

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI P11 VE AISI P91 KALİTE DİKİŞSİZ BORU ÇELİKLERİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE GERİLME GİDERME TAVLAMASI
SICAKLIĞININ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner KIRBAŞ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI P11 VE AISI P91 KALİTE DİKİŞSİZ BORU ÇELİKLERİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE GERİLME GİDERME TAVLAMASI
SICAKLIĞININ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Caner KIRBAŞ
(506111438)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN

HAZİRAN 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111438 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Caner KIRBAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AISI P11 ve AISI P91 KALİTE DİKİŞSİZ BORU ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE GERİLME GİDERME TAVLAMASI SICAKLIĞININ ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sakin ZEYTİN
Sakarya Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **30 Mayıs 2014**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca yaptığım çalışmalarda ve araştırmalarda bütün bilgi ve deneyimini benimle paylaşan ve bana her konuda destek olan tez danışmanım Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN'a, bilgi ve tecrübelerini benimle her zaman paylaşarak bana yol gösteren ve desteklerini esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na, çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Arş. Gör. Yakup YÜREKTÜRK ve Arş. Gör. Faiz MUHAFFEL'e, teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamın yapılabilmesinde büyük emekleri olan teknik anlamda ve malzeme temininde desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Bünyamin ÇİÇEK'e ve Ercan AYDINLI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Mekanik Metalurji Laboratuvarında çalışmış veya çalışmakta olan tüm arkadaşlarıma, yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca yardım ve desteklerini benden esirgemedikleri için teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca ilgisini ve desteğini benden esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan aileme ve sevgili nişanlım Begüm KOBAKLAR'a çok teşekkür ederim.

Haziran 2014

Caner KIRBAŞ
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN ÇELİKLER	3
2.1 CrMo alaşımlı AISI P11 Kalite Çelikler (13CrMo4-5)	4
2.2 CrMo alaşımlı AISI P91 Kalite Çelikler (X10CrMoVNb9-1).....	5
3. FERRİTİK ÇELİKLERE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	7
3.1 Giriş	7
3.2 Kaynak Yöntemleri	7
3.2.1 Gaz eritme kaynağı	8
3.2.2 Elektrik ark kaynağı.....	8
3.2.2.1 Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotlar.....	9
3.2.3 Gazaltı kaynağı	10
3.2.3.1 Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı.....	10
3.2.3.2 Metal inert gaz (MIG) ve metal aktif gaz (MAG) kaynağı.....	11
3.3 Kaynak Dikişi.....	12
3.3.1 Dikişin alaşım yapısı.....	12
3.3.2 Dikişin taneseli yapısı	13
3.4 Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB).....	14
4. ÖN ISITMA VE GERİLME GİDERME TAVLAMASI	19
4.1 Ön Isıtma	19
4.2 Gerilme Giderme	19
4.2.1 Kaynakta ısı işlemi gerekli kılan malzeme koşulları.....	20
4.2.2 Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı	21
4.2.3 Soğuk servis.....	22
4.2.4 Isıl işlem başarısının kontrolü.....	22
4.2.5 Ön ısıtma ve gerilme giderme tavlama yöntemleri.....	23
4.2.5.1 Fırında ısıtma.....	23
4.2.5.2 Propan gazıyla yerel ısıtma.....	23
4.2.5.3 Elektrik direnciyle ısıtma	24
4.2.5.4 İndüksiyonla ısıtma	25
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
5.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması	27

5.2 Uygulanan Deneyler	29
5.2.1 Mikro Sertlik Deneyleri	30
5.2.2 Mikroyapı incelemeleri	30
5.2.3 Çekme deneyleri	30
5.2.4 Darbe deneyleri	31
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	33
6.1 Mikro Sertlik Ölçüm ve Mikroyapı İnceleme Sonuçları	33
6.1.1 AISI P11 kalite çelikler	33
6.1.2 AISI P91 kalite çelikler	37
6.2 Çekme ve Darbe Deneyleri	40
6.2.1 AISI P11 kalite çelikler	40
6.2.2 AISI P91 Kalite Çelikler	47
6.3 Deney Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi	55
7. GENEL SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR	59
EKLER	61
ÖZGEÇMİŞ	73

KISALTMALAR

ASTM	: The American Society for Testing and Materials
CE	: Carbon Equivalent
DIN	: Deutsches Institut für Normung
EN	: European Standards
Gr A	: Kalite A
Gr B	: Kalite B
ITAB	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
MIG	: Metal Inert Gas
MAG	: Metal Active Gas
TIG	: Tungsten Inert Gas

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ferritik çeliklerin gelişim evreleri	3
Çizelge 2.2 : AISI P11 kalite çeliğin kimyasal bileşimi	4
Çizelge 2.3 : AISI P11 kalite çeliklerin ASTM ve DIN standartlarına göre minimum mekanik özellikleri	5
Çizelge 2.4 : AISI P91 kalite çeliğin kimyasal bileşimi	5
Çizelge 2.5 : AISI P91 kalite çeliklerin ASTM ve DIN standartlarına göre ana metalin minimum mekanik özellikleri	6
Çizelge 4.1 : Kaynak sonrası gerilme giderme tavlaması gerektiren ve gerektirmeyen malzemeler	20
Çizelge 4.2 : Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ısıtıl işlem gereksinimi	21
Çizelge 4.3 : Sıcak hizmet için ferritik çeliklere örnekler	22
Çizelge 5.1 : Numunelere uygulanan tahribatsız muayene işlemleri ve ısıtıl işlemler.	29
Çizelge 6.1 : AISI P11 kalite numunelerin farklı sıcaklıklarda yapılan gerilme giderme tavlaması sonrası akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri	40
Çizelge 6.2 : Gerilme giderme tavlaması uygulanmamış ve uygulanmış AISI P11 kalite numunelerin darbe deneyi sonuçları	46
Çizelge 6.3 : AISI P91 kalite numunelerin farklı sıcaklıklarda yapılan gerilme giderme tavlaması sonrası akma dayanımı, çekme dayanımı ve uzaması değerleri	48
Çizelge 6.4 : Gerilme giderme tavlaması uygulanmamış ve uygulanmış AISI P11 kalite numunelerin darbe deneyi sonuçları	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 :	AISI P91 kalite ve AISI P22 kalite çeliklerinin et kalınlığı ve ağırlık karşılaştırması	6
Şekil 3.1 :	Elektrot kaynağı uygulaması	8
Şekil 3.2 :	TIG kaynağı uygulamaları	11
Şekil 3.3 :	MIG kaynağı uygulamaları	12
Şekil 3.4 :	(a) Sütünsal ve kaba taneli kaynak yapısı (x10) (b) İnce ve kaba taneli bölgeleriyle kaynağın tipik yapısı (x4).....	13
Şekil 3.5 :	Üç pasolu dikişte köke çok yakın bir noktada sıcaklık değişimi	14
Şekil 3.6 :	Kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla taneli yapı değişimi.....	15
Şekil 3.7 :	% 0.20'lu çelikte 3 numaralı bölgedeki yapı değişimi.....	16
Şekil 3.8 :	Isı etkisi altında kalan bölgenin hızlı soğumasıyla meydana gelen yapı değişikliği	17
Şekil 4.1 :	Propan gazıyla yerel ısıtma	24
Şekil 4.2 :	(a) Isıl çift bağlantısı, (b) Seramik ısıtıcıların sarılması, (c) Seramik ısıtıcıların izolasyonun yapılması ve (ç) Program bölümüne ısı işlem değerlerinin girilmesi.....	26
Şekil 6.1 :	AISI P11 kalite çeliklerin mikrosertlik değişiminin, gerilme giderme tavlama sıcaklığı ve kaynak çizgisinden itibaren mesafeye bağlı olarak değişimi	34
Şekil 6.2 :	AISI P11 kalite numunelerin kaynak işlemi ve gerilme giderme tavlama sonrası optik mikroyapı fotoğrafları	36
Şekil 6.3 :	AISI P91 kalite çeliklerin mikrosertlik değişiminin, gerilme giderme tavlama sıcaklığı ve kaynak çizgisinden itibaren mesafeye bağlı olarak değişimi	37
Şekil 6.4 :	AISI P91 kalite numunelerin kaynak işlemi ve gerilme giderme tavlama sonrası optik mikroyapı fotoğrafları	39
Şekil 6.5 :	AISI P11 kalite numunelerin akma dayanımının gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi	41
Şekil 6.6 :	AISI P11 kalite numunelerin çekme dayanımının gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi	41
Şekil 6.7 :	AISI P11 kalite numunelerin kopma uzamasının gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi	42
Şekil 6.8 :	AISI P11 kalite çeliklerin 1. numunelerinin çekme deneyindeki kopma bölgesinin görünümü	43
Şekil 6.9 :	AISI P11 kalite çeliklerin 2. numunelerinin çekme deneyindeki kopma bölgesinin görünümü	44
Şekil 6.10 :	AISI P11 kalite çeliklere ait çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri	45
Şekil 6.11 :	AISI P11 kalite numunelerin darbe direncinin gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi	46
Şekil 6.12 :	Gerilme giderme tavlama uygulanmamış ve uygulanmış AISI P11 kalite numunelerin darbe deneyi sonrası kırılma	

yüzeylerinin genel görünümü	47
Şekil 6.13 : AISI P91 kalite numunelerin akma dayanımının gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	48
Şekil 6.14 : AISI P91 kalite numunelerin çekme dayanımının gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	49
Şekil 6.15 : AISI P91 kalite numunelerin kopma uzamasının gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	49
Şekil 6.16 : AISI P91 kalite çeliklerin 1. numunelerinin çekme deneyindeki kopma bölgesinin görünümü	50
Şekil 6.17 : AISI P11 kalite çeliklerin 2. numunelerinin çekme deneyindeki kopma bölgesinin görünümü	50
Şekil 6.18 : AISI P91 kalite çeliklere ait çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri	51
Şekil 6.19 : AISI P91 kalite numunelerin darbe direncinin gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	52
Şekil 6.20 : Gerilme giderme tavlama uygulanmamış ve uygulanmamış AISI P91 kalite numunelerin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeylerinin genel görünümü	54

SEMBOL LİSTESİ

A	: Amper
kg	: Kilogram
kW	: Kilowatt
J	: Joule
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
N	: Newton
V	: Voltaj

AISI P11 VE AISI P91 KALİTE DİKİŞSİZ BORU ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE GERİLME GİDERME TAVLAMASI SICAKLIĞININ ETKİSİ

ÖZET

Ferritik dikişsiz boru çelikleri, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç koşullarında östenitik paslanmaz çelikler de dâhil olmak üzere birçok çelik grubundan daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Başlıca üstün özellikleri ısı iletkenlerinin yüksek olması, sürünme direncinin yüksek olması ve korozyon direncinin yüksek olmasıdır. Bu özellikleri sayesinde özellikle petrokimya endüstrisinde termik santraller, nükleer santraller ve rafinerilerde termal verimin ciddi öneme sahip olan yerlerde kullanılmaktadırlar. Ayrıca, termal veriminin yüksek olması nedeniyle enerji tasarrufu sağlamasının yanısıra karbondioksit gazı salınımını minimize etmesiyle de çevre dostu malzemelerdir.

Ferritik çelikler mekanik ve korozyon özellikleri bakımından birçok iyi özellik göstermesine rağmen bazı kalitelere başta molibden, niyobyum ve vanadyum gibi alaşım elementleri ihtiva etmesi sebebiyle karbon eş değeri yüksektir. Bu nedenle kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür. Kaynak edilebilme dezavantajı sebebiyle kaynak yöntemi uzun zaman almaktadır ve zor bir proses olup dikkatli bir şekilde ilgili standartlara uyarak uzman sertifikalı kaynakçılar tarafından yapılması gerekmektedir. Benzer şekilde uygun kaynak yönteminin seçilmesi ve doğru kaynak elektrodunun kullanılması, yüksek kalitede bir kaynak elde etmek için önemlidir. Yapılan araştırmalar neticesinde ferritik Chrome-Moly ferritik çeliklerinin, elektrik ark kaynağı, gaz eritme kaynağı ve gaz altı kaynağı (TIG) yöntemleriyle başarıyla yapılabildiği ve kaynak bölgesinde istenilen mekanik özellikler elde edilebilmesinin mümkün olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda kontrollü kaynak işlemleriyle kaynak hatalarını mümkün olduğunca en aza indirmek mümkün olmuştur.

Endüstride bu çelikler farklı kolları ve ısısal dayanımın gerekli olduğu yapılarda kullanılmaktadır. Nükleer santraller ve termik santraller bu çeliklerin gereksinim duyulduğu ana alanlardır. Yüksek servis sıcaklıklarında malzemeden beklenen şartların üst düzeyde olduğu bilinmektedir. Bu yüksek servis sıcaklıklarının yanında malzemeye aynı anda basma, çekme ve uzama gibi kuvvetler etki etmekte ve malzemenin bu teknik şartları da karşılaması beklenmektedir. Bu bahsedilen parametreleri karşılayabilmesi için malzemelerin her şartta ve her aşamada irdelenmesi ve her şartın iyileştirilmesi temel amaçtır. Malzemelerden beklenen bu gereksinimler farklı alanlardan pek çok bilim insanının ortak çalışmasını gerektirmektedir.

Endüstride gelişen bu bilgiler ışığında, bu çalışmada AISI P11 ve AISI P91 kalite ferritik çelikten üretilen dikişsiz borulara, tungsten inert gaz (TIG) ve bazik örtülü elektrik ark kaynağı uygulanmıştır. Kaynak başlangıcında ortaya çıkan ani ısı girdisi nedeniyle soğuk çatlak riskini azaltmak amacıyla kontrollü olarak kaynak öncesinde maksimum 200°C’de ön ısıtma yapılmış ve kaynak bitene kadar bu sıcaklık

muhafaza edilmiştir. Malzemelerin kaynağında uygun ilave metaller kullanılmıştır. Kaynak bitiminin akabinde kontrollü soğutulan malzemeler EN 12952 standardına göre düşük, orta ve yüksek sıcaklıklarda gerilme giderme tavlamasına tabi tutulmuştur. Kaynak bölgesine radyografik ve manyetik olarak tahribatsız malzeme muayenesi yapılmış EN 5817 standardı bazında herhangi bir yüzey çatlağına ve benzeri diğer iç hataya rastlanmamıştır. Bütün bu kaynak ve tahribatsız muayene işlemleri bu çeliklerin kullanıldığı endüstrilerden biri olan termik santralde konusunda uzman sertifikalı kişilerce gerçekleştirilmiştir.

Endüstride farklı şekillerde gerilme giderme tavlaması yapılmaktadır. Gerilme giderme tavlamasının ana amacı kaynak ve talaşlı imalat yöntemleri sonrasında malzenin iç yapısında meydana gelen gerilmeleri azaltmaktır. Malzemeler uygun tavlama sıcaklığına ısıtılır, bu sıcaklıkta belirli bir süre tutulur ve sonra havada oda sıcaklığına soğutulur. Bu sayede, iç gerilmelere azaltılarak servis koşullarında malzeme performansı artırılır. Gerilme giderme yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanlar, fırında ısıtma, seramik ısıtıcılarla ısıtma ve indüksiyonla ısıtma yöntemleridir. Bu çalışmada saha şartlarına uygun olması nedeniyle seramik ısıtıcılarla ısıtma işlemi uygulanmıştır. Bunun yanında bu yöntem; hassas sıcaklık ölçümü yapılabilmesi, malzeme yüzeyine karbon emme imkanı tanımaması ve ısı enerjisi kontrolünün otomatik yapılmasına olanak vermektedir.

Kaynak işlemi yapıldıktan sonra malzeme ön ısıtma sıcaklığından oda sıcaklığına kontrollü olarak soğutulmuştur. Gerilme giderme tavlaması, saha şartlarında 82 kW gücünde ve 12 farklı program kontrol ünitesine sahip mobil ve tam otomatik bir ısıtma işlem cihazıyla yapılmıştır. Kaynak işleminden sonra gerilme giderme tavlamasının yapılması için uzun süre beklenmemelidir. Bu nedenle gerilme giderme tavlaması kaynak sonrası 24 saat içinde tamamlanmıştır.

Gerilme giderme tavlamasında program kontrolüne saatte 100°C/h ısıtma hızı ile AISI P11 kalite çelikler için 620°C, 650°C ve 680°C’de 1 saat gerilme giderme tavlaması uygulanmıştır. AISI P91 kalite çelikler için ise 750°C, 760°C ve 780°C’de 1 saat gerilme giderme tavlaması uygulanmıştır. Her iki kalite çeliklere farklı tavlama sıcaklıklarından kontrollü olarak 273°C’e kadar saatte 100°C/h soğutma hızı ile soğutulmuş ve malzeme üzerindeki seramik elyaf lif ve taş yünü yalıtımları sökülmeden havada soğumaya bırakılmıştır.

Yapılan farklı sıcaklıklardaki gerilme giderme tavlamaları sonrası, tavlama sıcaklığının malzemenin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. AISI P11 kalite ve AISI P91 kalite ferritik çeliğe çekme deneyleri, darbe deneyleri, mikro sertlik ölçümleri, kırılma yüzey incelemeleri ve optik mikroskopta mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

AISI P11 kalite ferritik çeliklerin mikroyapı incelemelerinden, kaynak işlemi sonrası ana metalin mikroyapısının beynitik esaslı olduğu, kaynak işlemi sonrasında önemli bir değişime uğramadığı gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde ise mikroyapının bir miktar kabalaştığı görülmektedir. Gerilme giderme tavlaması sonrası ise, ana metal ve ITAB bölgesinin mikroyapısının büyük ölçüde ferrit ve perlitten ibaret bir yapıda olduğu, kaynak bölgesinin ise daha ince yapıda katılaşma sonrası tipik mikroyapı görünümünde olduğu belirlenmiştir. Gerilme giderme sıcaklığına bağlı olarak ana metal ve ITAB bölgesinin mikroyapılarında belirgin bir mikroyapısal değişim gözlenmemektedir. AISI P11 kalite kaynaklı çelik boruların kaynak bölgesi boyunca sertlik değişimi, gerilme giderme tavlaması işlemiyle azalmıştır. En yüksek sertlik

azalması en yüksek gerilme giderme sıcaklığı olan 680°C’de elde edilmiştir. Ayrıca gerilme giderme tavlamaıyla, kaynak metalinden ana metale doğru geçişte genel olarak sertlik değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. AISI P11 kalite numunelerin çekme deneyinde, kopmanın ana metalde gerçekleştiği, kopma bölgesinde boyunlaşma meydana geldiği ve bunun sonucunda kopmanın koni çanak tipinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Darbe deneyinde bazı numunelerin kırıldığı halde 2 parça halinde ayrıldığı görülmüştür. Bu numunelerin kırılma yüzeylerinde sünek kırılma karakteristikleri görülmektedir.

AISI P91 kalite çelikler üretim sonrası su verilmiş ve temperlenmiş halde kullanılmaktadır. 920-980°C aralığında östenitlenen çelik havada su verildikten sonra, 680-760°C sıcaklık aralığında temperlenmektedir. Bu durumda mikroyapı, çoğunlukla beynitik ferritik bir matriksten ibaret olmaktadır. Mikroyapı fotoğrafları, kaynak işlemi sonrası ana metalin mikroyapısının beynitik esaslı olduğunu göstermektedir. Kaynak işlemi, kaynak bölgesi ve ITAB mikroyapısını etkilemekte ve kabalaşmasına neden olmaktadır. Sertlik ölçümleri, kaynak sonrası, kaynak bölgesi sertliğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Gerilme giderme tavlama sonrası ise, ana metal, ITAB ve kaynak bölgesi mikroyapılarında belirgin bir fark oluşturmamaktadır. Bu durum gerilme giderme sıcaklığına bağlı olarak çok önemli bir değişimin gözlenmediği sertlik değişimi ile de uyumlu görünmektedir. AISI P91 kalite çeliklerin sertlik verilerine göre, artan gerilme giderme tavlama sıcaklığıyla sertlik değerleri bir miktar düşüş göstermiş olup, kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sertlik farkı da azalmaktadır. AISI P91 kalite çelik boruların çekme deneyi sonuçları göz önüne alındığında, AISI P11 kalite çeliklere benzer şekilde, kopmanın ana metalde gerçekleştiği, kopma bölgesinde boyunlaşma meydana geldiği ve bunun sonucunda kopmanın koni çanak tipinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Öte yandan, AISI P91 kalite bazı çelik boruların çekme deneyi sonundaki kırılma yüzeylerinin ortasında makro çatlaklarının olduğu gözlenmiştir. Darbe deneyi sonuçları incelendiğinde ise numunelerin genel olarak düz, kristalin görünümdeki gevrek kırılma karakteristiği taşıdığı, gerilme giderme tavlama sıcaklığı arttıkça artan darbe direnci değerlerine paralel olarak, numune kenarlarında deformasyon ve kayma dudağı oluşmu ile kendini gösteren sünek kırılma oranının da arttığı görülmektedir. Tavlınmamış ve 750°C’de gerilme giderme tavlama yapılmış numunelerin kırılma yüzeyleri gevrek davranış gösterirken 760°C ve 780°C’de tavlınmış numuneler sünek kırılma oranı artmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen her iki kalite çelik boruda da çekme deneyi sonunda kopmanın ana metalden gerçekleşmesi, kaynak işleminin uygun yapıldığını göstermektedir. Elde edilen deneysel sonuçlar, AISI P11 kalite çelik için farklı sıcaklıklardaki gerilme giderme tavlama sıcaklığının kritik öneme sahip olmadığını göstermiştir. Öte yandan, AISI P91 kalite çelik için bu çalışmada baz alınan EN 12952-5 standardında belirtilen 740°C ile 780°C sıcaklık aralığının aksine, gerilme giderme tavlama sıcaklığının en az 760°C olması gerektiği belirlenmiştir. AISI P91 kalite çelikler için gerilme giderme tavlama zorunlu olarak uygulanması gerekmektedir.

EFFECT OF STRESS RELIEF ANNEALING TEMPERATURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF AISI P11 AND AISI P91 GRADE SEAMLESS PIPE STEELS

SUMMARY

Ferritic seamless pipe steels have higher mechanical properties at high temperature and high pressure than many steel qualities including austenitic stainless steels. Main important features are high heat conductivity, high creep resistance and corrosion resistance. Due to these features, they are used where the thermal efficiency are important, especially in petrochemical industry, thermal power plants, nuclear power plants and refineries and thermal efficiency. Also, due to the high thermal efficiency energy saving as well as to minimize the release of carbon dioxide gas, they are totally environmentally friendly materials.

Although ferritic steels have many good properties in terms of mechanical and corrosion properties, they have higher carbon equivalent due to alloying elements such as molybdenum, niobium and vanadium in the chemical composition and therefore they have poor weldability. Because of poor weldability, welding of these steels requires longer time, difficult welding processes as well as certified welders who can weld the material in accordance with the standards. Similarly, appropriate selection of welding method and welding wire combination is also important to obtain high quality welds. As a result of investigations, it has been reported that Chrome-Moly ferritic steels can be successfully welded and required properties can be obtained by electric arc welding, gas fusion welding and gas metal arc welding (TIG) techniques. In addition, the weld defect has been reduced as low as possible by strictly controlling the welding parameters.

Those type of steels are used in several parts and structure in industry, which requires thermal resistance. They are typically used in nuclear power plants and steam power plants. When high temperature is necessary according to the service condition, materials should have high mechanical strength. In addition to high temperature in service, bending force and tensile force affects to material at the same time so that kind of materials should include that technical specifications as well. As previously mentioned, materials are required to analyze in each step and in all conditions separately in order to have those properties. The main aim is to develop properties and to optimize all condition. These requirements expected from materials require collaboration of many scientists from many disciplines.

Based on the recent studies in this area, seamless pipes made of AISI P11 and AISI P91 grade ferritic steels were welded by using tungsten inert gas (TIG) and electric arc welding using a basic electrode in this study. In order to minimize cold cracking risk due to high heat input at the beginning of the welding, the materials were preheated at maximum 200°C by a controlled manner prior to welding and this temperature was maintained until the welding was completed. Appropriate filler

materials were used during the welding process. After welding, the materials were cooled to room temperature in a controlled manner followed by stress relieving heat treatment at low, moderate and high temperatures according to EN 12952 standard. Welded area was examined by nondestructive inspection techniques such as radiography and magnetic particle, and no surface crack or internal weld related defects observed based on an evaluation according to EN 5817 standard. Welding processes and post weld inspections were performed by certified people of a thermal power plant using these steels.

There are several types of stress relieving heat treatments in industry. Main purpose of stress relieving heat treatment is to minimize internal stresses originating from welding and machining processes. In this heat treatment, materials are heated to a specific temperature, hold at that temperature for a specific time and then cooled to room temperature in air. Therefore internal stresses are minimized and materials performance during service is improved. The common methods of stress relief annealing are furnace heating, heating with ceramic heaters and induction heating. In this study, ceramic heaters were preferred in order to simulate on site conditions. Moreover, this method allows accurate temperature control, preventing carbon diffusion to the surface and automatically controlling heat input.

After welding was completed, the material was cooled down from preheating temperature to room temperature in a controlled manner. Stress relieving treatment was performed on site by a 82 kW full automatic portable heat treatment equipment which can control 12 different programs. Stress relief annealing should not be performed too late after welding. It was therefore completed within 24 hours after welding.

Stress relief annealing treatment was performed for AISI P11 quality steels at 620, 650 and 680°C for 1 h by heating the material at a heating rate of 100°C/h. It was performed for AISI P91 quality steels at 750, 760 and 780°C for 1 h by heating the material at a heating rate of 100°C/h. Both steels were cooled from annealing temperature to 273°C at a cooling rate of 100°C/h, and then left to cool to room temperature by keeping wound in ceramic fiber mats and rock wool insulation until the materials reached room temperature.

Following stress relieving annealing treatment at different temperatures, effect of annealing temperatures on mechanical properties of AISI P11 and AISI P91 quality steels was investigated. In this respect, the materials were subjected to tensile tests, impact tests, microhardness measurements, fracture surface examinations and optical microstructure examinations.

Microstructural examinations of AISI P11 grade ferritic steels revealed that microstructure of the base metal after welding is bainitic and it has not been changed during welding. Welding zone, on the other hand is a little bit got coarsened after welding. After stress relief annealing treatment, both base metal and HAZ have a microstructure of ferrite and pearlite, and weld zone has a finer microstructure which is characteristics of a solidified structure. It has not been observed a significant change in the microstructure of base metal and HAZ with respect to the stress relief annealing treatment temperature.

Hardness variation of AISI P11 grade welded steel pipes along with the welding zone decreases with application of stress relief annealing treatment. Highest hardness drop is obtained at 680°C which is the highest stress relief annealing temperature. In

addition, hardness variation from the weld zone to base metal is decreased with the application of stress relief annealing treatment. Based on the experimental results of tensile test of AISI P11 grade steel, it was occurred that rupture was at the base metal, a necking was observed at the rupture region and therefore the rupture was observed in the form of cup and cone fracture. In the impact tests, some specimens did not apart into pieces even though they broke. These samples have some ductile fracture characteristics at their fracture surfaces.

