

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MASİF VE ÖZLÜ KAYNAK TELLERİ İLE
BİRLEŞTİRİLEN HARDOX 400 ÇELİKLERİNİN
MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Taner YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin UZUN

EYLÜL 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

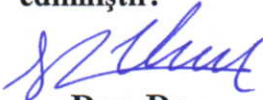
MASİF VE ÖZLÜ KAYNAK TELLERİ İLE
BİRLEŞTİRİLEN HARDOX 400 ÇELİKLERİNİN
MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

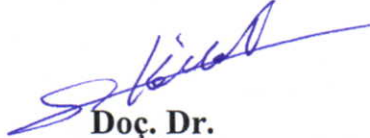
YÜKSEK LİSANS TEZİ

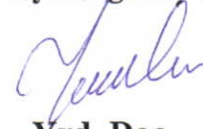
Taner YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 16 / 09 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr
Hüseyin UZUN
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Sakıp KÖKSAL
Üye


Yrd. Doç.
Zafer TATLI
Üye

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu günlere gelmemde desteklerini benden esirgemeyen beni yalnız bırakmayan rahmetli babam Celal YILMAZ'a Ağabeyim Teknik Öğretmen Cemil YILMAZ'a ve aileme teşekkür ediyorum. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde bulunan tüm öğretim görevlilerine teşekkür ediyorum. HARDOX 400 Çeliklerinin MAG Kaynak Bölgesi Mikro yapı ve Mekanik Özelliklerinin incelenmesi konusundaki tez çalışmamda benden yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarımın her aşamasında sevgili hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin UZUN'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamda benden yardımlarını esirgemeyen METALOKS Yön. Kur. Başkanı Talip TÜRKOĞLU'na teşekkür ediyorum. Ayrıca bugünüme kadar benden yardımlarını esirgemeyen yakın dostlarıma da teşekkür ediyorum.

Taner YILMAZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİN ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK KABİLİYETİ.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Aşınma Türleri.....	4
2.1.1. Abrasyon aşınması.....	5
2.3. Aşınmaya Dayanıklı Çelik Türleri.....	6
2.3.1. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin üretimi.....	8
2.3.2. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin mekanik özellikleri.....	9
2.3.3. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin talaş kaldırılarak işlenmesi...	10
2.3.4. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin uygulama alanları.....	11
BÖLÜM 3.	
HARDOX AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİ.....	13
3.1. Hardox Aşınmaya Dayanıklı Çelikleri.....	13

3.2. Hardox Aşınma Levhasının Kimyasal İçerikleri.....	15
3.3. Hardox Aşınma Levhasının Dayanım Özellikleri.....	16
3.4.Hardox Aşınma Levhasının Kaynaklı Birleştirilmesi.....	18
3.4.1. Kaynak sırasında iş parçasının sıcaklığı.....	21
3.4.2. Ön ısıtma.....	22
3.4.3. Kaynak dolgu malzemesinin seçimi.....	23
3.5. Hardox Aşınma Levhasının Kaynak Hataları.....	26
3.5.1. Hidrojen çatlakları.....	26
3.5.2. Katılma çatlakları.....	27
3.5.3. Birleşme azlığı.....	28
3.5.4. Sıçramalar.....	29
3.5.5. Gözenekler.....	30
3.6.Hardox Aşınma Levhasının Mig-Mag Yönteminde Kaynak Elektrotları.....	31
3.6.1. Mig-Mag kaynak yönteminde elektrot seçimi.....	31
3.6.2. Az alaşımlı mig-mag telleri (Gaz altı kaynak telleri).....	31
3.6.2.1. SG2 masif telleri.....	32
3.6.2.2. SG3 masif telleri.....	33
3.6.2.3. Özlü teller.....	34

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMAR.....	37
4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	38
4.2. Birleştirme İşlemi.....	37
4.3. Kaynak Parametreleri.....	39
4.4. Kaynaklı Parçalardan Deney Numunelerinin Çıkarılması.....	40
4.5. Mikroyapı Deneyi Numunelerinin Hazırlanması.....	40
4.5.1.Kaba ve nihai parlatma işlemi.....	41
4.5.2. Dağlama işlemi.....	42
4.6. Mikrosertlik Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	42
4.7. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması.....	43
4.8. Eğme Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	44

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	46
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	46
5.2. Eğme Deneyi Sonuçları.....	50
5.3. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	51
5.4 Mikroyapı Karakterizasyonu.....	53
5.4.1 Makroyapı fotoğrafları.....	53
5.5. Mikroyapı Sonuçları.....	56

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ar	: Argon
C	: Karbon
Co ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
°C	: Santigrat derece
H	: Plank katsayısı
HV	: Vickers sertlik ölçümü
I	: Ark akım şiddeti (amper)
K	: Sabite
Mg	: Magnezyum
Mo	: Molibden
Mn	: Mangan
MPa	: MegaPascal
Nb	: Niyobyum
Ni	: Nikel
Si	: Silisyum
V	: Kaynak hızı (mm/s)
t _{8/5}	: 800°C ile 500°C arasındaki soğuma hızı
AC	: Alternatif akım
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AISI	: The American Iron and Steel Institute
AWS	: American Welding Society
Ceş	: Karbon eşdeğeri
CGHAZ	: Kaba Taneli Bölge (Coarse Grained Zone)
CGRHZ	: Kaba Taneli Yeniden Isıtılmış Bölge (Coarse Grained Reheated Zone)

DC	:Doğru akım
EN	:Euronorme
FGHAZ	:İnce Taneli Bölge (Fine Grained Zone)
GMAV	:Gas Metal Arc Welding
HSLA	:İnce Taneli Düşük Alaşımli Çelik (High Strength Low Alloy)
ICHAZ	:Kritik Arası veya Kısmen Dönüşmüş Bölge (Intercritical or Partially Transferred Zone)
IEB	:Isıdan etkilenmiş bölge
ITAB	:Isı tesiri altında kalan bölge
MAG	:Metal Active Gas
MIG	:Metal Inert Gas
SCHAZ	:Kritik Altı veya Temperlenmiş Bölge
SEM	:Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TS	:Türk Standartları
TIG	:Tungsten Inert Gas
Sg2	:Gazaltı kaynak teli
Sg3	:Gazaltı kaynak teli
HB 212	:Karışım gaz (% 88 Argon + % 12 CO2)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Üretim hattındaki HARDOX 400 çeliği.....	9
Şekil 2.2.	Aşınmaya dayanıklı çeliklerin uygulama alanları.....	10
Şekil 2.2.	Aşınmaya dayanıklı çeliklerin uygulama alanları.....	11
Şekil 3.1.	Hardox 400 levhaları.....	15
Şekil 3.2.	Hardox aşınma levhasından imal edilmiş kepçeler.....	17
Şekil 3.3.	HARDOX aşınma levhasından imal edilmiş damper kasa.....	17
Şekil 3.4.	HARDOX 400 ve sıradan bir yüksek dayanımlı konstrüksiyon levhasının karşılaştırılması.....	18
Şekil 3.5.	Kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini etkileyen unsunlar...	20
Şekil 3.6.	Koruyucu gazların kaynak üzerindeki etkileri.....	21
Şekil 3.7.	Tavsiye edilen ısı girdileri.....	21
Şekil 3.8.	Kaynaklama şekli.....	23
Şekil 3.9.	HARDOX ve WELDOX çeliklerin kaynak edilmesinde kullanılan dolgu malzemelerinin seçimi.....	24
Şekil 3.10.	HARDOX 400 kaynak geometrileri.....	25
Şekil 3.11.	Elektrot kullanımına bağlı olarak kaynak metali sertliği.....	25
Şekil 3.12.	Kaynaklı birleştirmede hidrojen çatlağı.....	26
Şekil 3.13.	Kaynak planı ve kaynak başlangıcı.....	27
Şekil 3.14.	Katılma çatlağı.....	27
Şekil 3.15.	Hardox çeliğinde birleşme azlığı.....	28
Şekil 3.16.	Hardox kaynağında sıçramalar.....	29
Şekil 3.17.	Hardox kaynağında gözenekler.....	30
Şekil 3.18.	SG2 telinin uygulandığı pozisyonlar.....	33
Şekil 3.19.	SG3 telinin uygulandığı pozisyonlar.....	34
Şekil 3.20.	Özlü telin uygulandığı pozisyonlar.....	36
Şekil 4.1.	Birleştirilecek levhaların kesit görünüşü ve birleştirme şekli.....	38

Şekil 4.2.	Birleştirilen levhalar üzerinden alınan deney numuneleri.....	40
Şekil 4.3.	Metkon Gripo 2 zımpara çarkı.....	41
Şekil 4.4.	Mikroyapı incelemesi için bakalite alınmış kaynaklı numuneler...	42
Şekil 4.5.	Mikrosertlik ölçümünde mikroyapı inceleme noktaları.....	43
Şekil 4.6.	Kaynaklı numunelere ait çekme deney numunesi boyutları.....	43
Şekil 4.7.	Çekme deney numuneleri.....	44
Şekil 4.8.	Hardox 400 çekme deney numuneleri ve çekme deney cihazı.....	44
Şekil 4.9.	Eğme deney numunesi boyutları.....	45
Şekil 4.10.	Eğme deneyi prensip şeması.....	45
Şekil 5.1.	HARDOX 400 ana malzemeye ait gerilme - % uzama eğrisi.....	48
Şekil 5.3.	SG3 kaynak teli ile birleştirilmiş HARDOX 400 levhaya ait gerilme - % uzama eğrisi.....	49
Şekil 5.4.	Özlu kaynak teli ile birleştirilmiş HARDOX 400 levhaya ait gerilme - % uzama eğrisi	49
Şekil 5.5.	SG2, SG3 ve özlu kaynak telleri ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların çekme deneyi sonucunda ITAB bölgesindeki kopma	50
Şekil 5.6.	Eğme deney numunelerinin fotoğraf görüntüleri	51
Şekil 5.7.	SG2, SG3 ve özlu tel ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların kaynak bölgesine ait mikro sertlik dağılımları.....	52
Şekil 5.8.	Mikrosertlik ölçüm izi görüntüsü	52
Şekil 5.9.	(a) SG2 ve (b) SG3 kaynak telleri ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların kaynak dikişlerinin makro görüntüsü	55
Şekil 5.10.	Özlu kaynak teli ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların kaynak dikişlerinin makro görüntüsü.....	56
Şekil 5.11.	Ana malzeme mikroyapısı HARDOX 400.....	57
Şekil 5.12.	SG2 kaynak teli kullanılarak birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları	58
Şekil 5.13.	SG3 kaynak teli kullanılarak birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları	59
Şekil 5.14.	E 71 T-1 özlu kaynak teli kullanılarak birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları	60
Şekil 5.15.	SG3 teli ile birleştirilmiş HARDOX 400 çeliğine ait kaynak geçiş bölgesi (kaynak metali-ITAB) mikroyapı fotoğrafı.....	63

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Abrazyon aşınma türleri.....	5
Tablo 2.2.	Aşınmaya dayanıklı çeliklerin ticari adları.....	7
Tablo 2.3.	Mekanik değerler.....	10
Tablo 3.1.	Hardox kimyasal birleşimi.....	16
Tablo 3.2.	Aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanması için tavsiye edilen kaynak sarf malzemeleri.....	19
Tablo 3.3.	Tavsiye edilen ön ısıtma sıcaklıkları.....	22
Tablo 3.4.	Tavsiye edilen pasolar arası sıcaklık.....	23
Tablo 3.5.	SG2 tellerinin sınıflandırılması.....	32
Tablo 3.6.	SG2 kaynak telinin ulusal ve uluslararası onay sertifikaları	32
Tablo 3.7.	SG2 kaynak telinin kimyasal bileşimi.....	32
Tablo 3.8.	SG2 kaynak telinin tipik mekanik özellikleri.....	32
Tablo 3.9.	SG3 tellerinin sınıflandırılması.....	33
Tablo 3.10.	SG3 kaynak telinin ulusal ve uluslararası onay sertifikaları.....	33
Tablo 3.11.	SG3 kaynak telinin kimyasal bileşimi.....	33
Tablo 3.12.	SG3 kaynak telinin tipik mekanik özellikleri.....	33
Tablo 3.13.	Özlü kaynak tellerinin sınıflandırılması.....	35
Tablo 3.14.	Özlü kaynak tellerinin ulusal ve uluslararası onay sertifikaları.	35
Tablo 3.15.	Özlü kaynak tellerinin kimyasal bileşimi.....	35
Tablo 3.16.	Özlü kaynak tellerinin tipik mekanik özellikleri.....	35
Tablo 4.1.	Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu.....	37
Tablo 4.2.	Deneylerde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri.....	37
Tablo 4.3.	Birleştirilecek levhaların (a) kesit görünüşü ve (b) birleştirme şekli.....	38
Tablo 4.4.	TS 5618/EN440'a göre SG2 ve SG3 kaynak tellerinin kimyasal içerikleri	39
Tablo 4.5.	TS 5618/EN 758'e göre özlü tel kaynak telinin kimyasal	

	içeriği	39
Tablo 4.6.	HARDOX 400 çeliğinin SG2, SG3 ve E 71 T-1 özlü tellerle birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri.....	39
Tablo 5.1.	Çekme deneyi sonuçları.....	46

ÖZET

Anahtar Kelimeler: HARDOX 400 Çeliği, SG2, SG3 Gazaltı Kaynağı Telleri, Özlü Tel Kaynağı

Bu tez çalışması kapsamında, MAG yöntemi ile HARDOX 400 aşınmaya dayanıklı çelik levhalar, SG2 ve SG3 masif kaynak telleri ve E 71 T-1 adlı özlü kaynak teli kullanarak V-kaynak ağzı formunda ve yatay pozisyonda başarıyla birleştirilmiştir. İki farklı masif tel ve bir özlü tel ile birleştirilen kaynak levhalarının mikroyapıları ve mekanik özellikleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Birleştirilen numunelerin kaynak bölgelerinin mikroyapıları optik mikroskop kullanılarak ve mikrosertlik dağılımları belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda abrazyon aşınmaya maruz kalan ekipmanların imalatında geniş kullanım alanı bulan HARDOX 400 çeliği, MAG kaynak yöntemi ve uygun parametreler kullanılarak hem yüksek mekanik değerlerin elde edilebileceği SG3 kaynak teli ile hem de yüksek hızlarda ve yüksek dolgu miktarında kaynak yapmaya izin veren özlü kaynak telleri ile başarıyla birleştirilebileceği tespit edilmiştir.

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF HARDOX 400 STEELS WELDED BY GMAW AND FCAW PROCESSES

SUMMARY

Key Words: HARDOX 400 Steel, SG2, SG3 MIG/MAG Welding, Flux-Cored Arc Welding

The aim of this study is to demonstrate the feasibility for joining of similar HARDOX 400 steels by gas metal arc welding (GMAW) and flux-cored arc welding (FCAW) processes. It was employed two types of massive welding wires (SG2 and SG3) and a flux-cored welding wire (E 71 T-1). The V groove butt joint of HARDOX 400 plates at horizontally position was employed. Optical microscopy, microhardness, bend and tensile tests have been performed to evaluate the weld zone characteristics and the performance of HARDOX 400 steel joints. The experimental results revealed that the tensile strength of the gas metal arc welded HARDOX 400 steels using with SG3 welding wire has been slightly lower than that of the joint with SG2 welding wire and higher than that of the joined by FCAW. It is concluded that the SG3 welding wire for GMAW can be employed to obtain the high mechanical properties of HARDOX 400 steel joints and the E 71 T-1 flux-cored welding wire for FCAW can be used to obtain the high welding speed and high weld depositions.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde en önemli problemlerden biri, malzemelerin aşınmasıdır. Almanya'da yapılan araştırmalara göre malzeme aşınmasının endüstriye verdiği zarar her yıl için 2 milyar euro üzerinde olduğu belirtilmektedir. Endüstride kullanılan makine parçalarının bazı kısımları birbiri ile teması ya da korozif çevre şartları sonucu aşınmalarıyla, orijinal ölçülerini kaybetmesi makinenin çalışma düzenini bozarak verimini düşürmektedir. Aşınmanın yanı sıra korozyon, darbe, iç gerilmeler ve yorulma nedeni ile hasara uğrayan makine elamanları, sistemin tamamen durmasına neden olabilmektedir.

Aşınma, genel olarak abrazyon, erezyon, adezyon ve yüzey yorulması olarak sınıflandırılmaktadır. En fazla aşınma kaybı ise genellikle abrazyon aşınma türlerinde görülmektedir.

Katı bir yüzeye karşı veya yüzey boyunca hareket eden sert parçacıkların yapmış olduğu abraziv aşınma, kumların kamyonlara yüklenmesiyle kamyon damperlerinde yüksek fırın bacalarında sıkça rastlanmaktadır. Aşınma problemlerinin önüne geçebilmek amacıyla aşınmaya dayanıklı malzemeler firmalarca geliştirilmiştir.

Çeşitli ticari isimler olarak adlandırılan aşınmaya dayanıklı çelikler, HARDOX, DUROSTAT, RAEX AR, DİLLİDUR, FORA, XAR, ABRAZO, CREUSABRO serileri olarak bilinmektedir.

Hardox serisi çelikler de bu tür malzemelerden birisi olup, özellikle abraziv aşınma direnci oldukça yüksektir. HARDOX 400 tipi aşınmaya dayanıklı çelik, piyasadaki diğer yüksek dayanımlı çeliklere göre, en az beş kat daha uzun ömürlü olup, kepçe ve damperli kamyonların kasa imalinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve üstün tokluğun bir arada sunulması sayesinde, aşınma

dayanıklı çelik levhalar, aşınmanın daha önce sorun teşkil ettiği uygulamalarda ilk tercih olarak öne çıkar. Aşınmaya dayanıklı çelik levhalarının sahip olduğu yüksek aşınma direnci sayesinde damper kasaları, ekskavatör kepçeleri, kırıcılar ve benzeri ekipmanlarda, parçaların çalışma ömürlerinde artmasına sebep olur. Bu çeliklerin yüksek sertliği, imalat esnasındaki su verme hattında yüksek oranda su püskürtülüp hızlı soğuması sağlanarak elde edilir. Bu yöntem sayesinde çeliğin bünyesindeki alaşım elementlerinin düşük tutulmasına rağmen yüksek sertliklere ulaşılır. Bunun sonucunda ise levha kolay işlenebilir, bükülebilir ve kaynak edilebilir. Farklı firmalar tarafından üretilen bu tür çeliklere değişik ticari adlar verilmektedir. Durostat, Raex Ar, Hardox gibi değişik ticari adlara sahip olan aşınmaya dayanıklı çeliklerden bu tez kapsamında HARDOX 400 çeliği kullanılmıştır. Bu çelikler, çok maksatlı aşınma dirençli levhalardır. Yüksek toklukları rahat bükülebilme ve kaynak edilebilmeleri sayesinde, bu levhalar bazı uygulamalarda yük taşıyıcı görevlerde de kullanılabilir. Ayrıca sertlik değerleri dikkate alınarak daha yüksek aşınma direncine sahip olan HARDOX 500 ve HARDOX 600 ticari adlarında da çelikler üretilmektedir. Bu tür çelikler de daha yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalarda kullanılan, bükülebilen ve kaynak edilebilen aşınma levhalarıdır. Tüm HARDOX levhalar boyutsal hassasiyetin garantisi olan AccuRoll (Hassas haddeleme teknolojisi) ile üretilmektedir.

Aşınmaya dayanıklı bu çeliklerin endüstriyel anlamda kullanımını sağlamak amacıyla birleştirilebilme kabiliyeti dikkate alınması gereken diğer önemli özelliklerden birisidir. Özellikle kamyon damperi imalinde kullanılan HARDOX 400 çeliğinin masif kaynak teli kullanılarak MAG kaynak yöntemleri ile birleştirilebilmektedir. Masif kaynak teli olarak genellikle SG2 veya SG3 kullanılmaktadır. Daha fazla kaynak hızının elde edildiği, kaynak dolgu miktarının daha fazla olduğu ve kaynak telinin içerdiği öz sayesinde alaşımlandırma etkisinin olduğu özlü tel kullanımı ise bu çeliklerin birleştirilmesinde çok yaygın olmasa da az miktarda kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada MAG yöntemi ile HARDOX 400 çelik levhalar, SG2 ve SG3 kaynak telleri olmak üzere iki farklı masif ve E 71 T-1 adlı özlü kaynak teli kullanılarak birleştirilmiştir. İki farklı masif tel ve bir özlü tel ile birleştirilen kaynak levhalarının

mikroyapıları ve mekanik özellikleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar incelenmiştir. Kaynak bölgesindeki mikroyapısal değişiklikler açıklanmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre masif tellerle özlü tel arasındaki farklılıklar tespit edilerek, en uygun kaynak telinin hangisi olabileceği değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİN ÖZELLİKLERİ

2.1. Giriş

Bu bölümde aşınmaya dayanıklı çeliklerin türleri ve genel özelliklerinden bahsedilecektir. Başlangıçta kısaca abrazyon aşınmasından bahsedilecektir. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin üretimi, işlenmesi ve kesilmesi ile ilgili özelliklerinden bahsedilecektir. Kullanım alanları hakkında bilgi verilecektir.

2.2. Aşınma Türleri

Aşınma, birbirine temas eden cisimlerin yüzeylerinde meydana gelen istenilmeyen malzeme kaybı veya bu yüzeylerin kullanılmaz hale gelmesi olayıdır. Bunun sonucu olarak makine elemanları giderek aşınır ve fonksiyonlarını sıhhatli olarak yerine getiremez hale gelirler. Aşınma nedeniyle ülke ekonomileri açısından, büyük ölçüde madde ve enerji sarfiyatı olmaktadır. Aşınma türleri ve mekanizmalarının çok iyi bilinmesi, aşınma kayıplarını asgariye indirmede önemli açılımlar sağlayacaktır. Şöyle ki, aşınan malzeme seçimi, aşınan malzemeye yapılan yüzey işlemi ve yağlama sistemi seçimi vs. gibi iyileştirme çabaları da beslenmiş olacaktır. Yurdumuzda aşınma konusuyla ilgili Türkçe kaynak son derece sınırlıdır. Aynı zamanda yurdumuzda maalesef aşınma kayıpları üzerine herhangi bir istatistik bilgisi de yoktur.


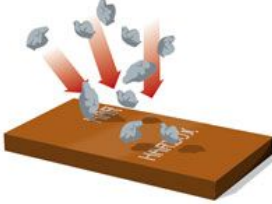

Aşınma, genel olarak abrazyon, erozyon, adezyon ve yüzey yorulması olarak sınıflandırılmaktadır. Abrazyon aşınma, katı bir yüzeye karşı veya yüzey boyunca hareket eden sert parçacıkların yapmış olduğu aşınmadır. Erozyon aşınma, katı parçacık ve/veya akışkan parçacıkların yüzeye çarpması sonucu meydana gelen aşındırıcıdır. Adezyon aşınmasında, iki katı yüzeyin aralarında yerel bir temas bağı

oluşturarak yapışması söz konusudur. Yapışan yüzeylerin yük, hareket ve titreşim gibi sebeplerle birbirinden ayrılmakta ve beraberinde yüzeyden kütleli olarak parçalar kopmaktadır. Yorulma aşınmasının oluşum mekanizması, herhangi bir yüzey üzerinde tekrarlı yuvarlanma ya da kayma sonucunda üretilen bası-çeki gerilmeleriyle katı yüzeyden malzemenin kopması ya da ayrılması şeklinde gerçekleşir.

2.2.1. Abrazyon aşınması

Abrazyon aşınması, birbirine göre izafi hareket yapan iki cisim arasında çevre etkisiyle yabancı sert parçacıkların girmesi ve bu parçacıkların yumuşak yüzeye gömülerek sert yüzeyden sanki eğelercesine veya zımparalarcasına malzeme kaldırmasıyla kendini gösteren bir aşınma türüdür.

