



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERDE ÇOK PASOLU
KAYNAĞININ MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

İSMAİL KALKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERKAN APAY**

DÜZCE, 2018

**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERDE ÇOK PASOLU
KAYNAĞININ MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

İsmail KALKAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. İlyas UYGUR
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Behçet GÜLENÇ
Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 23/03/2018

BEYAN

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

23 Mart 2018

İsmail KALKAN

TEŞEKKÜR

Öncelikle eğitim hayatım boyunca yardımlarını ve desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen, her zaman ve her koşulda yanımda olan babam Sabri KALKAN ve annem Ayşe KALKAN'a ayrıca; eşim Elif KALKAN'a, büyüme sürecinde yeterince zaman ayıramadığım kızım Zeynep KALKAN ve oğlum Talha KALKAN'a ve kardeşlerim İ.Enis KALKAN ile Fatma KUŞ'a can-ı gönülden teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanma süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY' a içtenlikle sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca bilgilerini ve desteklerini benden esirgemeyen, başta Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TÜMER olmak üzere Kocaeli Üniversitesi Uzunçiftlik Nuh Çimento M.Y.O. çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Meslek lisesi, lisans, A.E.M.T.E.M., I.W.E., I.S.G. süreçlerimde omuz omuza olduğum ve yüksek lisans öğrenimime başlamama vesile olan Dr. Gökhan TİMAÇ'a destek ve teşviklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP 2016.07.04.496 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

23 Mart 2018

İsmail KALKAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	X
ÇİZELGE LİSTESİ	XII
KISALTMALAR	XIV
SİMGELER	XVI
ÖZET	XVII
ABSTRACT	XVIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇELİK MALZEMELER	4
2.1. DEMİR VE ÇELİK	4
2.2. ÇELİKLERİN GENEL SINIFLANDIRILMASI	4
2.2.1. Üretim Yöntemlerine Göre Çelikler	5
2.2.2. Kullanım Alanlarına Göre Çelikler	5
2.2.3. Kimyasal Bileşimlerine Göre Çelikler	5
2.2.4. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Göre Çelikler.....	5
2.2.5. Dokusal Durum ve Metalografik Yapılarına Göre Çelikler.....	6
2.2.6. Sertleşme Yöntemlerine Göre Çelikler	6
2.3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ	6
2.3.1. Karbon.....	7
2.3.2. Mangan.....	7
2.3.3. Silisyum.....	8
2.3.4. Kükürt	9
2.3.5. Fosfor	9
2.3.6. Krom	9
2.3.7. Nikel.....	10
2.3.8. Molibden.....	10
2.3.9. Vanadyum	11
2.3.10. Volfram.....	11

2.3.11. Niobyum	11
2.3.12. Titanyum	11
2.3.13. Alüminyum.....	12
2.3.14. Bor.....	12
2.3.15. Bakır	12
2.3.16. Azot	12
2.4. DEMİR – SEMENTİT FAZ DİYAGRAMI.....	13
2.5. DEMİR – SEMENTİT DENGİ DİYAGRAMINDAKİ FAZLAR.....	14
2.5.1. Ferrit.....	14
2.5.2. Perlit.....	14
2.5.3. Östenit.....	15
2.5.4. Ledeburit	16
2.5.5. Dönüşmüş Ledeburit	16
2.6. ÇELİKLERİN SOĞUMASI SIRASINDA OLUŞAN İÇ YAPILAR.....	16
3. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER	18
3.1. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN TANIM VE ÖNEMİ.....	18
3.2. YÜKSEK MUKAVEMET ÇELİKLERİ (KONVANSİYONEL)	22
3.2.1. Fırında Sertleşebilen Çelikler (BH).....	22
3.2.2. İzotropik Çelikler (IS)	23
3.2.3. Yüksek Mukavemetli Arayer Atomsuz Çelikler (IF-HS)	23
3.2.4. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler (HSLA)	23
3.2.5. CMn Karbon Çeliği (CMn)	24
3.3. GELİŞTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER.....	24
3.3.1. Çift Fazlı Çelikler (DP)	24
3.3.2. Martenzitik Çelikler (Mart).....	24
3.3.3. Kompleks Fazlı Çelikler (CP).....	25
3.3.4. Dönüşüm Etkili Plastisite Çelikleri (Trip).....	25
4. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN KAYNAĞI.....	26
4.1. KAYNAK KABİLİYETİ	26
4.2. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN KAYNAĞI KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	28
4.2.1. Elektrik Direnç Kaynağı.....	28
4.2.2. Gazaltı Kaynağı	28

4.2.2.1. Tungsten İnerit Gaz (TIG) Kaynağı	29
4.2.2.2. Metal İnerit Gaz (MIG) Kaynağı	30
4.2.2.3. Metal Aktif Gaz (MAG) Kaynağı	31
4.2.2.4. Metal Özlü Telle Ark (FCAW) Kaynağı	31
4.2.3. Lazer Kaynağı	32
4.3. ISI TESİRİ ALTINDAKİ BÖLGE (ITAB)	33
5. MATERYAL VE YÖNTEM	37
5.1. MALZEME	37
5.1.1. Malzeme Seçimi	37
5.1.2. Kaynak Öncesi Hazırlık İşlemleri	37
5.2. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİĞİN ÇOK PASOLU KAYNAK TEKNİĞİ	39
5.2.1. Kaynak Metodu	39
5.2.2. Kaynak İşlemi ve Parametreleri	39
5.3. 8 mm KALINLIĞINDAKİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİĞİN KAYNAĞI	41
5.3.1. 8 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli Çeliğin FCW 140 Özlü Tel ile Salınlımlı Kaynak Uygulaması	43
5.3.2. 8 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli Çeliğin FCW 140 Özlü Tel ile Düz Kaynak Uygulaması	44
5.3.3. 8 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli Çeliğin Fluxofil 20HD Özlü Tel ile Salınlımlı Kaynak Uygulaması	45
5.3.4. 8 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli Çeliğin Fluxofil 20HD Özlü Tel ile Düz Kaynak Uygulaması	46
5.4. 20 mm KALINLIĞINDAKİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİĞİN KAYNAĞI	47
5.4.1. 20 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli Çeliğin OK Tubrod 15.17 Özlü Tel ile Salınlımlı Kaynak Uygulaması	47
5.4.2. 20 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli Çeliğin OK Tubrod 15.17 Özlü Tel ile Düz Kaynak Uygulaması	49
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	50
6.1. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI	50
6.1.1. 8 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Hazırlanması	50

6.1.2. 20 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Hazırlanması	50
6.1.3. Metalografik Hazırlık.....	51
6.2. ÇEKME DENEYİ.....	52
6.3. ÇENTİK DARBE DENEYİ.....	53
6.4. MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMÜ	55
6.5. MİKRO YAPI İNCELEME	56
6.6. MAKRO YAPI İNCELEME	56
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
7.1. ÇEKME DENEYİ	57
7.1.1. 8 mm Kalınlığındaki Numunelerin Çekme Deneyi	57
7.1.1.1. A1 ve A2 Numunelerinin Çekme Deneyi.....	57
7.1.1.2. B1 ve B2 Numunelerinin Çekme Deneyi.....	58
7.1.2. 20 mm Kalınlığındaki Numunelerin Çekme Deneyi	60
7.2. ÇENTİK DARBE DENEYİ.....	61
7.2.1. 8 mm Kalınlığındaki Numunelerin Çentik Darbe Deneyi	62
7.2.2. 20 mm Kalınlığındaki Numunelerin Çentik Darbe Deneyi	63
7.3. MİKRO SERTLİK DENEYİ.....	65
7.3.1. 8 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Mikro Sertlik Ölçümleri ..65	
7.3.2. 20 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Mikro Sertlik Ölçümü ..67	
7.4. MAKRO YAPI İNCELEME	69
7.5. MİKRO YAPI İNCELEME	70
7.5.1. S460M Çeliğinin Mikro Yapı Görüntüleri.....	72
7.5.2. FCW140 Özlü Telle Yapılan Salınlı Kaynağın Mikro Yapı Görüntüleri.....	73
7.5.3. FCW140 Özlü Telle Yapılan Düz Kaynağın Mikro Yapı Görüntüleri.....	75
7.5.4. Fluxofil 20HD Özlü Telle Yapılan Salınlı Kaynağın Mikro Yapı Görüntüleri.....	76
7.5.5. Fluxofil 20HD Özlü Telle Yapılan Düz Kaynağın Mikro Yapı Görüntüleri.....	77
7.6. KIRIK YÜZEY İNCELEME	79
7.6.1. 8 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Kırık Yüzey İncelemesi79	
7.6.1.1. FCW 140 Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta	

<i>Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi</i>	<i>80</i>
<i>7.6.1.2. FCW 140 Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>81</i>
<i>7.6.1.3. FCW 140 Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi</i>	<i>82</i>
<i>7.6.1.4. FCW 140 Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi</i>	<i>83</i>
<i>7.6.1.5. Fluxofil 20 HD Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>84</i>
<i>7.6.1.6. Fluxofil 20 HD Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>85</i>
<i>7.6.1.7. Fluxofil 20 HD Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>86</i>
<i>7.6.1.8. Fluxofil 20 HD Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>87</i>
7.6.2. 20 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Kırık Yüzey İncelemesi ..	88
<i>7.6.2.1. Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>89</i>
<i>7.6.2.2. Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>90</i>
<i>7.6.2.3. Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>91</i>
<i>7.6.2.4. Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi.....</i>	<i>92</i>
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
8.1. SONUÇLAR	94
8.2. ÖNERİLER	98
9. KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Demir (Fe) - sementit (Fe ₃ C) denge diyagramı.....	13
Şekil 2.2.	Ferrit yapı	14
Şekil 2.3.	Pelit ve sementit yapı	15
Şekil 2.4.	Östenit yapı	15
Şekil 2.5.	Fe-Fe ₃ C denge diyagramının çeliklere ait kısmı ve soğuma sırasındaki oluşan içyapılar	16
Şekil 3.1.	1998 model ile 2015 model Toyota Corolla'nın çarpma testi	18
Şekil 3.2.	Genel ağılıkta azalma, malzeme ve maliyet azalma grafiği	20
Şekil 3.3.	Çeliklerde % uzama ve çekme gerilmesi arasındaki ilişki	21
Şekil 4.1.	Gazaltı kaynak çeşitleri	29
Şekil 4.2.	Kaynak işleminden sonra meydana gelen oluşumlar	33
Şekil 4.3.	Kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla taneseli yapı değişimi.....	34
Şekil 4.4.	% 0,20'lu çelikte 3 numaralı bölgedeki yapı değişimi	35
Şekil 4.5.	Isı etkisi altında kalan bölgenin hızlı soğumasıyla meydana gelen yapı değişikliği	36
Şekil 5.1.	Kaynak ağzı ve ebatlama.....	38
Şekil 5.2.	Kaynak kök boşluğu	38
Şekil 5.3.	Seramik altlık ve takviyeler.....	38
Şekil 5.4.	Reis Marka Kaynak Robotu	39
Şekil 5.5.	Kaynak Robotu etiket bilgileri	39
Şekil 5.6.	Çizgisel enerjinin ısının tesiri altındaki bölgenin içyapısına etkisi	40
Şekil 5.7.	8 mm parçaların puntalanması.....	41
Şekil 5.8.	Farklı kaynak uygulaması	42
Şekil 5.9.	Salınımlı çok paso kaynak uygulaması genel görünümü	43
Şekil 5.10.	Düz çok paso kaynak uygulaması genel görünümü	44
Şekil 5.11.	Salınımlı çok paso kaynak uygulaması genel görünümü	45
Şekil 5.12.	Düz çok paso uygulaması genel görünümü.....	46
Şekil 5.13.	Paso geçiş sıcaklığı	47
Şekil 5.14.	Salınımlı kaynak uygulaması paso sayısı	48
Şekil 5.15.	Düz kaynak çok paso uygulaması	49
Şekil 6.1.	EN 10621'e göre çentik darbe ve çekme deneyi numune ölçüleri	50
Şekil 6.2.	Çekme ve çentik darbe numuneler	50
Şekil 6.3.	Numune ölçü hassasiyeti	51
Şekil 6.4.	EN 10621'e göre çentik darbe ve çekme deneyi numune ölçüleri	51
Şekil 6.5.	Metalografik inceleme numunelerinin ebatlanması	51
Şekil 6.6.	Metkon Forcipol 1V parlatma cihazı.....	52
Şekil 6.7.	TS EN ISO 4136 standardındaki 100 tonluk çekme deneyi cihazı	52
Şekil 6.8.	DÜBİT Besmak Marka 50 tonluk çekme deneyi cihazı.....	53
Şekil 6.9.	Alşa Darbe Test cihazı.....	53
Şekil 6.10.	Time Group Pendulum Impact test cihazı	55
Şekil 6.11.	Metkon Duroline-M sertlik ölçüm cihazı	55
Şekil 6.12.	Nikon Eclipse MA100 mikro yapı görüntüleme cihazı	56

Şekil 7.1.	A1-FCW 140 Özlü telle yapılan salınımlı kaynağın çekme deneyi grafiği ..57
Şekil 7.2.	A2-FCW 140 Özlü telle yapılan düz kaynağın çekme deneyi grafiği.....58
Şekil 7.3.	B1-Fluxofil 20HD Özlü telle yapılan salınımlı kaynak çekme deneyi grafiği 59
Şekil 7.4.	B2-Fluxofil 20HD Özlü telle yapılan düz kaynağın çekme deneyi grafiği...59
Şekil 7.5.	Düz kaynak numunesi-A60
Şekil 7.6.	Düz kaynak numunesi-B61
Şekil 7.7.	Salınımlı kaynak numunesi-A61
Şekil 7.8.	Salınımlı kaynak numunesi-B61
Şekil 7.9.	+20 °C de FCW140 Özlü Telle yapılan kaynakların çentik darbe deneyi....62
Şekil 7.10.	+20 °C de Fluxofil 20 HD Özlü telle yapılan kaynakların çentik darbe deneyi62
Şekil 7.11.	-20 °C de FCW 140 Özlü telle yapılan kaynakların çentik darbe deneyi.....63
Şekil 7.12.	-20 °C de Fluxofil 20 HD telle yapılan kaynakların çentik darbe deneyi63
Şekil 7.13.	+20 °C Çentik darbe deneyi değerleri64
Şekil 7.14.	-20 °C Çentik darbe deneyi değerleri64
Şekil 7.15.	Salınımlı ve düz kaynak yönteminin kök paso sertlik ölçüm değerleri65
Şekil 7.16.	Salınımlı ve düz kaynağın kesit ortasındaki sertlik ölçüm değerleri.....66
Şekil 7.17.	Salınımlı ve düz kaynak yöntemi kaynak üst bölge sertlik ölçüm değerleri.66
Şekil 7.18.	20 mm kalınlığındaki düz ve salınımlı çok paso kaynak uygulaması kök dikiş bölgesi Vickers sertlik değerleri67
Şekil 7.19.	20 mm kalınlığındaki düz ve salınımlı çok paso kaynak uygulaması kesit orta bölgesi Vicker's sertlik değerleri.....68
Şekil 7.20.	20 mm kalınlığındaki düz ve salınımlı çok paso kaynak uygulaması kapak paso bölgesi Vicker's sertlik değerleri68
Şekil 7.21.	Makro inceleme numunesi69
Şekil 7.22.	Düz çok paso kaynak69
Şekil 7.23.	Salınımlı çok paso kaynak69
Şekil 7.24.	Karbon oranlarına göre ferrit yapının mikro yapı görüntüsü71
Şekil 7.25.	Erişilen sıcaklığa bağlı olarak oluşan içyapı örnekleri.....71
Şekil 7.26.	A1 ana malzeme mikro yapı görüntüsü.....72
Şekil 7.27.	A2 ana malzeme mikro yapı görüntüsü.....72
Şekil 7.28.	B1 ana malzeme mikro yapı görüntüsü73
Şekil 7.29.	B2 ana malzeme mikro yapı görüntüsü.....73
Şekil 7.30.	A1 kök paso mikro yapı görüntüsü73
Şekil 7.31.	A1 kaynak ortası mikro yapı görüntüsü74
Şekil 7.32.	A1 kaynak üst mikro yapı görüntüsü74
Şekil 7.33.	A1 ergime sınırı mikro yapı görüntüsü74
Şekil 7.34.	A2 kök paso mikro yapı görüntüsü75
Şekil 7.35.	A2 kaynak ortası mikro yapı görüntüsü75
Şekil 7.36.	A2 kaynak üst mikro yapı görüntüsü75
Şekil 7.37.	A2 ergime sınırı mikro yapı görüntüsü76
Şekil 7.38.	B1 kök paso mikro yapı görüntüsü.....76
Şekil 7.39.	B1 kaynak ortası mikro yapı görüntüsü76
Şekil 7.40.	B1 kaynak üst mikro yapı görüntüsü.....77
Şekil 7.41.	B1 ergime sınırı mikro yapı görüntüsü.....77
Şekil 7.42.	B2 kök paso mikro yapı görüntüsü.....77
Şekil 7.43.	B2 kaynak ortası mikro yapı görüntüsü78
Şekil 7.44.	B2 kaynak üst mikro yapı görüntüsü.....78
Şekil 7.45.	B2 ergime sınırı mikro yapı görüntüsü78

Şekil 7.46. FCW140 salınımlı kaynak A1 KO numunesinin 200 X kırık yüzey görüntüsü	80
Şekil 7.47. FCW140 düz kaynak A2 KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.....	80
Şekil 7.48. FCW140 salınımlı kaynak A1 Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü	81
Şekil 7.49. FCW140 düz kaynak A2 Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü ...	81
Şekil 7.50. FCW140 salınımlı kaynak A1 KO numunesi 1000X kırık yüzey görüntüsü	82
Şekil 7.51. FCW140 düz kaynak A2 KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü...	82
Şekil 7.52. FCW140 salınımlı kaynak A1Itab numunesi 1000X kırık yüzey görüntüsü.	83
Şekil 7.53. FCW140 düz kaynak A2 Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü ..	83
Şekil 7.54. Fluxofil 20HD salınımlı kaynak B1 KO numunesi 200X görüntüsü	84
Şekil 7.55. Fluxofil 20HD düz kaynak B2 KO numunesi 200X görüntüsü	84
Şekil 7.56. Fluxofil 20HD salınımlı kaynak B1 Itab numunesi 200X görüntüsü	85
Şekil 7.57. Fluxofil 20HD düz kaynak B2 ITAB numunesi 200X görüntüsü.....	85
Şekil 7.58. Fluxofil 20HD salınımlı kaynak B1 KO numunesi 1000X görüntüsü	86
Şekil 7.59. Fluxofil 20HD düz kaynak B2 KO numunesi 1000X görüntüsü	86
Şekil 7.60. Fluxofil 20HD salınımlı kaynak B1 Itab numunesi 1000X görüntüsü	87
Şekil 7.61. Fluxofil 20HD düz kaynak B2 Itab numunesi 1000X görüntüsü.....	87
Şekil 7.62. Salınımlı kaynak SA KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü	88
Şekil 7.63. Düz kaynak B KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.....	89
Şekil 7.64. Salınımlı kaynak SA Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.....	90
Şekil 7.65. Düz kaynak B Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü	90
Şekil 7.66. Salınımlı kaynak SA KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü	91
Şekil 7.67. Düz kaynak B KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü.....	91
Şekil 7.68. Salınımlı kaynak SA Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü.....	92
Şekil 7.69. Düz kaynak B Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü	92

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. CEN ISO/TR 15608'e göre ince taneli yapı çeliği grupları	19
Çizelge 4.1. Uygulamadan kaynatılabilecek maksimum parça kalınlığı.....	27
Çizelge 5.1. S460M Malzemenin kimyasal bileşimi %.....	37
Çizelge 5.2. S460M Malzemenin mekanik özellikleri	37
Çizelge 5.3. FCW140 özlü tel özellikleri	42
Çizelge 5.4. Fluxofil20HD özlü tel özellikleri	42
Çizelge 5.5. FCW140 Özlü telle salınlı kaynak uygulaması parametreleri	43
Çizelge 5.6. FCW140 Özlü telle düz kaynak uygulaması parametreleri.....	44
Çizelge 5.7. Fluxofil 20HD Özlü telle salınlı kaynak uygulaması parametreleri	45
Çizelge 5.8. Fluxofil 20 HD Özlü telle düz kaynak uygulaması parametreleri	46
Çizelge 5.9. OK Tubrod 15.17 özlü tel özellikleri	47
Çizelge 5.10. OK Tubrod 15.17 Özlü telle salınlı kaynak uygulaması parametreleri	48
Çizelge 5.11. OK Tubrod 5.17 Özlü telle düz kaynak uygulaması parametreleri	49
Çizelge 7.1. TS EN ISO 4136 standardında yapılan çekme deneyi değerleri	60

KISALTMALAR

A.B.D	Amerika Birleşik Devletleri
AHSS	Advanced High Strength Steels - Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik
ASTM	American Society for Testing and Materials – Amerikan Malzeme Standardizasyon ve Test Kurumu
Al	Alüminyum
A1: Oerlikon	FCW140 özlü tel ile salınlımlı kaynak uygulaması
A2: Oerlikon	FCW140 özlü tel ile düz kaynak uygulaması
B1: Oerlikon	Fluxofil 20HD özlü tel ile salınlımlı kaynak uygulaması
B2: Oerlikon	Fluxofil 20HD özlü tel ile düz kaynak uygulaması
BH	BH Steels - Fırında sertleşebilen saclar
CEN	Avrupa Standardizasyon Komitesi
Ceş	Karbon eş değeri
CGHAZ	Coarse Grained Zone - Kaba taneli bölge
CP	Kompleks fazlı çelikler
DP	Dual Phase - Çift fazlı saclar
DÜBİT	Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi
FCAW	Flux Core Arc Welding – Özlü tel kaynağı
FGHAZ	Fine Grained Zone - İnce taneli bölge
GMAW	Gaz metal ark kaynağı
HSLA	High Strenght Low Alloy - Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı saclar
HSS	High Strenght Steel - Yüksek mukavemetli çelik
ICHAZ	Intercritical or Partially Transferred Zone Kısmen Dönüşmüş bölge
IF-HS	Yüksek mukavemetli arayer atomsuz saclar
IIS	Institute International de la Soudure – Uluslararası kaynak enstitüsü
IIW	International Institute of Welding – Uluslararası kaynak enstitüsü
IS	İzotropik Saclar
ISO	International Organization for Standardization
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge
IWE	International Welding Engineer – Uluslararası kaynak mühendisi
İSG	İşçi sağlığı iş güvenliği
KARTEAM	Kartepe Test ve Araştırma Merkezi
LBW	Laser Beam Welding - lazer demet kaynağı
MAG	Metal aktif gaz kaynağı
Mart	Martenzitik çelikler
MIG	Metal asal gaz kaynağı
PQR	Prosedür yeterlilik belgesi

PWPS	Pre Welding Procedure Specification – Ön kaynak prosedürü şartnamesi
P ₂ O ₅	Fosforik oksit
RSEW	Dikiş direnç kaynağı
RSW	Direnç nokta kaynağı
SCHAZ S	Subcritical or tempered zone - Temperlenmiş bölge
TIG	Tungsten asal gaz kaynağı
TR	Türkiye
Trip	Dönüşüm etkili plastisite çelikleri
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
WPS	Welding Procedure Specification – Kaynak prosedürü şartnamesi
YMDA	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı



SİMGELER

A	Amper
cm	Santimetre
CMn	Karbon mangan
CO ₂	Karbondioksit
Dk	Dakika
E	Çizgisel enerji
Fe	Demir
Fe ₃ C	Sementit
Fe-Fe ₃ C	Demir-Sementit
HV	Vickers sertliği
J	Joule
Kg	Kilogram
Lt	Litre
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
sn	Saniye
Stnd	Standart
V	Volt
°C	Santigrat derece
α	Ferrit
α+Fe ₃ C	Perlit
γ	Östenit
δ	Delta Demir

ÖZET

YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERDE ÇOK PASOLU KAYNAĞININ MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

İsmail KALKAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Mart 2018, 102 sayfa

S460M kalite yüksek mukavemetli çelik; sağladığı avantajlardan dolayı taşımacılık sektöründeki ağır vasıtalarda ve çelik yapı sektöründe önem kazanmaya başlamıştır. Bu malzemelerin Osman Gazi körfez geçiş köprüsü ve III. Boğaz Köprüsü olan Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün yapımında da tercih edilmesi nedeniyle yakın gelecekte yapılacak olan Çanakkale Köprüsü ve buna benzer irili ufaklı birçok prestijli projelerde kullanılacağıın sinyali vermektedir. Bu veriler ışığında otomotiv sanayi ve yapı sektörüne aynı anda hitap edebilecek şekilde 8 mm ve 20 mm kalınlığındaki yüksek mukavemetli çeliklerin hem çok pasolu uygulamaların mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkilerinin kıyaslanabilmesi, hem de çok pasolu uygulamaların farklı malzeme kalınlıklarına etkisinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada, S460M çeliği GMAW/FCAW yöntemi ile robot kullanılarak, düz çoklu paso kaynağı veya salınlı çoklu paso kaynağı yöntemleri uygulanarak birleştirilmiştir. Birleştirilen parçalardan çıkarılan numunelere tahribatlı ve tahribatsız testler uygulanarak elde edilen sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Test numunelerinin mekanik özelliklerini tespit etmek için çentik darbe deneyinden, çekme deneyinden, mikro sertlik ölçme yönteminden, makro inceleme yönteminden, mikro yapı inceleme ve SEM yöntemlerinden yararlanılmıştır ve elde edilen veriler birbiriyle kıyaslanabilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde salınlı çoklu paso uygulamasıyla torca salınım hareketi vererek kaynak yapmanın, kaynaklı imalat süresinde ve mekanik değerlerde avantajlar sağladığı görülmüştür. Numunelerin mikro yapı incelemesinde; ferrit ağırlıklı, düşük miktarlarda perlit içeren ince taneli yapı gözlemlenmiştir. Kırık yüzeylerin SEM ile incelemesinde ana malzemeye yakın bölgede sünek, ısı tesiri altındaki bölgede, ana malzemeye kıyasla daha rijit kırılmanın gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Çok pasolu kaynak, Gazaltı kaynağı, Özlü tel, S460M, Yüksek mukavemetli çelik.

