

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ST 52 ÇELİĞİNE MIG YÖNTEMİYLE YAPILAN KAPLAMA KAYNAĞINDA
ÖN TAVLAMA SICAKLIĞININ ETKİLERİ**

BURAK NALÇACI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. SELAHATTİN YUMURTACI**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ST 52 ÇELİĞİNE MIG YÖNTEMİYLE YAPILAN KAPLAMA KAYNAĞINDA ÖN
TAVLAMA SICAKLIĞININ ETKİLERİ**

BURAK NALÇACI tarafından hazırlanan tez çalışması 06/04/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri MAKİNE Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Murat KIYAK
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Kaplama kaynağı; lehimleme, metal püskürtme veya ergitme kaynak yöntemlerinden herhangi biriyle ana metal üzerine, kimyasal bileşimi ve özellikleri bilinen kaplama metali ile bir veya birkaç tabaka halinde kaplanması işlemidir. Bu tez çalışması kaplama kaynağında uygulanan ön tavlama işleminin etkilerini araştırmak amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmada en büyük destekçi olan HRA Kalite, Denetim, Belgelendirme, Laboratuvar ve Eğitim Hizmetleri Sanayi Ticaret Limited Şirketi Genel Müdür yardımcısı sayın Ahmet ÇETİNER'e, Genel Müdür Hamit Rıza ADALETİ'ne, Teknik Müdür Hakkı KÖSE'ye, Kalite Müdürü Ayşe Kovaytan'a, Mekanik Laboratuvar Müdürü Erman TOPÇU'ya, uygulama aşamasında bütün imkanları sağlayan IŞIK Mühendisliğe, Gazi Üniversitesi Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Tayfun FINDIK'a, TÜV-SÜD mühendisi Ali Rıza ÖZTÜRK'e, Serkan TOSUN'a ve değerli danışmanım Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos, 2016

Burak NALÇACI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	1
BÖLÜM 2	
PASLANMAZ ÇELİKLER	2
2.1 Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri.....	3
2.1.1 İmalat Kolaylığı	3
2.1.2 Mekanik Dayanım	3
2.1.3 Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar	3
2.1.4 Korozyon Dayanımı.....	3
2.1.5 Görünüm.....	3
2.1.6 Hijyenik Özellik	4
2.1.7 Uzun Ömür.....	4
2.2 Paslanmaz Çelik Çeşitleri.....	4
2.2.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler	5
2.2.2 Östenitik Paslanmaz Çelikler	6
2.2.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler	7
2.2.4 Dubleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler	8

2.2.5	Çökelme ile Sertleşen Paslanmaz Çelikler	8
BÖLÜM 3		
MIG KAYNAĞI.....		10
3.1	Koruyucu Gazlar	11
3.2	Akım Şekli ve Kaynağı.....	11
3.3	Çalışma Tekniği	11
3.4	Çeşitli Malzemelerin MIG Kaynağı	12
3.5	MIG Kaynağı Avantajları.....	13
3.6	MIG Kaynağı Dezavantajları	13
BÖLÜM 4		
KAPLAMA KAYNAĞI.....		14
4.1	Tanım ve Önemi	14
4.2	Doldurma Usulleri ve Doldurmaya Hazırlama	15
4.3	Ön Tavlama	16
4.4	Isıl İşlemler	17
4.5	Mekanik İşlemler.....	18
4.6	MIG Yöntemiyle Doldurma	18
4.7	TIG Yöntemiyle Doldurma.....	19
4.8	Toz Altı Kaynağı ile Doldurma	19
4.9	Püskürtme ile Doldurma	19
4.9.1	Metal Püskürtme ile Doldurma	19
4.9.2	Metal Püskürtme ve Ergitme Yoluyla Doldurma	20
4.9.3	Plazma Arkı ile Doldurma	20
4.9.4	Plazma Arkı ile Doldurma ve Ergitme	20
BÖLÜM 5		
KAYNAK EDİLMİŞ PARÇALARIN MEKANİK TESTLERİ		21
5.1	Çekme Testi.....	21
5.1.1	Çekme Testinin Yapılışı	21
5.1.2	Çekme Testinden Elde Edilen Veriler	22
5.2	Eğme Testi.....	24
5.3	Darbe Testi	24
5.4	Sertlik Testi.....	28
5.4.1	Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemleri	29
5.4.2	Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi.....	32
5.4.3	Knoop ve Vickers Sertlik Ölçme Yöntemleri	33
5.4.4	Sertlik Dönüşümü	33
BÖLÜM 6		
MAKRO İNCELEME		35
6.1	Makro Dağlama.....	35
6.1.1	Makro Dağlama Uygulamaları	36

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
7.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	41
7.1.1 Ana Metal	41
7.1.2 İlave Malzeme.....	43
7.1.3 Koruyucu Gaz.....	45
7.1.4 Kaynak Makinesi	46
7.2 Kaynak İşlemlerinin Uygulanışı	48
7.3 Uygulanan Deneyler.....	63
7.3.1 Makro İnceleme Testi	64
7.3.2 Sertlik Testi	67
7.3.3 Yan Eğme Testi.....	71

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	81

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
Ni	Nikel
C	Karbon
Cr	Krom
Mn	Mangan
W	Wolfram
σ	Gerilme
C	Celcius

KISALTMA LİSTESİ

ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MIG	Metal Inert Gas
HV	Hardness of Vickers
HB	Hardness of Brinell
RC	Rockwell C
TIG	Tungsten Inert Gas
HMK	Hacim Merkezli Kübik
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
J	Joule
IIW	International Institute of Welding
KSD	Knoop Sertlik Değeri
VSD	Vickers Sertlik Değeri
Lt	litre
dk	dakika
mm	milimetre
cm	santimetre
A	Amper
V	Volt
C _{eş}	Karbon Eşdeğeri
ISO	International Organization for Standardization
SIGMA	Shielded Inert Gas Metal Arc

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Paslanmaz çelikte oluşan krom oksit tabakası	2
Şekil 2.2 Bazı paslanmaz çelik türlerinin mikroyapıları	5
Şekil 2.3 Çökelti ile sertleştirilmiş paslanmaz çeliğin ısıtılma safhaları.....	9
Şekil 3.1 MIG kaynağının elemanları.....	10
Şekil 3.2 MIG kaynağında torca kaynak yönüne ters yönde eğim verilmesi	12
Şekil 3.3 MIG kaynağında torca kaynak yönünde eğim verilmesi.....	12
Şekil 4.1 Ark kaynağı ile yapılan doldurma kaynağında pasoların durumu	15
Şekil 4.2 Yüksek karbonlu çeliklerde doldurma öncesi uygun ön tavlama sıcaklıkları. 16	
Şekil 4.3 Düzeltme işlemini kolaylaştıran ön şekil verme	17
Şekil 5.1 Daire kesitli ve silindirik başlı çekme numunesi	21
Şekil 5.2 Çekme makinası	22
Şekil 5.3 Düşük karbonlu çeliğin gerilme-birim uzama eğrisi	23
Şekil 5.4 Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesine ilişkin diyagram.....	23
Şekil 5.5 Eğme testi şematik gösterim	24
Şekil 5.6 Charpy ve Izod deneylerinde kullanılan çentikli numuneler	26
Şekil 5.7 (a) Charpy ve (b) Izod deneylerinde kullanılan numunelerin yerleştirilmesi 26	
Şekil 5.8 Bir darbe makinasının şematik diyagramı	27
Şekil 5.9 Çeşitli metallerin kırılma enerjisi-sıcaklık eğrileri	28
Şekil 5.10 Sünek-Gevrek geçiş sıcaklığının belirlenmesini ifade eden grafik	28
Şekil 5.11 Sertlik testlerinde kullanılan uç formları	31
Şekil 5.12 Sertlik dönüşüm tablosu.....	34
Şekil 6.1 Alüminyum alaşımının makro yapısı(1.5X)	37
Şekil 6.2 Sürekli dökümle üretilmiş AISI 1045 çeliğinin boyuna kesitinin sıcak asit dağlaması ile açığa çıkarılan makroyapısı.....	38
Şekil 6.3 Dövülmüş parçada akış çizgileri	38
Şekil 6.4 Kaynak bölgesinin makroyapısı.....	39
Şekil 6.5 Sertleşme derinliğinin çubuk çapına göre değişiminin makro görünümü	40
Şekil 7.1 Ana malzeme(St 52).....	42
Şekil 7.2 Deneylerde kullanılan plakaların boyutları.....	43
Şekil 7.3 316L MIG kaynak teli	44
Şekil 7.4 Tel besleme hızının ölçülmesi	44
Şekil 7.5 Koruyucu gaz tüpü	45
Şekil 7.6 Gaz debisi ölçümü.....	46

Şekil 7.7	MIG/MAG kaynak makinesi	47
Şekil 7.8	Kaplama yapılacak bölgenin işaretlenmesi I.....	48
Şekil 7.9	Kaplama yapılacak bölgenin işaretlenmesi II.....	48
Şekil 7.10	İşaretleme işlemi sonrası temizlik uygulaması	49
Şekil 7.11	Kaynak işlemi öncesi puntalama	49
Şekil 7.12	İşlem öncesi tasarım	51
Şekil 7.13	İlk paso atılması	52
Şekil 7.14	Lazer termometre ile sıcaklık ölçümü.....	53
Şekil 7.15	Paso sonrası temizlik işlemleri.....	53
Şekil 7.16	Kaplama kaynağı uygulaması I.....	57
Şekil 7.17	Kaplama kaynağı uygulaması II.....	57
Şekil 7.18	Tavlama işlemi	59
Şekil 7.19	İşlem sonucu bir ve iki nolu plakaların nihai hali.....	63
Şekil 7.20	Kaplama kaynağında test numunelerinin konumları	64
Şekil 7.21	Bir nolu plakadan makro inceleme numunesi elde edilmesi	65
Şekil 7.22	Bir ve iki nolu plakaya ait makro inceleme numuneleri	66
Şekil 7.23	Dağlayıcılar	66
Şekil 7.24	Dağlama işlemi sonrası bir ve iki nolu plakalara ait makro görüntüler	67
Şekil 7.25	Sertlik ölçüm doğrusu	68
Şekil 7.26	Universel sertlik cihazı	68
Şekil 7.27	Sertlik test cihazının optik mikroskop ile sertlik noktalarını taraması	69
Şekil 7.28	Bir nolu plakanın sertlik değerleri.....	69
Şekil 7.29	İki nolu plakanın sertlik değerleri	70
Şekil 7.30	Sertlik değerlerinin karşılaştırılması	70
Şekil 7.31	Yan eğme test numuneleri	71
Şekil 7.32	Eğme test cihazı	72
Şekil 7.33	Eğme testi sonucu ön tavsız I nolu numune.....	74
Şekil 7.34	Eğme testi sonucu ön tavsız II nolu numune	74
Şekil 7.35	Eğme testi sonucu ön tavlı I nolu numune	75
Şekil 7.36	Eğme testi sonucu ön tavlı II nolu numune	75
Şekil 7.37	Eğme testi uygulanan numunelerin karşılaştırması	76

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Ferritik paslanmaz çelikler	6
Çizelge 2.2 Östenitik paslanmaz çelikler	7
Çizelge 2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler	8
Çizelge 4.1 MIG yöntemiyle doldurmada kullanılan dolgu malzemeleri	18
Çizelge 5.1 Rockwell sertlik skalaları	31
Çizelge 5.2 Rockwell-yüzey sertlik skalaları	32
Çizelge 7.1 Ana metalin kimyasal bileşimi	41
Çizelge 7.2 Ana metalin mekanik özellikleri	42
Çizelge 7.3 316L ilave malzemesinin kimyasal bileşimi.....	43
Çizelge 7.4 316L ilave malzemesinin mekanik özellikleri.....	43
Çizelge 7.5 İşlem parametreleri	51
Çizelge 7.6 Bir nolu plakanın birinci katmanına ait parametreler	54
Çizelge 7.7 Bir nolu plakanın ikinci katmanına ait parametreler	55
Çizelge 7.8 Bir nolu plakanın üçüncü katmanına ait parametreler.....	56
Çizelge 7.9 Ön tavlama- $C_{e\delta}$ ilişkisi	58
Çizelge 7.10 İki nolu plakanın birinci katmanına ait parametreler	60
Çizelge 7.11 İki nolu plakanın ikinci katmanına ait parametreler.....	61
Çizelge 7.12 İki nolu plakanın üçüncü katmanına ait parametreler	62
Çizelge 7.13 Çatlak boyutları ve sayıları.....	74

ST 52 ÇELİĞİNE MIG YÖNTEMİYLE YAPILAN KAPLAMA KAYNAĞINDA ÖN TAVLAMA SICAKLIĞININ ETKİLERİ

Burak NALÇACI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Demir esaslı malzemeler arasında yer alan paslanmaz çelikler, son 30 yılın kullanımı hızla yaygınlaşan çok önemli bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. Bu malzeme grubu çok iyi korozyon dayanımı, sıfır altı ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir olmaları ve benzeri özellikleriyle bilinirler. Ancak bu sayılan olumlu özelliklerine karşın paslanmaz çeliklerin maliyetlerinin yüksek oluşu ise bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumu gidermek amacıyla çelik ailesi içerisinde yer alan fakat paslanmazlık özelliği taşımayan St 52(S355N) yapı çeliğine, 316L(EN1072) östenitik paslanmaz çelik ilave malzemesiyle kaplama işlemi yapılarak malzemenin mekanik özelliklerinde herhangi bir değişim olmadan, maliyet düşürülerek malzemeye korozyon direnci kazandırılmış olmaktadır.

Bu çalışmada ana malzeme olarak seçilen St 52 yapı çeliğine, 316L ilave malzemesi ön tavsız ve ön tavlı olarak kaplanmış ve ön tavlamanın etkileri incelenip sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaplama kaynağı, yalın karbonlu çelik, paslanmaz çelik, ön tavlama sıcaklığı

**EFFECTS OF PREHEAT TEMPERATURE IN OVERLAY WELDING BY MIG
PROCESS OVER ST 52 STEEL**

Burak NALÇACI

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Stainless steels being among ferrous materials constitute a very important material group whose use rapidly spreads in last 30 years. This material group has known with its high corrosion resistance, serviceability in high-low temperature etc. Despite these good properties, cost of stainless steels is a disadvantage with respect to carbon steels' cost. In order to remove this disadvantage, St 52(S355N) structural steels in carbon steels which are non-corrosion resistance has been overlaid with 316L (EN120172) austenitic stainless steel without changing its mechanical properties by decreasing cost.

In this study, St 52 structural steel has been selected as base material and overlaid with 316L filler material as preheated-non preheated, in the light of this experiment, effects of preheat temperature have been evaluated.

Keywords: Overlay welding, plain carbon steel, stainless steel, preheat temperature

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kaplama kaynağı yapılan bu tez çalışmasında, uygulama öncesi bilinmesi gereken bilgiler uygulama sırasında yapılan işlemlere ışık tutulması amacıyla paslanmaz çelik, kaplama, kaynakla kaplama konularında literatür taramasını ihtiva eder.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde gittikçe artan şekilde kullanılan paslanmaz çeliğin maliyet dezavantajını gidermek amacıyla yalın karbonlu bir çeliğe 316L ile kaplama kaynağı yapılmasında ön tavlama sıcaklığının etkisinin araştırılmasıdır. Bu araştırmanın sonucuna bağlı olarak kaplama kaynağı konusunda çalışma yapacak kişi ya da kuruluşlara katkı sunmak hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

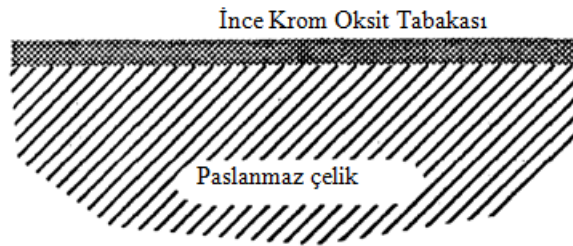
St 52 malzeme üzerine 316L ilave malzemesiyle yapılan kaplama kaynağında uygun ön tavlama sıcaklığının, uygulanacak olan eğme testinde ana malzemeye yakın olan ITAB bölgesinde çatlamanın önüne geçmesi, kaynak bölgesinde göreceli olarak birbirine daha yakın sertlik değerleri elde edilmesini ve daha nitelikli bir kaplama sağlaması sonucunda talep edilen korozyon dayanımının ve paslanmazlık özelliğinin minimum maliyetle sağlanması beklenmektedir.

BÖLÜM 2

PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, esas olarak mükemmel korozyon dirençlerinden dolayı tercih edilirler. Mükemmel korozyon dirençlerinin nedeni yüksek krom içermesinden kaynaklanmaktadır. Demire küçük miktarda örneğin yaklaşık % 5 krom katılması bir miktar korozyon direncini sağlar. Ancak paslanmaz çelik üretmek için demire en az % 12 Cr katılması gerekir. Klasik teorilere göre krom metalin alt katmanlarını korozyondan koruyan bir oksit filmi oluşturarak demir yüzeyini pasif hale getirir. Bu koruyucu oksit filmi oluşturmak için paslanmaz çelik yüzeyi oksitleyici maddelerle temas etmek zorundadır [1].

Bu oksit tabaka; ince, sıkı, geçirimsiz ve metalin yüzeysel davranışlarında çok önemli elektrokimyasal değişiklikler yaparak çeliği, korozyif ortamdan koruyan özelliklere sahiptir [2].



Şekil 2. 1 Paslanmaz çelikte oluşan krom oksit tabakası [2]

2.1 Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

Paslanmaz çeliklerin tercih sebepleri; korozyon dayanımı, yüksek ve düşük sıcaklıklara dayanım, imalat kolaylığı, mekanik dayanım, görünüm, hijyenik özellik ve uzun ömür başlıkları ile sıralanabilir [3].

2.1.1 İmalat Kolaylığı

Paslanmaz çeliklerin hemen hepsi kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla biçimlendirilebilirler [3].

2.1.2 Mekanik Dayanım

Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu soğuk şekillendirme ile pekleşir ve dayanımın artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir. Bazı türlerde ise ısı işlemleri ile malzemeye çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkündür [3].

2.1.3 Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar

Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklıklarda dahi tufallenme ve malzemenin mekanik dayanımında önemli bir düşme görülmez. Bazı türleri ise çok düşük sıcaklıklarda dahi gevrekleşmezler ve tokluklarını korurlar [3].

2.1.4 Korozyon Dayanımı

Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltiler ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir [3].

2.1.5 Görünüm

Paslanmaz çelikler çok farklı yüzey kalitelerinde temin edilebilirler. Bu yüzeylerin görünümü, kalitesi ve bakımı kolay olduğundan kolaylıkla uzun süreler korunabilir [3].

2.1.6 Hijyenik Özellik

Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilir olması, bu malzemelerin hastane, mutfak, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar [3].

2.1.7 Uzun Ömür

Paslanmaz çelikler dayanıklı ve bakımı kolay malzemeler olduklarından, üretilen parçanın tüm kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik malzemelerdir [3].

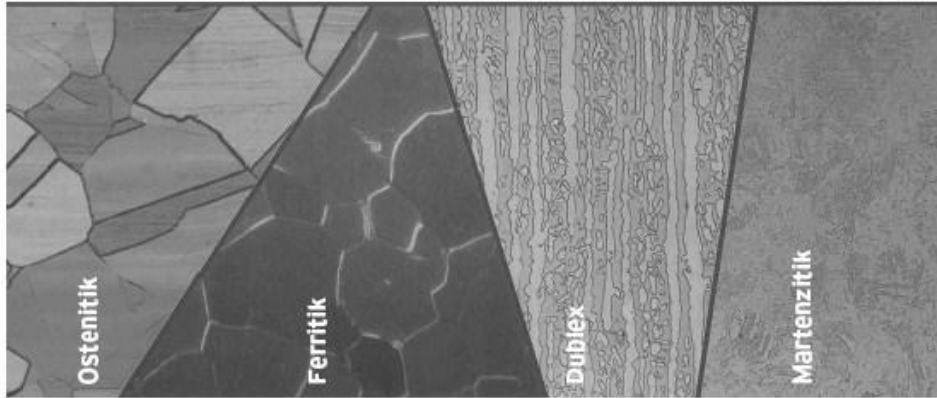
2.2 Paslanmaz Çelik Çeşitleri

Bütün paslanmaz çelikler esas olarak demir dışı alaşımlardır ve pasifleşme özelliği gösterirler. Bunu ifade etmek üzere ingilizcede lekesiz anlamına gelen stainless kelimesi kullanılmıştır. Bu çeliklerde pasifleşmeyi sağlayan esas metal kromdur. Alaşımı oluşturan diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir. Eğer yüzeyde pasif film oluşmaz ise, paslanmaz çelikler de aynen diğer demir dışı alaşımları gibi korozyona uğrayabilir [4].

İlk paslanmaz çelikler demir içine % 10-18 krom katılarak elde edilmiştir. Başlangıçta üretilen paslanmaz çelikler içinde karbon yüzdesi oldukça yüksektir. Demir içinde bulunan karbon yüzdesinin % 0,2'nin altına düşürülmesi tekniği henüz bilinmiyordu. O zamanlar çelik oluşumunda östenit-martenzit dönüşümlerinin kinetiği de henüz açıklığa kavuşmamıştı. Günümüzde karbon yüzdesi düşürülerek paslanmaz çelik teknolojisinde büyük gelişmeler olmuş ve üstün mekanik özelliklerde çelikler elde edilmiştir. Paslanmaz çelikler kristal yapıları göz önüne alınarak beş grup altında toplanabilir [4].