AISI P91 quality steels are used as quenched and tempered condition after production. The steel was austenitized at 920-980°C followed by air cooling and then tempered at 680-760°C interval. The resulting microstructure is mostly a bainitic ferritic microstructure. Microstructural examinations revealed that base metal microstructure after welding is bainitic, welding process affect the microstructure of welding zone and HAZ and results in a coarser microstructure.

Hardness measurements revealed that hardness of welding zone after welding is the highest. Stress relief annealing treatment did not cause a significant change in the microstructure of base metal, HAZ and weld zone. This is in agreement with the hardness variation at which there is no significant change after stress relief annealing treatment. According to hardness measurement results of AISI P91 grade steels, hardness decreases with increasing stress relief annealing treatment temperature as well as hardness variation between the weld zone and the base metal decreases.

Based on the tensile test results of AISI P91 grade steel pipes, in similar to AISI P11 grade steels, it was observed that rupture was at the base metal, a necking was observed at the rupture region and therefore the rupture was observed in the form of cup and cone fracture. Moreover, some macro cracks were observed in the middle of fracture surfaces of the samples. According to the impact test results, it was observed that the fracture surfaces of the specimens have characteristics of brittle fracture with generally flat and crystalline apparent surfaces. With increasing stress relief annealing temperature, some deformation and shear lips at the edges of the impact test specimens increased, which are in agreement with the findings of higher impact energy values obtained with increasing stress relief annealing temperature. Unannealed sample and annealed sample at 750°C show mostly brittle fracture appearance while sample annealed at higher temperatures have more ductile fracture characteristics at their fracture surfaces.

Both steel pipes investigated in this thesis ruptured at the base metal and this is a confirmation of appropriate welding is performed. Obtained results revealed that stress relief annealing treatment for AISI P11 grade steel at different temperatures are not critical. On the other hand, AISI P91 grade steel require a stress relief annealing temperature at least at 760°C instead of 740-780°C as mention in EN 12952-5 standard. Finally, stress relief annealing treatment is obligatory for AISI P91 grade steel pipes.

1. GİRİŞ

Modern çağda enerji gereksinimin giderek artmasıyla beraber petro-kimya sektöründe termik santraller ve nükleer santrallerin kurulumu tüm dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç koşullarında çalışan buhar kazanı, ısıtıcılar, reaktörler ve basınca maruz kalan kazanın diğer kısımları sürünmeye dayanıklı ve mekanik özellikleri yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu özelliklere sahip olan CrMo çelikleri gerek yüksek ısı iletkenliği ve yüksek sürünme direnci, gerekse de yüksek korozyon direnci ile önemli bir yere sahiptir. Ayrıca, termal verimin yüksek olması enerji kaybını minimize eder ve düşük CO₂ salınımı sayesinde çevre kirliliğine yol açmaz [1,2].

AISI P11 kalite çelikler 1960'lı yıllardan önce kullanılmaya başlanmış ve halen kullanılmaya devam etmektedir. Enerji verimini arttırmak için molibden, vanadyum ve niyobyum alaşım elementleri ilave edilerek 2.dönem çelikleri olarak da bilinen AISI P91 kalite çelikler geliştirilmiştir. Bu sayede maksimum çalışma sıcaklığı 593°C'e kadar ulaşmıştır [3].

Yüksek sıcaklık ve basınç ortamında çalışan dikişsiz olarak üretilen borular, montaj esnasında TIG kaynağı, elektrik ark kaynağı ve toz altı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilebilmektedir [4].

CrMo ferritik çelikleri yapısında molibden, krom ve vanadyum alaşım elementlerini içermeleri nedeniyle karbon eşdeğeri yüksektir. Bu nedenle kaynak edilebilme kabiliyetlerinin düşük olması sebebiyle ön ısıtma ve gerilme giderme tavlamalarının yapılması zorunludur.

Kaynak öncesinde kaynak dikişi bölgesinde homojen ısı dağılımını sağlamak ve bu bölgenin hızlı soğuyarak sertleşmesini önlemek ve gevrek yapı oluşumuna izin vermemek amacıyla ön ısıtma yapılır. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra kontrollü olarak oda sıcaklığına kadar soğutulur ve uzun süre beklememek koşuluyla kaynak sonrasında meydana gelen iç kalıcı gerilmeleri gidermek amacıyla gerilme giderme tavlama yapılır. Bu proste tavlama sıcaklığı, ısıtma hızı ve soğutma hızı en

önemli parametrelerdir. Malzemenin mikroyapısı, et kalınlığı ve dış çapı dikkate alınarak ısıtma ve soğutma hızları belirlenir.(EN 12952-5) Bu şekilde gerilme giderme tavlama sonrası istenmeyen yapıların oluşumuna izin verilmemiş ve tokluğu iyileştirilerek sertlik bir miktar azaltılmış olur. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarda bu ve bunun gibi çelik malzemelerde kaynak sonrası ısıtma işleminin önemi gittikçe artmaktadır.

Bu çalışmada AISI P11 ve AISI P91 kalite 16 mm et kalınlığındaki çelik borulara, TIG ve elektrik ark kaynakları yapılarak, değişik gerilme giderme sıcaklıklarında (AISI P11 kalite; 620°C, 650°C, 680°C), (AISI P91 kalite; 750°C, 760°C, 780°C) 1 saat süreyle tavlansak yapılan ısıtma işlemlerin malzemelerin bazı mekanik özelliklerine olan etkisi ve gerilme giderme sonrası meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

2. ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN ÇELİKLER

Günümüzde elektrik üretimi yapan enerji santralleri; termik santraller, nükleer santraller ve rafinerilerde tercih edilmelerinin en önemli nedenleri yüksek sıcaklık (650°C) ve yüksek basınç (300 bar) dayanıklı olmalarıdır [5,6].

Modern çağda enerji kullanımının giderek artması sebebiyle enerji santrallerinde termal verimi yüksek olan malzemelerin gereksinimini zorunlu hale getirmiştir. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç servis şartlarında enerji verimliliğinin artmasıyla beraber çevre de korunmaktadır [7].

Ferritik çelikler geçmişten günümüze kadar genel olarak 4 döneme ayrılmaktadır. Gelişim evreleri; alaşımlı elementleri modifikasyonu, servis sıcaklıkları ve örnek ferritik çelikler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Ferritik çeliklerin gelişim evreleri [7].

Dönem	Yıl	Alaşım Elementleri Modifikasyonu	Sürünme direnci (MPa) (600°C, 10 ⁵ saat)	Örnek	Maksimum Servis Koşulları (°C)
1	1960-1970	Mo, V, Nb elementlerinin ilave edilmesi	60	EM12, HT9, F9	565
2	1970-1985	C, Nb, V elementlerinin optimize edilmesi	100	HCM12, T/AISI P91, HCM2S	593
3	1985-1995	Mo için kısmi W ilave edilmesi	140	P92, P122, HCM12A	620
4	1995-...	W miktarının yükseltilmesi ve Co ilave edilmesi	180	HF12, SAVE12	650

4 döneme ayrılmış ferritik çelikler; 9Cr1Mo çelik (T9) ve 12Cr çelik (AISI 410) baz alınarak geliştirilmiştir. 1960 yılları öncesinde ferritik çelikler 600°C’de 10⁵ saat sürünme deneyi uygulandığında sürünme dayanımı 35 MPa seviyelerinde idi. 1960 yıllarında molibden, vanadyum ve niyobyum alaşım elementlerinin katkısıyla

sürünme direnci 60 MPa'a kadar ulaşmıştır. Bu döneme ait çelikler 565°C maksimum servis koşullarında çalışabilmekteydi ve örnek olarak EM 12, HCM 9M ve F9 örnek çeliklerini gösterebiliriz. Niyobyum, vanadyum ve karbon alaşım elementlerinin optimize edilmesi ile 1970 yıllarında 2.dönem çelikleri geliştirilmiştir. Bu gelişmeden sonra AISI T91/AISI P91 kalite çelikler 593°C'e kadar yüksek sıcaklık koşulları gerektiren buhar türbinlerinde ve kazanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1985-1995 yılları arasında kısmi molibden alaşım elementinin yerine tungsten ilave edilmesiyle maksimum sıcaklık 620°C'e ulaşmıştır. Bu döneme ait bilinen tipik örnekler AISI P92 kalite AISI P122 kalite çeliklerdir. Halen laboratuvar çalışmaları devam eden 4.dönem çeliklerin kobalt alaşım elementinin ilave edilmesi ve tungsten miktarının arttırılmasıyla maksimum sıcaklığın 650°C'e ve sürünme dayanımının 180 MPa'a ulaşması beklenmektedir [7].

2.1 CrMo alaşımlı AISI P11 Kalite Çelikler (13CrMo4-5)

1960 yıllarının öncesinden günümüze kadar halen kullanılmaya devam eden servis sıcaklığı maksimum 535°C olan düşük alaşımlı ferritik çeliklerdir. Kaynak eş değerinin düşük olması sebebiyle kaynak edilebilme kabiliyeti diğer kalitedeki ferritik çeliklere nazaran daha iyidir. Genellikle buhar türbinleri gibi yüksek basınca maruz kalan parçalarda tercih edilmektedirler. ASTM ve DIN standartlarına göre AISI P11 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.2'de ve bazı mekanik özellikleri Çizelge 2.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 : AISI P11 kalite çeliğin kimyasal bileşimi [8].

Çelik Kalitesi	Kimyasal bileşim, % ağı.									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Cr	Mo	Ni
P11/T11	0.05-0.15	0.50-1.00	0.30-0.60	≤0.025	≤0.025	-	-	1.00-1.50	0.44-0.65	
13CrMo4-5	0.10-0.17	≤0.35	0.40-0.70	≤0.025	≤0.020	≤0.040	≤0.30	0.70-1.15	0.40-0.60	≤0.3

Çizelge 2.3 : AISI P11 kalite çeliklerin ASTM ve DIN standartlarına göre minimum mekanik özellikleri [8].

Standart	Malzeme	Isıl İşlem	Akma Dayanımı, MPa	Çekme Dayanımı, MPa	Kopma Uzunluğu, %	Darbe Direnci, J
ASTM	AISI P11	Normalizasyon ve Temperleme	220	415	20	-
DIN	13CrMo4-5	Normalizasyon ve Temperleme	290	440	20	27

2.2 CrMo alaşımlı AISI P91 Kalite Çelikler (X10CrMoVNb9-1)

1980 yıllarının sonlarına doğru enerji santrallerinde yüksek sıcaklık şartlarına dayanıklı ve yüksek sürünme direncine sahip olmasını nedeniyle kullanılmaya başlanmıştır [5].

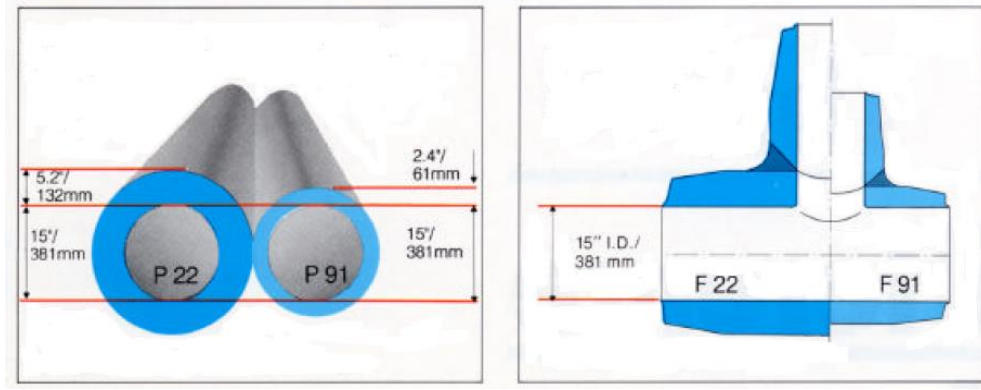
Ferritik-martenzit mikroyapıda olan AISI P91 kalite ferritik çeliklerin yapısına vanadyum, niyobyum ve azot alaşım elementleri optimize edilmiştir. ASTM ve DIN standartlarına göre AISI P91 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.4 : AISI P91 kalite çeliğin kimyasal bileşimi [8].

	Kimyasal bileşim, % ağı.											
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V	Nb	N	Al	Ni
min	0.08	0.30	-	-	0.20	8.0	0.85	0.18	0.06	0.03		
maks	0.12	0.60	0.02	0.01	0.50	9.5	1.05	1.05	0.1	0.07	0.04	0.4

Ferritik çeliklerin gelişim evrelerine göre 2.döneme ait olan AISI P91 kalite çelikler, P22 kalite çeliklerin geliştirilmesiyle kullanılmaya başlanmıştır. AISI P91 kalite çeliğin mekanik özelliklerine bağlı olarak en büyük üstünlüğü et kalınlığının %54 daha ince ve ağırlığının %65 daha hafif kullanılmasına imkân sağlamasıdır. Şekil 2.1’de AISI P91 ve AISI P22 kalite çeliklerin et kalınlıklarına ve ağırlıklarına göre karşılaştırılması gösterilmiştir. Kazanlarda malzemenin cidar kalınlığının azaltılması ısı farkları nedeniyle meydana gelen iç gerilmeler azaltılmış olur [9].

Mekanik özellikleri bakımından AISI P91 kalite çelikler krom yüzdesine ve mikro alaşımına bağlı olarak korozyon direnci, ısı iletkenliği ve sürünme direnci daha iyidir.



Şekil 2.1 : AISI P91 kalite ve AISI P22 kalite çeliklerinin et kalınlığı ve ağırlık karşılaştırması [9].

AISI P91 kalite çeliklerin oda sıcaklığında ASTM ve DIN standartlarına göre bazı mekanik özellikleri Çizelge 2.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.5 : AISI P91 kalite çeliklerin ASTM ve DIN standartlarına göre ana metalin minimum mekanik özellikleri [10].

Standart	ASTM	DIN
Malzeme	AISI P91	X10CrMoVNb9-1
Yapılan İşlemler	Normalizasyon + Temperleme	Normalizasyon + Temperleme
Akma dayanımı, MPa	415	450
Çekme Dayanımı, MPa	585	620
Kopma uzaması, %	20	19
Darbe Direnci, J	-	27

3. FERRİTİK ÇELİKLERE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

3.1 Giriş

Günümüzden yaklaşık olarak 4000 yıl öncesinde (MÖ. 2000) iki metal parçası soğuk ya da sıcak çekiçle vurarak birleştirme yöntemiyle kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem “demirci kaynağı” olarak tabir edilmektedir. Kaynak yöntemi, endüstri uygulamalarında 19.yy’ın ortalarından itibaren tamir amaçlı olmak üzere oksisiten kaynağının kullanılmasıyla yaygınlaşmaya başlamıştır. Elektrik arkı, 18.yy sonlarında Volta tarafından keşfedilmiş fakat; 19.yy sonlarına doğru kaynakta kullanılmaya başlanmıştır. 1920-1940 yılları arasında örtülü elektrodların geliştirilmesiyle elektrik ark kaynağı yaygınlaşmış ve diğer kaynak yöntemlerinin keşfedilmesine ve geliştirilmesine neden olmuştur [11,12].

3.2 Kaynak Yöntemleri

Malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde kullanılan kaynak yöntemleri 4 ana başlık altında toplanabilir ve şu şekildedir:

- 1- Uygulandığı malzeme cinsine göre; metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı,
- 2- Yapılış amacına göre; birleştirme kaynağı ve doldurma kaynağı,
- 3- Uygulanış şekline göre; el kaynağı, yarı mekanize kaynak, tam mekanize kaynak ve otomatik kaynak,
- 4- Yapılacak kaynak işleminin cinsine göre; basınç kaynağı ve eritme kaynağı

Çelik yapı uygulamalarında en sık kullanılan kaynak yöntemi “Eritme” kaynağıdır. Eritme kaynağı yöntemi içerisinde sınıflandırılan Gaz Eritme Kaynağı, Elektrik Ark Kaynağı ve Gazaltı Kaynağı en sık kullanılan kaynak yöntemleridir [11].

3.2.1 Gaz eritme kaynağı

Bu kaynak yönteminde, gerekli olan ısı yanıcı ve yakıcı gazların aynı anda alevlenmesiyle elde edilir. Genellikle yakıcı gaz olarak oksijen kullanılırken, yanıcı gaz olarak asetilen, hidrojen, metan, propan, bütan, LPG ve havagazı kullanılmaktadır.

Gaz eritme kaynağında yaygın olarak asetilen gazı yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır ve “Oksi-asetilen Kaynağı” şeklinde tabir edilebilmektedir. Bunun nedeni, asetilen gazının alev sıcaklığının, tutuşma hızının ve ısıl değerinin diğer gazlara kıyasla daha yüksek olmasıdır [11,12].

3.2.2 Elektrik ark kaynağı

Bu kaynak yönteminde, kullanılan örtülü elektrot kaynak metali işlevi görmektedir. Demir esaslı veya demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında 1.2 mm ve daha kalın parçalara her pozisyonda kaynak yapılabilir.

Elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ve kaynak elektrotu arasında yanarak kaynak metali haline dönüşür. Elektrot örtüsü de aynı anda yanarak erir. Açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan cüruf da kaynak dikişini örterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar [11,13].

Elektrot kaynağını kullanarak değişik biçimlerde kaynak pozisyonları uygulanabilmektedir. Şekil 3.1’de gösterildiği üzere kaynak pozisyonları şu şekildedir: oluk pozisyonunda yatay kaynak, iç ve köşe birleştirmelerinde yatay kaynak, aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya düşey kaynak, korniş kaynağı ve tavan kaynağıdır.



Şekil 3.1 : Elektrot kaynağı uygulaması [11].

3.2.2.1 Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotlar

Elektrotlar genel olarak çıplak elektrotlar ve örtülü elektrotlar olarak iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar; çıplak elektrotlar ve örtülü elektrotlardır.

Çıplak elektrotlar, karbon elektrotlar ve tungsten elektrotlar bu grubun içerisine dahil edilmektedir. Karbon elektrotlar, temelinde grafit olup ince bakır örtüsü ile kaplı daire kesitlidirler. Tungsten elektrotlar ise koruyucu gaz atmosferi altında kullanılan zaman zaman da zirkonyum ve toryum ile alaşımlandırılarak daha yüksek akım şiddetiyle kullanılabilir [12,14,15].

Örtülü elektrotlar, Örtü tabakası çıplak telin üzerine daldırma veya presleme ile oluşturulur. Örtülü elektrotlar asidik, bazik, selülozik ve rutil olmak üzere 4 çeşittir.

Asidik örtülü elektrotlar, Bu elektrotlar temel olarak oksit ve silikatlardan meydana gelmekte olup örtülerinde demir oksit ve manganez bulunur. Kaynak dikişleri iyi bir sürekliliğe sahiptir ve kaynak mukavemeti düşüktür. Bu elektrotlar çabuk akan düz dikişler oluşturur ve her pozisyon için uygundur. Ancak, aralık doldurma kabiliyetlerinin yetersiz olması nedeniyle kaynak ağzlarının çok iyi hazırlanması gerekiyor ve kullanım alanını sınırlandırmaktadır [12,14].

Bazik örtülü elektrotlar, Bu elektrotlar temel olarak kalsiyum florid ve kalsiyum karbonat gibi toprak alkali metallerin karbonatlarından oluşur.

Elektrotlar 150°C'de fırınlarda muhafaza edilerek kaynak metalinin hidrojen içeriği 10-15 ml/ 100 g seviyelerine kadar indirgenir. Bu sayede, hidrojen gevrekliğinden dolayı yüksek mukavemetli çeliklerde çatlama riski minimize edilmiş olur. İyi bir mekanik özellik elde etmek mümkün olup genellikle karbon-manganez çeliklerine ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılır. Bazik elektrotlar her pozisyonda kullanılabilirliği imkanı ve iyi bir aralık doldurma kabiliyeti vardır [12].

Selülozik örtülü elektrotlar, ark ile yanarak un ve kağıt hamuru gibi gaz haline geçen organik maddeler içerir. Bu bileşenler hidrojeni oluşturmaktadır ve havanın yerini almaktadır. Diğer elektrot tiplerine nazaran %70 daha fazla nüfuziyet derinliği sağlar. Kaynak dikişinin mekanik özellikleri iyidir. Fakat hidrojen ihtiva etmesi sebebiyle yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılamazlar [12].

Rutil elektrotlar, temel olarak titanyum oksit esaslıdır ve örtüdeki oranı %35 mertebesine kadar ulaşmaktadır. Örtü kalınlığı arttıkça kaynak dikişinin kalitesi

iyileşir. Kaynak dikişinin mekanik özellikleri yapı çeliklerine kullanımına uygundur. Ancak yüksek derecede hidrojen içermesi sebebiyle yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanıma uygun değildir [12,15].

3.2.3 Gazaltı kaynağı

Gaz altı kaynağı, kaynak bölgesi bir gazla korunan özel bir ark kaynağı yöntemidir. İlk olarak 1926 yılında “Alexender” usulü olarak ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde, dışarıdan koruyucu bir gaz ve otomatik olarak sürekli beslenen ve eriyen elektrot kullanılır. Optimum donanım seçilerek, ark boyu, akım şiddeti ve elektrot besleme hızı kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit değerde tutulur [11,12].

İstenilen kaynak kalitesini sağlayabilmek için esas metal malzemesi, elektrot bileşimi, kaynak pozisyonu ve kaynak bağlantısı gibi değişkenler önemli parametrelerdir.

Bu kaynak yönteminde kullanılan elektrot ve gazların cinsine bağlı olarak gaz koruyucu yöntemleri TIG (Tungsten Inert Gas) ve MIG (Metal Inert Gas) veya MAG (Metal Active Gas) olarak sınıflandırılabilirler [11,15].

3.2.3.1 Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı

Bu kaynak yönteminde, 1940-1944 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri’nde özellikle magnezyum ve diğer hafif metal alaşımlarının kaynağı için geliştirilmiş ve koruyucu gaz olarak soy bir gaz olan helyum gazı kullanılmıştır. Kaynak arkı, erimeyen tungsten elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir. Ark, koruyucu gazlar helyum ve argon tarafından korunur. Helyumu gazı ilk etapta kullanılmıştır fakat; havadan hafif ve uçucu olması sebebiyle daha sonra argon gazı kullanılmaya başlanmıştır. Havadan daha ağır olması ve kaynak bölgesini korumada daha etkili olduğu için tercih edilmektedir.

Bu yönteminde kullanılan elektrotlar saf tungsten veya zirkonyum ve toryum ile alaşımlandırılmış elektrotlardır. Şekil 3.2’de TIG kaynak uygulamaları örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : TIG kaynağı uygulamaları [11].

3.2.3.2 Metal inert gaz (MIG) ve metal aktif gaz (MAG) kaynağı

MIG kaynağı, 1948 yılında ABD’de “Linde Air Products Company” tarafından alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır. Daha sonrasında da yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının ve karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmıştır. Bu yöntem, TIG kaynağına çok benzerdir sadece TIG kaynağına göre fark arkın, kaynak yerine otomatik olarak gelen ilave metal ile iş parçası arasında teşekkül etmektedir. Yüksek akım şiddeti mükemmel bir erime özelliği ile derin bir nüfuziyet sağlar. Bu sebeple 20 mm derinliğe kadar ağız açmadan kaynak yapma avantajı olmaktadır [14].

MAG kaynağı, 1950 yılında geliştirilmiş ve ilk olarak otomobil sektöründe kullanılmıştır. Öncelikle sadece yatay pozisyonda kaynak yapılabilme imkanı vardı. İnce çaplı elektrotların kullanılmaya başlanmasıyla beraber her pozisyonda kaynak yapılabilme imkanı olmuştur. Başlangıçta koruyucu gaz olarak karbondioksit (CO_2) kullanılmış ve daha sonraki süreçte arkı yumuşatmak ve sıçramayı azaltmak için %75’e kadar argon gazı ile karıştırılarak kullanılabilmektedir. Sprey ark yönteminin keşfedilip uygulanmasıyla birlikte kalın çaplı elektrotlarla da her pozisyonda kaynak yapılabilmektedir [14,15].

Bu kaynak yönteminde koruyucu gaz şu kriterler göz önüne alınarak seçilmektedir: kaynaklanan metal veya alaşımın türü, ark karakteristiği, kaynak hızı, parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi, kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler ve maliyet [11]. Şekil 3.3’de MIG kaynak uygulamaları örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : MIG kaynağı uygulamaları [11].

3.3 Kaynak Dikişi

3.3.1 Dikişin alaşım yapısı

Kaynak; bir ergitme ve sonrada katılaşma olayı olduğundan kendine özgü bir metallurjik yapı ile doğar. Kaynak dikişinin yapısı ana metalin yapısından farklıdır.

Kaynak dikişinin kimyasal yapısı ana metal ile elektrod harmanından oluşmuştur. Elektodu uygun seçmek suretiyle kaynak dikişinin yapısı ana metalin yapısına yaklaştırılabilir. Ancak tıpa tıp aynı yapı elde edilemez. Çünkü bazı alaşım elemanları yüksek sıcaklıklarda çeşitli yollarla yanarak kimyasal bileşik oluşturarak veya ayrışarak kaybolurlar. Bu kayıp elektrodun zengin karışım yapılmasıyla karşılanmaya çalışılır. Fakat çoğu zaman bu gerçekleşmez. Ayrıca yanma derecesi kullanılan ısı kaynağı, kaynak yerini çevreleyen ısı atmosfere ve kullanılan kaynak yöntemine göre değişir. Hava atmosferine karşı korunma tam değilse, oksijen ve azot ergime bölgesi atmosferi tarafından absorbe edilir. Oksijen kaynakta kaydedilemeyen birçok yanmalara sebep olur. Oksijen, alaşımda mevcut birçok elemanla birleşerek kaynağın kalitesine etki eden oksitler meydana getirir. Örneğin, kaynak banyosunda erimiş haldeki çeliğin içeriğinde bulunan karbonla CO oluşturur ve bu gaz katılaşma esnasında dışarı çıkarken gözenekler meydana getirebilir [14].