Tablo 2.1. Abrazyon aşınma türleri

Tanımlama	Şematik Gösterim
<p>Kayma aşınması (Sliding): Aşındırıcı sert parçacıkların metal yüzeyi üzerinde kayarak veya yuvarlanarak hareket etmesi sonucunda, yüzeyde meydana gelen abrazyon aşınma türüdür.</p>	
<p>Çarpma veya darbe aşınması (Impact): Aşındırıcı sert parçacıkların değişik açılarda metal yüzeyine yüksek bir hızda çarparak meydana gelen abrazyon aşınma türüdür.</p>	
<p>Sıkıştırma aşınması (Squeezing): Aşındırıcı sert parçacıkların, dar iki metal arasından sıkışarak geçmeye çalışırken her iki metalin de yüzeylerinin aşınmasına sebep olan abrazyon aşınma türüdür.</p>	

Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribat yaparlar ve yüzeyi hareket yönünde çizerler. En fazla aşınma kaybı, genellikle abrazyon aşınması türlerinde görülmektedir. Karşılaşılan aşınma türlerinin %60'ı abrazyon aşınmasıdır. Abrazyona neden olan parçacık ya da parçacıklar aşınmaya maruz kalan yüzeyden daha serttir. Bu aşınma türünde, parçacık boyutu ve yükleme en önemli parametrelerdir. Aşındırıcı parçacıkların yüzeyde yapmış olduğu en önemli abrazyon aşınma tipleri kayma, çarpma ve sıkıştırımadır. Tablo 2.1'de abrazyon aşınma türleri tanımlanmış ve şematik olarak gösterilmiştir[11].

2.3. Aşınmaya Dayanıklı Çelik Türleri

Aşınmaya dayanıklı çelikler, İngilizce olarak “wear resistance steels” olarak adlandırılan çelik tipleridir. Aşınmaya dayanıklı çelikler, çeşitli ülkelerde farklı firmalarca üretilmekte ve ticari olarak değişik isimlerle adlandırılmaktadırlar. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin, piyasada kullanılan en tanınmış isimleri Tablo 2’de verilmiştir.

Günümüz piyasasında, İsveç firması olan SSAB tarafından üretilen HARDOX serisi aşınma dayanıklı çelikler, Avusturya firması olan Voestalpine Grobblech GmbH tarafından üretilen DUROSTAT serisi aşınmaya dayanıklı çelikler, Finlandiya firması olan RUUKKI tarafından üretilen RAEX AR serisi aşınmaya dayanıklı çelikler, Almanya firması olan Dillinger Hütte GTS tarafından üretilen Dillidur serisi aşınmaya dayanıklı çelikler, Fransa firması olan INDUSTRIEL tarafından üretilen FORA serisi aşınmaya dayanıklı çelikler, Almanya firması olan Salzgitter tarafından üretilen BRINAR serisi aşınmaya dayanıklı çelikler, Almanya firması olan Thyssen Krupp Stahl tarafından üretilen XAR serisi aşınmaya dayanıklı çelikler, İngiltere firması olan Corus tarafından üretilen ABRAZO serisi aşınmaya dayanıklı çelikler ve Avustralya firması olan Sandvik tarafından üretilen CREUSABRO serisi aşınmaya dayanıklı çelikler yaygın olarak satılmaktadır[5].

Tablo 2.2. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin ticari adları[5]

Üretici Ülke	Üretici Firma	Ticari Adı
İsveç	SSAB	Hardox HiTuf Hardox Extreme Hardox 600 Hardox 550 Hardox 500 Hardox 450 Hardox 400
Avusturya	Voestalpine Grobblech GmbH	Durostat 400 Durostat 500
Finlandiya	RUUKKI	Raex Ar 400 Raex Ar 500
Almanya	Dillinger Hütte GTS	Dillidur 400 Dillidur 450 Dillidur 500
Fransa	INDUSTEEL	FORA 400 FORA 450 FORA 500
Almanya	Salzgitter	BRINAR 400
Almanya	ThyssenKrupp Stahl	XAR 400 XAR 450 XAR 500
İngiltere	Corus	ABRAZO 400 ABRAZO 500
Avustralya	Sandvik	CREUSABRO 4800 CREUSABRO 8000

HARDOX dirençli dış yapı plakası, dört ayrı sertlik seviyesinde bulunur. Bunlar HARDOX 400, HARDOX 450, HARDOX 500, HARDOX 550, HARDOX 600 ve HARDOX HiTuf seviyeleridir; bu sayede, özel amaçlarımız için kullanacağımız HARDOX sertlik sınıfını her zaman kolayca seçebiliriz.

HARDOX 400: Yuvarlak dirençli dış yapı plakasıdır. Yüksek sıklık düzeyi, bükülebilirliği ve kaynaklanabilirliği sayesinde, bu plaka çeşitli uygulamalarda yük kaldırma görevi için kullanılabilir.

HARDOX 450: Bu aşınma plakası 450 HBW'lik sertlik düzeyi olan dirençli bir dış yapı çelik sınıfıdır. Bu çelik sınıfına özgü özellik, sıklığın ve sertliğin, karakteristik bir özellik olan HARDOX islenme kolaylığından ödün verilmeden gerçekleştirilmiş olmasıdır.

HARDOX 500: HARDOX 500 bükülebilir ve kaynaklanabilir, taşlama direncine sahip bir plakadır, daha yüksek seviyede dış yapı direnci talep eden uygulamalarda kullanılabilir.

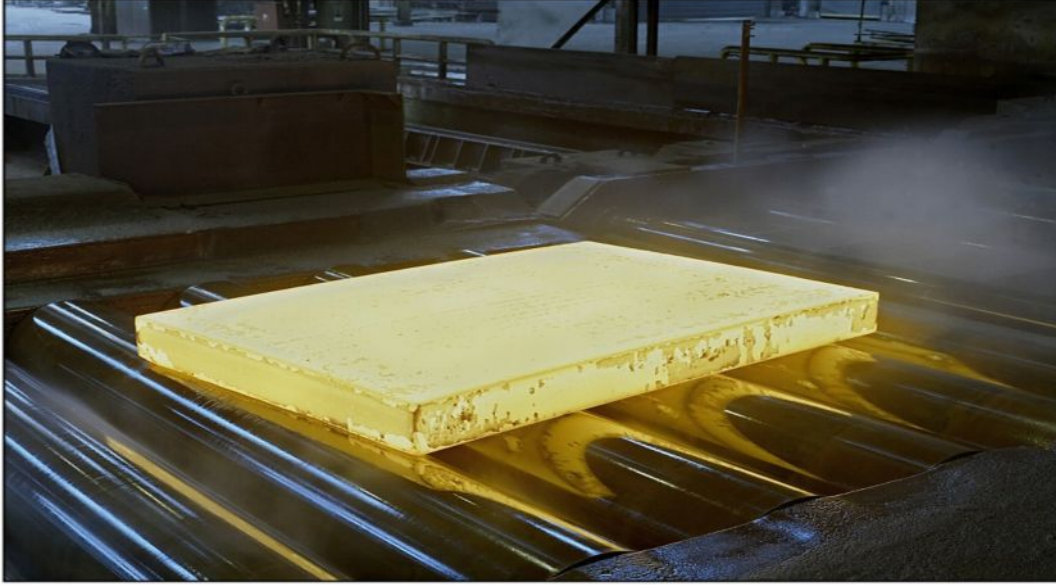
HARDOX 600: HARDOX 600 aşınma plakası saf, dirençli bir dış yapı plakasıdır, çok yüksek seviyede dirence sahiptir.

HARDOX HiTuf: Bu aşınma plakası ise yoğun aşınmaya maruz kalan uygulamalar için çatlamalara karşı ekstra direnç sağlamak üzere tasarlanmıştır. Kalın kırma makineleri ve kesici kenarlar tipik uygulamalar arasındadır[14,15].

2.3.1. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin üretimi

LD (Linz-Donawitz) yöntemi: Oksijeni boruyla üfleme yöntemi Yukarı Avusturya'da Linz çelik fabrikalarında ve Steiermark bölgesinde Leoben'deki Donawitz fabrikasında uygulandı. Bu yöntem % 0,2 ile 0,4 arasında fosfor içeren dökme demirleri işleme olanağı verir; bu fosfor oranı, Bessemer yöntemi için çok yüksek, Thomas yöntemi için yetersizdir. En az % 98 oranında arı oksijen, dibi dolu dönüştürücü içine 10 barlık basınç altında, su dolaşımıyla soğutulan bir boruyla üflenir. Oksijen, erimiş dökme demir banyosunun yüzeyine gelerek bir burgaç doğurur ve banyoyu karıştırır; böylece dökme demirin karbonunu gidererek çeliğe dönüşmesini sağlar. Elde edilen çeliğin kalitesi en iyi Martin çeliklerine eşdeğer ya da onlardan daha yüksektir. Buna karşılık işlemin, Bessemer ya da Thomas yöntemlerine göre biraz daha uzun sürmesi bir yana, ateşe dayanıklı astar

iki kez daha kısa sürede bozulur. Öte yandan gerekli yatırım Bessemer ve Thomas yöntemlerine göre çok büyük boyutlara ulaşır; ayrıca bu yöntem bir toz giderme tesisinin kurulmasını zorunlu kılar[16].



Şekil 2.1. Üretim hattındaki HARDOX 400 çeliği[5]

Oksijen üfleme usulünde, Thomas ve Siemens Martin usullerinin üstünlükleri bir arada toplanmıştır. Ham demir içindeki istenmeyen elemanları yakarak uzaklaştırmak için teknik saflıkta oksijen kullanılmaktadır. Bu sebepten reaksiyonlar daha çabuk meydana gelmektedir. Hava içinde % 79 oranında bulunan azot lüzumsuz yere ısıtılmamaktadır. Fakat daha önemlisi azotu düşük çelik üretilebilmektedir.

Çelik üretiminde, LD, LDAC, Kaldo, Elektro-Çelik gibi birbirinden farklı değişik isimler sayılabilir. Fakat temelde prensip açıklanan şekildedir, bazı küçük farklılıklar mevcuttur.

2.3.2. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin mekanik özellikleri

Dış kuvvetlerin etkisi altında değişik zorlamalar karşısında, malzemede oluşan şekil değişiklikleri ve bu etkiler altında malzemenin gösterdiği dayanma gücü özelliklerine mekanik özellikler adı verilir. Aşınmaya dayanıklı hardox

çeliklerinin mekanik özellikleri hardox çeliğini tanımlayan brinel sertliklerine göre değişmektedir. HARDOX 400 serisinden 600 serisine doğru gidildikçe yani sertlik ve tokluk arttıkça mekanik değerlerde artış göstermektedir. Gerek çekme gerek eğme ve sertlik testlerinde bu artış kolaylıkla görülebilmektedir.

Tablo 2.3. Mekanik değerler[7]

Çelik Cinsi	Levha Kalınlığı		Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HB)	Darbe Direnci	
	Şerit	Plaka					t°C	J.
RAEX	3-12	--	1000	1250	10	360-420	-40	40
AR	--	12-30	1000	1250	10	380-450	-40	20
400	--	>30-60	1100	1400	8	380-480	-40	20
RAEX	5-12	12-60	1250	1600	8	450-530	-30	20
AR								
400								

2.3.3. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin talaş kaldırılarak işlenmesi

Aşınmaya dayanıklı çelikler yüksek mukavemet ve sertliklerine bağlı olarak, donanımlı atölye teknikleri kullanıldığında işlenmeleri mümkün olmaktadır. İmalatçıların ve bıçaklarda kesme sıvılarını üretici firmaların talimatlarına ve verilen dizayn değerlerine bağlı kalınmalıdır. Talaş kaldırma işleminde: Malzeme sıkı bir şekilde ve işlenecek noktaya en yakın şekilde oturtulmalı, talaş kaldırmanın hiçbir aşamasında malzemeye zarar verebilecek titreşimler olmamalıdır. Kesme işlemine başlamadan önce özel önlemler alınmalıdır. İlk kesimin yapıldığı noktada, alevle kesilmiş yüzeylerin düzgün olmasına dikkat edilmelidir. Kesme derinliği randımanlı bir şekilde kullanılmalıdır. Uygun kesme sıvısı kullanılmalı ve bol miktarda uygulanmalıdır. Kurutma işlemi için düşük kesme hızı gereklidir. Eğer aşınmaya dayanıklı çeliklerin işlenmesi düzenli bir sistem kullanılarak yapılacaksa, imalatçının belirlediği bilgiler kullanılarak yapılmalıdır[7].

2.3.4. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin uygulama alanları

Ekskavatör ve buldozer kepçelerinde, kenar plakalarında, küreme kenarlarında, besleyicilerde, maden ekipmanlarının aşınan parçalarında, budama bıçaklarında, hazır beton santrallerinin aşınan parçalarında, ağaç kesim makinelerinin aşınan parçalarında, ağaç işleme makinelerinin aşınan parçalarında, toz arındırıcı fan pervanelerinde, kömür değirmenlerinde, parçalama bıçaklarında, karıştırıcı bıçaklarda, kurşun geçirmez yapılarda.



Şekil 2.2. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin uygulama alanları[5]



Şekil 2.3. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin uygulama alanları[5]

BÖLÜM 3. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

Bu çeliklerin kaynak kabiliyetleri irdelenecek ve birleştirme teknikleri hakkında bilgi verilecektir. Kaynak parametreleri seçimi ve kaynak esnasında yapılması gereken hususlar belirtilecektir.

3.1. Hardox Aşınmaya Dayanıklı Çelikler

Günümüz en önemli problemlerinden biri olan aşınmanın Almanya'da yapılan araştırmalara göre endüstriye verdiği zarar her yıl için 2 milyar euro üzerinde olduğu belirtilmektedir. Endüstride kullanılan makine parçalarının bazı kısımlarının birbiri ile teması yada çevre şartları sonucu aşınmalarıyla orijinal ölçülerini kaybetmesi makinenin çalışma düzenini bozarak verimini düşürmektedir. Aşınmanın yanı sıra korozyon, darbe, iç gerilmeler ve yorulma nedeni ile parçalanan makine elamanları, sistemin tamamen durmasına neden olur.

Sürtünme sonucu hareket halindeki yüzeyler arasında abrasiv aşınma meydana gelmektedir. Bir gaz akımı veya akışkan sıvı içerisindeki sert partiküllerin malzeme yüzeyine çarpmasıyla meydana gelen ve bir bakıma abrasiv aşınmaya benzeyen erozyon aşınmasına; akışkan yataklarda, yüksek fırın bacalarında ve kum ocaklarında kumların kamyonlara yüklenmesi gibi alanlarda çok sık rastlanmaktadır. Aşınma miktarı, erozyon aşınma deneyleri ile belirlenmektedir.

Aşınmaya maruz kalan sistemin elemanları ve çevre çalışma ortamı, aşınma şiddetini belirler. Ayrıca, malzeme cinsi, kimyasal içerik, sertlik, elastik modülü, yüzey pürüzlülüğü, uygulanan ısıl işlemler, aşındırıcının tane boyutu ve şekli de aşınma direncine etki eder. Malzeme seçiminde en önemli parametrelerden birisi sertliktir ve sert malzemelerin aşınma dirençlerinin de yüksek olduğu bilinmektedir.

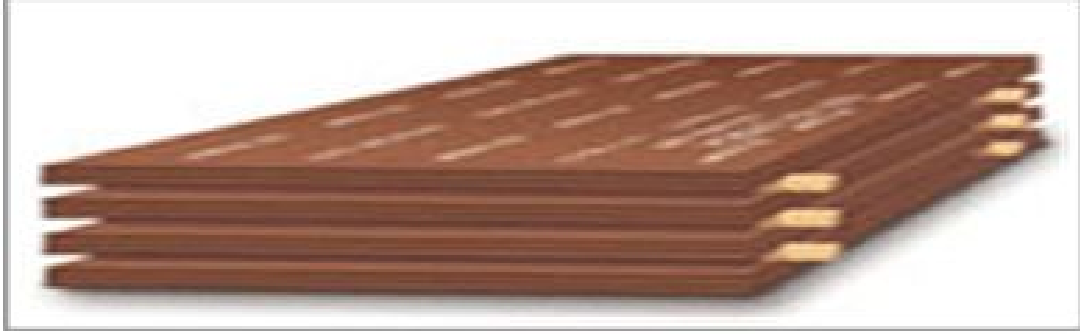
Aşınma problemine karşı bazı firmalar tarafından aşınmaya dayanıklı yeni malzemeler geliştirilmektedir. Hardox serisi çelikler de bu tür malzemelerden birisi olup, özellikle abrasiv aşınma direnci oldukça yüksektir. HARDOX 400 tipi çelik, piyasadaki diğer yüksek dayanımlı çeliklere göre, en az beş kat daha uzun ömürlü olup, kepçe ve damperli kamyonların kasa imalinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

HARDOX aşınma direnci konu olduğunda ilgili en üst düzeydeki beklentilere yanıt verebilen bir aşınma levhasıdır. Düzgün dağılımlı yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve mükemmel tokluğun essiz bir şekilde bir araya getirilmesi bu malzemeyi birbirinden değişik çeşitli uygulamalar için çok uygun kılmıştır.

HARDOX su verilmiş ve menevişlenmiş bir aşınma levhasıdır. Bu ürün 1970 yılında ilk defa piyasaya sunulmuş ve o günden bu güne değişik ihtiyaçları karşılayacak şekilde sürekli olarak geliştirilmiştir. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin piyasa adları; HARDOX, DUROSTAD RAEX AR, ERDEMİR, DİLLİDUR, HARDOX levhasının, diğer yüksek mukavemetli konstrüksiyon levhalarına göre 4-5 kat daha sert olmasına karşın mükemmel kaynak edilebilme ve islenebilme özelliği, bu malzeme ile çalışmayı kolaylaştırmaktadır. Bazı durumlarda ise; HARDOX 500, HARDOX 400'e göre üç misliden daha fazla bir ömre sahiptir. Hardox yüksek sertliğini ve mukavemetini, üstün tokluğunu modern roleli su verme hattında yapılan yüksek verimde suda su verme işlemine borçludur. Bu etkin proses sayesinde alaşım elementleri asgari düzeyde tutulabilir; bu ise, hem ürün hem de çevre açısından büyük avantajlar sağlamaktadır.

HARDOX aşınma levhası; ağır aşınma şartlarına dayanacak şekilde geliştirilmiştir. Gerçek faydalı ömür, levha ile temas eden malzemeye ve levhanın maruz kaldığı aşınma tipine bağlıdır. Ekipmanlar minerallerin taşınma ve aktarılması esnasında genellikle farklı türden gerilmelere maruzdurlar, çoğu zaman yüksek deformasyonla birlikte meydana gelen, yuvarlanma ve darbeden kaynaklanan aşınma gibi. Ancak 400 veya 500 Brinell sertliğindeki hardox aşınma levhası bu aşınma türlerinin çoğuna karşı dayanıklıdır.

HARDOX 400 levhaları aşınmaya dayanıklılık için özel olarak imal edilmiştir. Yüksek aşınmaya dayanıklılık kolay soğuk şekillendirme ve kolay kaynaklanma sağlamaktadır. Hardox levhaları yoğun aşınmanın olduğu tüm alanlarda kullanılabilir[19].



Şekil 3.1. Hardox 400 levhaları[19]

3.2. Hardox Aşınma Levhasının Kimyasal İçerikleri

Tablo 3.1. Hardox kimyasal birleşimi

Sac kalınlığı(mm)	4-10	(10)-20	(20)-32	(32)-51	(51)-80	(80)-130
C max %	0.14	0.14	0.18	0.22	0.27	0.32
S max %	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Mn max %	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
P max %	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
S max %	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Cr max %	0.30	0.50	1.00	1.40	1.40	1.40
N max %	0.25	0.25	0.25	0.50	1.00	1.50
$C_{eş1}$	0.33	0.37	0.48	0.58	0.62	0.70
$C_{eş2}$	0.23	0.26	0.29	0.35	0.41	0.48
$C_{eş1}=C+Mn/6+(Cr/5+Mo/5+V/5)+(Cu/15+Ni/15)$						
$C_{eş2}=C+(Mn/10+Mo/10)+(Cr/20+Cu/20)+Ni/40)$						

3.3. Hardox Aşınma Levhasının Dayanım Özellikleri

HARDOX aşınma levhası; ağır aşınma şartlarına dayanacak şekilde geliştirilmiştir. Gerçek faydalı ömür, levha ile temas eden malzemeye ve levhanın maruz kaldığı aşınma tipine bağlıdır. Ekipmanlar minerallerin taşınma ve aktarılması esnasında genellikle farklı türden gerilmelere maruzdurlar, çoğu zaman yüksek deformasyonla birlikte meydana gelen, yuvarlanma ve darbeden kaynaklanan aşınma gibi. Ancak 400 veya 500 Brinell sertliğindeki Hardox aşınma levhası bu aşınma türlerinin çoğuna karşı dayanıklıdır[19].



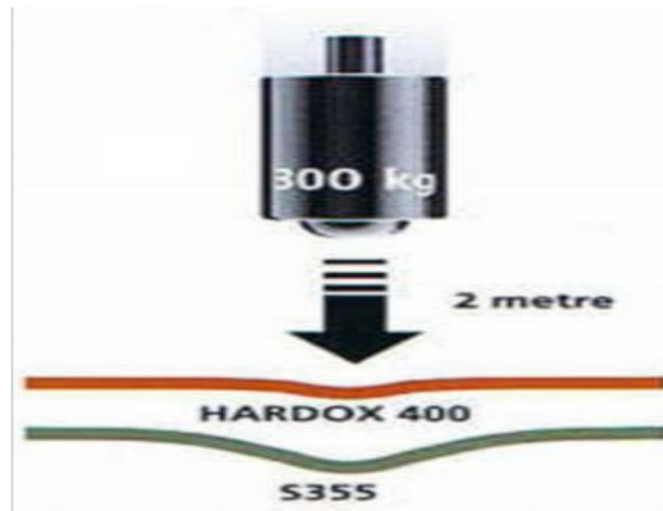
Şekil 3.2. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş kepçeler

HARDOX sıradan bir aşınma levhası değildir. Tokluğu, düşük sıcaklıklardaki aşırı zorlanmalar gibi güç şartlar altında bile çok yüksektir. Bu ise Hardox'u darbelere karşı özellikle güçlü kılmaktadır. Bu özellikler, çeliğin uygun bileşimi ve optimize edilmiş bir üretim prosesinin sonucudur.



Şekil 3.3. HARDOX aşınma levhasından imal edilmiş yarım boru tipi damper kasa

HARDOX levha, yüksek mukavemeti sebebiyle daha iyi boyutsal stabiliteye sahip olduğundan, daha az bir kalıcı deformasyon gösterir. Levha kalınlığını azaltmak ta mümkün olup, bunun sonucunda taşıma kapasitesi arttırılmış olur. HARDOX 400 ve sıradan bir yüksek dayanımlı konstrüksiyon levhası, geniş kapsamlı düşme testleri ile karşılaştırılmıştır. 150-800 kg arasında değişen ağırlıklar 3 metreye kadar yüksekliklerden bırakılmıştır. Hardox levhasındaki orta dereceli deformasyon, mukavemetinin iyi bir göstergesidir(Bkz. Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. HARDOX 400 ve sıradan bir yüksek dayanımlı konstrüksiyon levhasının karşılaştırılması[19]

3.4. Hardox Aşınma Levhasının Kaynaklı Birleştirilmesi

Aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynağının az miktarda hidrojen içeren kaynak malzemeleriyle yapılması tavsiye edilir.(hidrojen miktarı HD<5ml/100g) Ana malzemeden daha yumuşak dolgu malzemesinin kullanılması önerilir.(E 7018, AWS A5.17,AWS A5. 18, AWS A5.20) ve en az aşınmaya maruz kalabilmeleri için kaynağın yapıda yerleştirilmesi gerekir. Yüksek mukavemet sertlik gerektiren durumlarda, E11018, E9018, AWS A5.28, AWS A5.29 gibi alaşımlı dolgu malzemeleri kullanılmalıdır. Bu durumda, alaşımlı dolgu malzemeleri bir veya iki üst tabaka kullanılırken, dolgu işlemi düşük alaşımlı dolgularla yapılabilir[12,13].