ABSTRACT

EFFECTS OF MULTIPASS WELDING ON MECHANICAL AND MICRO STRUCTURE FEATURES IN HIGHT STRENGTH STEELS

İsmail KALKAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan APAY

March 2018, 102 pages

S460M quality high strength steel has begun to gain importance in the steel sector and the heavy vehicles in the transportation sector. Due to being preferred of these materials in the construction of Yavuz Sultan Selim Bridge, the 3rd Bridge on Bosphorus, and Osmangazi Bridge, on Izmit Gulf, this gives us a clue that high strength steels will be used in construction of Canakkale Bridge which is soon and many other more or less important prestigious building projects in the near future. In the light of these data the way that appealing to automotive industry and building trade simultaneously, it is aimed to be able to compare effects of high strength steels multipass applications which are 8 mm and 20 mm thick on features of mechanical and micro structures; to determine effects of multipass applications on varied material thickness and to cut down on manufacturing costs by accelerating preparation process of PQR and WPS. In this study, the S460M steel was combined using the GMAW / FCAW method using a robot, flat multi-pass welding or oscillating multi-pass welding methods. The results obtained by applying destructive and non-destructive tests to recorded samples are recorded. In order to determine the mechanical properties of the test samples, the notch impact test, the tensile test, the micro hardness test, the macro inspection method, the micro structure inspection and the SEM methods were utilized and the obtained data were compared with each other. As a result of the work done, it is seen that welding by torch oscillation movement with oscillating multi-pass application gives advantage in welded manufacturing process and mechanical values. In the microstructure examination of the samples; fine grained structure containing perlite was observed in low amounts. The fractured surfaces were observed by SEM to have a more rigid fracture in the ductile, heat-affected zone near the main material than in the main material.

Keywords: Flux core welding, Gas metal arc welding, Height strength steels, Multipass weld, S460M.

1. GİRİŞ

Demir ve çelik insanoğlu tarafından 5000 yıldır kullanılmasına karşın, iki yüzyıl öncesine kadar yalnızca eşya ve silah yapımında yer almışlardır. 18. yüzyılda İngiltere’de ham demirin sanayi bazlı üretiminin başlamasıyla birlikte yapı malzemesi olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Demirle inşa edilen ilk yapılar köprülerdir. 1787 yıllarda dövme çelikten dolu gövde ana kirişli ve kafesli ana kirişli köprülerin yapımına başlanmıştır. Bunlardan birisi de 1846’da İngiltere’de yapılan 140 m ayak açıklıklı Britannia Köprüsü’dür. Çelik yapılar hızlı inşa edilebildikleri için birinci dünya savaşı sonrasıyla ikinci dünya savaşı sırasında ve sonrasında çelik yapı inşası yaygınlaşmıştır. Yapı çelikleri savaş sonrasında sanayi, konut, okul ve sosyal-spor tesisleri binalarının hızla yapılması ihtiyacı, ancak çelik kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Böylece çelik yapı taşıyıcı sistemlerinin hesaplama yöntemleri ve tasarım esaslarının gelişmesi mümkün olmuştur. Bu süreçle birlikte kaynak teknikleri de gelişmiştir.

Eriyen elektrotla gazaltı kaynağı fikri ilk 1920’lerde çıkmış olmakla birlikte ticari anlamda ancak 1947’den sonra kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemde başlangıçta inert gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince çaplı elektrotlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi iken daha sonra düşük akım yoğunluklarında ve darbeli akımda çalışma, daha farklı metallere uygulama ve koruyucu gaz atmosferi olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Çeşitli ülkelerde, yöntemi belirtmek amacıyla değişik adlandırmalar altında kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri bu yönteme GMAW, Almanya ve İngiltere’de ise MIG-MAG kaynağı adı verilmiştir. Ülkemizde ise “Ergiyen Elektrotla Gazaltı Kaynağı veya MIG-MAG Kaynağı” adlarıyla kullanılmaktadır [1]. Çeliklerin koruyucu gaz kaynağında % 100 Ar, % 100 CO₂ gazı ve Ar-CO₂, Ar-O₂ karışım gazları kullanılır. Koruyucu gazın görevi; kaynak banyosunu, kaynak damlalarını ve ısıdan etkilenmiş bölgeyi, havanın olumsuz etkilerinden korumak, ark kararlılığını iyileştirmek ve nüfuziyete katkıda bulunmaktır [2], [3]. Sanayileşmesi tamamlanmış ülkelerde kullanılan yarı otomatik MIG-MAG kaynak yöntemi son yıllarda ülkemizde de sıklıkla tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Bu kapsamda üretimi yapılan kaynak

makineleri ve tel elektrotlar çeşitleri bunun birer göstergesidir. MIG-MAG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında birçok üstünlüklere sahiptir. Yüksek kaynak hızları, verim ve kaynak kalitesi bazı üstünlükleridir [4].

FCAW yöntemi ise ülkemizde “Özlü Tel Kaynağı” olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem boru şeklindeki içi boş tel elektrotun içindeki öz maddesinden (toz) meydana gelen örtü koruması ile kullanılır. Bu öz maddesi kaynak sırasında kaynak metalinin yüzeyini cüruf tabaksı ile kaplayarak örter. Özlü tel elektrotla ark kaynağını diğer diğer ark kaynağı yöntemlerinden ayıran özellik mig/mag kaynak makinesi ile uygulanıyor olması ve cüruf yapıcılarının tel elektrot içinden kaynak bölgesine geçiş yapmasıdır. Bu sayede açık alınlarda veya hava akışı olan yerlerde gazaltı kaynağı yapma olanağı sağlamak ve yapı çeliklerinin kaynaklı imalatında büyük avantajlar sağlamaktadır.

Yapı çelikleri, 1980’li yıllar ile 1990’lı yıllarda genelde çelik yapıların kompozit kiriş ve döşemelerinin imalatında kullanımıyla beraber Batı Avrupa ülkelerinde ve özellikle de İngiltere’de çoklukla tercih edilen bir yapı malzemesi haline gelmiştir. Ülkemizde, yapı çelikleri hususen 1999 Marmara depreminden sonra inşaat sektöründe adından sıkça söz ettiren bir yapı malzemesi haline gelmiştir [5].

Kaynak Mühendisliğinin ülkemizde hızla yaygınlaşmaya başlaması, çelik yapı sektöründe kullanılan kalın kesitli yüksek mukavemetli malzemelere uygulanacak olan kaynaklı imalat için belirlenen yöntem veya WPS’lerde farklılıkların oluşmasına neden olmaktadır. Kalın kesitli parçalara uygulanan düz çoklu paso veya salınımlı çoklu paso kaynakları Haz bölgesini doğrudan etkilemekte dolayısıyla kaynak parametreleri aynı olmasına rağmen mekanik değerlerde farklılıklar oluşmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, $8 \geq, \leq 20$ mm kalınlığındaki “V” kaynak ağzı açılmış S460M kalite yüksek mukavemetli çelik ve kaynak yönteminde ise FCAW kullanılmıştır. Çalışmamızda sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için kaynak robotu kullanılmıştır. Düz çoklu paso uygulaması ve salınımlı çoklu paso uygulaması yöntemi ile kaynatılan parçaların mekanik özellikleri incelenmiştir.

S460M kalite çeliğinin seçilmesinde ki amaç Yavuz Sultan Selim ve Osman Gazi köprüsü imalatının önemli bir kısmının Kocaeli, Bursa ve Sakarya illerindeki işletmelerde yapılmış olması ve Çanakkale de yapılması planlanan köprünün de birçok parçasının yine bu işletmelerce yapılacak olması, yakın gelecekte de bu ve buna benzer

irili ufaklı birçok prestijli projelerde kullanılacağıın sinyalinii vermesi ayrıca otomotiv sektöründeki önem ve kullanımının hızla artıyor olmasıdır.



2. ÇELİK MALZEMELER

2.1. DEMİR VE ÇELİK

Yer kabuğunun % 5,06'sını oluşturan, kimyasal simgesi Fe, atom ağırlığı 55,845 ve atom numarası 26 olan demir, metaller arasında en yaygın kullanılanıdır. Demir, ergime sıcaklığı 1535 °C, özgül ağırlığı 7,86 g/cm³ olan, sert, gri renkte, mıknatıslanabilen, elektrik ve ısıyı iyi ileten bir metaldir [6].

Demir üretiminde kullanılan ham maddelere filiz ya da cevher adı verilir. Demir filizleri yüksek fırınlarda işlenerek ham demir üretilmektedir. Yalnız başına kıymet ifade etmeyen demir, içerisine katılan elemanlar ile değer kazanmaktadır. Ham demirin ikinci bir işlemde geçirilerek istenilen özellikte çelik üretilmektedir [6].

Günümüzde, en yaygın kullanılan malzeme olan çeliğin tanımını yapmak zordur. Çelik birçok sektörde çok değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Çelik; genel anlamda demirin düşük oranlarda karbonla yaptığı bileşimdir [7]. Çelik bir alaşımdır. Demir metaliyle karbon ametalinden oluşmaktadır. Çelik alaşımını sadece demir ve karbon ağırlıklı olarak düşündüğümüzde bile, çeşitliliği oldukça fazla bir alaşımla karşılaşırız. Oysa endüstrinin ihtiyacına cevap verecek şekilde çelik üretimi, alaşım içine başka metal ve ametallerin ilavesini gerekli kılmaktadır. Çelik içerisinde % 1,7'ye kadar karbon, % 1'e kadar mangan, % 0,5'e kadar silisyum bulunan kükürt ve fosfor oranı da % 0,05'ten az olan demir karbon alaşımıdır [6].

2.2. ÇELİKLERİN GENEL SINIFLANDIRILMASI

Çelikleri daha kolay inceleyebilmek için ortak özellikleri göz önüne alarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

2.2.1. Üretim Yöntemlerine Göre Çelikler

Üretim yöntemlerine göre çelikler aşağıda maddeler halinde yer almaktadır.

- Bessemer ve thomas çeliği
- Siemens-martin çeliği
- Elektrik ark ve elektrik endüksiyon çeliği
- Pota çeliği
- Oksijenli konverter çeliği
- Vakum çeliği
- Puddel ve kaldo çeliği [8].

2.2.2. Kullanım Alanlarına Göre Çelikler

Metalürji sanayinde çelikler mutlaka belli bir amaçta kullanmak için üretilirler ve o amaca uygun işlerde kullanılırlar. Aşağıda bu amaca uygun belirli nitelikte olanlar verilmiştir.

- Yapı çeliklerinde kullanılacak çelikler
- Takım yapım işlerinde kullanılacak çelikler
- Soğuk ve sıcak işlerde kullanılacak çelikler
- Hızlı kesme işlerinde kullanılacak çelikler
- Yay yapımında kullanılacak çelikler
- Yüksek sıcaklığın bulunduğu ortamlarda kullanılacak çelikler
- Dış etkilere maruz yerlerde ve deniz ortamında kullanılacak çelikler [9].

2.2.3. Kimyasal Bileşimlerine Göre Çelikler

- Sade karbonlu çelikler
- Katırlı çelikler [6].

2.2.4. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Göre Çelikler

- Manyetik çelikler
- Isıya dayanıklı çelikler
- Korozyona dayanıklı çelikler
- Paslanmaz çelikler vb. [8].

2.2.5. Dokusal Durum ve Metalografik Yapılarına Göre Çelikler

- Ferritik çelikler
- Ferritik ve perlitik çelikler
- Perlitik çelikler
- Östenitik çelikler
- Martenzitik çelikler
- Ledeburitik çelikler
- Beynitik çelikler [9].

2.2.6. Sertleşme Yöntemlerine Göre Çelikler

- Hava çelikleri
- Su çelikleri
- Yağ çelikleri [6].

2.3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

Karbonlu çeliklerde normalde olmayan zayıf kendi özelliklerini iyileştirebilmek amacıyla, çelik içerisine alaşım elementi veya elementleri ilavesiyle üretilen çelikler alaşımlı çeliklerdir. Alaşım elementlerinin etkisi, diğer metaller ile karşılaştırıldığında çelik malzemelerde daha etkili olmaktadır. Ayrıca alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir olmadığından, çok sayıda alaşım elementinin birlikte bulunması halinde beklenen özellik değişimleri ancak genel çerçevede ele alınabilir ve bu konuda kesin bir yaklaşım yapılamaz. Alaşımlı çelikler, alaşım miktarı % 5'ten düşük olan düşük alaşımlı çelikler ve alaşım miktarı toplamı % 5'ten fazla olan yüksek alaşımlı çelikler olarak iki gruba ayrılırlar. Alaşımsız çeliklere benzer davranışa sahip olan düşük alaşımlı çeliklerin en belirgin özelliği, sertleşme kabiliyetlerinin daha yüksek olmasıdır. Malzemenin mekanik özellikleri olan çekme dayanımı, elastiklik modülü, akma sınırı, sertlik, gibi özellikleri ile meneviş dayanıklılığı, ısıya dayanıklılık, gibi karakteristikler yükselirken, genellikle kesit daralması, çentik darbe dayanımı ve kopma uzaması gibi değerlerde düşüş olur. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde, istenilen özelliklerin bulunmaması veya yetersiz olması halinde yüksek alaşımlı çelikler kullanılır. Bu tür alaşımlama, normal sıcaklıklardaki mekanik dayanımın artırılmasının yanı sıra, özellikle

sıcaklık ve korozyon dayanımına, tufallaşmaya, sıcaklıkta sertlik ve manyetikleşmeme gibi bazı istenen özelliklerin elde edilmesini amaçlar. Karbon (C), çelik için temel alaşım elementidir. Karbon miktarının artmasıyla sertlik ve dayanım önemli ölçüde artar. Fakat % 0,8 karbona kadar çekme gerilmesi ve akma sınırı değeri artar. Bu değerden sonra kırılganlık artar, ısıtılma sonu sertlik kalıntı östenit sebebiyle daha fazla artmaz. Çeliğin alabileceği maksimum sertlik 67 HRC olup bu değer 0,6 karbon miktarı ile elde edilir. Çeliklerde karbon miktarı dövülebilirlik, derin çekilebilirlik, süneklik ve kaynak kabiliyeti gibi özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek karbonlu çeliklerin ısıtılmasında çatlama riski genelde yüksektir [10].

2.3.1. Karbon (C)

Çelik için temel alaşım elementidir. Çelik içerisinde demir karbür (Fe_3C) şeklinde bulunur. Çeliğin mekanik özelliğini etkileyen elementlerin başında gelmektedir. Çelik bünyesindeki karbon ağırlığının yüzdelik oranda artması çeliğin kaynak edilebilme ve talaşlı imalat özelliğini azaltır.

“Karbon Eşdeğeri” çeliğin metalürjik yönden istenilen özelliği sağlamasında büyük önem arz etmektedir. Karbon eşdeğeri ifadesinde, çeliğin bünyesindeki alaşım elementlerinin meydana getirdiği sertliğe eşdeğer sertliği sağlayan karbon miktarına Karbon Eşdeğeri denilir. IIW tarafından oluşturulan ve tüm dünyada en yaygın şekilde kullanılan karbon eşdeğeri formülü aşağıdaki gibidir:

$$Ceş = C + (Mn/6) + ((Cr + Mo + V)/5) + (Ni + Cu)/15 \quad (2.1)$$

$$0,45 < Ceş \quad = \text{Ön tavlama gerek yok}$$

$$0,45 < Ceş < 0,60 = 100 \text{ }^{\circ}C - 200 \text{ }^{\circ}C \text{ ön tavlama sıcaklığı}$$

$$Ceş > 0,60 \quad = 200 \text{ }^{\circ}C - 300 \text{ }^{\circ}C \text{ ön tavlama sıcaklığı [11].}$$

Sertlik ve dayanım karbon miktarının artmasıyla ciddi oranda artar. Yüksek karbon içeren çeliklerin ısıtılma uygulamalarında çatlama riski de fazlalaşır.

2.3.2. Mangan (Mn)

Çeliğin mikro yapısında ki karbür bileşiklerinin hususen de demir karbür (Fe_3C) oluşumu çeliğin metalürjik performansını yükseltmekte anahtar rol üstlenir. Mangan, çelikte karbür oluşturmada rol alır. Yapısında % 0,3 mangan içeren çelikler çeşitli ısıtılma

işlemler altında Fe_3C 'nin Fe ve grafitte bozunumunu engeller; bu orandaki mangan, silisyumun grafitleşmeyi artırma eğilimini % 2 silisyum içeriği gibi yüksek değerlerde olsa dahi dengeler. Çelikteki mangan, kükürt nedeniyle kaynaklanan sıcak yırtılmayı önlemede de etkilidir. Manganın bulunmaması ve oranın azalması halinde kükürt demirle bileşik kurarak FeS bileşiğini oluşturur. FeS bileşiği düşük erime sıcaklığına sahip olduğu için katılaşmış çeliğin içerisinde kırılgan yapı bir oluşturarak çeliği zayıflatır. Kükürt içeren çelikler de manganın bulunmasıyla FeS bileşiği yerine MnS bileşiği oluşur. MnS bileşikleri çelik içerisinde rastgele dağılmış küreler halindedir ve sıcak haddeleme sırasında deformasyona uğrayacak kadar da yumuşaktır. MnS bileşiğinin oranı 8/1'den büyük olması durumunda FeS oluşumundan kaynaklanacak olan sıcak yırtılma genellikle yaşanmaz. Mangan çeliğin çekme, tokluk ve sertleşme derinliği mukavemetini iyileştirmede kullanılmaktadır; bunlara ilaveten kaynaklanabilirlik ve şekillendirilebilirlik özelliklerini de olumsuz yönde etkileyebilir [12].

2.3.3. Silisyum (Si)

Çeliğin üretim prosesinde ki oksijen üfleme aşamasına geçildiğinde Si yanarak SiO_2 bileşiği olarak cürufa geçer. Söz konusu reaksiyon ekzotermiktir ve çelik üretiminde sistem sıcaklığını arttırmada etkilidir. SiO_2 cüruf sisteminde CaO'nun ergime sıcaklığını düşürmede etkili olmakla birlikte çeliğin üretim şartlarındaki cürufun CaO/ SiO_2 olarak da tanımlandırılan baziklik oranının 2,5 – 1 aralığında tutulmasını da yardımcı olur. Oksijen giderme silisyum önemli bir elementidir. Oksijen giderme amacıyla kullanılan elementler temelde silisyum ve alüminyum olmakla beraber kalsiyum (Ca) ve titanyum (Ti) da bu grupta değerlendirilebilir. Silisyum ana oksijen giderici olarak yapı çeliklerinde ve uzun ürünlerde kullanılmaktadır [13].

Silisyum (Si) tane küçültücü bir özelliğe sahip değildir. Çekme mukavemetini artırır lakin silikat bileşikleri oluşumu nedeniyle çeliğin işlenebilirliğini negatif yönde etkiler. Si, elektriksel direnci ve geçirgenlik özelliğini artırıp manyetik özellikleri iyileştirdiğinden jeneratörlerde ve transformatör kullanılan elektrik çeliklerinde ana alaşım elementi olarak da kullanılmaktadır [13].

2.3.4. Kükürt (S)

Çeliğin haddelenmesini güçleştirerek kırılgan yapar. Çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılmasına ihtiyaç duyulmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı madde olarak kabul edilen elementtir. Normalde çelik içerisinde müsaade edilen miktar maksimum % 0,025-0,050 arasında sınırlandırılır. Demir ile beraber Fe-S bileşiği oluşturarak tane sınırlarında birikerek ve malzemenin gevrekleşmesine sebep olur. 800 °C-1000 °C arasında yapılan şekil değiştirme esnasında “kızıl sıcaklık kırılganlığı” 1200 °C üzerinde ki sıcaklıklarda ise “akkor sıcaklık kırılganlığı” meydana getirir. Bu sebeplerden dolayı çeliğe zararlı bir element olarak kabul edilerek, giderilmesi yönünde çaba sarf edilir. Fakat otomat çeliklerine yaklaşık ki katı kadar Mn ilave edilmek suretiyle, talaşlı işlenebilirlik kabiliyetini artırabilmek amacıyla kullanılır. Genel olarak sertleşebilirliği ve kaynak edilebilirliği olumsuz etkiler [14].

2.3.5. Fosfor (P)

Çeliğin korozyon dayanımını ile sertleştirilebilirliğini artıran fosfor, kükürtlü çeliklerin de işlenebilirliğini artırmada kullanılabilmektedir. Çeliğin darbe dayanımını ile şekillendirilebilirliğini olumsuz yönde etkilediği için fosfor genelde kalıntı elementi olarak da değerlendirilmektedir. Normalde çelik üretimi prosesinde fosfor ve kükürtün sıvı haldeki çelikten uzaklaştırılması amaçlanır. Fosfor, sıvı çeliğe oksijen üflemeyle birlikte oksitlenir ve cüruf fazına geçer. Fosforun cüruf fazına geçimi deoksidasyon öncesi konvertör cürufunun sistemden alınması ile banyo sıcaklığının yüksek olmamasına bağlıdır. Yoksa temel deoksidasyon malzemeleri olan alüminyum, SiMn ve FeSi konvertör cürufundaki P_2O_5 'i indirgeyerek fosforun çelik banyosuna geri dönmesine sebep olur. Yine buna benzer şekilde yüksek sıcaklıklarda sıvı demir, P_2O_5 'i indirgeyerek fosforun çeliğe dönmesine yol açar. Fırın şarjındaki yüksek miktardaki fosfor iki döküm arasındaki süreyi, cüruf hacmini, enerji tüketimini ve kireç tüketimini artırmakta ayrıca fırın verimini düşürmektedir [15].

2.3.6. Krom (Cr)

Çeliğe katılan ana alaşım elementlerindendir. Kritik soğuma hızını düşürme özelliğine sahiptir. Aşınma dayanımı ile yüksek sertlik sağlayan ve hidrojen gazına karşı dayanıklı karbürler oluşturur. Tane küçültücü ve sertleştirici etkileri vardır. Düşük karbon

içeriğine çeliklerde % 12'in üzerindeki katkı değerlerine çıkarılacak krom, çeliğin paslanmaya ve asitlere karşı korozyon direnci sağlar. İçeriğindeki krom % 17'yi aşan çelikler, yüksek çalışma sıcaklıklarına ve ısıya dayanıklı olur. Kroma ilaveten nikel molibden, mangan ve vanadyum ısı ve aşınma dayanımını daha da arttırabilmek mümkündür. Masuralı ve bilyeli rulmanlarda ihtiyaç duyulan tokluk ve yüksek sertlik özelliklerinin sağlanması için % 1 - % 1,5 krom içeren çelikler kullanılır. Krom oranının artmasıyla birlikte çeliğin kaynak edilebilme kabiliyeti de azalır. Çeliğin içerisindeki kromun % 1'lik er artısında malzemenin çekme dayanımı 80-100 (N/mm²) aralığında artma gösterir. Aynı oranda olmasa da yine, çentik darbe tokluğunda düşme ve akma sınırında bir yükselme görülmektedir [16].

2.3.7. Nikel (Ni)

Nikel; mangan ve silisyuma kıyasla çeliğin dayanımını daha az arttırır. Nikel çeliğin içerisinde özellikle kromla beraber bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar. Krom nikelli çelikler paslanmaz ayrıca ısıya ve kabuklaşmaya karşı dayanımlıdır. Hususen düşük sıcaklıklarda, makine yapım çeliklerinin çentik dayanımını arttırır. Nikel ilavesi, sementasyon ve ıslah çeliklerinin dayanımını arttırdığı gibi, istenen yapıdaki çelikler, kabuklaşmaya ve paslanmaya karşı dayanımlı çelikler için, uygun bir alaşım elementidir [17]. Korozyona karşı dayanımı yüksek sıcaklıktaki direnci ve sünekliği arttırarak östenit oluşumunda etkili olur [18].

2.3.8. Molibden (Mo)

Molibden elementi çeliğin ısıya dayanımı ve çekme dayanımına ilaveten kaynak edilme özelliğini de arttırıcı bir özelliğe sahiptir. Molibdenin yüksek miktarda çeliğin içinde yer alması çeliklerin dövülebilmesini güçleştirir. Molibden daha çok kromla beraber kullanılır. Molibdenin etkisi volframa benzemektedir. Molibden alaşımlı çeliklerde krom ve nikel ile beraber kullanıldığında, akma ve çekme dayanımını arttırır. Molibdenin kuvvetli karbür oluşturma özelliği nedeniyle, hava çeliklerinde, sıcak iş çeliklerinde, sementasyon çeliklerinde, makine yapım çeliklerinde, östenitik pas dayanımlı çeliklerde ve ısıya dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır [17].

2.3.9. Vanadyum (V)

Çeliğe katılan az miktardaki vanadyum elementi sıcakta çalışma dayanımını yükselterek aşırı ısınmadaki hassasiyeti düşürür. Hız çeliklerinin kesme dayanımlarını yükseltir. Çeliğe az miktarda katılan vanadyum, kaynak kabiliyetine etkisi ise hissedilir düzeyde olmaz [13]. Vanadyum Çeliğe sertlik ve özlülük kazandırarak, ince taneli bir yapı oluşmasını sağlar. Çelikler böylece darbe ve yüklere karşı yüksek dayanım gösterir. Daha çok kesici takım yapımında kullanılır. İyi bir karpit oluşturma özelliğine sahip olan vanadyum çelikte çekme dayanımını, akma sınırını ile özellikle de sıcakta dayanıklılık kabiliyetlerini iyileştirir [19].

2.3.10. Volfram (W)

Wolfram çeliğin dayanımını artıran alaşım elementlerinden birisidir. Yüksek ısıya dayanım ile takım çeliklerinde kesici kenarlar sertliğinin artmasını ve kullanma ömrünün uzamasını sağlar. Bu sebeple takım çeliklerinde, hava çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde yaygın bir şekilde alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Çelikte belirli yüzdelere kadar volframın varlığı kaynak edilebilme özelliğini geliştirir. Çeliğe ilave edilen beher volfram %'si, akma ve çekme dayanımını 4 kg/mm²'ye kadar artırır. Volframın karbür meydana getirmeye karşı kuvvetli bir eğilimi vardır. Yüksek çalışma sıcaklıklarında, çeliğin menevişlenmek suretiyle sertliğini kaybetmesine neden olduğundan, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında tercih edilir [20].

