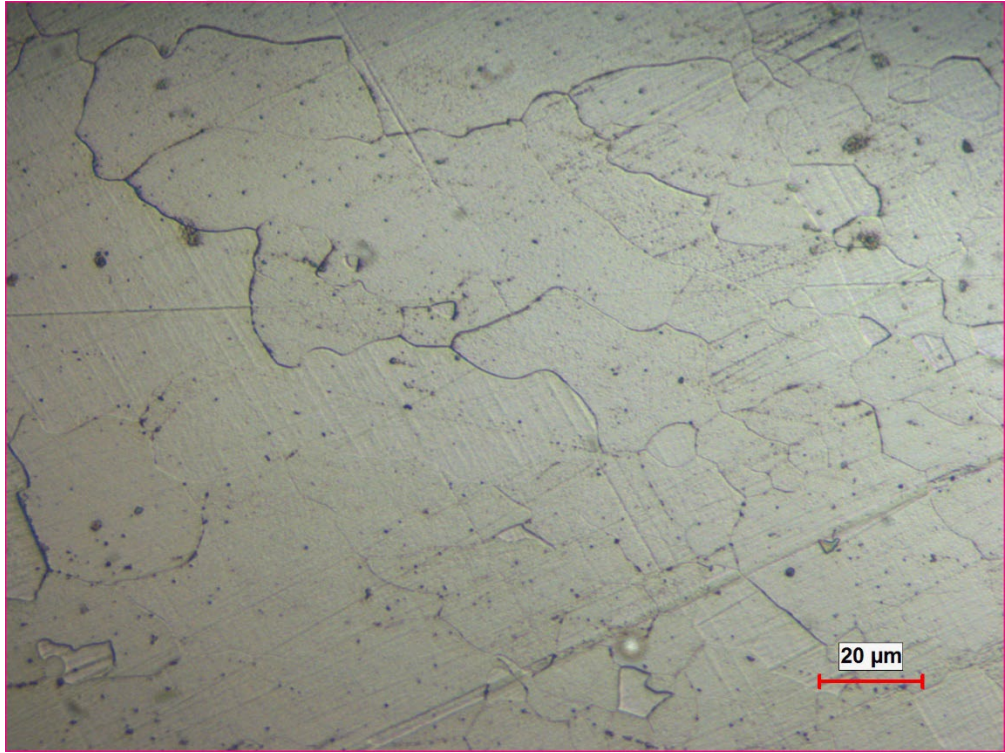
Şekil 6.67. 600°C tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda şekil 6.67’de 7114 tipi çeliğin 600°C tavlama sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. 7114 tipi çeliğin 600°C ısıtma işlemi sonrası elde edilen makro görüntüleri incelendiğinde 550°C ısıtma işlemi sonrası oluşan görüntülerin benzeri olduğu görülmektedir. 600°C ısıtma işlemi sonrası elde edilen makro görüntülerin, ham haldeki makro görüntülere kıyasla kaynak dikişi üzerinde daha belirgin ve iri halde olduğu görülmektedir. 600°C ısıtma işlemi uygulamasında 7114 tipi çelik boru numunesi en büyük sertlik değerini almıştır. Isıtma işlemi sıcaklığı arttıkça malzemenin yumuşaması beklenirken aksi bir durum ile karşılaşmıştır. Makroyapı görüntüleri sertlik artışını desteklemektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi, beklenenin dışında gerçekleşen durum yeni çalışmalarla araştırılmalıdır.

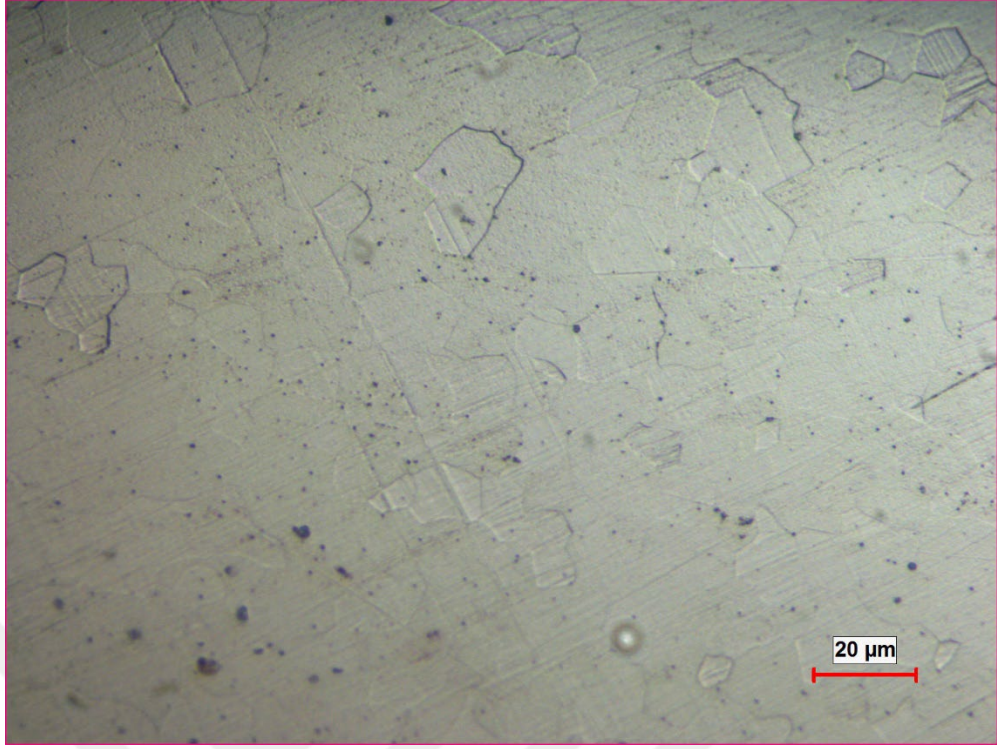
Şekil 6.68, 6.69 ve 6.70’de, 7114 tip çelik boruların 600°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.68. 600°C tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