HARDOX aşınma levhalarının tüm kaliteleri çok düşük alaşım elementleri ihtiva ederler ve dolayısıyla karbon eşdeğerleri düşüktür. HARDOX 400 ve HARDOX 500 mükemmel kaynak edilebilme sayesinde geleneksel ergitme kaynağı yoluyla, Hardox ile ve diğer tüm kaynağa uygun konstrüksiyon levhaları ile kaynak edilebilir.

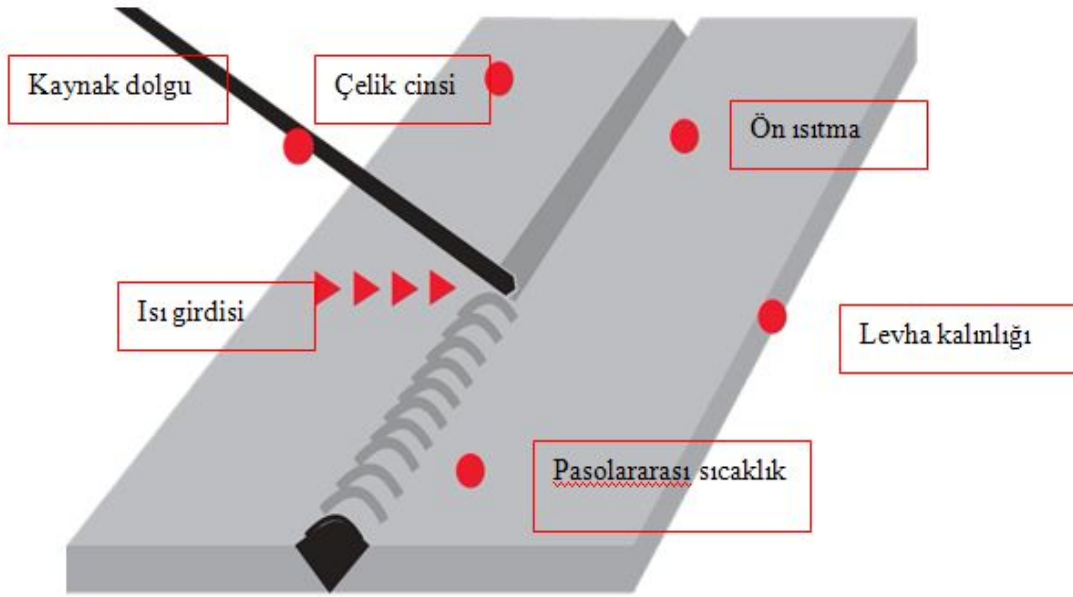
Bunun sonucunda birbirleriyle ve diğer çelik levhalarla geleneksel kaynak yöntemleri kullanılarak çok kolay kaynak edilebilirler. Karbon eşdeğeri ($C_{eş}$) düşük bir çelik, yüksek olana göre daha iyi kaynak edilebilme özelliğine sahiptir. Karbon eşdeğeri şu formülle hesaplanır.

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

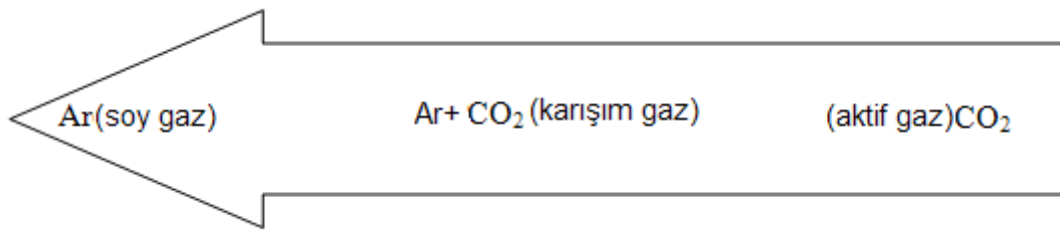
HARDOX'un kaynağında dikkat edilmesi gereken unsurlar; Kaynak bölgelerini aşınmanın az olduğu veya hiç olmadığı yerlere temas ettirmek gerekir. Kaynakları, aşındırıcı malzemenin hareket yönüne dik gelecek şekilde düzenlemek gerekir. Kaynak metaline en az hidrojen bırakacak dolgu metalini kullanılması gerekir.

Tablo 3.2. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanması için tavsiye edilen kaynak sarf malzemeleri[13]

Kaynak metodu	Üreticiler/temsilciler	Düşük alaşımlı dolgu maddesi (dolgu malzemesinin kırılma kuvveti daha düşük)	Yüksek alaşımlı benzer dolgu malzemesi (kırılma kuvvetleri eşit)
Evrensel Elektrot	ELGA ESAB FILARC-HITSAUSTUOTTEET IMPOMET OY KENNOY RETCO OY OY UDDEHOLM AB	P48 S OK 48.00 Filarc 35 Oerlikon Supercito Lincoln 7018-1 SOUDOMETAL COMET J50+ Böhler Fox EV 50	P110 OK 78.16 Filarc 118 Lincoln CONARC 85 SOUDOMETAL MOLYCROM 15
Yüksek Randımanlı Elektrot	ELGA ESAB FILARC-HITSAUSTUOTTEET IMPOMET OY KENNOY RETCO OY	MAXETA 20 OK Femax 38.65 Filarc C6 Oerlikon OH blau 180 Lincoln CONARC V180/V250 SOUDOMETAL COMET J160	MAXETA 110
MAG KATI TEL	ELGA ESAB FUNDIA DALWIRE IMPOMET OY KENNOY	Elgamatic 100 OK Autrod 12.51 DB-20 Oerlikon Carbofil 1 Lincoln SG2	
MERAL GÖBEKLİ TEL	ELGA ESAB FILARC-HITSAUSTUOTTEET KENNOY RETCO OY	Elgacore MXA 100 OK Tubrod 14.12 Filarc PZ 6102 Oerlikon Fluxofil M 10 Lincoln OS MC 710 H Trimark METALLOY-76	OK Tubrod 14.03 Lincoln OS MC 1100
Flux Göbekli Tel	ELGA ESAB FILARC-HITSAUSTUOTTEET IMPOMET OY KENNOY RETCO OY	Elgacore DWA 50 OK Tubrod 15.14 Filarc PZ 6113 Oerlikon Fluxofil 14 Lincoln OS MC 71 EH Trimark TM-770	OK Tubrod 14.03 Filarc PZ 6148
Tel/Flux	ELGA ESAB IMPOMET OY KENNOY	Elfasaw 102/Elgaflux 211 R OK Autrod 12.22/OK Flux 10.71 Oerlikon OE S2/ Oerlikon OP 122 Lincoln L60/Lincoln 780	OK Autrod 13.43/OK Flux 10.62 Lincoln LNS 162/Lincoln p240



Şekil 3.5. Kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini etkileyen unsunlar



Yüksek stabil ark
Yüksek poroziteli kaynak

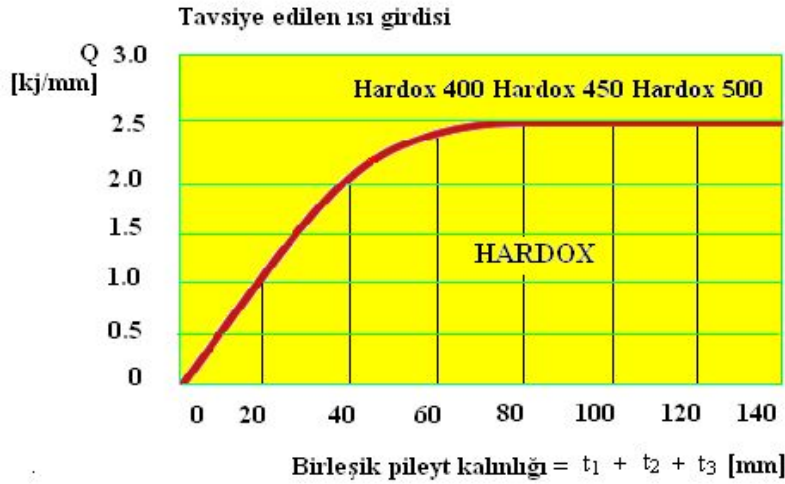
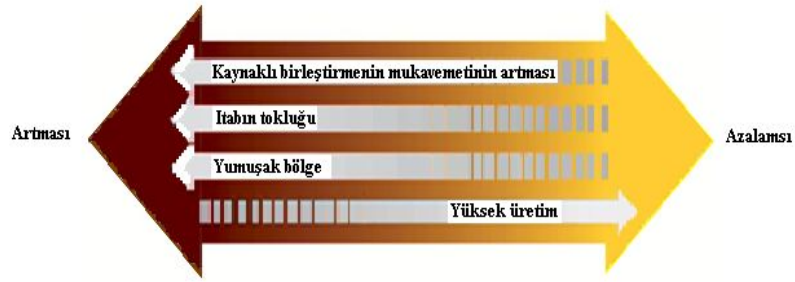
Düşük porozite
Nozuldaki tıkanıklık ve
sıçrama artar.

Şekil 3.6. Koruyucu gazların kaynak üzerindeki etkileri

3.4.1. Kaynak sırasında iş parçasının sıcaklığı

Yapısal ve aşınma dirençli çeliklerin kaynak edilmesinde önemli olan soğuk çatlak (hidrojen çatlağı veya gecikmeli çatlak olarak ta bilinir) oluşma riskini en aza indirmektir. Kaynak bağlantısında hidrojenin ve kalıcı gerilmelerin birarada bulunması bu tip çatlakların başlıca nedenleridir.

Hardox ve Weldom kaynaklı birleştirmelerinde aşağudaki ısı girdisi limitleri tavsiye edilir



şekil 3.7. Tavsiye edilen ısı girdileri[6]

şu işlemlere dikkat edilirse çatlama riski en aza indirilebilir: Kaynak öncesi ana malzemenin ön ısıtmaya tabi tutulması gerekir. Birleşim yüzeylerinin son derece temiz ve kuru olmasının sağlanması gerekmektedir. Soğuma (büzulme) sırasında ortaya çıkan gerilmelerin en aza indirilmesi gerekir. Bu ise iş parçalarının birbirlerine iyi oturması ve iyi planlanmış bir kaynak sıralaması (dengeli kaynak etme) ile mümkün olur. Düşük hidrojen içeren bir kaynak malzemesinin seçilmesi ile mümkündür[6].

3.4.2. Ön Isıtma

Ön ısıtmanın en önemli olduğu yerler punta kaynağı ve kök pasosu kaynağıdır. Kaynak öncesi ve sonrası sıcaklık ne kadar yüksekse, hidrojenin çelikten atılması o kadar kolay olacaktır. Kalın levhanın hem daha hızlı soğumasını telafi etmek, hem de ince levhaya göre daha yüksek bir $C_{eş}$ değerisi olduğu için, levha kalınlığı arttıkça ön ısıtma ihtiyacı da artar(bkz. Tablo 3.3.). Eğer çevredeki nem yüksekse ve/veya

sıcaklık $+5C^{\circ}$ nin altındaysa, tablodaki değerlere $25C^{\circ}$ daha ilave edilmelidir. Eğer kaynak edilen iş parçasının oynaması rijit bir şekilde sınırlanmışsa, yine sıcaklık arttırılmalıdır. Eğer farklı çelik cinsleri birbirlerine kaynak edilecekse veya kullanılan elektrotun $C_{eş}$ değeri ana malzemeninkinden daha yüksekse, o zaman gereken ön ısıtma derecesi karbon eşdeğeri daha yüksek olan çeliğe (veya elektrota) göre belirlenir[6].

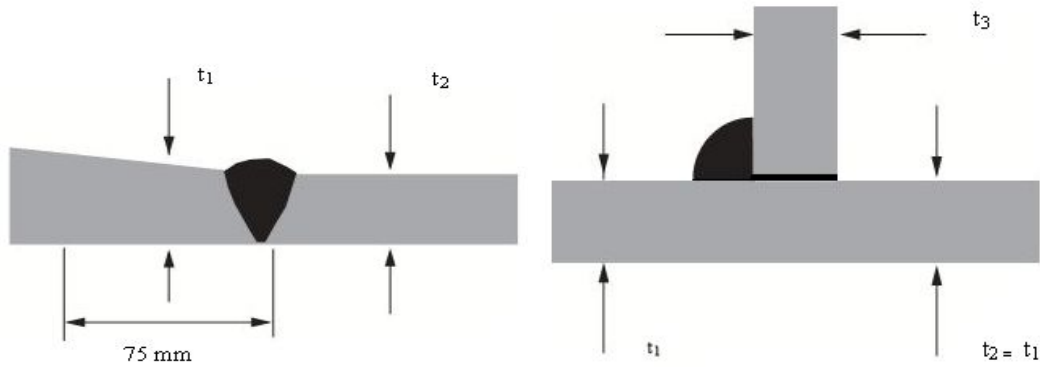
Tablo 3.3. Tavsiye edilen ön ısıtma sıcaklıkları muhtelif eşdeğer kalınlıklar için(mm)

$t_1 + t_2 + t_3 =$ 10 20 30 40 80 100 130

HARDOX 400				75°C	100°C	125°C
HARDOX 450				100°C	125°C	175°C
HARDOX 500		100°C	125°C	150°C	175°C	

Eşdeğer kalınlık, mm

$t_1 =$ kaynak metalinden 75mm uzaklıktaki ortalama kalınlık



Şekil 3.8. Kaynaklama şekli[6]

Tablo 3.4. Tavsiye edilen pasolar arası sıcaklık

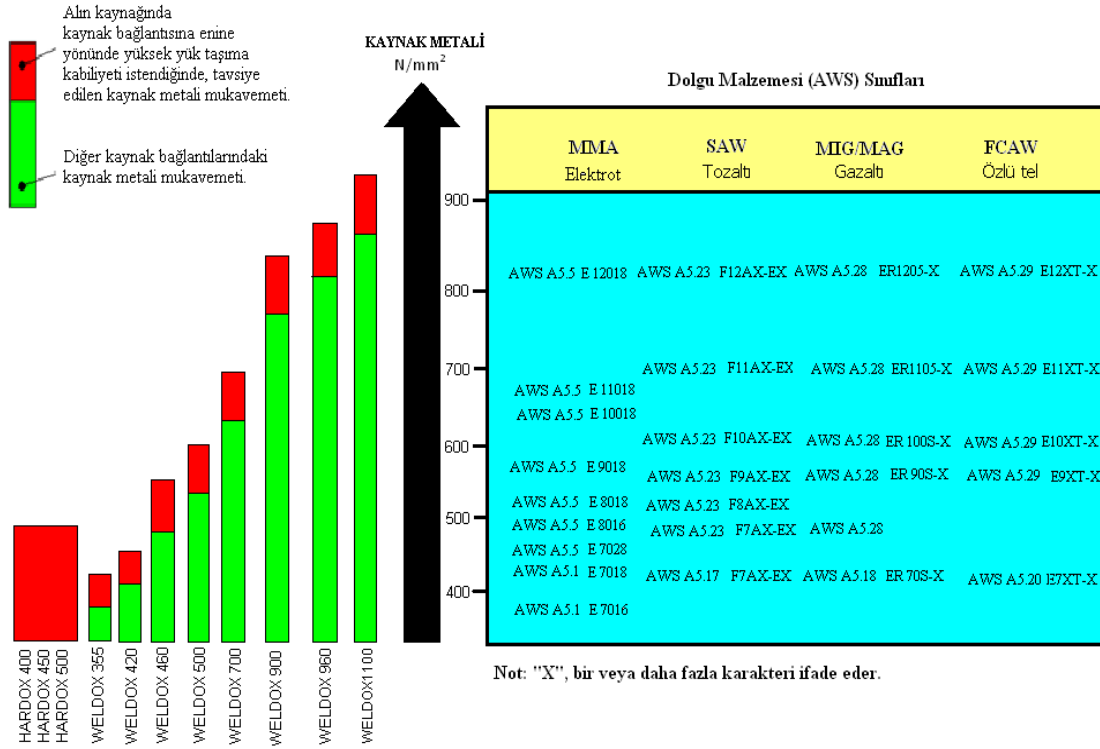
Çelik Cinsi	Pasolararası Sıcaklık
HARDOX 400	150-175°C
HARDOX 450	150-175°C
HARDOX 500	150-175°C

3.4.3. Kaynak dolgu malzemesinin seçimi

Normal ve yüksek mukavemetli levhaların kaynak edilmesinde kullanılan bütün geleneksel ark kaynak yöntemleri Hardox'un kaynak edilmesinde de kullanılabilir. Kaynak malzemesinin seçilmesinde, her farklı durum için kaynaklı bağlantıdan istenen mekanik özellikler belirleyici rol oynar.

HARDOX için bazik elektrotlar kullanılmalıdır. Kaynak metaline $\leq 5\text{ml}/100\text{g}$ hidrojen içeriği veren bir dolgu malzemesi seçilmelidir. Dolgu malzemesinin akma mukavemetinin seçiminde aşağıdaki alternatifler mevcuttur: Alt-mukavemetli kaynak metali (kaynak metalinin akma mukavemeti) ana malzemeninkinden daha düşük. Burada akma mukavemetinin nominal minimum değeri kast edilmektedir. Eş mukavemetli kaynak metali (kaynak metali ve ana malzemenin akma mukavemeti aynı). Üst-mukavemetli kaynak metali (kaynak metalinin akma mukavemeti ana malzemeninkinden daha yüksek)

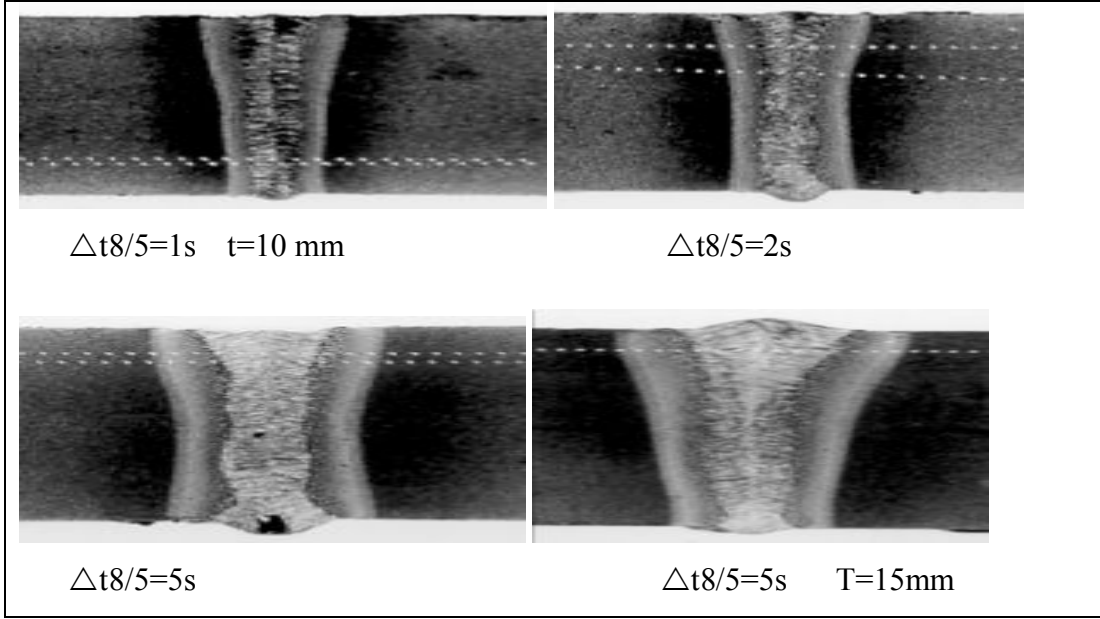
Dolgu malzemesinin seçiminde şunlara dikkat etmeliyiz; Özlü tel, Tozaltı ve Elektrot kaynaklarında mutlaka bazik örtü kullanılmalıdır. Kaynak metalinin tokluğu en az levhanınki kadar olmalıdır. Daima düşük hidrojen içerikli ($\text{HD} \leq 5\text{ml}/100\text{g}$) bir dolgu malzemesi kullanılmalıdır.



Şekil 3.9. HARDOX ve WELDOX çeliklerin kaynak edilmesinde kullanılan dolgu malzemelerinin seçimi

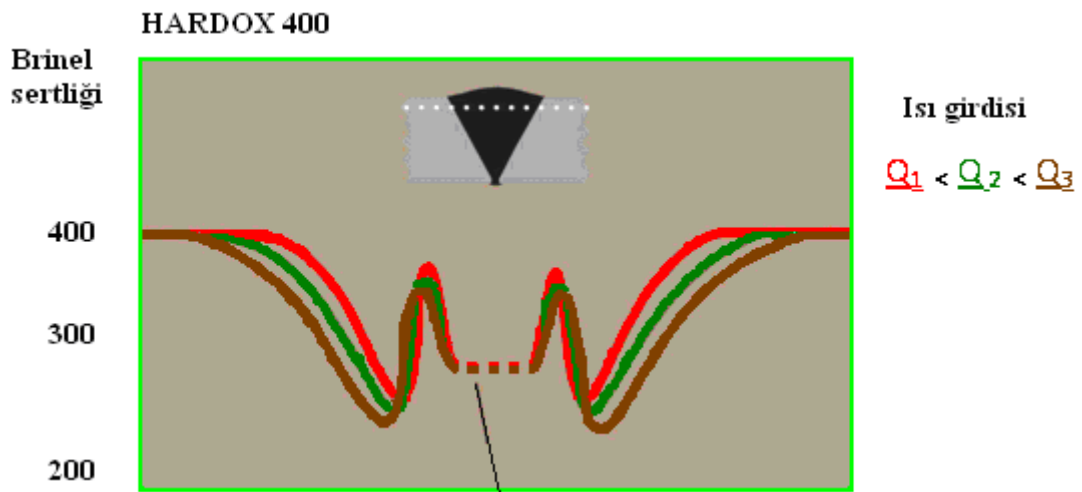
Yüksek mukavemetli (akma mukavemeti 500 N/mm²'yi geçen) sarf malzemesi yerine düşük mukavemetli sarf malzemesi kullanmanın başlıca avantajları şunlardır. Kaynak metalinin tokluğunun atırılması, kaynak bağlantısında sünekliliğin artması kırılmaya karşı hassasiyetin azalması köse kaynaklarında daima alt-mukavemetli dolgu malzemesi kullanılması tavsiye edilir.

HARDOX'un kaynağında yumuşak elektrot kullanılmalıdır. HARDOX yumuşak bazik elektrotlarla kaynak edilmelidir. Yumuşak elektrot, akma mukavemeti 500 N/mm² den daha az olan dolgu malzemesidir. Bu tip elektrotlar bağlantıdaki kalıcı gerilme seviyesini, dolayısıyla da soğuk çatlama hassasiyetini azaltırlar[6].



Şekil 3.10. HARDOX 400 kaynak geometrileri

Eğer kaynak, yoğun aşınmaya maruz kalan bir bölgede yer alıyorsa, kapak pasolarında sert dolgu elektrotları kullanılabilir. HARDOX aşağıdaki durumlarda östenitik paslanmaz çelik elektrotlarla kaynak edilebilir: İş parçasının oynaması rijit şekilde sınırlanmışsa, iş parçasına ön ısıtma yapılamıyorsa, levha 60mm'den daha kalınsa. Dolgu malzemeleri, çevre nemini soğumaması için, imalatçının tavsiyelerine göre muhafaza edilmelidir. Eğer sarf malzemesinin nem çekmiş olma riski varsa, ya imha edilmeli ya da imalatçının tavsiyelerine göre yeniden kurutulmalıdır.