2.3.11. Niobyum (Nb)

Karbür yapıcı etkiye ve ayrıca tane inceltici etkiye sahip olması nedeniyle sertliğin artmasına ve akma sınırının yükselmesine sebep olur [21].

2.3.12. Titanyum (Ti)

Titanyumun alaşım elementi olarak çeliğe etkisi niobyumunkinden çok daha azdır. Alaşımlama oranıyla beraber mukavemet artırıcı etki orantılı olarak arttığından, titanyum ilavesiyle yüksek mukavemet artışları hedeflenmektedir. Titanyum mikro alaşımlı çeliklerde yeniden kristalleşme ataletine meyleder. Sıcak deforme edilebilirlik, azota olan aşırı afinitesinden ötürü ve bunun neticesi bağlama yüksek sıcaklıklarda sürekli iyileştirilir. Titanyumnitrür termodinamiksel ve fiziksel olarak niobyum

karbonitrüre çok benzemektedir. Titanyumnitrür kaynak esnasında ısı tesiri altındaki bölgenin tane irileşmesini engeller. Titanyumun tane küçültme etkisi vanadyum ile niobyum arasında yer almaktadır. Titanyumun çökelti sertleştirme karakteristikleri ise vanadyuma benzerlik göstermektedir [22].

2.3.13. Alüminyum (Al)

% 1,5 oranına kadar olan alüminyum ilavesi korozyonun başlangıç aşamasında yavaşlatıcı etkiye sahip olsa da, uzun vadede oksijensiz ortamdaki korozyon dikkate alındığında korozyonu hızlandırıcı etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Alaşım elementi olarak akma dayanımını ile birlikte darbe tokluğunu artırıcı etki göstermektedir [23].

Alüminyum en tesirli deoksidandır. Isıtma işleminde tane kabalaşması ile yaşlanmayı azaltır. Bunlara ilaveten tane inceltici özelliğe sahiptir [10].

2.3.14. Bor (B)

Düşük karbonlu çelikler ile orta karbonlu çeliklerin sertleşebilirliğini en etkin biçimde artırma özelliğe sahiptir. 0,0005-0,003 kadar düşük oranda olmak kaydı ile sakınleştirilen çeliklere katılırlar [10].

2.3.15. Bakır (Cu)

Çeliğin sertlik ve dayanımını artırıp esnekliğini azaltıcı özelliği vardır. Bakırın en önemli etkisi atmosfer yenimine karşı çeliklerin direncini artırmasıdır. Bakır çelik içerisinde düşük oranlarda bulunduğu çeliğin kaynak kabiliyetini etkilemez; fakat sıcak şekillendirilen çeliklerde kükürdün oluşturduğu etkiye benzer bir etkiyle sıcak gevreklik meydana getirir [24].

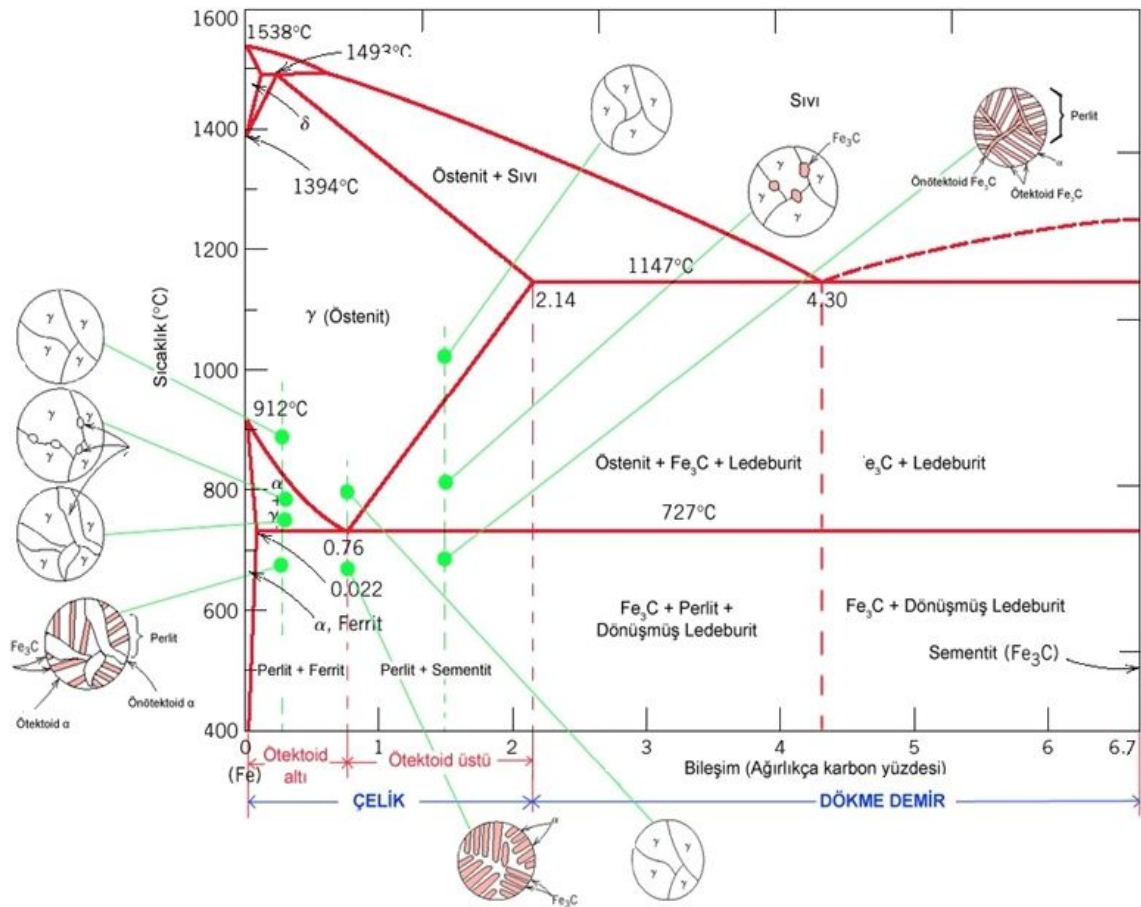
2.3.16. Azot (N)

Önemli Nitrür oluşturunucudur. Çeliğin mekanik ve korozyon dayanımını ile sertliğini artırır ve çelikte yaşlanma meydana getirir. Uygun alaşımdaki çeliklerin yüzeyine nüfuz ettirmek suretiyle sert ve aşınmaya dirençli yüzey tabakası elde edilir [25].

2.4. DEMİR - SEMENTİT FAZ DİYAGRAMI

Karbon (C) elementi demir esaslı malzemelere çok az miktarda bile katılırsa büyük ölçüde özellik değişimine yol açar [26].

Sementit (Fe_3C) ağırlık olarak % 6,67 oranında karbon içeren demir bileşiğidir. Söz konusu bileşik oluştuğunda, demir-karbon sistemleri için Fe- Fe_3C (demir-sementit) diyagramı geçerli olur. Fe- Fe_3C denge diyagramı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi diyagram peritektik, ötektik ve ötektoid noktaları içerir.



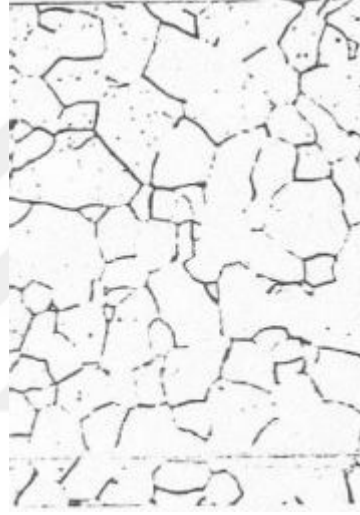
Şekil 2.1. Demir (Fe) - sementit (Fe_3C) denge diyagramı [27].

Karbon oranı % 0,8 olan çeliklere ötektoid çelikler, karbon oranı % 0,8’den az olan çeliklere ötektoid altı çelikler, karbon oranı % 0,8’in üstünde olan çeliklere ötektoid üstü çelikler denilir [28].

2.5. DEMİR – SEMENTİT DENGİ DİYAGRAMINDAKİ FAZLAR

2.5.1. Ferrit (α)

HMK yapılı demir içerisinde çok az oranda karbon çözünmesiyle oluşan bir arayer katı çözültisidir. Bu faz içerisinde 723 °C sıcaklıkta % 0,025 oranında karbon çözünürken, bu oran oda sıcaklığı için % 0,008 değerine kadar düşmektedir. Ferrit demir-karbon sistemindeki en yumuşak fazdır. Sertliği 90 RSD-B, çekme dayanımı 270 MPa ve kopma uzaması % 40 civarındadır. Ferrit düşük mukavemete, yüksek plastikliğe sahiptir [28]. Ferritin mikro yapı görüntüsü Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Ferrit yapı [29].

2.5.2. Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

Fe-Fe₃C diyagramındaki ötektoid alaşıma (723 °C, % 0,8 C) perlit denilir [30]. % 100 perlitik çelikler, yüksek mukavemet, yüksek sertlik ve iyi aşınma direncine sahiptir. Düşük süneklik ve tokluk özellikleri gösterirler. Perlitik çeliğin çentik darbe geçiş sıcaklığı oda sıcaklığının oldukça üstündedir. Bu nedenle perlitik çelikler tokluğun önemli olduğu yerlerde kullanılmazlar. Perlitik çelikler, demiryolu rayları, tekerleri ve yüksek mukavemetli tellerin yapımında kullanılır. Perlitik ray çelikleri ray/teker arasında mükemmel aşınma direnci sağlar [30].

Perlit, sertliği yüksek olan sementit ve çok yumuşak, sünek ferrit fazından oluşan kompozit bir mikro yapıdır. Perlit içindeki sementit ve ferrit lamelleri arasındaki

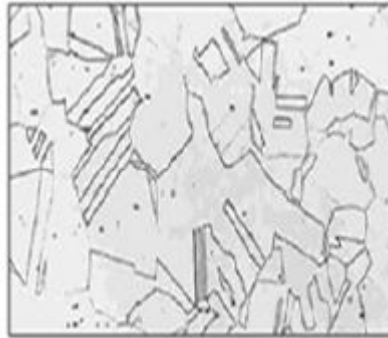
mesafenin azalması, perlitin sertlik ve dayanımının artmasını sağlar. Sementit lamellerinin yapısı çeliğin şekillendirilebilirliğini etkiler. İnce sementit lamel yapılı çelik daha kolay deforme olurken, kalın lamelli yapıya sahip olan çelikler ise kırılarak çatlak oluşumuna neden olabilirler [30]. Perlitin mikro yapı fotoğrafı Şekil 2.3'te görülmektedir. Metalografik yapısı ferrit ve sementit lamellerinden oluşur. Perliti oluşturan fazlardan ferrit ışık mikroskobu altında beyaz, sementit ise siyah gözükür.



Şekil 2.3. Pelit ve sementit yapı [29].

2.5.3. Östenit (γ)

Karbonun γ demirindeki katı eriyiğidir. YMK kafes sistemine sahiptir (911- 1392 °C). Düşük akma gerilimi, yüksek çekme gerilimine sahiptir. Çekme mukavemeti 1030 MPa, kopma uzaması % 10 ve sertliği 40 RSD-C civarında olan östenitin tokluğu yüksektir. Östenit plastik deformasyona maruz kaldıkça mukavemeti artar, pekleşir. Normalde oda sıcaklığı için kararsız bir faz olmasına rağmen, özel durumlar için oda sıcaklığında da östenit elde edilebilir. Östenit 1147 °C sıcaklıkta % 2,0 oranında karbon çözündürür [28], [31]. Östenit yapının genel görünümü Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Östenit yapı [29].

2.5.4. Ledeburit

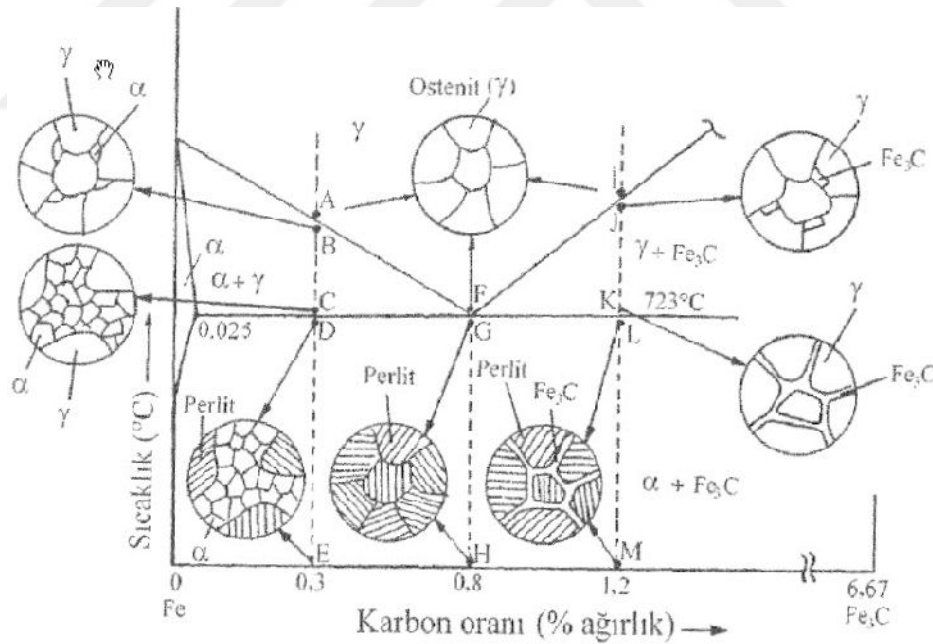
Fe-Fe₃C diyagramındaki ötektik alaşıma (1147 °C, % 4,3 C) ledeburit denilir. Ledeburit östenit (γ) ve birincil sementit (Fe₃C) fazlarından meydana gelir. Sıvıdan ayrılan sementite birincil sementit (primer sementit) denilir [30].

2.5.5. Dönüşmüş Ledeburit

Ledeburit içindeki östenitin karbon oranı, sıcaklık düşüşüyle azalır. Östenit içerisindeki karbon oranı % 0,8 C olunca, perlit olarak dönüşür. Bundan dolayı 723 °C'nin altındaki ledeburite dönüşmüş ledeburit denilir [30].

2.6. ÇELİKLERİN SOĞUMASI SIRASINDA OLUŞAN İÇYAPILAR

Şekil 2.5'te Fe-Fe₃C denge diyagramının çeliklere ait kısmı ile bazı çeliklerin östenit fazından yavaş soğuması sırasında oluşan içyapılar görülmektedir.



Şekil 2.5. Fe-Fe₃C denge diyagramının çeliklere ait kısmı ve soğuma sırasındaki oluşan içyapılar.

Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi; % 0,3 C içeren çelik A noktasında % 0,3 C oranına sahip östenit (γ) tanelerinden oluşur. B noktasında karbon atomları yayınarak uzamaya başlar ve demir atomlarının YMK yapıdan HMK yapıya geçmeleri sonucunda,

çoğunlukla östenit tanelerinin sınırlarında karbon oranı düşük olan ferrit (α) taneleri oluşmaya başlar. C noktasında ferrit taneleri çoğalır ve yapıdaki östenit fazının karbon oranı artarak % 0,8 değerine ulaşır. % 0,8 karbonlu çelik, östenitik bölgeden 723 °C'nin altına soğutulduğunda perlit ötektoid olarak oluşmaksızın ferrit ve lamelli sementitin bir karışımı oluşur; bağlantılı oluşan bu iki faz karışımına perlit denir (S noktası). % 0,8'den küçük karbon miktarlarında ilk olarak ferrit, A ve F eğrisi boyunca östenitten çökelir (bu faza ön-ötektoid ferrit de denir). D noktasında, östenit taneleri tamamen perlite dönüşmüş durumda bulunur. E noktasına kadar soğutulan çelikte önemli bir faz dönüşümü meydana gelmediğinden, içyapı D noktasındaki yapının aynısı olur. % 0,8 C içeren çeliğin F noktasındaki yapısı ise % 0,8 C içeren östenit tanelerinden oluşur. Bu yapı da G noktasında perlitik yapıya dönüşür. Bu dönüşümde, karbon atomları tane sınırlarından başlayıp, içeri doğru büyüyen sementit lamellerini oluşturacak şekilde bir araya gelir ve lamellerin aralarında karbonca fakir ferrit bölgeleri kalır. H noktasındaki yapı G noktasındaki yapının aynısı olur. % 1,2 C içeren çelik İ noktasında östenit tanelerinden oluşur. J noktasında karbon atomlarının tane sınırlarına yayılması ile bu noktalarda sementit çökmeye başlar. K noktasında soğuma sırasında sürekli artan sementit bütün tane sınırlarını kaplar ve ayrıca östenit içerisinde çözünen karbon oranı da sürekli azalarak bu noktada % 0,8 değerine düşer. L noktasında ise arda kalan östenit fazı tamamen perlitik yapıya dönüşmüş durumdadır. M noktasındaki yapı, L noktasındaki yapının aynısı olur. İncelenen bu yapıda daima katıdaki (östenit) karbon difüzyonu nedeniyle meydana gelmektedir. Ferrit karbonca fakir bölgelerde, sementit (demir-karbür) ise karbonca zengin bölgelerde oluşmaktadır [32].

3. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER

3.1. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN TANIM VE ÖNEMİ

Yapı çeliklerinin 1980 & 1990'lı yıllarda çelik yapıların kompozit kiriş ve döşemelerinin imalatında etkili bir şekilde kullanımıyla beraber Batı Avrupa ülkelerinde kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde henüz yeteri kadar kullanılmayan yapı çelikleri hususen 1999 Marmara depremi sonrasında adından sıkça söz edilen bir yapı malzemesi olmuştur [33].

İnşaat sektöründe yaşanan bu gelişmelere ilaveten otomotiv sektöründe karoseri kısmını hafiflemek, yakıt tasarrufu, daha yüksek sürüş emniyeti, çevre ve hava kirliliğinin azaltılması gibi gereksinimler nedeniyle otomobillerin sac kalınlıkları gittikçe azalmakta, fakat buna ilaveten güvenlik gereksinimini karşılayabilmek amacıyla bu sacların mukavemeti artmaktadır [34]. Şekil 3.1'de yüksek mukavemetli çelik otomobil sacının sürüş güvenliğine sağladığı avantaj görülmektedir.



Şekil 3.1. 1998 model ile 2015 model Toyota Corolla'nın çarpma testi [35].

Söz konusu gelişmelerle birlikte çelik çeşitleri artmakta özellikle bu ihtiyaçları karşılayan çelikler yüksek mukavemetli çelikler adı altında kendine ait çelik grubunun oluşmasına neden olmaktadır [34].

Yüksek alaşımlı çelikler 210-550 MPa akma, 270-700 MPa gerilme dayanımı gösteren malzemelerdir. Geliştirilmiş yüksek alaşımlı çelikler ise 550 MPa'nın üzerinde akma,

700 MPa üzerinde gerilme dayanımı gösterirler. Bu çelik türleri geleneksel çelik malzemesine göre yaklaşık % 50 daha maliyetli olmasına rağmen daha hafif ve ince oluşları ile çeşitli avantajlar ve tasarım kolaylıkları sağlamaktadırlar. Çelik üreticileri geliştirdikleri teknikler ile farklı kalınlık ve özellikteki çelikleri bir araya getirip parçanın kullanıldığı yere göre sadece gerekli bölgede daha yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanımını sağlamışlardır.

Yüksek mukavemetli çelikler hafif konstrüksiyon malzemesi olarak tanınır. Kaynak ve soğuk şekillenme yeteneği de kullanım yerlerinin sayısını adeta sınırsız kılar. Her türlü kara, deniz, demiryolu araçlarının yapımında, her türlü boru taşımacılığında, kaldırma makinelerinde, büyük depoların yapımında bu çelikler hızla yerlerini almaktadırlar [36].

Yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanımı ile parçanın kalınlığında azalma sağlanabilmektedir. Aynı özelliklere sahip parçalar karşılaştırıldığında 1,60 mm kalınlığındaki HSLA (High Strength Low Alloy) 350/450 malzemesinden üretilmiş olan parçanın DP (Dual Phase) 500/800 malzemesinden üretilmiş yaklaşık olarak 1,25 mm kalınlığındaki parçayla eşit mukavemet değerine sahip olduğu açıklanmıştır. Et kalınlığındaki bu incelmenin parçayı % 24 daha hafif hale getirdiği belirtilmiştir [37].

Yüksek mukavemetli çelikler ince taneli veya özel kalite çeliklerdir [38]. Bu tür çelikler Avrupa literatüründe ince taneli yapı çelikleri olarak bilinmektedir [39]. CEN ISO/TR 15608'e göre ince taneli çelik gruplarının yer aldığı tablo Çizelge 3.1'de yer almaktadır.

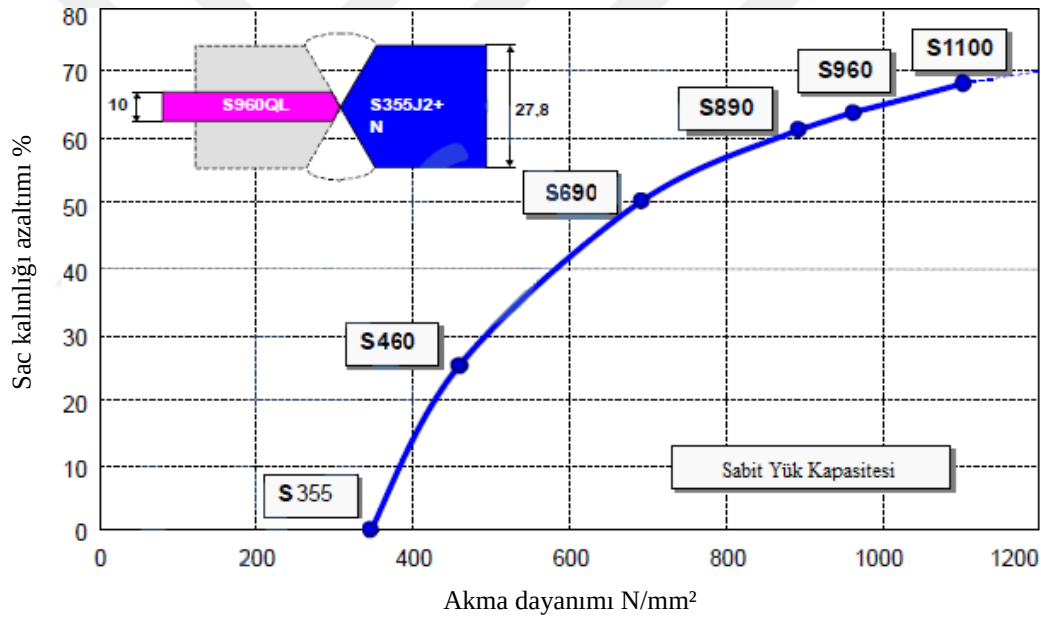
Çizelge 3.1. CEN ISO/TR 15608'e göre ince taneli yapı çeliği grupları [38].

Tür	Adlandırma (Standart)	Akma Sınırı [N/mm ²]	Temel alaşımı (Parça analizi %)	Mukavemet kazandırma metodu
İnce Taneli Yapı Çeliği N	1.3 Normalize haddelenmiş ince taneli yapı çeliği (EN 10 025-3)	275 - 460	$C \leq 0,22$; $Si \leq 0,65$; $Mn \leq 1,80$; $Al \geq 0,015$; İlave mikro alaşımlar: $V \leq 0,22$; $Nb \leq 0,06$; $Ti \leq 0,06$ $\Sigma \leq 0,26$	Tane küçültme, Makro alaşım, çökeltiler
İnce Taneli Yapı Çeliği M	2.1 - 2.2 Termomekanik haddelenmiş ince taneli yapı çeliği (EN 10 025-4)	275 - 500 (norm.) 275 - 700 (ticari.)	$C \leq 0,18$; $Si \leq 0,65$; $Mn \leq 1,80$; $Al \geq 0,015$; Mikro alaşımlar: $V \leq 0,14$; $Nb \leq 0,06$; $Ti \leq 0,06$	Tane küçültme, Makro alaşım, Soğuk deformasyon
İnce Taneli Yapı Çeliği Q	3.1 - 3.2 - 3.3 Su verilmiş, ıslah edilmiş ince taneli çelikler (EN 10025-6)	460 - 960 (norm.) 460 - 1.300 (ticari.)	$C \leq 0,22$; $Si \leq 0,86$; $Mn \leq 1,80$; $Al \geq 0,010$; Mikro alaşımlar: $V \leq 0,14$; $Nb \leq 0,07$; $Ti \leq 0,07$ ve: $Cr \leq 1,6$; $Ni \leq 2,1$; $Mo \leq 0,74$ kısmen: Zr veya B	Tane küçültme, Makro alaşım, Dönüştürme, Soğuk deformasyon

- CEN ISO/TR 15608 kapsamında 1.3, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 ve 3.3 alt gruplarında yer alırlar veya;

- ASTM standartlarında HSLA çelikleri olarak karşımıza çıkmaktadırlar: Örneğin A242, A572, A588, A606, A607, A618, A633 – A871.

Yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanımı ile parçanın kalınlığında azalma sağlanabilmektedir. Aynı özelliklere sahip parçalar karşılaştırıldığında 1,60 mm kalınlığındaki HSLA (High Strength Low Alloy) 350/450 malzemesinden üretilmiş olan parçanın DP (Dual Phase) 500/800 malzemesinden üretilmiş yaklaşık olarak 1,25 mm kalınlığındaki parçayla eşit mukavemet değerine sahip olduğu açıklanmıştır. Et kalınlığındaki bu incelmenin parçayı % 24 daha hafif hale getirdiği belirtilmiştir [37]. Genel ağırlıkta azalma grafiği Şekil 3.2’de yer almaktadır.