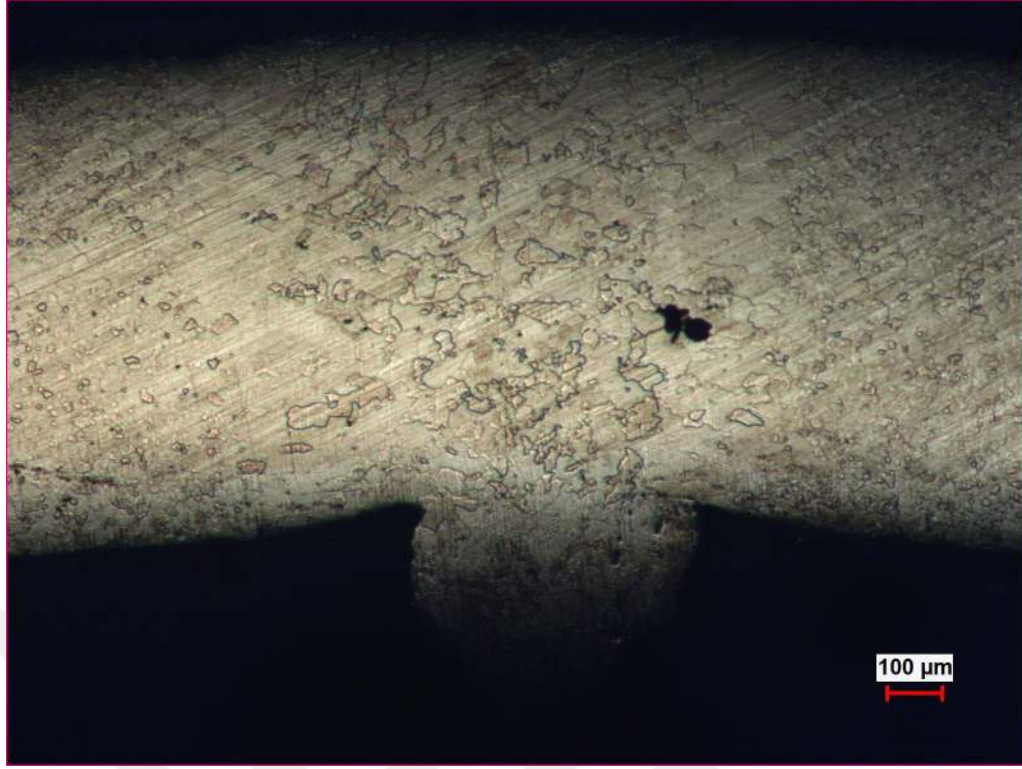
Şekil 6.69. 600°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.70. 600°C tavlama sonrası 7114 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişi mikro görüntüleri incelendiğinde iri tanelerden oluştuğu gözlemlenmektedir. 550°C gerilim giderme tavlaması görüntüleri ile kıyaslandığında tanelerin daha iri yapılı olduğu görülmektedir. Sertlik sonuçlarına bakıldığında 600°C’de malzemenin kaynak bölgesinde maksimum sertliğe ulaştığı görülmektedir. Taneciklerin diğer ısıtıl işlem değerlerine kıyasla daha büyük yapıda olması, sertlik artışının fazla olmasını desteklemektedir. Tanecik büyümesinin artışı beklenmedik bir durumdur. Bu konu da ayrıca araştırılmalıdır.

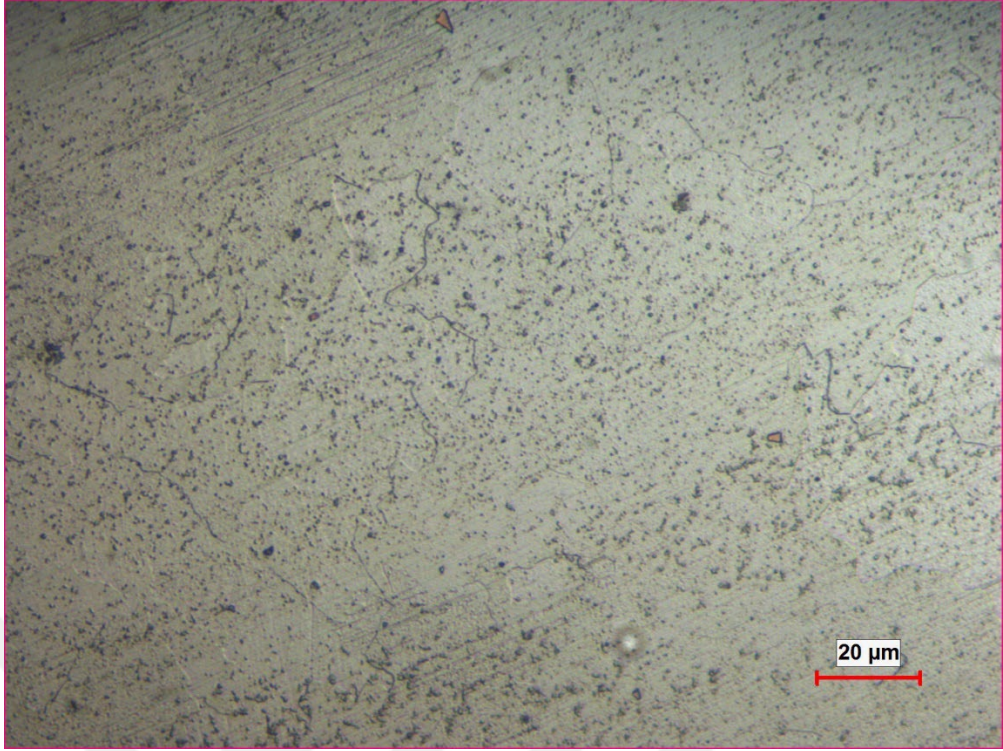
Aşağıdaki resimde 7114 tipi çeliğin 650°C tavlama sonrası kaynak dikişinin makro görüntüsü verilmektedir.