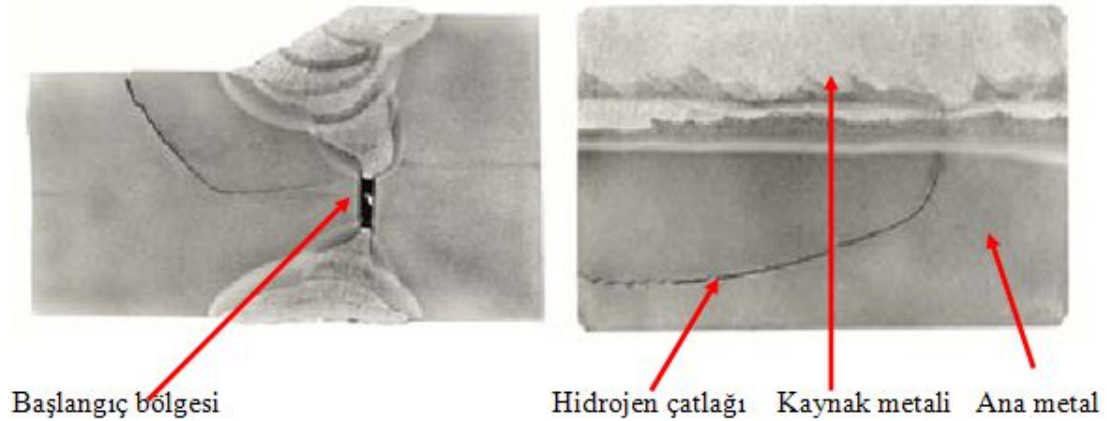
Şekil 3.11. Elektrot kullanımına bağlı olarak kaynak metali sertliği

3.5. Hardox Aşınma Levhasının Kaynak Hataları

Kaynak hataları her tül çeliğin kaynağında görülebilen bir durumdur. Günümüzde üretilen çeliğin büyük bir kısmı kaynaklı bağlantılar için kullanılmaktadır. Bu durum aşınmaya mukavemetli HARDOX 400 çeliği içinde geçerlidir. HARDOX 400 çelikleri yüksek kaynaklanabilme özelliğine sahip çelik türlerindedir. Hardox çeliklerinde en önemli kaynak hataları sırasıyla hidrojen çatlakları, katılaşma çatlakları, birleşme eksikliği, kaynak sıçramaları ve gözeneklerdir. Aşağıda bu hatalardan ve bu hataların giderilebilmesi için gerekli önlemlerden bahsedilmiştir.

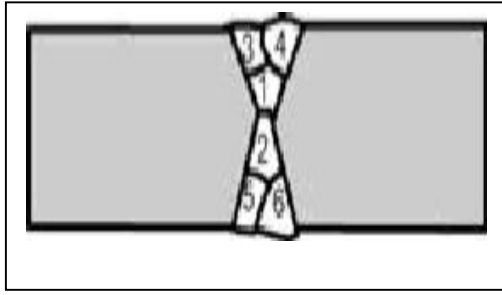
3.5.1. Hidrojen çatlakları

Hidrojen çatlakları hardox çeliklerinde görülen önemli kaynak hatalarındandır. Genellikle 200° altında yapılan kaynaklarda görülür. Hidrojen çatlakları kaynak metalinde gelişir. Bu çatlaklar ana malzemeyi de etkileyebilir. Bu tür çatlaklar genellikle yüzeyde ortaya çıkarlar ancak bazı durumlarda yüzey altında olduğu da görülmüştür. Kaynak bölgesinde başlayan çatlaklar çok uzun sürebilir. Şekil 3.12’de hidrojen çatlağına ait kaynaklı birleştirme görülmektedir.

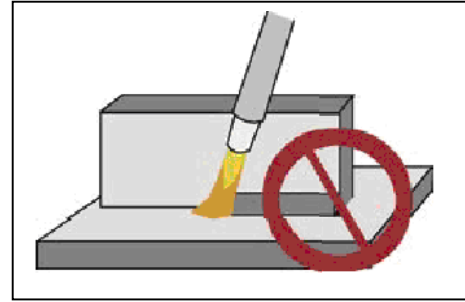


Şekil 3.12. Kaynaklı birleştirmede hidrojen çatlağı

Hidrojen çatlakları nedenleri arasında, kaynaklı birleştirmelerin ek yerlerinde hidrojen seviyesinin yüksek olması, karbon eşdeğeri değerinin yüksek olması dolayısıyla kaynaklanacak malzemenin kırılgan yapıda olması, kaynaklanacak bölgedeki yüksek seviyedeki gerilimleri sayabiliriz. Şekil 3.13’de kaynak planı ve kaynak başlangıcı görülmektedir.



a) Kaynak planı



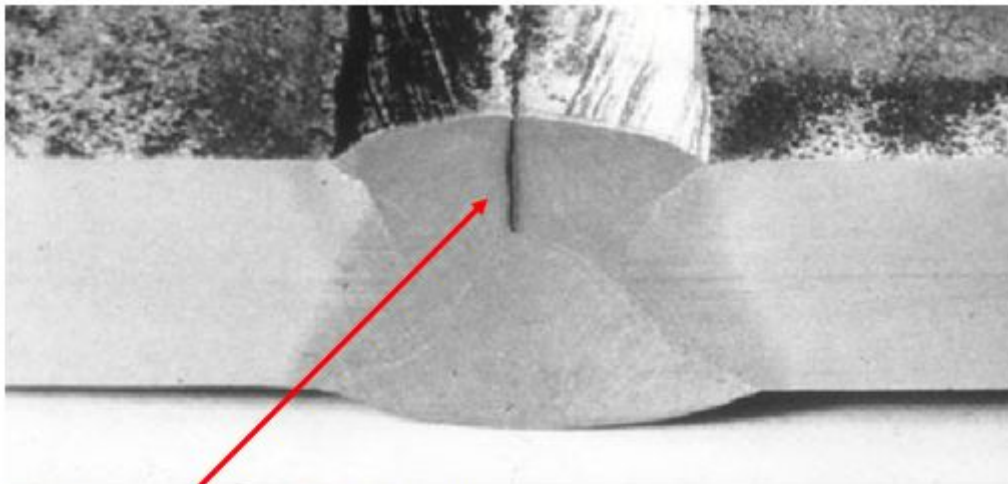
b) Kaynak başlangıcı

Şekil 3.13. Kaynak planı ve kaynak başlangıcı

Hidrojen çatlaklarını önlemek için; kaynak bölgesini su yağ gibi dış etkenlerden korumalıyız, düşük miktarda hidrojen içeren (hidrojen miktarı $HD < 5\text{ml}/100\text{g}$) dolgu malzemeleri kullanmalıyız, kaynak bölgelerinde çok fazla gerilim oluşturmayan ardışık kaynaklama yapılmalıdır(Şekil 3.13a)). Köşe kaynaklarında başlangıç ve duraksamalardan kaçınılmalıdır(Şekil 3.13 b)).

3.5.2. Katılma çatlakları

Katılma çatlakları kaynak yapılan metalde meydana gelen ciddi bir sorundur. Kaynak dikişinin orta bölgesinde şekillenir. Bu çatlaklar genellikle kaynak bölgesinden yüzeye ulaşabilirler. Bu çatlakların boyu genelde uzundur ve 1m'ye kadar uzayabilmektedir.



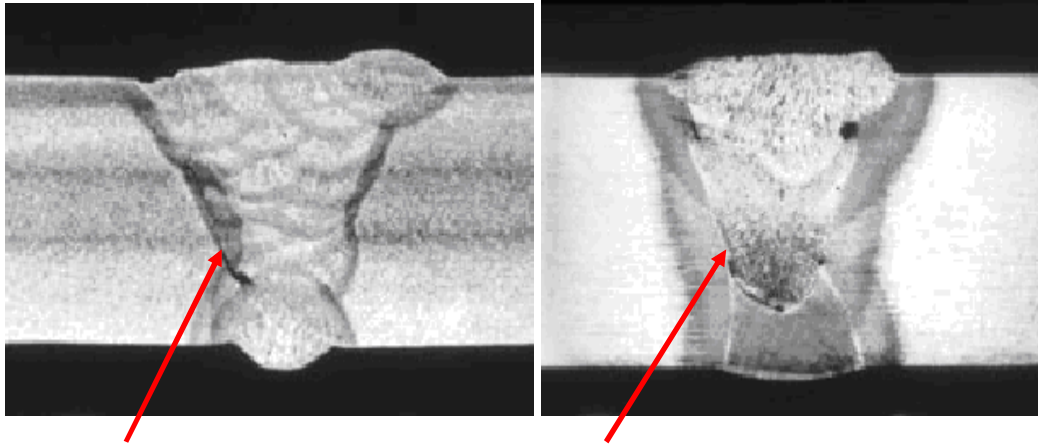
Katılma çatlakları görülebilmektedir.

Şekil 3.14. Katılma çatlakları

Bu kaynak hataları tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinden olan radyografik ve ultrasonik yöntemlerle ile belirlenebilir. Katılma çatlaklarını önlemek için; Kaynak ek yerlerinin temiz olduğundan emin olmalıyız, kaynak parametrelerinde ısı girdisi düşük tutulmalı ve kaynak hızı arttırılmalıdır. Yeterince kaynak dolgu metali kullanarak iç bükey kaynak profillerinden kaçınmalıyız, kaynak profilleri dış bükey olmalıdır. Çok derin kaynak geçişleri bu çatlaklara yol açabilir bunun için kaynak genişlik-derinlik oranı 1 olmalıdır.

3.5.3. Birleşme azlığı

Kaynak metali ile esas metal veya esas metal ile esas metal veya üst üste yığılan kaynak metaline ait pasolar arasında birleşmeyen kısımların bulunması, bu hatayı doğurur. Birleşme azlığına ekseriye cüruf, oksit, kav veya diğer demir olmayan yabancı maddelerin mevcudiyeti sebebiyle verir. Bu maddeler, esas veya ilave metalin tamamen erimesine mani olduğundan kifayetsiz bir birleşme meydana gelir. Şekil 3.15’de hardox çeliğinde birleşme azlığı görülmektedir.



Birleşme azlığı

Birleşme azlığı

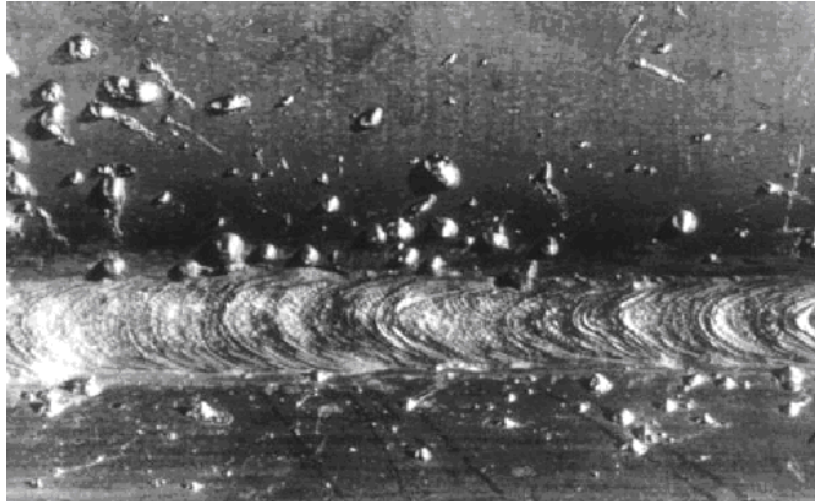
Şekil 3.15. Hardox çeliğinde birleşme azlığı

Kaynak kesitindeki birleşme azlığından doğan hatalar, genel olarak çekilen pasoların dikkatlice temizlenmesiyle önlenir. Çok pasolu ark kaynağında, müteakip pasolar çekilmeden önce, cüruf iyice temizlenmelidir. Pasolar kötü çekilmiş veya yüzeyleri kaba olup, cürufun temizlenmesine mani teşkil edecek durumda ise, müteakip pasodan önce bu pürüz ve kabarıklar, taşlanarak veya keskiyle bertaraf edilmelidir.

Kaynak kesitindeki birleşme azlığı, hem statik hem de dinamik zorlamalarda bağlantıların mukavemetini büyük çapta düşürür. Bu hatayı bertaraf etmek için, dikişi tamamen söküp, yeniden kaynak yapmak mümkündür. Yalnız hatalı kısım çıkarılarak burası da yeniden kaynak yapılabilir. Fakat bu mevzii kaynak işleminde açılan kısım, elektrot veya kaynak telinin kolayca hareket edebileceği bir genişlikte olmalıdır. Kaynağa başlamadan önce, kaynak ağızları dikkatli bir şekilde temizlenmelidir.

3.5.4. Sıçramalar

İstenmeden kaynak dikişinin veya esas metalin yüzeyinde, küresel küçük parçacıkların dağılmasıdır. Bu hata ekseriye elektrik ark kaynağında meydana gelir. Bazı hallerde sıçramaya, elektrodun kendi kaynak özellikleri veya örtüsünün rutubetli olması sebep olur. Fakat sıçramanın esas sebebi yüksek akım şiddetidir. Arkın kaynak sırasında sık-sık kesilmesi (sönmesi) de sıçramaya sebebiyet verdiği için, bundan kaçınılmalıdır. Şekil 3.16'da hardox kaynağına ait sıçramalar görülmektedir.



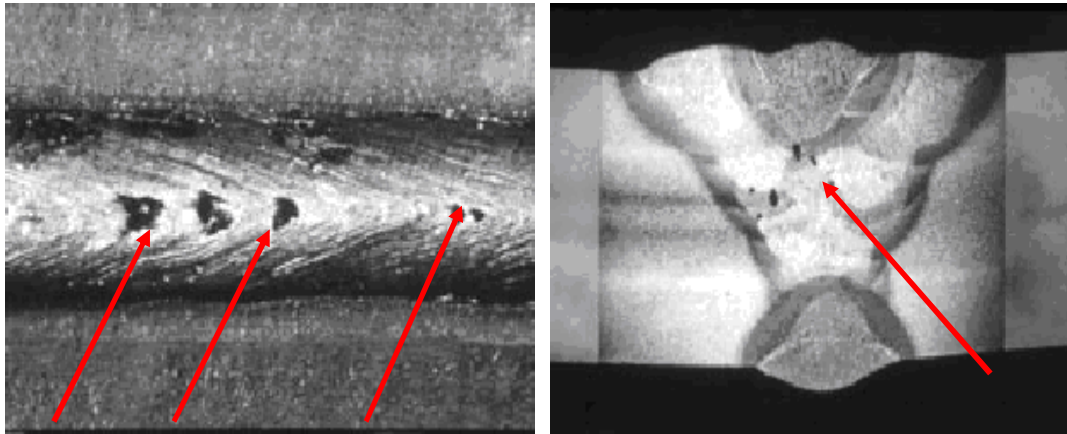
Şekil 3.16 Hardox kaynağında sıçramalar

Sıçramanın başlıca sebebi metal kaybı ve temizleme için harcanan zamandır. Bu hatanın, bağlantının mukavemeti üzerine görünür bir tesiri yoktur. Sıçramayı önlemek için kaynak yerini veya esas metali bir keski yahut fırça ile temizlemek yeterli olur.

3.5.5. Gözenekler

Gözenekler(Gaz kabarcıkları), kaynak yaparken dikişin içerisinde sıkışan gazların husule getirdikleri boşluklardır. Bunlar ya gaz kabarcığı denilen tek tek yuvarlak veya gaz kanalı tabir edilen uzunlamasına boşluklardır.

Bir kaynak dikişinde gözeneklerin meydana gelmesine tesir eden birçok faktörler mevcuttur. Bunların başlıcalarını şöyle sıralayabiliriz; Esas metalin kimyasal bileşimi, ilave metalin kimyasal bileşimi, esas ve kaynak metalinin ihtiva ettiği kükürt miktarı, düşük akım şiddeti ile çalışma, çok uzun veya çok kısa ark boyları ile kaynak yapma, erimiş kaynak banyosunun çabuk soğuması, kaynak ağızlarının kirli olması. Gibi bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından mukavemetini de düşürür. Aynı zamanda lokal gerilme birikmelerine sebep olur. Dolayısıyla da bağlantının mekanik özelliklerini fenalaştırır. Gözenekler bilhassa yorulma mukavemetini düşürür. Fakat dağılmış haldeki küçük gözenekler, birleştirmenin statik mukavemetine fazla tesir etmez.



Dış yüzeydeki gözenekler

iç yüzeydeki gözenekler

Şekil 3.17 Hardox kaynağında gözenekler

Fazla gözenekli dikişler çıkartılarak yeniden kaynak yapılabilir. Yeni açılan oyuğun, elektrodun hareketine müsait olması ve iyi bir nüfuziyet sağlaması gerekir. Kaynaktan önce ağızlar iyice temizlenmelidir.

3.6. Hardox Aşınma Levhasının Mig-Mag Yönteminde Kaynak Elektrotları

Bu yöntemde tüm elektrotlar tel halindedir ve bir kangala sarılmış olarak makineye takılır. Kangal büyüklükleri ve tel çapları standartlarla saptanmıştır. Son yıllarda, kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek için çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere özlü veya kenetli elektrot diye isimlendirilen bir tür geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak çelikten ince bir şeridin, ferroaliyaj ve dekapanlar ile beraberce kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilmişlerdir. Bu şekilde tel halinde üretilmesi güç ve imkansız bileşimdeki alaşımlar dahi kolaylıkla elektrot haline getirilebilmekte ve daha geniş bir spektrumda elektrot üretimi mümkün olabilmektedir.

3.6.1. Mig-Mag kaynak yönteminde elektrot seçimi

Eriyen elektrot ile gaz altı kaynak yönteminde en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrotun seçimidir. Bu kaynak yönteminde tel ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır, bu bakımdan elektrot seçiminde aşağıda belirtilmiş olan hususlar göz önüne alınmak zorundadır.

Elektrot seçimini etkileyen en önemli faktör esas metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimidir. Esas metalin bu özellikleri bilinmediği zaman görünüşü, ağırlığı, manyetik özelliği ile kama testi, kırma ve kıvılcım testi gibi basit atölye testleri ile bu konuda bir fikir edinilebilirse de, özellik gerektiren işlerde, kimyasal bileşimin muhakkak bir analiz ile saptanması gereklidir. Elektrot seçimi aşağıda belirtilmiş olan kriterler göz önünde bulundurularak yapılır.

3.6.2. Az alaşımlı mig-mag telleri (Gaz altı kaynak telleri)

Az alaşımlı çeliklerin MAG kaynağı için üretilen "Gaz altı Kaynak Telleri" dairesel kesitli, üzerleri bakır kaplı olarak üretilirler. Bu teller kaynak esnasında yanma kayıplarını dengelemek ve oluşabilecek gözenekleri önlemek amacıyla yüksek mangan(Mn) ve yüksek silisli(Si) olarak imal edilirler. Bundan dolayı MAG yönteminde kullanılan kaynak telleri, yüksek Mn ve yüksek Si içeren özel kaliteli

teller diye de anılır. 0,6 - 0,8 - 1,0 - 1,20 - 1,60 - 2,0 ve 2,40 mm Ø çaplarında imal edilirler. 15kg'lık tel kafes makaralara sarılarak piyasaya verilirler. 50 veya 250kg'lık variller içinde (ROBOWIRE) de piyasaya verilir

3.6.2.1. SG2 masif telleri

Birleştirme amaçlı alaşımsız gaz altı kaynak telleridir. Sınıflandırılmaları çeşitli normlarda Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. SG2 tellerinin sınıflandırılması

AWS A5.18 : ER 70S-6	TS 5618 : SG 2	DIN 8559 : SG 2	EN 440: G3 Si1
----------------------	----------------	-----------------	----------------

Tablo 3.6. SG2 kaynak telinin ulusal ve uluslararası onay sertifikaları

TL	LRS	GL	DnV	BV	ABS	TÜV	DB
----	-----	----	-----	----	-----	-----	----

Tablo 3.7. SG2 kaynak telinin kimyasal bileşimi(%)

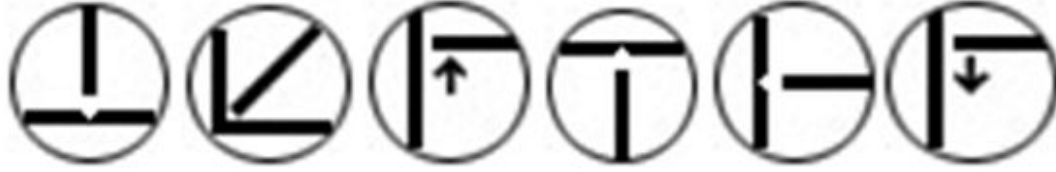
C:	Mn	Si	P	S	Cu
0.07-0.10	1.4-1.6	0.7-1.0	<0.025	<0.025	<0.30

Tabo 3.8. SG2 kaynak telinin tipik mekanik özellikleri

Akma	Çekme	Darbe Enerjisi	Uzama
Mukavemeti	Mukavemeti	ISO-V	(I _o =5d _o)
(N/mm ²)	(N/mm ²)	(J)	(%)
450	550	80(-20°C)	28

SG2 kaynak telleri, depolama tankı, otomobil ve kamyon karoserisi, tarım ekipmanları, yapı çelikleri ve karbonlu çeliklerden yapılacak konstrüksiyonlar gibi universal uygulamalara uygun üzeri bakır kaplı yumuşak çelik tel elektrotlardır. Yüksek akımla kaynak kapasitesine bağlı olarak yüzeyi tufalli ve paslı çelik sacların sıkça kaynak edildiği genel atölye uygulamalarında ince ve kalın sacların kaynağı için önerilir. Sıçrantısız metal geçişi ve güçlü dezoksidasyon elementlerinin içeriği ile

Argonca zengin Ar/CO₂ karışım gazlar veya sadece CO₂ gazı ile mükemmel kaynak edilebilirlik sağlarlar. Şekil 3.18'de SG2 Telinin uygulandığı pozisyonlar görülmektedir.



Şekil 3.18. SG2 telinin uygulandığı pozisyonlar[6]

3.6.2.2. SG3 masif telleri

Birleştirme amaçlı alaşımsız gaz altı kaynak telleridir. Sınıflandırılmaları çeşitli normlarda Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. SG3 tellerinin sınıflandırılması

AWS A5.18 : ER 70S-6	TS 5618 : SG3	DIN 8559 : SG3	EN 440: G4 Si1
----------------------	---------------	----------------	----------------

Tablo 3.10. SG3 kaynak telinin ulusal ve uluslararası onay sertifikaları

TL	LRS	GL	DnV	BV	ABS	TÜV	DB
----	-----	----	-----	----	-----	-----	----

Tablo 3.11.SG3 kaynak telinin kimyasal bileşimi(%)

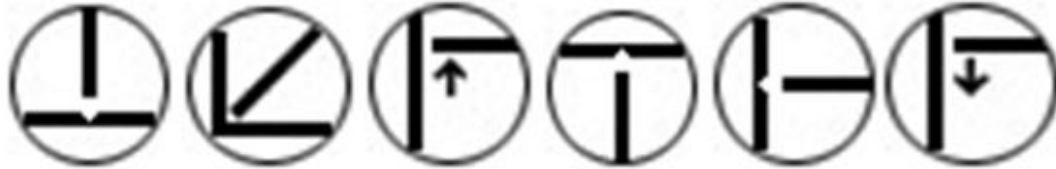
C:	Mn	Si	P	S	Cu
0.07-0.10	1.6-1.9	0.8-1.2	<0.025	<0.025	<0.30

Tablo 3.12. SG3 kaynak telinin tipik mekanik özellikleri

Akma	Çekme	Darbe Enerjisi	Uzama
Mukavemeti	Mukavemeti	ISO-V	(I _o =5d _o)
(N/mm ²)	(N/mm ²)	(J)	(%)
480	590	80(-40°C)	26

SG3 kaynak telleri, depolama tankı, otomobil ve kamyon karoserisi, tarım ekipmanları, yapı çelikleri ve karbonlu çeliklerden yapılacak konstrüksiyonlar gibi universal uygulamaları ile döküm ve dövme parçalardaki hataların giderilmesi uygun

üzeri bakır kaplı yumuşak çelik tel elektrotudur. Yüksek akımla kaynak kapasitesine bağlı olarak yüzeyi tufalli ve paslı çelik sacların sıkça kaynak edildiği genel atelye uygulamalarında ince ve kalın sacların kaynağı için önerilir. Sıçrantısız metal geçişi ve güçlü dezoksidasyon elementlerinin içeriği ile Argonca zengin Ar/CO₂ karışım gazlar veya sadece CO₂ gazı ile mükemmel kaynak edilebilirlik sağlar[6]. Şekil 3.19’da SG3 Telinin uygulandığı pozisyonlar görülmektedir.