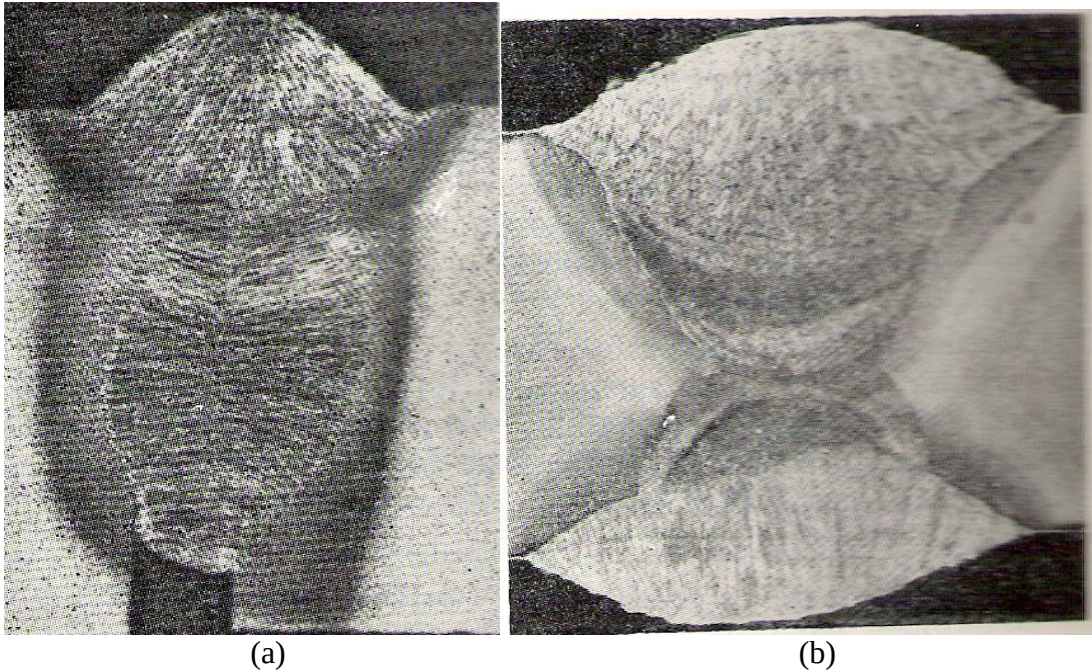
İyi kaliteli kaynak dikişi elde etmek için, kaynak yerini havanın etkisinden korumak veya diğer bir yöntemle meydana gelecek kimyasal ve metalurjik reaksiyonları kontrol altında tutmak gerekir. Oksijenle oluşacak reaksiyonları kontrol için kullanılan bir yöntem, ilave kaynak metaline (tel veya elektrot) manganez, silisyum ve bazen de alüminyum ve titan gibi deoksidan maddelerin ilavesidir [14].

Alaşım yönünden sorun, sadece kaynak dikişi ile ana metal arasındaki farklılık değildir. Aynı zamanda alaşımın kaynak dikişi içerisinden homojen olmayışı da sorundur. Kök pasoda ana metaldir. Kapak pasoda da elektrodun katkısı çoğunluktadır [15].

3.3.2 Dikişin tanelisel yapısı

Kaynak dikişinin yapısı tane büyüklüğü bakımından da homojen değildir. Tane yapısına etkiyen 1. faktör soğuma olayıdır. Soğuma yavaş olursa iri taneler oluşur soğuma hızlı olursa ince taneler oluşur. Taneler ısı kaçağının en çok olduğu yöne doğru uzarlar. Bazı durumlarda sütün şeklini alırlar ve istenilmeyen bir durumdur. Çünkü mekanik özellikler zayıflar ve buna yapının yönlenmesi adı verilir. Tanelerin yönlenmesi hiç arzu edilmeyen bir durumdur.

şekil 3.4a'da şematik olarak kaynak dikişindeki tanelerin yönlenmesi göstermektedir. Kaynak 2 pasodan oluşmuştur. Yönlenme 1. pasoda yatay, 2. pasoda düşey doğrultudadır. Kaynak ısısı ana metal kütleleri tarafından emildiğinden tane yönlenmesi kendini bu duruma göre yönlendirir.

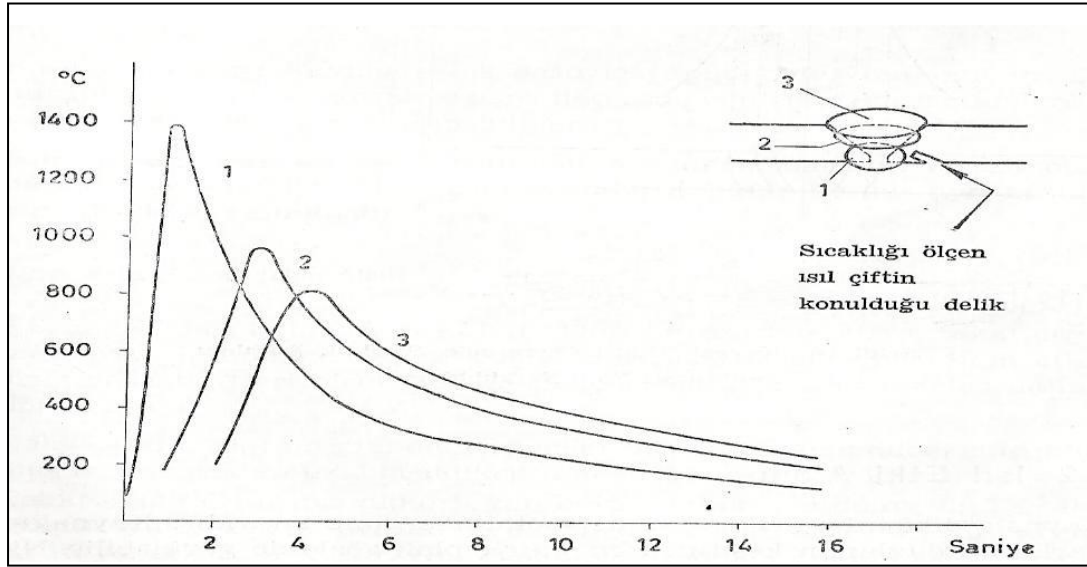


şekil 3.4 : (a) Sütünsal ve kaba taneli kaynak yapısı (x10) (b) İnce ve kaba taneli bölgeleriyle kaynağın tipik yapısı (x4) [11].

şekil 3.4b'de kaynak kesiti gösterilmektedir. İlk paso kesit merkezindedir. nce taneli izotrop bir yapıdadır. Dış kısımları oluşturan son pasolar ise iri ve sütünsal

yönlenmiş bir durumdadır. Bu görünüş kaynağın tipik yapısıdır. Eğer kaynak çok pasolu ise kendinden sonra gelen her paso alttakine ısı işlem uygulayacağından taneli yapıyı ıslah eder taneler küçülür ve yönlenme kaybolur. Fakat, son paso için bu durum söz konusu olmaz [15].

Şekil 3.5’de 3 pasolu bir kaynağın yapılışı sırasındaki sıcaklık çevrimi görülmektedir. 1. paso çekilirken sıcaklık neredeyse ergime sıcaklığına varırken, 2. ve 3. pasolarda daha aşağılara düştüğü görülmektedir.

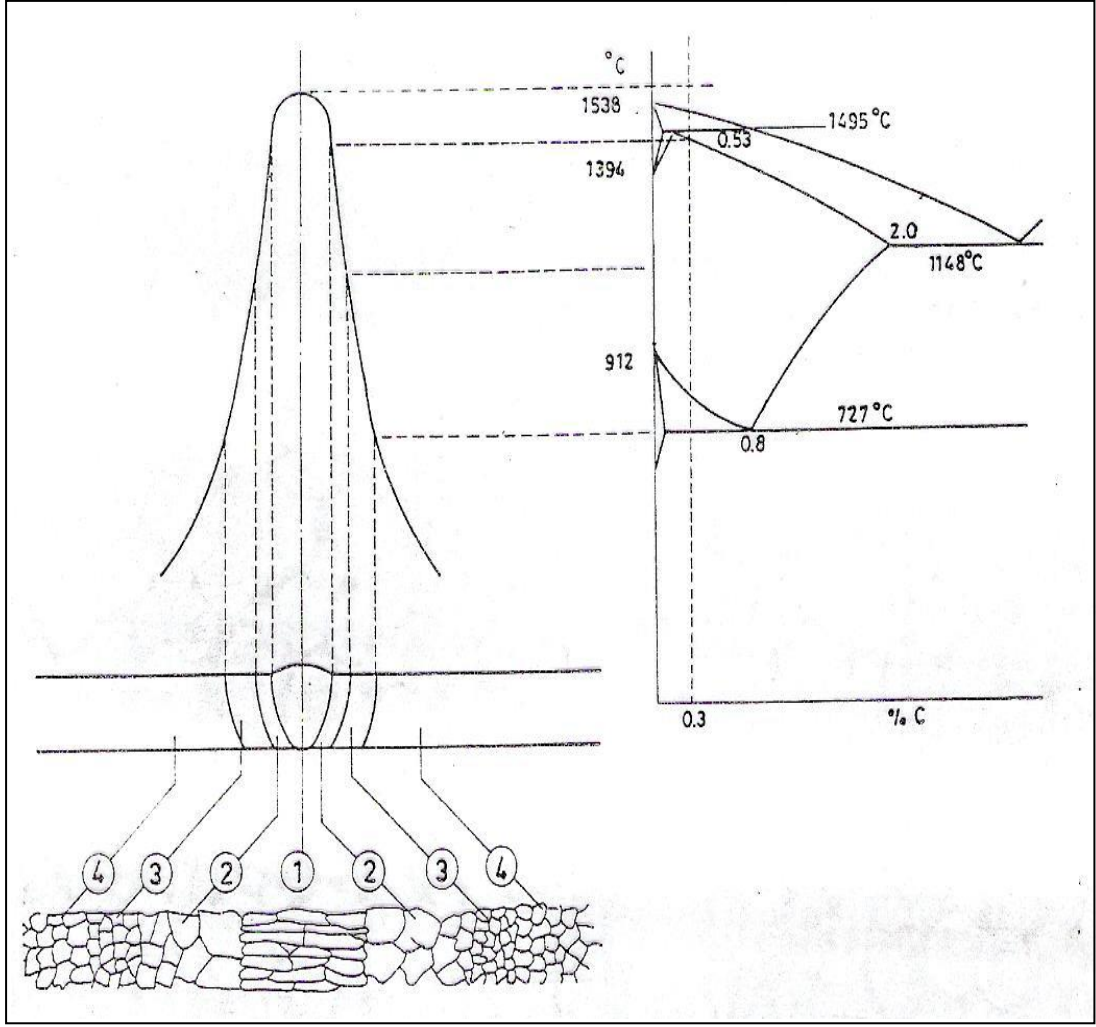


Şekil 3.5 : Üç pasolu dikişte köke çok yakın bir noktada sıcaklık değişimi [11].

3.4 Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)

Şekil 3.6’da kaynak dikişinde ve ısı etkisi altında kalan alanda sıcaklıkla – tane yapısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekilde 3.6’da da görüleceği gibi kaynak dikişinin bulunduğu kısımda 1.bölge sıcaklık ergime derecesindedir. Soğuduğu zaman ısı kaçış yönünde sütunsal taneler oluşmaktadır. Kaynak dikişi dışında ergime derecesine ulaşmayan alt kritik sıcaklığa (723 °C) kadar inen bir ısı ana metali etkiler. Kaynak dikişini çevreleyen bu kısma Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) adı verilir. Burada iki temel değişim söz konusudur ve şu şekildedir:

- 1- Ana metalin mevcut taneli yapısı çöker, yerine şartların oluşturduğu yeni bir yapı doğar.
- 2- Daha önce ısı işlemlerle (yumuşatma, sertleştirme, temperleme) ana metale kazandırılmış özellikler bozulur.



Şekil 3.6 : Kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla taneler yapı değişimi [11].

ITAB tane yapısı bakımından kaba taneli yakın alan ve ince taneli uzak alan olarak iki gruba ayrılmıştır.

Kaba taneli yakın alan, sıcaklığın 1100°C'nin üstüne çıktığı alandır. Aşırı sıcaklık etkisinden taneler birbirine kaynayarak daha büyük hale gelirler. En iri taneler kaynak dikişinin hemen yanında oluşur. Sınırdan uzaklaştıkça taneler küçülür. Çelik, 1100°C'nin üzerinde çok, altında az eriticidir. Bu nedenle Al, V, Nb ve Zr gibi artıklar kalıntılar bu sıcaklığın altında çökeler ve tane sınırlarında toplanırlar. Bu birikintiler tanelerin büyümesini engellerler. İri taneli bu alanın bir başka özelliği de martenzit yapının burada oluşmasıdır. Dolayısıyla sertlik burada maksimuma çıkar.

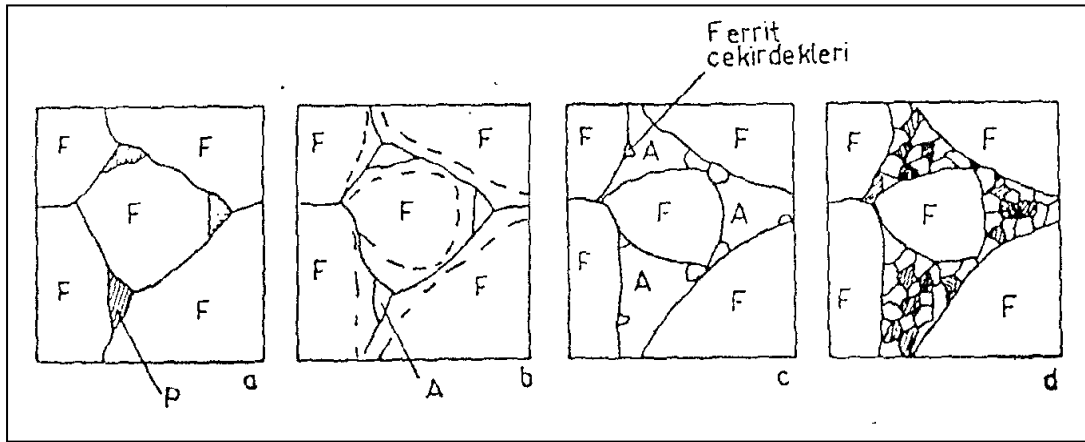
Kısaca bu yapının özellikleri şu şekildedir:

- 1- Kaba taneli ve sert,

2- Kaynak dikişinin en zayıf yeri

3- Çatlama ve korozyona en uygun yerdir.

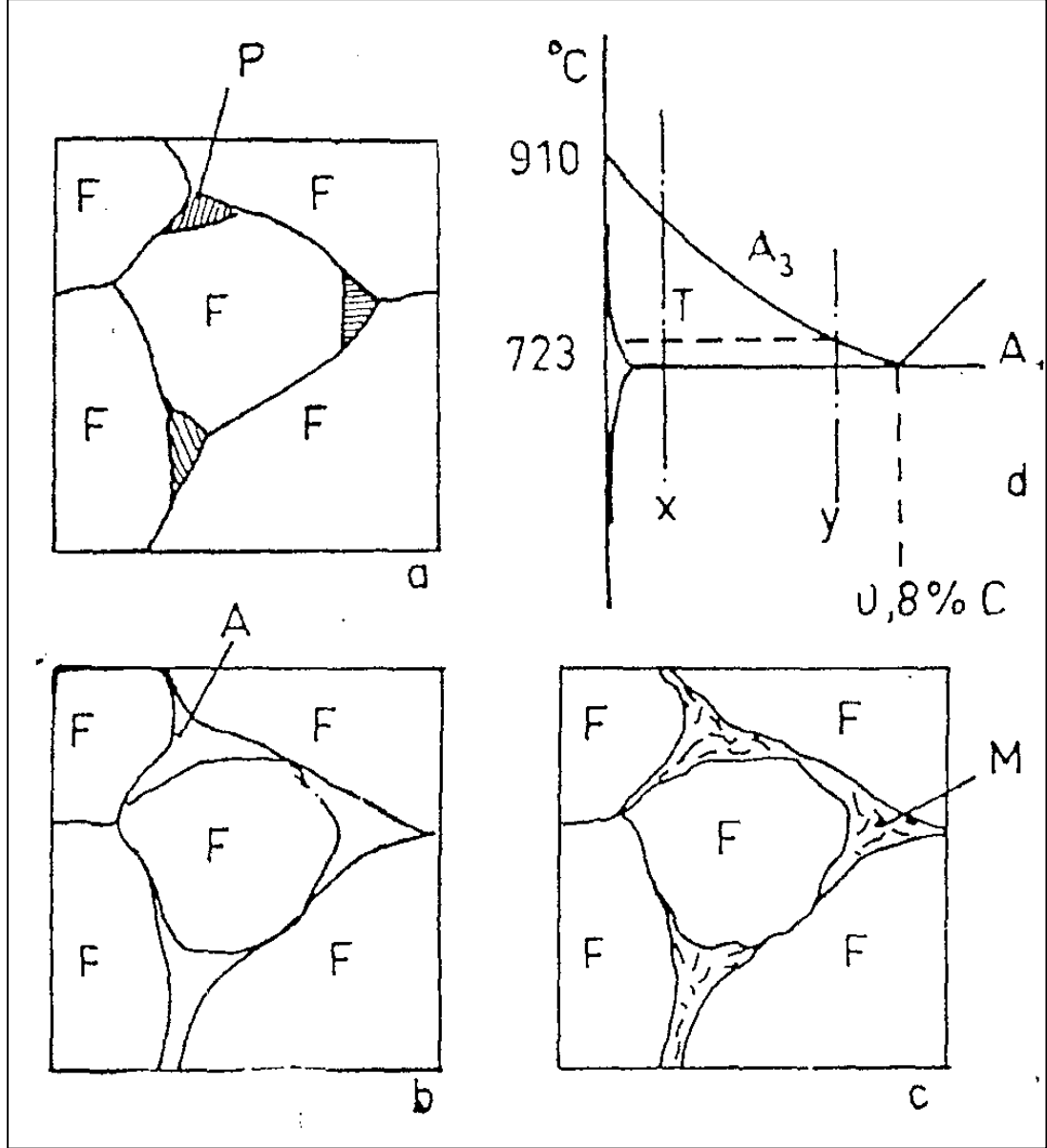
İnce taneli uzak alan, 1000°C – 723°C arasında sıcaklığın etkilendiği, fakat tane büyümesi yaratacak sıcaklığa erişmediği alandır. Ferrit ve perlit taneleri kısmen östenite dönüşmüşlerdir. Sıcaklığın düşük olması bu sıcaklıkta kalıp süresinin az olması nedeniyle ince tane oluşur. Bu taneler ana malzeme tanelerinden daha küçüktür. Bu oluşum şu şekilde açıklanabilir. Meydana gelen östenit taneleri orijinal ferrit tanelerinden daha iridir. Soğuma esnasında ferrit ile östenit arasındaki denge bozulur. Sonuçta ferrit östenit içerisinde, çekirdekleşir. Soğuma çekirdekleşmeyi teşvik eder ve neticede östenit karbon bakımından zenginleşir. Sıcaklık 723°C 'ye düştüğünde kalan östenit perlitte dönüşür ve perlit çekirdeklerinin büyümesi başlar. Isınma ve soğuma çevrimi sonucunda orijinal ferrit taneleri ufalmış, orijinal perlit taneleri ise küçük ferrit ve perlit tanelerinden oluşmuş koloniler şeklinde Şekil 3.7'de görülmektedir. Bu bölgede martenzit oluşumu az olup kaynak dikişinden meydana gelebilecek sıkıntı minimumdur [14].



Şekil 3.7 : % 0.20'lu çelikte 3 numaralı bölgedeki yapı değişimi [11].

Ancak hızlı soğuma halinde meydana gelen yapı değişiklikleri şematik olarak Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Örnek olarak düşük karbonlu çelik seçilmiştir. Oda sıcaklığında kaynaktan önce yapı biraz perlit ihtiva eden ferrittir. 723°C (A_1) sıcaklığına erişince, perlit aynı miktarda karbon ihtiva eden östenite dönüşür. Maksimum sıcaklığın (A_1)'in üstüne çok az çıktığı burada, sadece ferritin çok az kısmı östenitleşir ve östenit çok yüksek miktarda karbon ihtiva eder (Şekil 3.8). Meydana gelen östenit ferrit taneleri sınırı boyunca yayılır. Çok karbon ihtiva eden

östenit, östenit dönüşmesinin tamamlandığı bölgedeki az karbon ihtiva edene göre daha düşük bir kritik soğuma hızına sahiptir. Çabuk soğumada ferrit taneleri arasındaki östenit martenzite dönüşebilir. Eğer tane sınırları etrafında yayılmış ise, ferrit taneleri arasında yüksek karbonlu bir martenzit ağı şeklinde oluşur [11,15].



Şekil 3.8 : Isı etkisi altında kalan bölgenin hızlı soğumasıyla meydana gelen yapı değişikliği [11].

ITAB genişliği, 1 – 3 mm arasındadır. (A_1) sıcaklığına erişemeyen esas metal kısımlarında kalıcı bir etki meydana gelmez [11,14].

4. ÖN ISITMA VE GERİLME GİDERME TAVLAMASI

Bu çalışmada kaynak işlemi sırasında ön ısıtma ve kaynaktan sonra gerilme giderme tavlaması uygulanmıştır.

4.1 Ön Isıtma

Kaynak dikişi etrafında sıcaklık dağılımını homojenleştirmek ve kaynak dikişinin soğuma hızını düşürerek malzemenin sertleşmesini ve kırılgan bir hal almasını bir nebze de olsa önlemektedir. Başlıca etkileri şu şekildedir:

- 1- Kaynak dikişi ve ısı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) muhtemel oluşabilecek çekme gerilmelerini minimize eder.
- 2- Dikiş sıcaklığının M_s (martenzit dönüşümünün başlangıç sıcaklığı) sınırına yaklaşması ferrit, perlit ve beynit dönüşümlerini geciktirerek zaman kazandırılır ve martenzit yapısı daha az oluşur.
- 3- Sıcaklık, hidrojen yayılımı için gerekli eşik seviyesinin üzerinde tutularak hidrojen kaynağın ısı etki alanını terketmesi sağlanarak hidrojen kırılganlığının oluşması engellenmiş olmaktadır [16].

4.2 Gerilme Giderme

Demir ve demir-dışı metallere uygulanan talaşlı işlem, soğuk şekillendirme ve kaynak gibi ön imalat işlemleriyle meydana gelen iç kalıcı gerilmeleri gidermek amacıyla yapılan tavlama yöntemidir [17].

Malzemeyi A_1 alt kritik sıcaklığın altında standartlara göre tavsiye edilen sıcaklığın aralığına kadar ısıtmak, o sıcaklıkta malzeme kalınlığına göre belli bir süre beklettikten sonra yavaş bir şekilde soğutarak gerilme giderme tavlaması yapılmaktadır.

4.2.1 Kaynakta ısıt işlemleri gerekli kılan malzeme koşulları

Kaynak işleminden sonra havada soğutmaya maruz kalan malzemeler sertlik kazanarak gerilme giderme tavlamasına tabii tutulmak zorunda kalır. Sertleşme eğilimi iki temel faktöre bağlıdır:

- 1- Malzeme cinsi veya bileşimi
- 2- Cidar kalınlığı

Çizelge 4.1’de gerilme giderme tavlaması özellikle ferritik alaşımlı çeliklere özgü bir proses olduğu görülmektedir. Kısmen yüksek alaşımlı (paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri için de ihtiyaç duyulsa da kaynak teknolojisi itibarıyla çok fazla gereksinim duyulmamaktadır.

Gerilme giderme yapılması gereken ve gerekmeyen malzeme tipleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Kaynak sonrası gerilme giderme tavlaması gerektiren ve gerektirmeyen malzemeler [16].

GERİLİM GİDERME TAVLAMASI GEREKTİREN MALZEMELER
1. Ferritik çelikler 1.1. Karbonlu çelikler 1.2. Düşük alaşımlı çelikler 2. Yüksek alaşımlı (paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri
GERİLİM GİDERME TAVLAMASI GEREKTİRMEYEN MALZEMELER
1. Östenitik (paslanmaz) çelikler 2. Nikel ve alaşımları 3. Bakır ve alaşımları 4. Alüminyum ve alaşımları 5. Titanyum ve alaşımları

Isıl işlem gereksinimi için diğer bir önemli faktör olan cidar kalınlığı kaynak sonrası gerilme giderme üzerinde etkilidir. Tavlama, et kalınlığı 13 mm ve üzerindeki alaşımlı ve karbon çeliklerine uygulanır [17].

4.2.2 Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı

Bu çalışmada düşük karbonlu ferritik çeliklerin kaynak ve ısıt işlemleri üzerine yoğunlaşacağız. Bu nedenle sertleşme kabiliyeti ve kaynaklanabilirlik tayini önemli kavramlardır. Alaşım katkıları arttıkça sertleşme kabiliyeti de beraberinde artarak kaynaklanabilirlik azalır.

Karbon eşdeğeri, alaşım elementlerinin kaynak kabiliyeti üzerindeki etkilerini tayin etmemize yardımcı olan bir veridir. Karbon eşdeğeri şu formülle hesaplanır:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Karbon eşdeğerini hesaplama formülünde de görüldüğü üzere Mo, Cr ve V elementleri kaynaklanabilirlik üzerine etkisi yüksektir. Bu nedenle; yüksek sıcaklıklarda dayanımı ile bilinen Cr-Mo ve Cr-V alaşımları ısıt işlem yapılmadan kaynak edilebilmeleri imkansızdır.

Düşük alaşımlı çelikler kaynak eşdeğerine göre ön ısıtma ve gerilme giderme gereksinimi açısından 3 gruba ayrıldığını Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Orta ve yüksek servis sıcaklıklarında çalışan farklı tipteki çeliklerin bazı mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ısıt işlem gereksinimi [16]

Karbon Eşdeğeri, %	Ön Isıtma	Gerilme Giderme
< 0.40	Gereksiz	Gereksiz
0.40 – 0.60	Gerekli	Gereksiz
> 0.60	Zorunlu	Zorunlu

Çizelge 4.3 : Sıcak hizmet için ferritik çeliklere örnekler [16].

Tanımı	Karbonlu Çelik		Cr-Mo Çelik	
Hizmet Alanı	Orta Sıcaklıklar < 415°C		Yüksek Sıcaklıklar < 565°C	
ASTM Kodu	A106		A335	
	Gr A	Gr B	AISI P11	P22
ASME P No.	1		4	5
DIN Eşdeğeri	17 175			
	St 35.8	St 45.8	13 Cr Mo 44	10 Cr Mo 910
Bileşimi % C maks. Mn Si Cr Mo	0.25 0.27-0.93 >0.10	0.30 0.29-1.06 >0.10	0.15 0.30-0.60 0.50-1.00 1.00-1.50 0.44-0.65	0.15 0.30-0.60 <0.50 1.90-2.60 0.87-1.13
Karbon Eşdeğeri %	0.35	0.41	0.63	0.95
Çekme dayanımı Kg/mm ²	34	42	42	42
Akma dayanımı Kg/mm ²	21	24	21	21

4.2.3 Soğuk servis

Ferritik çelikler soğuk hava koşullarında sünekliklerini yitirerek adeta camlaşırlar. Gevrekleşen yapı darbeye karşı dayanımı azaltır ve çentiğe karşı hassasiyeti arttırmaktadır. Bu yüzden çentik darbe deneyi soğuktan etkilenme derecesinin zorunlu olarak ölçüldüğü standart bir yöntemdir ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir.