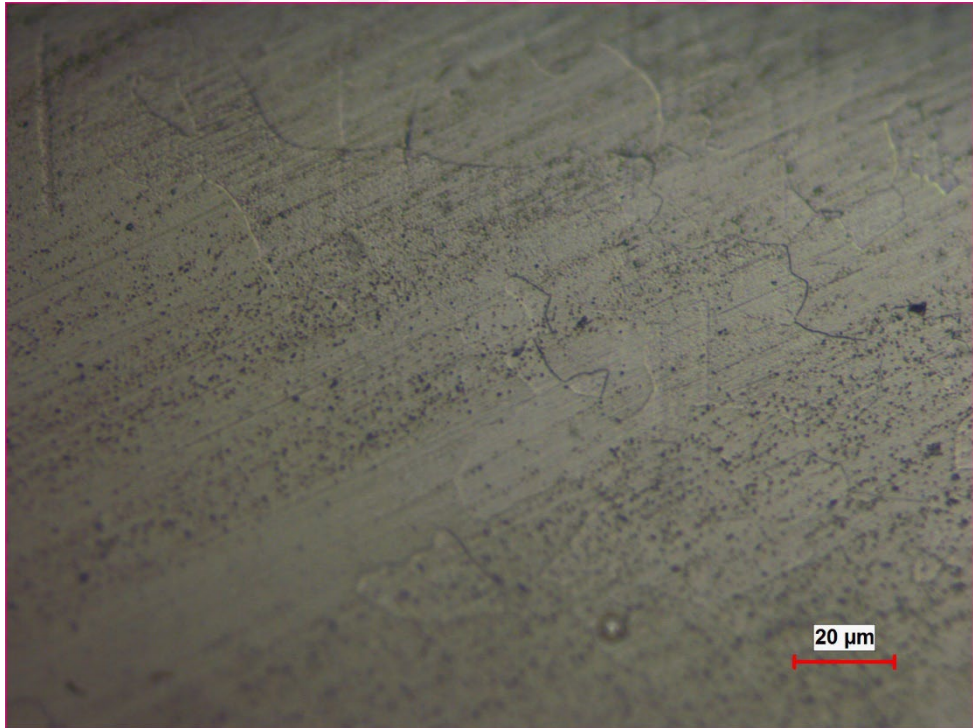
Şekil 6.71. 650°C tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi makro görüntüsü.

Yukarıda şekil 6.71’de 7114 tipi çeliğin 650°C tavlama sonucu elde edilen makro görüntüsü yer almaktadır. Elde edilen kaynak dikişinin makro görüntüleri incelendiğinde kaynak dikişi üzerinde taneciklerin ferrit ve perlit alanlar düzensiz ve iri taneler halinde dağıldığı görülmektedir. Tanecik yapıları 550°C ve 600°C makro görüntülerine kıyasla kaynak dikişi üzerine daha homojen yayılmıştır. 650°C ısıtma işlem uygulamasının sertlik değerlerine bakıldığında oluşan grafiğin ham halden sert olduğu fakat 550°C ile 600°C ısıtma işlem uygulanarak elde edilen sertlik grafiklerinin altında kaldığı görülmektedir. Sertlik testlerinde elde edilen sonuç kaynak makro görüntüsü ile örtüşmektedir. 7114 tipi çeliğin 650°C’de ısıtma işlemi sonucu 550°C ile 600°C’ye göre yumuşama gerçekleşmiş olsa da ham haldeki durumuna kıyasla sertlik almıştır. Beklenenin aksine gerçekleşen bu durum araştırılmalıdır.

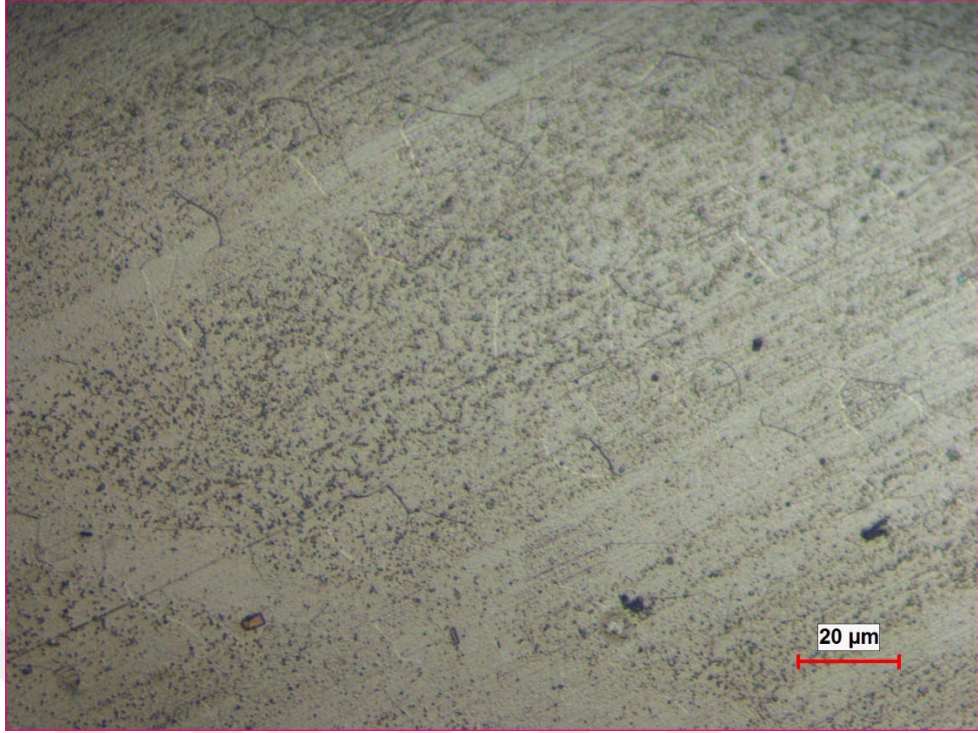
Şekil 6.72, 6.73 ve 6.74’de, 7114 tip çelik boruların 650°C gerilim giderme tavlama sonrasında elde edilen numunelerinin mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.72. 650°C tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak dikişi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.73. 650°C Tavlama sonrası 7114 tip numune kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.74. 650°C tavlama sonrası 7114 tip numune ana metal mikroyapı görüntüsü.