Şekil 3.19. SG3 telinin uygulandığı pozisyonlar[6]

3.6.2.3. Özlü teller

Özlü teller, içinde kaynak tozu olan boru biçimindedir. MIG/ MAG kaynağında kullanılan teçhizat ve koruyucu karbondioksit veya karışım gazları ile kaynak yapılır. Telin içindeki öz, örtülü Elektrotun tüm esnekliğini bu kaynak teline verir. Her pozisyonda kaynak mümkündür, özden kaynak dikişi alaşımlandırılabilir, otomasyona ve açık havada yapılan kaynaklara elverişlidir.

Arctech özlü telleri petrol boru hatlarının orbital kaynağında başarı ile kullanılır. Arctech’ in pazarladığı özlü teller kenetsiz ve dikişsiz olup özü fluxla doldurulmuş borulardan üretilmekte, bu nedenle de üretimin son aşamasında, bakır banyosuna girerek bakır kaplanabilmektedir. Böylece bu tel, depolamada kenetli teller gibi nemden etkilenmez ve telin üzeri bakırla kaplandığından torç elemanlarını en az oranda aşındırır. Üretim sürecinde, öz doldurulduktan sonra tele normalizasyon tavı uygulandığından, öz hidrojeninden tamamen arındırılmıştır ve bu nedenle kaynak dikişi en yüksek mekanik değerlere sahip olmaktadır. Özlü teller 5 ve 15 kg’lık makaralara sarılıdır. İmal edildiği çaplar: 1.20 ve 1.60mm Ø

Özlü tellerle yapılan ark kaynağı, örtülü çubuk elektrotlarla yapılan ark kaynağına göre pek çok avantaja sahip olup, toz altı ve gaz altı kaynağına göre de bazı bakımlardan daha üstündür. Bu avantajlar; Yüksek ergime gücü-yüksek akım

yoğunluğu, yüksek kaliteli kaynak metali, mükemmel dikiş görünüşü-düzgün ve pürüzsüz dikişler, kolayca mekanize edilebilmesi, Bazı tür özlü elektrotlar koruyucu gaz gerektirmezler, bu da tesisatın basitleşmesine olanak sağlar. Şantiye çalışmalarında rüzgara karşı daha az hassastırlar. Örtülü elektrotların bütün avantajlarına sahiptir. Kocan kaybı ve elektrot değiştirmedeki zaman kaybı gibi dezavantajları yoktur. Örtülü çubuk elektrotla ark kaynağına göre daha az çarpılma ve iç gerilmelere sahiptirler. Öze ilave edilen alaşım elementleri yardımıyla her malzeme için istenen bileşimde kaynak metali verecek elektrot üretmek mümkündür. Bu avantajların yanında özlü telle ark kaynağının dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar: Uzaklaştırılması gereken bir curuf oluşturur. Özlü elektrotlar aynı ağırlıktaki masif elektrotlara nazaran daha pahalıdır. Kullanılan ekipman, örtülü elektrotla ark kaynağında kullanılabildiği kadar daha karmaşık ve daha pahalıdır. Ancak artan verim bunu dengelemektedir. Gaz altı ve toz altı ark kaynak yöntemlerine göre daha fazla kaynak dumanı oluşturur[6]. Şekil 3.20’de özlü Telin uygulandığı pozisyonlar görülmektedir.

Tablo 3.13. Özü kaynak tellerinin sınıflandırılması

EN 758: T46 2 P C H5 / T46 4 P M 1 H5	DIN 8556: SG R1 C Y 4643/SGR1 M21 Y 4643	AVS/ASME-SFA-5.20:E 71 T-1
--	---	-------------------------------

Tablo 3.14. Özlü kaynak tellerinin ulusal ve uluslararası onay sertifikaları

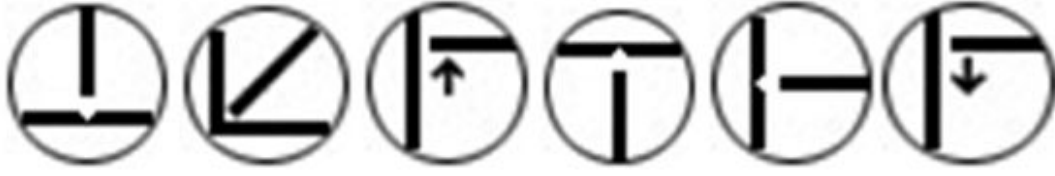
TL	LRS	GL	DnV	BV	ABS	TÜV	DB
----	-----	----	-----	----	-----	-----	----

Tabo 3.15. Özlü kaynak tellerinin kimyasal bileşimi(%)

C	Mn	Si	p	Ni
0.05	1.3	0.5	<0.015	<0.015

Tablo 3.16. Özlü kaynak tellerinin tipik mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Darbe Enerjisi ISO-V (J)	Uzama Io=5do (%)
> 460	550-650	20° C: > 60	>22



Şekil 3.20. Özlü Telin uygulandığı pozisyonlar[6]

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMAR

4.1. DeneYlerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan ana malzeme brinel sertlik değeri değeri 400 HB olan ve ticari adı HARDOX 400 olarak binen aşınmaya dayanıklı çelik levhalar kullanılmıştır. HARDOX 400 çeliğinin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri Tablo 4.1’de ve Tablo 4.2’de de verilmiştir.

Tablo 4.1. DeneYlerde kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu[5]

Ana Malzeme	Kimyasal İçerik (% ağırlık)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
HARDOX 400	0,18	0,50	1,40	0,005	1,5	0,60	1,2	0,015

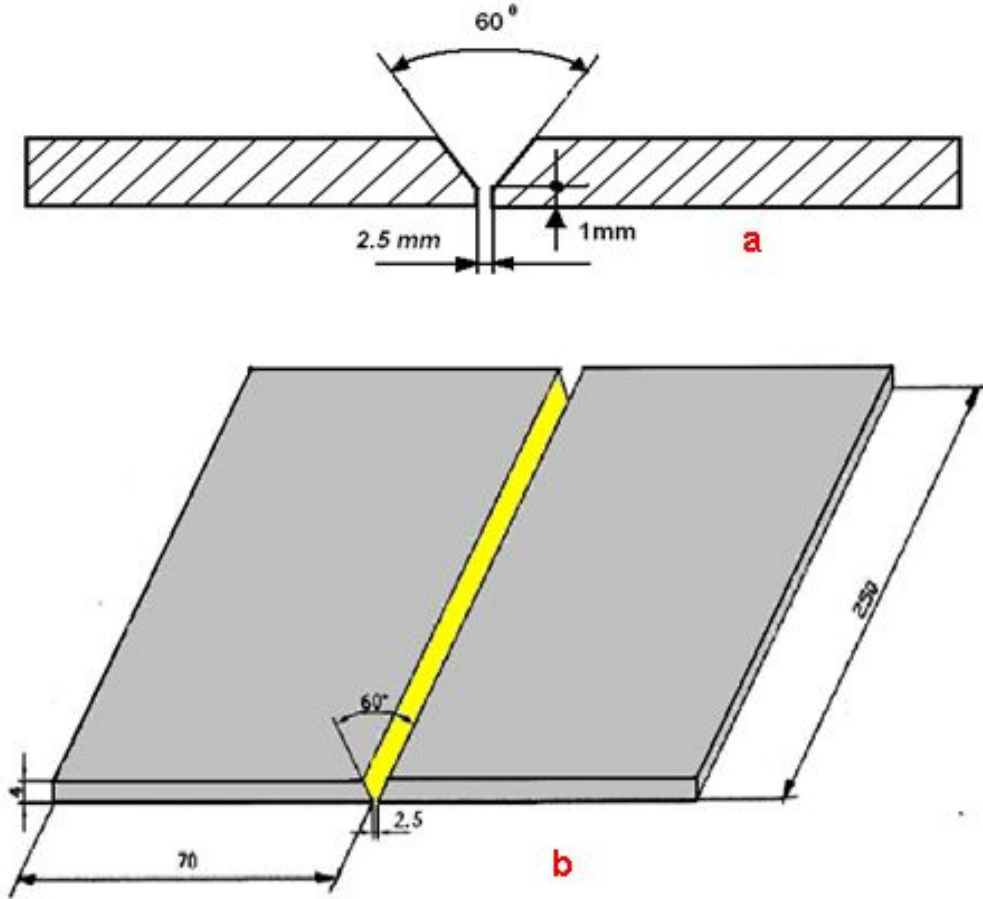
Tablo 4.2. DeneYlerde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri[5]

Ana Malzeme	Sertlik (HB)	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
HARDOX 400	360 - 440	1000	1250	10

4.2. Birleştirme İşlemi

HARDOX 400 aşınmaya dayanıklı çelik levhalar, önce 70 x 250 x 4 mm ebatlarında lazer ile kesilmiştir. Şekil 4.1’de gösterildiği gibi her bir levhanın birleştirme yüzeyleri, 30°’lik kaynak ağzı ve 1 mm kök yüksekliği olacak şekilde hazırlanmıştır. Birleştirme işlemi, yatay pozisyonda ve küt alın formunda MAG gazaltı kaynak yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kaynak öncesi, levhaların birleştirme yüzeylerine yakın bölgelerdeki boyalı yüzeyler, fırça ile iyice temizlenmiştir. Temizlenen

levhalar arasında 2.5 mm'lik kök aralığı bırakılarak, düzgün bir levha üzerine işkence yardımıyla sabitlenmişlerdir. Kaynak öncesi ön tav uygulanmamıştır.



Şekil 4.3. Birleştirilecek levhaların (a) kesit görünüşü ve (b) birleştirme şekli

MAG gazaltı kaynak yönteminde koruyucu gaz olarak, %87.5 Argon ve %12.5 CO₂ gaz karışımı kullanılmıştır. Birleştirme işleminde iki farklı masif kaynak teli ve bir özlü kaynak teli kullanılarak, birleştirme mukavemeti üzerine bu farklı kaynak tellerinin etkileri incelenmiştir. Masif kaynak teli olarak Tablo 4.3'te verilen TS 5618/EN 440 standardına göre belirlenmiş kimyasal içerikleri verilen SG2 ve SG3 kaynak telleri kullanılmıştır. Özlü kaynak teli olarak Tablo 4.4'te gösterilen TS 5618/EN 758'e standardına göre belirlenmiş kimyasal içerikleri verilen E 71 T-1 özlü kaynak teli kullanılmıştır.

Tablo 4.4. TS 5618 / EN 440'a göre SG2 ve SG3 kaynak tellerinin kimyasal içerikleri[6]

Masif Kaynak Teli	Kimyasal içerik (% ağırlık)					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
SG2	0.07-0.10	0.7-1.0	1.4-1.6	< 0.025	< 0.025	< 0.30
SG3	0.07-0.10	0.8-1.2	1.6-1.9	< 0.025	< 0.025	< 0.30

Tablo 4.5. TS 5618 / EN 758'e göre özlü tel kaynak telinin kimyasal içeriği[6]

Özlü kaynak Teli	Kimyasal içerik (% ağırlık)				
	C	Si	Mn	P	Ni
E 71 T-1	0.05	0.5	1.6-1.9	< 0.015	< 0.015

4.3. Kaynak Parametreleri

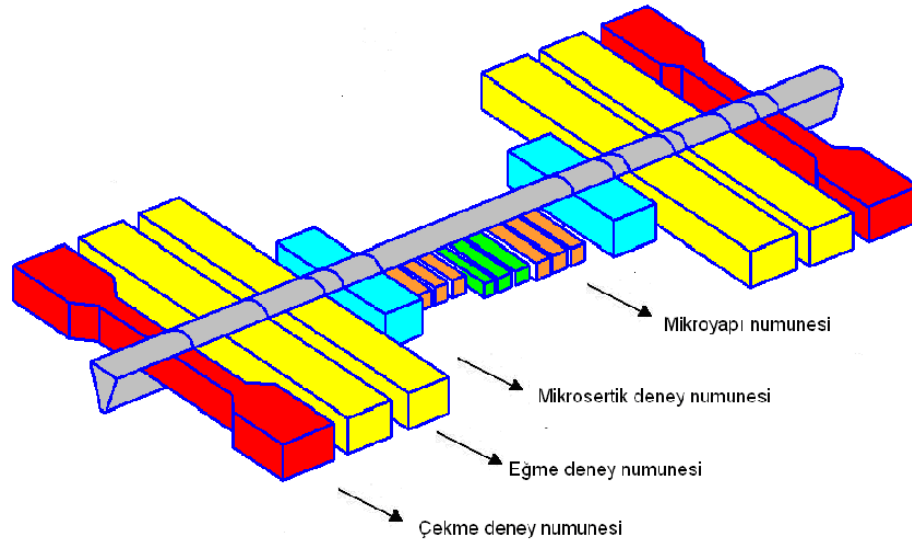
MAG yöntemi ile birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin, SG2, SG3 ve E 71 T-1 özlü kaynak telleri ile birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Koruyucu gaz debi olarak 15 litre/dak. Tercih edilmiştir. Gerek masif kaynak telleri gerekse özlü kaynak teli ile yapılan birleştirmelerde karşılaştırma işleminin yapılmasında faydalı olacağı kanaatiyle benzer kaynak parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 4.6. HARDOX 400 çeliğinin SG2, SG3 ve E 71 T-1 özlü tellerle birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri

Paso	Kaynak Teli	Kaynak Teli Çapı (mm)	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Gerilimi (V)	Akım Tipi/ Polarizasyon	Kaynak Hızı (cm/dk)
Kök ve kapak paso	SG1	0,8 mm	130 ±5	20± 5	DC (+)	30
	SG2	0,8 mm	130 ±5	20± 5	DC (+)	30
	E 71 T-1	0,8 mm	130 ±5	20± 5	DC (+)	30

4.4. Kaynaklı Parçalardan Deney Numunelerinin Çıkarılması

Kaynak işleminden sonra yapılacak olan mikroyapı, mikrosertlik, eğme ve çekme deney işlemleri için birleştirilen levhalardan numuneler hazırlanmıştır. Birleştirilen levhaların Şekil 4.2'de gösterilen bölgelerinden, her bir deney numunesi için ikişer adet deney numunesi hazırlanmıştır. Birleştirilen tüm levhalar dikkate alındığında her bir kaynak teli ile birleştirilen levhalardan ikişer adet deney numunesi alınmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde iki numunenin ortalama değerleri alınmıştır. Mikro yapı incelemeleri için hazırlanan numuneler daha sonra sertlik numunesi olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Birleştirilen levhalar üzerinden alınan deney numuneleri

4.5. Mikroyapı Deneyi Numunelerinin Hazırlanması

Kaynak metali mikro yapısını incelemek amacıyla her kaynak çeşidinden 2 adet olmak üzere toplam 6 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler kaynak dikişine dik yönde kesilmiştir. Numuneler metalografik inceleme yapılmak üzere kaplama ortamına alındı. İçeriğinde reçine ve sertleştirici bulunan epoksi kaplama malzemesi ile numuneler soğuk kalıba alındı ve donmaya bırakıldı, yaklaşık 6-8 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak metalografik incelemeye alındı. Bakalite alınan numuneler öncelikle SiC su zımparaları ile kaba ve ince zımparalama kademesinden

geçirildi. Bu işlemde kaba zımparadan başlanarak ince zımparaya doğru işlem yapıldı. Zımparalama işlemi esnasında numuneler 90° döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için Metkon Gripo 2 (Şekil 4.3) marka zımparalama çarkı ve sırasıyla 80, 150, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200'nolu zımparalar kullanıldı. Zımparalama işlemi yapılırken, numunenin ısınmasını önlemek ve numune yüzeyi ile zımpara arasında homojen temasın sağlanması amacıyla bu aşamalar sürekli su ilavesi şeklinde gerçekleştirildi.



Şekil 4.3. Metkon Gripo 2 zımpara çarkı

4.5.1.Kaba ve nihai parlatma işlemi

Zımparalama işlemi tamamlanan numuneler parlatma cihazında alümina süspansiyonu kullanarak parlatılmıştır. Kaba ve nihai parlatma işlemi için 750 devir/dakika dönme hızına sahip, Struers Dap-7 marka parlatma çarkı kullanıldı. Çarkın diski yumuşak yüzeyli çuha ile kaplandı. Daha sonra kaba ve ince zımparalama işleminden geçirilen numuneler parlatma işleminden geçirildi. Bu aşamada aşındırıcı olarak su ile süspansiyon olunan alümina kullanıldı. Şekil 4.4'de Mikroyapı incelemesi için bakalite alınmış kaynaklı numuneler görülmektedir.



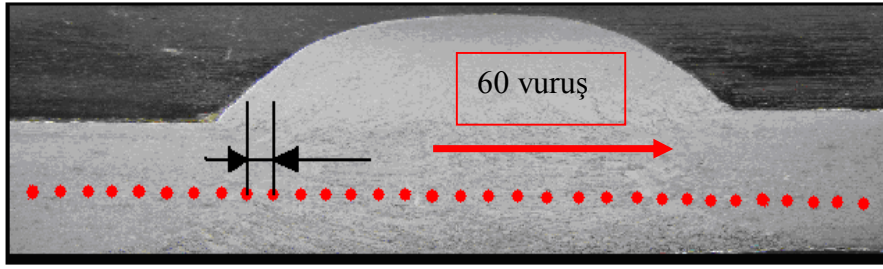
Şekil 4.4. Mikroyapı incelemesi için bakalite alınmış kaynaklı numuneler

4.5.2. Dağlama işlemi

Parlatmadan işlemi yapılan numunelerin yüzeyi ışığı eşit bir şekilde dağıttığından, mikroskopik incelemelerde yapıdaki ayrıntılar ayırt edilemez. Bu sebeple yapıda kontrast oluşturmak amacıyla parlatılan numuneler dağlama işleminden geçirildi. Bu işlem için dağlama reaktifi olarak Nital (%5 HNO₃ ile %95) alkol karışımı kullanıldı. Dağlanan numuneler optik mikroskopta incelenerek istenilen büyültmelerde fotoğraflandırılmıştır. Kalıplanmış ve dağlanmış numune Şekil 4.4.'de örnekleri aşağıda gösterilmiştir.

4.6. Mikrosertlik Deney Numunelerinin Hazırlanması

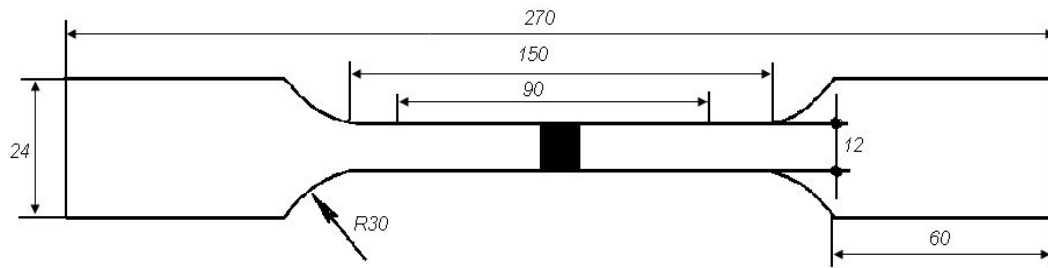
Deneysel çalışmalarda kullanılan HARDOX 400 çelik levhaların ana malzeme ve kaynak bölgesine ait mikrosertlik ölçümleri, Shimadzu marka HMV-2 model cihaz kullanılarak alınmıştır. Mikrosertlik işlemi 10 saniye bekleme süresinde 100 gr yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı incelemeleri için hazırlanan numuneler sertlik numunesi olarak da kullanılmıştır. Vickers mikrosertlik (Hv) ölçümleri, levha kalınlığı dikkate alınarak levha merkezinden olacak şekilde ve 0,5 mm mesafelerden alınmıştır. Şekil 4.5'te sıra toplamda 60 vuruşun yapıldığı sertlik ölçüm işleminin numune üzerinde uygulanışı gösterilmektedir.