4.2.4 Isıl işlem başarısının kontrolü

Gerilme giderme tavlama sürecinin doğru yapıp yapılmadığını belirlemede saha şartlarında iki adet standart yöntem vardır:

- 1- Isıl işlem grafiğinin kontrolü
- 2- Sertlik ölçme

Isıl işlem grafiği üzerinde başlıca şu noktalara dikkat edilir:

- Isıtma ve soğutma hızları
- Tavlama sıcaklığı ve süresi
- Ani sıcaklık değişimi göstererek süreksizliğinin bulunup bulunmadığı

Kesin bir sonuç vermemesiyle birlikte fikir edinilmesi açısından pratik olarak sertlik kontrolü yaygın olarak yapılan bir yöntemdir. Saha şartlarında kaynak dikiş bölgesinden en az 3 kez sertlik ölçümü yapılarak ortalaması alınır ve standartlara göre öngörülen değeri aşmıyorsa gerilme giderme ısıtma işleminin başarılı olduğuna karar verilir. Genel prensip olarak kaynak dikişi ile ana metal arasındaki sertlik değeri arasında büyük bir farklılık bulunmaması gerekmektedir. Aksi takdirde kusur olarak değerlendirilir. Kaynak dikişinin ana malzemeden fazla sert olması çatlamanın dikişden olacağını, fazla yumuşak olması kopmanın oradan olacağını gösterir. Karbon çelikleri için genel kabul görülen limit değer 200 BS sertlik değeridir [16].

4.2.5 Ön ısıtma ve gerilme giderme tavlama yöntemleri

Gerilme giderme tavlama yöntemleri fırında ısıtma, propan gazında yerel ısıtma, elektrik direnciyle ısıtma ve endüksiyonla ısıtma olmak üzere 4 çeşittir.

4.2.5.1 Fırında ısıtma

Temel prensip olarak gerilme giderme tavlama öncelikle fırında ısıtma yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Tercih edilmesinin en önemli sebepleri: büyük hacimli parçaların tamamı aynı anda ısıtılarak her bölgede homojen ısıtılması ve kontrollü atmosferin sağlanmasıdır. Bu şekilde çatlama ve ısıtma gerilme riski minimize edilmiş olur. Ayrıca, oksitlenmenin (tufal oluşumunun) önüne geçilebilmektedir.

Fırın içerisinde yerleştirilecek olan ısıtma çiftleri nizami ve dikkatli bir şekilde yerleştirilmesi gerekir ki sıcaklık farkı 20°C'den fazla olmaması gerekir.

Sabit fırınlar, taşınabilir fırınlar veya bir vinç yardımıyla parçanın üzerine kapak gibi oturabilen tipte fırınlar vardır.

4.2.5.2 Propan gazıyla yerel ısıtma

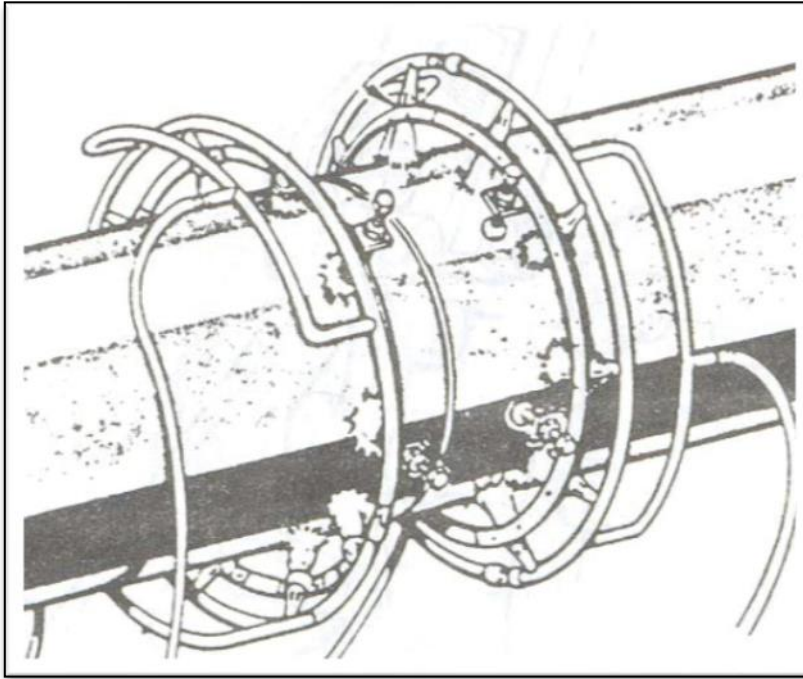
Boru ve silindirik şeklindeki gövdeleri saran ve her noktadan alevle üniform olarak propan gazı üfleyerek (LPG) ön ısıtma ve gerilme giderme tavlama yapılır. Ancak, bu yöntem bazı sakıncalar doğurması nedeniyle gerilme gidermede sık tercih edilmemektedir. Bunlar;

- 1- Sadece boruların iç yüzeyine ısıtma çiftlerinin monte edilebilmesi ve bu nedenle sıcaklıkların otomatik kayda alınamaması,

- 2- Isıtma ve soğutma hızları elle gaz vanalarını ayarlayarak yapılabilmesi dolayısıyla hassas sıcaklık kontrolü yapılamaması,
- 3- Tavlama sıcaklığına ulaştığında vişne rengini alan malzeme yüzeyinde CO ve CO₂ gazları sementasyona sebep olarak sertleşme eğilimi kazanması

Kızılötesi (infrared) ısıtma, diğer bir propan gazı ve doğalgaz kullanılarak yapılan ısıtma yöntemidir. Bu yöntemde alev, sık dokunmuş tel örgünün gerisinde kalır; alevin ve kızıl sıcaklığa ısınan tel kafesin yaydığı kızılötesi ışınlar parçayı ısıtır. Tel örgünün ısı yoğunluğunun düşük seviyede olması nedeniyle gerilme gidermeden daha çok ön ısıtmada kullanılmaktadır.

Propan gazı kullanılarak yapılan ısıtma işlemi yöntemi örneği Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Propan gazıyla yerel ısıtma [18].

4.2.5.3 Elektrik direnciyle ısıtma

Elektrik direnciyle ısıtmanın temel üstünlükleri şu şekildedir:

- 1- Malzeme yüzeyinden karbon kaybını engeller,
- 2- İstenildiği takdirde vakum veya inert ortam oluşturularak parça yüzeyinin oksitlenmesi engellenebilir,
- 3- Isı enerjisi kontrolü hassas ve tam otomatik olarak yapılabilir,
- 4- Yüzey sıcaklığı ölçümü ısı çiftleri yerleştirilerek hassas olarak yapılabilir

Yukarıda bahsedilen üstünlükleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Dirençle ısıtmada, direnç elemanı yüksek sıcaklıklara ısıtılarak, buranın ısısı kaynak dikişine aktarılır. Bu tip ısıtma aslında dolaylı bir ısıtma yöntemidir.

Bu yöntemde 220 V, 45 A, tek faz kullanılan ısıtıcıların tipik karakteristik özellikleridir. Direnç telleri ısıya dayanıklı %80 Ni + %20 Cr alaşımdan yapılmış örgülü tellerdir. Kullanılan %96 alüminyum oksit (Al_2O_3) seramikler ısıya dayanıklı yüksükler içine geçirilmek suretiyle yalıtılmıştır. Boru üzerine sarılan teflon yalıtımlı bağlantıları olan standart seramik ısıtıcı tipi gösterilmektedir. Seramik ısıtıcılar; malzeme çapı, et kalınlığı, iç konveksiyon ve çevre koşullarına bağlı olarak seçilmektedir [20,21].

Ön ısıtma ve gerilme giderme işlemi için kullanılan bu tip ısıtıcılar hassas enerji kontrolü ve hassas sıcaklık kontrolü yapmaya imkan verir. Isıtma ve soğutma hızlarının ısıtma işlem prosedüründe önemli bir yer teşkil etmesi sebebiyle ısıtıcılar kesintili olarak çalışır. Kumanda ve kontrol birimine bağlı çalışarak program dahilinde ısıtma işlemi yapılması sağlanır. Tam otomatik çalışan cihazlarda, program bölümüne istenilen ısıtma hızı, bekleme sıcaklığı, bekleme süresi ve soğutma hızı talimatı verilir. İşlem tamamlandığında makina otomatik olarak kapanır ve ısıtma işlemi prosedürünün sıcaklık-zaman grafiği cihazın yazıcı bölümünden çıktısı alınır. Bu akıllı cihazlar sayesinde insan faktörü en aza indirilmiştir. Şekil 4.2’de bu yöntemin aşamaları gösterilmektedir.

4.2.5.4 İndüksiyonla ısıtma

Isıtılmak istenen malzeme dalgalanan manyetik alan içerisine konulur. Parçada endüklenen histeriziz ve girdap akımları ısı üretir. Ferritik çelikte bunların herikisi, östenitik çelikte sadece ikincisi endüklenir ve bu şekilde yüksek sıcaklıklara kadar ulaşılır. Bu yöntemde kaynak çevresinde yapay bir bobin tutularak doğrudan ısıtma yapılır. Burada ısı parçanın içerisinde sağlanarak ısı kayıpları minimize edilir. Boru cidarının iç ve dış yüzeyinde sıcaklık farkı minimum olur [22,23].



(a)



(b)



(c)



(ç)

Şekil 4.2 : (a) Isıl çift bağlantısı, (b) Seramik ısıtıcıların sarılması, (c) Seramik ısıtıcıların izolasyonun yapılması ve (ç) Program bölümüne ısıl işlem değerlerinin girilmesi [18].

220 V şebeke voltajı endüksiyonda doğrudan kullanımı uygun olmaz. Temel olarak çekinceler şu şekildedir: düşük voltaj güvenliği arttırır ve voltaj düşerken akım şiddeti artar, bu sayede bobin sarım sayısı makul seviyede yapılır. Yüksek akım kullanılması sebebiyle tek fazlı, tek sargılı transformatöre ihtiyaç vardır. Tipik transformatörün giriş 380 V, çıkış 70 kVA'dır. Yüksek akım iletkenliği gerektiren kablolar bakırdan yapılır ve kalın kesitli kablolar kullanılır. Ayrıca, kablo boyu mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır [16,21].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada AISI P11 kalite ve AISI P91 kalite CrMo alaşımlı çeliklerinin kaynak bölgesine uygulanan gerilme giderme tavlama sıcaklığının sertlik, akma ve çekme dayanımı, kopopma uzaması ve darbe direnci gibi mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Gerilme giderme tavlama işlemi, ısıtma ve soğutma hızı, tavlama süresi, ön ısıtma sıcaklığı, kaynak yöntemi ve elektrotlar tipi sabit tutulup, tavlama sıcaklığı değişken parametre olarak seçilmiş ve gerilme giderme tavlama sonrası oluşan mikroyapı ve mekanik özellikler incelenerek optimum tavlama sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

5.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

EN 10216-2 standardına göre üretilmiş 16 mm et kalınlığında AISI P11 kalite (çap 108 mm) ve AISI P91 kalite (çap 139.7mm) borular uygun kaynak ağzı açılarak (75° kaynak ağzı açısı ve 2 mm kök nüfuziyet boşluğu) toplam 10 paso kaynak ile birleştirilmiştir. Kök paso diye adlandırılan birinci paso TIG kaynağı ile diğer pasolar ise elektrik ark kaynağı yöntemi ile kaynatılmıştır. Kaynak esnasında kullanılan ilave dolgu metali, koruyucu gaz ve diğer teknik bilgileri içeren Kaynak Yöntem Şartnamesi (Welding Process Specification - WPS), Ek A'da verilmiştir. TIG kaynağında kullanılan ilave metaller, oda sıcaklığında muhafaza edilmiş ve kaynakta atmosfere mümkün olduğunca maruz bırakılmadan kök pasonun kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Dolgu paso ve kapak pasosunun kaynağında kullanılan örtülü elektrotlar bazik esaslı olup nem ve sıcaklık değeri takip edilen depodan alındıktan sonra şoklama fırınında 400°C'de 2 saat şoklandıktan sonra, ısı izolasyonlu elektrot taşıma termoslarında yeteri kadar depo edilerek kullanılmıştır. Kaynak işlemleri sırasında kullanılan elektrotlara ait teknik bilgiler Ek B'de verilmiştir. Kaynak sırasında kök pasonun dış yüzeyi, argon ile atmosferik etkilerden

korunmuştur. Bu işlem sırasında boruların her iki ucu da hava sızdırmayacak şekilde izole edilmiştir.

Kaynak yapılan malzemeler ısıtma işlemi öncesi ve ısıtma işlemi sonrası olmak üzere iki farklı tahribatsız muayene işlemine tabii tutulmuştur.

Isıtma işlemi öncesi ve sonrası yapılan manyetik alan deneyleri EN 5817 standardına göre herhangi bir yüzey çatlaklarına ve benzeri diğer yüzey hatalarına rastlanmamıştır. Kaynak çap yüksekliği, sınır açısı, dikiş genişliği, ITAB genişliği gibi bütün parametreler EN 5817-B sınıfına göre incelendiğinde sınırlar dışında herhangi bir uygunsuzluk tespit edilmemiştir.

Diğer bir işlem olan radyografik muayenede ise ilgili filmlerde herhangi bir iç yapı bozukluğuna rastlanmamıştır.

Eksenel kaçıklık, gaz boşluğu, cüruf kalıntısı, porozite, kök nüfuziyetsizliği, yanma oluşu ve ITAB çatlakları gibi EN 5817-B’de belirtilen sınırları aşan herhangi bir hata bulunmamıştır.

Her iki tahribatsız muayene sonucuna göre bütün numuneler NDT Level 2 seviyesine sahip uzmanlarca onaylanmış olup ilgili raporlar Ek C’de belirtilmiştir.

Ek A’da verilen kaynak yöntemi şartnamesinde görüldüğü üzere, pasolar arası geçiş sıcaklığı minimum 250°C maksimum 400°C arasında takip edilmiştir. Bahsi geçen her iki kaynak yöntemi de alanında uzman ve EN287-1 standardına göre sertifikalandırılmış kaynakçılar tarafından yapılmıştır.

Kaynaklanmak için hazırlanan numunelerin tamamı kaynak yapılmadan önce rezistanslı seramik ısıtıcılarla sarılarak, 100°C/saat hızla maksimum 200°C’ye kadar ön ısıtma işlemine tabii tutulmuştur. Kaynak ağzı beklenen sıcaklığa ulaştığında ısı tebeşirleri ile sıcaklık ölçümü yapılmış ve tek yönlü olarak kaynatılmıştır. Kaynak işlemi sırasında sıcaklık, program kontrol ünitesi vasıtasıyla sabit tutulmaya çalışılmış ve “4.2.5.3 Elektrik Direnciyle Isıtma” adlı bölümde bahsedildiği üzere tam otomatik olarak çalışan mobil akıllı ısıtma cihazlarıyla ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kaynak sonrası ısıtma işlemi ise bu çalışmanın ana parametreleri uygulanmış ve ön ısıtma prosesindeki gibi aynı şekilde mobil ısıtma cihazları kullanılmıştır. Numune bazlı gerilme giderme sıcaklıkları Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 : Numunelere uygulanan tahribatsız muayene işlemleri ve ısıt işlemler.

AISI P91 (EN 15608'e göre 6 grubu)		AISI P11 (EN 15608'e göre 5.1 grubu)	
Isıl işlem için sıcaklık aralığı 740°C-780°C		Isıl işlem için sıcaklık aralığı 620°C-680°C	
No 1	Isıl işlem öncesi MT*	No 1	Isıl işlem öncesi MT
	Isıl işlem:750°C 60dk		Isıl işlem:620°C 60dk
	Radyografik Deney		Radyografik Deney
	Isıl İşlem Sonrası MT		Isıl İşlem Sonrası MT
No 2	Isıl işlem öncesi MT	No 2	Isıl işlem öncesi MT
	Isıl işlem:760°C 60dk		Isıl işlem:650°C 60dk
	Radyografik Deney		Radyografik Deney
	Isıl İşlem Sonrası MT		Isıl İşlem Sonrası MT
No 3	Isıl işlem öncesi MT	No 3	Isıl işlem öncesi MT
	Isıl işlem:780°C 60dk		Isıl işlem:680°C 60dk
	Radyografik Deney		Radyografik Deney
	Isıl İşlem Sonrası MT		Isıl İşlem Sonrası MT
No 4	Isıl işlem öncesi MT	No 4	Isıl işlem öncesi MT
	Isıl işlem uygulanmadı		Isıl işlem uygulanmadı
	Radyografik Deney		Radyografik Deney

*Manyetik toz yöntemi

Çizelge 5.1'de görülen tahribatsız muayene işlemleri EN 1473 standardına göre sertifikalandırılmış uzman kişiler tarafından yapılmıştır.

Manyetik deney (MT) ve radyografik deney ilgili numunelere yapıldıktan sonra akredite olmuş firma tarafından raporlanmıştır. İlgili onaylı raporlar Ek C'de verilmiştir.

Hazırlanan ve kaynaklanan numuneler ilgili ısıt işlem ve tahribatsız muayene aşamalarından başarılı bir şekilde geçtikten sonra otomatik CNC freze tezgahlarında bor yağı kullanılarak ilgili deneylerin standartlarındaki numune ölçülerine göre uzman kişiler tarafından hassas olarak işlenmiştir.

5.2 Uygulanan Deneyler

Kaynak, ısıt işlem ve tahribatsız malzeme muayenesi yapılan numunelere çekme deneyi, darbe deneyi, mikro sertlik deneyleri ve mikro yapı incelemesi yapılmıştır.

5.2.1 Mikro sertlik deneyleri

Metalografik olarak hazırlanan numeneler ilgili görüntü alma işlemleri tamamlandıktan sonra görüntü alınan yüzeyden kaynak metali, ITAB ve ana metalden olmak üzere toplam 15 ölçüm alınarak yapılmıştır. Bu ölçümler Shimadzu marka mikro sertlik cihazında 1 kg yük altında sertlik deneyine tabii tutulmuştur.

5.2.2 Mikroyapı incelemeleri

Otomatik CNC freze tezgahlarında 10 mm x 10 mm x 45 mm ölçülerinde ve kaynak bölgesini referans alarak hazırlanan numuneler farklı tane büyüklüklerine sahip (120, 180, 320, 600, 800, 1000, 1200 ve 2500 mesh) zımparalarla numune yüzeyleri temizlenmiştir. Daha sonra parlatma çuhasında alümina ve farklı mikronlarda elmas solisyonlar kullanılarak 5 dakika süre ile parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma esnasında yıkama sıvısı saf alkol kullanılarak malzemenin su ile teması engellenmiştir. Optik mikroskopta görüntü almak amacıyla farklı kontrast oluşturmak için yüksek krom alaşımlı çeliklerin dağlanmasında kullanılan Vilella (100 ml etanol, 5 ml HCl, 1 gr pikrik asit) dağlama reaktifi kullanılmıştır.

Dağlama işlemi yapılan numunelerin ana metal, ITAB ve kaynak metalinin mikroyapıları, Leica marka optik mikroskopta farklı büyütme oranlarında görüntülenmiştir.

5.2.3 Çekme deneyleri

Çekme deneyi EN 895 Kaynaklı malzemelerin çekme deneyi standardına göre deney uzunluğu 90 mm olan toplam boy uzunluğu 180-200 mm arasında çekme cihazı ağız boşluğuna göre ayarlanan 2'şer adet numune hazırlanmıştır. Et kalınlığı 16 mm borulardan hazırlanan bu numuneler minimum 24 mm genişliğinde sıkma ağzı ve 12 mm genişliğinde çekme bölgesi genişliği verilmiştir. Kaynak bölgesi toplam boyun merkezine odaklanmış olup kök ve kaynak yüzeyi çeltik oluşturmaması adına malzeme et kalınlığına indirilmiştir. İstenen tüm bu ölçüler otomatik CNC freze tezgahlarında işlenmiştir.

Çekme numuneleri Shimadzu marka 1000 kN kapasiteli çekme cihazında 10 mm/dak hızla çekme deneyine tabi tutulmuştur.

5.2.4 Darbe deneyleri

Darbe deneyi TS EN 875 standardına uygun olarak 10mm x 10mm x 55mm ölçülerinde 3'er adet hazırlanmıştır. Otomatik CNC freze tezgahlarında bor yağı kullanılarak hazırlanan numunelerin yüzeyleri 1000 mesh zımpara ile pürüzsüz hale getirilmiştir. Ardından uygun dağılayıcı reaktifli olan "Vilella" kullanılarak kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve ana metal bölgeleri belirlenmiştir. Darbe deneyinin yapılabilmesi için gerekli olan 2 mm derinliğindeki ve 45°'lik çentik açısına sahip V-çentik, uygun şartlarda manuel dik azdırma tezgahında açılmıştır. Numunelerin V-çentikli Charpy darbe deneyleri, oda sıcaklığında, Mohr & Federhaff A.G. marka Charpy darbe deney cihazında gerçekleştirilmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada AISI P11 kalite ve AISI P91 kalite CrMo alaşımlı çeliklerinin kaynak bölgesine uygulanan gerilme giderme tavlama sıcaklığının mikroyapının yanı sıra, sertlik, akma ve çekme dayanımı, kopma uzaması ve darbe direnci gibi mekanik özelliklere etkisi incelenmiş ve sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Gerilme giderme tavlama işlemi ve öncesinde ısıtma hızı, soğutma hızı, tavlama süresi, ön ısıtma sıcaklığı, kaynak yöntemleri ve kullanılan elektrotlar sabit tutulup tavlama sıcaklıkları değişken parametreler olarak seçilerek gerilme giderme sonrası oluşan mikroyapı ve bazı mekanik özellikleri yapılan deneylerle incelenerek optimum tavlama sıcaklığı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları; çekme deneyleri, darbe deneyleri, mikro sertlik deneyleri ve mikroyapı incelemeleri başlıkları altında verilmiştir.

6.1 Mikro Sertlik Ölçüm ve Mikroyapı İnceleme Sonuçları

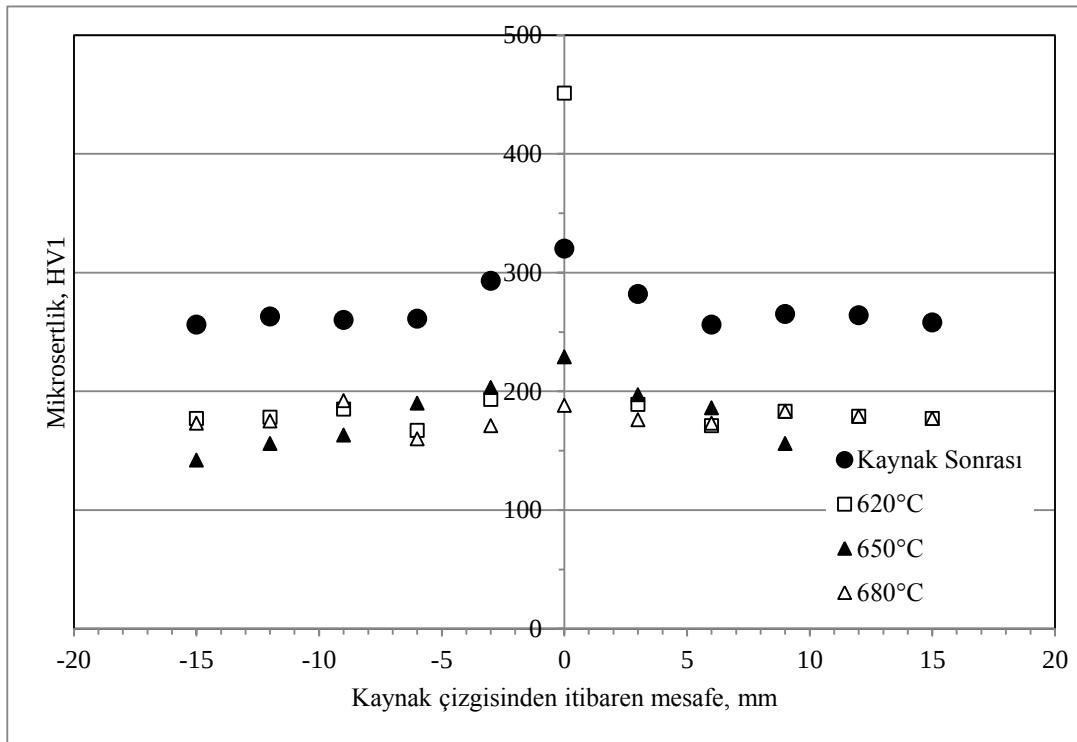
AISI P11 kalite ve AISI P91 kalite CrMo alaşımlı çeliklerin mikro sertlik ölçüm deneyleri ve mikroyapı incelemeleri aşağıda ayrı ayrı ele alınmıştır.

Kaynak yapılan malzemelerde, kaynak bölgesi ana metale göre daha sert olmaktadır. Gerilme giderme tavlama sürecinin amacı ise, yapıda oluşan bölgesel gerilmelerin giderilerek, kaynak bölgesinden ana metale doğru sertlik dağılımının daha homojen olmasını sağlamaktır. Çünkü, ana metal ile kaynak metali arasındaki sertlik farkı servis şartlarında malzemenin istenmeyen sünek ve gevrek yapıları aynı anda bulunmasına neden olacaktır.

6.1.1 AISI P11 kalite çelikler

Yapılan kaynaklarda hazırlanan numulere mikro sertlik esasına dayalı olarak 1000 gr yük altında sertlik deneyi yapılmıştır. Bu deneyin sonuçları Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Beklendiği üzere, en yüksek sertlik dağılımı kaynak işlemi sonrasında elde edilmiştir. Bu malzemede kaynak bölgesinin sertliği de ana metale göre yaklaşık

% 20 daha yüksektir. Kaynak sonrası uygulanan gerilme giderme tavlaması ise kaynak boyunca elde edilen sertlik değerlerinin azlamasına neden olmaktadır. En yüksek sertlik düşmesi, en yüksek gerilme giderme tavlama sıcaklığı olan 680°C’de elde edilmiştir. Bu numuneden kaynak sonrasına göre sertlik azalması yaklaşık %70 düzeyindedir ve kaynak bölgesi ile ana metal arasında önemli bir sertlik farkı da bulunmamaktadır. Öte yandan 620°C ve 650°C sıcaklıklarda gerilme giderme tavlaması uygulanan numunelerin sertlikleri de kaynak sonrasına göre bir miktar azalmış, ancak bu numunelerde kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sertlik farkının gerilme giderme tavlaması sonrasında bile var olduğu görülmüştür.