Kaynak dikişi mikroyapısı incelendiğinde tane yapılarının kaynak geçiş bölgesi ve ana metale göre daha büyük ve belirgin olduğu görülmektedir. Kaynak dikişinden ana metale doğru tanecik yapılarının küçüldüğü ve daha homojen bir hale geldiği görülmektedir. Beklendiği üzere kaynak dikişinden ana metale doğru sertlik değerlerinin azaldığı ve mikroyapı farklılaşmasının bunu desteklediği görülmüştür.

Şekil 6.59 ile Şekil 6.74 arasında 7114 tipi çeliğin metalografik incelemeleri görülmektedir. 7114 tipi çeliğin makro görüntüleri incelendiğinde beklenenin aksine ısıtma işlem sıcaklığının artması ile tanecik sınırlarının belirgin hale geldiği görülmektedir. Mikrosertlik testinde de uygulanan ısıtma işlem sıcaklığının artması ile benzer durum ile karşılaşmış ve kaynak bölgesinde sertliğin arttığı görülmektedir. Gerilim giderme tavlama ısısı arttıkça malzemede tanecik yapılarının homojen olması ve malzemenin kaynak bölgesinde yumuşamasının olması beklenir. Ancak, yapılan ölçümlerde beklenenin aksine bir durum gerçekleşmiştir. 7114 tipi çeliğin gerilim giderme tavlama ısısı arttıkça malzemede tanecik yapılarının homojen olması ve malzemenin kaynak bölgesinde yumuşamasının olması beklenir. Ancak, yapılan ölçümlerde beklenenin aksine bir durum gerçekleşmiştir. 7114 tipi çeliğin gerilim giderme tavlama ısısı arttıkça malzemede tanecik yapılarının homojen olması ve malzemenin kaynak bölgesinde yumuşamasının olması beklenir. Ancak, yapılan ölçümlerde beklenenin aksine bir durum gerçekleşmiştir. 7114 tipi çeliğin gerilim giderme tavlama ısısı arttıkça malzemede tanecik yapılarının homojen olması ve malzemenin kaynak bölgesinde yumuşamasının olması beklenir. Ancak, yapılan ölçümlerde beklenenin aksine bir durum gerçekleşmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada kullanılan numuneler üç farklı malzemeden belirlenmiştir. Bunlar; EN10346-2015 DX51D + Z (1311), EN 10130-2006 DC01 (6112) ve EN 10130-2006 DC04 (7114) tip çelik borulardan oluşmaktadır. Parantez içinde gösterilen rakamlar Erdemir standartlarına göre gösterilişidir. Çelik boruların her biri farklı sektör için üretilmektedir. Yüksek Frekans Kaynağıyla üretilen bu borulardan alınan numunelere 550°C, 600°C ve 650°C sıcaklıklarda gerilim giderme tavlaması uygulanmıştır. Elde edilen numuneler yassılma testi, genişletme testi, sertlik testi, çekme testi yapılmış ve en son metalografik olarak incelenerek, uygulanan gerilim giderme tavlaması ile yeniden şekillendirmeye elverişliliği belirlenmeye çalışılmıştır.

- Çelik borulara uygulanan gerilim giderme tavlaması sonrası dış yüzeylerinde ısıtma işlemiyle ilgili olarak kararmalar meydana gelmiştir. 600°C ve 650°C sıcaklıkta uygulanan ısıtma işlemleri sonrası malzemenin dış yüzeylerinde döküntü benzeri yapılar gözlemlenmiştir.
- Yassılma testi uygulamasında kaynağa yan ve dik olarak ezme gerçekleştirilmiştir. Kaynak yana gelecek şekilde uygulanan teste 6112 ve 1311 tipi çeliklerin kaynak bölgesinde çatlak başlangıcı gözlemlenmiştir. Uygulanan gerilim giderme tavlamaları sonucunda bütün numuneler uygun sonuçlar vermiş ve kabul almıştır. Buradan ısıtma işlemi uygulamasının başarılı sonuçlar verdiği düşünülmektedir.
- Genişletme testi uygulamasında hiçbir numunede kaynaktan yırtılma gerçekleşmemiştir. Bu durum kaynakların sağlam olduğunu gösterir. Fakat kaynak bölgesinin dışında yırtılmalar oluşmuştur. Uygulanan gerilim giderme tavlaması sonucunda elde edilen numunelerin, üretim sonrası elde edilen ham numunelere kıyasla şekil alma kabiliyetlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Mikrosertlik uygulamasında kaynak dikişinden başlayarak ITAB ve ardından ana metal olmak üzere dokuz noktadan Vickers cinsinden sertlik değerleri alınmıştır. 7114 tipi çelik boru hariç diğer numunelerde beklendiği üzere, ısıtma işlemleriyle birlikte sertliklerde düşme kaydedilmiştir. Ancak 7114 tipi çelik boru ısıtma işlemleriyle yumuşaması ve plastik şekil değiştirmeye daha müsait hale gelmesi beklenirken tam aksine sertleşme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, 7114 çeliğinin makro görüntülerinden anlaşılabileceği üzere ısıtma işlemi sıcaklığı arttıkça kaynak bölgesinde tane sınırlarının daha belirgin ortaya çıktığı görülmektedir. Malzemenin ham hali

olan üretim sonrası hali, en düşük sertlik değerlerine sahip olduğu ölçülmüştür. 7114 çeliğinde ısıtıl işlemle sertliğinin beklenenin aksine artmış olması ve mikro yapıda meydana gelen beklenmedik sonuçlar elde edilmesi, üzerinde araştırmalar yapılması gereken konulardır.