- Ferritik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler
- Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler
- Çökelme ile sertleşen paslanmaz çelikler

Son zamanlarda üretilen paslanmaz çelikler aynı krom yüzdelерinde olmalarına rağmen içindeki karbon miktarı % 0,1'den azdır. Böylece ferritik paslanmaz çelik oluşumu sağlanabilmektedir. Ferritik ve martenzitik paslanmaz çeliklerin her ikisi de manyetik özelliktedir ve 400 serisi içindedir. Ferritik çelikler, kübik merkezli kristal yapısındadır. Martenzitik çelikler ise, ısıl işlemler sonucu bozularak tetragonal kristal yapısına dönüşürler. Bu iki çelik yapısı arasındaki en önemli fark karbon yüzdesidir [4].



Şekil 2.2 Bazı paslanmaz çelik türlerinin mikroyapıları [3]

2.2.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler martenzitik paslanmaz çeliklerden daha fazla krom içerirler. Krom yüzdesi % 15-30, karbon yüzdesi % 0,08-0,2 arasında değişir. Bu tür çeliklerin krom içeriklerinin yüksek oluşu korozyona karşı daha dayanıklı olmalarını sağlar. Bu nedenle normal atmosferik koşullardan ve oksitleyici kimyasal bileşiklerden etkilenmezler. Endüstride daha çok kimyasal ekipmanlar, depolama tankları ve özellikle fırın yapımında kullanılırlar [4].

Ferritik paslanmaz çeliklerin karbon içeriğinin belli bir limit değerin altına düşürülmesi gerekir. Aksi halde kaynak yapabilme ve soğuk şekillendirme gibi bazı özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Günümüzde, Argon Oksijen Dekarbürizasyon yöntemi (AOD) ile çok düşük karbonlu paslanmaz çelikler üretmek mümkün olmaktadır. Çok kullanılan bazı ferritik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve tipik kullanım yerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir [4].

Çizelge 2.1 Ferritik paslanmaz çelikler [4]

TİP (AISI)	Karakteristik Özellikleri	Tipik Kullanım Alanları
405	Kaynak yapılabilir, korozyona dayanıklı	Türbin kanatları, ısı değıştirciler, kazan boruları, petrol tankları
430	Korozyona dayanıklı ve ucuz	Kuleler, destilasyon rafları, tanklar, depolar, elektrikli ev eşyaları
446	Çok iyi oksidasyon direnci	Fırın parçaları ve ısı değıştirciler gibi sıcaklığa dayanıklı cihazlarda

2.2.2 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler demir-krom-nikel alaşımlarıdır. 300 serisi östenitik paslanmaz çelikler %16-26 krom, %7-22 nikel ve %0,2'den az karbon içerirler. En önemli avantajları kolay şekillendirilebilir ve kaynak yapılabilir olmasıdır. Ayrıca korozyona da oldukça dayanıklıdır. 200 serisi östenitik paslanmaz çeliklerde östenitleştirici nikel ile birlikte mangan ve azot bulunur. Bu alaşımların genellikle mekanik özellikleri 300 serisine göre daha üstündür fakat korozyon dayanımları ise daha azdır. Çok kullanılan bazı östenitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve tipik kullanım yerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir [4].

Çizelge 2.2 Östenitik paslanmaz çelikler [4]

TİP (AISI)	Karakteristik Özellikleri	Tipik Kullanım Alanları
301	Çok yüksek mukavemet	Uçak endüstri, motor parçaları
302	İşlenebilme özelliği	Kimya sanayi, raylar, paneller
304	Çok iyi korozyon direnci	Gıda endüstrisi, mutfak eşyaları, ilaç ve otomotiv sanayi
305	Yüksek şekillendirilebilme	Tel çekme ve benzeri soğuk işlem gerektiren yerlerde
309	1100° C'ye kadar dayanım	Fırın parçaları, kimyasal proses kapları
316	Oyuk korozyonuna dayanıklı	Kuleler, borular ve depolama tankları, asit tankları
321	Kaynak edilebilirliği yüksek	304 çeliği ile aynı fakat kaynak özelliği daha iyi

2.2.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Kimyasal yapısında %12-20 oranında krom ve %0,1-1,2 oranında karbon içeren paslanmaz çelik türüdür. Martenzit paslanmaz çeliğin diğer paslanmaz çeliklerden farkı içerdiği yüksek karbon oranı nedeniyle ısıtma işlemi ile sertleşebilirliğinin yüksek olmasıdır. Martenzit paslanmaz çelikler tıpkı karbon çelikleri gibi su verme sonucu faz dönüşümü yaparak yüksek sertliğe ulaşabilirler. Martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı, yumuşak çeliklere göre daha iyiyken östenitik paslanmaz çeliklere göre daha kötüdür. Martenzitik paslanmaz çelikler 650°C'ye kadar sıcak ortamlara da dayanıklıdır. Aşağıda bazı martenzitik çeliklerin karakteristik özellikleri ve tipik kullanım yerleri gösterilmektedir [4].

Çizelge 2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler [4]

TİP (AISI)	Karakteristik Özellikleri	Tipik Kullanım Alanları
403 ve 410	Mekanik mukavemeti yüksek ve korozyona dayanıklı	Türbinler, mutfak eşyaları, yaylar, somun ve perçinler
414	Çok iyi tokluk	Yüksek sıcaklıkta çalışan cihazlarda
416	Kolay işlenebilirlik	Perçinler, vidalar, somunlar
420	Aşınma direnci yüksek çok iyi tokluk	Kesici aletler, dişçilik ve tıbbi aletler, subap yatakları
431	Korozyon direnci yüksek	Pompa parçaları, pervane şaftları
440	Çok yüksek sertlik	Kesici aletler

2.2.4 Dupleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler

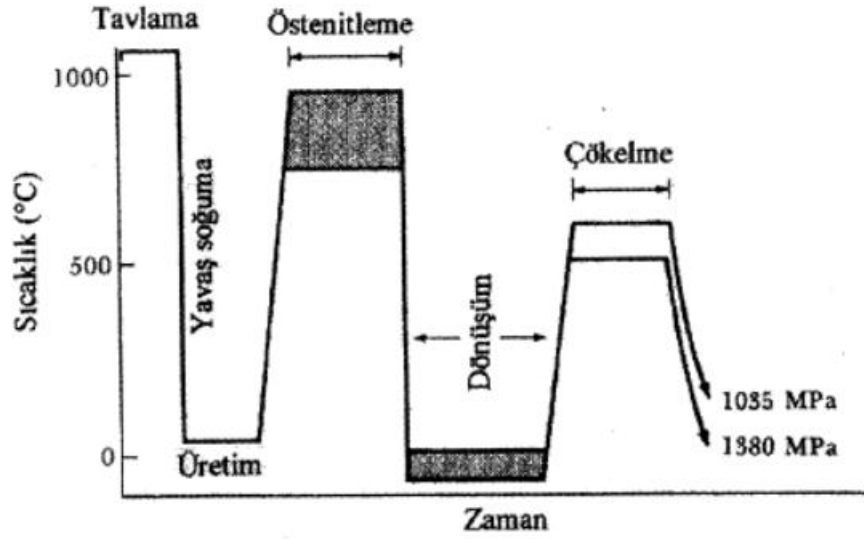
Bu çeliklerin kimyasal bileşiminde yaklaşık %28 oranında krom ve %6 oranında nikel bulunur. Dupleks denmesinin sebebi östenit ve ferrit fazlarının bir arada bulunmasıdır. Mekanik özellikler ve korozyon bakımından faz yapıları sebebiyle ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler arasında yer alırlar [4].

2.2.5 Çökelme ile Sertleşen Paslanmaz Çelikler

Çökelme ile sertleşen paslanmaz çeliklerin kimyasal yapısı alaşım elementleri alüminyum, niyobyum veya tantal içeriklerinin dışında östenitik paslanmaz çeliklere benzerdir. Çökelti ile sertleştirilmiş paslanmaz çeliklerin özellikleri katı eriyik mukavemetlenmesi, pekleşme, yaşlandırma mukavemetlenmesi ve martenzit faz dönüşümünden kaynaklanır. Düşük karbon içeriklilerde dahi, yüksek mekanik özellikler elde edilebilir. Aşağıdaki şekilde çökelti ile sertleştirilmiş paslanmaz çelik için bir ısıtma işlemi gösterilmiştir [4].

- Östenitleme: 760°C ile 955°C arasında yapılır.

- Hızlı soğutma ve dönüşüm: Östenitin martenzite dönüşümünü sağlamak amacıyla 150°C' ye veya daha düşük bir sıcaklığa soğutulur.
- Çökeltme: Çelik 500°C ile 600°C'ler arasına tekrar tavlanaarak Ni₃Al ve diğer çökeltilerden martenzit oluşması sağlanır.

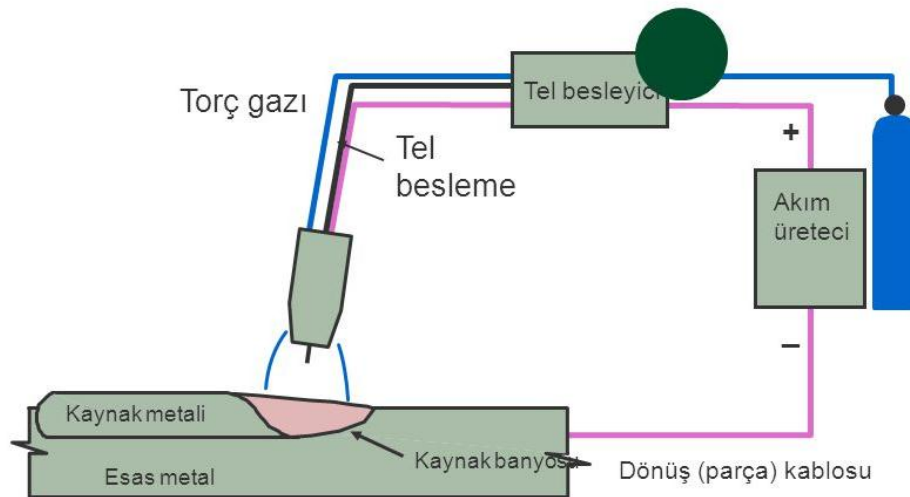


Şekil 2.3 Çökelti ile sertleştirilmiş paslanmaz çeliğin ısı işlem safhaları [1]

BÖLÜM 3

MIG KAYNAĞI

SIGMA kaynağı olarak da bilinen MIG kaynak yöntemi, kaynak için gerekli ısıнын, tüketen bir elektrod ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Kaynak bölgesine sürekli şekilde beslenen(sürülen), masif haldeki tel elektrod ergiyerek tükendikçe kaynak metalini oluşturur. Elektrod, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen soygaz veya karışım gazlar tarafından korunur. Gaz, kaynak bölgesini tam olarak korumalıdır, aksi durumda çok küçük bir hava girişi dahi kaynak metalinde hataya, hatalara sebebiyet verebilir. Argon gazı en çok tercih edilen soygazdır. MIG sembolü, Metal Inert Gas ifadesinin kısaltılmasından oluşmuştur [5].



Şekil 3.1 MIG kaynağının elemanları [6]

3.1 Koruyucu Gazlar

MIG kaynağında koruyucu olarak argon, helyum veya ikisi birlikte kullanılır. Hafif metallerin MIG kaynağında argon gazının yüksek saflıkta olması gereklidir. Çelik malzemelerin MIG kaynağında ise koruyucu gaz olarak karbondioksit ve oksijen gazları karıştırılarak kullanılır. Bu karışımda oksijen %3 ile %6 arasında, karbondioksit ise %5 ile %13 arasındadır. Gaz karışım kaynak dikişinde elde edilen dikiş formlarını doğrudan etkiler. Karışımda oksijenin varlığı, arkın kararlılığını ergimiş damlaların yüzeye kolay bir şekilde tutunmalarını sağlar. Ayrıca gözenek oluşumunun da önüne geçer [7].

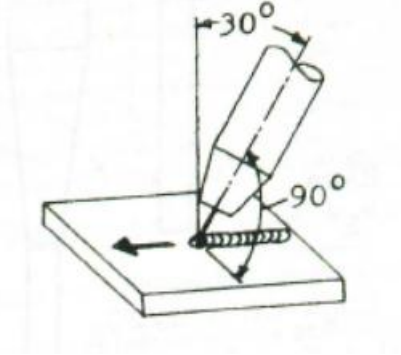
3.2 Akım Şekli ve Kaynağı

MIG kaynağında doğru akım kullanılır ve elektrod, büyük çoğunlukla pozitif kutba bağlanır. Bu sayede hem derin bir nüfuziyet sağlanmış olur hem de oksit tabakası parçalanır. Paslanmaz çeliklerin iç köşe kaynağında ve doldurma kaynaklarında ise pozitif kutuplama yani elektrod negatif kutuba bağlanır. MIG kaynağında sabit tip statik karakteristikli kaynak makineleri kullanılır. Bu makinelerde akım şiddeti ayarı, ark gerilimi ayarlanarak yapılır. Kaynak telinin sabit hızda sevk edilmesini, ark boyunun otomatik olarak stabil tutulmasını sağlar [7].

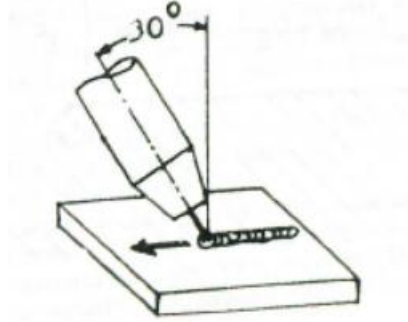
3.3 Çalışma Tekniği

MIG kaynağı bilinen dikiş biçimlerinin hepsi için uygundur. Yatay pozisyonlarda hem el, hem de otomatik olarak kaynak yapılma imkânı vardır. Kaynak dikişinin yüksekliği, genişliği ve nüfuziyeti aynı torç tutuşunda kaynak gerilimini, kaynak akım şiddetini ve kaynak hızını değiştirerek ayarlanabilir. Kaynak işlemi sırasında kaynak torçu, kaynak yönüne ters istikamette en fazla 30°'lik bir eğimle tutulur. Bu sayede kaynakçı, kaynak banyosu ve elektrodun ergime süreci kolaylıkla gözlemleyebilir. Eğer eğim fazla olursa, nüfuziyet azalır ve dikiş incelir. Aynı zamanda fazla eğim gazın koruma kabiliyetini azaltır, dikişte gözenek ve kalıntıların meydana gelmesine sebep olur. Bu çalışma şekli, ince sacların ve kök pasoların kaynağında kullanılır.

Eğer derin bir nüfuziyet ve kalın kaynak pasosu elde edilmek istenirse, torca kaynak yönünde en fazla 30°'lik bir eğim verilir. Bu iki durum aşağıda gösterilmektedir [7].



Şekil 3.2 MIG kaynağında torca kaynak yönüne ters yönde eğim verilmesi [7]



Şekil 3.3 MIG kaynağında torca kaynak yönünde eğim verilmesi [7]

3.4 Çeşitli Malzemelerin MIG Kaynağı ile Birleştirilmesi

MIG kaynağı ile neredeyse bütün malzemeler kaynak edilebilir. Fakat bazı usullere dikkat edilmesi gerekir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında sadece doğru akım kullanılır ve otomatik ilerleyen kaynak teli, pozitif kutba bağlanır. Kaynak ağzlarının iyi temizlenmesi, dikişte gözenek oluşumunu azaltır. İnce alüminyum levhaların kaynağında distorsiyonu azaltmak için, levhalar puntalanmalı ve geri adım usulüyle kaynaklanmalıdır. Bakır ve alaşımlarının kaynağında, gerekli durumla uygun bir sıcaklıkta ön tavlama işlemi uygulanır. Makine ile kaynak yapılması durumunda, sola kaynak usulü tatbik edilir. Kaynak işlemi doğru akımla ve elektrod pozitif kutba bağlanarak yapılır. Paslanmaz çeliklerin MIG yöntemiyle kaynaklanması, büyük üstünlük sağlar. Çünkü ergimiş metal ile hava arasındaki reaksiyonlar dolayısıyla, kayıplar önlenmektedir [7].

3.5 MIG Kaynağı Avantajları

MIG kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre avantajları :

- Sürekli bir kaynak yöntemidir ve mekanize edilebilir.
- Tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilir.
- Yüksek kaynak hızı sağlar.
- Derin nüfuziyet sağlar, bu sayede daha ince dolgu metaliyle aynı dayanım elde edilebilir.
- MIG kaynağının açık ark olarak gerçekleşmesi arkın daha rahat kontrol edilebilmesine imkân sağlar.
- Fazla metal yığılma oranı vardır.
- Yüksek kaynak hızı sayesinde daha fazla malzeme daha az distorsiye olur.
- Her kaynak pasosundan sonra curuf temizlemek gerekmez [8].

3.6 MIG Kaynağı Dezavantajları

- Gazaltı kaynak ekipmanları, örtülü elektrod ark kaynağı ekipmanlarına göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zordur.
- Gazaltı kaynak torcu iş parçasına yakın olmak zorunda olduğu için örtülü elektrod ark kaynağı gibi ulaşılması zor, dar alanlarda kaynak yapmak kolay değildir.
- Sertleşme özelliği olan çeliklerde gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmeleri çatlamaya daha eğilimlidir çünkü örtülü elektrod kaynağındaki gibi kaynak metalinin soğumasını yavaşlatan curuf tabakası bulunmaz
- Gazaltı kaynağı hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir [5].

KAPLAMA KAYNAĞI

4.1 Tanım ve Önemi

Son zamanlarda doldurma, bakım ve tamir işlerinde olduğu gibi, imalat alanında da önem kazanmaya başlamıştır. Dolgu kaynağı olarak da adlandırılır. Uygulamada, az bir masrafla yapılabilecek bir doldurma işlemi sonucunda, birçok parçanın kullanım süresi uzatılabilir [9].

Kaplama kaynağı: lehimleme, metal püskürtme veya eritme kaynağı usullerinin herhangi biriyle ana metal üzerine, kimyasal bileşimi ve özellikleri bilinen kaplama metali ile bir veya birkaç tabaka halinde doldurulması veya kaplanmasıdır. Kaplama malzemesinin kimyasal bileşimi, esas metale çok yakın veya aynıdır. Ana metale yeni özellikler kazandırmak üzere yapılan kaplamalarda, kaplama malzemesi farklı bileşimdedir. Ana metale kazandırılacak yeni özellikler şunlar olabilir:

- Sertlik,
- Sıcak haldeki sertlik,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- Abrazyona karşı dayanıklılık,
- Korozyona dayanıklılık,
- Sıcak haldeki oksidasyona dayanıklılık,
- Darbelere dayanıklılık [7].

4.2 Doldurma Usulleri ve Doldurmaya Hazırlama

Doldurma yöntemi seçiminde çok dikkatli olunması gerekir. Her yöntemin kendine has avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Ark kaynağı ile birim zamanda daha çok metal ergitilebilir. Bundan dolayı bu yöntem, büyük yüzeylerin kaplanması için uygun olmaktadır. Küçük parçaların doldurulması, kenar ve köşelerin tamamlanması üfleç ile daha hassas yapılmasına imkân sağlar. Ark ile yapılan doldurmada, yığılan ilk tabakanın kimyasal bileşimi ana metal ile karışması nedeniyle değişikliğe uğrar. Bu sebepten ark ile yapılan doldurmada, en az 2 veya 3 tabaka halinde doldurmak gerekir. Üfleçle yapılan doldurmada, böyle bir gereklilik yoktur. Doldurma işlemi öncesi yüzeyler mutlaka temizlenmeli herhangi bir kir, kalıntı ve benzeri fazlalıklardan temizlenmelidir. Aksi takdirde nitelikli bir doldurma işlemi yapılamaz. Çok sert ana metal üzerine sert dolgu yapılması durumunda, dolgu tabakası ve ana metal arasında tampon görevi görecektir, ana metale göre daha yumuşak bir tabaka kullanılması gerekir. Bu tampon katmanın malzeme seçimi kritik önem taşır. Tampon tabakası, yatak vazifesi görür ve oluşabilecek herhangi bir çatlamanın önüne geçer. Ark ile yapılan doldurmada; kurutulmuş elektrodlar kullanılmalı, mümkün olduğu kadar düşük akım şiddetinde, kısa ark boyu ile elektrod dik şekilde konumlandırılarak doldurma yapılır. Kaliteli doldurma elektrodları, düşük kaynak akımında dahi kolayca eriyebilirler ve geniş dikiş sağlarlar [9] .



Şekil 4.1 Ark kaynağı ile yapılan doldurma kaynağında pasoların durumu [9]

Üfleçle yapılan doldurmada genellikle, sola doğru kaplama işlemi yapılır. Alev, yumuşak ve karbonlayıcı olmalıdır. Bakır ve alaşımlarında çukur oluşmasını önlemek için, oksitleyici alev kullanılmalıdır. Doldurma işleminden hemen sonra, parçalara doğrultma işlemi uygulanır bu sayede var olan çarpılmalar düzeltilir. Doğru seçilmiş bir ön şekil verme işlemi, çarpılmayı hem azaltacak hem de doğrultma işlemini kolaylaştıracaktır. Aynı zamanda bu işlem ile doldurma metalinin çekme gerilmesi yerine basma gerilmesiyle yüklenmesi sağlanır [9].