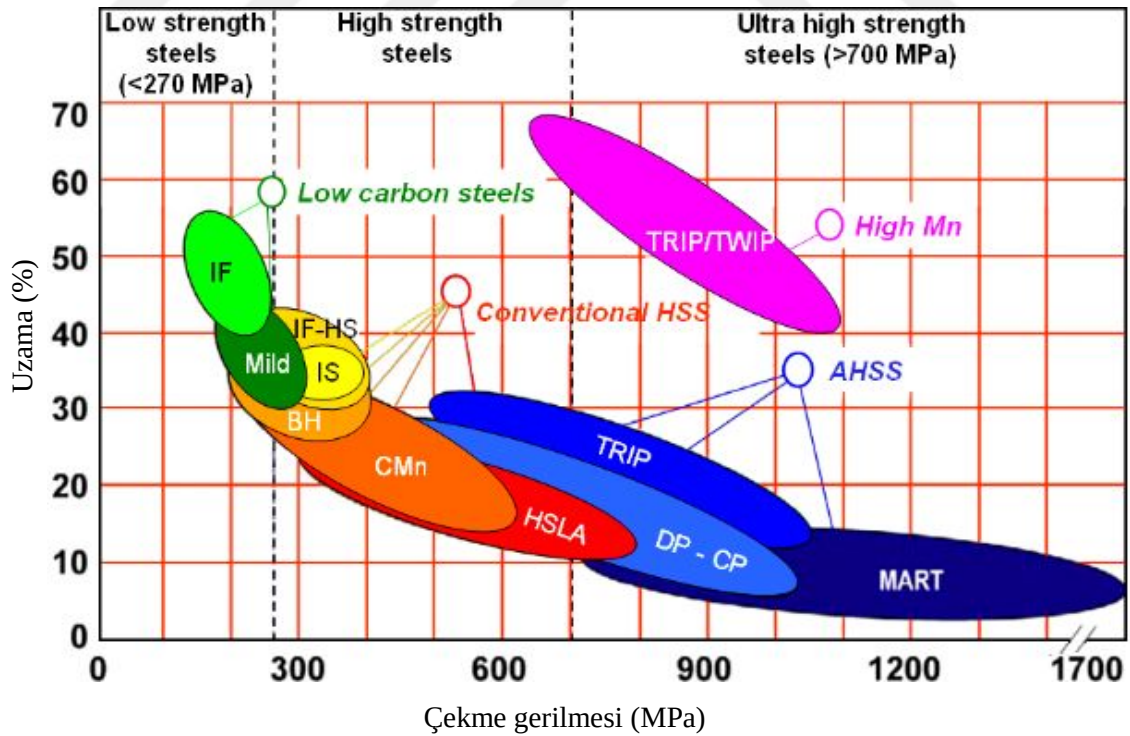


Şekil 3.2. Genel ağırlıkta azalma, malzeme ve maliyet azalma grafiği [38].

Günümüzdeki araçların ağırlık olarak % 70’lik bir kısmının geleneksel çelik ve demir parçalardan üretildiği bilinmektedir. Oldukça yüksek değerlerdeki mukavemet ve işlenebilirlik özelliklerinden dolayı HSS ve AHSS malzemelerinin hafifletme için büyük potansiyele sahip olduğu ve parça başına yaklaşık % 25 oranında hafifletmenin bu malzemeler ile mümkün olabileceği bilinmektedir [37].

Çelikleri akma mukavemetine göre sınıflandıracak olursak:

- a- Yüksek Mukavemet Çelikleri (HSS) çekme dayanımı 270-700 MPa arasında olan çeliklerdir.
- b- Ultra Yüksek Mukavemet Çelikleri (UHSS) çekme dayanımları en az 700 MPa'ın üstündeki çelikler olarak sınıflandırabilir.
- Düşük mukavemet çelikleri (LSS - Low Strength Steel) genellikle alaşımsız ve orta karbonlu çeliklerdir.
- Konvansiyonel yüksek mukavemet çelikleri (HSS-High Strength Steel), genelde karbon-mangan, fırında sertleştirilebilen izotropik, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı ve yüksek mukavemetli (IF) çeliklerdir.
- Gelişmiş yüksek mukavemet (AHSS-Advanced High Strength Steel) çeliğinin yeni tipleri aşağıda ki gibi sıralanmıştır:
 - Mikro alaşımlanmış YP ve MC çelik saclar
 - Dual Faz DP ve DL Çelik Saclar
 - Martenzitik M Çelik Saclar [40].



Şekil 3.3. Çeliklerde % uzama ve çekme gerilmesi arasındaki ilişki [41].

Genelde, AHSS grubu, benzer çekme dayanıma sahip konvansiyonel HSS'den daha büyük toplam uzamaya sahiptir [40]. Çeliklerde % uzama ve çekme gerilmesindeki ilişki Şekil 3.3'te verilmiştir.

3.2. YÜKSEK MUKAVEMET ÇELİKLERİ (KONVANSİYONEL)

Çekme mukavemetleri yaklaşık 270 – 700 MPa aralığındadır. Sac kaliteleri BH, CMn, HSLA, IS, IF-HS'dir

Malzemenin kısa tanımlamasında belirtilen değerler min. akma mukavemet değerleridir.

Örnek: Arcelor marka 300 BH kalite fırında sertleşebilen sacın sahip olduğu minimum akma mukavemeti 300 MPa'dır. HSLA 400 kalite yüksek mukavemetli düşük alaşımlı sacın minimum akma mukavemeti ise 400 MPa'dır.

Alternatif olarak; malzemenin kısa tanımlamasında min. akma ve min. çekme mukavemet değerleri beraber verilebilmektedir.

Örnek: HSLA 350/450 kalite sacın için min. akma mukavemet değeri 350 MPa, min. çekme mukavemet değeri 450 MPa'dır [42].

3.2.1. Fırında Sertleşebilen Çelikler (BH)

Otomotiv imalatçıların preslerinde kolaylıkla şekillendirilebilen ve düşük mukavemetli saclar fırında sertleşebilen saclar & çeliklerdir. Vakumlanarak gazı giderilmiş saclar özel yaşlanma (bir nevi akma mukavemetinde ki artış) karakteristikleri olan ürünler sağlar. Otomotivde kullanılan bu sac ürünleri fırında sertleşebilir sac olarak bilinir. Sac çelik saclar preslerde form verilerek otomobilin gövde parçaları haline getirilmeden önce normal depolama esnasında yaşlanmaya dirençli olarak dizayn edilirler. Buna ilaveten şekil verme sırasında yaşlanmaya başlarlar ve boya kurutma fırınlarında ısıtıldıktan sonra malzeme tamamen yaşlanmış olur. Sacın orjinal özelliklerine göre yaklaşık 34-70 MPa'lık arasında akma mukavemeti artışı nihai parçada elde edilmiş olur. Bu türden saclar form verebilme özelliğinden ödün verilmeden ezilmeye dirençli (dent resistance) parçaların üretilebilmesine de olanak sağlarlar. Örnek Sac Malzeme Kaliteleri: Arcelor 160 BH ve Arcelor 300 BH v.b. [42].

3.2.2. İzotropik Çelikler (IS)

İzotropik saclar ferritik mikro yapıdadırlar. Düzlemsel anizotropi değeri “0” olduğundan dolayı çekme işlemi sırasında kulaklanma riski oldukça küçüktür. Çekilerek veya gererek form verilebilirlik değeri yüksektir.

Düzlemsel anizotropi Δr , çekme işleminde oluşabilecek kulaklanmayla (earring) ilintilidir. Δr değerinin yüksek olması kulaklanma riski artışı anlamındadır.

$\Delta r > 0$ kulaklanma 0° ve 90° yönünde

$\Delta r < 0$ kulaklanma 45° yönünde

$\Delta r = 0$ kulaklanma oluşmaz: izotropik yapı

Örnek Sac Malzeme Kaliteleri: Isotropic E220i, Isotropic E260i [42].

3.2.3. Yüksek Mukavemetli Arayer Atomsuz Çelikler (IF-HS)

IF saclarının akma mukavemetleri genellikle düşüktür, akma mukavemetleri 150 MPa, çekme mukavemetleri ise 300 MPa civarındadır. IF saclarına fosfor, silikon ve mangan eklenerek mukavemetleri artırılmıştır. Çekme ve akma mukavemet değerleri IF saclarından yüksek olduğu için sekil verilebilirlikleri IF’ye göre daha düşüktür fakat diğer yüksek mukavemetli saclara göre oldukça yüksektir [42].

3.2.4. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelikler (HSLA)

280-550 MPa arası yüksek akma mukavemet değerlerine Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli (YMDA) saclar ile ulaşabilmek mümkündür. Bu sac grubu küçük taneli ferrit yapıya sahiptir, sacın sertleşme mekanizması genel olarak, kimyasal yapılarında içerdikleri mikro alaşım elementlerinin (Ti, V, Nb), karbon (C) ve/veya azot (N) ile oluşturduğu çökeltilerdir. Yüksek mukavemet değerlerine ulaşılabilmesini sağlayan alaşım elementleri olduğu için, bu saclara “mikro alaşımli saclar” da denir. Kimyasal yapı içerisine mangan (Mn), fosfor (P) veya silikon (Si) eklemek mukavemet değerini daha da artırır fakat yüksek mukavemet değerlerinin düşük form verilebilirlik anlamına da geldiği unutulmamalıdır [42].

Örnek Sac Malzeme Kaliteleri: HSLA 240, HSLA 400, HSLA 500, HSLA 700

3.2.5. CMn Karbon Çeliği (CMn)

Katı ergiyik serleşmesi için C, Mn ve Si içeren çeliklerdir.

3.3. GELİSTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMET ÇELİKLERİ

“DP, TRIP, CP, Mart” kalite; çekme mukavemet değeri 450–1700 MPa olan saclardır. Malzeme kısa tanımında belirtilen değer min. çekme mukavemet değeridir. Örnek olarak DP 600 çift fazlı sacın minimum çekme mukavemeti 600 MPa’dır, TRIP 800 dönüşümle oluşturulan plastisite sacının min. çekme mukavemeti 800 MPa’dır.

Alternatif olarak, malzemenin kısa tanımlamasında min. akma ve minimum çekme mukavemet değerleri birlikte olarak da verilebilir.

Örnek olarak, DP 350/600 sacı için minimum akma mukavemet değeri 350 MPa, minimum çekme mukavemet değeri ise 600 MPa’dır [42].

3.3.1. Çift Fazlı Çelikler (DP)

Yumuşak ferrit matris içerisinde adacıklar şeklinde % 10-20 martenzit fazı içeren çelikler olarak tanımlanır. Yapılarında çok düşük miktarda olsa kalıntı östenit, perlit ve beynit fazları bulunabilir.

Çift fazlı çelikler genel karakteristik özellikleri açısından değerlendirildiğinde sürekli akma uzaması, yüksek çekme mukavemeti, yüksek pekleşme hızı, düşük akma/çekme dayanımı gibi özelliklere sahiptirler.

Üstün şekillendirilebilme kabiliyeti ve iyi kaynak edilebilirlik özellikleri ile araç hafifliği ve yakıt tasarrufu sağlaması gibi avantajlarından dolayı otomotiv sektöründe en fazla kullanımı olan çeliklerdendir [43].

3.3.2. Martenzitik Çelikler (Mart)

Martenzitik çelikler, tüm faz yapısı martenzit fazı içeren çeliklerdir. Sıcak haddeleme ve tavlama proseslerinde östenit yapı çok yüksek soğutma hızlarında soğutularak istenen içyapı elde edilir. 1200-1900 MPa üzerinde çekme mukavemeti aralığında kullanıma sahiptir. Temperleme işlemi yapılarak malzemeye süneklik özelliği kazandırılarak

şekillendirilebilme kabiliyeti artırılmaktadır. Martenzitik çelik kullanılarak üretilen otomotiv gövde parçaları daha çok yüksek çarpma yükleri gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Otomobilde daha çok tampon takviyesi parçalarının üretiminde kullanılır [43].

3.3.3. Kompleks Fazlı Çelikler (CP)

Kompleks fazlı çelikler (CP), ferrit/beynit matrisi içinde az miktarda martenzit, kalıntı östenit ve perlit bulunmaktadır. Çift fazlı çelikler ile karşılaştırıldığında aynı çekme dayanımı için akma mukavemeti değerleri daha yüksektir. Yüksek enerji absorpsiyon kabiliyeti, yüksek kalıntı deformasyon kapasitesi ve şekillendirme sonrası üstün kenar çatlak direnci özelliklerine sahiptir. Pencere alt en kirişi, şasi parçaları, enine kiriş, gövde destek sütunları, alt ray, tampon kirişi, çamurluk gibi komponentlerde kullanılır [43].

3.3.4. Dönüşüm Etkili Plastisite Çelikleri (Trip)

Dönüşüm etkili plastisite (TRIP) çelikleri, ferrit fazı matrisi içinde dağılmış martenzit ve/veya beynit, % 5 oranından fazla kalıntı östenit içerir. Bu çelik grubunda deformasyon ile birlikte östenit fazı martenzite dönüşerek malzemeye daha iyi form alabilme kabiliyeti kazandırır. Pencere üst en kirişi, şasi yan kolu, tavan rayı, koltuk çerçevesi, üst tavan destek sacı parçalarında kullanılır [43].

4. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN KAYNAĞI

Kaynak işlemi, birbirine aynı yâda ergime aralığı birbirine yakın iki yâda daha fazla metalik veya termoplastik parçaları; basınç, ısı veya ikisi birden kullanılarak ergitme gerçekleştirilip, genelde kaynatılacak metal malzeme ile aynı veya birbirine çok yakın sıcaklıkta eriyen ilave metal kullanarak veya kullanmadan yapılan birleştirme veya dolgu işlemine metal kaynak denir [44].

4.1. KAYNAK KABİLİYETİ

Kaynak kabiliyeti kesin ve niceleyici yönden ifade edilen bir özellik olmamakla beraber karmaşık bir anlam taşır. Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün (IIW-IIS) IX numaralı “Kaynak Kabiliyeti” Komisyonu, kaynak kabiliyetini şu şekilde tarif etmektedir: Bir metalik malzeme, verilen bir usul ile bir maksat için bir dereceye kadar kaynak yapılabilir diye kabul edilir. Uygun bir usul kullanarak kaynaklı metalik bağlantı elde edilgi zaman, bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona tesirleri bakımından tayin edilmiş bulunan şartları sağlamalıdır. IIW (International Institute of Welding), IIS (Institute International de la Soudure) Yapılan tariftten de anlaşılacağı üzere, kaynak kabiliyeti sadece malzemeye bağlı bir özellik değildir. Bunula birlikte kaynaklı konstrüksiyona ve kaynak usulüne da bağlıdır. Bir metal veya metal alaşımları, belirlenen bir kaynak usulünde gayet iyi derecede bir kaynak kabiliyeti gösterirken diğer bir usulde çok kötü bir kaynak kabiliyetine sahip olabilir [45].

İnce taneli yapı çelikleri, karbon ve alarım elementi içeriğindeki sınırlamalardan dolayı gayet iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptirler. Alışılmış yapı çeliklerinin kaynağında, soğuma hızının mümkün olduğu kadar yavaş olması için öntav yaparak ve yüksek enerji girdisi ile birlikte kaynak yapılır. Fakat ince taneli yapı çeliklerinin kaynağında soğuma hızının yavaş olması esas metalde erime çizgisine bitişik bölgede ferrit ve yüksek karbonlu martenzit ya da kaba beynit bölgelerinden oluşmuş bir içyapıya dönüşmesine neden olur. Bu dönüşümde tokluğun azalarak mukavemet özelliğinin kötüleşmesi sonucunu doğurur. Bu olay, özellikle yüksek sıcaklıkta öntav uygulanmış ve tek paso ile

kaynak edilmiş bağlantıların itabında kendini etkili bir biçimde hissettirir. Çok pasolu kaynaklarda ise, her paso kendinden önceki pasonun kaynak bölgesine temperleme işlemi uygulandığından tek paso uygulamasına göre kaynak bölgesinin özelliklerinde olumlu bir iyileşme görülür [46].

Uygulamada özgül enerji girdisi için, ortalama olarak +5 °C'nin altında yapılan kaynaklarda parçaya genelde 80 °C ile 200 °C arasında öntav uygulanır. Bu sıcaklığın üzerindeki çalışmalarda öntav uygulanıp uygulanmaması yönünde kıstas olarak parça kalınlığı ve malzemenin akma sınırı temel alınır. Bu kıstas Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Uygulamadan kaynatılabilecek maksimum parça kalınlığı.

Akma Sınırı (N/mm ²)	Maksimum Kalınlık (mm)
2555 – 285	50
315 – 355	30
385 – 420	20
460 – 500	12
590'dan yukarı	8

Kaynaktaki amper ile ark gerilimi ve kaynak yöntemi göreceli ısıl etkinlik katsayısının çarpımının kaynak hızına oranı olarak tanımlanan E, kJ/cm olarak gösterilen özgül enerji girdisi, parça kalınlığı ve öntav sıcaklığı kaynak bölgesinin soğuma hızını etkileyen en önemli üç faktördür. İnce taneli yapı çeliklerinde, kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini kontrol altında tutabilmek için bu üç etkenin bir arada düşünülmesi gerekmektedir. Çeliklerin kaynak bölgesinin özelliklerini etkileme bakımından 800 °C ile 500 °C arasındaki soğuma süresi olarak adlandırılan t_{8/5} çok önemlidir. Bu sürenin azalması mukavemetin ve sertliğin artmasına neden olur ancak buna karşın çatlama eğiliminin yükselmesine de neden olmaktadır. Üretilen ince taneli yapı çelikleri için uygun t_{8/5} değeri çeliğin sertifikasında belirtilmektedir [46].

Otomotiv endüstrisinde yaygın kullanımı olan kaynak metotları direnç nokta kaynağı (RSW), dikiş direnç kaynağı (RSEW), metal asal gaz kaynağı (MIG), metal aktif gaz kaynağı (MAG), gaz tungsten ark kaynağı (TIG), lazer demet kaynağı (LBW), sürtünme kaynağıdır.

Punta kaynağı olarak da bilinen elektrik nokta direnç kaynağı otomotiv endüstrisinde en sık kullanılan birleştirme yöntemidir. Bir otomobil gövde üretiminde ortalama 4500

punta bulunmaktadır. Punta kaynak prosesinde, iki bakır elektrot arasında belirli bir baskı altında bulunan iş parçasının elektrik akımına karşı oluşturduğu direnç ile meydana gelen ısı ile birleştirme sağlanır [43].

4.2. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.2.1. Elektrik Direnç Kaynağı

Elektrik direnç kaynak yöntemi, 2 metal parçalardan geçirilen elektrik akımına karşı, bu parçaların göstermiş olduğu direnç nedeniyle oluşan ısıнын yardımıyla yapılan birleştirmedir. Parçalar kısmi olarak ergitilir ve kaynak için gereken kaynak banyosu oluşturulur. Kaynak banyosu oluştuğunda elektrik akımı kesilerek iş parçalarına basınç uygulanır. Uygulanan bu basınçla birlikte soğuma gerçekleştirilerek sökülemeyen bir birleşim sağlanmış olur.

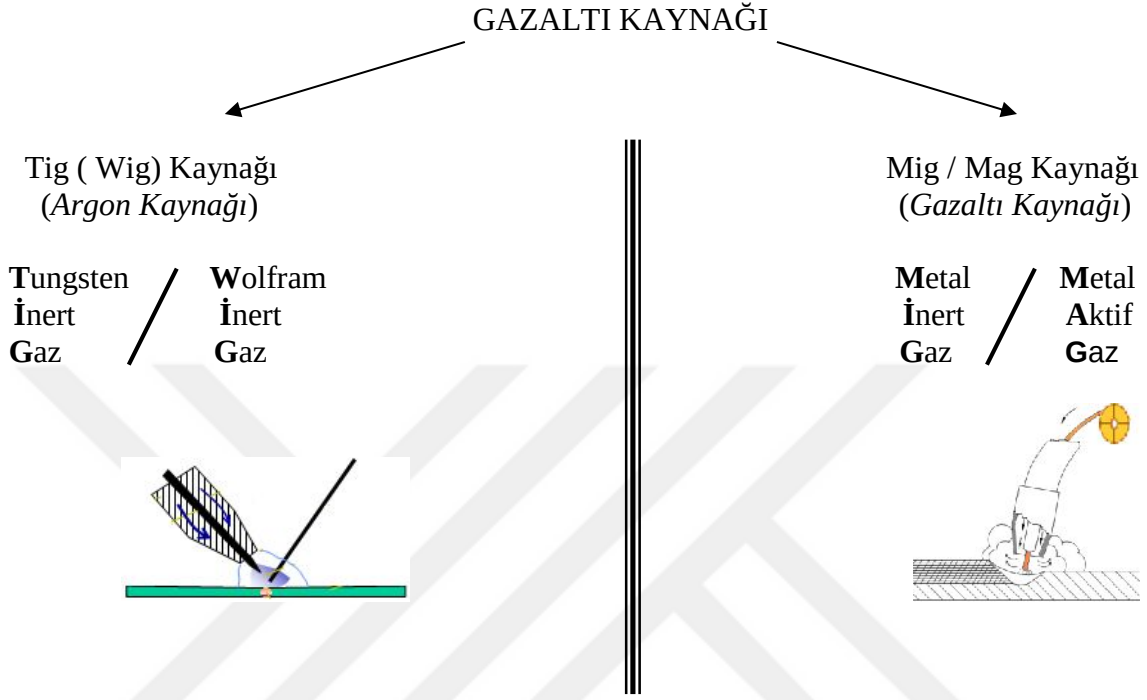
Elektrik direnç kaynakları sektörlerde en çok kullanıldıkları alan ve yapılaş şekillerine ve göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- Punta (Nokta) direnç kaynağı
- Kabartılı nokta kaynağı
- Direnç alın kaynağı
- Dikiş direnç kaynağı [47].

4.2.2. Gazaltı Kaynağı

Ergiyik kaynak banyosunun gaz atmosferi altında korunması fikri oldukça eskilere dayanır. İlk keza 1926 yılında geliştirilen Alexander usulünde kaynak dikişi metanol gazı ile korunmuştur ve daha sonrasında 1928’de de Arcogen usulü geliştirilmiştir. İnert gazların koruyucu gaz olarak kullanılması ancak; 1930 yılında ABD’de Devers ve Hobart tarafından patenti alınmış ve 1940 yılında da Northrop Aircraft Company Inc. firmasınca, uçak inşasında magnezyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır. Burada önceleri helyum gazı kullanılmış ve daha sonrasında 1942 yılında Linde Air Product Company ve Union Carbide and Carbon Corporation tarafından helyum ve argon gazları kullanılarak hafif metal ve alaşımlarının kaynağı yapılmıştır. İnert

gazlarının haricinde karbondioksit gibi aktif bir gazın kullanılması konusundaki ilk çalışmalar 1952 yılında başlamıştır. Günümüzde çeşitli aktif ve inert gazların kullanıldığı, donanımı aynı fakat farklı karışım gazların kullanıldığı çeşitli gazaltı ark kaynak yöntemleri mevcuttur [48].



Şekil 4.1. Gazaltı kaynak çeşitleri [49].

Bu kaynak yönteminde kullanılan elektrot ve gazların cinsine bağlı olarak gaz koruyucu yöntemleri tig ve mig veya mag olarak sınıflandırılabilirler [48]. Tig ve mig/mag kaynak yöntemleri arasında temel fark Şekil 4.1’de verilmiştir.

Alaşımsız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi ticari açıdan önemli tüm metaller uygun koruyucu gaz, elektrot ve kaynak değişkenleri seçmek şartıyla, bu yöntemle kaynak edilebilirler [50].

4.2.2.1. Tungsten İnert Gaz (TIG) Kaynağı

Koruyucu bir asal gaz atmosferi altında kaynak yöntemi uygulaması ilk defa II. Dünya savaşında uçaklarda kullanılan bazı magnezyum parçalarının birleştirilmesinde başlamıştır. Bu gün ise en çok aranan yöntemlerden birisi haline gelmiştir. Bu yöntemde, kaynak edilen parça ile ergiyen elektrot (tungsten veya alaşımları) arasında oluşturulan bir elektrik arkı kaynak için gerekli sıcaklığı sağlar. Atmosferin kaynak bölgesine olan

olumsuz etkilerine mani olabilmek için banyo ve elektrot, kaynak esnasında bir asal gaz akımı ile örtülür. Tig kaynağında başlangıçta helyum sonralarında ise argon gazı kullanılmaya başlamıştır [51].

Tig kaynağı paslanmaz çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve diğer demir dışı metaller gibi kaynak işlemi zor olan metallerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İlave tel kaynak bölgesine aynı oksii-asetilen kaynağında olduğu gibi verilir [51].

Ergimeyen tungsten elektrot ile kaynak edilen parça arasında elektrik arkı oluşur. Kaynak yönteminde kullanılan tungsten elektrot erimez, kaynak yapılacak metal ergitilerek birleştirme sağlanır. Gerekli görüldüğü hallerde ana metal ile benzer yapıya sahip çubuk şeklinde ilave metalin kullanılması ile kaynak gerçekleştirilir. Prensip olarak oksii-gaz kaynağına benzer [49].

4.2.2.2. Metal İneri Gaz (MIG) Kaynağı

Sürekli tel ile koruyucu atmosfer altında yapılan gazaltı kaynağı mig veya GMAW (Gas Metal Arc Welding) olarak tanımlanır [52].

Mig kaynağı, 1948 yılında ABD’de “Linde Air Products Company” tarafından alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır. Daha sonrasında da yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının ve karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmıştır. Bu yöntem, tig kaynağına çok benzerdir sadece tig kaynağına göre fark arkın, kaynak yerine otomatik olarak gelen ilave metal ile iş parçası arasında teşekkül etmektedir. Yüksek akım şiddeti mükemmel bir erime özelliğı ile derin bir nüfuziyet sağlar [53].

İlave tel ile gazaltı kaynağında, gerekli olan ısı enerjisi malzeme ile sürekli tel arasında oluşturulan elektrik arkıyla ortaya çıkar. Kaynak torcu, kaynak bölgesine ilave teli besler, aynı zamanda koruyucu gazı da kaynak bölgesine göndererek kaynak bölgesinin ve kaynak banyosunun havanın kötü etkisinden korunmasını sağlar. Gaz korumasına göre yöntemin adlandırılması değişir. Şayet soygaz atmosferi altında bir kaynak yapılıyorsa mig olarak adlandırılır [52].