- 6112 ve 1311 tipi çelikte ise beklenen durum gerçekleşmiştir ve ısıtıl işlem uygulaması ile malzemenin sertliğinin düştüğü görülmektedir. Metalografik sonuçlarda mikro ve makro görüntüler incelendiğinde, 6112 ve 1311 tipi çeliklerde 7114 tipi çelik sonuçlarının aksine, ısıtıl işlem ile birlikte kaynak bölgesi ve ana metaller arası tane büyüklük farkları ortadan kalkmış ve daha homojen mikro yapılar elde edilmiştir.
- Çekme testlerinde 1311 tipi çelikten elde edilen sonuçlara göre, uygulanan ısıtıl işlem sıcaklığı arttıkça malzemenin mukavemetinde azalma, % uzamasında ise artış meydana gelmiştir. 650°C’de uygulanan gerilim giderme tavlama ile 550°C ve 600°C sıcaklıklarına nispeten mukavemetin düştüğü ve sünekliğin arttığı görülmektedir.
- 6112 tip çeliğin çekme grafikleri incelendiğinde, 600°C ısıtıl işlem uygulamasında beklenenin aksine malzemenin mukavemetinin arttığı görülmektedir. 600°C’de bu durumun meydana gelme sebebi araştırılmalıdır. Mukavemetinin en düşük olduğu değer 650°C tavlama sonrası oluşmuştur.
- 7114 tipi çeliğin çekme testlerinde, malzemeye uygulanan ısıtıl işlem sıcaklığı arttıkça mukavemetinde düşme meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Sertlik sonuçlarına bakıldığında 6112 tipi çeliğinin 650°C ısıtıl işlem sonrasında, 550°C ve 600°C ısıtıl işlem sonuçlarına nispeten kaynak bölgesinde sertliğinin arttığı görülmektedir. ısıtıl işlem uygulama sıcaklığının artması ile sertliğin azalması beklenmektedir. Fakat tam tersi sertlik artışı olmuştur. Bu durum yapılacak yeni çalışmalarla araştırılmalıdır.
- Üç numunede de 650°C gerilim giderme uygulaması diğer sıcaklıklara nispeten daha iyi sonuçlar vermiştir. Literatürde 550°C-650°C arası olarak belirtilen gerilim giderme ısıtıl işlemleri sanayide genellikle 550°C olarak uygulanmaktadır. Bu çalışmayla elde edilen önemli sonuçlardan biri de; 650°C’de sünekliğin 550°Cye oranla daha yüksek kaydedilmesi, grafiklerin daha düzgün çıkması ve % uzamanın artmasıdır. Bu vesileyle sanayide yeniden plastik şekil verme uygulamalarında

gerek duyulması halinde, 650°C'de gerilim giderme tavlamalarının daha etkili olabileceği ortaya konmuştur.

- Metalografik incelemelerde 1311 tipi çeliğin kaynak dikişinde Yüksek Frekans Kaynağının sebep olduğu karbonsuzlaşmış alan kaynak dikişi boyunca parlak ve beyaz bir görüntü şeklinde görülmektedir. Uygulanan ısı işlem ile sıcaklık değeri yükseldikçe dekarbürize olan bölgenin daha homojen bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Tavlama ısısının yükselmesi ile dekarbürize bölgenin dağılarak neredeyse yok olduğu sonucuna ulaşılabilir [74]. Sertlik sonuçları da metalografik görüntüleri desteklemektedir. Isıl işlem sıcaklığı arttıkça kaynak bölgesinin sertliği düşmüştür.



8. KAYNAKLAR

- [1] W. Zhang, G. Zhao, Q. Fu, “Study on the effects and mechanisms of induction heat treatment cycles on toughness of high frequency welded pipe welds”, *Materials Science and Engineering: A*, c. 736, ss. 276-287, 2018.
- [2] K. A. Babakri, “Improvements in flattening test performance in high frequency induction welded steel pipe mill”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 210, sayı 15, ss. 2171-2177, 2010.
- [3] Y. Han, E. Yu, H. Zhang, D. Huang, “Numerical analysis on the medium-frequency induction heat treatment of welded pipe”, *Applied Thermal Engineering*, c. 51, sayı 1–2, ss. 212-217, 2013.
- [4] Officine M.T.M S.p.A Teknik doküman kataloğu, 2012.
- [5] J. Cheng, J. Cao, J. Zhao, Z. Liu, R. Zhao, S. Liu, “The flower pattern and rolls design for ERW pipes with the different specification in the flexible roll forming process”, *Thin-Walled Structures*, c. 154, 2020.
- [6] R. Hıdır, A. Gürsel, “Optimization of vee angle and effect of welding parameters on welding capability in steel pipes produced with high frequency welding”, *6th International Conference on Welding Technologies and Exhibition (ICWET'21)*, Hatay, Türkiye, 2021, ss. 259-270.
- [7] C. Liu, C. Lin, W. Liu, S. Wang, Y. Chen, J. Wang, J. Wang, “Effects of local ultrasonic impact treatment on residual stress in an engineering-scale stainless steel pipe girth weld”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, c. 192, 2021.
- [8] S. Tuezney, K. Lauwens, S. Afshan, B. Rossi, “Buckling of stainless steel welded I-section columns”, *Engineering Structures*, c. 236, 2021.
- [9] Y. Sun, K. Jiang, Y. Liang, O. Zhao, “Experimental and numerical studies of high-chromium stainless steel welded I-section beam-columns”, *Engineering Structures*, c. 236, 2021.
- [10] J. K. Lee, D.S. Bae, S. P. Lee, J. H. Lee, “Evaluation on defect in the weld of stainless steel materials using nondestructive technique”, *Fusion Engineering and Design*, c. 89, sayı 7–8, ss. 1739-1745, 2014.
- [11] H.N. Udall, R.K. Nichols, “High Frequency Welding of Stainless Steel Tubes”, *Thermatool Corp.*, 2014.
- [12] P.V. Sawalakhe, J.A. Sahaikh, H. Adarsha, B. Tadesse, “Development and optimization of cold rolled slitting machine process”, *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [13] L. Ushpol, “Automatic system for tending mandrel-type roll winders of coil slitting machines”, *Chemical and Petroleum Engineering*, c. 25, sayı 7, ss. 384-385, 1989.
- [14] Officine M.T.M. S.P.A. Complete hf tube mill for the production of welded steel tubes”, Type MTM 60/C/ST/HF SP, catalog, 2013.