4.3 Ön Tavlama

Ön tavlamanın amacı; esas metalde meydana gelebilecek olan çarpımları, çatlakları ve iç gerilmeleri olabildiğince azaltmak ve aynı zamanda ana metal ile doldurma metalinin iyi bir şekilde birleşmesini sağlamaktır. Ön tavlama sıcaklığı genel olarak, ana metalin ve doldurma malzemesinin bileşimi ile parçanın boyutlarına bağlıdır. Ön tavlama da şu prensipler dikkate alınmalıdır:

Küçük parçalara, köşe ve kenar doldurmalarında elektrod ve üfleç tarafından tatbik edilen ısı yeterlidir ilaveten bir ön tavlama işlemine gerek duyulmaz. Bunun dışındaki parçalar için şekil 4.2'deki tabloda verilen ön tavlama değerleri kullanılabilir [9].

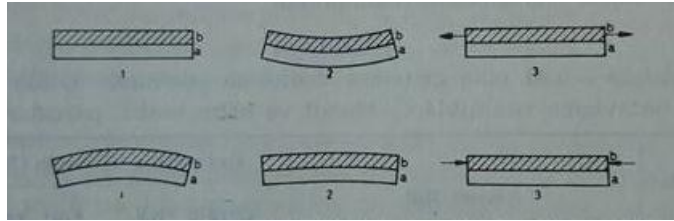
Esas metal IIW sınıfı	Alaşım tipi	Öntavlama sıcaklığı (°C)	
		Örtülü elek. ve TIG kay.	Gaz kaynağı ve sert lehim
A	C = %0,4 ihtiva eden kromlu çelik	200 — 300	200 — 300
B	C % 0,4 ihtiva eden Cr-Mo li çelik	250 — 300	400 — 450
C	Mn li ostenitik çelik	Ön tavlamasız	— — —
D	Cr-Ni-Mn li ostenitik çelikler	200 — 300	600 — 700
—	Cr-Ni-Mn li ostenitik - ferritik Çelikler	200 — 300	— — —
E	Kromlu çelikler Cr = % 12-18 C = % 0,10-0,25	200 — 300	— — —
F	Mo-V-Cr-W li hız çelikleri	400 — 500	600 — 700
G	Cr-C lu hususi dökme demir	300 — 400	600 — 700
N	Co-Cr-W alaşımları	300 — 400	600 — 700
P	Çelik matriste tungsten karbürler	400 — 500	600 — 700
Qa	Ni-Cr-B alaşımları	400 — 500	600 — 700
Qb	Ni-Mo-Cr-W alaşımları	400 — 500	— — —
S	Cu-Al alaşımları	Çelik 200 — 300 kır dökme ve bakırlı malzeme 400 — 500	— — —
T	Cu-Sn alaşımları		— — —
U	Cu-Zn-Ni alaşımları		çelik tavlama istemez. Kır dökme ve bakırlı malzeme 400 — 500

Şekil 4.2 Yüksek karbonlu çeliklerde doldurma öncesi uygun ön tavlama sıcaklıkları [9]

Manganlı östenitik çelik (%1,3 C, %12 Mn) soğuk olarak doldurulmalıdır ve bazı hallerde doldurma işlemi su içerisinde yapılmalı ve parça işlemiden sonra olabildiğince yüksek hızda soğutulmalıdır. Böylece mangan karbürlerin çökmesiyle meydana gelen çatlatma tehlikesine ve C ile Mn miktarlarının azalmasından dolayı östenitik yapının martenzite dönüşmesine engel olur [9].

4.4 Isıl İşlemler

Demir esaslı malzemelerin büyük bir kısmı havada sertleşebilirler. Bu durumda sertlikleri bir tavlama ile arttırılabilir. Burada sertleşme ince dağılmış karbür parçacıklarının çökmesi ile meydana gelir. Önceden de belirtildiği gibi önceden verilen bir şekil değişimi parçadaki çarpılmayı minimum seviyeye düşürecek hatta önüne geçebilecektir bu durum ekonomik olarak da katkı sağlar [9].



Şekil 4.3 Düzeltme işlemini kolaylaştıran ön şekil verme [9]

Şekil 4.3'te birinci sıradaki şekiller yanlış, ikinci sıradaki şekiller ise doğrudur.

a:Esas metal

b:Doldurma malzemesi

1:Doldurulmuş sıcak

2:Doldurulmuş soğuk

3:Düzeltilmiş

Diğer bazı durumlarda, örneğin çok sert olan dolgu malzemesinin alaşımlı ve su verilmiş bir metal üzerine kaplandığı ve talaş kaldırarak işlenmesi gerektiği hallerde, ısıl işlemler çok büyük bir öneme sahiptir. Örneğin Mo-Cr-V-W alaşımlı dolgu malzemesini ele alalım. 60-70 kg.f/mm² çekme mukavemetine sahip bir çelik üzerine yapılan kaplama uygulamasında ısıl işleme gerek olmadan taşlama işlemi yapılabilir. Dolgu malzemesi 60 RC sertliğe sahiptir ve bu değer pratikte istenen özellikleri karşılar. Fakat doldurma işlemi hız çeliğinden imal edilmiş bir takımın aşınmış kısımları yapılacak ve takım sonra

talaş kaldırma ile işlenecekse, ısıtma işlemi uygulanması büyük önem taşır. Bu durumda önce bir yumuşatma tavlama işlemi yapmak sonra doldurma işlemini uygun bir ön tav sıcaklığında gerçekleştirmek, tekrar yumuşatmak, işlemek ve sonra su vermek gerekir [9].

4.5 Mekanik İşlemler

Cr-Ni-Mn' lı östenitik çelik, Cr-Ni-Mn' lı östenitik ferritik çelik ve manganlı östenitik çelik soğuk dövülebilir. Bu işlem basınçla, soğuk şekil vermeyle veya çekiçle dövme işlemiyle uygulanabilir. Genellikle ilave bir tedbire gerek duyulmaz. Çalışma esnasında dolgu malzemesi bu dövmeyi meydana getirir. Örneğin manganlı çelikte doldurma işlemi esnasında sertlik 200 HB dir ve parça servise girdikten sonra çalışma koşullarında maruz kaldığı etkiler sebebiyle sertliği 50 RC'ye kadar yükselir [9].

4.6 MIG Yöntemiyle Doldurma

Ergiyen metal elektrod (dolgu malzemesi) ile iş parçası arasında ark oluşur ve bu ark, bir soygaz atmosferiyle korunur. Otomatik veya yarı otomatik olarak uygulanır. Kullanılan elektrik akım yoğunluğu yüksektir ve ergiyen dolgu malzemesi miktarı fazladır. Kullanılan dolgu malzemeleri ve sertlikleri, aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [7].

Çizelge 4.1 MIG yöntemiyle doldurmada kullanılan dolgu malzemeleri [7]

IIW Sınıfı	Alaşımların Cinsi	Sertlik
A	Hafif Alaşımlı Çelik (%0,4'den az karbonlu)	40 RC
B	Hafif Alaşımlı Çelik (%0,4'den az karbonlu)	60 RC
C	Manganlı Östenitik Çelik	50 RC
E	Kromlu Çelik	45 RC
S	Cu-Al Alaşımları	300 HB
U	Cu-Zn-Ni Alaşımları	250 HB

4.7 TIG Yöntemiyle Doldurma

Doğru veya alternatif akım kaynağı tarafından iş parçası ile tungsten elektroda arasında ark oluşturulmasından sonra, doldurma malzemesi el ile sağlanır. Aynı zamanda dolgu malzemesi, bir asal gaz ortamı ile korunur. Bu asal gaz; argon, helyum veya argon-helyum karışımı olabilir. Bu yöntemde üfleçle yapılan doldurmada olduğu gibi, esas metal ile dolgu malzemesinin karışımı oldukça azdır. Karbon ve alaşım elemanlarının yanmaları göz önüne alınarak, doldurma malzemesi seçimi hassasiyetle yapılmalıdır. TIG yöntemiyle doldurma işleminin otomatik ve yarı otomatik uygulamaları da vardır [7].

4.8 Toz Altı Kaynağı ile Doldurma

Otomatik olarak kangal şeklindeki bir aparattan alından dolgu malzemesi elektrod ile iş parçası arasında oluşan ark ile doldurma yapılır. Yüksek akım yoğunluğu veya birden fazla dolgu teli aynı anda kullanılarak, birim zamanda çok malzemenin yığılması sağlanır. Tozaltı kaynağı ile doldurmada kullanılan doldurma teli ile kaynak tozunun bileşiminin birbirine uygun olması büyük önem taşır. Kaynak tozu ergimiş metali ve alaşım elemanlarını, havanın zararlı tesirlerine karşı korumanın yanında; içerdiği alaşım elemanlarıyla, ergimiş doldurma malzemesinin alaşımlandırılmasını da sağlar. Doldurma-dan sonraki soğuma ne kadar hızlı olursa, dolgu tabakası da o kadar sert olur [7].

4.9 Püskürtme ile Doldurma

4.9.1 Metal Püskürtme ile Doldurma

Gaz alevi ile yapılan püskürtmede; tel şeklindeki doldurma malzemesi, oksii-asetilen alevi ile basınçlı hava yardımıyla parça üzerine püskürtülür. Bu işlem ile yapılır. Elektrik arkı ile metal püskürtmede; tel şeklinde iki doldurma malzemesi arasında teşkil edilen arkla eritilen doldurma malzemesi, yüksek basınçlı hava vasıtasıyla püskürtülür. Bu yöntemde, ergime sıcaklıklara yüksek olan metallerin püskürtülmesi mümkün hale gelir [7].

4.9.2 Metal Püskürtme ve Ergitme Yoluyla Doldurma

Bu yöntemde; püskürtme tabancasına toz halinde gelen malzeme, kaplanması gereken ana malzemenin üzerine püskürtülür ve sonra ikincil bir işlemle malzeme üzerinde ergitilir. Tabanca normal olarak oksii-asetilen ile çalışır ve toz basınçlı hava ile püskürtülür. Doldurulan tabakanın ergitilmesi genel olarak üfleçle bazen de endüksiyon vasıtasıyla veya fırında ısıtma ile yapılır. Genellikle yüksek ergime noktasına sahip, büyük oranlarda nikel ihtiva eden kromlu ve borlu alaşımlar bu yöntemle püskürtülür. Doldurma malzemesinin parça üzerine kaplandıktan sonra ergitilmesi neticesinde, esas metal ile iyi bir yapışma temin edilir. Bu sistemle, 2 mm kalınlığa kadar doldurma yapılabilir. Kaplama tabakasının sertliği ve yoğunluğu, yaklaşık olarak doldurma malzemesininki ile aynıdır [7].

4.9.3 Plazma Arkı ile Doldurma

En yeni yöntemlerden bir tanesidir. Doğrudan tesirli plazma alevi kullanılır. Su ile soğutulan ve ucu daralan ve anot olarak kullanılan bir zarf ve merkezinde izole edilmiş bir katottan meydana gelir. Bu üfleçten geçen gaz (argon, hidrojen ve azot), anot ve katot arasında meydana gelen bir plazma jeti halinde çıkar. Toz halindeki doldurma malzemesi plazma jetinde erir ve parça üzerine enjekte edilir. Doldurma malzemesinin parça üzerinde tutunması, mekanik olarak yapışmasıdır. Bu yöntemde çok yüksek sıcaklıklar sağlanması sebebiyle; ergime sıcaklıkları yüksek olan krom, molibden, tungsten, tantal ile bunların oksitlerinin püskürtülmesi mümkün olur [7].

4.9.4 Plazma Arkı ile Doldurma ve Ergitme

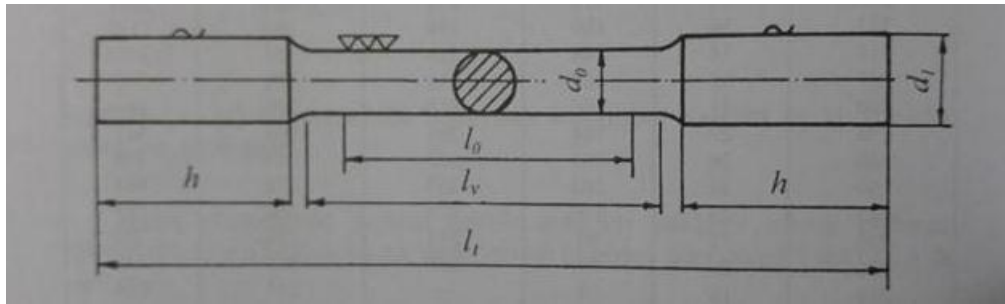
Kullanılan tabancada, iki ark vardır. Birincisi plazmayı meydana getirir; ikincisi ise tabanca ile iş parçası arasında meydana gelerek doldurma malzemesinin parça üzerinde ergiyerek daha iyi yapışmasını sağlar. Doldurma tabakasının kalınlığı, 0,25 ile 6 mm arasındadır. Doldurma malzemesi, toz halindedir [7].

KAYNAK EDİLMİŞ PARÇALARIN MEKANİK TESTLERİ**5.1 Çekme Testi**

Çekme testi malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırmak amacıyla yapılır. Çekme testi sonucunda elde edilen veriler mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılır, bu sebeple çekme testi en yaygın kullanılan mekanik testlerden birisidir [10].

5.1.1 Çekme Testinin Yapılışı

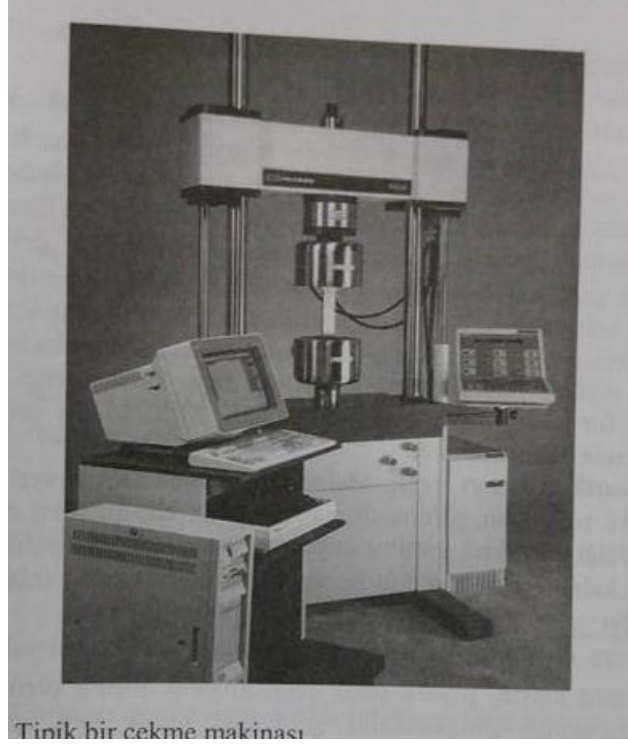
Çekme testi, ilgili standartlara göre hazırlanan test numunelerinin tek eksen ve sabit bir hızla koparılmaya kadar çekilerek deforme edilme işlemidir. Bunun için, ilk olarak incelenmesi istenen malzemeden talaşlı imalat ile standartlara uygun olarak numuneler hazırlanır [10].



Şekil 5.1 Daire kesitli ve silindirik başlı çekme numunesi [10]

Bu şekilde d_0 numunenin çapını, d_1 baş kısmının çapını, l_v inceltilmiş kısmın uzunluğunu, l_0 ölçü uzunluğunu, h baş kısmının uzunluğunu ve l_t numunenin toplam uzunluğunu göstermektedir. Hazırlanan numune çekme makinasının çenelerine takılarak deney

gerçekleştirilir. Şekil 5.2 çekme makinası görülmektedir. Deney sırasında çekme numunesine sürekli olarak artan çekme kuvveti uygulanır ve numunene kırılma, kopma oluncaya kadar meydana gelen uzama kaydedilir [10].



Şekil 5.2 Çekme makinası [10]

5.1.2 Çekme Testinden Elde Edilen Veriler

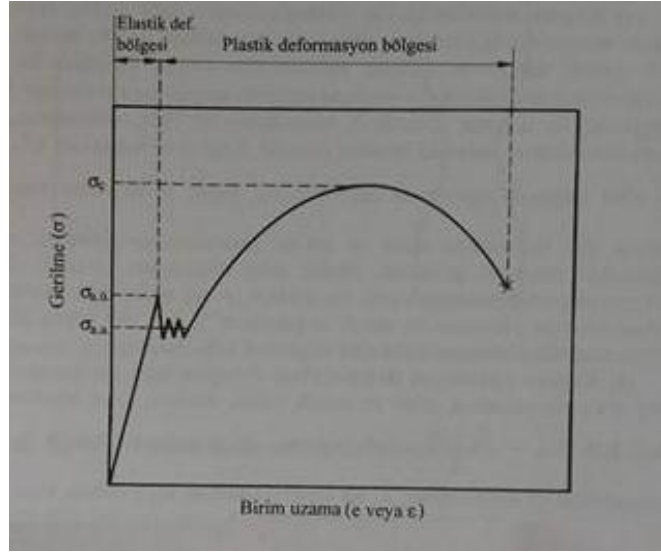
Çekme deneyi esnasında elde edilen gerilme ve uzama değerleri aşağıdaki bağıntılar ile bulunur [10].

$$\text{Çekme gerilmesi}(\sigma)=F/A_0$$

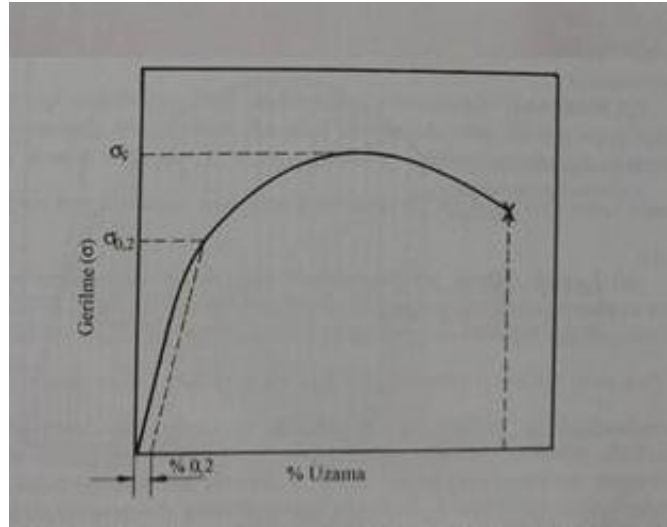
$$\text{Birim uzama}(e)= (l_1-l_0)/l_0$$

Burada F çekme kuvvetini, A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, l_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu l_1 numunenin son ölçü uzunluğunu ifade eder. Çekme deneyi sonucunda kuvvet-uzama eğrisi elde edilir. Ancak bu eğri ile birlikte kullanılan numunenin boyutlarını da vermek gerekir. Bu nedenle bu eğrinin yerine evrensel olan gerilme-birim uzama eğrisi kullanılır. Gerilme-birim uzama eğrisi çekme diyagramı olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 5.3’de normalize edilmiş durumdaki düşük karbonlu bir çeliğin gerilme-

birim uzama eğrisi verilmiştir. Gerilme-birim uzama eğrisi çekme makinasından elde edilen eğri kuvvet-uzama eğrisine benzer bir şekle sahiptir [10].



Şekil 5.3 Düşük karbonlu çeliğin gerilme-birim uzama eğrisi [10]



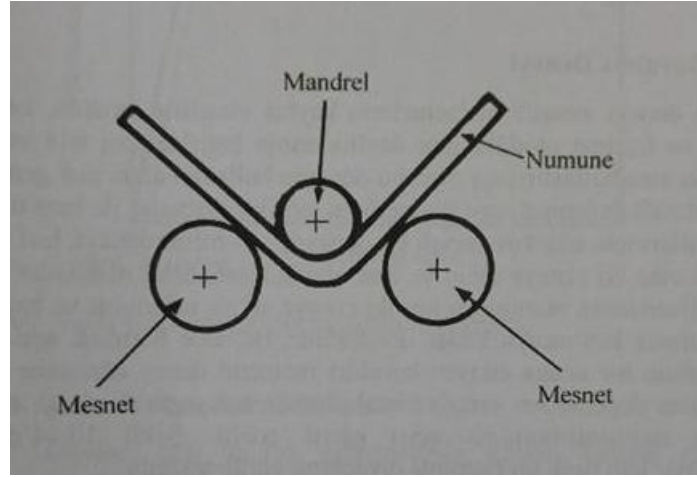
Şekil 5.4 Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesine ilişkin diyagram [10]

σ_a :akma dayanımı

σ_c :çekme dayanımı

5.2 Eğme Testi

İki destek üzerine serbest olarak yerleştirilen uzun bir parçanın ortasına bir kuvvet uygulandığında meydana gelen şekil değişimi eğilme olarak adlandırılır. Eğme deneyinde, malzemeden alınan daire veya dikdörtgen kesitli bir numune kuvvet etkisi ile belirli bir çaptaki mandrel etrafında eğilmeye zorlanır. Deney parçasının kırılmaması durumunda 180° 'lik eğilme için gerekli kuvvet; kırılması durumunda ise, kırılmanın meydana geldiği andaki eğilme açısı ve uygulanan yük ölçülür. Eğme deneyi genellikle çekme-basma cihazlarıyla gerçekleştirilir. Metaller büyük çoğunlukla soğuk olarak eğme deneyine tabi tutulurlar. Ancak sıcaklığın malzemenin sünekliğine etkisinin belirlenmesi söz konusu olduğunda bu deneyin farklı sıcaklıklardaki numuneler ile gerçekleştirilmesi gerekir. Aşağıda eğme deneyinin şematik gösterimi yer almaktadır [10].