4.2.2.3. Metal Aktif Gaz (MAG) Kaynağı

Mig kaynağının aktif gaz koruması altında yapılan kaynak yöntemi mag olarak adlandırılmıştır. Mag kaynağı, mig kaynağının 1950 yılında geliştirilmesiyle kullanılmıştır. Öncelikle sadece yatay pozisyonda kaynak yapılabilme imkânı vardı. İnce çaplı elektrotların kullanılmaya başlanmasıyla beraber her pozisyonda kaynak yapılabilme imkânı olmuştur. Daha sonraları sprej ark yönteminin keşfedilmesiyle uygulanmasıyla birlikte kalın çaplı elektrotlarla da her pozisyonda kaynak yapılabilir. Başlangıçta koruyucu gaz olarak karbondioksit (CO₂) kullanılmış ve daha sonraki süreçte arkı yumuşatmak ve sıçramayı azaltmak için argon gazı ile karıştırılarak kullanılabilir [53], [54].

4.2.2.4. Özlü Telle Ark (FCAW) Kaynağı

Gmaw kaynak makineleri yapılan bir kaynak yöntemidir. Özlü telle ark kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen bir özlü tel elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Ark ve kaynak bölgesini koruma işlevi özlü tel içindeki öz maddesinin yanması ve ayrışması sonucunda oluşan gazlar tarafından veya gazaltı kaynağındaki gibi dıştan beslenen bir koruyucu gaz tarafından gerçekleştirilir. Kendinden korumalı olan (açık ark özlü kaynak telleri) kaynak işlemini ise daha çok örtülü elektrot kaynak yöntemindeki gaz korumasına benzer. Örtülü elektrotların üzerindeki örtü maddesi elektrotların düz çubuklar olarak üretilmesine ve boy kısıtlamasına neden olur. Özlü tellerde ise bu örtü maddesi boru şeklindeki tel elektrotun içinde olduğu için makaralara sarılı tel şeklinde üretilir ve sürekli kaynak bölgesine beslenebilir.

Bu kaynak yöntemi, hem yarı otomatik hem de otomatik kaynak sistemlerinde uygulanabilir.

Özlü telle ark kaynağının dezavantajı, kaynak dikişi üzerinde örtülü elektrot ark kaynağında olduğu gibi ama biraz daha ince bir cüruf tabakasının oluşmasıdır. Fakat şu an cüruf temizliğine ihtiyaç olmayan veya cüruf oluşturmayan pek çok özlü tel elektrot türü üretilmektedir [49].

Özlü telle ark kaynağı için elektrotlar, rutil karakterli, bazik karakterli ve metal özlü olmak üzere üç türede üretilir.

Rutil karakterli özlü teller, yumuşak ark karakteristiği, yüksek kaynak kabiliyeti, kolay cüruf, kolay temizlenişi ve güzel dikiş görüntüsüne sahiptirler. Er pozisyonunda kaynak yapmaya uygun olması nedeniyle tersanelerde en çok kullanılan özlü tellerdir.

Bazik karakterli özlü teller, yüksek mekanik özellikleri nedeniyle ince taneli ve yüksek dayanımlı çeliklerin kaynağında kullanılırlar. Düz ve yatay pozisyonlarda kullanılması, sınırlı uygulama alanına neden olduğu için tersanelerde fazla kullanılmazlar.

Metal özlü teller ise spreyci ark modunda, yatay pozisyonlarda yüksek metal yığılma hızına sahiptirler. Cüruf oluşturmama özelliği ile diğer özlü tellerden ayrılmaktadırlar. Kaynak sonrası yüzeyde sadece silis oksit kümeleri kalır. Bu kalıntıların miktarı kullanılan gazın miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu elektrotlarda pasolar arsasız temizlik yapmadan üst üste çoklu pasolar kaynak yapabilme imkânı vardır. Ayrıca bu teller boruların kök pasolarında ve köşe kaynaklarında kullanılırlar [51].

4.2.3. Lazer Kaynağı (LBW)

Lazer demet kaynağı belirli avantajlarından dolayı otomotiv endüstrisinde kullanımı oldukça fazladır. Üretim aşamasında esneklik, üretilebilirliğin artırılması, bakım maliyeti ve enerji tasarrufu sağlaması önemli özelliklerindendir. Bakır aynalardan yansıyarak kaynak noktasına ulaşan lazer demeti o noktada ısı etkisi oluşturur ve temassız bir şekilde kaynak işlemi gerçekleştirilir.

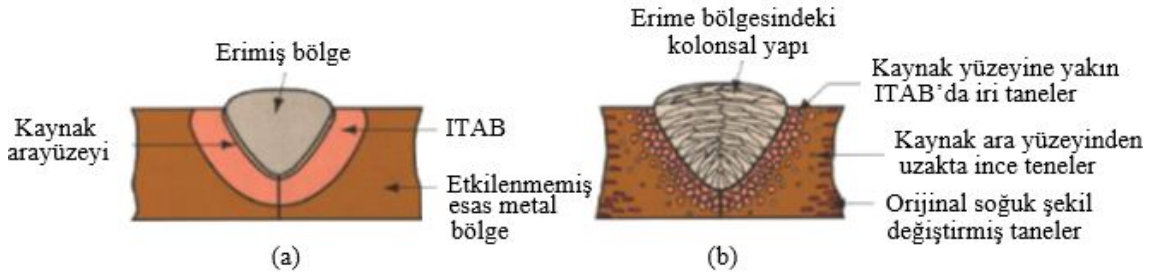
Lazer gücü, hız ve odaklanmış nokta kaynak çapı kaynak derinliği ve genişliğini belirleyen parametrelerdir. 0,2 mm – 0,6 mm kalınlık aralığındaki metal malzemeler kolaylıkla lazer kaynağı ile birleştirilebilir. Otomotiv endüstrisi yoğunlukla 3-5 kW güç aralığında CO₂ akışı ile çalışan lazer sistemlerini kullanmaktadır.

Lazer ışını temassız olarak çalışır, yani takım ile iş parçası arasında hiçbir mekanik kontak oluşmaz ve iş parçasının istenmeyen alaşımlanması veya distorsiyonu önlenmiş olur. Kaynak süresi; iri taneli olma, tekrar kristalleşme ve segregasyon gibi uygun olmayan içyapı değişimlerine engel olacak ve hızlı üretimi sağlayacak kadar kısadır. Lazer ışının üretimi; mikrop plazma kaynağındaki gibi koruyucu gazların kullanılmasını, elektron ışını ile kaynaktaki gibi vakumun sağlanmasını gerektirmez. Bu sebepten bilhassa seri imalat için, üretim hızı, otomatize edilebilme imkânı gibi üstünlükleri vardır [43].

4.3. ISI TESİRİ ALTINDAKİ BÖLGE (ITAB)

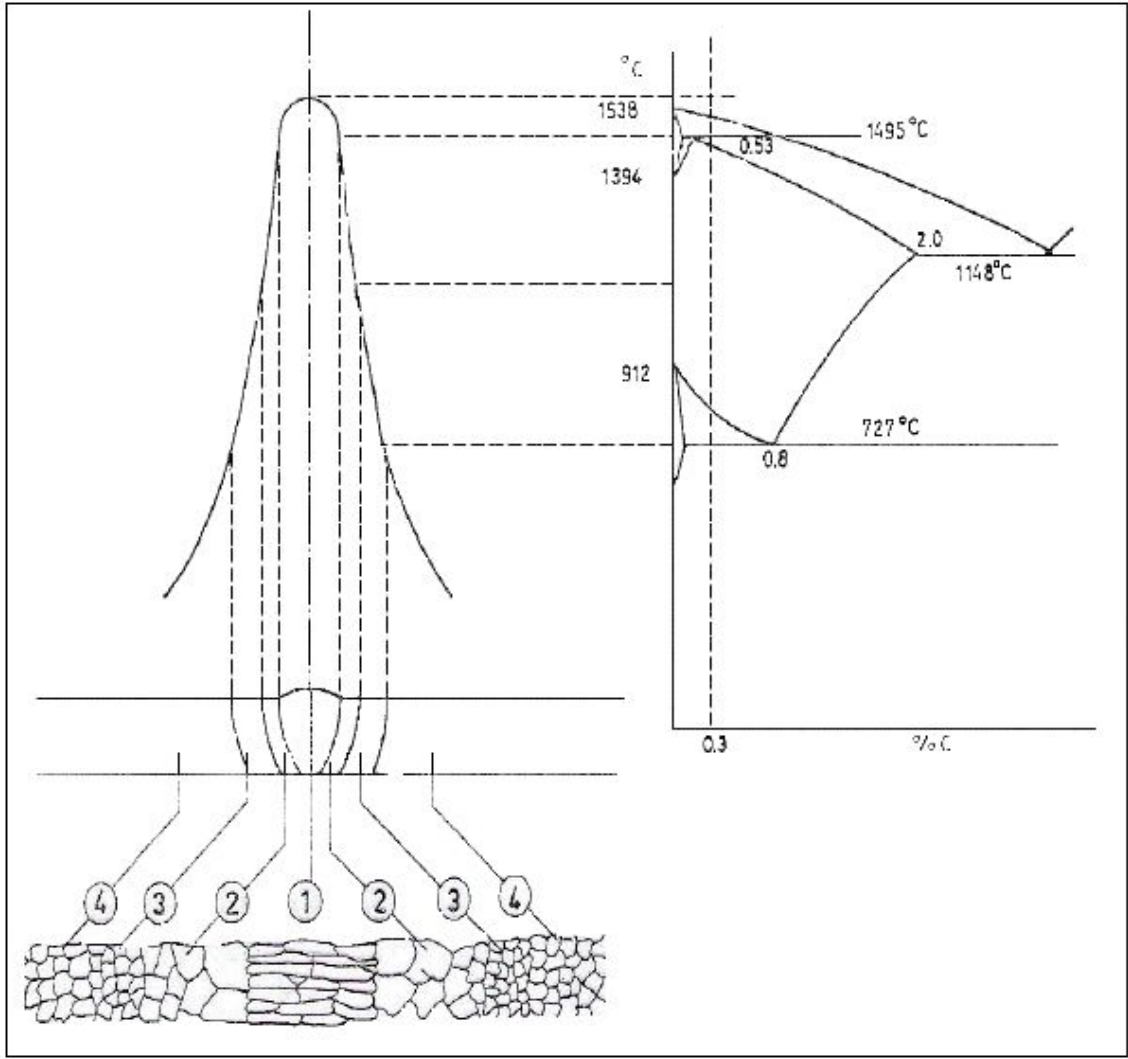
Şekil 4.2’de kaynak dikişinde ve ısı etkisi altında kalan alanda sıcaklıkla tane yapısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 4.3’te görüleceği gibi kaynak dikişinin bulunduğu kısımda 1. bölge sıcaklık ergime derecesindedir. Soğuduğu zaman ısı kaçış yönünde sütunsal taneler oluşmaktadır. Kaynak dikişi dışında ergime derecesine ulaşmayan alt kritik sıcaklığa (723 °C) kadar inen bir ısı ana metali etkiler. Kaynak dikişini çevreleyen bu kısma Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) adı verilir. Burada iki temel değişim söz konusudur ve şu şekildedir:

- 1- Ana metalin mevcut taneler yapısı çöker, yerine şartların oluşturduğu yeni bir yapı doğar.
- 2- Daha önce ısı işlemlerle (yumuşatma, sertleştirme, temperleme) ana metale kazandırılmış özellikler bozulur [54].



Şekil 4.2. Kaynak işleminden sonra meydana gelen oluşumlar [52].

Kaynak işleminden sonra meydana gelen oluşumlar Şekil 4.2’de ve kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla taneler yapısı değişimi Şekil 4.3’te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla taneler yapı değişimi [54].

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

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

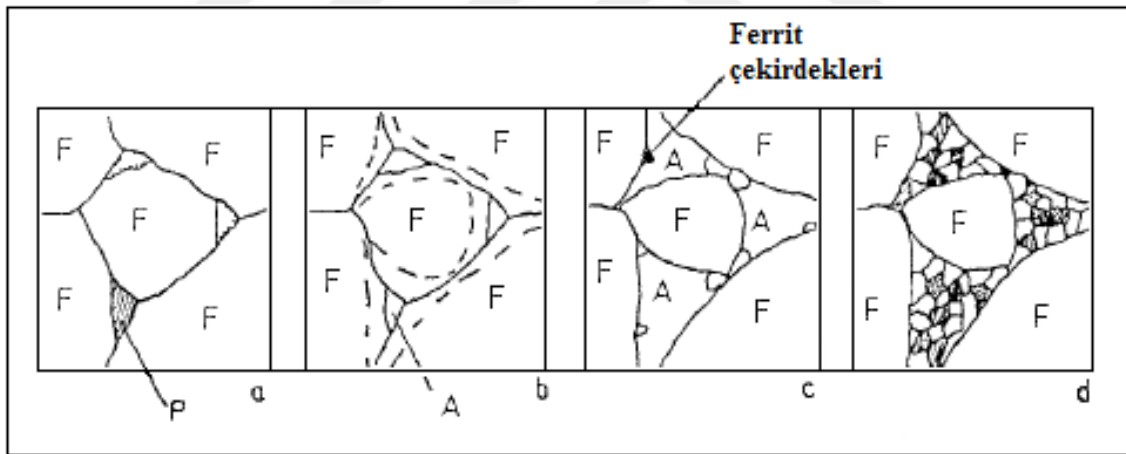
Kısaca bu yapının özellikleri şu şekildedir:

1- Kaba taneli ve sert,

2- Kaynak dikişinin en zayıf yeri

3- Çatlama ve korozyona en uygun yerdir.

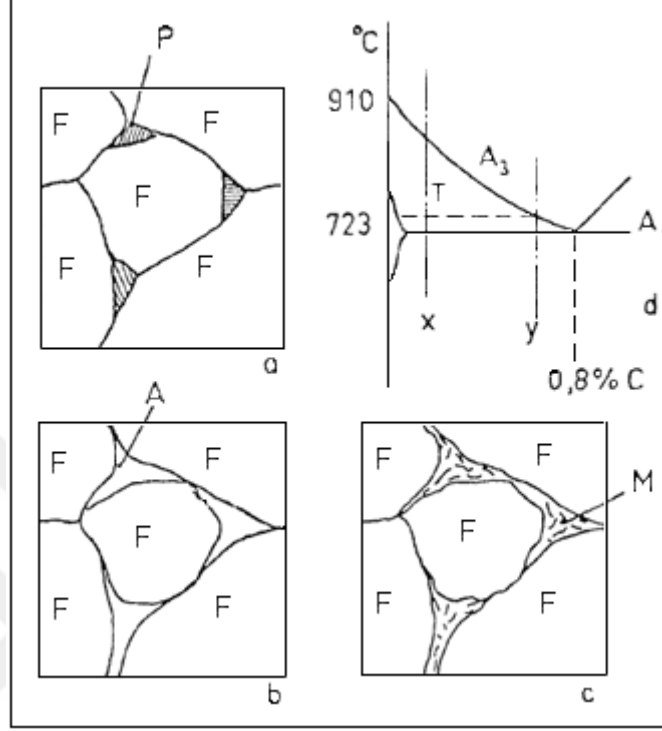
İnce taneli uzak alan, 1000 °C – 723 °C arasında sıcaklığın etkilendiği, fakat tane büyümesi yaratacak sıcaklığa erişmediği alandır. Ferrit ve perlit taneleri kısmen östenite dönüşmüşlerdir. Sıcaklığın düşük olması bu sıcaklıkta kalıp süresinin az olması nedeniyle ince tane oluşur. Bu taneler ana malzeme tanelerinden daha küçüktür. Bu oluşum şu şekilde açıklanabilir. Meydana gelen östenit taneleri orijinal ferrit tanelerinden daha iridir. Soğuma esnasında ferrit ile östenit arasındaki denge bozulur. Sonuçta ferrit östenit içerisinde, çekirdekleşir. Soğuma çekirdekleşmeyi teşvik eder ve neticede östenit karbon bakımından zenginleşir. Sıcaklık 723 °C'ye düştüğünde kalan östenit perlitte dönüşür ve perlit çekirdeklerinin büyümesi başlar. Isınma ve soğuma çevrimi sonucunda orijinal ferrit taneleri ufalmış, orijinal perlit taneleri ise küçük ferrit ve perlit tanelerinden oluşmuş koloniler şeklinde Şekil 4.4'te görülmektedir. Bu bölgede martenzit oluşumu az olup kaynak dikişinden meydana gelebilecek sıkıntı minimumdur [54].



Şekil 4.4. % 0,20'lu çelikte 3 numaralı bölgedeki yapı değişimi [54].

Ancak hızlı soğuma halinde meydana gelen yapı değişiklikleri şematik olarak Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Örnek olarak düşük karbonlu çelik seçilmiştir. Oda sıcaklığında kaynaktan önce yapı biraz perlit ihtiva eden ferrittir. 723 °C A1 sıcaklığına erişince, perlit aynı miktarda karbon ihtiva eden östenite dönüşür. Maksimum sıcaklığın A1'in üstüne çok az çıktığı burada, sadece ferritin çok az kısmı östenitleşir ve östenit çok yüksek miktarda karbon ihtiva eder. Şekil 4.5'te Meydana gelen östenit ferrit taneleri sınırı boyunca yayılır. Çok karbon ihtiva eden östenit, östenit dönüşmesinin tamamlandığı bölgedeki az karbon ihtiva edene göre daha düşük bir kritik soğuma

hızına sahiptir. Çabuk soğumada ferrit taneleri arasındaki östenit martenzite dönüşebilir. Eğer tane sınırları etrafında yayılmış ise, ferrit taneleri arasında yüksek karbonlu bir martenzit ağı şeklinde oluşur [54].



Şekil 4.5. Isı etkisi altında kalan bölgenin hızlı soğumasıyla meydana gelen yapı değişikliği [54].

ITAB genişliği, 1-3 mm arasındadır. A1 sıcaklığına erişemeyen esas metal kısımlarında kalıcı bir etki meydana gelmez [54].

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. MALZEME

5.1.1. Malzeme Seçimi

Bu çalışmada; hem otomotiv sektöründe hem de yapı sektöründe kullanılan S460M kalite yüksek mukavemetli çelik kullanılmıştır. Söz konusu malzeme ince taneli, kaynaklanabilir, termomekanik haddelenmiş yapı çeliğidir. Standart karşılığı EN 10025-4:2004, Erdemir Kalite Nosu: 4846, Malzeme Nosu: 1.8827'dir [55]. Çizelge 5.1'de S460M çeliğinin kimyasal alaşım oranları, Çizelge 5.2'de S460M malzemenin mekanik özellikleri yer almaktadır. Deneysel çalışmalarda 8 mm ve 20 mm kalınlığında malzemeler kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. S460M malzemenin kimyasal bileşimi % [55].

C	Mn	P	S	Si	Al	Cr	Cu	Mo	Ni	Nb	Ti	V	N	F
Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Total	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.
0,16	1,70	0,03	0,025	0,60	0,02	0,30	0,55	0,20	0,80	0,05	0,05	0,20	0,025	Kalan

Çizelge 5.2. S460M malzemenin mekanik özellikleri [55].

Re N/mm ²		Rm N/mm ² (Kg/mm ²)	A ₅ (%) Min.	Darbe ² Boyuna		Katlama Enine, 180° Kmç (d:kalınlık)
d<16 Min.	16<d≤20			Sıcaklık °C	KVc Min. J	
460 (46,9)	440 (44,9)	540-720 (55,1-73,4)	17	-20	40	4d

5.1.2. Kaynak Öncesi Hazırlık İşlemleri

Öncelikli olarak malzemeler kimyasal analiz testine gönderilerek doğru malzeme ile çalışıldığından emin olunduktan sonra 300x150x8 mm ve 300x150x20 mm ölçülerine getirilen parçalara 20° “V” kaynak ağızları açılmıştır. Özlü tel elektrotların kullanımında açılması gereken kaynak ağızları örtülü elektrot ile ark kaynağı ve

mig/mag kaynak yöntemlerinde kullanılan kaynak ağızlarından daha dardır. Bunun temel nedeni ise serbest tel uzunluğunun arttırılabilesidir [52].

6 mm kaynak boşluğu verilerek puntalanan parçaların baş ve son kısımlarına kulaklar kaynatılmıştır, malzemenin çekme yapmaması için takviyelerle desteklenmiş ve seramik altlıklar yerleştirilerek robotta kaynatmaya uygun hale getirilmiştir. Kaynak öncesi yapılan hazırlık işlemlerinden; kaynak ağızı ebatlama Şekil 5.1’de, kaynak kök boşluk miktarı Şekil 5.2’de ve seramik altlıklar ile takviyelerin konulma görüntüsü Şekil 5.3’te gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Kaynak ağızı ve ebatlama.



Şekil 5.2. Kaynak kök boşluğu.



Şekil 5.3. Seramik altlık ve takviyeler.

5.2. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİĞİN ÇOK PASOLU KAYNAK TEKNİĞİ

5.2.1. Kaynak Metodu

Deney parçaları fcaw yöntemi ile kaynak robotu kullanılarak kaynatılmıştır. Kaynak robotunun torcuna salınım hareketi vererek ve salınım hareketi vermeden (düz dikiş) kaynak dikişleri çekilmiştir. Bu nedenle çalışmada;

- a- Salınımlı kaynak
- b- Düz kaynak olmak üzere 2 ana başlık altında incelenmiştir.

5.2.2. Kaynak İşlemi ve Parametreleri

Çalışmada “salınımlı kaynak” ve “düz kaynak” olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılmıştır. Kaynak uygulamasında Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te gösterilen Reis Marka kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak robotuna gerekli parametreler girilerek önce kök paso, sonra dolgu paso ve kapak paso kaynakları yapılmıştır. Bütün bu işlemler düz kaynak ve salınımlı kaynak için tekrarlanmıştır. Hem 8 mm, hem de 20 mm kalınlığında ki deney parçalarına toplamda 6 farklı kaynaklı birleştirme tekniği uygulanmıştır.



Şekil 5.4. Reis marka kaynak robotu.

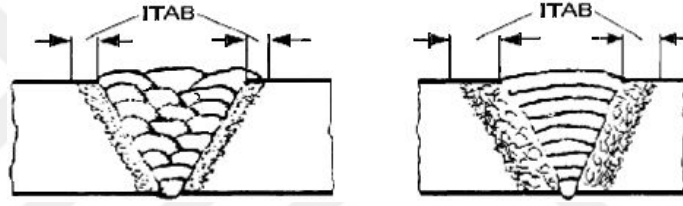
REIS ROBOTICS			
Reis GmbH & Co. KG Maschinenfabrik Walter-Reis-Str. 1, D-63785 Obernburg/MT			
Maschine Machine	INDUSTRIAL ROBOT	Com-Nr.	33004713
Type	RV20-15 - RSV	ID	10031177
Serial-Nr. Diagramm	Serial-Nr. Diagramm	Serial-Nr. Diagramm	01-2013
Schweißgeschwindigkeit Control speed (mm/min)	200 kg	Maximale Gewicht Machine weight	200 kg
Elektrische Leistung Electrical supply	3040VAC/50Hz 50 Hz	Maximale Maximal force	4N
Maximale Rate of current	25 A	Hydraulik Hydraulic	Pressure bar
Anschlüsse Current supply	8 kVA	Druckluft Pneumatic	Pressure bar

Şekil 5.5. Kaynak robotu etiket bilgileri.

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında temel kural; malzemeye özgü özelliklere yani malzemenin “ince taneli” olduğuna dikkat edilmesidir, ince taneli çelikler, mikro alaşımlı ve/veya belirli soğutma işlemleriyle imal edilerek ince taneli yapıları sayesinde saçların akma sınırlarının yükseltilmesidir. Bunun anlamı, St 37 gibi normal bir yapı çeliği veya H₂ gibi bir kazan sacı yerine daha ince bir sac kullanılması dolayısıyla daha hafif bir konstrüksiyon oluşturulabilmesidir [48].

Çelik üretimi sırasında kontrollü ısı girdisi yoluyla ince tanelilik elde edildiğinde, çeliğin daha sonraki kullanımı sırasında kontrolsüz bir ısı girdisine maruz kalmaması gerekir. Bu bakımdan “çizgisel enerji” ifadesinin açıklanması gerekir [48].

Şekil 5.6’da gösterilen kaynak işleminde, “V” dikişinin kenarlarında, ısı girdisinin büyüklüğünün ve etkiye süresinin, istenen ince taneli bir yapıdan istenmeyen bir iri taneli yapıya kadar değişik içyapılar oluşturabileceği gösterilmektedir [48].



Şekil 5.6. Çizgisel enerjinin ısının tesiri altındaki bölgenin iç yapısına etkisi [48].

Yukarıdaki şekilde sağda gösterilen durumda geniş salınlı kaynak şeklindeki yanlış çalışma tekniğinin iri taneli bir iç yapıya yol açtığı gösterilmiştir. Soldaki şekilde ise, dar paso tekniği ile ıtab da ki soğuma süresinin, ince taneli yapı çeliklerinin mevcut ince taneli iç yapısına zarar vermeyecek derecede tutulduğu görülmektedir. Uygun bir ısı girdisiyle, belirli bir çizgisel enerji “E” sağlanabilir [48].

Çizgisel enerji; çizgisel enerji E (J/cm) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$E \text{ (J/cm)} = \frac{V \times A \times 60}{\text{Kaynak hızı}} \quad (5.1)$$

Yönteme bağlı olarak kaynak hızındaki değişikliklerin çizgisel enerji üzerine ve dolayısıyla ısı girdisine büyük etki yaptığını dikkat edilmesi gerekir. V ağzı açılmış bir ince taneli yapı çeliğinin kök pasodan kapak pasoya kadar kaynak yapıldığı varsayılırsa, her durumda çizgisel enerji er paso için ayrı ayrı hesaplanmalıdır [48].

Isı girdisi çok miktarda artmış olursa ıtab da ki soğuma süresi uzar ve tane irileşmesi üzerine olumsuz etki yapar. Dolayısıyla ince taneli yapı çeliklerinin kaynağında aşağıdaki kural ortaya çıkar: İstenen çizgisel enerji için, en iyi ayarlama etkeni kaynak hızıdır. Dikkat edilmezse tokluğun azalması veya çatlak oluşumu görülür, çünkü ince taneli yapı çeliklerinin kaynağında, esas metal ile ilave metal arasındaki uyuma özellikle dikkat edilmelidir. Esas metalle karışım sonucunda kaynak metalinin kökteki mukavemeti yükselir. Bu nedenle ince taneli yapı çeliklerinin kök kaynağında, ara ve kapak pasolarına göre kaynak metaline daha düşük mukavemet veren ilave teller kullanılabilir [48].