- [15] ERW Tech. (2022, 9 Şubat). Boru makinesi hattı [Online]. Erişim: <https://www.erwtech.net/detay-8-boru-profil-hatti.html>.
- [16] T. Suckow, J. Schroeder, P. Groche, “Roll forming of a high strength AA7075 aluminum tube”, *Production Engineering*, c. 15, ss. 573–586, 2021.
- [17] Y. Peng, j. jiang, D. Li, J. Han, J. Li, “Simulation of cage roll forming process of ERW pipes”, *Int. J. Materials and Product Technology*, c. 32, sayı 4, ss. 388-405, 2008.
- [18] W. Chen, J. Jiang, D. Li, T. Zou, Y. Peng, “Flower pattern and roll positioning design for the cage roll forming process of ERW pipes”, *Journal of Materials Processing Technology*, c.264, 2018.
- [19] ERW Tech. (2022, 9 Şubat). Yüksek hızlı soğuk kesim uçar testere [Online]. Erişim: <https://www.erwtech.net/detay-5-yuksek-hizli-soguk-kesim-ucar-testere.html>.
- [20] Uslular Hadde. (2022, 9 Şubat). Çeliklerin sınıflandırılması [Online]. Erişim: <https://www.uslularhadde.com/celiklerin-siniflandirilmesi>.
- [21] İ. F. Kekik, “Termo-reaktif difüzyon (TDR) tekniği ile Cr-Ti-N esaslı kaplamaların gerçekleştirilmesi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, Temmuz 2015.
- [22] Erdemir. (2022, 10 Şubat). Erdemir ürün kataloğu [Online]. Erişim:https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Yassi_Urun_Katalogu_2020_TR-4649.pdf.
- [23] M. B. Karamış, *İmalat Yöntemleri*, Kayseri, Türkiye: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını, 2005, böl. 2, ss. 125-245.
- [24] Y. Efteli, İ. Alan, “Yüksek frekans indüksiyon kaynak makinesi tasarımı”, *ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 2012, ss. 433-437.
- [25] Anonim. (2022, 10 Şubat). High frequency welding handbook, [Online]. Erişim:<http://www.balacchi.it/de/files/HIGH-FREQUENCY-WELDING-HANDBOOK.pdf>.
- [26] A. Koparan, M.T. Aydemir, O. Şimşek, “200 amper yüksek frekans anahtarlamalı DA kaynak makinesinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, *EMO Bilimsel Dergi*, cilt 2, sayı 3, ss. 51-61, 2012.
- [27] ERW Tech. (2022, 9 Şubat). Solid state yüksek frekans kaynak makinesi [Online]. Erişim:<https://www.erwtech.net/detay-1-solid-state-yuksek-frekans-kaynak-makinesi.html>.
- [28] P. Yan, Ö. E. Güngör, P. Thibaux, M. Liebeherr, ve HKDH, Bhadeshia, “Tackling the toughness of steel pipes produced by high frequency induction welding and heat-treatment”, *Materials Science and Engineering: A*, c. 528, sayı 29–30, ss. 8492-8499, 2011.
- [29] B. Varbai, Y. Adonyi, E. Nagy, V. Mertiger, “Bondline Characterization in High Frequency Welding of Steels”, yayımlanmak üzere gönderildi, 2020.
- [30] Anonim. (2022, 12 Şubat). Impeder ferrite rods, [Online]. Erişim: <http://www.unvalliance.com/impeder-ferrite-rod.html>.

- [31] J. Wright, (2022, 12 Şubat). Principles of high frequency induction tube welding, electronic heating equipment, [Online]. Erişim: <https://docplayer.net/20771690-Principles-of-high-frequency-induction-tube-welding.html>.
- [32] G.G.B. Zaffaroni, O.V. Mishin, U.M. Ciucani, C. Gundlach, J.H. Nordlien, R. Ambat, “Characterization of high frequency welded aluminium microfin tube for heat exchangers”, *Materials Characterization*, c.173, 2021.
- [33] P. Yan, “High frequency induction welding and post-welding heat treatment of steel pipes”, Doktora tezi, Malzeme Bilimi ve Metalürji Bölümü, Cambridge Üniversitesi., Cambridge, İngiltere, 2011.
- [34] Anonim. (2022, 12 Şubat). High Frequency Tube/Pipe Welding, [Online]. Erişim: <https://ahssinsights.org/joining/solid-state-welding/high-frequency-tube-pipe-welding/>.
- [35] M. M. Kasaei, H.M. Naeini “Comparison of strip deformation between the contour roll forming (CORF) process and cage roll forming (CARF) process of HFW pipes”, *3rd International Conference on Manufacturing Engineering ICME2011*, Tahran, İran, 2012.
- [36] W. Chen, J. Jiang, D. Li, T. Zou, Y. Peng, “Flower pattern and roll positioning design for the cage roll forming process of ERW pipes”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 264, 2018.
- [37] M. Yılmaz, M. Çöl, “X52 tipi mikro alaşımlı çeliklerde yüksek frekans kaynağı sonrasında uygulanan ısıtıl işlemin simülasyon yoluyla karakterizasyonu”, *Mühendis ve Makina*, cilt 43, sayıv513 ss. 37-48, 2017.
- [38] J. Paralikas, K. Salonitis, G. Chryssolouris, “Investigation of the effect of roll forming pass design on main redundant deformations on profiles from AHSS.”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* c.56, ss. 475–491, 2011.
- [39] M.M. Kasaei, H.M. Naeini, R.A. Tafti, M.S. Tehrani, “Prediction of maximum initial strip width in the cage roll forming process of ERW pipes using edge buckling criterion”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 214, ss. 190-199, 2014.
- [40] S. Aslanlar, Kaynak teknolojisi ve uygulamaları, *Ders Notları*, Sakarya, 2019.
- [41] İ. Ertürk, T. Durukan, B. Şentürk, “Çeliklerin kaynağında ısıdan etkilenen bölgenin mikro yapı ve özelliklerinin tahmini”, *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Türkiye, 2017.
- [42] Z. Jiang, X. Chen, K. Yu, Z. Lei, Y. Chen, S. Wu, ve Z. Li, “Improving fusion zone microstructure inhomogeneity in dissimilar-metal welding by laser welding with oscillation”, *Materials Letters*, c. 261, 2020.
- [43] P. Q. Xu, J. W. Ren, P. L. Zhang, H. Y. Gong, & S. L. Yang, “Analysis of formation and interfacial WC dissolution behavior of WC-Co/invar laser-TIG welded joints”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, c. 22, ss. 613–623, 2012.
- [44] I. Magnabosco, P. Ferro, F. Bonollo, & L. Arnberg, “An investigation of fusion zone microstructures in electron beam welding of copper–stainless steel” *Materials Science and Engineering: A*, c. 424, ss. 163–173, 2006.