Şekil 5.5 Eğme testi şematik gösterim [10]

Kaynaklı malzemelerde eğme deneyi sonucu numunede çatlak vb. hata gözlenmek istenmez var olan hataların büyüklüğüne ve sayısına göre kaynak işleminin doğruluğu irdelenir. Bunun yanı sıra malzemenin şekil değişimi hakkında genel bilgiler, eğilme momenti, eğilme dayanımı, esneklik modülü, eğilme miktarı gibi değerler de hesaplanır [10].

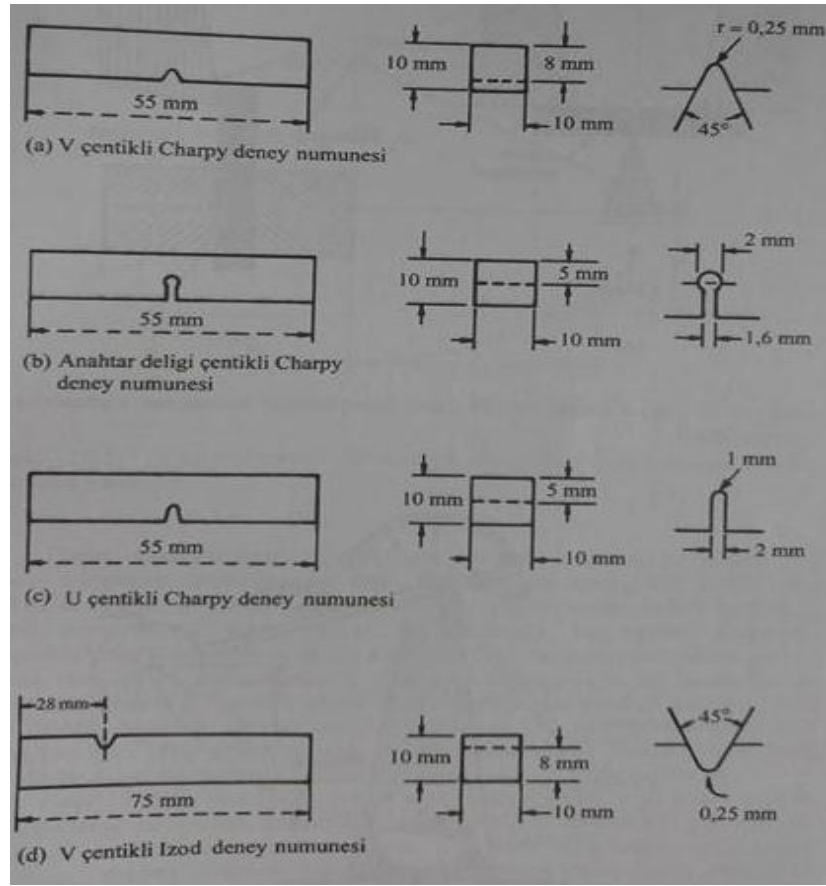
5.3 Darbe Testi

Bazı makine parçaları, yapı elemanları darbeli yüklere maruz kalırlar bu sebeple bahsedilen parçaların çarpma dayanımları, yükleme durumundaki statik mukavemet değerinden çok daha düşüktür. Darbe malzemelerin darbe dayanımlarını ölçmek için yapılır.

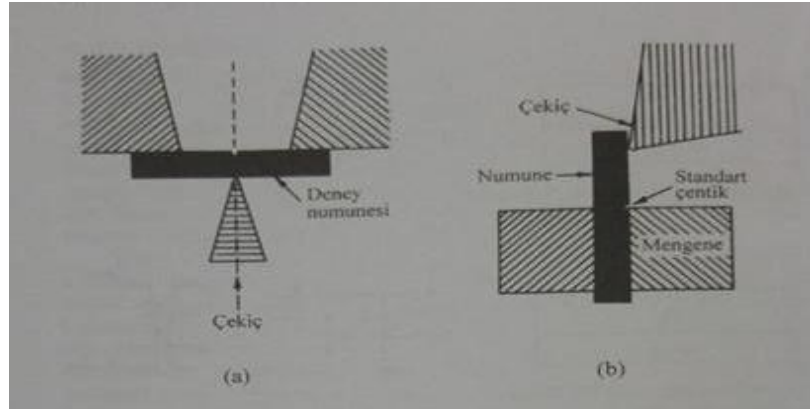
Bu deneylerden elde edilen malzemenin sınıflandırılması ve kullanım sıcaklık aralıklarının belirlenmesi için kullanılır. Bir başka değişle darbe deneyinden elde edilen sonuçlar tasarıma yönelik mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılamazlar [10].

Darbe deneyinde, standart çentik içeren bir numunenin darbe etkisi ile kırılması için gereken enerji genellikle joule cinsinden olmak üzere ölçülür. Bu değer malzemenin darbe direnci ya da darbe dayanımı olarak adlandırılır. Uygulamada yaygın olarak kullanılan 2 çeşit darbe deneyi vardır. Bunlardan biri Charpy, diğeri de Izod darbe deneyidir. Charpy deneyinde iki mesnede yatay olarak yaslanan basit bir kiriş durumundaki numunenin çentik tabanına sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapıp, çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmenin etkisiyle söz konusu numunenin kırılması için harcanan enerji ölçülür. Izod darbe deneyinde ise, kavrama çenesine dikey olarak tespit edilen numunenin yüzeyine, kavrama çenesinden belirli bir yükseklikteki noktadan sarkacın ucundaki çekiçle darbe uygulanarak kırılması için gerekli enerji ölçülür [10].

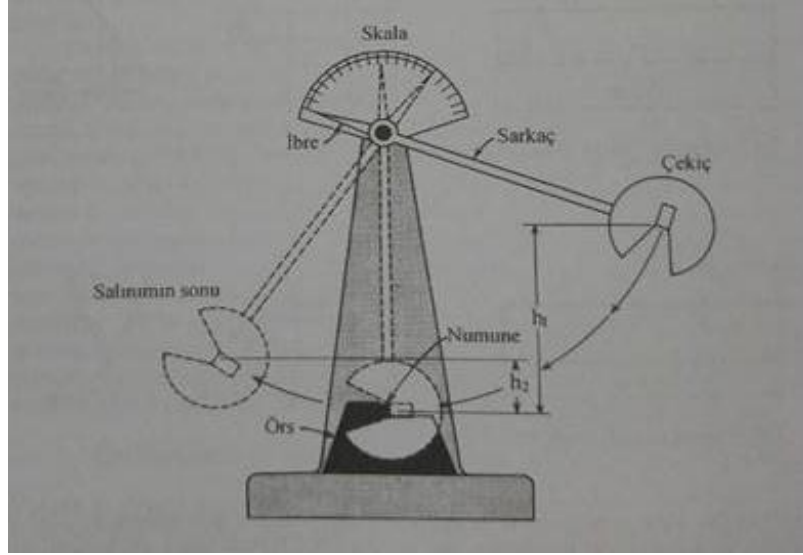
Charpy ve Izod darbe deneylerinde kullanılan şematik resimler ve boyutları şekil 5.6'da bu numunelerin yerleştirilmesini gösteren şematik resimler şekil 5.7'de verilmektedir. Darbe deneyinde yaygın olarak kullanılan sarkaçlı bir darbe makinasının şematik resmi şekil 5.8'de görölmektedir. Darbe deneyinde ağırlığı G olan bir sarkaç h_1 yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjinin değeri Gxh_1 olur. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakılırsa numuneye çarparak onu kırar ve diğer yönde h_2 yüksekliğine kadar yükselir. Numunenin kırılmasından sonra sarkacın sahip olduğu potansiyel enerji ise Gxh_2 olur. Deney sırasında darbe düzeneğinde meydana gelen sürtünme değeri göz ardı edilebilecek düzeyde olması sebebiyle sarkacın ilk durumundaki potansiyel enerji ile son durumundaki potansiyel enerjisi arasındaki fark, numunenin kırılması için gereken enerjiyi yani darbe dayanımını verir. Darbe direncinin birimi genelde joule (J) olarak verilir, bazı durumlarda J/m^2 , $kg.m$ veya $kg.m/cm^2$ olarak da gösterilir. Kırılma enerjisi yüksek olan metaryellerin çentik darbe dayanımı da yüksek olur [10].



Şekil 5.6 Charpy ve Izod deneylerinde kullanılan çentikli numuneler [10]

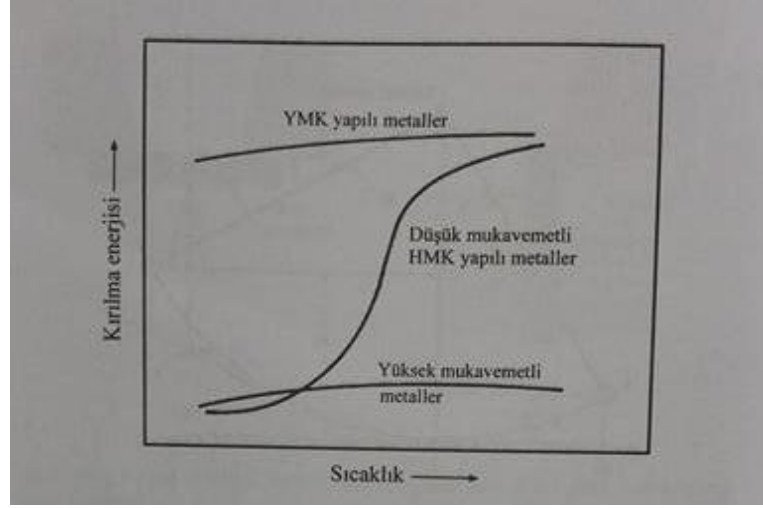


Şekil 5.7 (a) Charpy ve (b) Izod deneylerinde kullanılan numunelerin yerleştirilmesi [10]

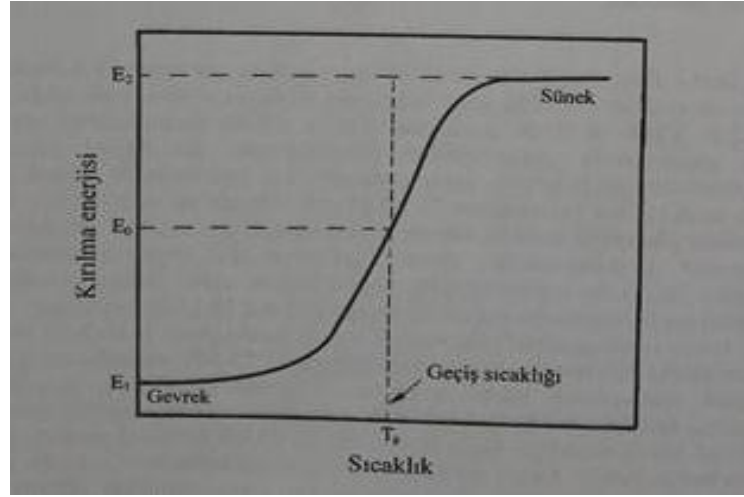


Şekil 5.8 Bir darbe makinasının şematik diyagramı [10]

Darbe deneyleri farklı sıcaklıklarda yapılarak malzemenin kırılma veya darbe enerjisinin sıcaklığa göre değişimi gösteren grafikler elde edilir. Şekil 5.9’da HMK ve YMK yapıları metaller ile yüksek mukavemetli metallerin tipik sünek-gevrek geçiş eğrileri görülmektedir. Bu eğrilerden faydalanarak malzemenin sünek gevrek geçiş sıcaklığı belirlenebilir. Sünek-gevrek geçiş sıcaklığı bir malzemenin %50 gevrek %50 sünek kırıldığı sıcaklık olarak tanımlanır. Bu sıcaklık genelde sünek ve gevrek durumda ölçülen enerji değerlerinin (E_1 E_2) ortalaması olan enerjiye (E_0) karşı gelen sıcaklık değeri olarak bulunur. Sünek-gevrek geçiş sıcaklığının belirlenmesini gösteren diyagram şekil 5.10’da verilmektedir. Genellikle geçiş sıcaklığı metallerde mutlak ergime sıcaklığının %10-20’si arasında, seramiklerde ise mutlak ergime sıcaklığının %50-70’i arasında yer alır. Bu sıcaklık malzemenin kristal yapısına, kimyasal bileşimine, metalografik yapısına, tane boyutuna, uygulanan ısıtma ve yüzey işleme yöntemiyle bağlantılıdır. Geçiş sıcaklığı, malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli etkenlerden biridir. Geçiş sıcaklığı yüksek olan malzemelerin tokluğu düşük olduğundan mühendislik uygulamalarında geçiş sıcaklığı düşük olan malzemeler tercih edilir [10].



Şekil 5.9 Çeşitli metallerin kırılma enerjisi-sıcaklık eğrileri [10]



Şekil 5.10 Sünek-Gevrek geçiş sıcaklığının belirlenmesini ifade eden grafik [10]

5.4 Sertlik Testi

Malzemenin önemli mekanik özelliklerinden birisi de sertliktir. Sertlik malzemenin batmaya veya çizilmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. İlk sertlik deneyleri doğal minerallerinin birbirini çizebilme yeteneklerine göre sıralanmasıyla oluşturulmuştur. Mohs skalası olarak adlandırılan, sıralamanın bir parça rastgele seçilen mineralle niteliksel olarak yapıldığı ve sertlik derecesinin 1 ile 10 arasında değiştiği bu skalada, en düşük sertlik derecesini gösteren 1 değeri talk mineralinin sertliğini ve en yüksek değer olan 10 ise elmasın sertliğini ifade etmekteydi. Zamanla küçük bir ucun malzeme yüzeyine belirli bir yük ve hızda kontrollü bir şekilde batırılması ile gerçekleştirilen çeşitli nicel sertlik ölçüm yöntemleri gerçekleştirilmiştir.

Sertlik ölçüm yöntemlerinde, ucun batırılması ile oluşan izin derinliği veya genişliği ölçülerek malzemenin sertlik değerleri elde edilir. Buna göre malzeme ne kadar sert ise oluşan izin derinliği ya da genişliği o kadar küçük, sertlik değeri de o kadar yüksek olur. Ölçülen sertlikler, mutlak olmaktan çok bağıldır ve farklı tekniklerle belirlenen değerler birbirleriyle karşılaştırılırken hassasiyet gösterilmelidir [11].

Sertlik deneyleri aşağıdaki nedenlerden dolayı diğer mekanik deneylere göre daha yaygın şekilde kullanılmaktadır.

- Düşük maliyetli olmalarının yanında genellikle özel bir numune hazırlanmasına gerek yoktur ve sertlik ölçme cihazları diğer mekanik test cihazlarına göre nispeten daha ucuzdur.
- Yarı tahribatlı bir deneydir. Numunede hasar ya da aşırı deformasyon meydana gelmez, oluşan tek deformasyon küçük bir izden ibarettir.
- Sertlik testi çekme dayanımı gibi bazı mekanik özellikler hakkında da kabaca bilgi verir [11].

5.4.1 Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemleri

Rockwell deneyleri özel bir beceriye ihtiyaç duyulmadan basit bir şekilde uygulanabilir oldukları için, en yaygın sertlik ölçme yöntemini oluştururlar. Bu yöntemde, çeşitli uç ve yük kombinasyonları ile oluşturulan farklı skalalar neredeyse bütün metal alaşımların ve bazı polimerlerin sertlik ölçümlerine imkân sağlar. Batıcı uçlar, çapları 1/16, 1/8, 1/4 ve 1/2 inç olan sertleştirilmiş çelik bilyalar ve sertliği yüksek olan malzemelerde kullanılan konik elmas uçtan oluşur [11].

Rockwell sertlik deneylerinde sertlik değeri ucun battığı derinliğe göre belirlenir. Deney sırasında, ilk önce küçük bir ön yük, ardından da ana yük uygulanır. Ön yükün küçük değerinde olması ölçüm hassasiyetini arttırmaktadır. Ön ve ana yük büyüklüklerine göre, Rockwell ve yüzeysel Rockwell olmak üzere Rockwell sertlik deneylerinin iki çeşidi vardır. Rockwell sertlik testinde, ön yük 10 kg.f'dır, ana yük ise 60, 100 ya da 150 kg.f'dır. Her Rockwell skalası bir harf ile ifade edilir. Şekil 5.11 ve çizelge 5.1 de Rockwell skalaları ve bu skalalarda kullanılan uçlar ve yükler gösterilmiştir. Yüzey sertliği ölçümlerinde ise ön yük 3 kg.f, ana yükler ise 15, 30 veya 45 kg.f'dır.

Bu skalalar yükü belirten 15,30 ya da 45 rakamları ve bu rakamları takip eden kullanılan ucu belirten N, T, W, X, ya da Y harfleriyle gösterilir. Yüzey sertliği ölçümleri genellikle ince malzemelere uygulanır. Şekil 5x.2 de bazı yüzey sertliği ölçüm deneylerine ait skalalar verilmiştir [11].

Rockwell ve Rockwell-yüzey sertliği belirtilirken, sertlik değeri kullanılan skala ile birlikte sembolüyle yazılmalıdır. Ölçülen sertlik değeri yazılırken yanına, R harfleri ve R'den sonra kullanılan skalayı belirten sembol yazılır. Örnek olarak; 80 RSD-B, Rockwell sertlik değerininin B skalasında 80 olduğunu; 60 RSD-30W, Yüzeysel sertlik değerinin 30W skalasında 60 olduğunu ifade eder [11].

Her bir skala için en yüksek sertlik değeri 130 olsa dahi ölçüm sonucunda okunan değerin 100'ün üzerinde olması ve 20'nin altında olması ölçüm hassasiyetinin kötüleşmeye başladığını ifade eder. Böyle bir sertlik değeri, ölçüm yapılan skalanın ölçülen malzeme için uygun olmadığını gösterir ve belirtilen düşük ve yüksek sertlik mertebelerinde skalalar arasında örtüşme olduğundan, bir önceki yumuşak ya da bir sonraki sert skalanın kullanılması en doğru sonucu verecektir. Sertliği ölçülecek numunenin çok ince olması, sertlik ölçümünün numunenin kenarına ya da başka bir sertlik ölçümünün yapıldığı noktaya çok yakın yapılması, hatalı sonuçlara sebebiyet verebilir. Doğru ölçüm için, numune kalınlığı iz derinliğinin en az on katı kadar büyük, iki izin merkezleri ya da numune kenarı ile sertlik izi arasındaki mesafe de en az üç iz çapı kadar olması gerekir. Ölçümün doğruluğunda sertliği ölçülecek yüzeyin düz ve düzgün olması önemli rol oynar. Rockwell sertlik ölçümünün yapıldığı modern cihazlar otomatik olarak çalışır ve kullanımı basittir. Sertlik değeri doğrudan cihazın ekranından okunur ve her bir ölçüm birkaç saniye içinde tamamlanır. Bu cihazlar yük uygulama süresinin de değiştirilmesine imkân verir. Sertlik verilerinin yorumlanmasında bu değişken de göz önünde bulundurulmalıdır [11].

Sertlik Ölçme Yöntemleri					
Yöntem	Batıcı Uç	Batıcı Uç Şekli		Yük	Sertlik Değerine Ait Formül ^a
		Yan Görünüş	Üst Görünüş		
Brinell	10 mm çaplı küresel çelik veya tungsten karbür			P	$BSD = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers mikrosertlik	Elmas piramit			P	$VSD = 1.854P/d_1^2$
Knoop mikrosertlik	Elmas piramit			P	$KSD = 14.2P/l^2$
Rockwell ve Rockwell-Yüzey	Elmas koni 1,588, 3,175, 6,350, ve 12,7 mm çaplı çelik küre			60 kg 100 kg 150 kg 15 kg 30 kg 45 kg	Rockwell Rockwell-Yüzey

^aVerilen sertlik formüllerinde P'nin (uygulanan yük) birimi kg, D, d, d₁ ve l birimi ise mm'dir.

Şekil 5.11 Sertlik testlerinde kullanılan uç formları [11]

Çizelge 5.1 Rockwell sertlik skalaları [11]

Skala Sembolü	Uç	Ana yük (kg.f)
A	Elmas	60
B	1.588 mm bilya	100
C	Elmas	150
D	Elmas	100
E	3.175 mm bilya	100
F	1.588 mm bilya	60
G	1.588 mm bilya	150
H	3.175 mm bilya	60
K	3.175 mm bilya	150

Çizelge 5.2 Rockwell-yüzey sertlik skalaları [11]

Skala Sembolü	Uç	Ana yük (kg.f)
15N	Elmas	15
30N	Elmas	30
45N	Elmas	45
15T	1.588 mm bilya	15
30T	1.588 mm bilya	30
45T	1.588 mm bilya	45
15W	3.175 mm bilya	15
30W	3.175 mm bilya	30
45W	3.175 mm bilya	45

5.4.2 Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi

Rockwell ölçümlerinin çoğundaki gibi, Brinell deneylerinde de sert bir küresel uç metalin yüzeyine batırılır. Kullanılan sertleştirilmiş çelik bilya (veya tungsten karbür) batıcı uçun çapı 10 mm'dir. Standart yük aralığı, 500 ile 3000 kg.f arasında, 500 kg.f artışlarla değişir ve deney sırasında yük 10 ile 30 saniye aralığında belirli bir süre boyunca sabit tutulur. Malzemenin sertliği arttıkça uygulanması gereken yük de artırılmalıdır. Brinell sertlik değeri (BSD), uygulanan yükün ve ölçüm sonrası yüzeyde oluşan iz çapının bir fonksiyonudur. Oluşan izin çapı düşük büyötmeli özel bir mikroskopta, mercek camına işlenmiş bir skala yardımıyla ölçölür. Ölçülen bu çap, daha sonra bir çizelge yardımıyla Brinell sertlik değerine çevrilir. Brinell sertlik ölçme yönteminde tek bir skala vardır. Brinell sertlik ölçümlerini yarı otomatik olarak gerçekleştiren cihazlar da mevcuttur. Bu cihazlarda, üzerine dijital kameranın monte edildiğı ve kameranın iz üzerine konumlanabilmesini sağlayan optik tarama sistemi vardır. Kameradan alınan veriler, izi analiz ederek büyüklüğünü belirleyen ve daha sonra da Brinell sertlik değerini hesaplayan bilgisayara aktarılır. Otomatik sertlik ölçümlerinde, numunenin yüzey kalitesinin düzgün olması manuel ölçümlere göre daha büyük önem içerir [11].