5.3. 8 mm KALINLIĞINDAKİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİĞİN KAYNAĞI

8 mm kalınlığındaki parçaların kaynağı için 2 farklı özlü tel ile toplamda 4 adet farklı birleştirme türü uygulanmıştır ve bunlar aşağıdaki şekilde kodlanmıştır;

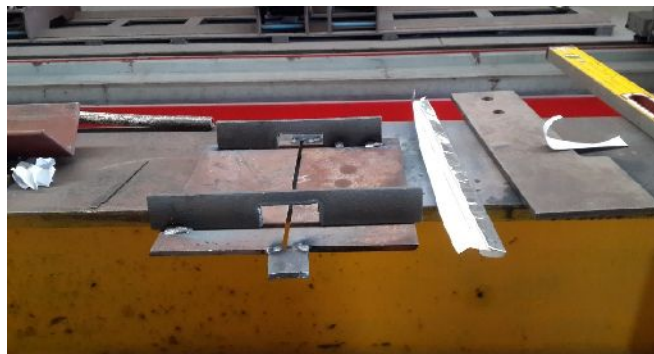
A1: Oerlikon FCW140 özlü tel ile salınlımlı kaynak

A2: Oerlikon FCW140 özlü tel ile düz kaynak

B1: Oerlikon FLUXOFİL 20HD özlü tel ile salınlımlı kaynak

B2: Oerlikon FLUXOFİL 20HD özlü tel ile düz kaynak

300x150x8 mm ölçüsündeki parçalarda kaynak robotu ile kaynatılmıştır. Kaynak robotuna parametreler girilerek kök paso, dolgu paso ve kapak paso kaynakları yapılmıştır. Bütün bu işlemler hem düz çoklu paso kaynağı hem de salınlımlı çoklu paso kaynağı için tekrarlanmıştır. Parçalarının puntalama tekniği Şekil 5.7’de ve yapılan kodlamaya göre kaynatılan parçalar Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Kaynak işlemi için kullanılan elektrotun teknik özellikleri Çizelge 5.3’te ve Çizelge 5.4’te yer almaktadır.



Şekil 5.7. 8 mm parçaların puntalanması.



Şekil 5.8. Farklı kaynak uygulaması.

Çizelge 5.3. FCW140 özlü tel özellikleri [56].

EN		DIN		
S235 – S355		St 37.0 – St 52.0		
P235 – P355		St 37.4 – St 52.4		
S(P) 275 – S(P) 460		StE 285 – StE 460		
S235 – S355		St 37.2 – St 52.3		
Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi (%)				
C	Si	Mn	Ni	
≤ 0,12	≤ 0,80	≤ 1,40	0,80 - 1,10	
Kaynak Metalinin Tipik Özellikleri				
Test Şekli	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama A5 (%)	Çentik Darbe Dayanımı ISO-V (J)
				-40 °C
Kaynak sonrası	≥ 500	600 - 680	≥ 20	≥ 50

Çizelge 5.4. Fluxofil20HD özlü tel özellikleri [57].

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	V	N	Cu
0,05	1,20	0,50	-	-	-	0,90	-	-	-	-	-

Heat Treatment	Yield Strength N/mm ²	Tensile Strength N/mm ²	Elongation A5 (%)	ImpactEnergy ISO-V(J) -40 °C	Hardnes
PWHT 580°C x 2 h/furnace	≥490	570 - 670	≥ 22	≥ 47	-
As Welded	≥490	570 - 670	≥ 22	≥ 60	-

Gas Test: Acc. To EN 439: M21 (Arcal 21Atal 6)

Shielding Gas: Acc. To EN 439: M21 (Arcal 21-Atal 6)

Materials

S(P) 275 – S(P) 460

Classification

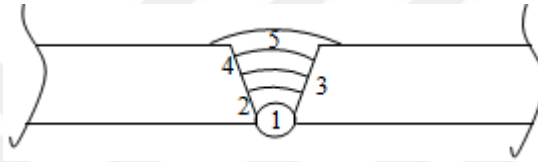
AWS A5.29:E81T1-Ni1M JH4

EN 758: T 46 6 NiP M 1 H5

5.3.1. 8 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli eliğin FCW 140 z Tel ile Salınlımlı Kaynak Uygulaması

A:1 nolu kodlanan; 300x150x8 mm S460M kalite yüksek mukavemetli eliğin Salınlımlı çok pasolu kaynağında, kaynak ilave metali olarak Ø1,2 mm Oerlikon FCW 140 marka özü tel ve koruyucu gaz olarak da Habaş marka % 100 CO₂ gazı kullanılmıştır.

Pasolar arası geçiş sıcaklığı 100 °C - 150 °C olarak uygulanmış ayrıca her bir pasodan sonra cüruflar hassas bir şekilde yüzeyden temizlenmiştir. Her bir dikiş için kaynak robotuna yüklenen parametreler kayıt altına alınmıştır. Salınlımlı Kaynak çok pasolu uygulamasının robot parametreleri ve kaynak dikiş sırası izelge 5.5'te pasoların yapılış şekli ve pasoların sırası şekil 5.9'da verilmiştir.



şekil 5.9. Salınlımlı çok paso kaynak uygulaması genel görünümü.

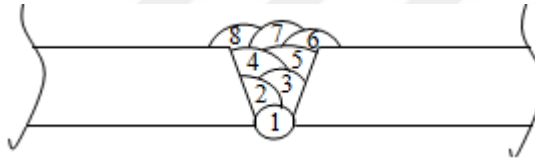
Çizelge 5.5. FCW140 z telle salınlımlı kaynak uygulaması parametreleri.

REİS & FRONIUS MİG&MAG KAYNAK ROBOTU PARAMETRELERİ					
Oerlikon FCW140 z Telle "SALINIMLI KAYNAK" Uygulaması					
Açıklama	Kök Paso	2. Dikiş	3. Dikiş	4. Dikiş	5. Dikiş
Serbest Tel Boyu	25 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm
Salınım zikzak	3+3 mm	4+4 mm	5+5 mm	7+7 mm	8+8 mm
Frekans	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz
İlerleme Hızı	2,0 mm/sn.	4,44 mm/sn.	4,13 mm/sn.	3,17 mm/sn.	2,40 mm/sn.
Tel Sürme Hızı	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.
Gaz Debisi	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.
Akım Türü	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.
Amper	130 - 150	165 - 170	160 - 170	165 - 175	160 - 170
Volt	29,9 V	30,1 V	30 V	30 V	29,9 V

5.3.2. 8 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli eliğin FCW 140 zlu Tel ile Düz Kaynak Uygulaması

A:2 nolu kodlanan; 300x150x8 mm ölçüsündeki S460M kalite yüksek mukavemetli çeliğin düz çok pasolu kaynağında, kaynak ilave metali olarak Ø1,2 mm Oerlikon FCW140 marka zlu tel ve Habaş marka % 100 CO₂ koruyucu gaz kullanılmıştır.

Pasolar arası geçiş sıcaklığı 100 °C - 150 °C olarak uygulanmış ayrıca her bir pasodan sonra cüruflar hassas bir şekilde yüzeyden temizlenmiştir. Her bir dikiş için kaynak robotuna yüklenen parametreler kayıt altına alınmıştır. Düz Kaynak çok pasolu uygulamasının robot parametreleri ve kaynak dikiş sırası izelge 5.6’da, pasoların yapılış şekli ve sırası şekil 5.10’da verilmiştir.



şekil 5.10. Düz çok paso kaynak uygulaması genel görünümü.

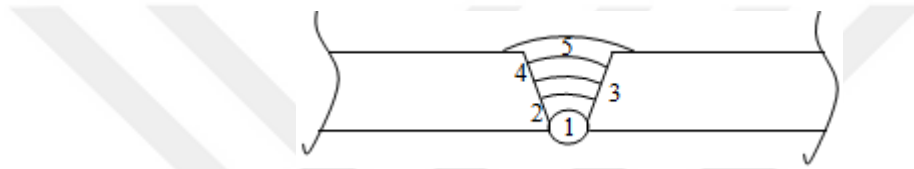
Çizelge 5.6. FCW140 zlu telle düz kaynak uygulaması parametreleri.

REİS & FRONIUS MİG&MAG KAYNAK ROBOTU PARAMETRELERİ								
Oerlikon FCW140 zlu Telle “BİNDİRMELİ KAYNAK” Uygulaması								
Açıklama	Kök Paso	2. Dikiş	3. Dikiş	4. Dikiş	5. Dikiş	6. Dikiş	7. Dikiş	8. Dikiş
Serbest Tel	25 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm
Frekans	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz
İlerleme Hızı	2,38 mm/sn	6,01 mm/sn	5,75 mm/sn	5,95 mm/sn	5,7 mm/sn	5,0 mm/sn	6,1 mm/sn	5,7 mm/sn
Tel Sürme Hızı	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.
Gaz (CO ₂)	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
Gaz Debisi	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.
Akım Türü	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.
Amper	130 150	165 170	160 170	165 170	160 170	150 160	155 163	160 170
Volt	29,9 V	30 V	29,9 V	30 V	30 V	29,9 V	29,8 V	29,6 V

5.3.3. 8 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli eliğin Fluxofil 20HD z Tel ile Salınlımlı Kaynak Uygulaması

B:1 nolu kodlanan; 300x150x8 mm ölçüsündeki S460M kalite yüksek mukavemetli eliğin Salınlımlı çok pasolu kaynağında, kaynak ilave metali olarak Ø1,2 mm Oerlikon Fluxofil 20HD marka özü tel ve Habaş marka % 100 CO₂ koruyucu gaz kullanılmıştır.

Pasolar arası geçiş sıcaklığı 100 °C - 150 °C olarak uygulanmış ayrıca her bir pasodan sonra cüruflar hassas bir şekilde yüzeyden temizlenmiştir. Her bir dikiş için kaynak robotuna yüklenen parametreler kayıt altına alınmıştır. Salınlımlı Kaynak çok pasolu uygulamasının robot parametreleri ve kaynak dikiş sırası izelge 5.7’de, pasoların yapılış şekli ve sırası şekil 5.11’de verilmiştir.



şekil 5.11. Salınlımlı çok paso kaynak uygulaması genel görünümü.

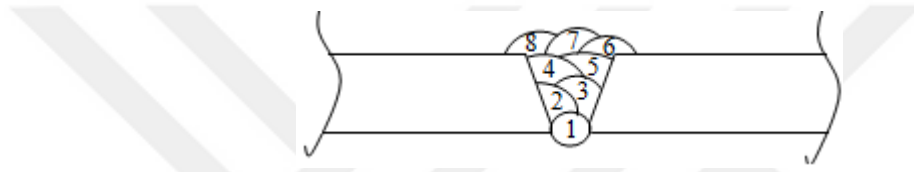
Çizelge 5.7. Fluxofil 20HD z Telle salınlımlı kaynak uygulaması parametreleri.

REİS & FRONIUS MİG&MAG KAYNAK ROBOTU PARAMETRELERİ					
Oerlikon FLUXOFİL 20HD z Telle “SALINIMLI KAYNAK” Uygulaması					
Açıklama	Kök Paso	2. Dikiş	3. Dikiş	4. Dikiş	5. Dikiş
Serbest Tel Boyu	25 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm
Salınım zikzak	3+3 mm	4+4 mm	5+5 mm	7+7 mm	8+8 mm
Frekans	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz
İlerleme Hızı	2,19 mm/sn	5,0 mm/sn	4,3 mm/sn	2,96 mm/sn	2,15 mm/sn
Tel Sürme Hızı	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.
Gaz Debisi	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.
Akım Türü	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.
Amper	160 175	175 180	170 185	172 185	185 195
Volt	30 V	29,6 V	29,6 V	29,6 V	29,8 V

5.3.4. 8 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli Çeliğin Fluxofil 20HD Özlü Tel ile Düz Kaynak Uygulaması

B:2 nolu kodlanan; 300x150x8 mm ölçüsündeki S460M kalite yüksek mukavemetli çeliğin düz çok pasolu kaynağında, kaynak ilave metali olarak Ø1,2 mm Oerlikon Fluxofil 20HD marka özlü tel ve Habaş marka % 100 CO₂ koruyucu gaz kullanılmıştır.

Pasolar arası geçiş sıcaklığı 100 °C - 150 °C olarak uygulanmış ayrıca her bir pasodan sonra cürufklar hassas bir şekilde yüzeyden temizlenmiştir. Her bir dikiş için kaynak robotuna yüklenen parametreler kayıt altına alınmıştır. Düz kaynak çok pasolu uygulamasının robot parametreleri ve kaynak dikiş sırası Çizelge 5.8’de, pasoların yapılış şekli ve sırası Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Düz çok paso uygulaması genel görünümü.

Çizelge 5.8. Fluxofil 20 HD Özlü telle düz kaynak uygulaması parametreleri.

REİS & FRONIUS MIG&MAG KAYNAK ROBOTU PARAMETRELERİ								
FLUXOFIL 20 HD Telle “BİNDİRMELİ KAYNAK” Uygulaması								
Açıklama	Kök Paso	2. Dikiş	3. Dikiş	4. Dikiş	5. Dikiş	6. Dikiş	7. Dikiş	8. Dikiş
Serbest Tel	25 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm
Torç Paso Açısı	-	Sol 25°	Sağ 25°	Sol 25°	Sağ 25°	Sağ 25°	-	Sol 25°
Salınım zikzak	-	-	-	-	-	-	-	-
Frekans	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2Hz	1,2 Hz
İlerleme Hızı	2,05	5,29	5,81	5,78	6,70	5,21	5,61	5,53
Tel Sürme Hızı	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk.	3,5 m/dk	3,5 m/dk.
Gaz Debisi	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.	20 lt/dk.
Akım Türü	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.	Stnd.
Amper	160 180	170 180	170 180	185 195	165 175	170 180	170 180	175 185
Volt	29,5 V	29,5 V	29,6 V	29,9 V	29,6 V	30 V	30 V	29,8 V

5.4. 20 mm KALINLIĞINDAKİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİĞİN KAYNAĞI

5.4.1. 20 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli Çeliğin OK Tubrod 15.17 Özlü Tel İle Salınlımlı Kaynak Uygulaması

Salınlımlı Kaynak uygulaması ile 20 mm kalınlığındaki parçaların çok pasolu birleştirilmesi işleminde kaynak ilave metali olarak ESAB OK Tubrod 15.17 marka Ø1,2 mm özlü tel ve koruyucu gaz olarak da Habaş Marka M2.1 % 80 Ar + % 20 CO₂ karışım gazı kullanılmıştır. OK Tubrod 15.17 özlü tel özellikleri Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. OK Tubrod 15.17 özlü tel özellikleri [58].

Typical Tensile Properties				
M21shielding gas EN As Welded				
Elongation	Tensile Strenght		Tensile Strenght	
% 26	613 MPa			

Weld Metal Analysis			
Mn	C	Si	Ni
% 1,15	% 0,05	% 0,34	-

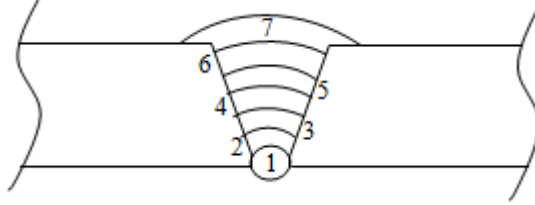
Deposition Data				
Diameter	Current	Deposition Rate	Voltage	Wire Feed Speed
1,2 mm	110 – 300 A	1,3 – 5,8 kg/h	21 – 32 V	3,2 – 14,5 m/min.
1,6 mm	150 – 360 A	2,0 – 6,2 kg/h	24 – 34 V	3,0 – 11,0 m/min.
Classifications :	SFA/AWS A.5.36, E81T1-M21A4-Ni1, Weld Metal, EN ISO 17632-A, T 46 3 1Ni P C1 2 H5, Weld Metal, EN ISO 17632-A, T 46 4 1Ni P M21 2 H5, Weld Metal			

Isı tebeşiri yardımıyla pasolar arası geçiş sıcaklığı 100-150 °C olarak uygulanmış ayrıca her bir pasodan sonra cüruflar hassas bir şekilde yüzeyden temizlenmiştir.



Şekil 5.13. Pasolar arası geçiş sıcaklığının ölçümü.

Isı tebeşiri yardımıyla pasolar arası geçiş sıcaklığının uygulama tekniği Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Her bir dikiş için robota yüklenen parametreler kayıt altına alınmıştır. Salınlı Kaynak uygulaması robot parametreleri Çizelge 5.10'da ve pasoların düz sırası Şekil 5.14'te verilmiştir.



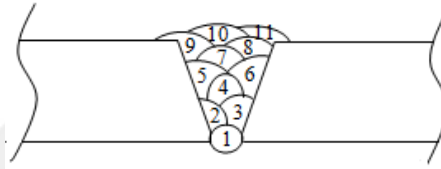
Şekil 5.14. Salınlı kaynak uygulaması paso sayısı.

Çizelge 5.10. OK Tubrod 15.17 Özlü telle salınlı kaynak uygulaması parametreleri.

REİS & FRONIUS MIG&MAG KAYNAK ROBOTU PARAMETRELERİ							
300x150x20 mm ölçüsünde S460M Kalite Malzemenin Esab OK Tubrod 15.17 Telle “SALINIMLI KAYNAK” Uygulaması							
Açıklama	Kök Paso	2. Dikiş	3. Dikiş	4. Dikiş	5. Dikiş	6. Dikiş	7. Dikiş
Serbest Tel Mesafesi	25 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm
Salınım	3+3 mm	4+4 mm	4,5+4,5 mm	5+5 mm	7+7 mm	10,5 mm	13,0 mm
Frekans	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz	1,2 Hz
İlerleme Hızı	2,5 mm/sn	4,5 mm/sn	4,1 mm/sn	4,0 mm/sn	4,0 mm/sn	4,0 mm/sn	3,5 mm/sn
Tel Sürme Hızı	10,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk
Gaz Cinsi	%80Ar + %20CO ₂	%80Ar + %20CO ₂	%80Ar + %20CO ₂	%80Ar + %20CO ₂	%80Ar + %20CO ₂	%80Ar + %20CO ₂	%80Ar + %20CO ₂
Gaz Debisi	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.
Akım Türü	Standart	Standart	Standart	Standart	Standart	Standart	Standart
Amper	210 A	245 A	246 A	248 A	230 A	226 A	220 A
Volt	27,2 V	28 V	28 V	28 V	27 V	27 V	27 V
Paso Geçiş Sıcaklığı	>100 °C <150 °C	>100 °C <150 °C	>100 °C <150 °C	>100 °C <150 °C	>100 °C <150 °C	>100 °C <150 °C	>100 °C <150 °C

5.4.2. 20 mm Kalınlığındaki Yüksek Mukavemetli eliğin OK Tubrod 15.17 z Tel İle Düz Kaynak Uygulaması

Düz kaynak uygulaması ile 20 mm kalınlığındaki parçaların çok pasolu birleştirilmesi işleminde kaynak ilave metali olarak ESAB OK. Tubrod 15. 17 marka Ø1,2 mm zl tel ve koruyucu gaz olarak da Habaş Marka M2.1 % 80 Ar + % 20 CO₂ karışım gazı kullanılmıştır. Isı tebeşiri yardımıyla pasolar arası geçiş sıcaklığı 100 C - 150 C olarak uygulanmış ayrıca her bir pasodan sonra cüruflar hassas bir şekilde yüzeyden temizlenmiştir. Her bir dikiş için robota yüklenen parametreler kayıt altına alınmıştır. Salınlımlı Kaynak uygulaması robot parametreleri izelge 5.11’de ve pasoların düz kaynak sırası şekil 5.15’te verilmiştir.



şekil 5.15. Düz kaynak çok paso uygulaması.

Çizelge 5.11. OK Tubrod 15.17 zl telle düz kaynak uygulaması parametreleri.

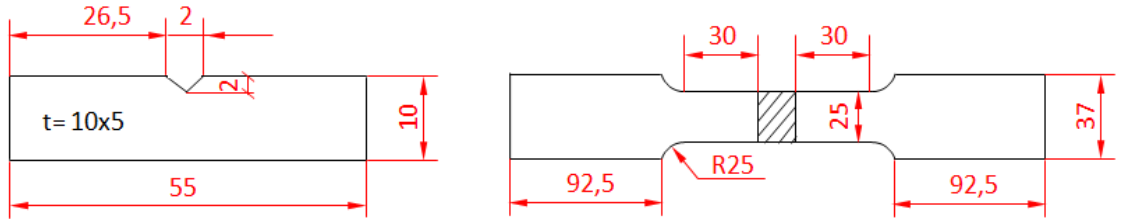
REİS & FRONİUS MİG&MAG KAYNAK ROBOTU PARAMETRELERİ											
300x150x20 mm ölçüsünde S460M Kalite Malzemenin Esab OK Tubrod 15.17 Telle “BİNDİRMELİ KAYNAK” Uygulaması											
Açıklama	Kök Paso	2. Dikiş	3. Dikiş	4. Dikiş	5. Dikiş	6. Dikiş	7. Dikiş	8. Dikiş	9. Dikiş	10. Dikiş	11. Dikiş
Serbest Tel Boyu	25 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm	18 mm
Torç Açısı	-	Sol 25°	Sağ 25°	-	Sol 25°	Sağ 25°	-	Sağ 25°	Sol 25°	-	-
Salınlım zikzak	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm	3+3 mm
İlerleme Hızı	2,5 mm/sn.	6,0 mm/sn.	6,0 mm/sn.	6,0 mm/sn.	6,0 mm/sn.	6,0 mm/sn.	6,0 mm/sn.	6,0 mm/sn.	8,0 mm/sn.	8,0 mm/sn.	8,0 mm/sn.
Tel Hızı	10,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk	11,5 m/dk
Gaz Cinsi %	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂	80Ar + 20 CO ₂
Gaz Debisi	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.	17 lt/dk.
Amper (A)	210	235	235	235	235	235	235	235	235 250	235 250	235 250
Volt	27,2V	28 V	28 V	28 V	28 V	28 V	28 V	28 V	28 V	28 V	28 V
Paso Geçiş Sıcaklığı	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°	>100° <150°

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

6.1.1. 8 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Hazırlanması

Robot kaynağı tamamlanan parçalardan çentik darbe deneyi, çekme deneyi, makro yapı, mikro sertlik ve mikro yapı numuneleri hazırlanmıştır. 8 mm kalınlığındaki numunelerin hazırlanış ölçüleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Çentik darbe numuneleri ısılatma noktasının bitiminden referans alınarak çıkarılmıştır.



Şekil 6.1. EN 10621’e göre çekme ve TS EN ISO 148 çentik darbe numune ölçüleri.

6.1.2. 20 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Hazırlanması

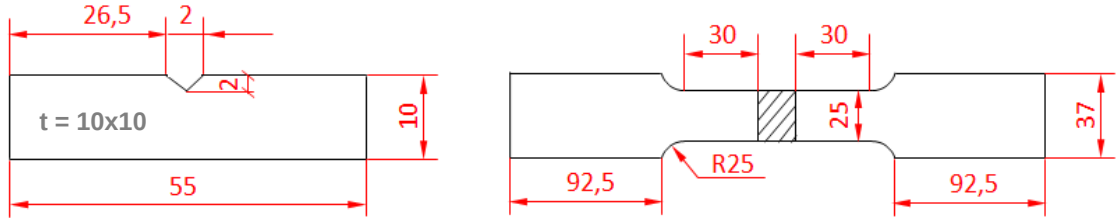
Robot kaynağı tamamlanan parçalardan EN 10621’e göre çentik darbe deneyi ile çekme deneyi numuneleri ve makro&mikro sertlik deneyi numuneleri hazırlanmıştır. 20 mm kalınlığındaki numunelerin hazırlanış ölçüleri Şekil 6.4’te, hazırlanan numuneler ile numunelerin hazırlanış hassasiyeti Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Çekme ve çentik darbe numuneleri.



Şekil 6.3. Numune ölçü hassasiyeti.



Şekil 6.4. EN 10621'e göre çekme ve TS EN ISO 148 çentik darbe numune ölçüleri.

Çentik darbe numuneleri ıslatma noktasının bitiminden referans alınarak çıkarılmıştır.

6.1.3. Metalografik Hazırlık

Kaynatılmış malzemelerin makro görüntüsü, mikro yapı ve mikro sertlik özelliklerinin incelenmesi için metalografik hazırlıklar Kocaeli Üniversitesi KARTEAM ve DÜBİT'te gerçekleştirilmiştir. Metalografik inceleme için öncelikli olarak ortadan dikine kesilerek küçük numuneler haline getirilmiş parçalar hazırlanmış görüntüsü Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. Metalografik inceleme numunelerinin ebatlanması.

Hazırlanan numuneler Metkon marka Forcipol 1V parlatma ve zımparalama cihazı ile 80-200-400-600-800-1000-1200 lük numaralı zımparalarla zımparalandıktan sonra parlatma keçesinde 6-3-1 mikron elmas pasta (alümina süspansiyon) kullanılarak parlatılmıştır. Metkon marka parlatma cihazının görüntüsü Şekil 6.6'da verilmiştir. Parlatılan numuneler % 3 Nital ile dağlanmıştır.



Şekil 6.6. Metkon Forcipol 1V parlatma cihazı.

6.2. ÇEKME DENEYİ

Kaynaklı birleştirmesi yapılan 20 mm kalınlığındaki parçaların çekme deneyleri, Şekil 6.7’de gösterilen TS EN ISO/EC 17025-2012 standardında, akredite edilmiş olan END Endüstriyel Denetim Ltd. Şti. de ki TS EN ISO 4136 standardındaki 100 tonluk test cihazıyla yapılmıştır.



Şekil 6.7. TS EN ISO 4136 standardındaki 100 tonluk çekme deneyi cihazı.

Salınlımlı ve düz kaynak için 2’şer adet çekme deneyi yapılmıştır. Çekilen parçaların numune kesit alanı 504, 510 mm², numune kalınlığı 20 mm’dir.

Kaynaklı birleştirmesi yapılan 8 mm kalınlığındaki parçaların çekme deneyleri, DÜBİT’te Şekil 6.8’de gösterilen TS EN ISO 4136 standardındaki 50 tonluk test cihazıyla yapılmıştır.



Şekil 6.8. DÜBİT Besmak marka 50 tonluk çekme deneyi cihazı.

Salınlımlı ve düz kaynak için 4'er adet çekme deneyi yapılmıştır.