- [45] A. Çelik, A. Özel, S. Karadeniz, “Farklı metallerin kaynağında gerilme yığılmalarının incelenmesi”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 2, sayı 1, ss 55-60, 1996.
- [46] C. M. Kim, J. K. Kim, “The effect of electromagnetic forces on the penetrator formation during high-frequency electric resistance welding”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 209, sayı 2, ss. 838-846, 2009.
- [47] S. Tuncel, N. Arı, B. Yoleri, M. Şahiner, “Dünyada ve Türkiye’de demir”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Türkiye, 2017.
- [48] U. Çalığülü, M. Aras, M. Türkmen, “Temperleme işleminin yağda soğutulan çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkisi”, *2016 Published in 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016)*, Antalya, Türkiye, 2016, ss. 600-607.
- [49] B. Özlü, H. Demir, M. Türkmen, S. Gündüz, “Sıcak dövme sonrası kumda ve havada soğutulan çeliklerin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin incelenmesi”, *Technological Applied Sciences*, cilt 4, sayı 2, ss. 37-47, 2019.
- [50] M. Yazgan, “Yüksek sıcaklık şartlarında çalışan vana çeliğinin kaynak sonrası mikroyapısal ve mekanik özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisi”, Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, Eylül 2019.
- [51] G. Balıkcı, “AISI 4140 çeliğinin sıcak dövme karakteristiğinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, Haziran 2016.
- [52] M.S. Kuzyaka, “Yüksek karbonlu bir çeliğin mikroyapı ve mekanik özelliklerine izotermal tavlamanın etkisi”, Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, Eylül 2014.
- [53] F.M. Harman, “Çeliğin ısıtma işleminin teorik ve pratik esasları”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2003.
- [54] A. Aksoy, “Çelik malzemelerde hasar analizi”, Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [55] Kocaelimakine.com. (2022, 17 Şubat). Demir Karbon Denge Diyagramı [Online]. Erişim: <http://www.kocaelimakine.com/ders-notlari/demir-karbon-denge-diyagrami/>.
- [56] E. Kesti, “Ç 4140 çeliğinin, mikroyapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [57] Ş. Baday, “Küreselleştirme ısıtma işlemleri uygulanan orta karbonlu çeliklerin işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi ve yapay sınır ağları ile modellenmesi”, Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.

- [58] Uslular Hadde. (2022, 17 Şubat). Nitrürasyon ve Nitemperleme İşlemleri Öncesi Isıl İşlemler [Online]. Erişim: <https://www.uslularhadde.com/nitrurasyon-nitemperleme-iscal-islemler>.
- [59] R.C. Ersin, “Isı girdisinin ve kaynak sonrası gerilim giderme ısııl işleminin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, T.C. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 2009.
- [60] İ. A. Avcı, “Yüksek frekans indüksiyon kaynaklı borularda kaynak parametrelerindeki değişimin mekanik özelliklere ve kaynak dikişi geometrisine etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [61] A. S. Gündoğdu, “Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı yöntemiyle üretilen boyuna dikişli çelik borularda kullanılan mikro alaşımlı malzemelerin kaynak zayıflığının azaltılması”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [62] T.C. Milli eğitim Bakanlığı. (2022, 17 Şubat). Sertlik Ölçme Yöntemleri [Online]. Erişim: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sertlik%20%C3%96l%C3%A7me%20Y%C3%B6ntemleri.pdf.
- [63] A. Süzen, “Gemi saclarının kaynak bağlantılarında kaynak parametrelerinin dikiş geometrisine etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2009.
- [64] M. Asarkaya, “Gemi inşaatında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.
- [65] O. Aktaş, “Petrol ve doğalgaz boru hatlarında kullanılan boruların mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye, Hatay, 2017.
- [66] Makina Mühendisleri Odası Muayene Kuruluşu. (2022, 17 Şubat). Tahribatsız Muayene, [Online]. Erişim: http://www.mmomuayene.org/?page_id=1074
- [67] X. Mao, Y. Lei, “Analysis of eddy current interaction between a parallel coil and a ferromagnetic pipe with remanence”, *NDT & E International*, c. 60, ss. 121-126, 2013.
- [68] X. Chen, Y. Lei, “Time-domain analytical solutions to pulsed eddy current field excited by a probe coil outside a conducting ferromagnetic pipe”, *NDT & E International*, c. 68, ss. 22-27, 2014.
- [69] A. Aoukili, A. Khamlichi, “Damage detection of surface cracks in metallic parts by pulsed Eddy-Current probe”, *Procedia Manufacturing*, c. 22, ss. 209-214, 2018.
- [70] Prüftechnik Academy. (2022, 3 Nisan). Kaynaklı Çelik ve Boru Üretiminde Girdap Akımları Testi, [Online]. Erişim: <https://www.pruftechnikakademi.com/kaynakli-celik-boru-girdap-akimi>
- [71] H. Günay, “Girdap akımları ile malzeme muayenesinde malzeme ayırımı, yüzeysel çatlak kontrolü, boru, mil, ve bilet kontrolü ve döner bobinli test sistemlerinde muayeneye etki eden parametrelerin deneysel olarak

optimizasyonu”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon ve Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2008.

- [72] A. Yakupoğlu, “Girdap akımı probu ile yüzey çatlaklarının algılanması”, Yüksek lisans tezi, Mekatronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [73] M. Yavuz, “Metalografik deneyler sonucu oluşturulan algoritmaya göre çalışan tam otomasyonlu ısıtma işlem fırını hesaplamaları, prototip tasarımı ve imalatı”, Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2020.
- [74] N. Karaman, B. Gülenç, *Modern Kaynak Teknolojisi*, Genişletilmiş 3.baskı, Ankara, Türkiye: Epa-Mat Basım Yayın, 2016.
- [75] C. Kırbaş, “AISI P11 ve AISI P91 kalite dikişsiz boru çeliklerinin mekanik özelliklerine gerilme giderme tavlama sıcaklığının etkisi”, Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014, böl. 21, ss. 300-307.