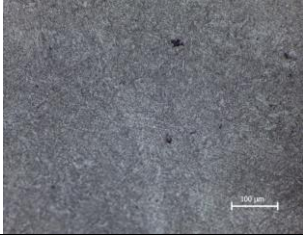
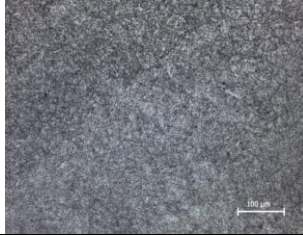
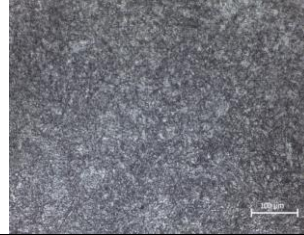
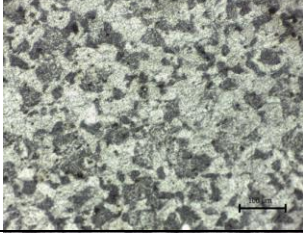
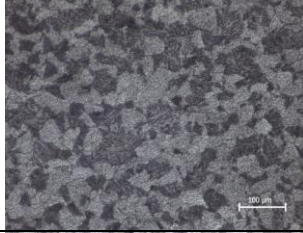
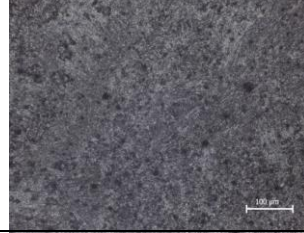
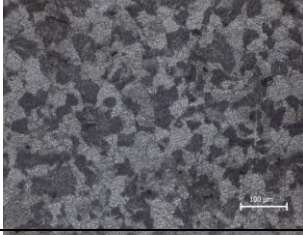
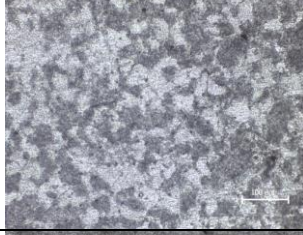
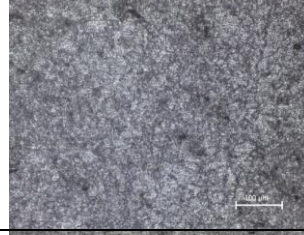
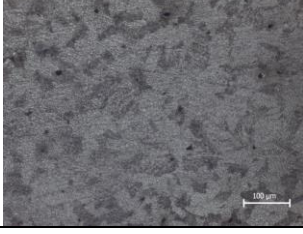
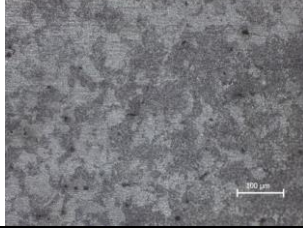
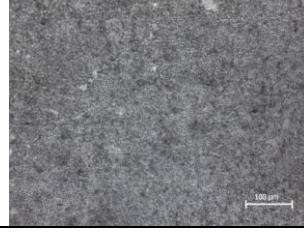
Şekil 6.1 : AISI P11 kalite çeliklerin mikrosertlik değişiminin, gerilme giderme tavlaması sıcaklığı ve kaynak çizgisinden itibaren mesafeye bağlı olarak değişimi.

Malzemelere yapılan kaynaklar sonucunda mikroyapıda oluşan farklılıklarda ana metal, ITAB-kaynak metali geçişi ve kaynak metali olmak üzere her numunenin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

AISI P11 kalite çelik, üretim sonrası su verilmiş ve temperlenmiş halde kullanılmaktadır. 920-980°C aralığında östenitlenen çelik havada su verildikten sonra, 680-760°C sıcaklık aralığında temperlenmektedir. Bu durumda mikroyapı, çoğunlukla beynitik ferritik bir matriksten ibaret olmaktadır. Şekil 6.2’de görülen

mikroyapı fotoğraflarından, kaynak işlemi sonrası ana metalin mikroyapısının beynitik esaslı olduğu, kaynak işlemi sonrasında önemli bir değişime uğramadığı gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde ise mikroyapının bir miktar kabalaştığı görülmektedir. Şekil 6.1’de verilen sertlik değişiminden, kaynak sonrası, kaynak bölgesi sertliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Daha ince bir mikroyapıya sahip ana metalin daha düşük sertliğe sahip olması, muhtemelen kaynak bölgesinde ergime ve katılaşma işlemleri sonucu iç gerilmelerin yüksek olmasıyla daha yüksek sertlik elde edilmesinden kaynaklanmaktadır.

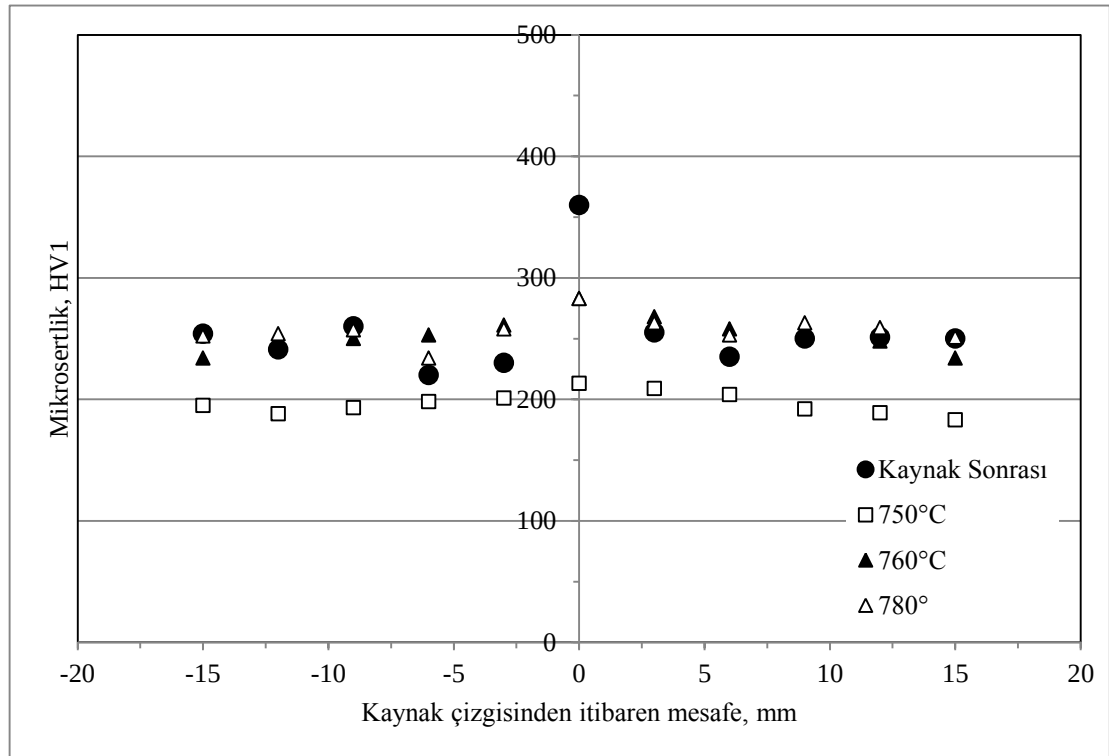
Gerilme giderme tavlaması sonrası ise, ana metal ve ITAB bölgesinin mikroyapısının büyük ölçüde ferrit ve perlitten ibaret bir yapıda olduğu, kaynak bölgesinin ise daha ince yapıda katılaşma sonrası tipik mikroyapı görünümde olduğu belirlenmiştir. Gerilme giderme sıcaklığına bağlı olarak ana metal ve ITAB bölgesinin mikroyapılarında belirgin bir mikroyapısal değişim gözlenmemektedir.

Tavlama Sıcaklığı, °C	Ana Metal	ITAB	Kaynak Bölgesi
-			
620			
650			
680			

Şekil 6.2 : AISI P11 kalite numunelerin kaynak işlemi ve gerilme giderme tavlama sonrası optik mikroyapı fotoğrafları.

6.1.2 AISI P91 kalite çelikler

Yapılan kaynaklarda hazırlanan numunelere mikro sertlik esasına dayalı olarak 1000 gr yük altında sertlik deneyi yapılmıştır. Bu deneyin sonuçları Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Beklendiği üzere, en yüksek sertlik dağılımı kaynak işlemi sonrasında elde edilmiştir. Bu malzemede kaynak bölgesinin sertliği de ana metale göre yaklaşık % 40 daha yüksektir. Kaynak sonrası uygulanan gerilme giderme tavlaması ise kaynak boyunca elde edilen sertlik değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. En düşük sertlik değerleri 750°C’de uygulanan gerilim giderme tavlamasında elde edilmiş olup sertlik dağılımı maksimum %15 oranında değişkenlik göstermektedir. Diğer yandan 760-780°C’de gerilim giderme tavlaması yapılmış numunelerde kaynak bölgesi ile ana metal arasında önemli bir sertlik farkı da bulunmamaktadır. Bu sonuçlar ışığında, AISI P11 kalite çeliklere kaynak sonrası uygulanan gerilme giderme tavlamasının sertlik değerlerini düşürmesinin yanısıra, kaynak bölgesi ve ana metal arasındaki sertlik değişimini de daha homojen bir hale getirdiği anlaşılmaktadır.

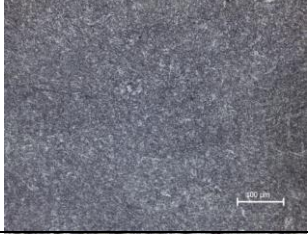
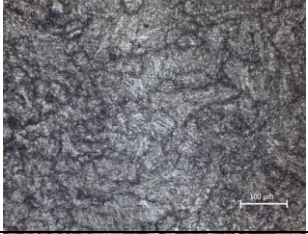
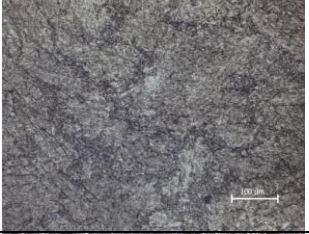
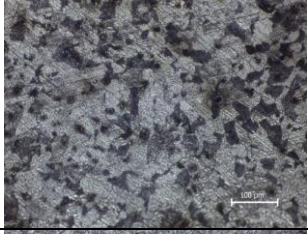
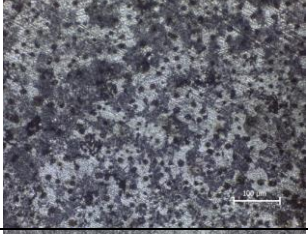
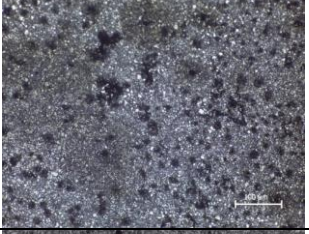
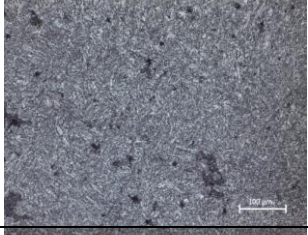
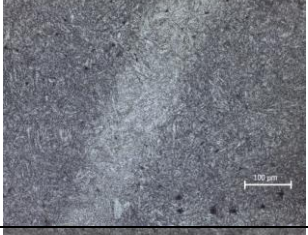
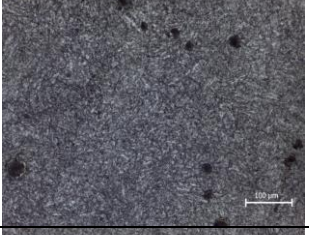
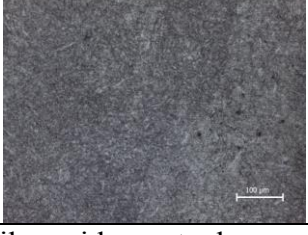
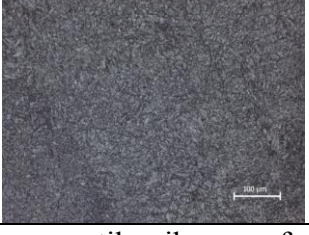


Şekil 6.3 : AISI P91 kalite çeliklerin mikrosertlik değişiminin, gerilme giderme tavlaması sıcaklığı ve kaynak çizgisinden itibaren mesafeye bağlı olarak değişimi.

Malzemelere yapılan kaynaklar sonucunda mikroyapıda oluşan farklılıklarda ana metal, ITAB-kaynak metali geçişi ve kaynak metali olmak üzere her numuneden optik mikroskopla çekilmiş 3 görüntü Şekil6.4’de gösterilmiştir.

AISI P19 kalite çelik de, AISI P11 kalite çeliğe benzer şekilde, üretim sonrası su verilmiş ve temperlenmiş halde kullanılmaktadır. 920-980°C aralığında östenitlenen çelik havada su verildikten sonra, 680-760°C sıcaklık aralığında temperlenmektedir. Bu durumda mikroyapı, çoğunlukla beynitik ferritik bir matriksten ibaret olmaktadır. Şekil 6.4’de görülen mikroyapı fotoğraflarından, kaynak işlemi sonrası ana metalin mikroyapısının beynitik esaslı olduğu, kaynak işleminin kaynak bölgesi ve ITAB mikroyapısını etkilediği ve labalaşmasına neden olduğu görülmektedir. Şekil 6.3’de verilen sertlik değişiminden, kaynak sonrası, kaynak bölgesi sertliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Daha ince bir mikroyapıya sahip ana metalin daha düşük sertliğe sahip olması, muhtemelen kaynak bölgesinde ergime ve katılaşma işlemleri sonucu iç gerilmelerin yüksek olmasıyla daha yüksek sertlik elde edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Gerilme giderme tavlaması sonrası ise, ana metal, ITAB ve kaynak bölgesi mikroyapılarında belirgin bir fark oluşturmamaktadır. Bu durum gerilme giderme sıcaklığına bağlı olarak çok önemli bir değişimin gözlenmediği sertlik değişimi ile de uyumlu görünmektedir.

Tavlama Sıcaklığı, °C	Ana Metal	ITAB veya Kaynak Geçiş Bölgesi	Kaynak Bölgesi
-			
750			
760			
780			

Şekil 6.4 : AISI P91 kalite numunelerin kaynak işlemi ve gerilme giderme tavlaması sonrası optik mikroyapı fotoğrafları.

6.2 Çekme ve Darbe Deneyleri

Çekme deneyleri ve darbe deneyleri yapılmış AISI P11 kalite ve AISI P91 kalite CrMo alaşımlı çeliklerle ilgili sonuçlar aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

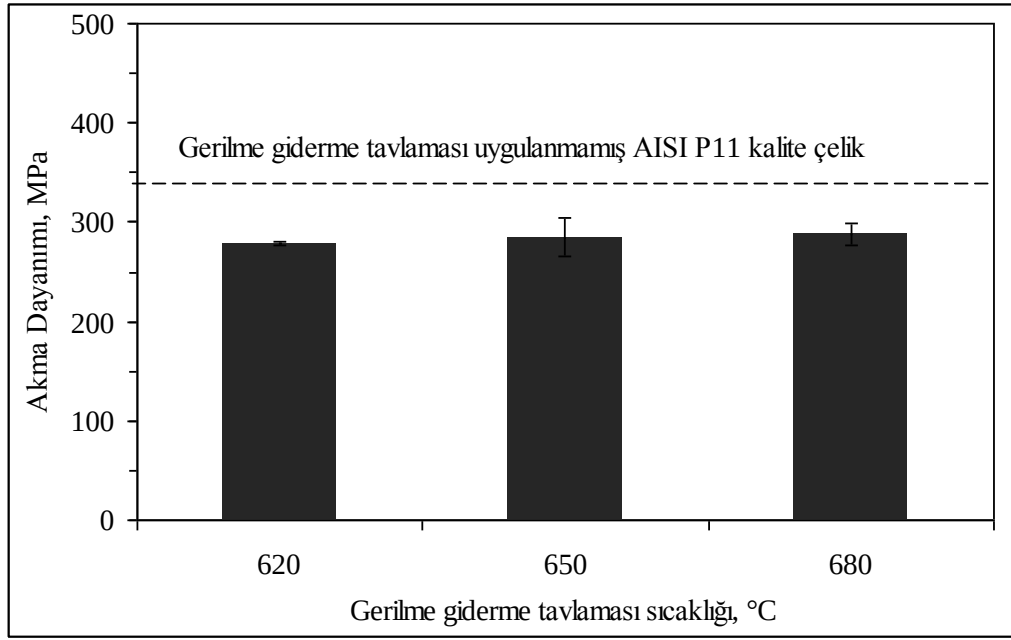
6.2.1 AISI P11 kalite çelikler

EN895 kaynaklı çekme standardına göre hazırlanmış olan, gerilme giderme tavlaması uygulanmamış ve uygulanmış AISI P11 kalite numunelerin akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri Çizelge 6.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 : AISI P11 kalite numunelerin farklı sıcaklıklarda yapılan gerilme giderme tavlaması sonrası akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri.

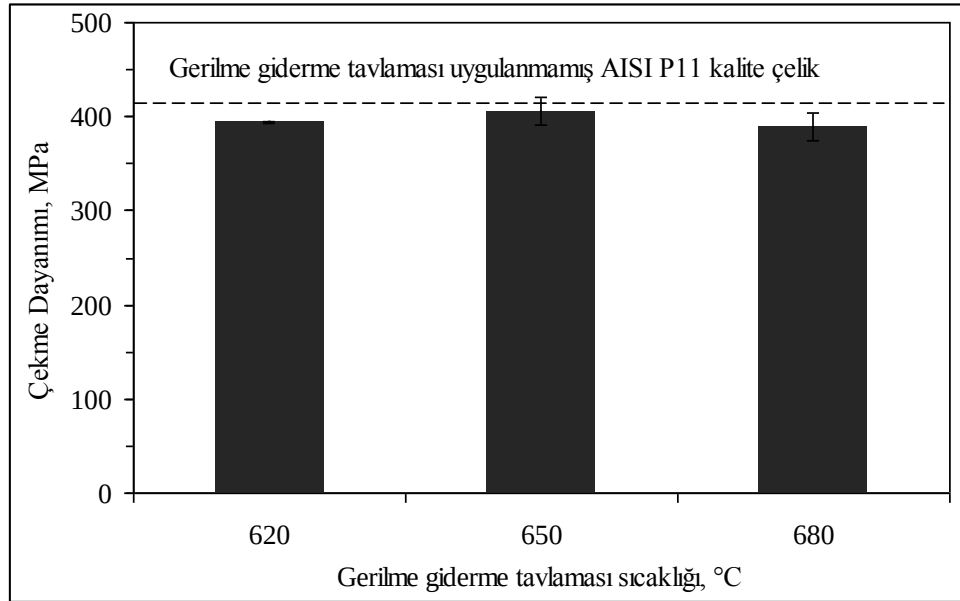
Tavlama Sıcaklığı, °C	Akma dayanımı, MPa	Çekme dayanımı, MPa	Kopma Uzaması, %
-	339±6	411±7	39±6.2
620	279±2	394±1	36±7.1
650	285±19	406±14	51±0.7
680	288±11	389±15	41±4.4

AISI P11 kalite çeliklerin, Çizelge 6.1’deki veriler ışığında hazırlanan, akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzamasının gerilme giderme tavlaması sıcaklığı ile değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.5-Şekil 6.7’de verilmiştir. Şekil 6.5’de görüldüğü gibi, gerilme giderme tavlaması uygulanmayan örneklerin akma dayanımı 339 MPa seviyesindedir. Gerilme giderme tavlaması ile akma dayanımında yaklaşık % 15 düzeyinde bir azalma gözlenmiş, ancak gerilme giderme tavlaması sıcaklığı ile akma dayanımı değişimi arasında belirgin bir ilişki gözlenmemiştir.



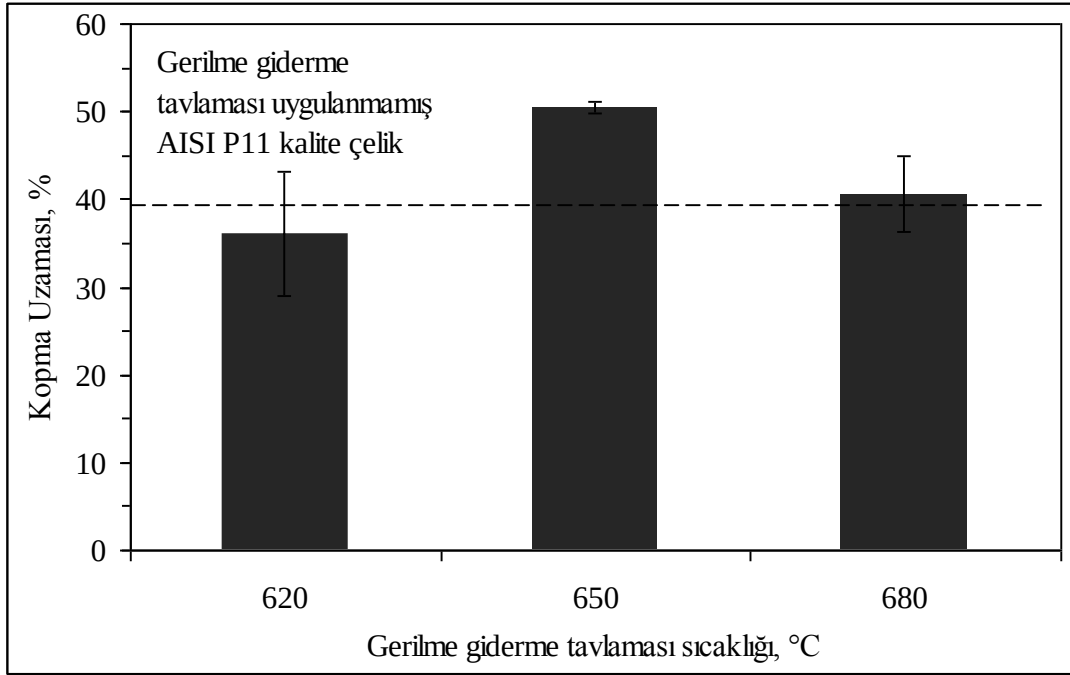
Şekil 6.5 : AISI P11 kalite numunelerin akma dayanımının gerilme giderme tavlaması sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

AISI P11 kalite numunelere ait çekme dayanımı değerleri Şekil 6.6'da gösterilmektedir. Şekil 6.6'da görüldüğü gibi, gerilme giderme tavlaması uygulanmayan örneklerin çekme dayanımı 411 MPa seviyesindedir. Gerilme giderme tavlaması ile çekme dayanımında yaklaşık % 5 düzeyinde bir azalma gözlenmiş, ancak gerilme giderme tavlaması sıcaklığı ile çekme dayanımı değişimi arasında belirgin bir ilişki gözlenmemiştir.



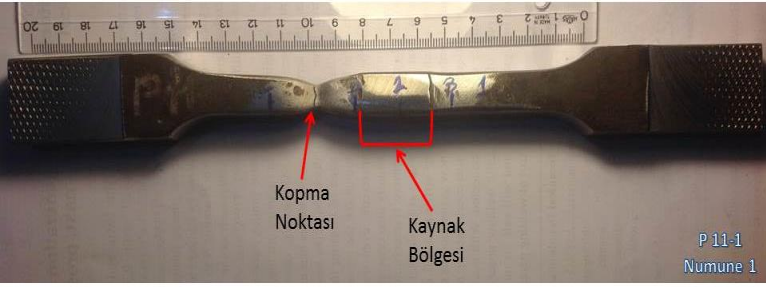
Şekil 6.6 : AISI P11 kalite numunelerin çekme dayanımının gerilme giderme tavlaması sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

AISI P11 kalite numunelere ait kopma uzaması değerleri Şekil 6.7’de görülmektedir. Şekil 6.7’de görüldüğü gibi, gerilme giderme tavlaması uygulanmayan örneklerin kopma uzaması %39 seviyesindedir. 620°C sıcaklıktaki gerilme giderme tavlaması ile örneklerin kopma uzaması yaklaşık % 8 azalmış, ancak 650°C’de yapılan tavlama ile, gerilme giderme tavlaması uygulanmayan örneklere göre yaklaşık % 30 artış elde edilmiştir. 680°C sıcaklıktaki gerilme giderme tavlaması ile elde edilen kopma uzaması değeri, gerilme giderme tavlaması uygulanmayan örneğinki ile yaklaşık aynı düzeydedir

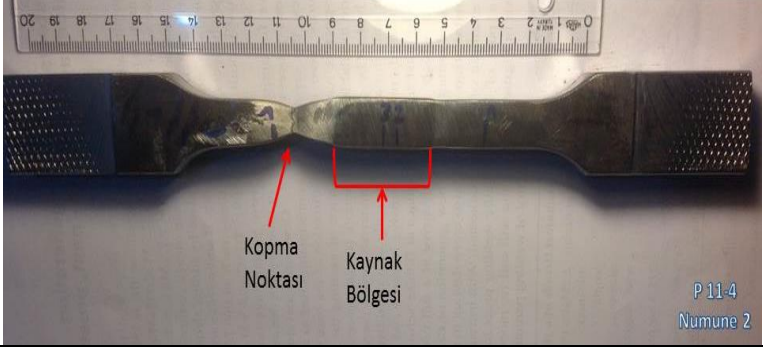


Şekil 6.7 : AISI P11 kalite numunelerin kopma uzamasının gerilme giderme tavlaması sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

AISI P11 kalite çeliklerin çekme deneyinde kullanılan 2 numunesinin kopma bölgesinin görünümü sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da görülmektedir. Hazırlanan her iki numunede de ana metalden kopma gerçekleşmiştir. Kopmanın ana metalde gerçekleşmesi, kaynak metalinden herhangi bir hasar görülmemesi kaynak işleminin öngörüldüğü şekilde spesifikasyonlara uygun olarak yapıldığının bir göstergesidir.

Tavlama Sıcaklığı, °C	1.numune
-	
620	
650	
680	

Şekil 6.8 : AISI P11 kalite çeliklerin 1. numunelerinin çekme deneyindeki kopma bölgesinin görünümü.

Tavlama Sıcaklığı, °C	2.numune
-	
620	
650	
680	

Şekil 6.9 : AISI P11 kalite çeliklerin 2. numunelerinin çekme deneyindeki kopma bölgesinin görünümü.

AISI P11 kalite numunelere ait tavlama sıcaklıkları baz alınarak sınıflandırılmış çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri Şekil 6.10'da görülmektedir. Kırılma yüzeyleri, boyunlaşmanın bir sonucu olarak, numune kenarlarında kayma deformasyonunu gösteren kayma dudakları, numune merkezinde ise çekme eksenine

dik bir kırılma yüzeyi ile karakterize edilmektedir. Bu görünüm eksenel çekme yükü altındaki malzemeler için tipik sünek kırılma karakteristikleridir.