En küçük parça kalınlığı, numune kenarına göre ölçüm yeri ve izler arasındaki en küçük mesafe Rockwell sertlik ölçüm yöntemindekiyle aynıdır. Ayrıca, iz çapının doğru ölçülmesi için yeterince belirgin olması gerekir, bu nedenle ölçüm yapılacak yüzeyin sertlik ölçümü için uygun olması gerekir [11].

5.4.3 Knoop ve Vickers Sertlik Ölçme Yöntemleri

Bu yöntemlerin her ikisinde de piramit geometrisine sahip küçük bir elmas uç, sertliği ölçülecek numunenin yüzeyine batırılır. Uygulanan yükler, Rockwell ve Brinell'dekine göre daha küçüktür. Ölçüm sonrası yüzeyde oluşan izin boyutu mikroskop altında ölçülür ve sertlik değerine çevrilir. Belirgin bir iz oluşturulabilmesi ve oluşturulan izin doğru bir şekilde ölçülebilmesi için, sertlik testinden önce yüzeyin zımparalama ve parlatma işlemleriyle hassasiyetle hazırlanması gerekir. Knoop ve Vickers sertlikleri sırasıyla KSD ve VSD şeklinde gösterilir ve bu iki yönetime ait sertlik değerleri yaklaşık olarak birbirine eşittir. Bu yöntemlerin ikisi de numune üzerinde belirli küçük bölgelerin sertliği ölçülmesine imkân sağlar. Ayrıca, Knoop sertlik testi seramik gibi gevrek malzemelerin sertliklerinin ölçülmesinde oldukça kullanılır. Modern sertlik test cihazları bir bilgisayar ve yazılım yardımıyla izin oluşturulmasına ve ardından izin görüntülenerek ölçülmesi işlemlerini yapabilecek şekilde otomatik olarak çalışır. Yazılım; ölçüm yeri, ölçme aralığı, sertlik değerinin hesaplanması ve verilerin işlenmesi gibi önemli işlerin yerine getirilmesini sağlar [11].

5.4.4 Sertlik Dönüşümü

Bir skalada ölçülen sertlik değerinin, başka bir skaladaki karşılığına ihtiyaç duyulması sıkça karşılaşılan bir durumdur. Fakat sertlik, çok iyi tanımlanmış bir malzeme özelliği olmadığından ve ölçüm teknikleri arasında deneysel farklılıkların bulunması nedeniyle, kapsamlı bir dönüşüm çizelgesi ortaya konulamamaktadır. Sertlik değerinin başka skalalara çevrilmesi deneysel olarak yapılmış ve bunun malzemenin türüne ve özelliklerine bağlı olduğu tespit edilmiştir. En güvenli dönüşüm verileri çelikler içindir [11].

Çekme dayanımı		Brinell sertlik		Vickers sertlik	Rockwell sertlik	
N/mm ²	kp/mm ² (kgf/mm ²)	d(mm)	HB	HV	HRB	HRC
200	20.4	7.32	60	63		
210	21.4	7.22	62	65		
220	22.4	7.04	66	69		
225	22.9	6.99	67	70		
230	23.5	6.95	68	72		
240	24.5	6.82	71	75		
250	25.5	6.67	75	79		
255	26	6.63	76	80		
260	26.5	6.56	78	82		
270	27.6	6.45	81	85	41	
280	28.6	6.35	84	88	45	
285	29.1	6.28	86	90	48	
290	29.6	6.25	87	91	49	
300	30.6	6.19	89	94	51	
305	31.1	6.16	90	95	52	
310	31.6	6.10	92	97	54	
320	32.6	6.01	95	100	56	
330	33.7	5.93	98	103	58	
335	34.2	5.87	100	105	59	
340	34.7	5.83	102	107	60	
350	35.7	5.75	105	110	62	
360	36.7	5.70	107	113	63.5	
370	37.7	5.66	109	115	64.5	
380	38.7	5.57	113	119	66	
385	39.3	5.54	114	120	67	
390	39.8	5.50	116	122	67.5	
400	40.8	5.44	119	125	69	
410	41.8	5.38	122	128	70	
415	42.3	5.33	124	130	71	
420	42.8	5.32	125	132	72	
430	43.8	5.26	128	135	73	
440	44.9	5.20	131	138	74	
450	45.9	5.17	133	140	75	
460	46.9	5.11	136	143	76.5	
465	47.4	5.08	138	145	77	
470	47.9	5.05	140	147	77.5	
480	48.9	5.00	143	150	78.5	
490	50	4.96	145	153	79.5	
495	50.5	4.93	147	155	80	
500	51	4.90	149	157	81	
510	52	4.86	152	160	81.5	
520	53	4.81	155	163	82.5	
530	54	4.78	157	165	83	
540	55.1	4.74	160	168	84.5	
545	55.6	4.71	162	170	85	
550	56.1	4.70	163	172	85.5	
560	57.1	4.66	166	175	86	
570	58.1	4.62	169	178	86.5	
575	58.6	4.59	171	180	87	
580	59.1	4.58	172	181		
590	60.2	4.54	175	184	88	
595	60.7	4.53	176	185		
600	61.2	4.51	178	187	89	
610	62.2	4.47	181	190	89.5	
620	63.2	4.44	184	193	90	
625	63.7	4.43	185	195		
630	64.2	4.40	187	197	91	
640	65.3	4.37	190	200	91.5	
650	66.3	4.34	193	203	92	
660	67.3	4.32	195	205	92.5	
670	68.3	4.29	198	208	93	
675	68.8	4.27	199	210	93.5	

Çekme dayanımı		Brinell sertlik		Vickers sertlik	Rockwell sertlik	
N/mm ²	kp/mm ² (kgf/mm ²)	d(mm)	HB	HV	HRB	HRC
680	69.3	4.25	201	212		
690	70.4	4.22	204	215	94	
700	71.4	4.19	208	219		
705	71.9	4.18	209	220	95	
710	72.4	4.16	211	222	95.5	
720	73.4	4.13	214	225	96	
730	74.4	4.11	216	228		
740	75.5	4.08	219	230	96.5	
750	76.5	4.07	221	233	97	
755	77	4.05	223	235		
760	77.5	4.03	225	237	97.5	
770	78.5	4.01	228	240	98	
780	79.5	3.98	231	243		21
785	80	3.97	233	245		
790	80.6	3.95	235	247	99	
800	81.6	3.93	238	250	99.5	22
810	82.6	3.91	240	253		
820	83.6	3.89	242	255		23
830	84.6	3.87	245	258		
835	85.1	3.85	247	260		24
840	85.7	3.84	249	262		
850	86.7	3.82	252	265		
860	87.7	3.80	255	268		25
865	88.2	3.78	257	270		
870	88.7	3.77	258	272		26
880	89.7	3.76	261	275		
890	90.8	3.74	264	278		
900	91.8	3.72	266	280		27
910	92.8	3.70	269	282		
915	93.3	3.69	271	285		
920	93.8	3.68	273	287		28
930	94.8	3.66	276	290		
940	95.9	3.64	278	293		29
950	96.9	3.63	280	295		
960	97.9	3.61	284	299		
965	98.4	3.60	285	300		30
970	98.9	3.59	287	302		
980	99.9	3.57	290	305		
990	100.9	3.55	293	308		
995	101.5	3.54	295	310		31
1000	102	3.53	296	311		
1010	103	3.52	299	314		
1020	104	3.50	301	317		32
1030	105	3.49	304	320		
1040	106.1	3.47	307	323		
1050	107.1	3.45	311	327		33
1060	108.1	3.44	314	330		
1070	109.1	3.43	316	333		
1080	110.1	3.41	319	336		34
1090	111.1	3.40	322	339		
1095	111.7	3.39	323	340		
1100	112.2	3.38	325	342		
1110	113.2	3.36	328	345		35
1120	114.2	3.35	332	349		
1125	114.7	3.34	333	350		
1130	115.2	3.33	334	352		
1140	116.2	3.32	337	355		36
1150	117.3	3.31	340	358		
1155	117.8	3.30	342	360		
1160	118.3	3.29	343	361		
1170	119.3	3.28	346	364		37
1180	120.3	3.26	349	367		

Şekil 5.12 Sertlik dönüşüm tablosu [12]

MAKRO İNCELEME

Makroskobik inceleme teknikleri rutin kalite kontrolünde, hasar analizlerinde ve araştırma çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknikler, genellikle mikro incelemeye bir hazırlık mahiyetindedir; fakat kalite kontrolünde, tek başına kabul veya ret kriteri olarak kullanılabilirler. Tahribatlı ve tahribatsız olarak kullanılan çok sayıda test yöntemi vardır. En temel prosedür kaynak dikişleri, katlamalar ve tufal gibi yüzey karakteristikleri için basit görsel muayene işlemidir [13].

Kalite kontrol anlamında, makro metotlar belirlenen bir imalat ürünün kalifikasyonun incelenmesini kapsar. Hasar incelemelerinde, bir kişi imalat proses ve pratiğinin bütün detaylarını bilemez; mühendisler makro inceleme testlerini kaliteyi doğrulamak, daha ileri çalışma yapabilmek için problem bölgelerini tespit etmek ve bazı hallerde, parçanın nasıl üretildiğini saptamak için kullanılır. Araştırma çalışmalarında, proses basamakları değiştikçe, imalat pratiğinde değişmelere neden olan farkları göstermek için makro inceleme kullanılır [13].

6.1 Makro Dağlama

Neredeyse tüm kalite değerlendirmeler, makro ölçüde kolay ve güvenilir olarak ilgilenilen bütün alanları kapsayacak şekilde tasarlanmış testleri kullanmaktadır. Malzemenin makroskobik değerlendirilmesinden sonra, spesifik özellikler mikroskobik olarak incelenmelidir. Konuya vakıf olan kişi, çeşitli açılardan makro inceleme örnekleri hazırlayarak, makro incelemeyi kuvvetli bir analiz elemanı haline getirebilir [13].

Makro dağlama şu özellikleri inceleyerek metal ve alaşımlardaki homojenlik derecesini açığa çıkarır:

- Döküm veya dövme kaynaklı oluşan yapı detayı
- Nicel olarak, kimyasal homojenlik
- Katılaşma, dövme sebepli fiziksel süreksizlikler
- Kaynak yapısı veya ısıdan etkilenmiş bölge
- Sertleştirilmiş eliklerde sertlik paternleri
- Taşlama hasarı
- Servis hatası sebepli termal etkiler

Bu özelliklerden ilk üçü sıcak-asit dağlaması ile açığa çıkarılırken diğerleri için dağlayıcı oda sıcaklığında bulunmalıdır. Makro dağlama, genel olarak zımparalanmış yüzeylere, daha az olarak ise parlatılmış yüzeylere uygulanmaktadır. Kimyasal segregasyon, bazı soğuk dağlayıcılar yardımıyla görülebilir. Elde edilen bilgiler fotoğraflama veya baskı metotları ile kaydedilmelidir [13].

İncelenecek rneğin doğru seçilmesinin yanında, malzemeye test prosedürünün doğru olarak uygulanması da önemlidir. Uygulamada, aşağıdaki test değişkenleri göz önüne alınmalıdır:

- rnek numunelerin seçimi
- Yüzey yönlenmesinin saptanması
- Numune yüzeyinin düzgün hazırlanması
- En iyi dağlama bileşiminin seçimi
- Dağlayıcı sıcaklığı ve dağlama süresinin kontrolü
- Test sonuçlarının kaydedilmesi [13].

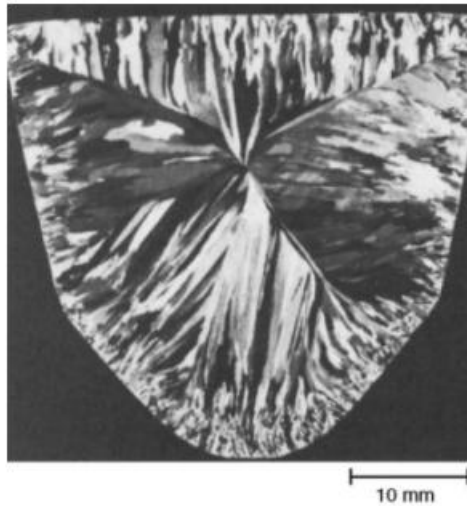
6.1.1 Makro Dağlama Uygulamaları

Sıcak asit dağlaması ile çok sayıda kusur veya hata tespit edilebilmektedir. Enine kesit boyuna kesitten daha fazla bilgi verdiği için, genellikle sıcak işlem eksenine dik diskler

kesilir. Tutulabilirlik açısından disk kalınlığının 25 mm veya daha az olması tavsiye edilir. Boyuna kesit, lif akış çizgisinin, segregasyon ve inklüzyon incelemelerinde kullanılır [13].

- **Katılaşma Yapıları**

Katılaşma sonucu oluşan yapılar makro dağlama ile net bir şekilde açığa çıkarılmaktadır. Şekil 6.1’de 1100 kalite alüminyum alaşım ingotunun makro yapısı görülmektedir. Kenarlarda ince tanelerden oluşan bir bant vardır. Dış yüzeyden uzaklaştıkça daha kaba yapılı kolonsal taneler gelişmiştir. Kaba kolonsal tane yapısının varlığı bir malzemeye yüksek sıcaklıkta kullanılabilme özelliği kazandırabilir. Türbin kanatlarında kullanılan yüksek sıcaklık alaşımlarında bu tür taneler oluşturmak için özel gayret gösterilmektedir [13].



Şekil 6.1 Alüminyum alaşımının makro yapısı(1.5X) [13]

- **Sürekli Döküm Makro Yapısı**

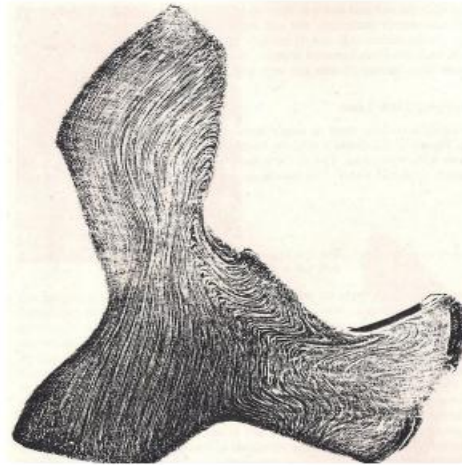
Sürekli döküm metodu metallerin üretilmesinde önemli bir prosestir. Bu tekniğin geliştirilmesinde, kütük, slab kalitesine ve dövme ürünün kalitesine döküm parametrelerinin etkilerinin araştırılması suretiyle makro dağlama geniş ölçüde kullanılmıştır. Şekil 6.2’de sürekli dökümle üretilmiş sade karbonlu bir çeliğin makro yapısı gösterilmektedir. Sıcak asit dağlaması parçanın merkezinde çatlaklar olduğunu göstermiştir [13].



Şekil 6.2 Sürekli dökümle üretilmiş AISI 1045 çeliğinin boyuna kesitinin sıcak asit dağlaması ile açığa çıkarılan makro yapısı [13]

- **Dövme Akış Çizgileri**

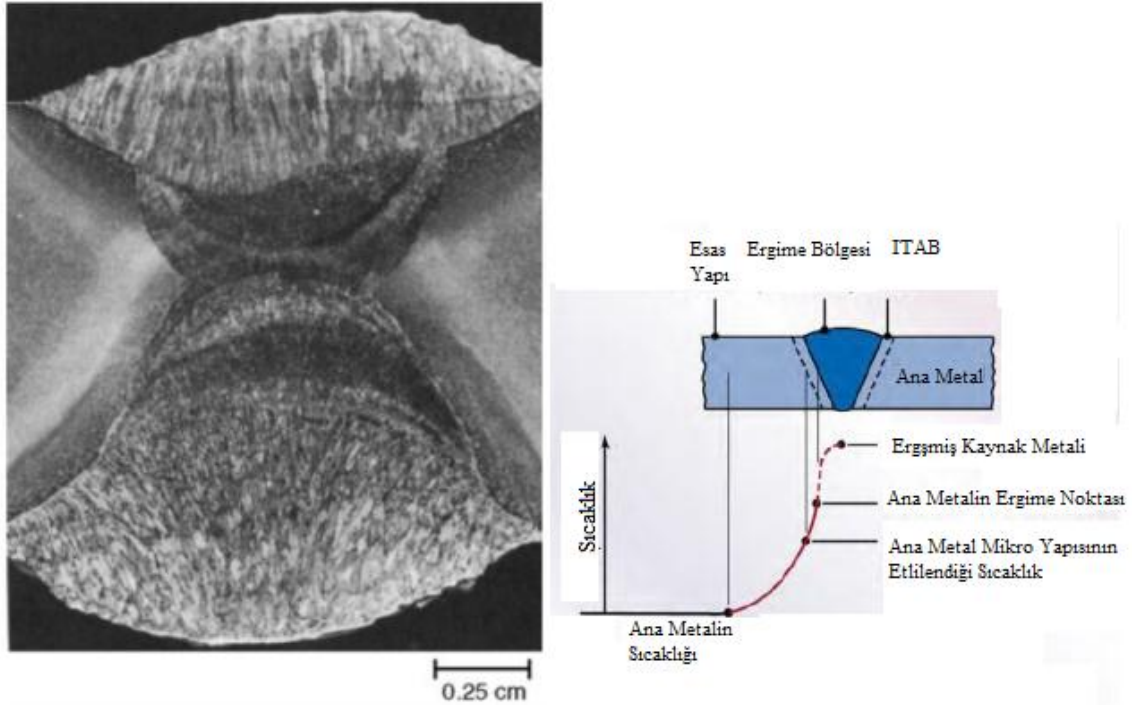
Makro dağlama sıcak veya soğuk dövme ile oluşan paternlerin incelenmesi için çok kullanılmaktadır. Şekil 6.3’de, AISI 4140 çeliğinden mamul kapalı kalıpta dövülmüş bir parçanın lif yapısı görülmektedir [13].



Şekil 6.3 Dövülmüş parçada akış çizgileri [13]

- **Kaynaklı İmalatta Makro Uygulamaları**

Kaynak işlemi imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan başlıca üretim yöntemlerinden biridir. Kaynakların incelenmesinde ilk adım, kaynak makro yapısının irdelenmesidir. Kaynak makro yapısı proses tipine, işlem parametrelerine ve kullanılan malzemeye bağlı olarak meydana gelir. Kaynak kalite kontrolünde metalografi anahtar metottur. Kaynak makro yapısını tanımlarken kaynak metali, ısıdan etkilenmiş bölge ve ana metal gibi üç farklı yapıdan bahsedilir. Kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölgede, bileşim, tane boyutu ve yönlenmesi, mikroyapı ve sertlikte değişimler vardır. Bu nedenle, kaynak metalinin mikroyapısında önemli değişiklikler gözlenir [13].

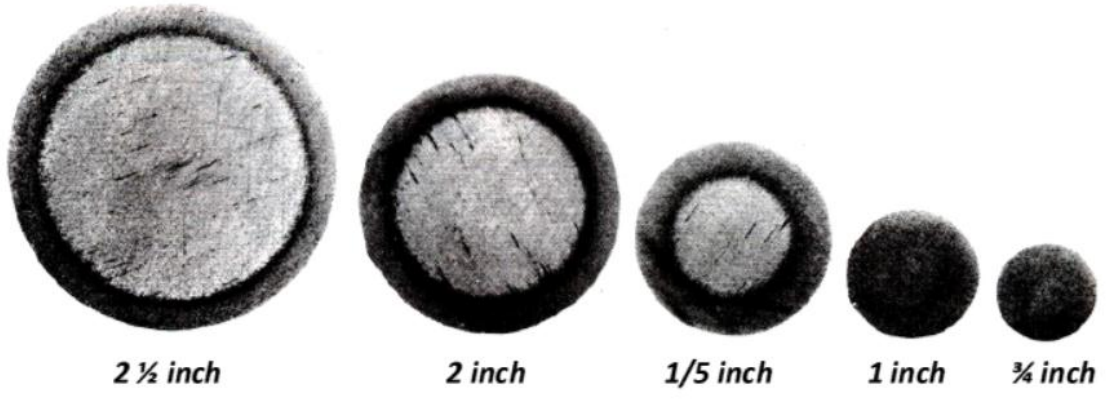


Şekil 6.4 Kaynak bölgesinin makro yapısı [13]

Makro dağlama kaynak parametrelerindeki değişimlerin kaynak metalinin boyut ve şekline, nüfuziyet derinliğine, kaynak yapısına ve derinliğine etkilerini belirlemek için sık sık kullanılmaktadır [13].

- **Isıl İşlem Etkisi**

Makro dağlama, ısıl işlem şartlarına maruz kalan çelik çubukların sertleşme kabiliyetini belirlemek için de kullanılmaktadır. Şekil 6.5’de AISI 1060 çeliğine ait farklı çaptaki numunelerin kesitleri gösterilmektedir [13].