9.1.EK 1: EN10346-2015 DX51D + Z (1311) ÇELİK SERTİFİKASI

MÜHÜRLEME VE ÇELİK PASZARLAMA T.A.Ş.

GARANTİSİZ SÖZMENE : 3.500.000.000 TL

ÖLÇÜMEYEN
PROFİLİN
STANDART NO
EN 1220-1:2011
STANDARTIN KALİTESİ
EN 1220-1:2011
ULUSAL TEST VE ARAŞTIRMA
SAYISI
LOT NO

ÖLÇÜMEYEN
PROFİLİN
STANDART NO
EN 1220-1:2011
STANDARTIN KALİTESİ
EN 1220-1:2011
ULUSAL TEST VE ARAŞTIRMA
SAYISI
LOT NO

TEST SERTİFİKASI

EN 10204 : 2004 FFP 2.1

TARİH : 15.05.2024
SERTİFİKA NO : ZY0000000000
SAYFA NO : 1 / 1
VİZEYİ KONTROL (VİZE) / KALİTESİZ
PASZARLAMA (KALİTESİZ) / KALİTESİZ
YALNIZCA (KALİTESİZ) / KALİTESİZ
VİZEYİ KONTROL (VİZE) / KALİTESİZ

ÜRÜN BİLGİLERİ					MEKANİK ÖZELLİKLER										SERTİFLİK ÖZET		KATILIM
Çelme No	Tonaj [KG]	Dış Çap [mm]	Buğu / Pnömet / Levha No	Ölçüm Adadı	ÇEKME TESTİ										BH TESTİ		
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON	CEKME	%	n (4-6)	n (10-20)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	n (10-40)	KATILIM
YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	YERİ	AKSİYON</												

9.2.EK 2: EN 10130-2006 DC01 (6112) ÇELİK SERTİFİKASI



TEST SERTİFİKASI
MILL. TEST CERTIFICATE
EN 10204 2.2

Tarih / Date: 18.04.2022

Müşteri/Customer: İLGİLİ MAKAMA / TO WHOM IT MAY CONCERN

Etiket No (Label No) : GM22CR07075

Çelik Spesifikasyonu (Steel Designation) : EN 10130 DC01

Rulo No (Coil No) : 2203628-B

Ürün Tipi (Product Type) : CR

Ebat (Size) : 1,00x1500xR

Net Ağırlık (Weight KG) : 13400

Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)						Kimyasal Bileşim, Pota Analiz % (Chemical Composition, Ladle Analysis %)											
Çekme Testi (Mechanical Test)			r ₉₀ Değeri (Value)	n ₉₀ Değeri (Value)	Sertlik Hardness HRB	C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	Nb	Cr	Cu	Ni	N (ppm)
Akma Mukavemeti (Proof Strength)	Çekme Mukavemeti (Tensile Strength)	Uzama (Elongation) %															
227	304	40,2				0,039	0,188	0,014	0,009	0,013	0,038	0,001	0,002	0,017	0,014	0,010	28

Gazi Metal Mamülleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. bu malzemenin sipariş şartlarına uygun olarak test ve muayene edildiğini onaylar.
Gazi Metal Mamülleri Sanayi Ve Ticaret A.Ş. confirms that this product to the requirement of the order of the purchase agreement that was tested and inspected

Kalite Kontrol Başmühendisi
Quality Control Chief Engineer
Sercan TURAN

9.4.EK 4: 550°C ISIL İŞLEM RAPORU

TERMO İNDÜKSİYON		F-230 Isıl İşlem Raporu F-230 Heat Treatment Report				Rev.0 2022.02.28 1 / 1
		Firma Adı/Company Name		Parça Adı/Part Name		Sipariş No/PO No
ÇINAR BORU PROFİL SAN VE TİC. AŞ		Makina Parçası			2077	
Parça No/Part No	Malzeme/Material	Adet/pcs	Ağırlık/Weight	Tip/Type	İrsaliye Tarihi/Waybill Date	Rapor Tarihi/Report Date
M0026		30	4,5		04/28/2022	5.09.2022
İstenen Sertlik/Required Hardness	Sonuç/Result	İstenen Derinlik/Required Depth	Sonuç/Result	İrsaliye No/Waybill No	Sevki Tarihi/Delivery Date	
		@		102450	04/30/2022	
Sertlik Taraması/Hardness Measurements		Ekipman/Equipment		Isıl İşlem/Heat Treatment		
				Gerilim Giderme/Stress Relieving		
mm	HV	#	HRC	ESD/EHD		

Fırın Değerleri/Furnace Parameters			
Başlangıç Sıcaklığı/Start Temperature	50		
Isınma Hızı/Heating Rate	100		
Isıl İşlem Sıcaklığı/Heat Treatment Temp	550		
Bekleme Süresi/Holding Time	5		
Soğutma/Cooling (Air/Quench)	Furnace		
Bitiş Sıcaklığı/Finish Temperature	75		
h	0,5 5,0 10,0 15,3		
°C	50 550 550 75		

Mikro yapı/Microstructure			
---------------------------	--	--	--

Kalite Mühendisi Quality Engineer	Kalite Müdürü Quality Manager	Müşteri Kontrolü Client Control
Burcu ÖZMEN 	Oguz TOSYALI 	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Rahmi Hıdır
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	Makine Mühendisliği	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2016
Lise	Fen Bölümü	Fevzi Çakmak Lisesi/Beykoz	2011

YAYINLAR

1. R. Hıdır, A. Gürsel, “Optimization of vee angle and effect of welding parameters on welding capability in steel pipes produced with high frequency welding”, 6th International Conference on Welding Technologies and Exhibition (ICWET’21), Hatay, Türkiye, 2021, ss. 259-270.