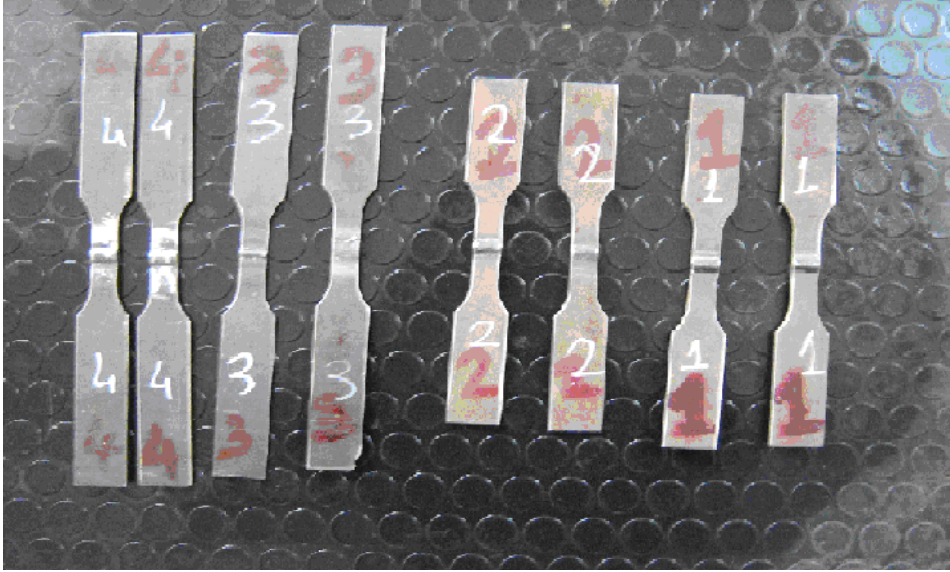
Şekil 4.5. Mikrosertlik ölçümünde mikro yapı inceleme noktaları

4.7. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması

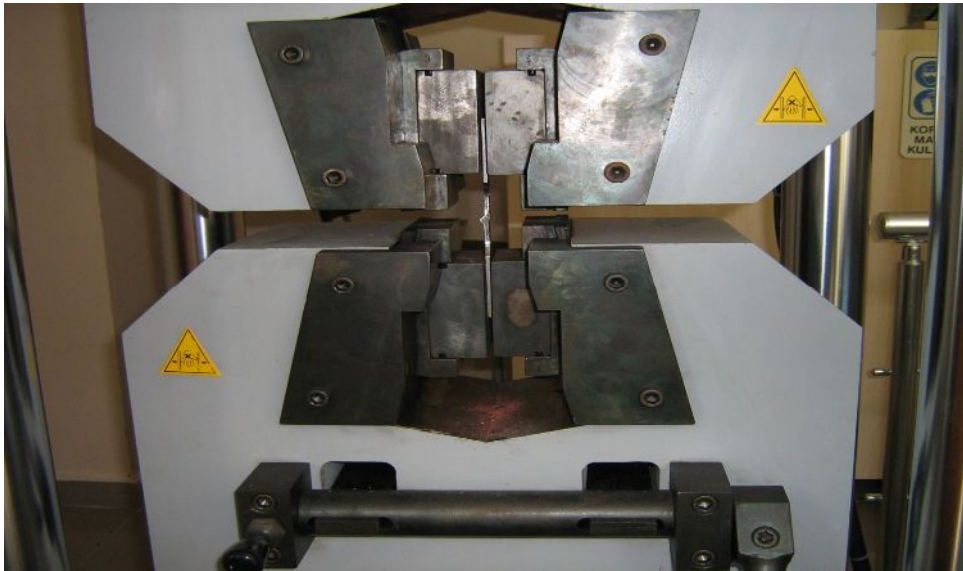
Çekme deney numunelerinin hazırlanmasında freze tezgahı kullanılmıştır. SG2, SG3 ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen levhaların her birinden 2 adet olmak üzere toplam 6 adet çekme deney numunesi hazırlanmıştır. Masif ve özlü gazaltı kaynak telleriyle birleştirilmiş numunelerin çekme numune ölçüleri TS 287 (EN 895) standardına göre Şekil 4.6.'da gösterilen ebatlarda hazırlanmıştır [30]. Şekil 4.7'de ise hazırlanan çekme numuneleri gösterilmektedir. Kaynaklı numunelerin çekme deneyleri Endüstriyel Denetim Kalite Kontrol malzeme muayene laboratuvarında 60 ton'luk Instron SATEL çekme cihazında (Şekil 4.8) yapılmıştır. Çekme deneyi süresince çekme hızı, 5 mm/dk olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 4.6. Kaynaklı numunelere ait çekme deney numunesi boyutları



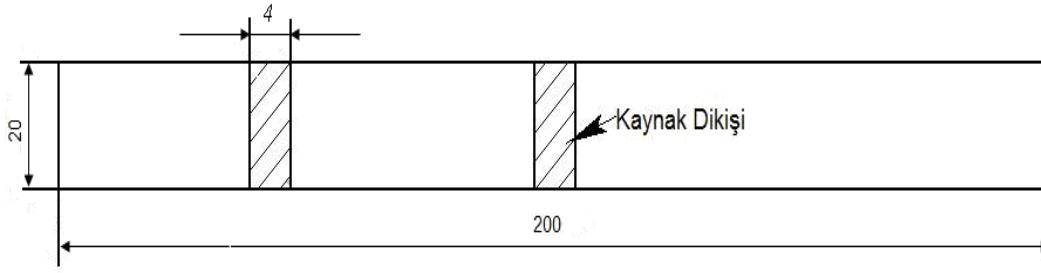
Şekil 4.7. Çekme deney numuneleri



Şekil 4.8. Hardox 400 çekme deney numuneleri ve çekme deney cihazı

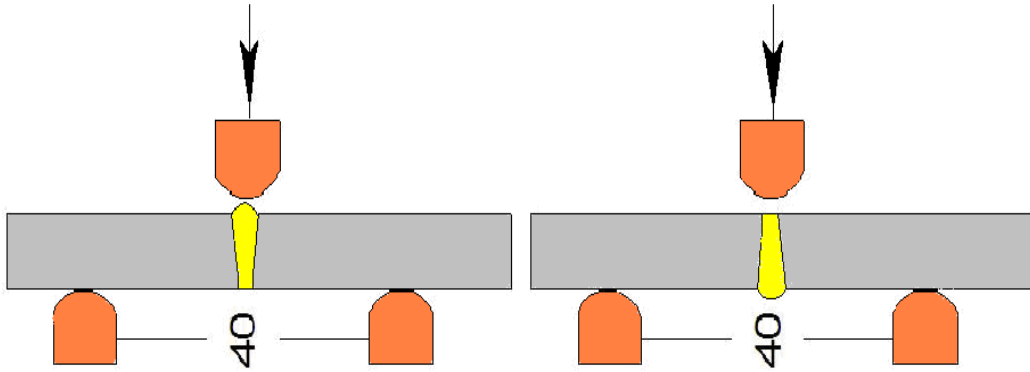
4.8. Eğme Deney Numunelerinin Hazırlanması

Eğme deney numunelerinin hazırlanmasında freze tezgâhı kullanılmıştır. SG1, SG2 ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen levhaların her birinden 2 adet olmak üzere toplam 6 adet eğme deney numunesi hazırlanmıştır. TS 282 (EN 910)'de belirtilen şartlara göre Şekil 4.9'da gösterilen ebatlarda eğme deney numuneleri hazırlanmıştır [30]. Eğme deneyi, EMEK BORU A.Ş malzeme muayene laboratuvarında 40 ton'luk Heckert eğme cihazında yapılmıştır.



Şekil 4.9. Eğme deney numunesi boyutları (boyutlar mm)

Eğme deneyi işleminde numune kaynak pasosu ve kök pasosu yüzeylerinden olmak üzere iki farklı tarz kullanılmıştır. Birinci tarzda kaynaklı numunelerin kök kısmı alt tarafa gelecek şekilde silindir mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve kapak pasu tarafından mandrel ile kuvvet uygulanmıştır. (Şekil 4.10 (a)). İkinci tarzda kaynaklı numunelerin kapak pasu kısmı alt tarafa gelecek şekilde silindir mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve kök pasu tarafından mandrel ile kuvvet uygulanmıştır (Şekil 4.10. (b)).



(a) Kapak pasodan eğme deneyi

(b) Kök pasodan eğme deneyi

Şekil 4.10. Eğme deneyi prensip şeması

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyi kaynaklız HARDOX 400 ana malzeme levhasına, SG2, SG3 ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen levhalardan alınan kaynaklı numunelere uygulanmıştır. Elde edilen çekme deneyi sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.1’de HARDOX 400 ana malzemeye ait, Şekil 5.2’de SG1 kaynak teli ile birleştirilen numuneye ait, Şekil 5.3’te SG3 kaynak teli ile birleştirilen numuneye ait ve Şekil 5.4’te ise özlü tel ile birleştirilen numuneye ait gerilme - % uzama eğrileri verilmiştir. Tablo 5.1’de görüleceği gibi HARDOX 400 ana malzemenin çekme mukavemeti 1240 MPa, akma mukavemeti 980 MPa ve yüzde uzama miktarı ise %9 olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.2’de üretici firma tarafından taahhüt edilen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Yalnız yüzde uzama miktarı %10 olarak taahhüt edilmesine rağmen, yapılan çekme deneyinde bu değerin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak ana malzemenin istenilen mekanik özelliklere sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 5.1. Çekme deney sonuçları

Malzeme	Çekme mukavemeti (MPa)	Akma mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Kopma bölgesi
HARDOX 400 ana malzeme	1240	980	9 ±1	Ana malzeme
SG2 ile birleştirilmiş HARDOX 400	660±8	550±10	6±1	ITAB
SG3 ile birleştirilmiş HARDOX 400	850±10	550±10	4±1	ITAB
Özlü Tel ile birleştirilmiş HARDOX 400	820±10	550±10	4±1	ITAB

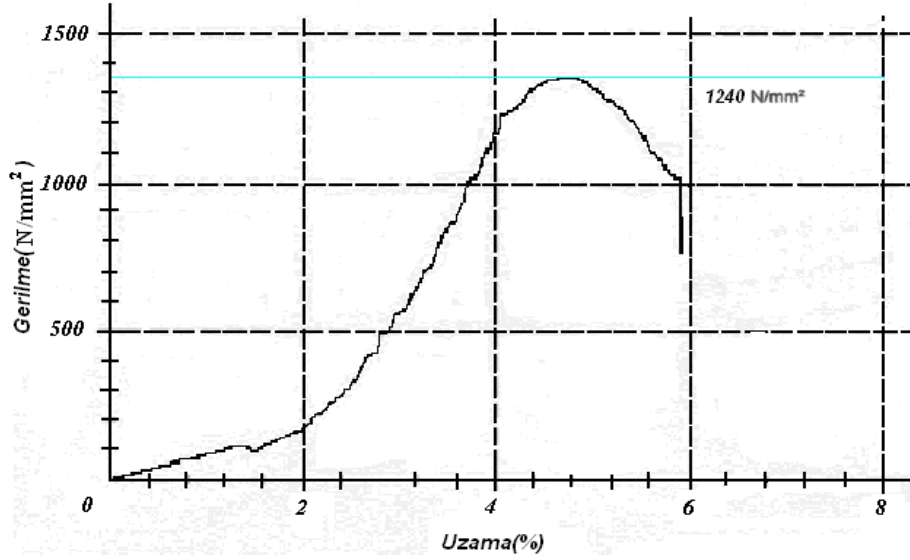
SG2, SG3 ve özlü kaynak telleri ile birleştirilmiş HARDOX 400 levhanın kaynak bölgesini içeren numuneleri üzerinde yapılan çekme deneyleri sonucunda elde edilen mukavemet değerleri, HARDOX 400 ana malzemenin mukavemet değerlerinde düşük çıktığı belirlenmiştir. Çekme deney numunelerinin koptuğu bölge incelendiğinde, kopmanın ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) içerisinde meydana geldiği görülmüştür(Şekil 5.5). Dolayısıyla ısı tesiriyle ITAB içerisinde meydana gelebileceği düşünülen tane büyümesi ve mikroyapı değişimi gibi metalurjik etkenler sebebiyle kaynaklı levhanın en zayıf mukavemet değerine sahip olduğu düşünülen ITAB'tan malzeme hasara uğramıştır. Böylece elde edilen mukavemet değerleri de ana malzemenin mukavemet değerleri ile karşılaştırıldığında daha düşük çıkmıştır.

SG2 kaynak teli ile birleştirilen levhaların birleştirme mukavemet değerleri, SG3 ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen levhaların değerleri ile karşılaştırıldığında daha düşük bir mukavemet değeri belirlenmiştir. SG2 kaynak teli ile birleştirilen levhalar 600 MPa civarında çekme mukavemetine sahip olurken, SG3 ve özlü tel ile birleştirilen levhalar 800 MPa'ın üzerinde bir çekme mukavemetine sahip oldukları belirlenmiştir.

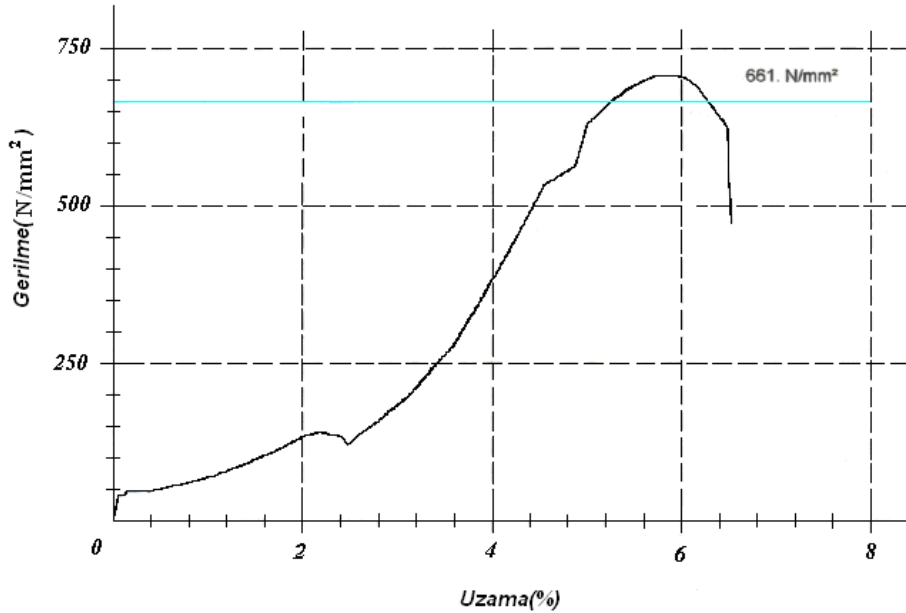
Özlü kaynak teli ile birleştirilen levhaların mekanik özellikleri, SG3 kaynak teli birleştirilen levhalarla karşılaştırıldığında, SG3 kaynak teli ile birleştirilen levhaların mekanik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuç olarak SG2 kaynak teli ile birleştirilen HARDOX 400 malzemesinin mekanik özellikleri, diğer iki kaynak teline göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu malzemenin birleştirilmesinde SG3 kaynak telinin kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Masif ve özlü teller ile birleştirilmiş olan hardox çeliklerinin çekme deneyi sonucunda oluşan gerilme-uzama grafikleri aşağıda görülmektedir. Hardox ana malzemeye ait gerime-uzama grafiği Şekil 5.2.'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kopma işleminin ITAB'dan gerçekleşmesinden dolayı kaynaklı numunelerin tümünde elde edilen akma, çekme ve % uzama miktarlarının yakın özellikte görüntüye sahip olduğu görülmektedir. Masif tel ile birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen grafik incelendiğinde en düşük çekme mukavemetinin SG2 teli ile kaynatılmış olan numune olduğu görülmektedir

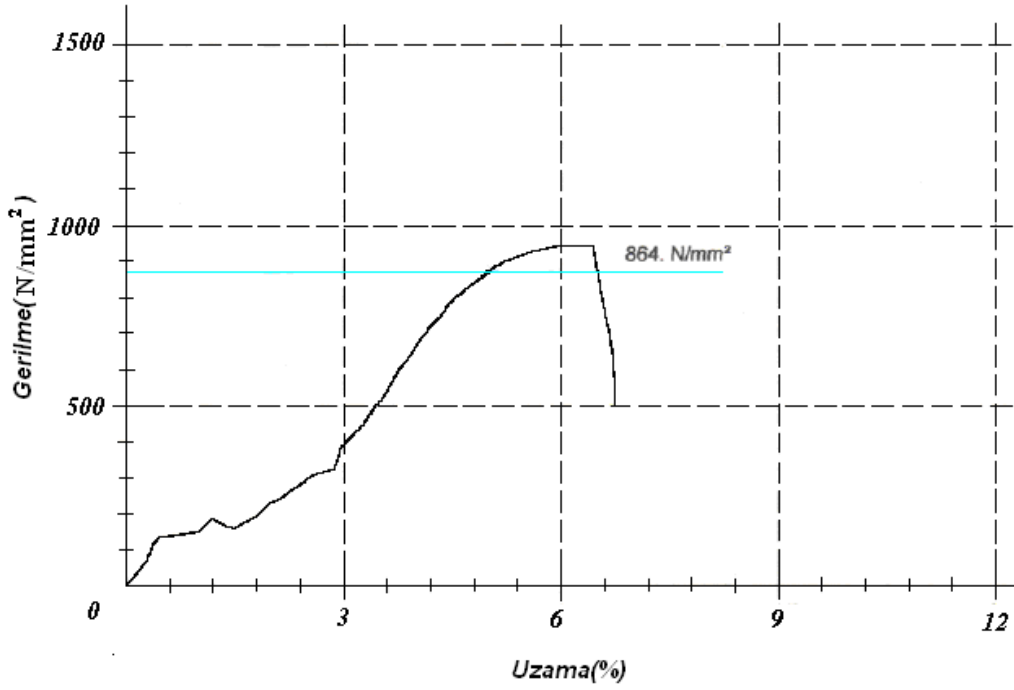
(Şekil 5.3). Özlü tel ve SG3 teli ile kaynatılmış numunelerin çekme mukavemetlerinin SG2 teline nazaran daha fazla olduğu görülmektedir. En yüksek çekme mukavemet değeri 888 MPa ile SG2 teli ile birleştirilmiş olan numuneye aittir Akma, çekme mukavemeti ve % uzama sonuçlarının (Gerilme- % Uzama) grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



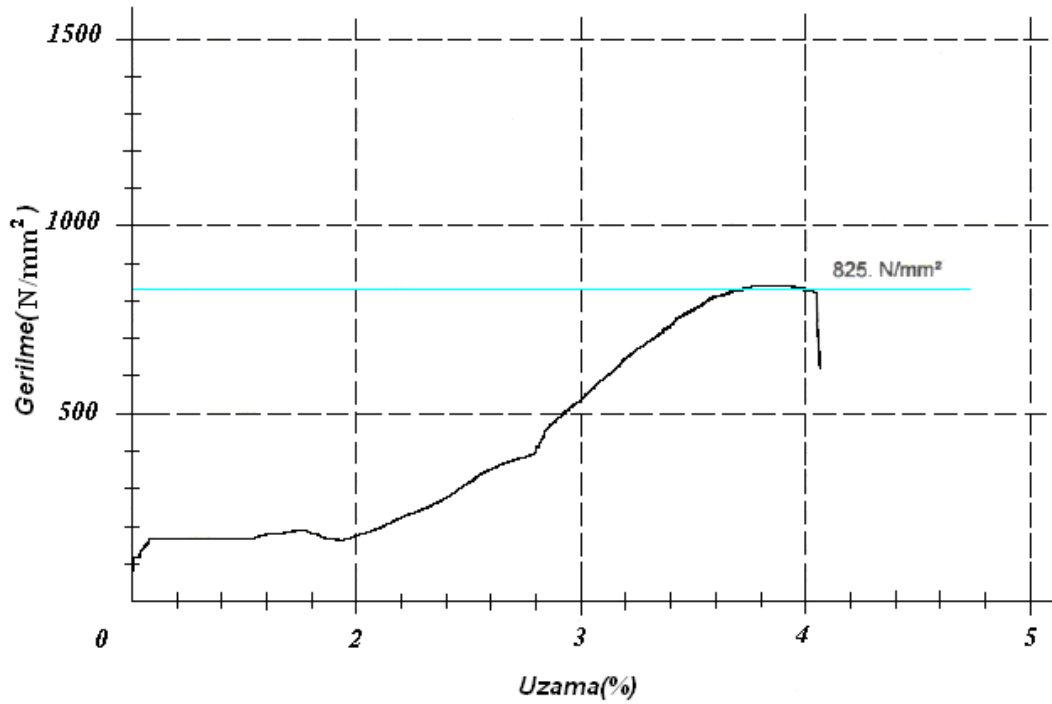
Şekil.5.1. HARDOX 400 ana malzeme ait gerilme - % uzama eğrisi



Şekil. 5.2. SG2 kaynak teli ile birleştirilmiş HARDOX 400 levhaya ait gerilme - % uzama eğrisi



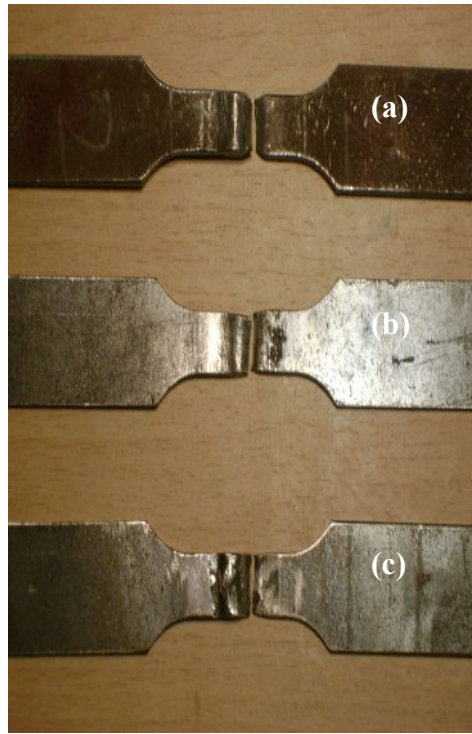
Şekil. 5.3. SG3 kaynak teli ile birleştirilmiş HARDOX 400 levhaya ait gerilme - % uzama eğrisi



Şekil. 5.4. Özlü kaynak teli ile birleştirilmiş HARDOX 400 levhaya ait gerilme - % uzama eğrisi

Bilindiği üzere aynı bileşim ve farklı çekme boylarında yapılan çekme boylarında yapılan çekme testleri sonucu, eğer çekme hızı sabit ise çekme boyu kısa olan malzeme hızlı pekleşmeden dolayı daha yüksek dayanım gösterir. Çalışmalarımızda,

çekme numuneleri standartlara uygun olarak hazırlandığından, kaynaklı numunelerdeki ana malzemenin daha sert olması nedeniyle defermasyon ana malzemenin dışında ve ITAB'da meydana gelmektedir. Defermasyonun dar bir bölgede meydana gelmesi de dayanımın yüksek değerler göstermesine neden olmuştur. Kopma ITAB'dan olmasına rağmen, kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinin düşük çıkmasının sebebi ana malzemenin çekme deneyi sırasında defermasyona uğramamasından kaynaklanmaktadır. Yapılan bir araştırmada, kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinin kaynaklı numunelerden daha az olduğu belirtilmektedir[9].

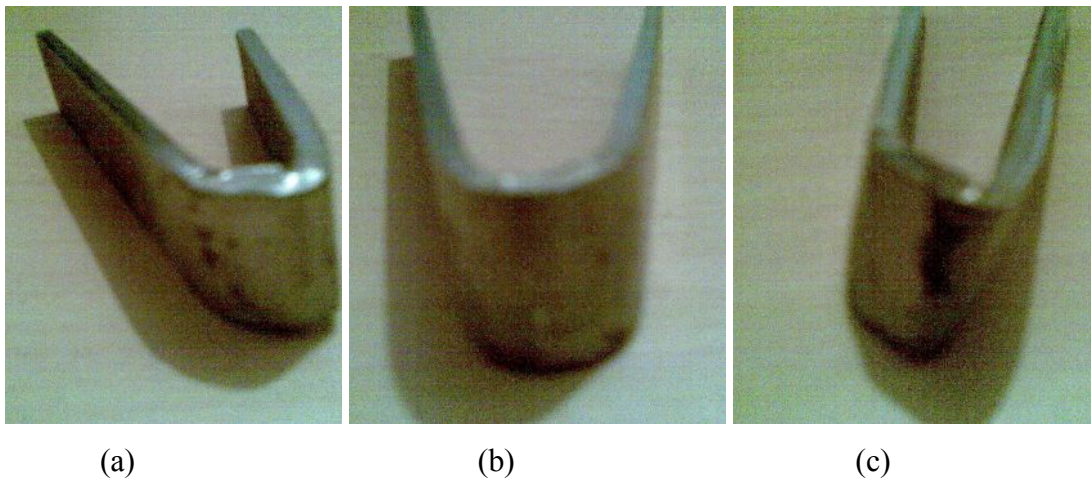


Şekil 5.5. SG2 (a), SG3 (b) ve özlü (c) kaynak telleri ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların çekme deneyi sonucunda ITAB bölgesindeki kopma

5.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Şekil 5.5'te 180° eğmenin uygulandığı SG2, SG3 ve özlü tellerle birleştirilen HARDOX 400 levhaların fotoğrafları gösterilmektedir. Eğme deneyi sonucunda SG2 ve SG3 telleri ile birleştirilen HARDOX 400 levhalarda gerek kök kısmında gerekse dikişin üst yüzeyinde her hangi bir çatlak görülmemiştir. Fakat özlü tel ile birleştirilen numunelerde küçük kılcal çatlaklara rastlanılmıştır. Çekme deneyinde

mukavemet değerlerinin özlü tel ile birleştirilen numunelerde düşük çıkması bu kılcal çatlaklar nedeniyle olma ihtimalinin oldukça yüksek olduğu düşünülmektedir. Özlü tel ile yapılan birleştirmede eğme numunesinde görülen kılcal çatlakların malzeme yüzeyindeki hatalardan da meydana gelebileceği tahmin edilmektedir. SG1 ve SG2 kaynak telleri ile birleştirilen levhaların eğme deneyi sonuçlarında yeterli nüfuziyet ve birleştirme kalitesinin elde edildiğini ve kullanılan ilave malzemelerin ana yapıyla uygun sünekliğe sahip olduğunu göstermektedir. Sertlik sonuçları da bulunan bu eğme sonuçlarını destekler niteliktedir.