Tavlama Sıcaklığı, °C	1.numune	2.numune
-		
620		
650		
680		

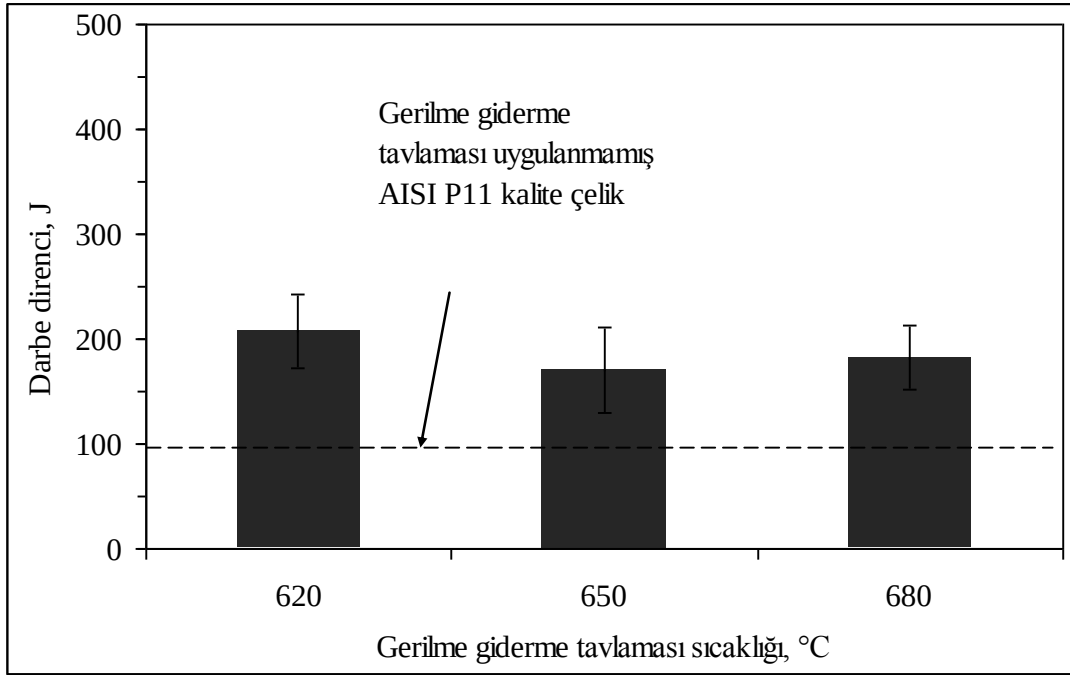
Şekil 6.10 : AISI P11 kalite çeliklere ait çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri.

AISI P11 kalite çeliklerden EN875 ve EN 10045-1 standardına göre hazırlanan, gerilme giderme tavlama uygulanmamış ve farklı sıcaklıklarda gerilme giderme tavlama uygulanmış V-çentikli Charpy darbe deney numunelerinin darbe direnci değerleri Çizelge 6.2’de görülmektedir.

Çizelge 6.2 : Gerilme giderme tavlama sıcaklığı uygulanmamış ve uygulanmış AISI P11 kalite numunelerin darbe deneyi sonuçları.

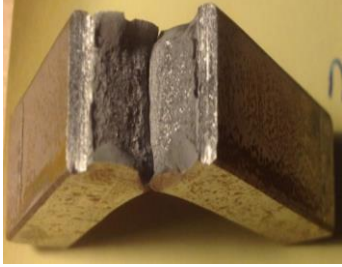
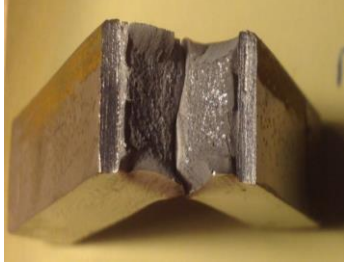
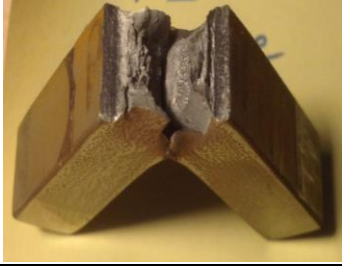
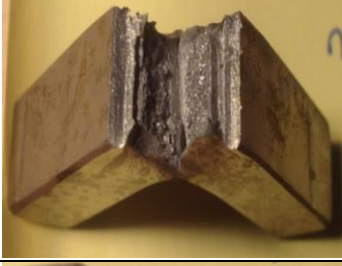
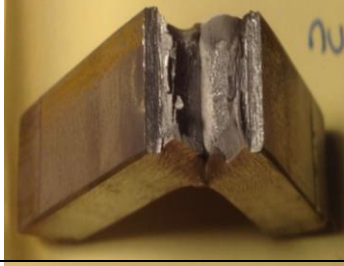
Tavlama Sıcaklığı	Darbe Enerjisi , J
-	96
620	208
650	170
680	182

AISI P11 kalite numunelere ait ortalama darbe enerjisi değerleri Şekil 6.11’de gösterilmektedir. Gerilme giderme tavlama sıcaklığı uygulanmayan AISI P11 kalite çeliğin darbe direnci 96 J seviyesindedir. Gerilme giderme tavlama sıcaklığı uygulanmasıyla darbe direnci değerleri artmaktadır. En yüksek artış, 620°C sıcaklıkta gerilme giderme tavlama sıcaklığı uygulanan malzemede elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta yapılan gerilme giderme tavlama sıcaklığıyla, kazanılan darbe direnci artışı, gerilme giderme tavlama yapılmayan duruma göre 2 kattan fazladır.



Şekil 6.11 : AISI P11 kalite numunelerin darbe direncinin gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

AISI P11 kalite numunelere ait tavlama sıcaklıkları baz alınarak sınıflandırılmış darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri Şekil 6.12’de görülmektedir. Numunelerin kırıldığı, ancak 2 parça halinde ayrılmadığı gözlenmektedir. Bu kırılma şekli, numunelerin sahip olduğu yüksek darbe direnci değerleriyle uyumludur.

Numune Kodu ve Tavlama Sıcaklığı	1.numune	2.numune
-		
620		
650		
680		

Şekil 6.12 : Gerilme giderme tavlama uygulanmamış ve uygulanmış AISI P11 kalite numunelerin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeylerinin genel görünümü.

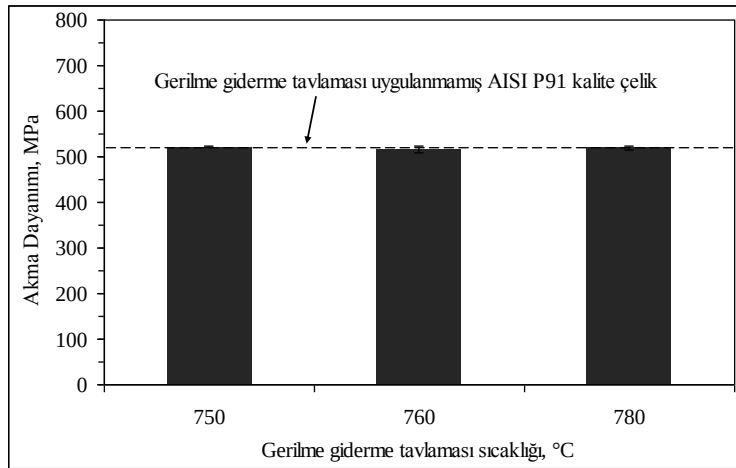
6.2.2 AISI P91 Kalite Çelikler

EN895 kaynaklı çekme standardına göre hazırlanmış olan ısıtıl işlem görmemiş ve ısıtıl işlem görmüş AISI P91 kalite numunelerin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % kopma uzama değerleri Çizelge 6.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3 : AISI P91 kalite numunelerin farklı sıcaklıklarda yapılan gerilme giderme tavlaması sonrası akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri.

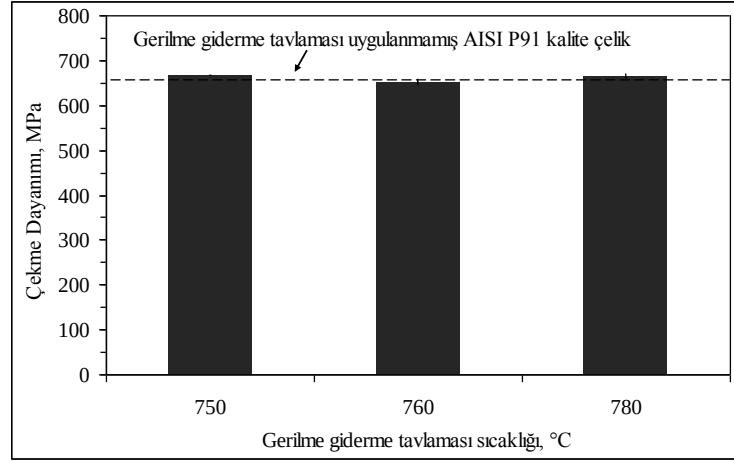
Tavlama Sıcaklığı, °C	Akma dayanımı, MPa	Çekme dayanımı, MPa	Kopma Uzaması, %
-	520±3	658±12	34±0
750	522±2	669±2	34±4.6
760	516±8	652±9	38±0.4
780	520±4	666±6	38±0

AISI P91 kalite çeliklerin, Çizelge 6.3'deki veriler ışığında hazırlanan, akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzamasının gerilme giderme tavlaması sıcaklığı ile değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.13-Şekil 6.15'de verilmiştir. Şekil 6.13'de görüldüğü gibi, gerilme giderme tavlaması uygulanmayan örneklerin akma dayanımı 520 MPa seviyesindedir. Gerilme giderme tavlaması ile akma dayanımında belirgin bir değişme gözlenmemiştir.



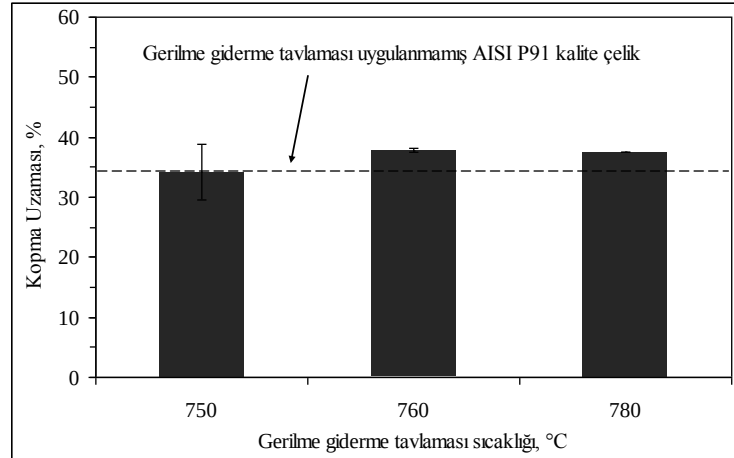
Şekil 6.13 : AISI P91 kalite numunelerin akma dayanımının gerilme giderme tavlaması sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

AISI P91 kalite numunelere ait çekme dayanımı değerleri Şekil 6.14'de gösterilmektedir. Şekil 6.14'de görüldüğü gibi, gerilme giderme tavlaması uygulanmayan örneklerin çekme dayanımı 658 MPa seviyesindedir. Gerilme giderme tavlaması ile akma dayanımına benzer şekilde çekme dayanımında da belirgin bir değişme gözlenmemiştir.



Şekil 6.14 : AISI P91 kalite numunelerin çekme dayanımının gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

AISI P91 kalite numunelere ait kopma uzaması değerleri Şekil 6.15’de görülmektedir. Şekil 6.15’de görüldüğü gibi, gerilme giderme tavlama uygulanmayan örneklerin kopma uzaması % 34 seviyesindedir. 750°C sıcaklıktaki gerilme giderme tavlama ile örneklerin kopma uzaması hemen hemen aynı olmasına rağmen 760°C ve 780°C’de yapılan tavlama ile, gerilme giderme tavlama uygulanmayan örneklerle göre yaklaşık % 10 artış elde edilmiştir.

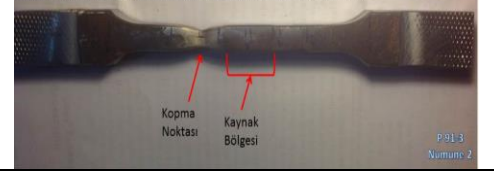


Şekil 6.15 : AISI P91 kalite numunelerin kopma uzamasının gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

AISI P91 kalite çeliklerin çekme deneyinde kullanılan 2 numunesinin kopma bölgesinin görünümü sırasıyla Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de görülmektedir. Hazırlanan her iki numune de ana metalden kopma gerçekleşmiştir. Kopmanın ana metalde gerçekleşmesi, kaynak metalinden herhangi bir hasar görülmemesi kaynak işleminin öngörüldüğü şekilde spesifikasyonlara uygun olarak yapıldığının bir göstergesidir.

Tavlama Sıcaklığı, °C	1.numune
-	
750	
760	
780	

Şekil 6.16 : AISI P91 kalite çeliklerin 1. numunelerinin çekme deneyindeki kopma bölgesinin görünümü.

Tavlama Sıcaklığı, °C	2.numune
-	
750	
760	
780	

Şekil 6.17 : AISI P11 kalite çeliklerin 2. numunelerinin çekme deneyindeki kopma bölgesinin görünümü.

AISI P91 kalite numunelere ait tavlama sıcaklıkları baz alınarak sınıflandırılmış çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri Şekil 6.18’de görülmektedir. Kırılma yüzeyleri, AISI P11 kalite çeliklerin çekme deneylerine benzer şekilde, boyunlaşmanın bir sonucu olarak, numune kenarlarında kayma deformasyonunu gösteren kayma dudakları, numune merkezinde ise çekme eksenine dik bir kırılma yüzeyi ile karakterize edilmektedir. Bu görünüm eksenel çekme yükü altındaki malzemeler için tipik sünek kırılma karakteristikleridir.

Tavlama Sıcaklığı	1.numune	2..numune
-		
750		
760		
780		

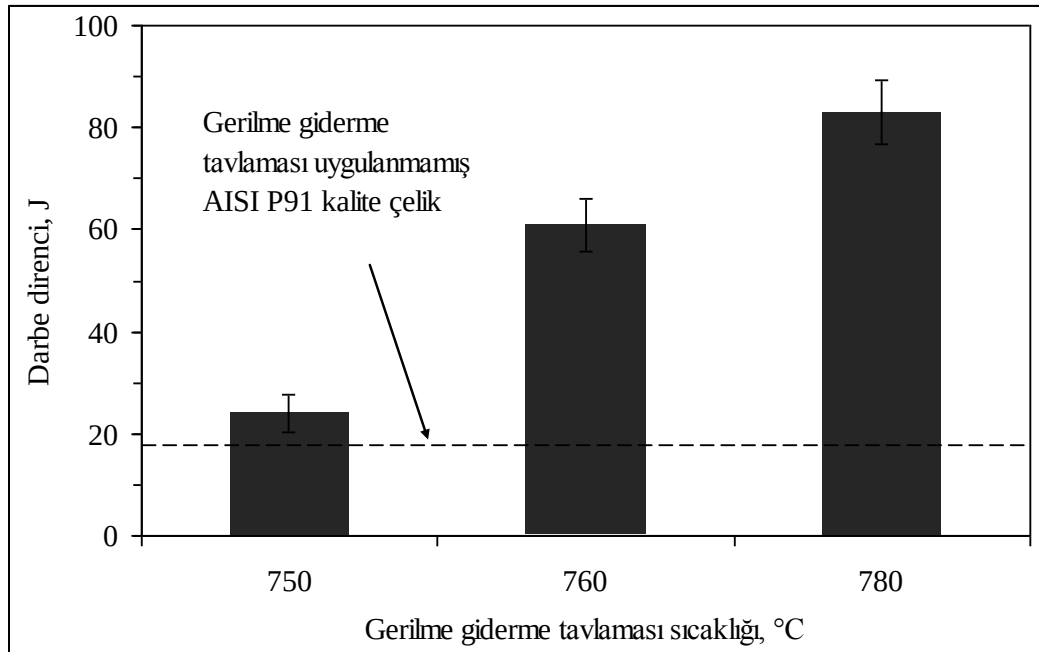
Şekil 6.18 : AISI P91 kalite çeliklere ait çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri.

AISI P91 kalite çeliklerden EN875 ve EN 10045-1 standardına göre hazırlanan, gerilme giderme tavlaması uygulanmamış ve farklı sıcaklıklarda gerilme giderme tavlaması uygulanmış V-çentikli Charpy darbe deney numunelerinin darbe direnci değerleri Çizelge 6.4’de görülmektedir.

Çizelge 6.4 : Gerilme giderme tavlaması uygulanmamış ve uygulanmış AISI P11 kalite numunelerin darbe deneyi sonuçları.

Tavlama Sıcaklığı	Darbe Enerjisi , J
-	17
750	27
760	61
780	83

AISI P91 kalite numunelere ait ortalama darbe enerjisi değerleri Şekil 6.19’da gösterilmektedir. Gerilme giderme tavlaması uygulanmayan AISI P91 kalite çeliğin darbe direnci 17 J seviyesindedir. Gerilme giderme tavlaması uygulanmasıyla darbe direnci değerleri artmaktadır. En yüksek artış, en yüksek gerilme giderme sıcaklığı olan 780°C sıcaklıkta gerilme giderme tavlaması uygulanan malzemede elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta yapılan gerilme giderme tavlamasıyla, kazanılan darbe direnci artışı, gerilme giderme tavlaması yapılmayan duruma göre yaklaşık 4 kattır.

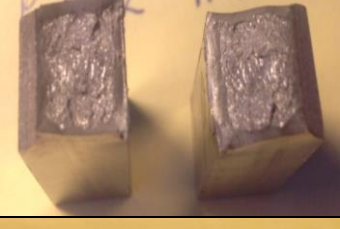
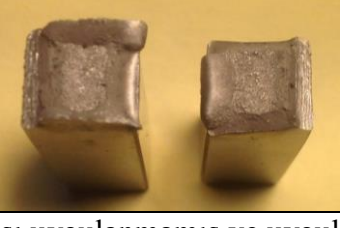


Şekil 6.19 : AISI P91 kalite numunelerin darbe direncinin gerilme giderme tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

AISI P91 kalite numunelere ait tavlama sıcaklıkları baz alınarak sınıflandırılmış darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri Şekil 6.20’de görülmektedir.

Gerilme giderme tavlama uygulanmayan örneğin kırılma yüzeyi oldukça düz, numune kenarlarında herhangi bir büzülme görünmemektedir. Bu durum darbe deneyinde tipik gevrek kırılma görüntüsü olup, numunenin darbe deneyinde sergilediği 107 J’lük darbe direnci ile de uyumludur. Gerilme giderme tavlama uygulanan örneklerin kırılma yüzeylerinde ise farklı oranlarda, gevrek ve sünek kırılma bölgeleri görülmektedir. Gevrek kırılma bölgeleri, numunelerin genellikle ortaltındaki düzgün kristalin görünümlü bölgelerle karakterize edilirken, sünek kırılma numunelerin kenarındaki büzülme ya da kayma dudaklarıyla karakterize edilmektedir.

EN 1599 standardına göre, numunenin ortalamam darbe direnci en az 47 J olmalı, her bir numunenin darbe direncinin ise en az 38 J olması gerektiği belirtilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan AISI P91 kalite çelik, gerilme giderme tavlama uygulanmamış halde, bu darbe direnci değerlerini karşılayamamaktadır. Bu nedenle, AISI P91 kalite çeliklere gerilme giderme tavlama uygulanması gerekmektedir.

Gerilme Giderme Tavlama Sıcaklığı, °C	1.numune	2.numune	3.numune
-			
750			
760			
780			

Şekil 6.20 : Gerilme giderme tavlama uygulanmamış ve uygulanmamış AISI P91 kalite numunelerin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeylerinin genel görünümü.

6.3 Deney Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi

AISI P11 kalite kaynaklı çelik boruların kaynak bölgesi boyunca sertlik değişimi, gerilme giderme tavlama işlemiyle azalmıştır. En yüksek, sertlik azalması en yüksek gerilme giderme sıcaklığı olan 680°C’de elde edilmiştir. Ayrıca gerilme giderme tavlama ile, kaynak metalinden ana metale doğru geçişte genel olarak sertlik değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Mikroyapı görüntülerinde ise ana metalden kaynak metaline doğru gidildikçe daha ince bir mikroyapının olduğu görülmektedir. AISI P11 kalite çelikleri için bu çalışmada yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre kırılma yüzeylerinden de anlaşılabileceği gibi, çekme deneylerinde numunelerin kopması, boyunlaşmanın bir sonucu olarak konik çanak tipi kırılma ile gerçekleşmiştir. Darbe deneyi sonuçları baz alındığında kırılma olduğu halde ikiye ayrılmayan numunelerin kırılma yüzeylerinde sünek kırılma karakteristikleri görülmektedir.

AISI P91 kalite çeliklerin sertlik verilerine göre ise artan gerilme giderme tavlama sıcaklığıyla sertlik değerleri bir miktar düşüş göstermiş olup, kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sertlik farkı da azalmaktadır. Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde AISI P91 kalite çelik için gerilme giderme tavlama zorunlu olarak yapılması gereken bir uygulama olduğu anlaşılmaktadır. AISI P91 kalite çeliklerin çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyleri incelendiğinde, bazı numunelerin kırılma yüzeylerinin ortasında boyuna makro çatlaklarının olduğu fark edilmektedir. Çekme deneyinde kopma olayı ana metal bölgesinden boyun vererek gerçekleşmiştir. Bu durum kaynak işleminin uygun koşullarda ve profesyonel olarak yapıldığını göstermektedir. Darbe deneyi sonuçları incelendiğinde ise numunelerin genel olarak düz, kristalin görünümdeki gevrek kırılma karakteristiği taşıdığı, gerilme giderme tavlama sıcaklığı arttıkça artan darbe direnci değerlerine paralel olarak, numune kenarlarında deformasyon ve kayma dudak oluşumu ile kendini gösteren sünek kırılma oranının da arttığı görülmektedir.

Genichi ve arkadaşları [25] yaptığı çalışmada yüksek kromlu ferritik çeliklerin kaynak sonrası ısıtılma işlemi akabinde değişen mekanik özellikleri irdelenmiştir. Ekibin kullandığı asidik bazlı elektrotlarla kaynak yapılmış ve şu sonuçlar ortaya çıkmıştır: Kaynak metali olması gereken karakterizasyonunda olup ayrıca Mn ve Ni

içermektedir. Kurallara göre A_{c1} (723°C) sıcaklığı altında yapılması gereken PWHT işlemi gerçekleştirilmiştir. Ancak mekanik özellikler bakımından optimum sıcaklık 760°C olarak tayin edilmiştir. William ve arkadaşları [26] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise AISI P91 diye adlandırılan Chrome-Moly çeliğinin ısıtıl işlem parametreleri her aşamada kaydedilmiştir. Kaydedilen bu parametrelerin sonucunda yapıda bulunan özellikle martenzit ve beynit yapılarının varlığını ortaya çıkarmışlardır. Daniela ve arkadaşları [27] AISI P91 çeliğinin akma ve çekme değerlerinin servis sıcaklığına göre değişimini uzun süreli olarak incelemişlerdir. Bu malzemenin ASME standartlarında da söz edilen 20°C’de minimum 585 MPa, 600° C de minimum 290 MPa ve 650°C’de minimum 215 MPa olarak çekme dayanımı verdiğini bir nevi ispatlamışlardır. Arivazhagan ve arkadaşları [5] yaptıkları çalışmada AISI P91 malzemenin tokluğu konusunda çalışma yapmış ve kaynak sonrası yapılan PWHT işleminin süresinin arttırılmasının kaynağın tokluğunu arttırdığını belirlemişlerdir.

7. GENEL SONUÇLAR

AISI P11 ve AISI P91 kalite borular sahada kaynak edilip EN 12952-5 standartında verilen gerilme giderme sıcaklıklarının minimum, orta ve maksimum değerlerinde gerilme giderme tavlamasına tabii tutulmuştur. Ardından oluşan numunelere çekme, darbe ve sertlik deneyleri uygulanmıştır. Bu deneylerden çıkan sonuçları desteklemek adına mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Bu deneyler ve analizler yapılarak optimum gerilme giderme tavlama sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Elde edilen ana sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1- AISI P11 kalite çelik için gerilme giderme tavlaması işlemi, akma ve çekme dayanımı sırasıyla yaklaşık %15 ve %5 oranında azaltmıştır. Ancak gerilme giderme tavlaması sıcaklığı ile dayanım değerleri arasında sistematik bir değişim gözlenmemiştir.
- 2- AISI P91 kalite çelik için ise gerilme giderme tavlaması, akma ve çekme dayanımında belirgin bir değişme yaratmamaktadır.
- 3- Gerilme giderme tavlaması işlemi, AISI P11 ve AISI P91 kalite çeliklerin darbe direncini arttırmaktadır. AISI P11 kalite çeliklerin darbe direnci, gerilme giderme tavlaması sıcaklığına bağlı olarak sistematik bir değişim göstermez iken, AISI 91 kalite çeliklerde darbe direnci, gerilme giderme sıcaklığı arttıkça artmaktadır.
- 4- EN 1599 standardı baz alındığında, kaynaklı yapılar için gerekli en düşük darbe direnci değeri olan 47 J değeri, AISI P91 kalite çeliklerde ancak gerilme giderme tavlaması ile elde edilebilmiştir. Bu durum gerilme giderme tavlamasının AISI P91 kalite çelikler için uygulanmasının zorunlu olduğunu göstermektedir.
- 5- Darbe direnci değerleri dikate alındığında, bu çalışmada baz alınan EN 12952-5 standardında belirtilen AISI P91 kalite çelik için önerilen 740°C ile

780°C gerilme giderme tavlama sıcaklığının standardın aksine minimum tavlama sıcaklığının 760°C olması gerektiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Zheng, F.H.** (2012). Heat Resistant Steels, Microstructure Evolution and Life Assesment in Power Plants, *Thermal Power Plants*, Sf 195-197.
- [2] **Gianfrancesco, A.D., Venditti D., Allen D.J.** ve diğ. (2009). Applications of Advance Low Alloyed Steels for New High-temperature components. *Office for Offical Publications of the Europenean Communities*, ISBN 978-92-79-10006.2, Lüksemburg
- [3] **Munson, R.E., Low, P.E.** (2010). AISI P91 No Good Deed Goes Unpunished, *M&M Engineering Associates Inc.*, Vol. 10, No. 3, 1-5.
- [4] **Wildasin, K.**, (2014). ESAB Cr-Mo Welding Electrodes for the Power Generating Industry, Sf 1-2.
- [5] **Arivazhagan, B., Sundaresan, S., Kamaraj, M.** (2009). A Study on Influence of Shielding Gas Composition on Toughness of Flux-cored Arc Weld of Modified 9Cr-Mo(AISI P91) Steel , *Journal of Materials Processing Technology*, Hindistan, 5245-5253
- [6] **Booker, M.K., Sikka, V.K., Booker, B.L.P.** (1983) Comparison of the Mechanical Properties of Several High-chromium Ferritic Steels. *Proceedings of International Conference on Ferritic Steels for High Temperature Applications*. ASM Metals Park, Ohio, Sf. 257–273.
- [7] **Zhang, Y.** (2009). Changes in Microsturcture and Mechanical Properties of AISI P91 Weld Metal during Creep. *Doktora Tezi*, University of Nottingham, Nottingham, İngiltere.
- [8] **Newell, W.F.** (2001). Guideline for Welding P(T)91. *Euroweld*, Mooresville, Kuzey Karolina.
- [9] **Harbor, D.** (2011). Material Data Sheet AISI P91/T91. *ThyssenKrupp*, Berlin, Almanya.
- [10] **Harbor, D.** (2012). Material Data Sheet AISI P11/T11. *ThyssenKrupp*, Berlin, Almanya.
- [11] **Tama, Y.S.** (2009). Çelik Yapı Uygulamalarında Kullanılan Kaynak Yöntemleri, Üstünlükleri ve Sakıncalı Yönleri, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, Türkiye.
- [12] **Anık, S., Tülbentci, K., Kulaç, E.** (1991). Örtülü Elektrotlar İle Elektrik Ark Kaynağı, *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, Türkiye.
- [13] **Gourd, L.M.** (1999). Kaynak Teknolojisinin Esasları. *Birsen Yayınevi*, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
- [14] **Onat, A.** (2006). Kaynak Yöntemleri. *Kaynak Tekniği Ders Notları*, Sakarya Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Sakarya, Türkiye.