Şekil 6.5 Sertleşme derinliğinin çubuk çapına göre değişiminin makro görünümü [13]

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada St 52(S355N) çeliğine MIG yöntemiyle yapılan kaplama kaynağında ön tavlama sıcaklığının etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 2 adet plakaya 316L(EN12072) ilave malzemesi kullanılarak kaplama kaynağı işlemi uygulanmıştır. Plakalardan bir tanesine uygun ön tavlama sıcaklığı uygulanmış, diğer plakaya ise oda sıcaklığında kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan kaynak işlemi sonrası plakalara ilk olarak görsel muayeneye uygulanmış daha sonra talaşlı işlem ile ISO 15614-7 standardına göre hazırlanan numuneler yine standara bağlı kalarak sırasıyla makro inceleme, sertlik ve eğme testlerine tabi tutulmuşlardır.

7.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

7.1.1 Ana Metal

Deneysel çalışmalarda ana metal olarak St 52 (S355N) yapı çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi çizelge 7.1’de, mekanik özellikleri ise çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Ana metalin kimyasal bileşimi [14]

Kimyasal Bileşim (%)				
C	Si	Mn	P	S
0,24	0,55	1,6	0,030	0,030

Çizelge 7.2 Ana metalin mekanik özellikleri [14]

Mekanik Özellikler			
Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Yüzde Uzama (%)	Darbe Dayanımı (-20°C) (J)
355	680	22	27

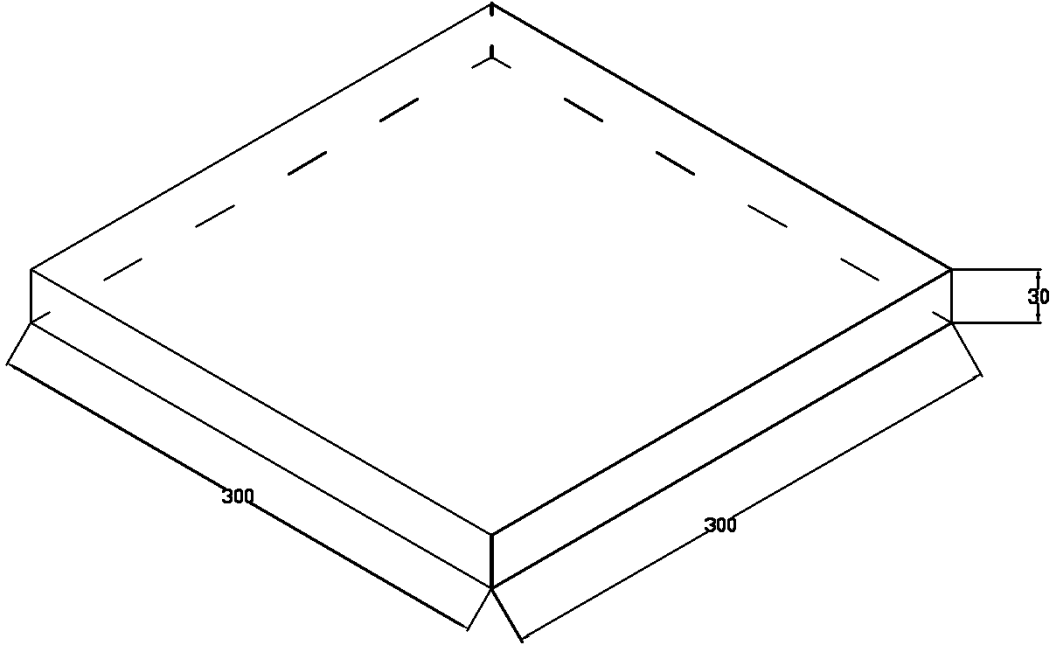


Şekil 7.1 Ana malzeme(St 52)

İki adet 300x300x30 mm boyutlarında St 52 malzemedен plakalar kullanılmıştır.

- **Korozyon Dayanımı**

St52 çeliği yalın karbonlu çelik türlerinden bir tanesi olup korozyona eğilimlidir. Bu sebeple servis koşullarına bağlı olarak kullanım alanları dikkatle seçilmeli, korozyona sebebiyet verebilecek koşullarda gerekli tedbirler alınmalıdır.



Şekil 7.2 Deneylerde kullanılan plakaların boyutları

7.1.2 İlave Malzeme

İlave malzeme olarak 1,2 mm kalınlığında 316L östenitik paslanmaz çelik malzeme kullanılmış olup, kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri çizelge 7.3 ve 7.4’de verilmiştir.

Çizelge 7.3 316L ilave malzemesinin kimyasal bileşimi [15]

Kimyasal Bileşim (%)					
C (max)	Si	Mn	Mo	Cr	Ni
0,03	0,85	1,70	2,75	18,50	12,50

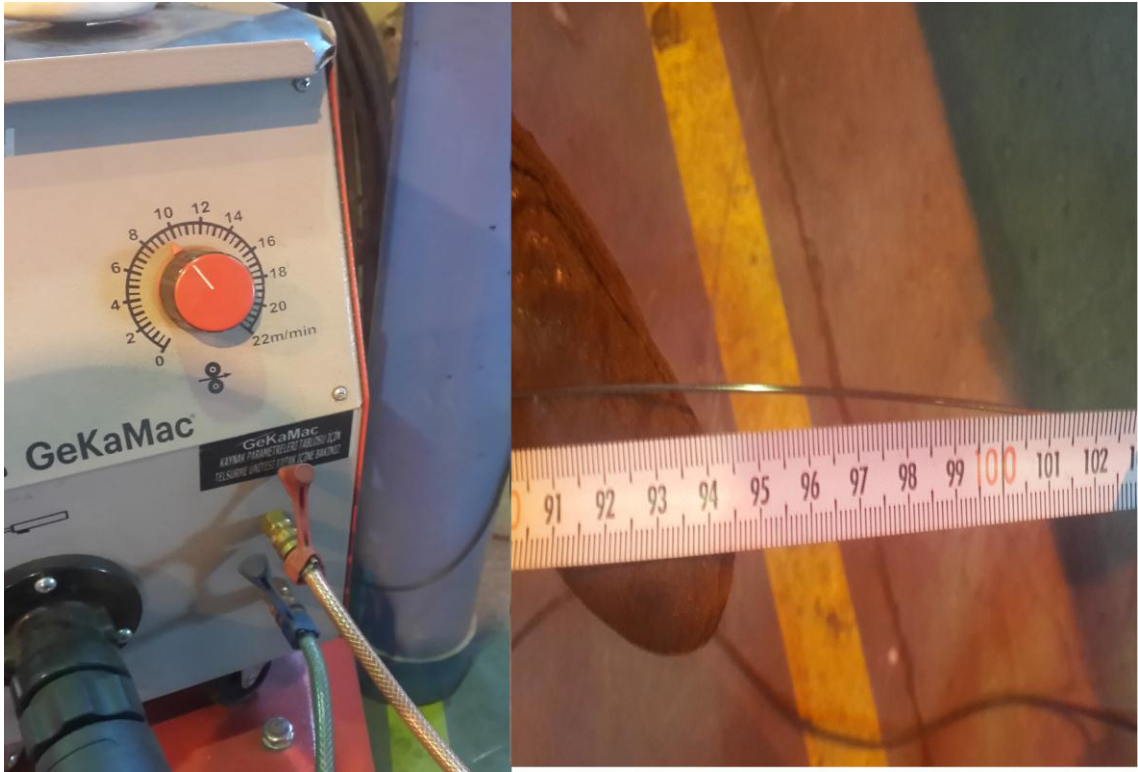
Çizelge 7.4 316L ilave malzemesinin mekanik özellikleri [15]

Mekanik Özellikler			
Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Yüzde Uzama (%)	Darbe Dayanımı (+20°C)(J)
460	650	35	150



Şekil 7.3 316L MIG kaynak teli

Cihazın doğru şekilde çalıştığını kontrol etmek ve işlem parametresi olarak kaydedilmesi için tel besleme hızı aşağıda gösterildiği gibi ölçülmüştür.



Şekil 7.4 Tel besleme hızının ölçülmesi

Tel besleme hızı kaynak torcundaki tetiğe 6 saniye basılı tutulmasıyla ortaya çıkarılan kaynak telinin ölçülmesiyle hesaplanmış ve cihaz değeriyle karşılaştırılmıştır.

6 saniyede 100 cm olarak ölçülen tel besleme hızı cihazdaki gösterimle paralel olarak 10m/dk olarak hesaplanmıştır.

- **Korozyon Dayanımı**

316L paslanmaz çelikler içerdikleri yüksek Cr (%18,5) ile korozyona oldukça dirençlidirler. Bu paslanmaz çelik türü yüksek korozyon dayanımı ile içerisinde koroziv akışkan geçen borularda, depolama tanklarında ve asit tanklarında kullanılabilirler.

7.1.3 Koruyucu Gaz

Kaynak işlemi sırasında koruyucu gaz olarak %98 argon ve %2 oksijenden oluşan karışım gazı kullanılmıştır.



Şekil 7.5 Koruyucu gaz tüpü

Gaz akış debisi kaynak işlemi öncesi debimetre ile ölçülmüş 12 lt/dk olarak tespit edilmiştir. Gaz akış debisi kabaca kaynak teli çapının 10 katı olarak alınır. $1,2 \times 10 = 12$ lt/dk olarak hesaplanır. Şekil 7.6’da gaz debisi ölçüm işlemi gösterilmektedir.



Şekil 7.6 Gaz debisi ölçümü

7.1.4 Kaynak Makinesi

Uygulama işlemi sırasında Şekil 7.7'deki MIG/MAG kaynak makinesi kullanılmıştır.

İşlem öncesinde ampermetre ve voltmetre ile cihazın doğru şekilde çalıştığı kontrol edilmiştir.



Şekil 7.7 MIG/MAG kaynak makinesi

7.2 Kaynak İşlemlerinin Uygulanışı

İki adet 300x300x30 mm boyutlarında St 52 çeliği temin edilmiş ve kaynak işleminde herhangi bir problem oluşturabilecek her türlü kirlilikten arındırılmıştır. Yapılan temizlik işlemi sonrası, plakaların kaplama kaynağı uygulanacak olan minimum 150x150 mm'lik bölgesi işaretlenmiştir.



Şekil 7.8 Kaplama yapılacak bölgenin işaretlenmesi I

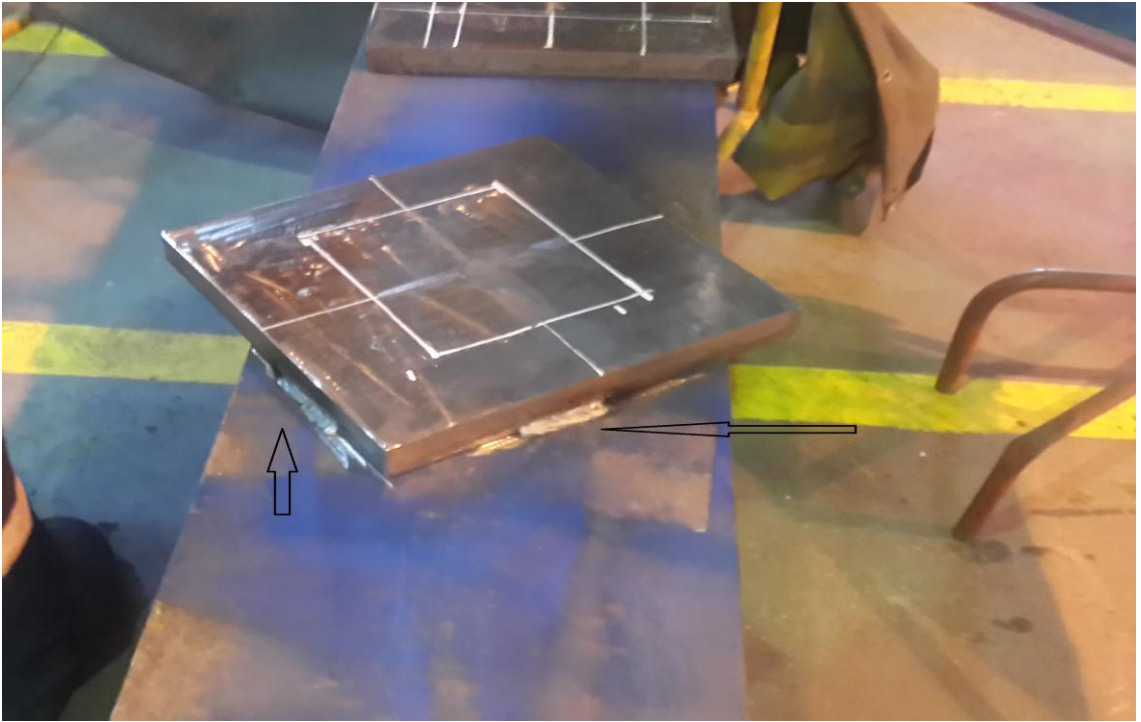


Şekil 7.9 Kaplama yapılacak bölgenin işaretlenmesi II

Uygulanan işaretlemeler sonucu, plakalar tekrar temizleme işlemine tabi tutularak kaynak işleminde hata oluşumunun önüne geçilmiştir.



Şekil 7.10 İşaretleme işlemi sonrası temizlik uygulaması



Şekil 7.11 Kaynak işlemi öncesi puntalama

Kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan ısı sebebiyle plakalarda çarpılma veya gerilme meydana gelebilir. Bu durumu önlemek amacıyla aşağıdaki önlemler alınabilir.

A-Kaynak Öncesi

- Uygun kaynak planı hazırlama
- Büzülme payı hesabı
- Ön şekil verme işlemi
- Sisteme göre bağlama düzeni belirleme
- Uygun kaynak yöntemi seçimi
- Konstrüksiyonda değişiklik yapma

B- Kaynak Sonrası

- Sıcak ve soğuk doğrultma
- Çekiçleme
- Yapay sürekli yükleme
- Gerilim giderme tavlama

Çarpılmanın önlenmesi ve nitelikli bir birleştirme sağlamak amacıyla plakalara Şekil 7.11’de görüldüğü gibi puntalama işlemi uygulanmıştır. Şekil 7.12’de işlem öncesi tasarım gösterilmektedir. İşlem parametreleri Çizelge 7.5’de verilmektedir.



Şekil 7.12 İşlem öncesi tasarım

Çizelge 7.5 İşlem parametreleri

Yöntem	MIG
Ana Malzeme	St52
Dolgu Malzemesi	316L
Dolgu Malz. Çapı(mm)	1,2
Koruyucu Gaz	%98 Ar-%2 O ₂
Gaz Akış Debisi (lt/dk)	12
Akım Tipi/Kutuplama	Doğru akım/ +
Akım Şiddeti(A)	265-300
Gerilim(V)	30-31,5
Tel Sürme Hızı (m/dk)	10

İlk plakanın kaynak işlemi için cihaz kontrolleri, gerekli temizlik işlemleri, işaretleme işlemleri ve kaynak parametreleri hazırlandıktan sonra oda sıcaklığında kaynak işlemine Şekil 7.13'te gösterildiği gibi başlanmıştır.



Şekil 7.13 İlk paso atılması

Her paso işlemi sonrası plakanın sıcaklığı lazer termometre ile birden fazla noktadan ölçülmüş, plakanın sıcaklığı 150°C dereceyi geçmesi durumunda plakanın bu sıcaklığın altına düşmesi için beklenmiştir.



Şekil 7.14 Lazer termometre ile sıcaklık ölçümü

Her paso sonrası taşlama makinesiyle gerekli temizlik işlemleri uygulanmıştır. Ayrıca torcun ucundaki kaynak teli 1-2 cm kesilerek, kaynak işlemi sonrası kaynak telinde oluşan sorunlu kısım uzaklaştırılmıştır.



Şekil 7.15 Paso sonrası temizlik işlemleri

Atılan 22 paso ilk katmanı oluşturmış ve et kalınlığı 3 mm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 7.6 Bir nolu plakanın birinci katmanına ait parametreler

Paso	Voltaj (V)	Akım (A)	Kaynak Uzunluğu (mm)	Ön ısıtma/Paso sonrası sıcaklık(°C)	Süre (sn)
1	30-31,5	265-300	180	-/30	20-23
2	30-31,5	265-300	180	/52	20-23
3	30-31,5	265-300	180	/67	20-23
4	30-31,5	265-300	180	/96	20-23
5	30-31,5	265-300	180	/79	20-23
6	30-31,5	265-300	180	/110	20-23
7	30-31,5	265-300	180	/137	20-23
8	30-31,5	265-300	180	/89	20-23
9	30-31,5	265-300	180	/114	20-23
10	30-31,5	265-300	180	/90	20-23
11	30-31,5	265-300	180	/94	20-23
12	30-31,5	265-300	180	/82	20-23
13	30-31,5	265-300	180	/100,8	20-23
14	30-31,5	265-300	180	/69	20-23
15	30-31,5	265-300	180	/131	20-23
16	30-31,5	265-300	180	/97	20-23
17	30-31,5	265-300	180	/105	20-23
18	30-31,5	265-300	180	/121	20-23
19	30-31,5	265-300	180	/104,9	20-23
20	30-31,5	265-300	180	/101,01	20-23
21	30-31,5	265-300	180	/123	20-23
22	30-31,5	265-300	180	/127	20-23

Çizelge 7.7 Bir nolu plakanın ikinci katmanına ait parametreler

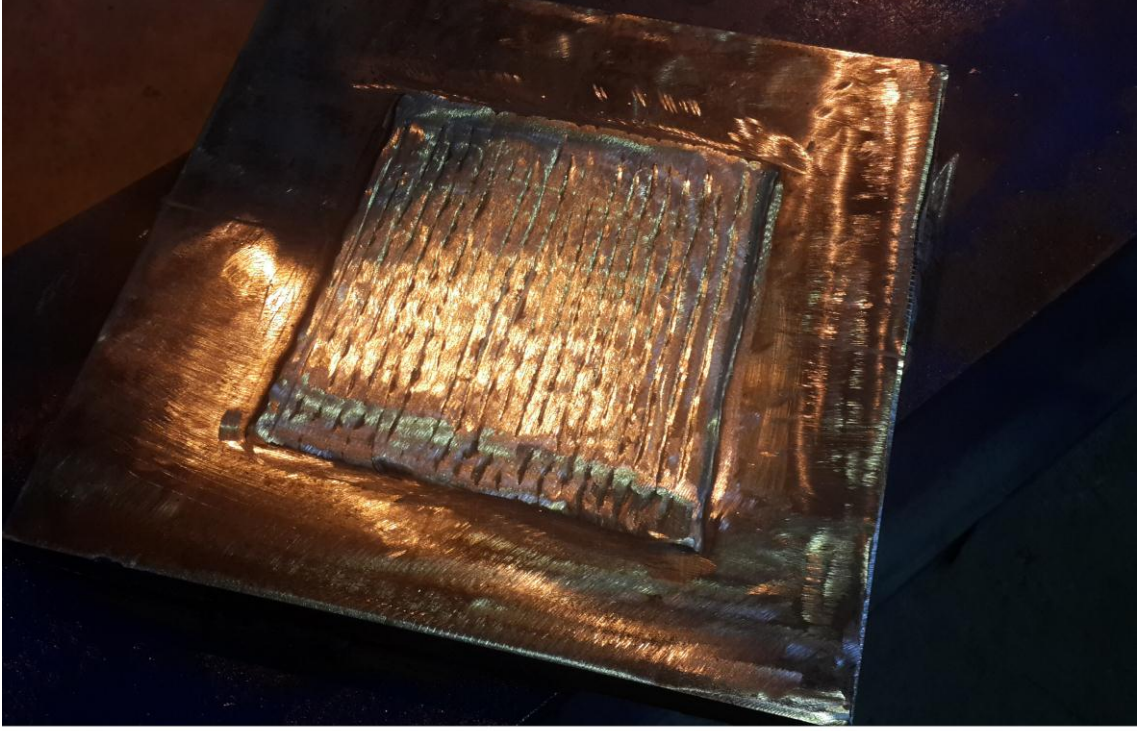
Paso	Voltaj (V)	Akım(A)	Kaynak Uzunluğu (mm)	Ön ısıtma/Paso sonrası sıcaklık(°C)	Süre(sn)
1	30-31,5	265-300	180	50/75	20-23
2	30-31,5	265-300	180	/110	20-23
3	30-31,5	265-300	180	/93	20-23
4	30-31,5	265-300	180	/67	20-23
5	30-31,5	265-300	180	/85,5	20-23
6	30-31,5	265-300	180	/101	20-23
7	30-31,5	265-300	180	/92	20-23
8	30-31,5	265-300	180	/83	20-23
9	30-31,5	265-300	180	/89	20-23
10	30-31,5	265-300	180	/87	20-23
11	30-31,5	265-300	180	/84	20-23
12	30-31,5	265-300	180	/87,6	20-23
13	30-31,5	265-300	180	/92,3	20-23
14	30-31,5	265-300	180	/98	20-23
15	30-31,5	265-300	180	/85	20-23
16	30-31,5	265-300	180	/84	20-23
17	30-31,5	265-300	180	/85	20-23
18	30-31,5	265-300	180	/87	20-23
19	30-31,5	265-300	180	/96	20-23
20	30-31,5	265-300	180	/98	20-23
21	30-31,5	265-300	180	/102	20-23