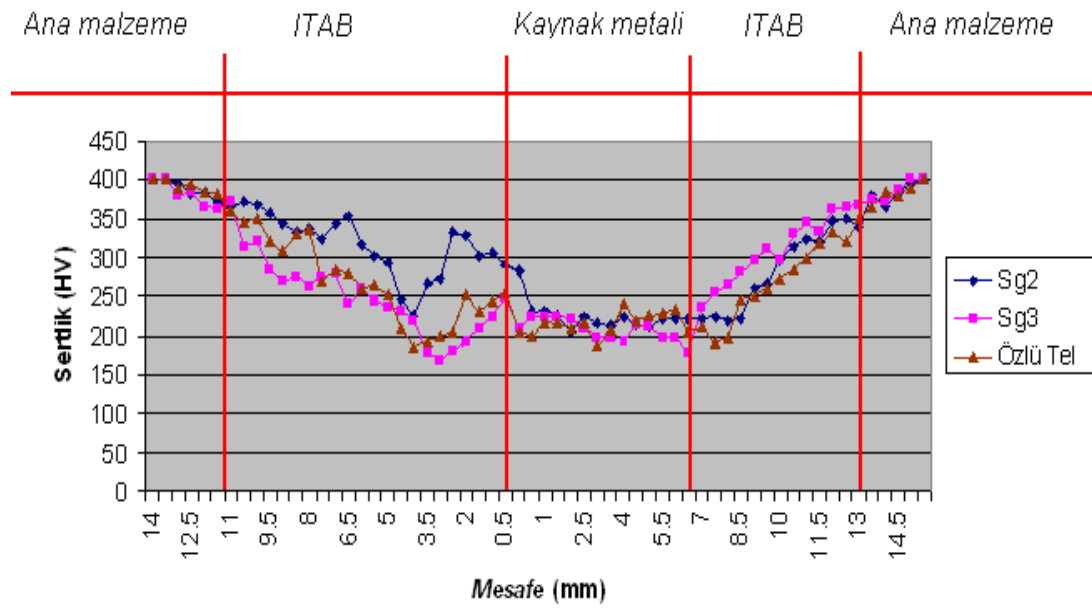
Şekil 5.6. Eğme deney numunelerinin fotoğraf görüntüleri
(a) SG2 teli ile birleştirilmiş levha, (b) SG3 teli birleştirilmiş levha, (c) Özlü tel ile birleştirilmiş levha

5.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

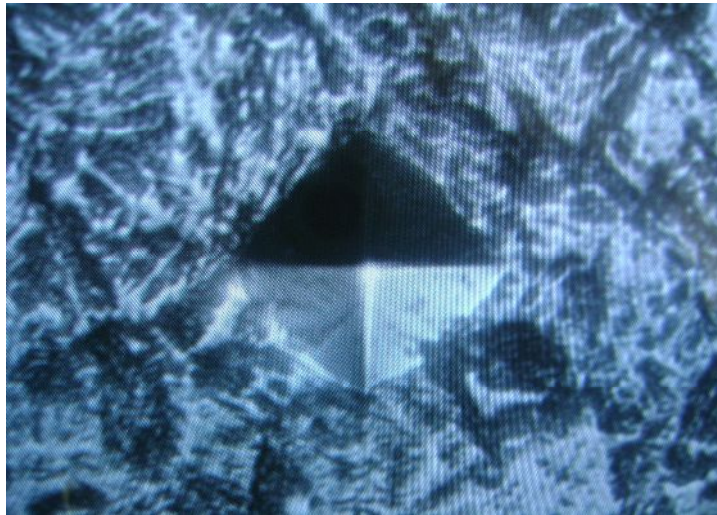
Şekil 5.6'da kaynak merkezinden alınmış SG2, SG3 ve özlü tel ile birleştirilmiş levhalara ait sıralı sertlik değerleri gösterilmektedir. Kaynak merkezinden uzaklık mikroyapı ile takip edilerek sertlik değerlerinin kaynak bölgesinin nerelerine ait olabileceği tahmin edilerek şekilde işaretlenmiştir. Şekil 5.7'de de mikrosertlik ölçüm izi gösterilmektedir. Sertlik değerleri, üç farklı kaynak teli ile birleştirilen levhalarda hemen hemen aynı eğilim göstermektedirler. Tüm sertlik değerleri, ana malzemenin sertlik değerinden itibaren kaynak metaline doğru bir düşüş göstermektedir. Belirli bir düşüşten sonra sertlik değerleri belirli seviyede hemen hemen eşitlendiği gözlenmektedir. Bu durumda düşüş eğilimi gösteren bölgenin ITAB bölgesi, aynı seviye değeri gösteren bölgenin de kaynak metali bölgesi olduğunu tahmin etmek mümkün olabilmektedir. En düşük sertlik değer bölgesi,

kaynak metali olmuştur. Bu nedenle kaynak bölgesinin ana malzemeye göre daha yumuşak ve sünek olduğunu söylemek mümkündür. ITAB ve kaynak metali bölgelerindeki sertlik değerleri, uluslararası kaynak enstitüsünün belirlediği kritik sertlik olan 350 VSD'nin altında olup, aşınmaya dayanıklı HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesi kaynak emniyetini bozacak değerde olmadığı söylenebilir.

Hardox 400 Çeliği Mikrosertlik Ölçüm Değerleri



Şekil 5.7. SG2, SG3 ve özlü tel ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların kaynak bölgesine ait mikro sertlik dağılımları



Şekil 5.8. Mikrosertlik ölçüm izi görüntüsü

Silisyum elementi de Mangan gibi mikroyapı incelmesine, asiküler ferrit oluşumuna ve martensitik dönüşümüne, kaynak metalinde mukavemet ve mikrosertlik artışına neden olduğu bilinmektedir[23]. Kaynak bölgeleri incelendiğinde masif kaynak telleri ile yapılan birleştirmelerin kaynak metalinde daha iğnesel bir yapının var olduğu görülmektedir (Şekil 5.12 ve 5.13). Karbon, Silisyum ve Mangan elementleri çeliğin sertleşebilirliğine etki eden en önemli elementlerdendir. Bu element oranları açısından masif ve özlü teller arasında fazla bir fark olmadığından dolayı mikrosertlik değerlerinde birbirine yakın değerler almışlardır.

Kaynak bölgesine ait sertlik dağılımları incelendiğinde, kaynak bölgesinin kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölgeden (ITAB) meydana gelecek şekilde sertlik değerlerinin değiştiği görülmektedir. Kaynak bölgesinin sertlik değişiminin kaynak metali ve ITAB'da oluşan mikroyapı değişikliklerine bağlı kalarak değiştiği düşünülmektedir. Oluşan mikroyapılar ise, kaynak edilen parçanın kalınlığı, kimyasal bileşimi ve enerji girişine bağlı olarak değişim gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle özlü ve masif telle yapılan kaynaklı birleştirmelerde kimyasal bileşim farkından kaynaklanan mikroyapı ve mikrosertlik değişimleri gözlemlenmiştir.

5.4. Mikroyapı Karakterizasyonu

5.4.1. Makroyapı fotoğrafları

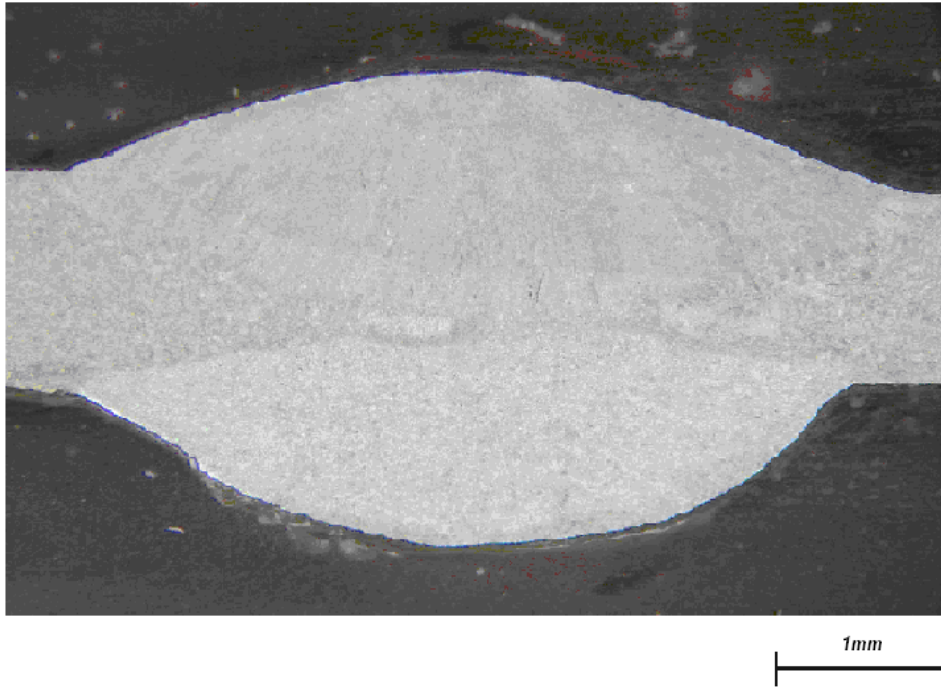
Şekil 5.8'de SG2 ve SG3 kaynak telleri ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların kaynak dikişlerinin makro görüntüsü gösterilmektedir. Kaynak dikişlerinin makro görünümünde kaynak problemine rastlanmamıştır. Kapak paso yükseklikleri istenilen değerlerden fazla olduğu görülmektedir. Kapak paso taşlanarak yükseklik seviyesi düşürülmesi gerekir.

Şekil 5.9'daki SG2 kaynak teli ile birleştirilen aşınmaya dayanıklı hardox çeliğine ait makroyapı resmi gösterilmektedir. Aşınmaya dayanıklı hardox çeliğine bir üstten ve birde alttan olmak üzere iki kaynak dikişi çekilmiştir. Görüntülerde görüldüğü gibi ana malzeme ve kaynak metali farklı birleşimlerde olduğu için dağlama işlemi değişik oranlarda gerçekleşmiştir. Ana metal kaynak bölgesine göre daha geç dağlanmış ve

bunun sonucu olarak kaynak metali daha belirgin olarak görünmektedir. Yine ana malzeme ve aradaki kaynak bölgesi çok belirgin olarak görülebilmektedir. Kaynak metali oldukça geniş bir alanın ergime sınırlarından kaynak merkezine doğru uzanan sütunsal dentritik tanelerden oluştuğu görülebilmektedir.

Şekil 5.9'daki SG3 kaynak teli ile birleştirilen aşınmaya dayanıklı hardox çeliğine ait makroyapı resmi gösterilmektedir. Kaynak metali dağılayıcının etkisi ile gayet net görülebilmektedir. Kaynak metali ve ana malzemeye göre daha belirgindir. Kaynak dikişinde kaynağın katılması sırasındaki dentritik yapı gayet net görülebilmektedir. Zımparalama esnasında ki hafif bir eğimden dolayı kaynağın üst kısmındaki dentritik yapı daha az seçilebilmektedir. Kaynak dikişinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır. Kaynak metali ve dikişi düzgün görünümündedir.

Şekil 5.10'da özlü tel ile kaynatılan aşınmaya dayanıklı HARDOX 400 çeliğine ait makroyapı resmi gösterilmektedir. Kaynak metali dağılayıcının etkisi ile gayet net görülebilmektedir. Dentritik yapıların yönlerinin sütunsal biçimde ilerlediği üstten ve alttan çekilen kaynaklarda görülebilmektedir. Kaynak dikişinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır. Kaynak metali ve dikişi düzgün görünümündedir. Makro görünümünden de anlaşılacağı üzere kök paso ile kapak paso merkezleri simetrik değildir. Kaliteli kaynak işlemlerinde her iki dikişin de simetrik olması arzu edilir. Ana metal kaynak bölgesine göre daha geç dağılmış ve bunun sonucu olarak kaynak metali daha belirgin olarak görünmektedir. Ana malzeme ve aradaki kaynak bölgesi çok belirgin olarak görülebilmektedir. Kaynak metali oldukça geniş bir alanın ergime sınırlarından kaynak merkezine doğru uzanan sütunsal tanelerden oluştuğu görülmektedir.

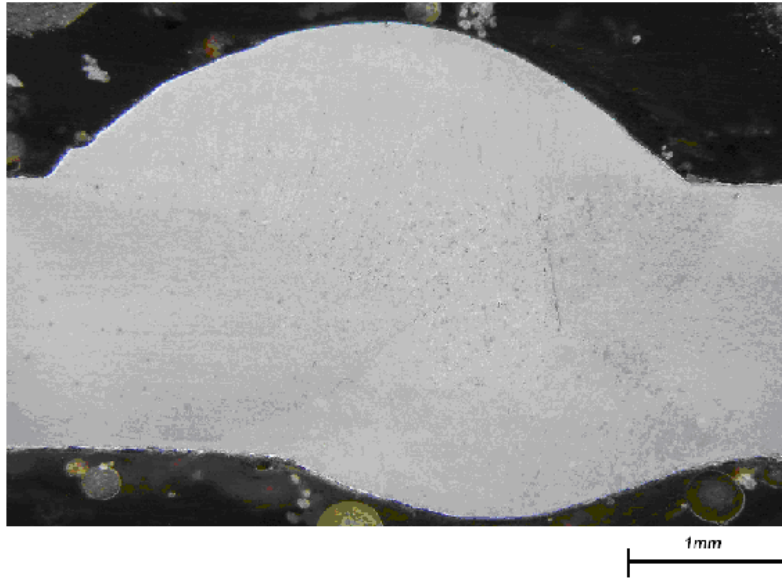


(a)



(b)

Şekil 5.9. (a) SG2 ve (b) SG3 kaynak telleri ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların kaynak dikişlerinin makro görüntüsü.



Şekil 5.10. Özlü kaynak teli ile birleştirilen HARDOX 400 levhaların kaynak dikişlerinin makro görüntüsü

5.5. Mikroyapı Sonuçları

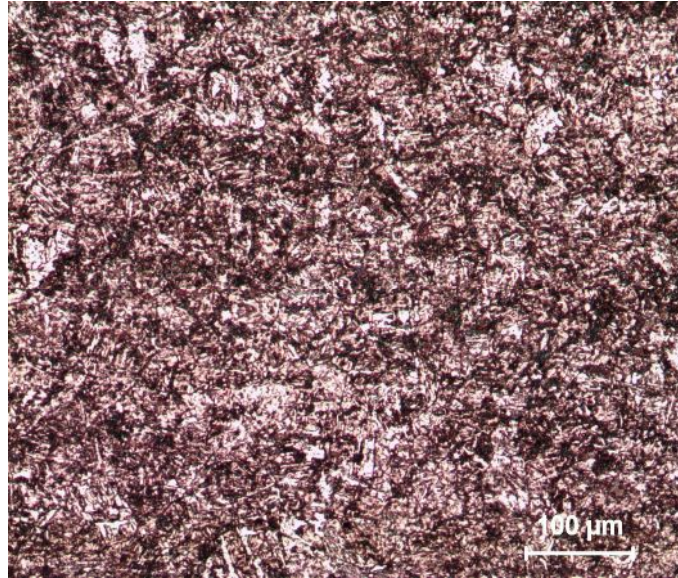
Bu bölümde SG2 ve SG3 masif kaynak teli ve E 71 T-1 özlü kaynak teli ile birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait mikroyapıları incelenecektir.

Şekil 5.12’de SG2 kaynak teli ve Şekil 5.13’de SG3 kaynak teli kullanılarak birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait optik mikroskopta çekilen mikroyapı fotoğrafları gösterilmektedir. HARDOX 400 çeliğinin ana malzemesinin martenzit fazına sahip olduğu söylenebilir. Malzemedeki aşırı sertliğin mikroyapı içerisinde mevcut olan martenzit fazından kaynaklanmaktadır. Ana malzemenin mikroyapısının ince taneli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli çalışmalarda da benzer mikroyapının aşınmaya dayanıklı bu tarz çeliklerde bulunduğu belirtilmiştir[10].

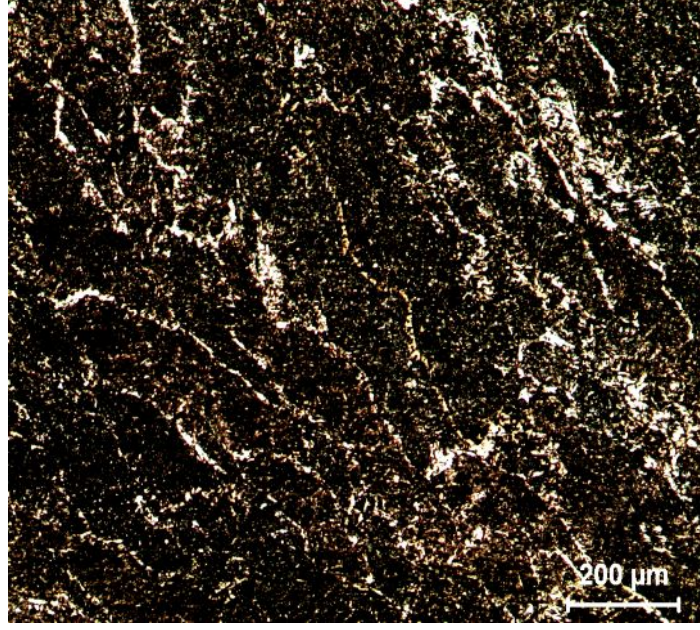
Gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak SG2 ve SG3 kaynak tellerli kullanılarak HARDOX 400 çeliğinin birleştirilmesinde elde edilen kaynak metallerinin mikroyapıları benzerlik arz etmektedir. Kaynak metali içerisinde iğnesel martenzit

fazının var olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca kaynak metali içerisinde poligonal ferrit ve çok az asiküler ferrit fazlarının da meydana geldiği görülmüştür.

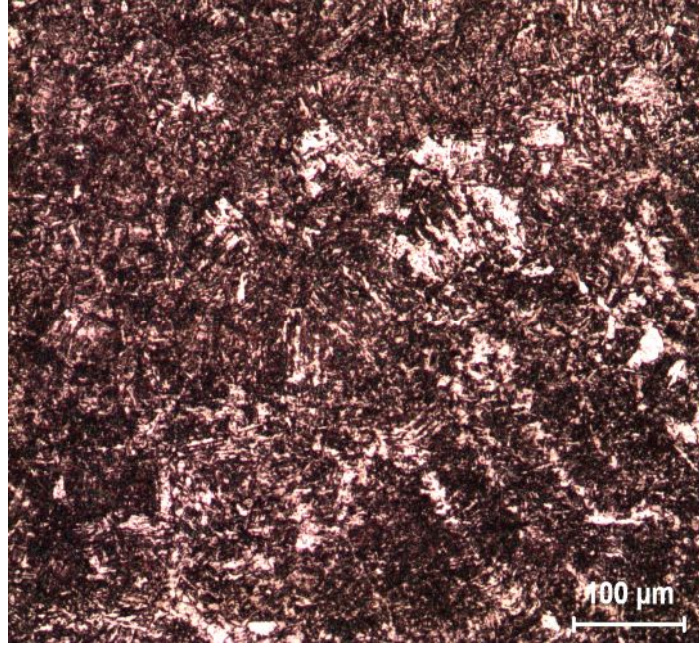
Şekil 5.14'te E 71 T-1 özlü kaynak teli kaynak teli kullanılarak birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait optik mikroskopta çekilen mikroyapı fotoğrafları gösterilmektedir. Özlü telle yapılan kaynaklı birleştirmelerde ise kaynak metalinde kaba tane sınırı ferritin oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.14). Özellikle asiküler ferritin kaba tane sınırı ferrit taneleri arasında yerleştiği görülmüştür. Kaynak bölgesinde martensitik yapının masif tele oranla özlü telle yapılan kaynak metalinde daha az olduğu yada hiç oluşmadığı söylenebilir. ITAB'da masif tele oranla özlü telde daha az miktarda martensitik dönüşüm oluşmuştur. SG2, SG3 ve özlü kaynak tellerinin Mangan ve Silisyum oranları, birbirine yakın değerlerde olduğundan birleştirilen numunelerin kaynak metali morfolojileri de birbirine yakın olmuştur. Mangan, östenitin ferrite dönüşüm sıcaklığını azaltan ve sertleşme kabiliyetini arttıran bir elementtir. Böylece martensitik yapının yanı sıra asiküler ferrit oluşumunu da teşvik ettiği düşünülmektedir. Ayrıca primer ferrit oranı, Mangan oranıyla birlikte azalmakta olup tane yapısının incelendiği gözlenmektedir.