- [15] **Anık, S.** (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar. *Gedik Eğitim Vakfı*, Gedik Kaynak Vakfı Kaynak Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [16] **Özden, N.** (1985). Kaynağın Isıl İşlemi. Nurettin Uycan Cilt ve Basım Sanayii A.Ş, Aliğa, Sf 86-155.
- [17] **Lim, J.K ve Chung S.H.** (1990). Stress Effect on Post-Weld Heat Treatment Embrittlement. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, Sf 229-255.
- [18] **Serfiçeli, S.** (2006). Büyük Çaplı Boruların Kaynağı. *Metal Teknolojisi* , Ankara, Türkiye.
- [19] **Suzuki, M., Takahashi, H. and Kameda J.** (1976). Post Weld Heat Treatment and Embrittlement of Weld HAZ in a Low Alloyed Steel. *Welding Journal of the Japan Welding Society*. Sayı 45, No 1, Syf 6-13
- [20] **Adamczyk, J. and Grajcar, A.** (2007). Heat Treatment and Mechanical Properties of Low-Carbon Steel with Dual-phase Microstructure. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 22, 13-20.
- [21] **Liang, C.** (2012). Effect of PWHT Temperature and Mechanical properties of High-Cr Ferritic Heat-resistant Steel Weld Metal. *Welding in the World*, 56.
- [22] **Joseph, B.** (2010). Post Weld Heat Treatment Procedure.
- [23] **Olabi, A.G. and Hashmi, M.S.J.** (1996). The Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Steel Welded Components After the Application of PWHTs. *Journal of Materials Processing Technology*, 56, 88-98.
- [24] **Hrivank, I.** (1985). A review of the Metallurgy of Heat Treatment of Welded Joints. *International Journal Pressure Vessel and Piping*, 20, 220-237.
- [25] **Taniguchi, G. and Yamashita K.** (2013). Effect of PWHT Temperature on Mechanical Properties of Weld Metals for High-Cr Ferritic Heat-Resistant Steel. *Kobelco Technology Review*, 32, 33-39.
- [26] **William, F. and Newell, JR.** (2010). Welding and Postweld Heat Treatment of P91 Steels. *Welding Journal*, Nisan, 33-36.
- [27] **Palachova, D., Hajkova P. and Uzel J.** (2012). Comparison of Hardness, Tensile Stress and Yield Stress, Depending on Temperature and Annealing Time of Degradation of P91 Steel. *METAL 2012*, Çek Cumhuriyeti.

EKLER

Ek A : Kaynak Yöntem Şartnameleri

Ek B : Kaynak işlemlerinde kullanılan elektrot sertifikaları

Ek C : Hasarsız malzeme analizi raporları

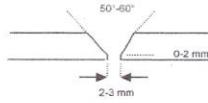
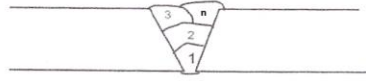
EK A

Çizelge A.1 : AISI P11 kalite çeliğe ait kaynak yöntem şartnamesi.

EFOR		KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ (KYŞ)		Sayfa/Page no: 1/1					
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION(WPS)									
İmalatçı KYŞ /Manufacture's WPS No	: EF-BG-WPS-19	Bağlantı ve Kaynak Tipi/Joint and weld type	: BW						
İmalatçı KYYK/ Manufacture's WPQR No	: PLM-PQR-EN-2013-013 (WPQR-04)	Malzeme kalınlığı/Material Thickness	: 11,2 mm ≤ t ≤ 42,8 mm						
İmalatçı/Manufacturer	: EFOR MAKINA	Boru Dış Çapı/Outside pipe Diameter	: D ≥ 136,5						
Malzeme Standartı ve kalitesi/Parent material standard and designation	: EN 10216-2+A2 10CrMo9-10+13CrMo4-5	Kaynak ağzı hazırlama metodu/Method of joint preparation	: Grinding						
Malzeme Grubu/Material group (acc. to ISO 15608/ ISO 15608göre)	: 5.2 + 5.1	Sabitleme metodu/Method of fixing	: Tacking						
Kaynak yöntemi/Welding Process(acc.to ISO 4063/ ISO 4063 göre)	: 141+111	Kaynak pozisyonu/Welding Position(acc. to ISO 6947 göre)	: ALL						
Dolgu malzemesi üreticisi/Filler material designation and make	: (141) W CrMo 2 Si , (111) E CrMo 2 B 42	Kod veyaTest Standardı / Code or Test Standard	: EN 15609-1						
Bağlantı Dizaynı/Joint Design		Kaynak Sırasları /Welding Sequences							
Paso/Run	Kaynak Yöntemi/Welding Process	Dolgu malzemesi ölçüsü/ Size of filler Material (mm)	Akım/ Current (A)	Voltaj/ Voltage (V)	Akım tipi ve Kutuplama/Type of current and polarity	Tel Besleme hızı/Wire Feed Speed (m/min)	Mode of metal Transfer/Metal Transfer Tipi	Kaynak Hızı/Travel Speed(mm/min)	Isı Girdisi/Heat Input (KJ/mm)
Root	141	2,4	150 - 170	11 - 12	DC(-)	-	-	1,12	0,88-1,09
Hot	141	2,4	150 - 170	11 - 12	DC(-)	-	-	1,61	0,61-0,76
Fill-Cap	111	3,20	120 - 135	22 - 26	DC(+)	-	-	2,56	0,83-1,10
Gaz Gösterimi / Gas designation	Koruma/Shielding	: EN ISO 14175 II / 99,9 % Ar				Maksimum passo genişliği/ Maximum width of run	: N/A		
	Altlık/Backing	: N/A				Tel sistemi(Tek,çoklu) / Wire System(Single,Multi)	: Single		
Gaz akış debisi / Gas flow rate	Koruma/Shielding	: 10-12 (l/min)				Kaynak Sonrası Isıl İşlem ve detayları/Post -Weld Heat Treatment and details	Max. 680 C Heating Rate=140 C Holding Time= 1,5 Hour Cooling Rate=120 C		
	Altlık/Backing	: 8-14 (l/min)							
Dolgu Malzemesinin Kurutulması ve taşınması /Transportation and drying of filler material	: See Procedure					Darbeli Kaynak Detayı/Pulse Welding Detail	: N/A		
Oluk açma veya altlık detayları / Detail of back gouging veya backing	: N/A								
Ön Isıtma Sıcaklığı/Preheat Temperature	: Min.200°C (Flame or Heat Resistance)					Torç Açısı /Torch Angle	: ~90°		
Pasolar arası sıcaklık/Interpass Temperature	: Max.245°C								
Şenol LİMAN		17.04.2013		Bünyamin ÇİÇEK					
Hazırlayan/Perpared by		Tarih/Date		Onaylayan/Approved by					

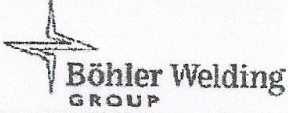
Çizelge A.2 : AISI P91 kalite çeliğe ait kaynak yöntem şartnamesi.

P91

 KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ (KYŞ) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)		Sayfa/Page no: 1/1							
İmalatçı KYŞ / Manufacture's WPS No	EFR-PWPS-003	Bağlantı ve Kaynak Tipi / Joint and weld type							
İmalatçı KYYK / Manufacture's WPQR No	-	Malzeme kalınlığı / Material Thickness							
İmalatçı / Manufacturer	EFOR MAKİNA	Boru Dış Çapı / Outside pipe Diameter							
Malzeme Standardı ve kalitesi / Parent material standard and designation	X10CrMoVNb9-1	Kaynak ağız hazırlama metodu / Method of joint preparation							
Malzeme Grubu / Material group (acc. to ISO 15608/ ISO 15608 göre)	6.4	Sabitleme metodu / Method of fixing							
Kaynak yöntemi / Welding Process (acc. to ISO 4063/ ISO 4063 göre)	141 + 111	Kaynak pozisyonu / Welding Position (acc. to ISO 6947 göre)							
Dolgu malzemesi üreticisi / Filler material designation and make	TS EN 21952-A-W CrMoWV12Si (141) EN ISO 3580-A-E Cr Mo9 1 B42 H5 (111)	Kod veya Test Standardı / Code or Test Standard							
Bağlantı Dizaynı / Joint Design		Kaynak Sırasları / Welding Sequences							
									
Paso / Run	Kaynak Yöntemi / Welding Process	Dolgu malzemesi ölçüsü / Size of filler Material (mm)	Akım / Current (A)	Voltaj / Voltage (V)	Akım tipi ve Kutuplama / Type of current and polarity	Tel Besleme hızı / Wire Feed Speed (m/min)	Mode of metal Transfer / Metal Transfer Tipi	Kaynak Hızı / Travel Speed (cm/min)	Isı Girdisi / Heat Input (KJ/mm)
1	141	2	200 - 210	17 - 18	DC(-)	4-5	-	16-20	-
2	111	2,5	230 - 250	21 - 22	DC(+)	6-7	-	18-22	-
3-n	111	3,25	230 - 250	21 - 22	DC(+)	6-7	-	18-22	-
Gaz Gösterimi / Gas designation	Koruma / Shielding	EN 439 11				Maksimum paso genişliği / Maximum width of run	N/A		
	Aıtlık / Backing	EN 439 11				Tel sistemi (Tek, çoklu) / Wire System (Single, Multi)	Single		
Gaz akış debisi / Gas flow rate	Koruma / Shielding	10-12 (l/min)				Kaynak Sonrası Isıl İşlem ve detayları / Post-Weld Heat Treatment and details	N/A		
	Aıtlık / Backing	N/A				Darbeli Kaynak Detayı / Pulse Welding Detail	N/A		
Dolgu Malzemesinin Kurutulması ve taşıması / Transportation and drying of filler material	300°C de şoklayıp, 100 °C lik termoslardan kullanım					Torç Açısı / Torch Angle	~90°C		
Ön Isıtma Sıcaklığı / Preheat Temperature	Min. 220°C					Pasolar arası sıcaklık / Interpass Temperature	Max. 270°C		
Mustafa YARAR QA / QC Eng. IWE		28.05.2013		Mustafa YARAR QA / QC Eng. IWE					
Hazırlayan / Prepared by		Tarih / Date		Onaylayan / Approved by					

EK B

Çizelge B.1 : TIG kaynağında kullanılan kaynak elektrodu sertifikası.



Abnahmeprüfzeugnis 3.1
 Inspection certificate 3.1
 nach / as per: EN 10204
 Nr. / No.: 2-2011-14-2034015
 Rev. 0 Seite / page: 1 von/of 1

Abnahmeprüfzeugnis 3.1
 Inspection certificate 3.1
 nach / as per: EN 10204
 Nr. / No.: 2-2011-14-2034015
 Rev. 0 Seite / page: 1 von/of 1

Bestell-Nr.	Order No.	email dd April 4, 2011	- vom / of 04.04.2011	100046											
Trags-Nr.	Works order	1002111914													
Erschein/Pos./Splitt	Dispatch note/pos./Split	2002191782 / 0020 / 900002	vom / of 04.04.2011												
Gegenstand	Test object	Schweißstab welding rod		14487											
Idelsname	Trade designation	BOEHLER 20 MVW-IG		X579EW											
Duktkenzeichnung	Marking of product														
Standardbezeichnung	Standard classification	EN ISO 21952-A - W CrMoWV12Si / AWS A5.28.07: EG [ER90S-B9(mod.)]													
Messung	Dimension	2.00 x 1000 mm (.079" x 39")													
Größe	Heat No.	97012													
Belastung	Quantity delivered	20 KG													
Anforderungen	Requirements														
Chemische Analyse in % Chemical composition in %			Stab rod												
Größe Size	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	N2	V	W	Cu		
12	0.198	0.32	0.51	0.013	0.002	11.23	0.98	0.13	0.009	0.011	0.249	0.42	0.03		
Versuch Test			nach according to			EN 10002-1			Probenvorbereitung Specimen preparation						
									EN 876						
	Prüftemp. T Test temp. °C	Streckgrenze Reh Yield point MPa		Dehngrenze Rp Yield strength 0.2% MPa 1.0%		Zugfestigkeit Rm Tensile strength MPa		Dehnung A Elongation % Lo=5d		Einschnr. Z Reduction %		Bemerkung Remarks			
num	20			590		700		15				760°C/4h			
schlagv. ct Test			nach according to			EN 10045-1			Probenvorbereitung Specimen preparation						
									EN 875 VWT 0/b						
	Prüftemp. T Test temp. °C	Kerbschlagarbeit Mindest. KV Absorbed energy minimum values J				Mittelwert Average J		Lat. Breitg. Lateral expansion mm		Krist. Bruchanteil Shear fracture %		Bemerkung Remarks			
	20	35										760°C/4h			
The product BOEHLER 20 MVW-IG meets the requirements of the filler metal specification ASME, sec.II, part C, AWS A5.28.07, classification EG [ER90S-B9(mod.)] when tested in accordance with that specification. Produced according to AWS A5.01, class S3															

Çizelge B.2 : Elektrik ark kaynağında kullanılan örtülü elektrot sertifikası.



Gedik
Kaynak Sanayi ve Ticaret A.S.
Ankara Cad No. 28 Sehli
81520 Pendik - Istanbul
TÜRKİE

Abnahmeprüfzeugnis 3.1

Inspection certificate 3.1
nach / as per: EN 10204
Nr. / No.: 2-2011-14-1968814
Rev. 0 Seite / page: 1 von/of 1

Bestell-Nr.	Order No.	email dd Jan. 04, 2011		vom / of		05.01.2011		100046								
Auftrags-Nr.	Works order	1002109539														
Lieferschein/Pos./Splitt	Dispatch note/pos./Splitt	2002187318 / 0030 / 900004		vom / of		05.01.2011										
Prüfgegenstand	Test object	Stabelektrode covered electrode						68369								
Handelsname	Trade designation	BOEHLER FOX C 9 MV						Y1030002								
Produktkennzeichnung	Marking of product															
Normbezeichnung	Standard classification	EN ISO 3580-A - E CrMo91 B 4 2 H5 / AWS A5.5-06: E9015-B9														
Abmessung	Dimension	2.50 x 250 mm (.098" x 10")														
Serie	Lot No.	1122563														
Liefermenge	Quantity delivered	9 KG														
Anforderungen	Requirements															
Chemische Analyse in % Chemical composition in %				Reines Schweißgut all-weld metal												
Serie Lot No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	N2	V	Cu				
1122563	0.12	0.24	0.60	0.008	0.005	8.41	0.99	0.63	0.056	0.039	0.193	0.05				
Zugversuch Tensile Test				nach according to EN 10002-1				Probenvorbereitung Specimen preparation				EN 876				
	Prüftemp. T Test temp. °C	Streckgrenze Reh Yield point MPa	Dehngrenze Rp Yield strength 0.2% MPa 1.0%			Zugfestigkeit Rm Tensile strength MPa	Dehnung A Elongation % Lo=5d	Einschr. Z Reduction %	Bemerkung Remarks							
Minimum	20		550			680	17		760°C/2h							
Maximum																
Kerbschlagv. Impact Test				nach according to EN 10045-1				Probenvorbereitung Specimen preparation				EN 875 VWT 0/b				
	Prüftemp. T Test temp. °C	Kerbschlagarbeit Mindest. KV Absorbed energy minimum values J				Mittelwert Average J	Lat. Breitg. Lateral expansion mm	Krist. Bruchanteil Shear fracture %	Bemerkung Remarks							
	20	47							760°C/2h							

Bemerkung
Remarks The product BOEHLER FOX C 9 MV meets the requirements of the filler metal specification ASME, sec II, part C, AWS A5.5-06, classification E9015-B9 when tested in accordance with that specification. Produced according to AWS A5.01, class C3

Ort / Town
Kapfenberg

Datum / Date
11.01.2011

Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt ohne Unterschrift.
This certificate was issued by DP-equipment and does not require signature.

Abnahmebeauftragter
Authorized representative
Winkler

Böhler Schweißtechnik Austria GmbH
Böhler-Welding-Str. 1
A-3605 Kapfenberg
Internet: www.boehler-welding.at

Tel: +43 (0) 3862-301-0
Fax: +43 (0) 3862-301-95-193
E-Mail: postmaster.bsqa@bsqa.at

Registergericht: Leoben, FN 77052 M
ATU 27116607
DVR 0662348

Deutsche Bank AG (BLZ 19100), Nr. 31486000
Swiftcode: DEUTAT33
IBAN: AT37 1910 0000 3148 6000

Ek C

Çizelge C.1 : AISI P11 kalite çeliğe ait ısıtılma işlem sonrası radyografi raporu.

SİLAKALİTE		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT RADYOĞRAFI KONTROL RAPORU		TÜRKAK	
CONTRACTOR MÜŞTERİ		PROJECT NAME PROJE ADI		REFERENCE DWG NO RESİM NO	
Canoir Kırbaş		Master of Science		After PWHT	
EQUIPMENT/LINE No EKİPMAN / HAT No		INSPECTION PROCEDURE MUAYENE PROSEDÜRÜ		TEST SPECIFICATION TEST STANDARTI	
		S-PRO-RT-0273-REV2		EN 1435	
MATERIAL TYPE / MALZEME TİPİ		P11		TEST PLACE / TEST YERİ	
				BOLU/GOYNÜK	
WELD STRUCTURE DATE KAYNAK YAPILIŞ TARİHİ		FILLER MATERIAL DOLGU MALZEMESİ			
WELDING PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ		SMAW (111) ELEKTRİK ARK		GTAW (141) TIG	
JOINT DESIGN KAYNAK AĞZI DİZAYNI		V		X	
SURFACE CONDITION YÜZEY DURUMU		WELD KAYNAK		MACHINED İŞLENMİŞ	
STAGE OF EXAMINATION KONTROL NEDENİ		BEFORE HEAT TREATED ISIL İŞLEM ÖNCESİ		AFTER HEAT TREATED ISIL İŞLEM SONRASI	
		AS WELDED KAYNAK SONRA SI		PREPARED EDGE HAZIRLANMIŞ KENAR	
		AFTER 1st LAYER PASO SONRASI		OTHERS DİĞERLERİ	
SHOT PARAMETERS ÇEKİM PARAMETRELERİ		SOURCE-TO-FILM DISTANCE FİLM (İŞİN KAYNAĞI MESAFESİ)		EXPOSURE TIME POZ SÜRESİ	
		11cm		10sn	
		EQUIPMENT / CİHAZ		X-RAY	
		GAMARAY		CI	
		RADIOGRAPHIC TECHNIQUES		PANORAMIC/ PANAROMİK	
		DOUBLE WALL/DOUBLE IMAGE		SINGLE WALL/SINGLE IMAGE	
		FILM / FİLM		KODAK	
		MX125		D4	
		T200		AGFA	
		AA400		D5	
				FUJI	
				D7	
		IMAGE QUALITY INDICATOR GÖRÜNTÜ KALİTE BELİRTÇİSİ		ASTM	
				EN	
				SOURCE SIDE İŞİN TARAFI	
				FILM SIDE FİLM TARAFI	
				SCREENS EKRANLAR Pb	
				FRONT/ON	
				BACK/ARKA	
				0,100	
				0,200	
WELD NO EXTENSIONS KAYNAK NUMARASI EKLERİ		R REPAIR/ TAMİR		RS RE-SHOOT FİLM TEKRAR	
C/O CUT-OUT / KES		EF		EX FILM EXTENDED UZATILMIŞ FİLM	
				EVALUATION / DEĞERLENDİRME	
				AC ACCEPTED KABUL	
				B HAS ACCEPTED INDICATION KABUL EDİLEBİLİR BELİRTİ	
ITEM NO / KAYNAK NO		FILM IDENTIFICATION FİLM TANIMI		EVALUATION / DEĞERLENDİRME	
WELD NO / KAYNAK NO		INSPECTION ALAN		DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ	
DENSITY YOĞUNLUK		DIAMETER ÇAP		EVALUATION / SONUÇ	
THICKNESS KALINLIK mm		VIBRILE (Q) NO GÖRÜNEN TEL NUMARASI		ACCEPTED KABUL	
SENSITIVITY HASSASİYET		WELDER CODE KAYNAKÇI KODU		REJECTED REDDEDİ	
FILM SIZE FİLM BÖLÜMÜ		FILM SIZE FİLM BÖLÜMÜ		FINAL SONUÇ	
10X12		10X16		10X24	
10X16		10X24		10X36	
10X24		10X36		10X48	
10X36		10X48			
10X48					
PERFORMED BY İŞ YAPAN		INTERPRETER DEĞERLENDİRİYEN		NDT COORDINATOR	
LEVEL		SIGNATURE İMZA		CUSTOMER APPROVAL MÜŞTERİ ONAYI	
DATE/TARİH		DATE/TARİH		EMPLOYER APPROVAL İŞVEREN ONAYI	
12		20.07.2023		20.07.2023	

Çizelge C.2 : AISI P91 kalite çeliğe ait ısııl işlem sonrası radyografi raporu.

SİLAKALİTE SERVICE, QUALITY GUARANTEE, PROFESSIONALISM										RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT RADYOGRAFI KONTROL RAPORU										TÜRK ✓ T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI T.C. İNŞAAT BAKANLIĞI															
CONTRACTOR MÜŞTERİ				PROJECT NAME PROJE ADI				REFERENCE DWG NO RESİM NO				JOB ORDER No İŞ EMRİ NUMARASI				REPORT No RAPOR NO				SHEET No SAYFA NO															
Canoir Kırbaş				Master of Science				After PWHT				2013/NDT-025				2013 RT 001				1 of 1															
EQUIPMENT/LINE No EKİPMAN / HAT No				INSPECTION PROCEDURE MUAYENE PROSEDÜRÜ				TEST SPECIFICATION TEST STANDARTI				ACCEPTANCE CRITERIA KABUL KRİTERİ																							
				S-PRO-RT-0273-REV2				EN 1435				EN 5817 CLASS B																							
MATERIAL TYPE / MALZEME TİPİ				P91				TEST PLACE / TEST YERİ				BOLU/GOYNÜK																							
WELD STRUCTURE DATE KAYNAK YAPILIŞ TARİHİ								FILLER MATERIAL DOLGU MALZEMESİ																											
WELDING PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ				SMAW (111) ELEKTRİK ARK		✓	GTAW (141) TIG		✓	FCAW (114) ÖZLÜ TEL		-	GMAW (135) GAZALI TI		-	OTHERS DİĞERLERİ		-																	
JOINT DESIGN KAYNAK AĞZI DİZAYNI				V		✓	X		-	K		-	J		-	OTHERS DİĞERLERİ		-																	
SURFACE CONDITION YÜZEY DURUMU				WELD KAYNAK		✓	MACHINED İŞLENMİŞ		-	GROUND TAŞLANMIŞ		-	CAST DÖKÜM		-	ROLLED HADDELENMİŞ		-																	
STAGE OF EXAMINATION KONTROL NEDENİ				BEAFORE HEAT TREATED ISIL İŞLEM ÖNCESİ				AFTER HEAT TREATED ISIL İŞLEM SONRASI				AFTER HYDROTEST BASINÇ TEST SONRASI																							
				AS WELDED KAYNAK SONRA SI				AFTER 1st LAYER PASO SONRASI				PREPARED EDGE HAZIRLANMIŞ KENAR				OTHERS DİĞERLERİ																			
				SOURCE-TO-FILM DISTANCE FİLM İŞİN KAYNAĞI MESAFESİ				14				EXPOSURE TIME POZ SÜRESİ				20sn																			
								X-RAY				MA				KVP				FOCAL SPOT SIZE ODAK BOYUTU mm															
								GAMARAY				Ci				97				Ir192				se75				3X3							
				EQUIPMENT / CİHAZ				PANORAMIC / PANAROMİK				SINGLE WALL / SINGLE IMAGE				DOUBLE WALL / DOUBLE IMAGE				DOUBLE WALL / SINGLE IMAGE															
				RADIOGRAPHIC TECHNIQUES				DOUBLE WALL / DOUBLE IMAGE				CIFT				✓				DOUBLE WALL / SINGLE IMAGE															
				FILM / FİLM				KODAK				MX15				D4				IX50				OTHERS DİĞERLERİ											
								T200				✓				AGFA				D5				FUJI				IX80				OTHERS DİĞERLERİ			
								AA400				D7				IX100				OTHERS DİĞERLERİ				OTHERS DİĞERLERİ											
				IMAGE QUALITY INDICATOR GÖRÜNÜŞ KALİTE BELİRTECİ				ASTM				EN				SOURCE SIDE İŞİN TARAFI				FILM SIDE FİLM TARAFI				SCREENS EKRANLAR Pd				FRONT/ON				0,100			
								10 FEET				✓				✓				✓				BACK/ARKA				0,200							
WELD NO EXTENSIONS KAYNAK NUMARASI EKLERİ				R		REPAIR / TAMİR		RS		RE-SHOOT FİLM TEKRAR		EX		FILM EXTENDED UZATILMIŞ FİLM		EVALUATION / RESULT EXTENSIONS DEĞERLENDİRME EKLERİ		AC		ACCEPTED KABUL		R		REPAIR TAMİR											
				C/O		CUT-OUT / KES		EF		FILM ADDITIONALLY REQUESTED İSTENEN EXTRA FİLM								B		HAS ACCEPTED INDICATION KABUL EDİLEBİLİR BELİRTİ															
FILM IDENTIFICATION FİLM TANIMI				IMPRESSION AREA / İNCİLEME BÖLGESİ		DENSITY YÖKSÜKLÜK		DAP mm		THICKNESS KALINLIK mm		VISIBLE IQ NO GÖRÜNÜŞ TEL NÜFUSUSİ		SENSITIVITY HASSASİYET		WELD NO KAYNAK KODU		FILM SIZE FİLM BÜYÜKLÜĞÜ		EVALUATION / DEĞERLENDİRME		DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ		EVALUATION SONUÇ		FINAL ACTION									
WELD NO / KAYNAK NO																																			
1	P91-1	0-10	2.8	139,7	16	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10x12	10x16	10x24	10x36	10x48	DEFECT TYPE HATA TİPİ	DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ	AC	✓	ACCEPTED KABUL	✓							
2	"	10-20	3.2	139,7	16	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10x12	10x16	10x24	10x36	10x48	DEFECT TYPE HATA TİPİ	DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ	AC	✓	ACCEPTED KABUL	✓							
3	"	20-0	2.8	139,7	16	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10x12	10x16	10x24	10x36	10x48	DEFECT TYPE HATA TİPİ	DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ	AC	✓	ACCEPTED KABUL	✓							
4	P91-2	0-10	3.2	139,7	16	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10x12	10x16	10x24	10x36	10x48	DEFECT TYPE HATA TİPİ	DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ	AC	✓	ACCEPT								

Çizelge C.3 : AISI P11 kalite çeliğe ait ısııl işlem öncesi manyetik parçacık raporu.



MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION REPORT

MANYETİK PARÇACIK TEST RAPORU



CONTRACTOR
MÜŞTERİ

PROJECT NAME
PROJE ADI

REFERENCE DWG NO
RESİM NO

WORK ORDER NO
İŞEMİ NO

REPORT NO
NO

RAPOR
SHEET NO
SAYFA NO

Caner Kirbaş

Master of Science Theses

Before PWHT

2013 / NDT-025

2013 / MT-001

1 of 1

INSPECTION SYSTEM
MUAYENE SİSTEMİ

INSPECTION PROCEDURE
MUAYENE PROSEDÜRÜ

TEST SPECIFICATION
TEST STANDARTI

ACCEPTANCE CRITERIA
KABUL KRİTERİ

KONVANSİYEL

S-PRO-MT-0303-R02

TS EN ISO 17638

EN ISO 23278 X2

TEST DATE / TEST TARİHİ

18.07.2013

TEST PLACE / TEST YERİ

BOLU/GOYNUK

MATERIAL TYPE
MALZEME TİPİ

P11

WELD STRUCTURE DATE / KAYNAK YAPILIŞ TARİHİ

FILLER MATERIAL
DOLGU MALZEMESİ

WELD
KAYNAK

WELDING PROCESS
KAYNAK YÖNTEMİ

WELD JOINT
KAYNAK AĞZI

SMW (111)
ELEKTRİK ARK

SAW(121)
TOZ ALTI

GMAW
(131-138)
MIG-MAG

FCM
(136)
OZLU TEL

GTAW
(141) TIG

SURFACE CONDITION
YÜZEY DURUMU

WELD
KAYNAK

CAST
DOKUM

MACHINED
İŞLENMİŞ

GROUND
TAŞLANMIŞ

HEAT TREATED
ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ

STAGE OF EXAMINATION
KONTROL NEDENİ

PREPARED EDGE
HAZIRLANMIŞ KENAR

AFTER HYDROTEST
BASINÇ TEST SONRASI

AS WELDED
SONRASI

AFTER PWHT
ISIL İŞLEM SONRASI

AFTER 1st LAYER
İLK PASO SONRASI

OTHERS
DİĞERLERİ

EQUIPMENT BRAND
NAME

CHAZ MARKASI

CONTOUR
PROBE

SERIAL NO

22081

CURRENT
AKIM

AC

DC

DEMAGNETIZATION
N DÖNE - N/A

MAGNETIZATION TYPE
MANYETİZASYON ŞEKLİ

CURRENT MAGNETIZATION (PROD)
AKIM MANYETİCİ

HAND MAGNET (YOKE)
EL MANYETİ

COIL MAGNETIZING
MANYETİCİ

BOBIN

PERMANENT MAGNET / SAKIT
MANYETİK

SPACING (cm)
AYAK MESAFESİ (cm)

90mm

FIELD STRENGTH
MANYETİK ALAN GÜCÜ

3,8 kA/m²

MAG. FLUX DIRECTION
MANYETİK ALAN YÖNÜ

LONGITUDINAL
BOYUNA

CIRCULAR
DİREKSEL

BACK GROUND PAINT BRAND&TYPE
ZEMİN PARLATMA BOYASI MARKASI VE TİPİ

BETA BT10

MAGNETIC PARTICLE BRAND&TYPE
MANYETİK PARÇACIK MARKA VE TİPİ

BETA BT20

METHOD APPLIED
UYGULANAN METOD

FLUORESCENT
FLÜORESAN

VISIBLE
GÖRÜNÜR

DRY POWER
TOZ KURU

CONTRAST PAINT
KONTRAST BOYA

BLACK LIGHT BRAND
SİYAH IŞIK MARKASI

SERIAL NO

UV LIGHT INTENSITY
UV IŞIK ŞİDDETİ

AMBIENT LIGHT
ORTAM IŞIĞI

≥1100 LUXS

EXPECTED DEFECTS
ARANAN HATA TÜRÜ

LONGITUDINAL DEFECTS
BOYUNA HATALAR

TRANSVERSE DEFECTS
ENİNE HATALAR

ALL DIRECTION
BÜTÜN YÖNLER

LOCATION OF DISCONTINUITY
EXTENSIONS
SÜREKSİZLİĞİN YERİ EKLERİ

BM

BASE METAL / ANAMETAL

HAZ

HEAD AFFECTED ZONE /
İSİDAN ETKİLENEN BÖLGE

EVALUATION / RESULT
EXTENSIONS
DEĞERLENDİRME EKLERİ

AC

ACCEPTED

KABUL

R

REPAIR
TAMIR

W

WELD / KAYNAK

B

BEVEL / KAYNAK AĞZI

B

HAS ACCEPTED INDICATION
KABUL EDİLEBİLİR BELİRTE

ITEM NO
SIRA NO

KIRILŞI POZU

WELDER NO
KAYNAKCI NO

WELD
LENGTH(MM)
TEST YAPILAN
KAYNAK
UZUNLUĞU (mm)

ITEM DIAMETER/
THICKNESS /
PARÇA BOYUTU
ÇAP/KALINLIK

LOCATION OF
DISCONTINUITY
SÜREKSİZLİĞİN
YERİ

RESULT / BULGULAR

INDENT OF DISCONTINUITY
SÜREKSİZLİK TANIMI

SIZE OF DISCONTINUITY
HATA BOYUTU

EVALUATION / RESULT
SONUÇ

REMARKS
DÜŞÜNCELER

METRAJ
(cm)

1

P11-1

W1

350mm

108x16mm

-

-

-

AC

-

35

2

P11-2

W1

350mm

108x16mm

-

-

-

AC

-

35

3

P11-3

W1

350mm

108x16mm

-

-

-

AC

-

35

4

P11-4

W1

350mm

108x16mm

-

-

-

AC

-

35

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

REMARKS / DÜŞÜNCELER

TOPLAM KONTROL
METRAJİ cm

140,00

MUAYENEYİ YAPILAN VE GÖZLEMLİ

COŞKUN ÖZ

LEVİ

18.07.2013

DEĞERLENDİREN / GÖZLEMLİ

COŞKUN ÖZ

LEVİ

18.07.2013

MÜŞTERİ ONAYI / CUSTOMER APPROVAL

ADR NAME

LEVEL

SIGNATURE / İMZA

DATE / TARİH

FORM NO : S-FRM-MT-0180-R02

FORM NO : S-FRM-MT-0180-R02

Çizelge C.4 : AISI P11 kalite çeliğe ait ısıt işlemleri sonrası manyetik parçacık raporu.

SİLA KALİTE		MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION REPORT										TÜRKİYE									
SERVICE, QUALITY, GUARANTEE, PROFESSIONALISM		MANYETİK PARÇACIK TEST RAPORU										T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI									
SİGEL	CONTRACTOR MÜŞTERİ		PROJECT NAME PROJE ADI		REFERENCE DWG NO RESİM NO		WORK ORDER NO İŞEMİRİ NO		REPORT NO NO		RAPOR		SHEET NO SAYFA NO								
	Caner Kırbaş		Master of Science Theses		After PWHT		2013 / NDT-025		2013 / MT-001				1 of 1								
	INSPECTION SYSTEM MUAYENE SİSTEMİ		INSPECTION PROCEDURE MUAYENE PROSEDÜRÜ		TEST SPECIFICATION TEST STANDARTI		ACCEPTANCE CRITERIA KABUL KRİTERİ														
	KONVANSİYEL		S-PRO-MT-0303-R02		TS EN ISO 17638		EN ISO 23278 X2														
İŞEDEL	TEST DATE / TEST TARİHİ		18.07.2013		TEST PLACE / TEST YERİ		BOLU/GOYNUK		MATERIAL TYPE MALZEME TİPİ		P11										
	WELD STRUCTURE DATE / KAYNAK YAPILIŞ TARİHİ				FILLER MATERIAL DOLGU MALZEMESİ																
	WELD KAYNAK		WELDING PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ		SMAW (111) ELEKTRİK ARK		SAW (121) TOZ ALTI		GMAW (131-135) MIG-MAG		FGAW (136) OZLU TEL		GTAW (141) TIG								
	WELD JOINT KAYNAK AGZI		V		X		K		J		FILLET KOŞE										
MANYETİK	SURFACE CONDITION YÜZEY DURUMU		WELD KAYNAK		MACHINED İŞLENMİŞ		GROUND TAŞLANMIŞ		HEAT TREATED ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ												
	CAST DÖKÜM		ROLLED HADDELENMİŞ		SMOOTH YUMUŞAK GEÇİŞLİ		OTHERS DİĞERLERİ														
	STAGE OF EXAMINATION KONTROL NEDENİ		PREPARED EDGE HAZIRLANMIŞ KENAR		AS WELDED KAYNAK SONRASI		AFTER PWHT ISIL İŞLEM SONRASI		AFTER 1 ST LAYER İLK PASO SONRASI		OTHERS DİĞERLERİ										
			AFTER HYDROTEST BASINÇ TEST SONRASI																		
MANYETİK	EQUIPMENT BRAND NAME		CHAZ MARKASI		CONTOUR PROBE		SERIAL NO		22081		CURRENT AKIM		AC								
	MAGNETIZATION TYPE MKNATISLAMA ŞEKLİ		CURRENT MAGNETIZATION (PROD) AKIM MANYETİZASYON		HAND MAGNET (YOKE) EL MANYETİ		COIL MAGNETIZING MANYETİĞİ		BOBIN		PERMANENT MAGNET / SABİT MANYETİK										
	SPACING (cm) AYAK MESAFESİ (cm)		90mm		FIELD STRENGTH MANYETİK ALAN GÜÇÜ		3.8 kA/m²		MAG. FLUX DIRECTION MANYETİK ALAN YÖNÜ		LONGITUDINAL BOYUNA		CIRCULAR DAİRESEL								
	BACK GROUND PAINT BRAND & TYPE ZEMİN PARLATMA BOYASI MARKASI VE TİPİ		BETA BT10		MAGNETIC PARTICLE BRAND & TYPE MANYETİK PARÇACIK MARKA VE TİPİ		BETA BT20														
	METHOD APPLIED UYGULANAN METOD		FLUORESCENT FLORESAN		VISIBLE GÖRÜNER		DRY POWER TOZ		KURU		CONTRAST PAINT KONTRAST BOYA										
	BLACK LIGHT BRAND SİYAH IŞIK MARKASI		SERIAL NO		UV LIGHT INTENSITY UV IŞIK ŞİDDETİ		AMBIENT LIGHT ORTAM IŞIĞI		≥1100 LUXS												
	EXPECTED DEFECTS ARANAN HATA TÜRÜ		LONGITUDINAL DEFECTS BOYUNA HATALAR		TRANSVERSE DEFECTS ENİNE HATALAR		ALL DIRECTION BÜTÜN YÖNLER														
	LOCATION OF DISCONTINUITY EXTENSIONS SÜREKSİZLİK YERİ EKLERİ		BM		BASE METAL / ANAMETAL		HAZ		HEAD AFFECTED ZONE / İSİDAN ETKİLENEN BÖLGE		EVALUATION / RESULT EXTENSIONS DEĞERLENDİRME EKLERİ		AC								
			W		WELD / KAYNAK		B		BEVEL / KAYNAK AGZI		B		HAS ACCEPTED INDICATION KABUL EDİLEBİLİR BELİRTİ								
	İTEM NO SIRA NO	Kiriş Pozu		WELDER NO KAYNAKCI NO		WELD LENGTH (MM) TEST YAPILAN KAYNAK UZUNLUĞU (mm)		ITEM DIAMETER/ THICKNESS / PARÇA BOYUTU ÇAPKALINLIK		LOCATION OF DISCONTINUITY SÜREKSİZLİĞİN YERİ		INDENT OF DISCONTINUITY SÜREKSİZLİK TANIMI		SIZE OF DISCONTINUITY HATA BOYUTU		EVALUATION / RESULT SONUÇ		REMARKS DÜŞÜNCELER		METRAJ (cm)	
1		P11-1	W1	350mm	108x16mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35			
2		P11-2	W1	350mm	108x16mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35			
3		P11-3	W1	350mm	108x16mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35			
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
REMARKS / DÜŞÜNCELER																		TOPLAM KONTROL METRAJ cm		140,00	
%100 manyetik parçacık uygulaması yapılmıştır. Herhangi bir hataya rastlanmamıştır.																					
ADI NAME		MUAYENE YAPAN / INSPECTED BY				DEĞERLENDİREN / APPROVED BY				MÜŞTERİ ONAYI / CUSTOMER APPROVAL											
LEVEL		LEVEL II				LEVEL II															
SIGNATURE / İMZA		[Signature]				[Signature]															
DATE / TARİH		18.07.2013				18.07.2013															
FORM NO: S-FRM-MT-0180-R02 (*) KULLANILMIYAN BİLGİ ALANINI "-" İLE İŞARETLEYİN / RECORD "-" WHERE REQUESTED INFO IS NOT APPLICABLE																					

Çizelge C.5 : AISI P91 kalite çeliğe ait ısıt işlemleri öncesi manyetik parçacık raporu.

EİLA KALİTE		MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION REPORT MANYETİK PARÇACIK TEST RAPORU						TÜRKİYE KURUMU			
GENEL	CONTRACTOR MÜŞTERİ	PROJECT NAME PROJE ADI		REFERENCE DWG NO RESİM NO	WORK ORDER NO İŞEMİ NO	REPORT NO NO	RAPOR	SHEET NO SAYFA NO			
	Caner Kırbaş	Master of Science Theses		Before PWHT	2013 / NDT-025	2013 / MT-001		1 of 1			
	INSPECTION SYSTEM MUAYENE SİSTEMİ	INSPECTION PROCEDURE MUAYENE PROSEDÜRÜ		TEST SPECIFICATION TEST STANDARTI		ACCEPTANCE CRITERIA KABUL KRİTERİ					
	KONVANSİYEL	S-PRO-MT-0303-R02		TS EN ISO 17638		EN ISO 23278 X2					
WELD	TEST DATE / TEST TARİHİ	18.07.2013		TEST PLACE / TEST YERİ	BOLU/GÖYNÜK		MATERIAL TYPE MALZEME TİPİ	P91			
	WELD STRUCTURE DATE / KAYNAK YAPILIŞ TARİHİ			FILLER MATERIAL DOLGU MALZEMESİ							
	WELD KAYNAK	WELDING PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ	SMW (111) ELEKTRİK ARK	SAW (121) TOZ ALTI	GMW (131-135) MIG-MAG	FCW (136) ÖZLÜ TEL	GTW (141) TIG				
	SURFACE CONDITION YÜZEY DURUMU	WELD JOINT KAYNAK AGZI	MACHINED İŞLENMİŞ	GROUND TAŞLANMIŞ	HEAT TREATED ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ	OTHERS DİĞERLERİ					
MANYETİK	STAGE OF EXAMINATION KONTROL NEDENİ	PREPARED EDGE HAZIRLANMIŞ KENAR	AFTER HYDROTEST BASINÇ TEST SONRASI	AS WELDED KAYNAK SONRASI	AFTER PWHT ISIL İŞLEM SONRASI	AFTER 1 st LAYER İLK PASO SONRASI	OTHERS DİĞERLERİ				
	EQUIPMENT BRAND NAME ÇİHAZ MARKASI	CONTOUR PROBE	SERIAL NO	22081	CURRENT AKIM	AC	DC	DEMAGNETIZATION N. DENE-N.A			
	MAGNETIZATION TYPE MKNATISLAMA ŞEKLİ	CURRENT MAGNET (ZASYON (PROD) AKIM MANYETİK	HAND MAGNET (YOKE) EL MAGNETİ	COIL MAGNETIZING MANYETİĞİ	BOBIN	PERMANENT MAGNET / SABİT MKNATİS					
	SPACING (cm) AYAK MESAFESİ (cm)	90mm	FIELD STRENGTH MANYETİK ALAN GÜÇÜ	3,8 kA/m²	MAG. FLUX DIRECTION MANYETİK ALAN YÖNÜ	LONGITUDINAL BOYUNA	CIRCULAR DİREKSEL				
MANYETİK	BACK GROUND PAINT BRANDS & TYPE ZEMİN PARLATMA BOYASI MARKASI VE TİPİ	BETA BT10		MAGNETIC PARTICLE BRAND & TYPE MANYETİK PARÇACIK MARKA VE TİPİ		BETA BT20					
	METHOD APPLIED UYGULANAN METOD	FLUORESCENT FLÖRESAN	VISIBLE GÖRÜNÜR	DRY POWER TOZ	KURU	CONTRAST PAINT KONTRAST BOYA					
	BLACK LIGHT BRAND SİYAH IŞIK MARKASI	SERIAL NO	UV LIGHT INTENSITY UV IŞIK ŞİDDETİ	AMBIENT LIGHT ORTAM IŞIĞI	≥1100 LUXS						
	EXPECTED DEFECTS ARANAN HATA TÜRÜ	LONGITUDINAL DEFECTS BOYUNA HATALAR	TRANSVERSE DEFECTS ENİNE HATALAR	ALL DIRECTION BÜTÜN YÖNLER							
MANYETİK	LOCATION OF DISCONTINUITY EXTENSIONS SÜREKSİZLİĞİN YERİ EKLERİ	BM W	BASE METAL / ANAMETAL WELD / KAYNAK	HAZ B	HEAD AFFECTED ZONE / İSİDAN ETKİLENEBİLİR BÖLGE BEVEL / KAYNAK AGZI	EVALUATION / RESULT EXTENSIONS DEĞERLENDİRME EKLERİ	AC B	ACCEPTED KABUL			
							R HAS ACCEPTED INDICATION KABUL EDİLEBİLİR BELİRTİ	REPAIR TAMİR			
MANYETİK	ITEM NO SIRA NO	KIRIŞ POZU	WELDER NO KAYNAKCI NO	WELD LENGTH (MM) TEST YAPILAN KAYNAK UZUNLUĞU (mm)	ITEM DIAMETER / THICKNESS / PARÇA BOYUTU ÇAP/KALINLIK	LOCATION OF DISCONTINUITY SÜREKSİZLİĞİN YERİ	INDENT OF DISCONTINUITY SÜREKSİZLİK TANIMI	SIZE OF DISCONTINUITY HATA BOYUTU	EVALUATION / RESULT SONUÇ	REMARKS DÜŞÜNCELER	METRAJ (cm)
	1	P91-1	W1	500mm	139,7x16mm	-	-	-	AC	-	50
	2	P91-2	W1	500mm	139,7x16mm	-	-	-	AC	-	50
	3	P91-3	W1	500mm	139,7x16mm	-	-	-	AC	-	50
	4	P91-4	W1	500mm	139,7x16mm	-	-	-	AC	-	50
	5										
	6										
	7										
	8										
	9										
	10										
	11										
	12										
	13										
	14										
	15										
REMARKS / DÜŞÜNCELER						TOPLAM KONTROL METRAJ cm		200,00			
%100 manyetik parçacık uygulaması yapılmıştır. Herhangi bir hataya rastlanmamıştır.											
MUAYENİ YAPAN / INSPECTED BY		DEĞERLENDİREN / APPROVED BY		MÜŞTERİ ONAYI / CUSTOMER APPROVAL							
ADI NAME		COSKUN GÜZ									
LEVEL		LEVEL II									
SIGNATURE / İMZA		18.07.2013									
DATE / TARİH		18.07.2013									

FORM NO: S-FRM-MT-0180-R02

(*) KULLANILAN BİLGİLERİNİ "İLE İŞARETLEYİN / RECORD" WHERE REQUESTED INFO IS NOT APPLICABLE

Çizelge C.6 : AISI P91 kalite çeliğe ait ısıtıl işlem sonrası manyetik parçacık raporu.

EİLA KALİTE		MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION REPORT MANYETİK PARÇACIK TEST RAPORU				TÜRKİYE MAGNETİK PARÇACIK					
GENEL	CONTRACTOR MÜŞTERİ	PROJECT NAME PROJE ADI	REFERENCE DWG NO RESİM NO	WORK ORDER NO İŞEMİ NO	REPORT NO RAPOR	SHEET NO SAYFA NO					
	PIPE WELD				2013 / MT-001	1 of 1					
	INSPECTION SYSTEM MUAYENE SİSTEMİ	INSPECTION PROCEDURE MUAYENE PROSEDÜRÜ	TEST SPECIFICATION TEST STANDARTI	ACCEPTANCE CRITERIA KABUL KRİTERİ							
	KONVANSİYEL	S-PRO-MT-0303-R02	TS EN ISO 17638	EN ISO 23278 X2							
WELD	TEST DATE / TEST TARİHİ	04.07.2013	TEST PLACE / TEST YERİ	MATERIAL TYPE MALZEME TİPİ		P91-P22-P11					
	WELD STRUCTURE DATE / KAYNAK YAPILIŞ TARİHİ		FILLER MATERIAL DOLGU MALZEMESİ								
	WELD KAYNAK	WELDING PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ	SMAG (111) ELEKTRİK ARK	SAWI (121) TOZ ALTI	GMAG (131-135) MIG-MAG	FCAG (136) OZLU TEL	GTAW (141) TIG				
	SURFACE CONDITION YÜZEY DURUMU	WELD JOINT KAYNAK AĞZI	MACHINED İŞLENMİŞ	GROUND TAŞLANMIŞ	HEAT TREATED ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ	OTHERS DİĞERLERİ					
MANYETİK	STAGE OF EXAMINATION KONTROL NEDENİ	PREPARED EDGE HAZIRLANMIŞ KENAR	AS WELDED ISIL İŞLEM SONRASI	AFTER 1 st LAYER İLK PASO SONRASI							
	EQUIPMENT BRAND NAME CİHAZ MARKASI	CONTOUR PROBE	SERIAL NO	22081	CURRENT AKIM	AC	DC				
	MAGNETIZATION TYPE MONTAJLAMA ŞEKLİ	CURRENT MAGNETIZATION (PROD) AKIM MANYETİĞİ	HAND MAGNET (YOKE) EL MANYETİĞİ	COIL MAGNETIZNG MANYETİĞİ	BOBIN	PERMANENT MAGNET / SABİT MANYETİĞİ	DEMAGNETIZATION N DÖNE - NA				
	SPACING (cm) KAYNAK MESAFESİ (cm)	90mm	FIELD STRENGTH MANYETİK ALAN GÜCÜ	3.8 kA/m ²	MAG. FLUX DIRECTION MANYETİK ALAN YÖNÜ	LONGITUDINAL BOYUNA	CIRCULAR DAİRESEL				
MANYETİK	BACK GROUND PAINT BRAND&TYPE ZEMİN PARLATMA BOYASI MARKASI VE TİPİ	BETA BT10	MAGNETIC PARTICLE BRAND&TYPE MANYETİK PARÇACIK MARKA VE TİPİ		BETA BT20						
	METHOD APPLIED UYGULANAN METOD	FLUORESCENT FLÜORESEN	VISIBLE GÖRÜNÜR	DRY POWER TOZ	KURU	CONTRAST PAINT KONTRAST BOYA					
	BLACK LIGHT BRAND SİYAH IŞIK MARKASI	SERIAL NO	UV LIGHT INTENSITY UV IŞIK ŞİDDETİ	AMBIENT LIGHT ORTAM IŞIĞI							
	EXPECTED DEFECTS ARANAN HATA TÜRÜ	LONGITUDINAL DEFECTS BOYUNA HATALAR	TRANSVERSE DEFECTS ENİNE HATALAR	ALL DIRECTION BÜTÜN YÖNLER							
LOCATION OF DISCONTINUITY SÜREKSİZLİĞİN YERİ EKLERİ	BM	BASE METAL / ANAMETAL	HAZ	HEAD AFFECTED ZONE / İSİDAN ETKİLENEN BÖLGE	EVALUATION / RESULT EXTENSIONS DEĞERLENDİRME EKLERİ	AC	ACCEPTED KABUL				
	W	WELD / KAYNAK	B	BEVEL / KAYNAK AĞZI	B	HAS ACCEPTED INDICATION KABUL EDİLEBİLİR BELİRTİ	R REPAIR TAMİR				
ITEM NO SIRA NO	KIRIŞ POZU	WELDER NO KAYNAKÇI NO	WELD LENGTH(MM) TEST YAPILAN KAYNAK UZUNLUĞU (mm)	ITEM DIAMETER/ THICKNESS / PARÇA BOYUTU ÇAPKALINLIK	LOCATION OF DISCONTINUITY SÜREKSİZLİĞİN YERİ	INDENT OF DISCONTINUITY SÜREKSİZLİK TANIMI	SIZE OF DISCONTINUITY HATA BOYUTU	EVALUATION / RESULT SONUÇ	REMARKS DÜŞÜNCELER	METRAJ (cm)	
	1	P91-1	W1	5"	t:14mm	-	-	-	AC	-	45
	2	P91-2	W1	5"	t:14mm	-	-	-	AC	-	45
	3	P91-3	W1	5"	t:14mm	-	-	-	AC	-	45
	4	P91-4	W1	5"	t:14mm	-	-	-	AC	-	45
	5	P22-1	W1	4"	t:16mm	-	-	-	AC	-	35
	6	P22-2	W1	4"	t:16mm	-	-	-	AC	-	35
	7	P22-3	W1	4"	t:16mm	-	-	-	AC	-	35
	8	P22-4	W1	4"	t:16mm	-	-	-	AC	-	35
	9	P11-1	W1	4"	t:16mm	-	-	-	AC	-	35
	10	P11-2	W1	4"	t:16mm	-	-	-	AC	-	35
	11	P11-3	W1	4"	t:16mm	-	-	-	AC	-	35
	12	P11-4	W1	4"	t:16mm	-	-	-	AC	-	35
	13										
	14										
15											
REMARKS / DÜŞÜNCELER								TOPLAM KONTROL METRAJ: 460,00			
%100 manyetik parçacık uygulaması yapılmıştır. Herhangi bir hataya rastlanmamıştır.											
ADI NAME	MUAYENE YAPAN / INSPECTED BY	DEĞERLENDİREN / APPROVED BY		MÜŞTERİ ONAYI / CUSTOMER APPROVAL							
LEVEL	COSKUN OBOZ	COSKUN OBOZ									
SIGNATURE / İMZA											
DATE / TARİH	04.07.2013	04.07.2013									
FORM NO: S-FRM-MT-0160-R02 (YEREL NİLMAYAN BİLGİ ALAT İNŞ. İLE İŞARETLİYİN / RECORD -) WHERE REQUESTED INFO IS NOT APPLICABLE											

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Caner KIRBAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi: ESKİŞEHİR / 12.07.1988
Adres: Akarbaşı Mah.Arısoylar Sok. No:20/18 ESKİŞEHİR
E-Posta: canerkirbas@gmail.com
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (2007 – 2012)