Çizelge 7.8 Bir nolu plakanın üçüncü katmanına ait parametreler

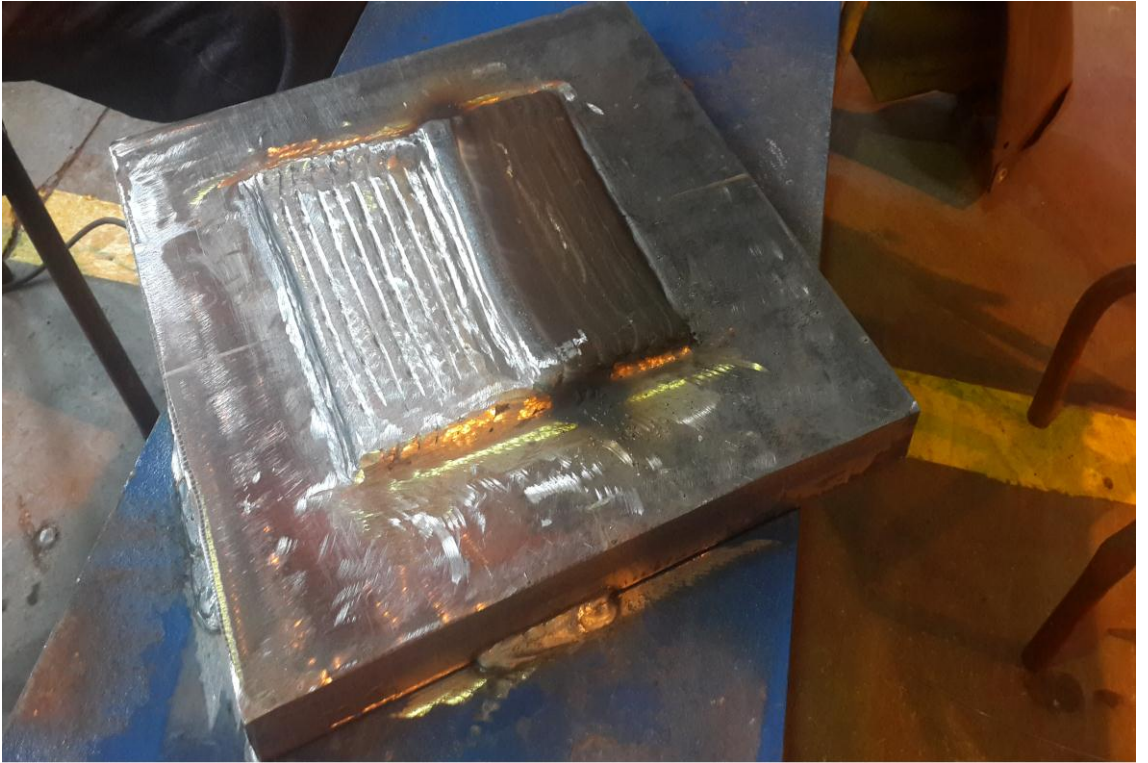
Paso	Voltaj (V)	Akım(A)	Kaynak Uzunluğu (mm)	Ön ısıtma/Paso sonrası sıcaklık(°C)	Süre(sn)
1	30-31,5	265-300	180	40/57	20-23
2	30-31,5	265-300	180	/73	20-23
3	30-31,5	265-300	180	/84	20-23
4	30-31,5	265-300	180	/81	20-23
5	30-31,5	265-300	180	/87,8	20-23
6	30-31,5	265-300	180	/70	20-23
7	30-31,5	265-300	180	/87,1	20-23
8	30-31,5	265-300	180	/75	20-23
9	30-31,5	265-300	180	/91,4	20-23
10	30-31,5	265-300	180	/93,6	20-23
11	30-31,5	265-300	180	/94	20-23
12	30-31,5	265-300	180	/92	20-23
13	30-31,5	265-300	180	/95,5	20-23
14	30-31,5	265-300	180	/91	20-23
15	30-31,5	265-300	180	/93	20-23
16	30-31,5	265-300	180	/89	20-23
17	30-31,5	265-300	180	/101	20-23
18	30-31,5	265-300	180	/94	20-23
19	30-31,5	265-300	180	/97	20-23
20	30-31,5	265-300	180	/94	20-23

Bir nolu plakada da ön tavlama etkisi görülmemesi için plakanın kaynak işlemi sonrası maksimum sıcaklığı olarak 150° C derece belirlenmiştir. Bu sebeple her paso sonrası plakanın soğuması için belli bir süre beklenmiş ve kritik sıcaklık değerinin üzerine çıkılmamıştır.

Kaplama işlemi her bir katman kalınlığı 3 mm olacak şekilde 3 katman halinde toplam 9 mm olarak uygulanmıştır.



Şekil 7.16 Kaplama kaynağı uygulaması I



Şekil 7.17 Kaplama kaynağı uygulaması II

Bu çalışmada deneylerde kullanılan esas metalin karbon eş değeri Uluslararası Kaynak Enstitüsünün(IIW) IX nolu Kaynak Komisyonun belirlediği formüle göre hesaplanmış ve ön tavlama sıcaklığı belirlenmiştir. Geri kalan bütün parametreler ilk plakayla aynıdır.

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

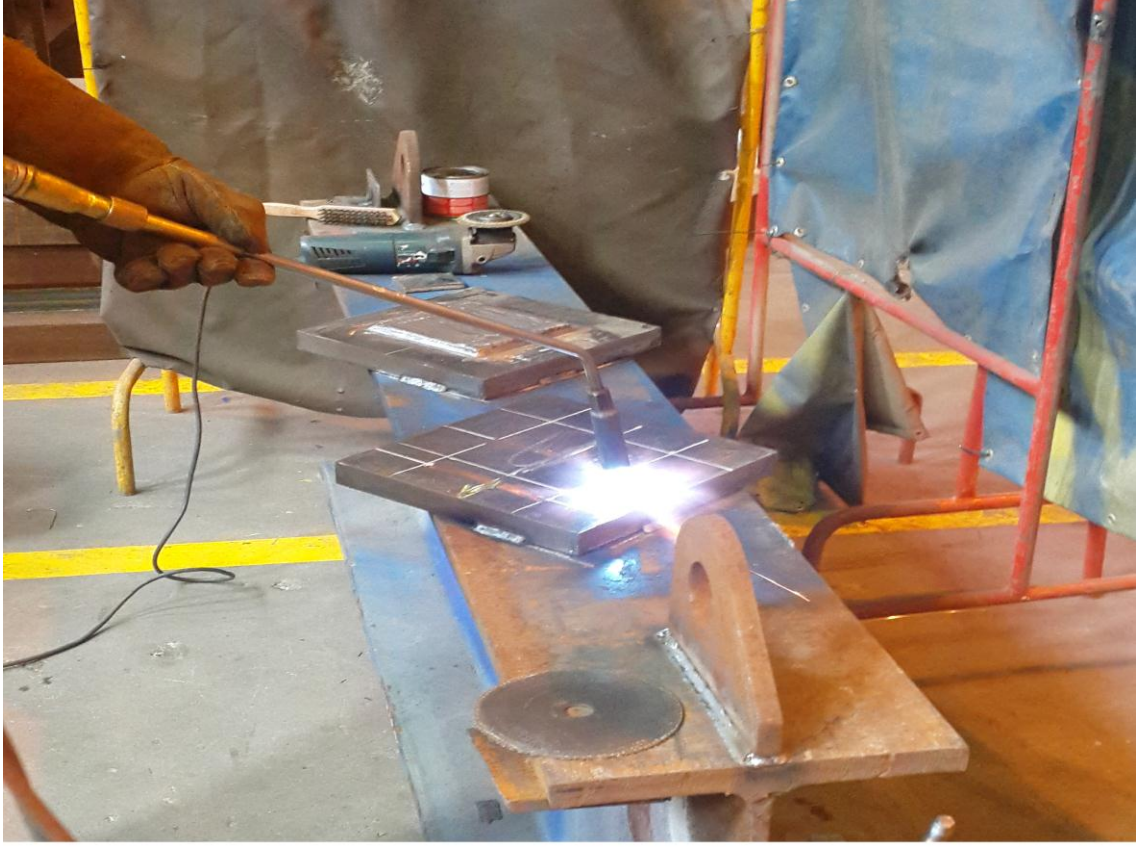
$$Ceş = 0,24 + \frac{1,6}{6} + \frac{0}{5} + \frac{0}{15}$$

$$Ceş = 0,51 \quad (7.1)$$

Çizelge 7.9 Ön tavlama-C_{eş} ilişkisi [16]

Karbon Eşdeğeri (%)	Ön Tavlama Sıcaklığı(°C)
0,45'e kadar	Gerekli değil
0,45-0,60 arası	100-200
0,60'dan yukarı	200-300

Ön tavlama sıcaklığı 200°C olarak belirlenmiştir. Tavlama işlemi Şekil 7.18 'de gösterilmiştir.



Şekil 7.18 Tavlama işlemi

Tavlama işlemi sonrası ilk plakaya uygulanan Çizelge 7.5'deki parametrelere bağlı olarak, parametreler ilk plakayla aynı olacak şekilde kaplama işlemine başlanmıştır.

Çizelge 7.10 İki nolu plakanın birinci katmanına ait parametreler

Paso	Voltaj (V)	Akım(A)	Kaynak Uzunluğu (mm)	Ön ısıtma/Paso sonrası sıcaklık(°C)	Süre(sn)
1	30-31,5	265-300	180	200/217	20-23
2	30-31,5	265-300	180	/230	20-23
3	30-31,5	265-300	180	/257	20-23
4	30-31,5	265-300	180	/280	20-23
5	30-31,5	265-300	180	/315	20-23
6	30-31,5	265-300	180	/322	20-23
7	30-31,5	265-300	180	/291	20-23
8	30-31,5	265-300	180	/322	20-23
9	30-31,5	265-300	180	/321	20-23
10	30-31,5	265-300	180	/280	20-23
11	30-31,5	265-300	180	/310	20-23
12	30-31,5	265-300	180	/290	20-23
13	30-31,5	265-300	180	/264	20-23
14	30-31,5	265-300	180	/295	20-23
15	30-31,5	265-300	180	/275	20-23
16	30-31,5	265-300	180	/301	20-23
17	30-31,5	265-300	180	/300	20-23
18	30-31,5	265-300	180	/294	20-23

İki nolu plakanın ilk katmanına ait parametreler yukarıda gösterildiği gibidir ve katman kalınlığıda 3 mm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 7.11 İki nolu plakanın ikinci katmanına ait parametreler

Paso	Voltaj (V)	Akım(A)	Kaynak Uzunluğu (mm)	Ön ısıtma/Paso sonrası sıcaklık (°C)	Süre(sn)
1	30-31,5	265-300	180	200/220	20-23
2	30-31,5	265-300	180	/265	20-23
3	30-31,5	265-300	180	/294	20-23
4	30-31,5	265-300	180	/293	20-23
5	30-31,5	265-300	180	/310	20-23
6	30-31,5	265-300	180	/334	20-23
7	30-31,5	265-300	180	/302	20-23
8	30-31,5	265-300	180	/307	20-23
9	30-31,5	265-300	180	/262	20-23
10	30-31,5	265-300	180	/316	20-23
11	30-31,5	265-300	180	/293	20-23
12	30-31,5	265-300	180	/271	20-23
13	30-31,5	265-300	180	/303	20-23
14	30-31,5	265-300	180	/285	20-23
15	30-31,5	265-300	180	/314	20-23
16	30-31,5	265-300	180	/289	20-23
17	30-31,5	265-300	180	/301	20-23
18	30-31,5	265-300	180	/314	20-23

Çizelge 7.12 İki nolu plakanın üçüncü katmanına ait parametreler

Paso	Voltaj (V)	Akım(A)	Kaynak Uzunluğu (mm)	Ön ısıtma/Paso sonrası sıcaklık (°C)	Süre(sn)
1	30-31,5	265-300	180	200/222	20-23
2	30-31,5	265-300	180	/252	20-23
3	30-31,5	265-300	180	/289	20-23
4	30-31,5	265-300	180	/313	20-23
5	30-31,5	265-300	180	/306	20-23
6	30-31,5	265-300	180	/314	20-23
7	30-31,5	265-300	180	/304	20-23
8	30-31,5	265-300	180	/320	20-23
9	30-31,5	265-300	180	/280	20-23
10	30-31,5	265-300	180	/310	20-23
11	30-31,5	265-300	180	/300	20-23
12	30-31,5	265-300	180	/280	20-23
13	30-31,5	265-300	180	/305	20-23
14	30-31,5	265-300	180	/287	20-23
15	30-31,5	265-300	180	/314	20-23
16	30-31,5	265-300	180	/310	20-23
17	30-31,5	265-300	180	/302	20-23

İki nolu, ön tavlama sıcaklığı olarak 200°C uygulanan plakada krom-karbür çökmesine eğilim oluşmaması için paso sonrası maksimum sıcaklık 350°C olarak belirlenmiştir. Bu sebeple her paso sonrası plakanın soğuması için beklenmiştir. Kaplama işlemi 3 katman halinde her bir katman kalınlığı 3 mm olacak şekilde toplam 9 mm olarak uygulanmıştır. Kaplama kaynağı sonrası plakalar taşlama işlemiyle temizlenmiştir.

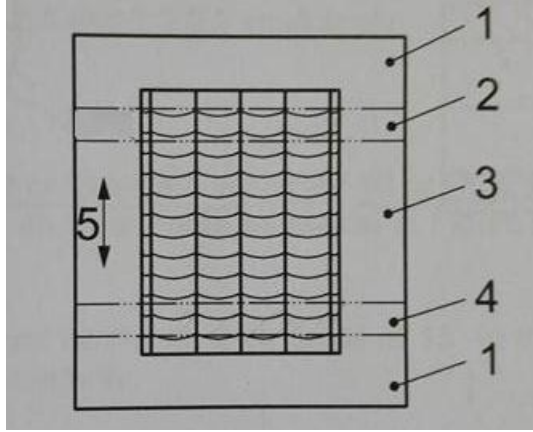
İşlemler sonrası Şekil 7.19’da plakaların son hali gösterilmiştir. Soldaki bir nolu, ön tavlama uygulanmayan plaka- sağdaki ise iki nolu, ön tavlama işlemi uygulanan plakadır.



Şekil 7.19 İşlem sonucu bir ve iki nolu plakaların nihai hali

7.3 Uygulanan Deneyler

ISO 15614-7'ye göre plakalar makro inceleme, sertlik testi ve yan eğme testine tabi tutulmuştur. Standart gereği olarak her bir plaka için makro inceleme işlemi için bir numune, sertlik testi için bir numune, yan eğme testi için iki numune hazırlanması gerekmektedir. Numunelerin alınacağı bölgeler Şekil 7.20'de gösterilmektedir.



Şekil 7.20 Kaplama kaynağında test numunelerinin konumları

Şekil 7.20’de

- 1: Kaplama kaynağı uygulanan bölgeden değerlendirilmeyecek kısmı (25 mm),
- 2: Bir tane yan eğme test numunesi alınacak bölge,
- 3: Makro inceleme ve sertlik testi numune alınacak bölge,
- 4: Başka bir tane yan eğme test numunesi alınacak bölge,
- 5: Kaynak yönü, gösterilmektedir.

7.3.1 Makro İnceleme Testi

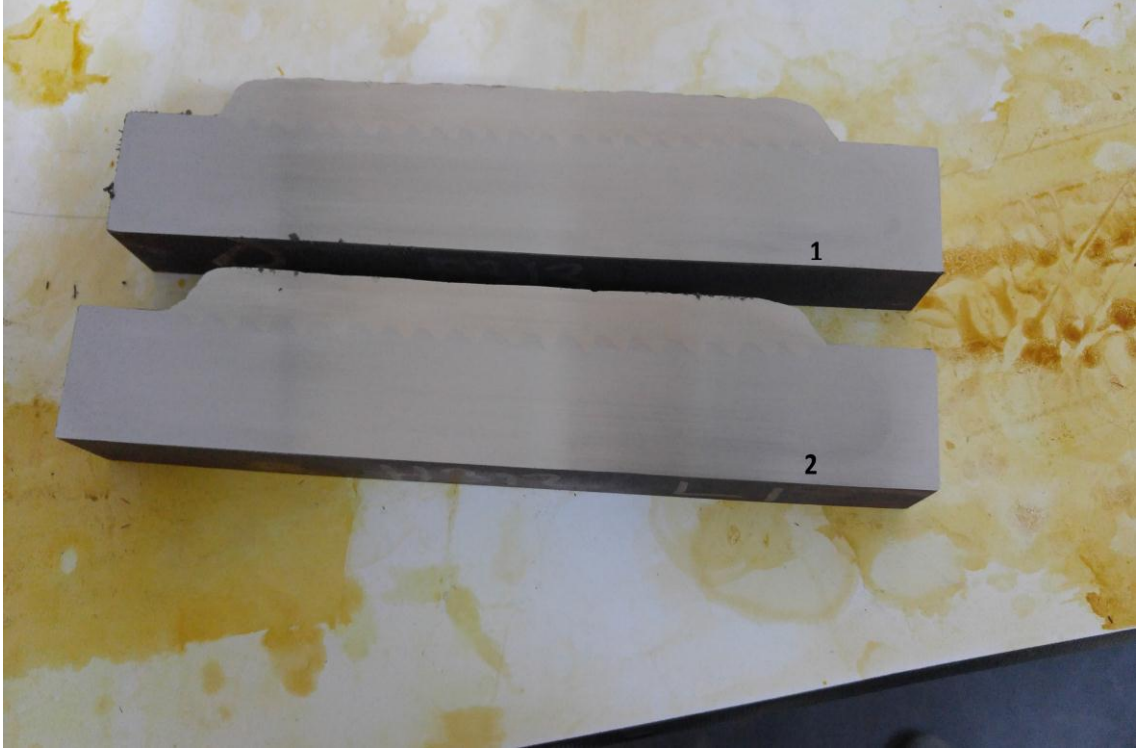
Şekil 7.20’de gösterildiği gibi kaynak yönüne dik şekilde 3 numaralı bölgeden talaşlı işlem ile numune elde edilmiştir. Testere ile kesim işlemi sonrası plaka yüzeyinde kalan pürüzlülükler zımparalama işlemi ile uzaklaştırılmış daha nitelikli bir görüntü alınmasına imkân sağlanmıştır.



Şekil 7.21 Bir nolu plakadan makro inceleme numunesi elde edilmesi



Şekil 7.22 İki nolu plakadan makro inceleme numunesi elde edilmesi



Şekil 7.22 Bir ve iki nolu plakaya ait makro inceleme numuneleri

Makro inceleme işlemi için numuneler dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Dağlayıcı olarak ana metal için %5 nitrik asit, %95 etanol içeren solüsyon kullanılmıştır. Kaplama malzemesi olarak paslanmaz çelik kullanıldığı için bu bölgenin dağlanması hidroklorik ve nitrik asit içeren solüsyon kullanılmıştır. Dağlama işlemi sonrası yüzeyin oksitlenmemesi için alkolle temizleme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 7.23 Dağlayıcılar



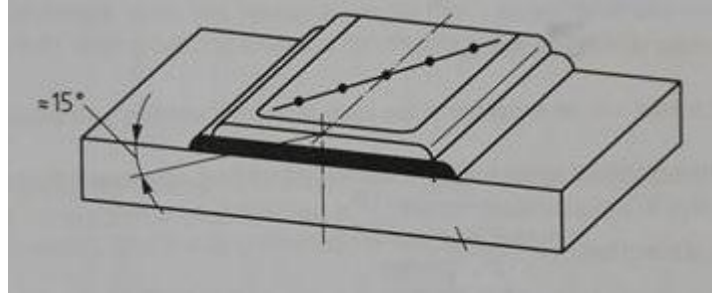
Şekil 7.24 Dağlama işlemi sonrası bir ve iki nolu plakalara ait makro görüntüler

Şekil 7.24’de üst taraftaki iki nolu numune, ön tavlama uygulanan plakadan alınan numuneyi alt taraftaki bir nolu numune ise ön tavlama uygulanmayan plakadan alınan numuneyi göstermektedir. Yapılan dağlama işlemi sonrası bütün pasolar net bir şekilde gözlemlenmektedir.

7.3.2 Sertlik Testi

Sertlik ölçümü kaynaklı imalat işlemlerinde yapılan işlemin yeterliliğini görmekte çok sık kullanılan önemli bir mekanik test yöntemidir. Sertlik test numuneleri Şekil 7.20’de gösterilen 3 nolu bölgeden çıkartılan makro inceleme numuneleridir. Sertlik test numuneleri, yüzeyde herhangi bir hataya sebebiyet verebilecek unsurların önüne geçmek amacıyla gerekli temizlik işlemlerine tabi tutulmuştur. Sertlik testi ISO 15614-7 standardında belirtildiği şekilde uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri universal sertlik ölçme cihazıyla insansız olarak gerçekleştirilerek en doğru ölçüm alınmasına dikkat edilmiştir.

Genellikle ITAB bölgesinde tane irileşmesine bağlı olarak yüksek sertlik gözlenir. Bu bölge çatlamaya en eğilimli bölgedir.