6.3. ÇENTİK DARBE DENEYİ

Kaynaklı birleştirmesi yapılan 20 mm kalınlığındaki parçaların çentik darbe deneyleri, TS EN ISO/EC 17025-2012 standardında akredite edilmiş olan END Endüstriyel Denetim firmasında; Şekil 6.9'da gösterilen ALŞA Darbe Test Cihazı 300 J, Çekiç Boyu 770 mm, Çekiç Ağırlığı 20,5 kg, Çekiç Düşme Açısı 160° ile TS EN ISO 148 göre yapılmıştır.



Şekil 6.9. Alşa darbe test cihazı.

-20 °C de;

- Salınlımlı kaynak için: kaynak ortası 3 adet, kaynak haz bölgesi 3 adet
- Düz kaynak için; kaynak ortası 3 adet, kaynak haz bölgesi 3 adet

+20 °C de;

- Salınlı kaynak için: kaynak ortası 3 adet, kaynak haz bölgesi 3 adet
- Düz kaynak için; kaynak ortası 3 adet, kaynak haz bölgesi 3 adet olmak

üzere toplam 24 adet çentik darbe deneyi yapılmıştır.

-20 °C' lik sıcaklık sıvı azot ile, +20 °C' lik ortam sıcaklığı ise klima ile sağlanmıştır. Kaynaklı birleştirmesi yapılan 8 mm kalınlığındaki parçaların Çentik Darbe deneyleri, KARTEAM de Time Group Pendulum Impact test cihazında 300 J, Çekiç Boyu 770 mm, Çekiç Ağırlığı 20,5 kg, Çekiç Düşme Açısı 160° ile yapılmıştır.

-20 °C de;

- A1: FCW 140 özlü telle salınlı kaynak için: kaynak ortası 2 adet, kaynak haz bölgesi 2 adet
- A:2 FCW 140 özlü telle düz kaynak için; kaynak ortası 2 adet, kaynak haz bölgesi 2 adet
- B1: Fluxofil 20HD özlü telle salınlı kaynak için: kaynak ortası 2 adet, kaynak haz bölgesi 2 adet
- A:2 Fluxofil 20HD özlü telle düz kaynak için; kaynak ortası 2 adet, kaynak haz bölgesi 2 adet

+20 °C de;

- A1: FCW 140 özlü telle salınlı kaynak için: kaynak ortası 1 adet, kaynak haz bölgesi 1 adet
- A:2 FCW 140 özlü telle düz kaynak için; kaynak ortası 1 adet, kaynak haz bölgesi 1 adet
- B1: Fluxofil 20HD özlü telle salınlı kaynak için: kaynak ortası 1 adet, kaynak haz bölgesi 1 adet
- B:2 Fluxofil 20HD özlü telle düz kaynak için; kaynak ortası 1 adet, kaynak haz bölgesi 1 adet olmak üzere toplam 24 adet çentik darbe deneyi yapılmıştır.

8 mm kalınlığındaki parçaların kırıldığı Time Group Pendulum Impact test cihazının resmi Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

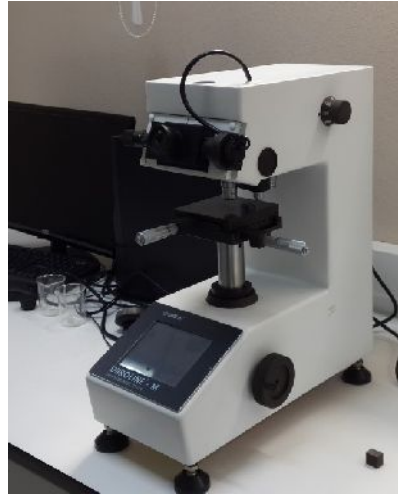


Şekil 6.10. Time Group Pendulum Impact test cihazı.

Deneyler için gerekli olan -20 °C'lik sıcaklık sıvı azot ile, +20 °C'lik ortam sıcaklığı ise klima ile sağlanmıştır.

6.4. MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMÜ

Vickers mikro sertlik ölçümleri; Şekil 6.11'de gösterilen Metkon Duroline-M marka cihazla, piramit şeklindeki batıcı ucun 300 gr. yükle 15 saniye uygulanmasıyla yapılmıştır.



Şekil 6.11. Metkon Duroline-M sertlik ölçüm cihazı.

Vickers sertlik ölçümleri her bir parçanın kök dikiş bölgesini, kesitin orta bölgesini ve kaynak üst bölgesini kapsayacak şekilde yapılmıştır. Kök dikiş bölgesi, kesitin orta bölgesi ve kaynak üst bölgesindeki kaynak metalinin tam orta kısmından başlamak suretiyle sağa ve sola doğru 3'er mm aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Kaynak metalinin

orta kısmından sola doğru yapılan ölçümler (-) değerlerle, sağa doğru yapılan ölçümler (+) değerle kayıt altına alınmıştır.

6.5. MİKRO YAPI İNCELEME

8 mm kalınlığındaki A1, A2, B1, B2 nolu birleştirmelerin ana malzeme, kök paso, kaynak orta, kaynak üst ve ergime sınırı bölgesinde meydana gelen oluşum veya değişikliklerini tespit için Şekil 6.12’de yer alan Nikon Eclipse MA100 cihazıyla mikro yapı incelemeleri yapılmıştır.

Numunelerin alt tarafından 20X mercekle görüntüleme yapılmış ve görüntü üzerine 20 µm ölçeklendirme konularak yorumlaması kolaylaştırılmıştır.



Şekil 6.12. Nikon Eclipse MA100 mikro yapı görüntüleme cihazı.

6.6. MAKRO YAPI İNCELEME

Salınlımlı kaynak ve düz kaynak yöntemiyle yapılan birleştirme sonrası kaynak bölgesinde meydana gelen değişikliklerini tespit etmek yorumlama amacıyla 1200 zımpara ile zımparalanarak keçe ile parlatılan parçalar % 3 Nital ile dağlanarak makro yapı incelemesi yapılmıştır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

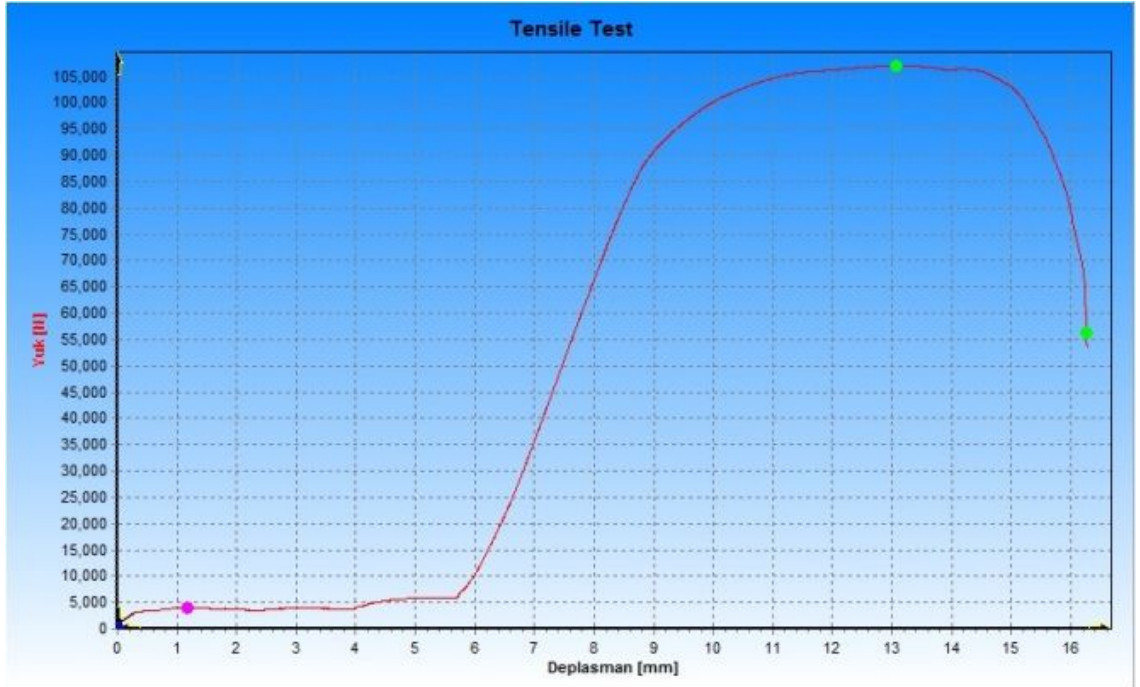
7.1. ÇEKME DENEYİ

7.1.1. 8 mm Kalınlığındaki Numunelerin Çekme Deneyi

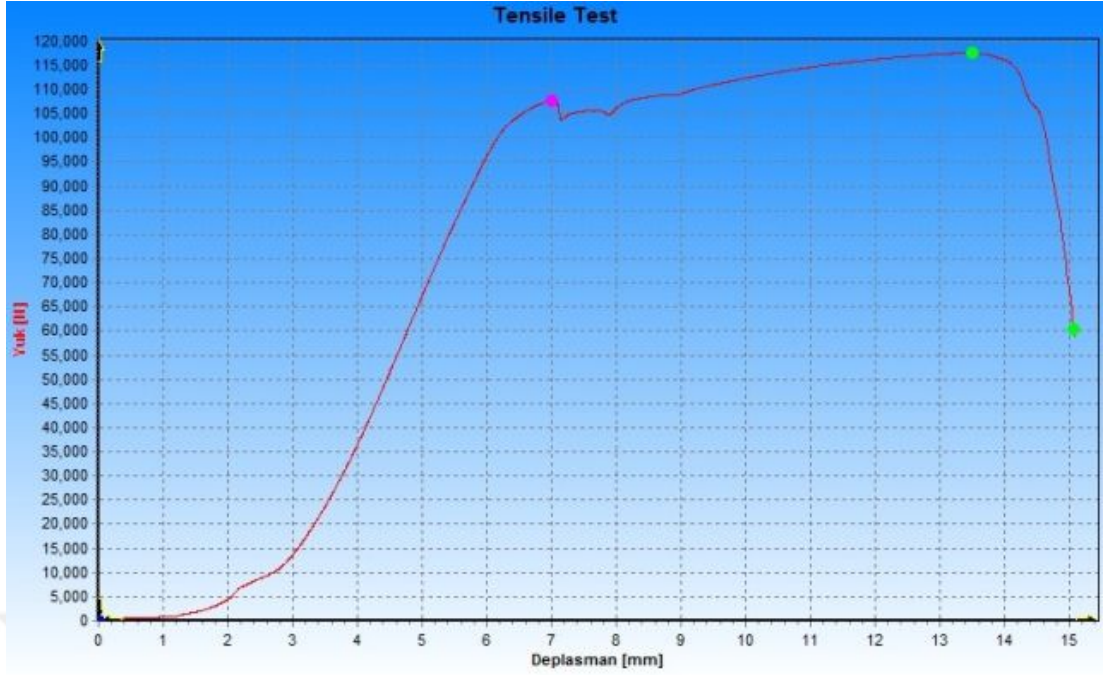
8 mm kalınlığındaki numuneler TS EN ISO 4136 standardında ve 50 tonluk Besmak Marka test cihazıyla yapılmıştır. A1, A2, B1, B2 numunelerinin her biri için 3'er adet olmak üzere toplam 12 adet çekme deneyi yapılmıştır.

7.1.1.1. A1 ve A2 Numunelerinin Çekme Deneyi

Öncelikli olarak Oerlikon marka FCW 140 özlü telle yapılan kaynaklı birleştirmenin çekme deneyleri yapılmıştır. Aynı tip özlü telle yapılan salınlı kaynak ve düz kaynak çok pasolu birleştirmelerinin çekme deneyi eğrileri ve değerleri Şekil 7.1 ile 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.1. A1 - FCW 140 Özlü telle yapılan salınlı kaynağın çekme deneyi grafiği.



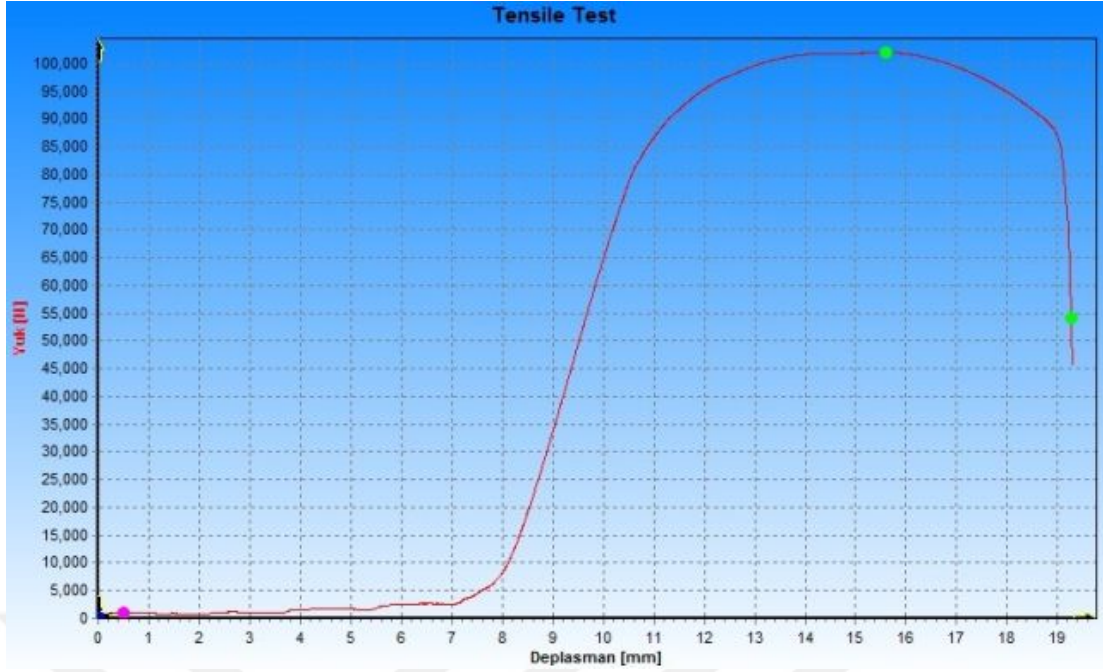
Şekil 7.2. A2 - FCW 140 Özlü telle yapılan düz kaynağın çekme deneyi grafiği.

Çekme deneyi grafikleri incelendiğinde A:2 kodlu numunelerin akma ve çekme dayanımları A:1 kodlu numunelerin akma ve çekme dayanımlarından daha yüksek olduğu görülmektedir.

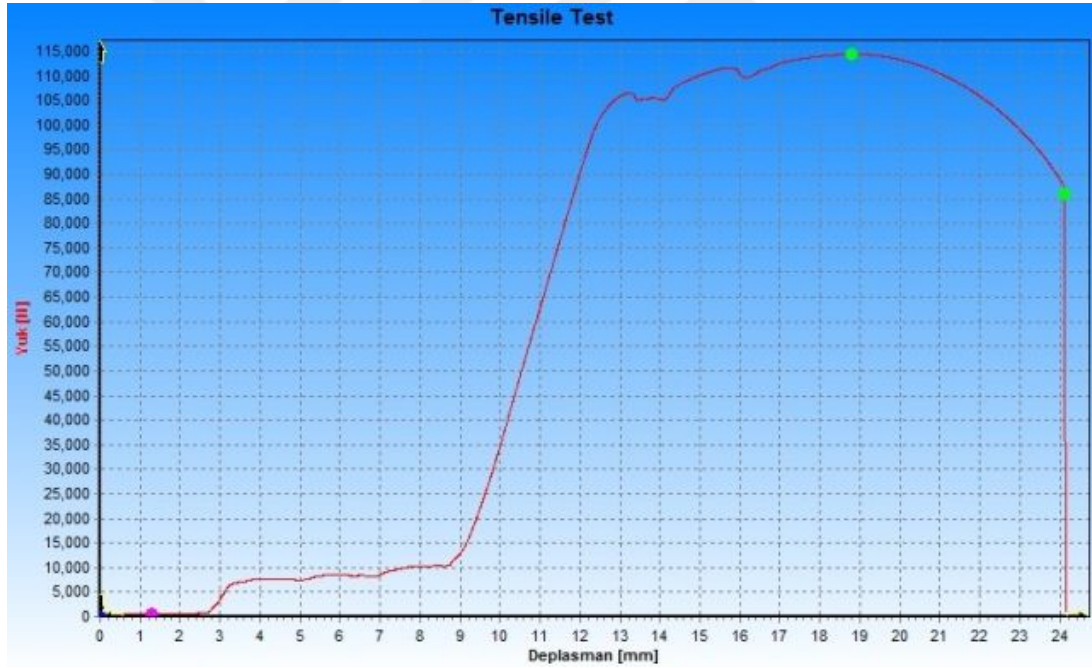
Değerler birbirine yakın çıktığı için aradaki farkın yapılan kaynak uygulaması ve numunelerin işlenmesindeki tolerans farklılıklarının olabileceği öngörülmüştür.

7.1.1.2. B1 ve B2 Numunelerinin Çekme Deneyi

Oerlikon marka Fluxofil 20HD özlü telle yapılan kaynaklı birleştirmenin salınlı kaynak ve düz kaynak çok pasolu birleştirmelerinin çekme deneyi eğrileri ve değerleri Şekil 7.3 ile 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.3. B1-Fluxofil 20HD Özlü telle yapılan salınlı kaynağın çekme deneyi grafiği.



Şekil 7.4. B2-Fluxofil 20HD Özlü telle yapılan düz kaynağın çekme deneyi grafiği.

Çekme deneyi grafikleri incelendiğinde B:2 kodlu numunelerin akma ve çekme dayanımları B:1 kodlu numunelerin akma ve çekme dayanımlarından daha yüksek olduğu görülmektedir.

8 mm kalınlığındaki malzemelerin hem FCW 140 hem de Fluxofil 20HD özlü telle yapılan salınlı kaynak ve düz kaynak yönteminin çekme değerleri birbiriyle

kıyaslandığında aradaki farkın çok yakın çıktığı (yaklaşık < % 8) görülmektedir. Değerler birbirine yakın çıktığı için aradaki farkın yapılan kaynak uygulaması ve numunelerin işlenmesindeki tolerans farklılıklarının olabileceği ön görülmüştür.

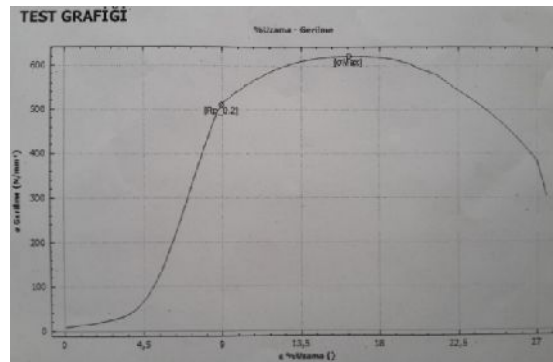
7.1.2. 20 mm Kalınlığındaki Numunelerin Çekme Deneyi

20 mm kalınlığındaki numuneler TS EN ISO 4136 standardında 100 tonluk çekme deneyi cihazında yapılan çekme deneyi değerleri Çizelge 7.1’de verilmiştir. A ve B numunelerinin her biri için 2’şer adet çekme deneyi yapılmıştır.

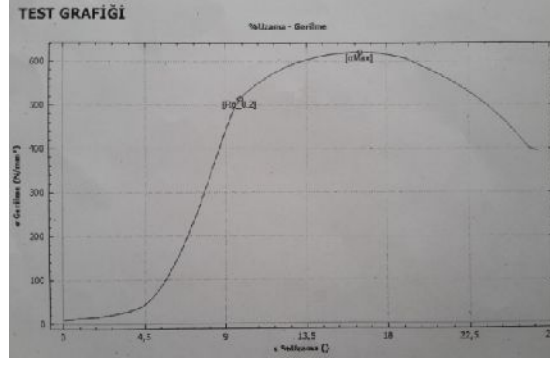
Çizelge 7.1. TS EN ISO 4136 standardında yapılan çekme deneyi değerleri.

AÇIKLAMA	A Kesiti	B Kesiti	Fm (f/ton)	Rm (çekme)	Rp02 (akma)	L0 Boyu	L1 Boyu	Uzama %	E Modl.	Deney Hızı
Düz Kaynak Numunesi - A	25,1 mm	20,1 mm	313,1 kN Rmin	620,7 N/mm ² Rmax	508,0 N/mm ²	80,0 mm RAvg	102,0 mm	%27,5	200,4	20 mm/dk
Düz Kaynak Numunesi - B	25,1 mm	20,1 mm	313,4 kN Rmin	621,3 N/mm ² Rmax	513,3 N/mm ²	80,0 mm RAvg	101,0 mm	%26,2	176,2	20 mm/dk
Salınlı Kaynak Numunesi - A	25,1 mm	20,1 mm	307,6 kN Rmin	609,7 N/mm ² Rmax	505,5 N/mm ²	80,0 mm RAvg	104,0 mm	%30,0	149,0	20 mm/dk
Salınlı Kaynak Numunesi - B	25,1 mm	20,1 mm	313,1 kN Rmin	620,7 N/mm ² Rmax	508,0 N/mm ²	80,0 mm RAvg	102,0 mm	%27,5	200,4	20 mm/dk

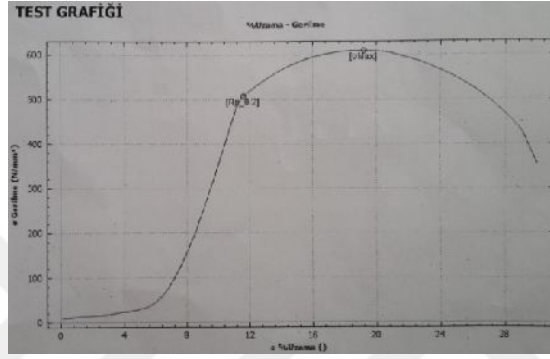
Yapılan deneylerin çekme grafikleri Şekil 7.5, Şekil 7.6, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de verilmiştir.



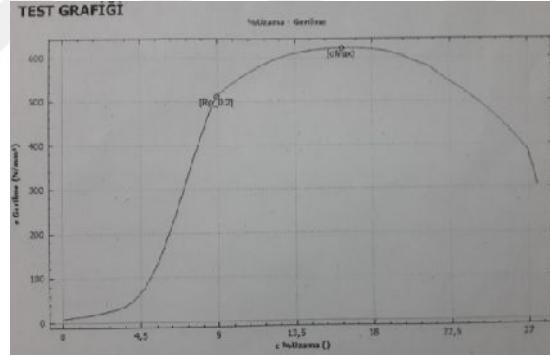
Şekil 7.5. Düz kaynak numunesi “A”.



Şekil 7.6. Düz kaynak numunesi “B”.



Şekil 7.7. Salınlımlı kaynak numunesi “A”.



Şekil 7.8. Salınlımlı kaynak numunesi “B”.

20 mm kalınlığındaki malzemenin düz kaynak ve salınlımlı kaynak yönteminin çekme değerleri birbiriyle kıyaslandığında sertlik değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı, kayda değer bir fark oluşmadığı görülmektedir.

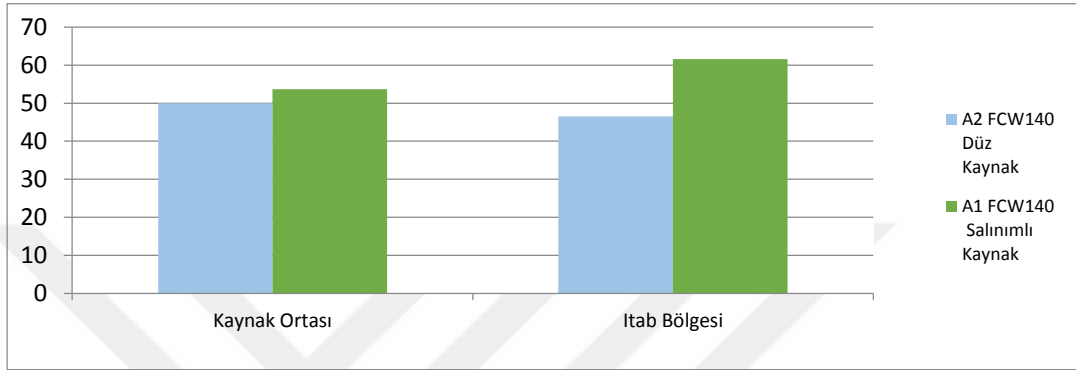
7.2. ÇENTİK DARBE DENEYİ

Çentik darbe deneyleri -20 °C ve +20 °C uygulanıp her numunenin sonuçları kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerler sayesinde deney numunelerinin çentik darbe grafikleri oluşturulmuştur. Çentik darbe deneyleri 8 mm ve 20 mm kalınlıktaki

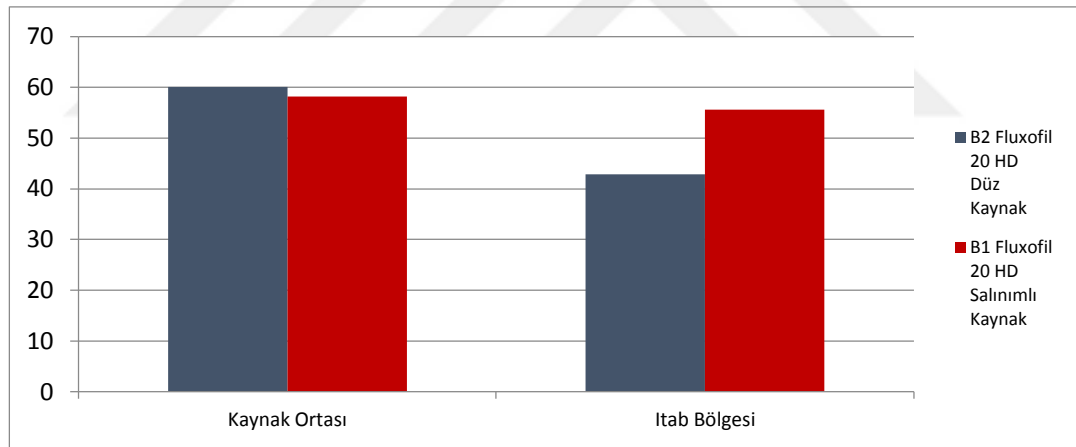
parçaların ayrı ayrı değerlendirilebilmesi için iki başlık altında incelenmiştir.