Şekil 5.11. Ana malzeme mikroyapısı HARDOX 400

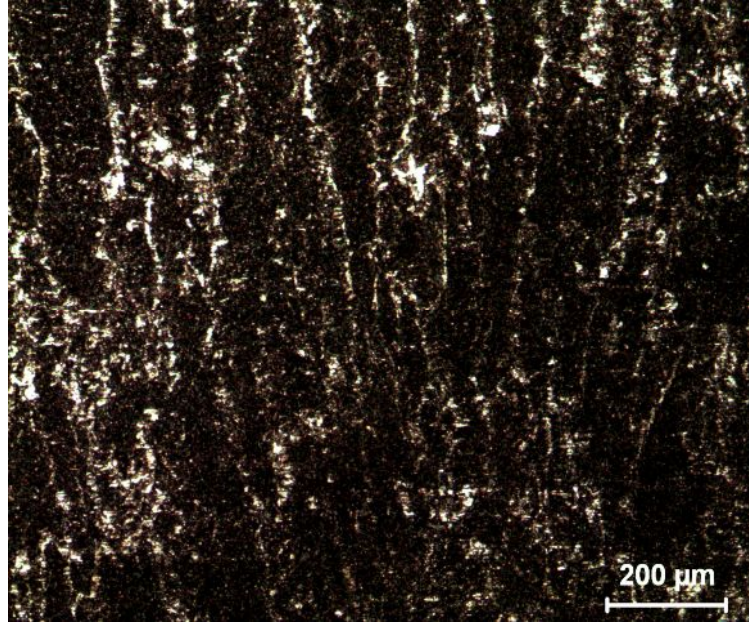


(a) Kaynak metali

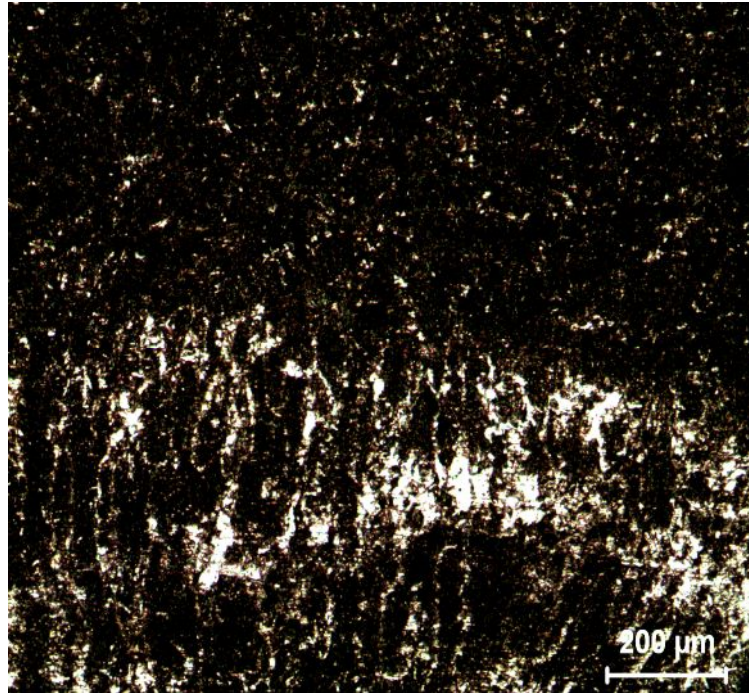


(b) ITAB

Şekil 5.12. SG2 kaynak teli kullanılarak birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları

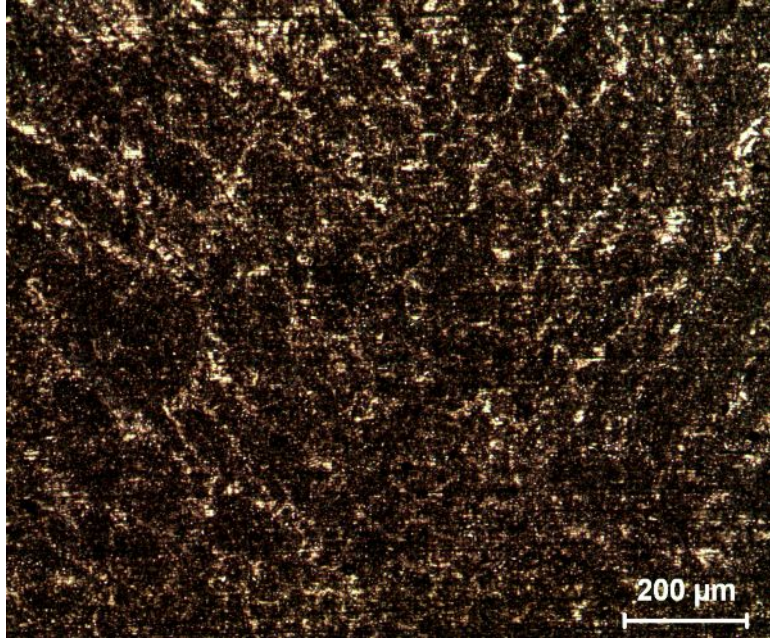


(a) Kaynak metali

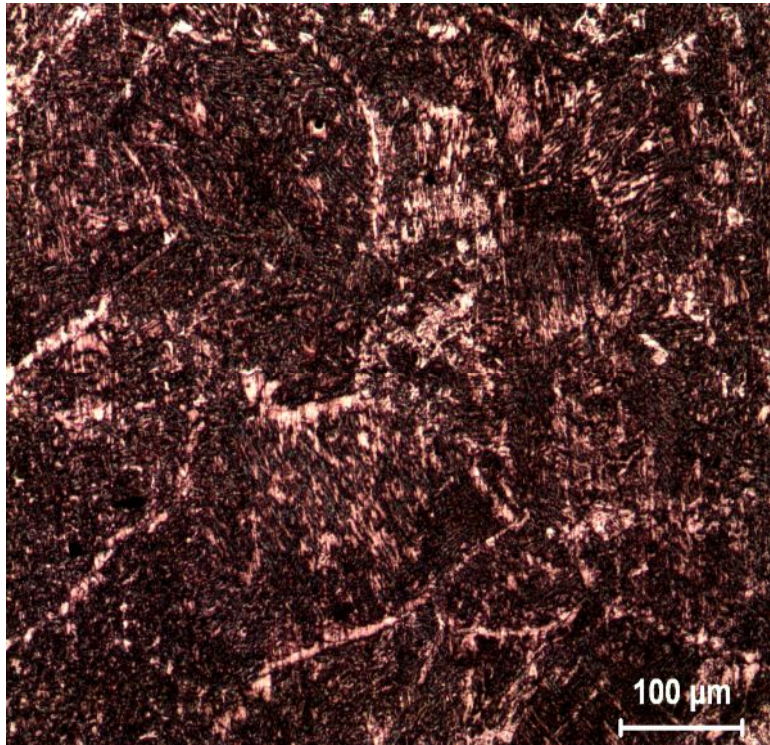


(b) ITAB

Şekil 5.13. SG3 kaynak teli kullanılarak birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları



(a) Kaynak metali



(b) ITAB

Şekil 5.14. E 71 T-1 özlü kaynak teli kullanılarak birleştirilen HARDOX 400 çeliğinin kaynak bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları

Yapılan literatür incelemelerinde, düşük karbonlu ve düşük alaşımli çeliklerin kaynak metallere oluşan mikroyapıların, soğuma hızına bağlı olarak değişiklik gösterdiği ve primer ferrit, Widmansten ferrit, asiküler ferrit, perlit, beynit ve martensit fazları olmak üzere değişik fazların beraberce bulunabileceği çeşitli çalışmalarda ifade edilmiştir[20,21,22]. Ayrıca kaynak metalinde rastlanabilen bu yapıların ITAB içerisinde de yer alabileceği söylenmiştir[22]. Diğer taraftan asiküler ferrit tanelerinin genellikle metalik olmayan inklüzyonlar üzerinde çekirdeklenebileceği kaydedilmiştir. Bu nedenle bu faza inklüzyonlar açısından zengin olan kaynak metalinde rastlanabileceği ifade edilmektedir[23]. Asiküler ferrit az alaşımli çeliklerin kaynak metalinde östenitten dönüşüm ile elde edilen bir fazdır. Asiküler ferrit hacim oranının artması kaynak metalinin mukavemetini ve bilhassa tokluğunu arttırdığından önemli bir fazdır. Asiküler kelimesi, iğne gibi şekillenmiş ve sivrilmiş anlamına gelir. Asiküler ferritin metal mikroskobunda görülen iki boyutlu görüntüsü iğneye benzediği için bu faza asiküler adı verilmiştir[23].

Çeliklerin özlü telle birleştirilerek yapılan mikroyapı incelemesi araştırmasına göre, özlü telle birleştirilen numunelerin kaynak metalinde primer ferrit fazı olarak; tane sınırı ferrit Widmansten ferrit, asiküler (iğne uçlu) ferrit olduğu tespit edildiği ifade edilmiştir[23]. Ayrıca tane sınırı ferritin kaba halde bulunduğu belirtilmiştir. Martensitin ise mikrofaz olarak oluşabileceği ve yapıda az miktarda dağıldığının düşünüldüğü ifade edilmiştir[23]. Bu tez kapsamında yapılan özlü tel ile birleştirme çalışmalarında da benzer mikroyapı karakterizasyonunun meydana geldiği söylenebilir.

Özlü tel ile kaynatılmış kaynaklı birleştirmenin kaynak metali mikro yapısında ferrit ve perlit fazlarının bulunduğu bölgeler net bir şekilde ayırt edilebilmekte olup koyu renkli bölgenin perlitce daha yoğun bulunduğu görülmektedir. Ayrıca mikro yapılarda asiküler ferrit ve tane sınırı ferritlerde rastlanmaktadır. Perlit bölgesinde bulunan taneler genellikle sütunsal ve daha ince yapılıdır. Mikro yapı açık renkli bölgenin ferritin daha yoğun olduğu bölgeyi temsil etmekte olduğu ve bu bölgede düzensiz tanelerin dağılımı düşünülmektedir. Kaynak metali ile ana malzemeler arasındaki geçişi net bir çizgi ile ayırt edilmiştir. Yapılar ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmiştir. Kaynak metali tarafında perlitin daha yoğunlaştığı görülmektedir.

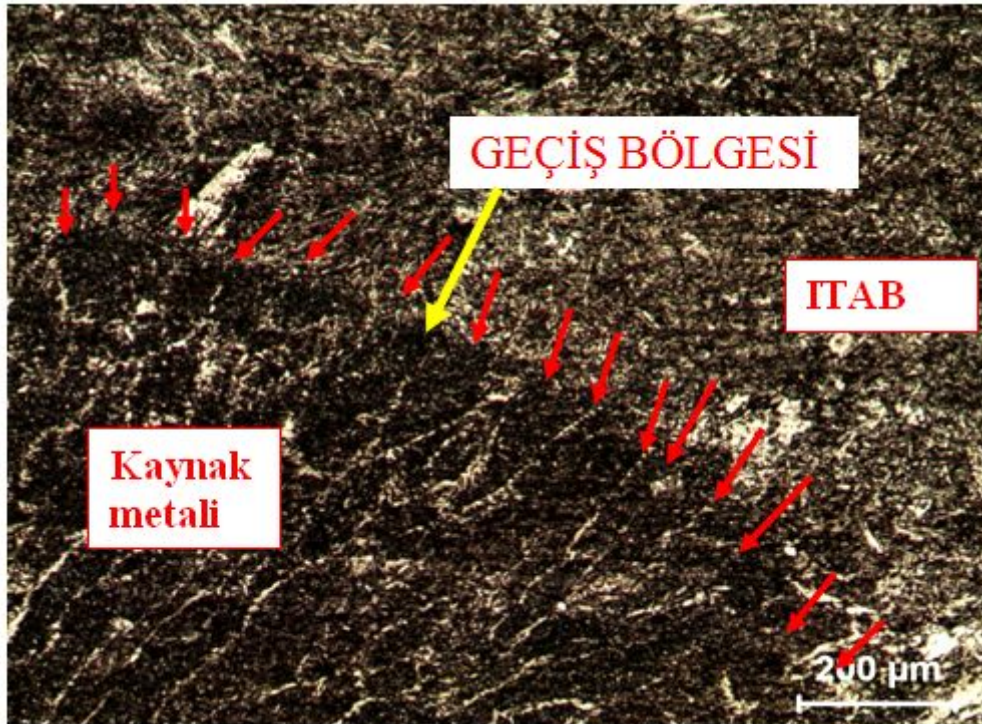
Yapılan literatür incelemelerinde çeliklerin kaynak bölgesindeki mikroyapı oluşumu şu şekilde açıklanmıştır. Tez çalışmasında elde edilen mikroyapılarda benzer fazların mevcut olması sebebiyle literatürdeki bu açıklamalara aşağıda da yer verilmiştir.

Çeliklerin kaynağında ITAB, içyapı özellikleri bakımından; iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen değişmeye uğramış bölge ve iç yapı değişikliğine uğramamış esas metal bölgesi olarak dört kısma ayrılır. İçyapı değişikliğine uğramamış veya temperlenmiş bölge kaynak sırasında Fe-C denge diyagramında A_1 (723°C) noktasının altında bulunur ve genel olarak hiçbir içyapı değişikliğine uğramaz. Sıcaklığında daha yükselmesi ferrit ve östenit arasındaki denge konumunu bozar. Östenit taneleri ferrit taneleri ile birleşerek büyür ve östenitin ihtiva ettiği karbon miktarı düşer. Maksimum sıcaklığın A_3 sıcaklığına ulaşmadığı bu bölgede yalnızca ferritin bir bölümü dönüşüme uğramıştır. Meydana gelen östenit taneleri orijinal ferrit tanelerinden daha iridir. Soğuma sırasında ferrit ile östenit arasındaki denge bozulur. Sonunda ferrit, östenit içerisinde, tercihen tane sınırlarında bazen de östenit tanesi içinde çekirdekleşir. Soğuma çekirdeklenmeyi teşvik eder ve sonunda östenit karbon bakımından zenginleşir. Sıcaklık 723°C düştüğünde kalan östenit perlitte dönüşür ve perlit çekirdeklerinin büyümesi başlar Isınma ve soğuma çevrimi sonunda orijinal ferrit taneleri ufalır, orijinal perlit taneleri ise, küçük ferrit ve perlit tanelerinden meydana gelen koloniler şeklinde ortaya çıkar.

Östenit A_3 sıcaklığı altına soğutulduğunda östenit tane sınırlarında primer tane sınırı ferriti teşekkül eder. Bundan sonra ferrit-östenit tane sınırlarında Widmanstatten kenar levhaları veya ferrit kenar levhaların çekirdeklenmesi ve büyümesi gerçekleşir. İlk iki fazın büyüme hızı östenitte karbon yayınma hızına bağlıdır. Daha sonra östenit taneleri içerisinde asiküler ferrit taneleri inklüzyonlarda çekirdeklenir. Asiküler ferrit taneleri büyüdüktan sonra kalan östenit mikro fazlara dönüşür. Mikro faz martensit, bozunmuş perlit, beynit, kalıntı östenit olabilir. Bu fazlar genellikle kaynak metalinde az hacim oranı teşkil ettiklerinden mikrofaz olarak adlandırılırlar. Kaynak metalinde önemli olan üç fazdır: Primer ferrit, Widmanstatten kenar levhaları ve asiküler ferrit fazları. Kaynak soğuma hızına bağlı olarak asiküler ferrit teşekkül etmez ise kaynak soğuma hızına bağlı olarak primer ferrit veya beynit dönüşümü

gerçekleşir. Yavaş soğuma hızlarında primer ferrit, hızlı soğuma hızlarında beyrit oluşur.

Şekil 5.17’de SG3 teli ile birleştirilmiş çeliğe ait kaynak geçiş bölgesi (kaynak metali-ITAB) mikro yapıları verilmiştir. Özellikle ITAB bölgesindeki mikroyapıda tane irileşmesinin olduğu ve asiküler ferritlerin de olduğu görülmektedir. Asiküler ferritin kaynak soğuma hızına bağlı olarak meydana geldiği bunun da düşük ısı girdisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Perlit yoğunluğunun kaynak metaline göre biraz daha arttığı ve yapının ferrit, widmanstatten ferrit ve perlitten meydana geldiği görülmektedir. İnce taneli yapının da kaba taneli yapıya dönüştüğü görülebilmektedir. Yapıda meydana gelen widmanstatten fazlarının da bölgenin kaynak geçiş bölgesi olması ve soğuma hızının da yavaş olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.17’de görülen asiküler ferritin ince olması, Mn alaşım elementinin sebep olduğu beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5. 15. SG3 teli ile birleştirilmiş HARDOX 400 çeliğine ait kaynak geçiş bölgesi (kaynak metali-ITAB) mikro yapıları

BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında, MAG yöntemi ile HARDOX 400 aşınmaya dayanıklı çelik levhalar, SG2 ve SG3 masif kaynak telleri ve E 71 T-1 adlı özlü kaynak teli kullanılarak V-kaynak ağızı formunda ve yatay pozisyonda başarıyla birleştirilmiştir. İki farklı masif tel ve bir özlü tel ile birleştirilen kaynak levhalarının mikroyapıları ve mekanik özellikleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar incelenerek aşağıda ifade edilen genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. HARDOX 400 çeliğinin çekme mukavemeti değerleri, SG2, SG3 ve E 71 T-1 özlü kaynak telleri ile birleştirilen levhaların birleştirme mukavemet değerlerinden yüksek çıkmıştır.

2. Birleştirilen HARDOX 400 çelik levhalara uygulanan çekme testleri sonucunda bütün numuneler, mekanik özelliklerin zayıf olduğu düşünülen ITAB bölgesinden kopmuştur.

3. Birleştirme mekanik özellikleri en yüksek olan levha, SG3 masif kaynak teli ile birleştirilen HARDOX 400 çelik levhada elde edilmiştir. Mekanik özelliklerin bu kaynak teli kullanımında daha yüksek olması, kaynak telinin kimyasal içeriğinin özellikle de Mangan ve karbon miktarının diğer SG2 ve özlü tele oranla daha yüksek olmasına atfedilmiştir.

4. Kaynak bölgesinin mikrosertlik dağılımı incelendiğinde kaynak metali, ITAB ve ana malzeme olmak üzere üç farklı sertlik değeri tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değerine ana malzemede rastlanırken, ITAB bölgesi boyunca sertlik değerleri azalmış ve kaynak bölgesine doğru ise az bir miktar artmış olduğu tespit edilmiştir.

Kaynak metalinin sertlik değerinin (230 – 250 Hv) her üç kaynak teli ile birleştirilen levhalarda birbirine yakın olduğu görölmüştür.

5. HARDOX 400 çelik levhaların SG3 masif kaynak teli birleştirilmesi ile elde edilen mekanik değerler özlü tel ile birleştirilen levhalara göre yüksek çıkmış olması SG3 telinin kullanılması önerilmiştir. Bu karşın kaynak hızı ve dolgu malzeme yoğunluk oranının yüksek oranlarda talep edilmesi durumunda özlü telin kullanılabilceği önerilmiştir.

6. Eğme deneyi sonucunda numunelerin birleştirme yerlerinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun birleştirme kalitesinin istenilen nitelikte olduğunu göstermektedir.

7. HARDOX 400 çeliğinin mikroyapısının martenzitten oluştuğu belirlenmiştir. SG2 ve SG3 kaynak tellerli kullanılarak HARDOX 400 çeliğinin birleştirilmesinde elde edilen kaynak metallerin mikroyapıları benzerlik arz ettiği ve kaynak metali içerisinde iğnesel martenzit fazı, poligonal ferrit ve çok az asiküler ferrit fazlarından meydana geldiği tespit edilmiştir.

8. Özlü telle yapılan kaynaklı birleştirmelerde kaynak metalinde kaba tane sınırı ferritin oluştuğu gözlemlenmiştir. Özellikle asiküler ferritin kaba tane sınırı ferrit taneleri arasında yerleştiği görölmüştür. Kaynak bölgesinde martensitik yapının masif tele oranla özlü telle yapılan kaynak metalinde daha az olduğu yada hiç oluşmadığı belirlenmiştir. ITAB’da masif tele oranla özlü telde daha az miktarda martensitik dönüşüm oluşmuştur.

9. Özlü teller, kaynakta kullanılan yüksek akım yoğunluğu nedeniyle yüksek ergime hızına sahiptir. Bu da hem yüksek kaynak hızlarıyla kaynak yapabilmeye ve hem de daha az pasoda kaynak yapabilmeye olanak sağlamaktadır. Özlü tel elektrotlarla daha pürüzsüz bir yüzey elde edilmektedir. Bunun nedeni ise özlü tel elektrotların arkının daha stabil olması yani sıçrama miktarının çok düşük olmasıdır. Bu aynı zamanda verimin masif elektroda göre daha yüksek olmasını sağlamaktadır.

Sonuç olarak, abrazyon aşınmaya maruz kalan ekipmanların imalatında geniş kullanım alanı bulan HARDOX 400 çeliği, MAG kaynak yöntemi ve uygun parametreler kullanılarak hem yüksek mekanik değerlerin elde edilebileceği SG3 kaynak teli ile hem de yüksek hızlarda ve yüksek dolgu miktarında kaynak yapmaya izin veren özlü kaynak telleri ile başarıyla birleştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

6.2. Öneriler

1. Gerek masif gerekse özlü kaynak telleri ile birleştirilen HARDOX 400 aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinin abrazyon aşınma özellikleri incelenebilir.
2. Bu çalışma kapsamında aşınmaya dayanıklı HARDOX 400 ticari çeliği kullanılmıştır. Bu çelik serisinden HARDOX 500 veya HARDOX 600 gibi çeliklerinde kaynak özellikleri incelenebilir ve kaynak telleri önerilebilir.
3. Bu çalışma kapsamında kaynak bölgesinin optik mikroskop ile incelemesi yapılmış olup, kaynak bölgesindeki fazların daha ayrıntılı olarak tespiti için SEM ve TEM çalışmaları da yapılabilir.
4. Birleştirilen levhaların ITAB ve kaynak metalleri içerisine açılan V-çentik açılarak değişik sıcaklıklarda darbe testleri yapıp darbe enerjileri tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ANIK, S., Kaynak tekniği, Cilt 3, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 4, 1981.
- [2] WOFGANG, W., Malzeme bilgisi ve muayenesi, Anık S., Anık,E.S., Birsen Yayınları, İstanbul, 184, 1977.
- [3] TÜLBENTÇİ, K., Eriyen elektrot ile gazaltı kaynağı, Gedik Yayınları, İstanbul, 96, 1990.
- [4] ATKINS, M., Atlas of continuous cooling transformation diagrams for engineering steels, American Society for Metals, U.S.A., 8, 1980.
- [5] Metal-oks Ürün Katoloğu, İstanbul, 2001.
- [6] Arctech Ürün Katoloğu, İstanbul, 2009.
- [7] HARDOX Çok Amaçlı Aşınma Levhası El Kitapçığı, İstanbul, 2007.
- [8] KAHRAMAN, E., GÜLENÇ, B., DURGUTLU, A., Investigation of the Effect of Eelectrode Extension Distance on Microstructural and Mechanical Properties of Low Carbon, 2005.
- [9] Steel Weded with Submerged Arc Welding, G.U. Journal of Science, 18(3):473-480, 2005.
- [10] ULUOCAK, M. E., Hardox 450 Çeliklerinin MAG Kaynak Bölgesi Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul, 2008.
- [11] OGUZ, B., Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, Oerlikon, İstanbul, s. 709, 1993.
- [12] TUBENTÇİ, K., Özlü Tel Elektrot ile Kaynak, Gedik Kaynak Dünyası, S. 5-9, Haziran 1989.
- [13] ESAB Welding Handbook for Manual and Automatic welding, 2003.
- [14] KONAT, L., PEKALSKI G., OSKWAREK M., Macro and microstructural properties of welded joints of Hardox 400 and Hardox 500 steels, XIX Scientific Conference, Development Problems of Working Machines,

Technical Magazine, Zakopane, January, 2006.

- [15] OSKWAREK, M., Structural features and susceptibility to cracking of welded joints of Hardox 400 and Hardox 500 steels, Conference Proceedings, IV Scientific Conference of Students, Wrocław University of Technology Publishing House, Wrocław, 2006.
- [16] BUGLACKI, H., SMAJDOR M., Mechanical properties of abrasion – resistant Hardox 400, Advances in Material Science, Vol. 4, No. 2, 2003.
- [17] DURGUTLU, A., Ark kaynak yöntemlerinde kaynak hızının mikro yapı ve nüfuziyete etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-22, 1997.
- [18] KILLING, R., Angewandte Schweißmetallurgie - Anleitung für die Praxis, Fachbuchreihe Schweißtechnik, DVS - Verlag, Düsseldorf, 1996.
- [19] Welding. Hardox, Weldox, Information Materials of the SSAB-Oxelösund Steel Mill, 2005.
- [20] BHADESIA, H.K.D.H., worked Examples in The Geometry of Crystals, Institute of Materials, London, 1987.
- [21] BHADESIA, H.K.D.H., SVENSSON, L. E., Mathematical Modeling of Weld Phenomena, ed. By H.Cerjak and K.E. Eastering, the Institute of Materials, London, pp.110-173, 1993.
- [22] SVENSSON, L.-E., Control of microstructure and Properties in Steel Arc Welding, CRC Press, USA, 1994.
- [23] TUNCER, E., Aşınmaya dayanıklı çelikler ile genel yapı çeliğinin kaynağında birleştirme özelliklerinin incelenmesi. Ankara, 2006.
- [24] GREGORY, N., Why do welds crack? TWI Bulletin March/April, 1991.
- [25] European Committee for Standardization, EN ISO 5817:2004, 2004.
- [26] KIHLLANDER, A., Svetsskolan (article serie), Fogningsteknik no1-6, 2002 & no 2, 2003.
- [27] NERMAN, P., Vägledning till godkända svetsförband, The Swedish Institute of Metals Research, 2000.
- [28] TWI: Job Knowledge for welders 41: Weld defects/ imperfections in welds – lack of side wall and inter run fusion, 1999.
- [29] TWI: Job Knowledge for welders 42: Weld defects/ imperfections in welds – porosity, 1999.

- [30] TWI: Job knowledge for welders 44: TWI, Job knowledge for welders 44–Hot cracking, 1999.
- [31] KAYALI, E. S., ENSARİ, C., DIKEÇ, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu İstanbul, s:14-26,a:43, s:48-61, s:83-90, s:32-139, 1998.
- [32] GREGORY, N., Defects – why they occur, how to stop them, TWI Bulletin May/June, 1992.
- [33] LUCAS, B., Controlling distortion in arc welding – a guide to best practice, TWI, 2003.
- [34] LIU. S., Metallography of HSLA Steel Weldments, Key Engineering Materials, Vol. 69 and 70, 1992.
- [35] Metal Handbook-Volume 6 Ninth Edition, Ohio, 1983.
- [36] OGUZ. B., Oerlikon , Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, İstanbul, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

Taner YILMAZ, 27.05.1980 de İzmit’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İzmit’te tamamladı. 1998 yılında Kocaeli Teknik Lisesi, Makine Teknisyenliği Bölümünden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Makine Teknikerliği bölümünü 2001 yılında bitirdi. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi, Metal Öğretmenliği Bölümüne girdi ve 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen devam etmektedir.