Şekil 7.25 Sertlik ölçüm doğrusu

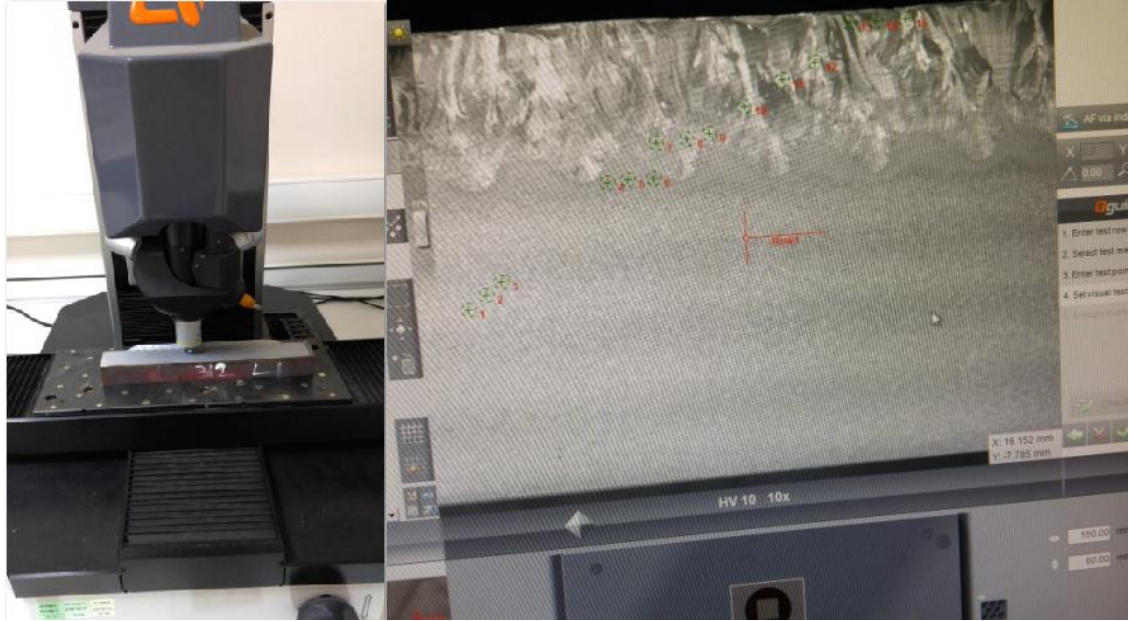
Sertlik ölçüm doğrusu, kaplama uygulanan bölge, ana malzeme ve ITAB içeren düzlemle 15° açı yapmalıdır. Şekil 7.25’de sertlik ölçüm noktalarının konumu belirtilmektedir.



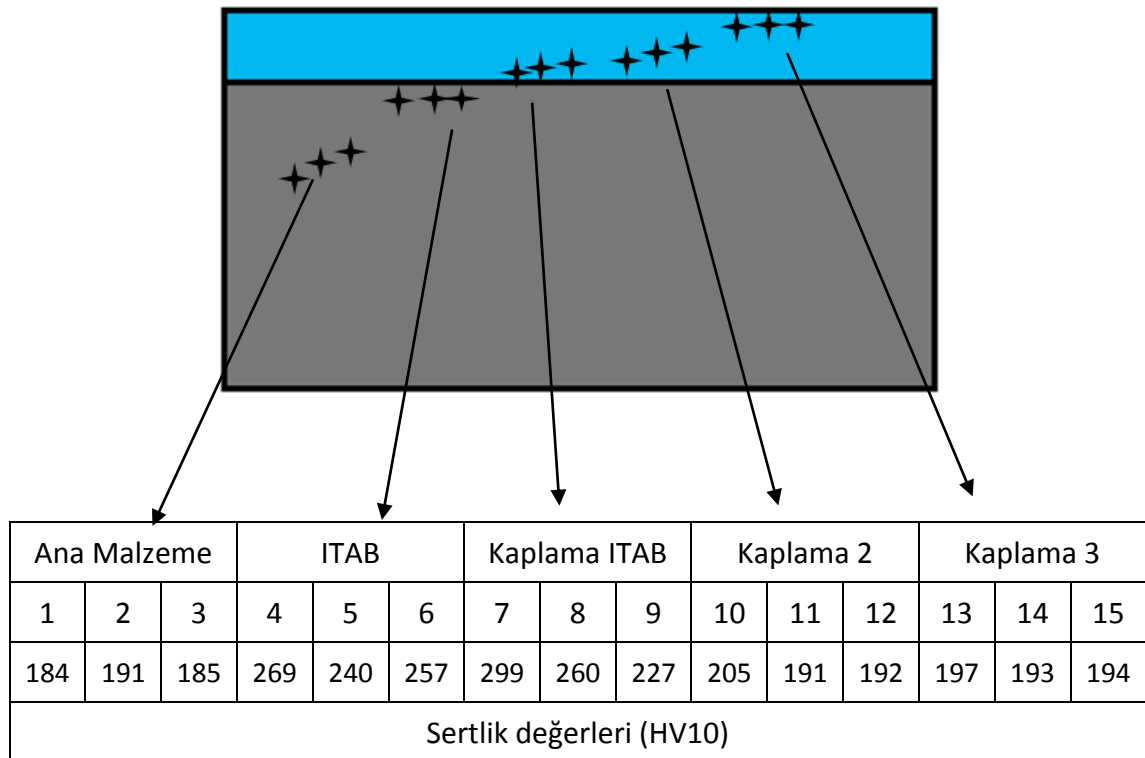
Şekil 7.26 Universal sertlik cihazı

Şekil 7.26’da ön tavlama işlemi uygulanmayan plakadan çıkarılan sertlik test numunesi ile ön tavlama işlemi uygulan plakadan çıkarılan sertlik test numuneleri gösterilmektedir. Sertlik ölçümü HV10 skalasına göre Vickers sertlik yöntemiyle ITAB’dan, ana malze-

den ve kaplama bölgesinden olmak üzere toplam 15 noktadan ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir.

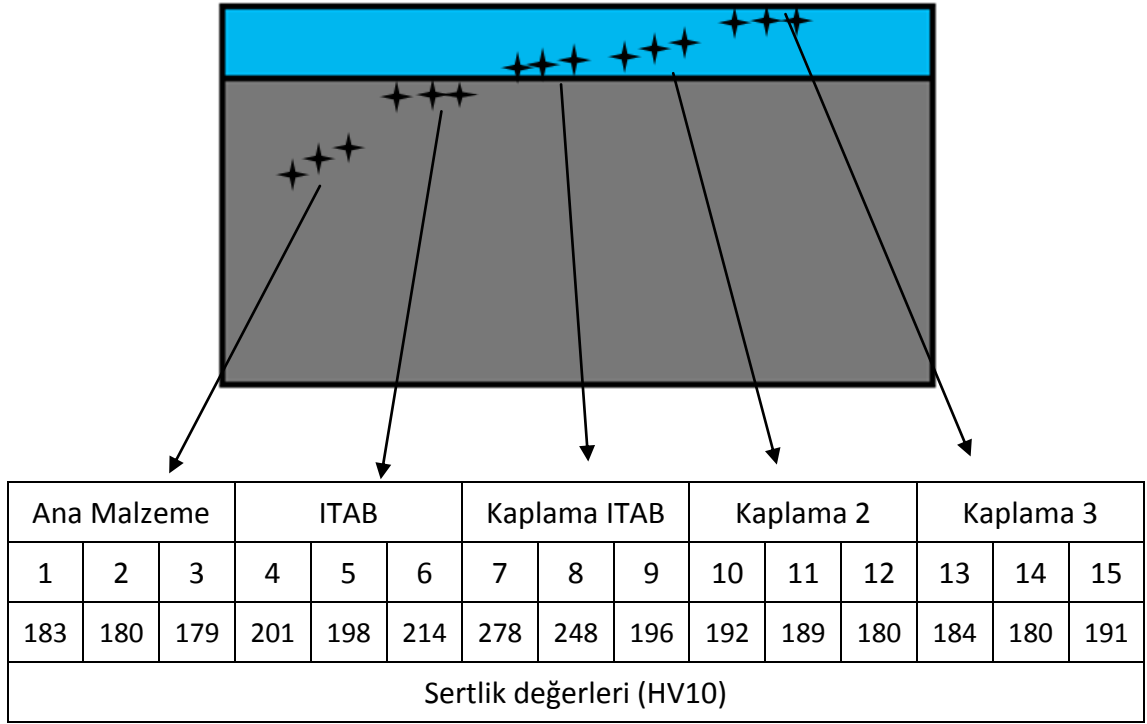


Şekil 7.27 Sertlik test cihazının optik mikroskop ile sertlik noktalarını taraması

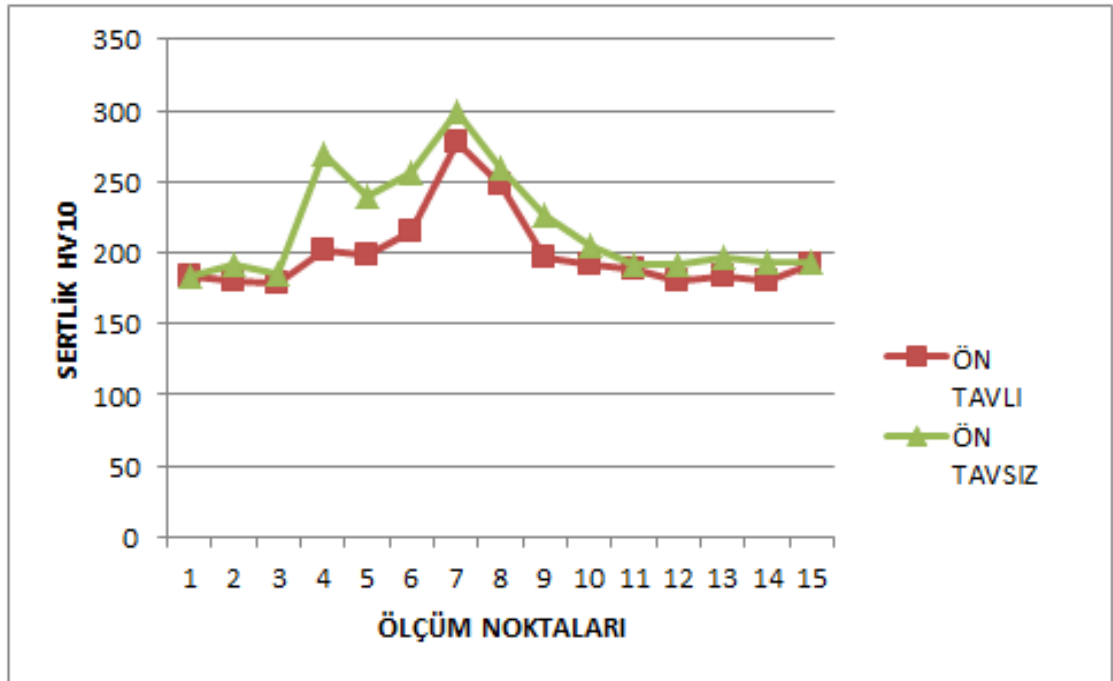


Şekil 7.28 Bir nolu plakanın sertlik değerleri

Şekil 7.28'de Bir nolu, ön tavlama işlemi uygulanmayan plakadan çıkarılan test numunesine ait sertlik değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.29 İki nolu plakanın sertlik değerleri



Şekil 7.30 Sertlik değerlerinin karşılaştırılması

7.3.3 Yan Eğme Testi

Yan eğme test numunesi ISO 5173'e göre hazırlanmıştır. Şekil 7.20'deki 2 ve 4 nolu bölgelerden olmak üzere her plaka için iki adet numune çıkarılmıştır. Testere ile 12 mm kesit kalınlığında parçalanarak talaşlı işlem ile 10 mm'ye düşürülmüştür. Bu sayede daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Plakalar herhangi bir hatanın önüne geçmek amacıyla yüzeyleri zımparalanmış ve gerekli temizlik işlemine tabi tutulmuştur.

Eğme testinde, plakanın yük mandrele temas eden yüzeyinde basma kuvveti oluşurken diğer yüzeyde çekme kuvveti oluşur. Bu test sonucundaki veriler kaplamanın niteliği ve muhtemel ömrü hakkında bilgi verir.



Şekil 7.31 Yan eğme test numuneleri

Eğme testinde doğru çaplı mandrel kullanılmalıdır. Mandrel çapı, ilave malzemenin yüzde uzaması %20'den büyük ise eğme test numunesinin kalınlığının 4 katı olmalıdır. İlave malzemenin yüzde uzaması %20 veya daha düşük bir değer ise aşağıdaki formülle hesaplanır [17].

$$d = \frac{100 \times t}{A} - t \quad (7.2)$$

d: Mandrel apı

t: Test numunesi et kalınlığı

A: İlave malzemenin yüzde uzaması

İlave malzemenin yüzde uzaması %20'den büyük olduğu için mandrel çapı 4x10mm'den 40 mm olarak hesaplanır. Eğme açısı 15614-7'de ifade edildiği gibi 120° olarak uygulanmıştır.



şekil 7.32 Eğme test cihazı

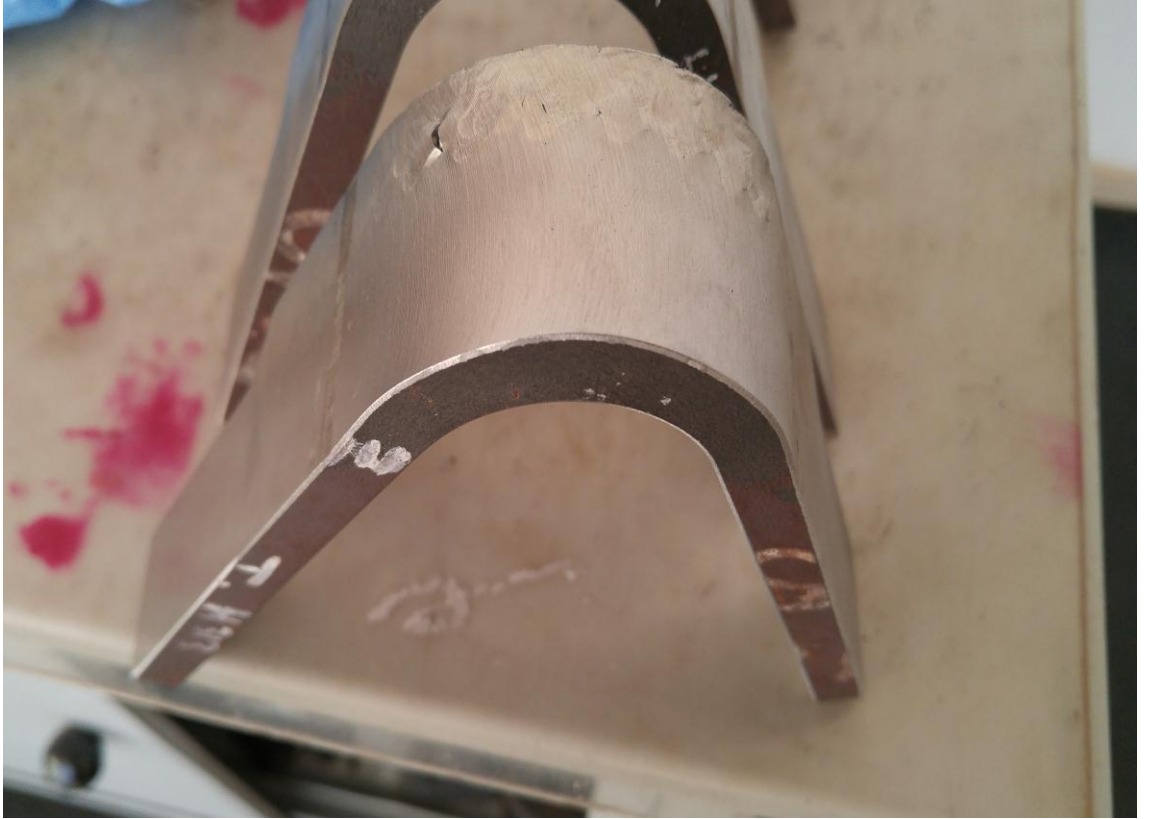
Eğme testi sonucunda bir nolu, ön tavlama işlemi uygulanmayan plakadan çıkarılan tavsız I adlı numunede en büyüğü 4,79 mm uzunluğunda olan 2 adet çatlak, tavsız II adlı numunede ise en büyüğü 6,50 mm uzunluğunda olmak üzere 3 adet çatlak tespit edilmiştir. İki nolu, ön tavlama işlemi uygulanan plakadan çıkarılan tavlı I adlı numunede 3,8 mm uzunluğunda bir adet kılcal çatlak, tavlı II adlı numune 2,80 mm uzunluğunda bir adet kılcal çatlak saptanmıştır.

Çizelge 7.13 Çatlak boyutları ve sayıları

	Tavsız		Tavlı	
	I	II	I	II
En Büyük Çatlak Boyutu (mm)	4,79	6,50	3,8	2,80
Çatlak Sayısı	2	3	1	1



Şekil 7.33 Eğme testi sonucu ön tavsız I nolu numune



Şekil 7.34 Eğme testi sonucu ön tavsız II nolu numune



Şekil 7.35 Eğme testi sonucu ön tavlı I nolu numune



Şekil 7.36 Eğme testi sonucu ön tavlı II nolu numune



Şekil 7.37 Eğme testi uygulanan numunelerin karşılaştırması

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ana malzeme olarak seçilen St 52(S355N) yapı çeliğine MIG kaynak yöntemiyle yapılan ve endüstriyel uygulamalarda ekonomik avantaj sağlayan kaplama kaynağında ön tavlama sıcaklığının etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile sektörde sorun haline gelen nitelikli kaplama işleminin yapılamaması durumu ve yapılan kaplamaların kısa ömürlü olmasının önüne geçilerek nitelikli kaplama işlemi yapılmasına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Makro inceleme işleminde ön tavlama işlemi uygulanan ve ön tavlama işlemi uygulanmayan her iki plakada da herhangi bir hata gözlemlenmemiştir.

Sertlik testi sonuçları incelendiğinde ön tavlama uygulanmayan plakada ön tavlama işlemi uygulanan plakaya göre daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu duruma neden olarak, ön tavlama işlemi uygulanmayan plakadaki hızlı soğumanın yol açtığı yapı değişimleri gösterilebilir. Özellikle ITAB bölgelerinde yaklaşık 70 HV10 sertlik farkının ortaya çıkması, ön tavlama işlemi yapılmayan plakadaki kaplamanın çatlamaya eğilimli olduğunu ve güvenli bir şekilde kullanılamayacağını, diğer yandan önemli maddi kayıplara da neden olabileceğini göstermektedir.

Yapılan eğme testi sonuçlarına göre ön tavlama işlemi uygulanmış plakadan alınan numunelerde gerek oluşan çatlak sayısı gerekse çatlak boyutları bakımından, ön tavlama uygulanmamış numunelere göre çok daha büyük bir üstünlük olduğu saptanmıştır. Bu durum ise ön tavlama işleminin son derece önemli olduğunu, başka bir ifadeyle gereklilikten ziyade zorunluluk olduğunu göstermektedir.

Ayrıca kaplama kaynak işlemi sonrası bir gerilim giderme tavlamasına başvurulmasının, var olan gerilmeleri azaltacağı dolayısıyla da çatlak oluşma riskini daha da düşüreceğinin göz önünde tutulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan, M., (1993). Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Birinci cilt, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [2] Abington Publishing, (1994). Welding Metallurgy of Stainless Steels, Yayın No:22, Cambridge.
- [3] Aran, A. ve Temel M.A., (2003). Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller, Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.
- [4] Gürü, M. ve Yalçın, H., (2012). Malzeme Bilgisi, 3.Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [5] Askaynak, Teknik Eğitim El Kitabı, http://www.askaynak.com.tr/contents/34/20110918150308_teknik-egitim-el-kitabi.pdf, 14 Ekim 2016.
- [6] Slideplayer, MIG/MAG Kaynağı, <http://slideplayer.biz.tr/slide/2815942/>, 15 Ekim 2016.
- [7] Anık, S., (1991).Kaynak Tekniğı El Kitabı, Gedik Holding Yayını, İstanbul.
- [8] Raj, B., Shankar, V. ve Bhaduri A.K., (2006). Welding Technology for Engineers, Alpha Science International LTD., Oxford.
- [9] Blanc, G.M., (1967). Doldurma ve Doldurma Malzemesi, (Çev.S.Anık), Türk Kaynak Cemiyeti, 17,İstanbul.
- [10] Savaşkan, T., (2015). Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi, Birinci Baskı, Celepler Matbaacılık, Trabzon.
- [11] Callister, W. D. ve Rethwisch, D.G., (2010). Material Science and Engineering, 8th Edition, Wiley, New Jersey; Çeviren: Genel, K., (2014). Malzeme Bilimi ve Mühendisliğı, 8.Basımdan Çeviri, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- [12] Dizdar Metal, Sertlik Dönüşüm Tablosu, <http://www.dizdarmetal.com/sertlik-donusum-tablosu/>, 07 Kasım 2016.
- [13] Vander Voort, G.F., (1984), Metallography Principles and Practice, 6. Edition, McGraw-Hill, New York.
- [14] Güventürk, F.,(1990). Çelik El Kitabı, Güven Çelik Yayınları, İzmir.

- [15] Askaynak-Kobatek Ürün Katoloğu(2011), 11.Baskı, İstanbul .
- [16] Tülbentçi, K., (1998) MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Rem Matbacılık, 2. Baskı, İstanbul.
- [17] ISO 15614-7, (2007). Specification and Qualification of Welding Procedures for Metallic Materials-Welding Procedure Test-Overlay Welding, CEN, 1st issue, La Plaine Saint-Denis

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Burak NALÇACI
Doğum Tarihi ve Yeri :29.06.1992 BALIKESİR
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :burakmetalurji@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Y. Lisans	Malzeme Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Gazi Üniversitesi	2015
Lisans	İşletme	Anadolu Üniversitesi	2017
Lise	Fen Bilimleri	Gönen Anadolu Lisesi	2010