7.2.1. 8 mm Kalınlığındaki Numunelerin Çentik Darbe Deneyi

A1, A2, B1, B2 kodları ile adlandırılan 8 mm kalınlığındaki kaynaklı birleştirmelerin, Kaynak Ortası ve Itab Bölgesi'nden alınan numunelerinin +20 °C de ki çentik darbe deney sonuçları Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da grafikler halinde sunulmuştur.



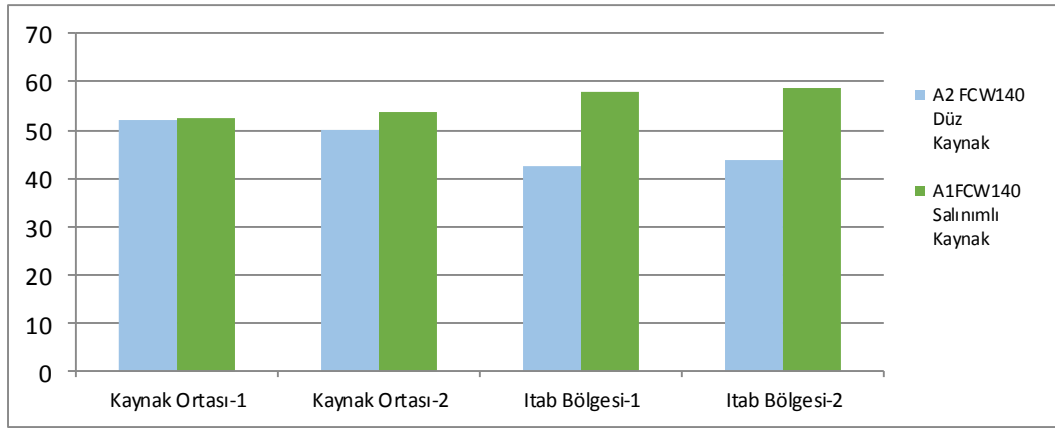
Şekil 7.9. +20 °C de FCW 140 Özlü telle yapılan kaynakların çentik darbe deneyi.



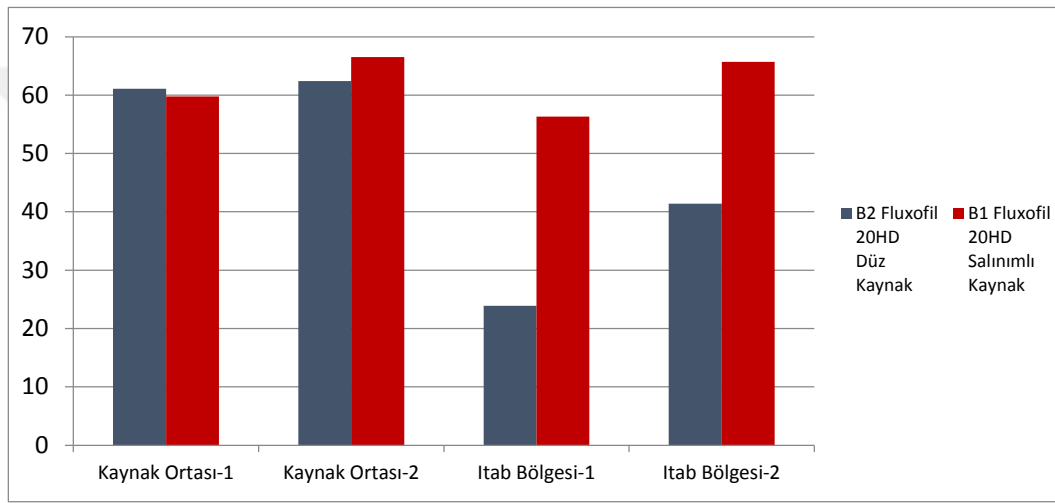
Şekil 7.10. +20 °C de FLUXOFIL 20 HD Özlü telle yapılan kaynakların çentik darbe deneyi.

Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da görüldüğü üzere +20 °C de B2 “Kaynak Ortası” haricinde salınlı kaynak yöntemi düz kaynak yöntemine göre daha dayanıklı çıkmıştır.

A1, A2, B1, B2 kodları ile adlandırılan 8 mm kalınlığındaki kaynaklı birleştirmelerin, Kaynak Ortası ve Itab Bölgesi'nden alınan numunelerinin -20 °C de ki çentik darbe deney sonuçları Şekil 7.11 ve Şekil 7.12'de grafikler halinde sunulmuştur.



Şekil 7.11. -20 °C de FCW 140 Özlü telle yapılan kaynakların çentik darbe deneyi.



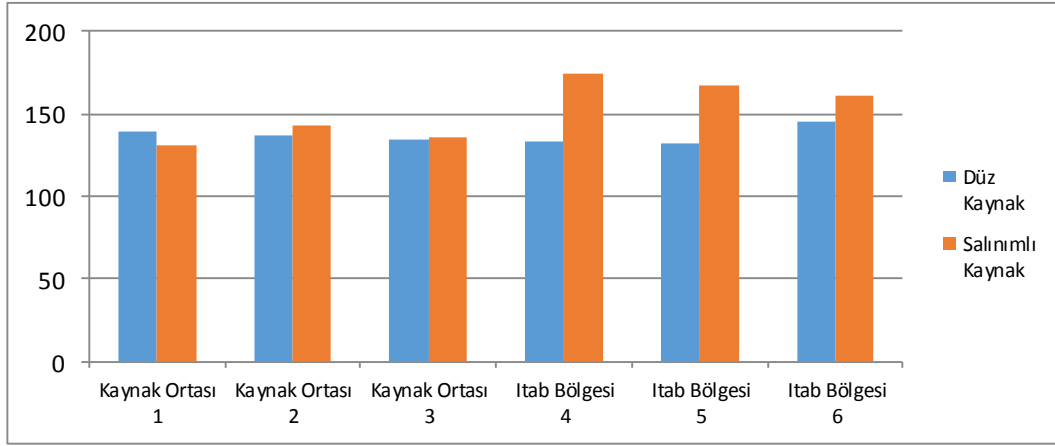
Şekil 7.12. -20 °C de Fluxofil 20 HD özlü telle yapılan kaynakların çentik darbe deneyi.

Şekil 7.11 ve Şekil 7.12’de görüldüğü üzere -20 °C de B2 “Kaynak Ortası - 1” haricinde salınlı kaynak yöntemi düz kaynak yöntemine göre daha dayanıklı çıkmıştır.

Salınlı kaynaktaki fazla ısı girdisi nedeniyle parçalar soğurken daha ince taneli yapı oluşmasına neden olarak çentik dayanımını artırmıştır.

7.2.2. 20 mm Kalınlığındaki Numunelerin Çentik Darbe Deneyi

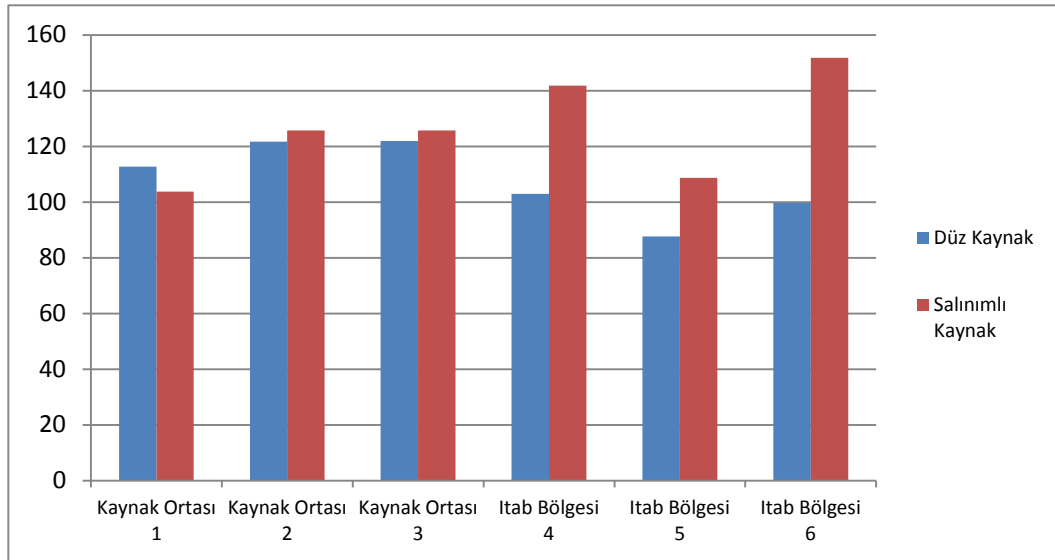
A ve B kodları ile adlandırılan 20 mm kalınlığındaki kaynaklı birleştirmelerin, Kaynak Ortası ve Itab Bölgesi’nden alınan numunelerinin +20 °C de ki çentik darbe deney sonuçları Şekil 7.13’te grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 7.13. +20 °C Çentik darbe deneyi değerleri.

Grafik incelendiğinde Kaynak Ortası 1-2-3 numunelerinde değerler birbirine yakın çıkmıştır, fakat salınlı kaynak ıtab bölgesi numuneleri düz kaynak ıtab bölgesi numunelerine kıyasla yaklaşık olarak % 22 daha fazla mukavemet gösterdiği görülmektedir.

A ve B kodları ile adlandırılan 20 mm kalınlığındaki kaynaklı birleştirmelerin, Kaynak Ortası ve Itab Bölgesi'nden alınan numunelerinin -20 °C de ki çentik darbe deney sonuçları Şekil 7.14'te grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 7.14. -20 °C Çentik darbe deneyi değerleri.

Grafik incelendiğinde Kaynak Ortası 1-2-3 numunelerinde değerler birbirine yakın çıkmıştır fakat salınlı kaynak ıtab bölgesi numuneleri düz kaynak ıtab bölgesi numunelerine kıyasla yaklaşık olarak % 38 daha fazla mukavemet gösterdiği görülmektedir.

Salınımlı kaynaktaki fazla ısı girdisi nedeniyle parçalar soğurken daha ince taneli yapı oluşmasına neden olarak çentik dayanımını artırmıştır.

7.3. MİKRO SERTLİK DENEYİ

Mikro sertlik ölçümleri Vicker's sertlik ölçüm metoduyla yapılmıştır. Numunelerin üzerinde eşit aralıklarla sertlik değerleri ölçülüp her numune için kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerler sayesinde deney numunelerinin mikro sertlik değer grafikleri oluşturulmuştur. Sertlik ölçümleri 20 mm ve 8 mm kalınlıktaki parçaların ayrı ayrı değerlendirilebilmesi için iki başlık altında incelenmiştir.

7.3.1. 8 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Mikro Sertlik Ölçümleri

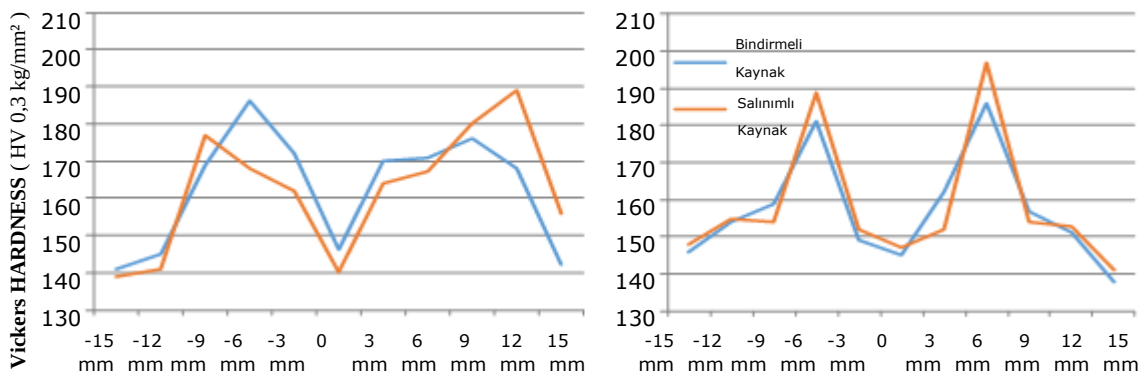
A1: FCW 140 Özlü telle yapılan salınımlı kaynak

A2: FCW 140 Özlü telle yapılan düz kaynak

B1: Fluxofil 20HD özlü telle yapılan salınımlı kaynak

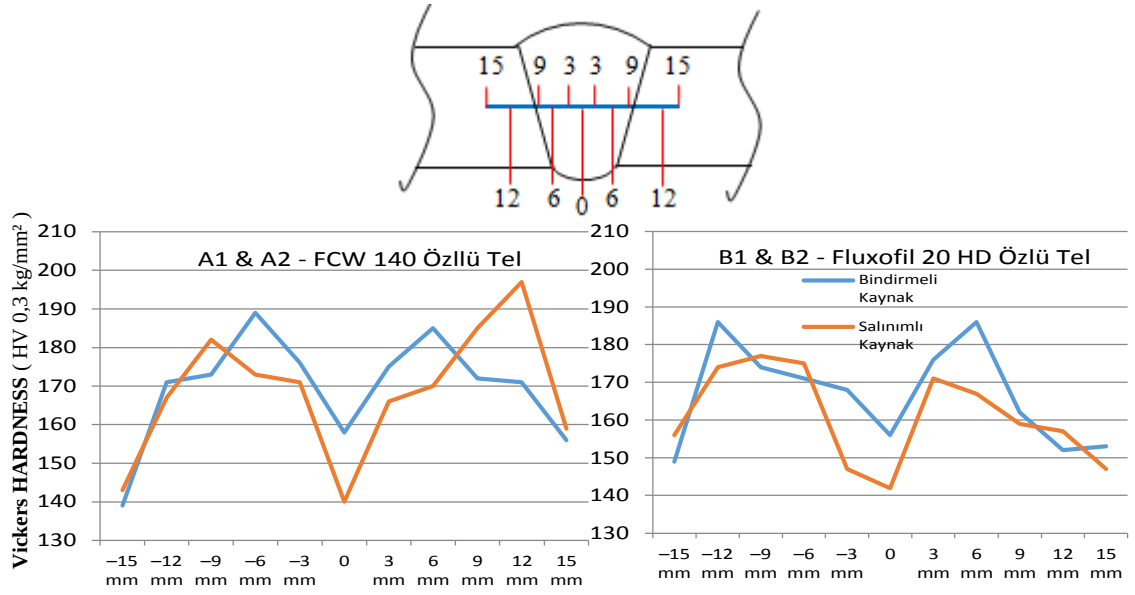
B2: Fluxofil 20HD özlü telle yapılan düz kaynak olarak kodlanan parçaların sertlik ölçüm grafikleri aşağıdaki gibidir.

İlk olarak kök dikişi bölgesine yakın yerdeki kaynak metalinin tam orta kısmından başlamak kaydıyla sağa ve sola doğru 3'er mm aralıklarla ölçümler yapılmıştır. "0" noktasından itibaren; sola doğru yapılan ölçüm mesafeleri (-) değerle, sağa doğru yapılan ölçüm mesafeleri (+) değerle adlandırılmıştır. Ölçüm noktaları ve ölçüm değerleri Şekil 7.15'te verilmiştir.



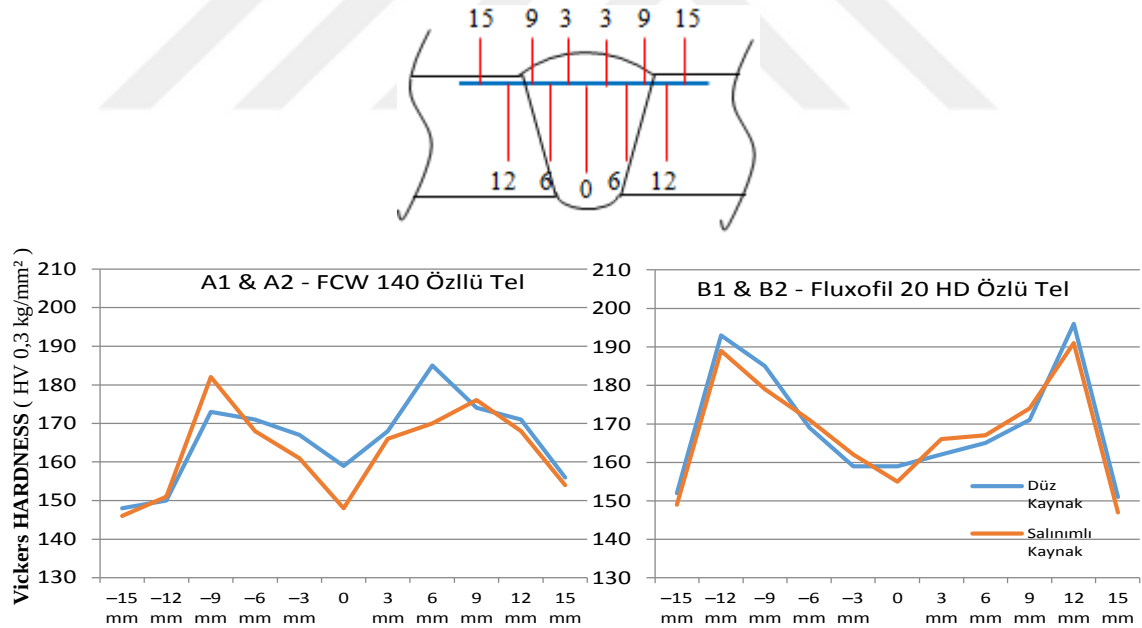
Şekil 7.15. Salınımlı ve düz kaynak yönteminin kök paso sertlik ölçüm değerleri.

İkinci olarak kesitin orta noktasından sağa ve sola doğru 3'er mm aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Ölçüm noktaları ve ölçüm değerleri Şekil 7.16'da verilmiştir.



Şekil 7.16. Salınlı ve düz kaynağın kesit ortasındaki sertlik ölçüm değerleri.

Son olarak kesitin üst orta noktasından başlamak suretiyle sağa ve sola doğru 3'er mm aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Salınlı ve düz kaynak yöntemi kaynak üst bölgesi sertlik değerleri ve ölçüm noktaları Şekil 7.17'de verilmiştir.



Şekil 7.17. Salınlı ve düz kaynak yöntemi kaynak üst bölgesi sertlik ölçüm noktaları.

8 mm kalınlığındaki malzemenin mikro sertlikleri incelendiğinde hem düz ve salınlı kaynak yöntemlerinin, hem de FCW140 ve Fluxofil 20HD özlü telle yapılan kaynakların sertlik değerleri birbiriyle kıyaslandığında sertlik değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmektedir.

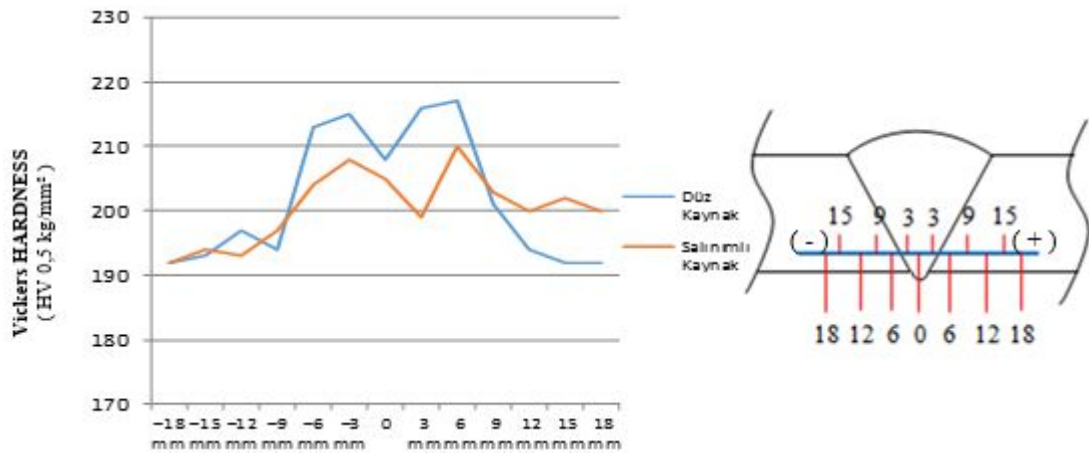
Vickers sertlik ölçüm değerleri 4 farklı kaynak uygulamasının kök dikiş bölgesi, kesitin orta bölgesi ve kaynak üst bölgesi ölçüm noktaları birbiriyle kıyaslanıp ortalaması alındığında, aralarındaki farkın en fazla % 6 olduğu görülmektedir. Değerler birbirine yakın çıktığı için derinlemesine bir yorum yapılamamıştır.

“B1&B2” numunelerinin kaynak üst bölgesi hariç geri kalan 10 numunenin Vickers mikro sertlik ölçümlerinde, kaynak ergime sınırı olan – 6&9 mm veya + 9&12 mm bölgelerinin ölçüm değerlerinin düşük çıktığı görülmektedir.

7.3.2. 20 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Mikro Sertlik Ölçümleri

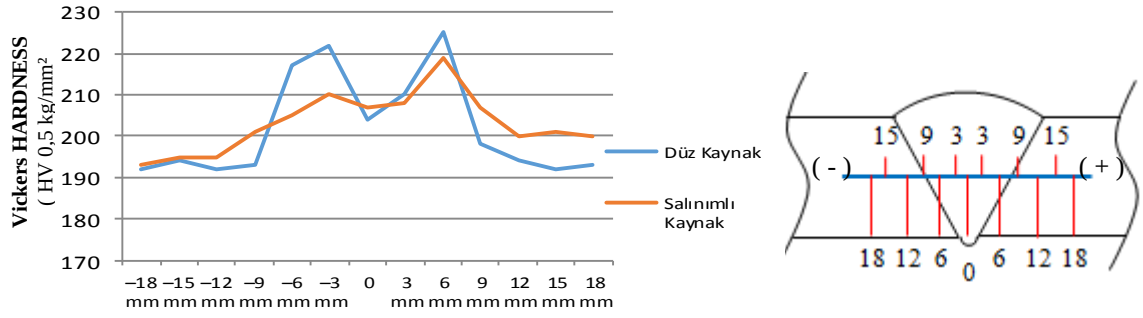
20 mm kalınlığındaki malzemelerin sertlik ölçümü için numuneler Salınlımlı Kaynak ve Bindirmeli Kaynak olarak adlandırılmıştır.

20 mm kalınlığındaki numunelerinde ilk olarak kök dikişi bölgesine yakın yerdeki kaynak metalinin tam orta kısmından başlamak kaydıyla sağa ve sola doğru 3'er mm aralıklarla ölçümler yapılmıştır. “0” noktasından itibaren; sola doğru yapılan ölçüm mesafeleri (-) değerle, sağa doğru yapılan ölçüm mesafeleri (+) değerle adlandırılmıştır. Ölçüm noktaları ve ölçüm değerleri Çizelge 7.18’de verilmiştir.



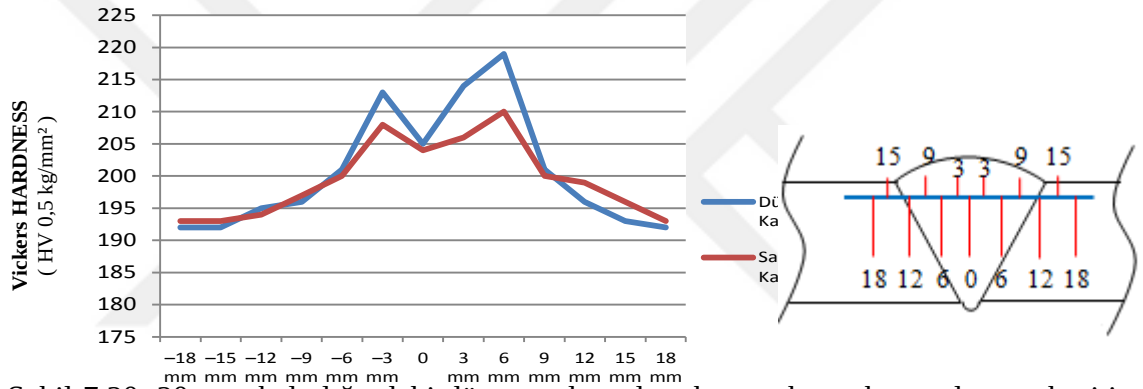
Şekil 7.18. 20 mm kalınlığındaki düz ve salınlımlı çok paso kaynak uygulamasının kök dikişi bölgesi Vickers sertlik değerleri.

Kök dikişinden 11 mm yükseklikte, yani parça-kaynak metali kesitinin ortasından başlamak suretiyle sağa ve sola doğru 3'er mm aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Ölçüm noktaları ve ölçüm değerleri Şekil 7.19’da verilmiştir.



Şekil 7.19. 20 mm kalınlığındaki düz ve salınlı çok paso kaynak uygulaması kesitin orta bölgesi Vicker's sertlik değerleri.

Kaynak metali kapak paso bölgesine yakın yerdeki kaynak metalinin ortasından başlamak suretiyle sağa ve sola doğru 3'er mm aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Ölçüm noktaları ve ölçüm değerleri Şekil 7.20'de verilmiştir.



Şekil 7.20. 20 mm kalınlığındaki düz ve salınlı çok paso kaynak uygulaması kesitin orta bölgesi Vicker's sertlik değerleri.

20 mm kalınlığındaki malzemelerin salınlı kaynak ve düz kaynak yönteminin sertlik değerleri birbiriyle kıyaslandığında sertlik değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmektedir.

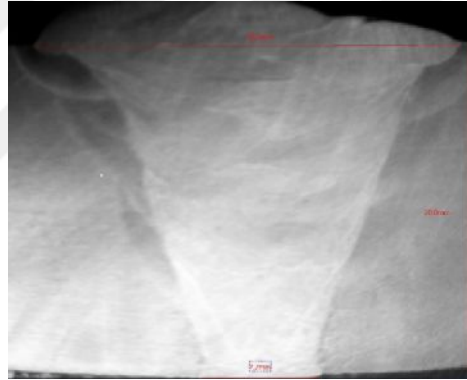
Vicker's sertlik ölçüm değerleri 2 farklı kaynak uygulamasının kök dikiş bölgesi, kesitin orta bölgesi ve kaynak üst bölgesi ölçüm noktaları birbiriyle kıyaslanıp ortalaması alındığında, aralarındaki farkın en fazla % 5 olduğu görülmektedir. Değerler birbirine yakın çıktığı için derinlemesine bir yorum yapılamamıştır.

7.4. MAKRO YAPI İNCELEME

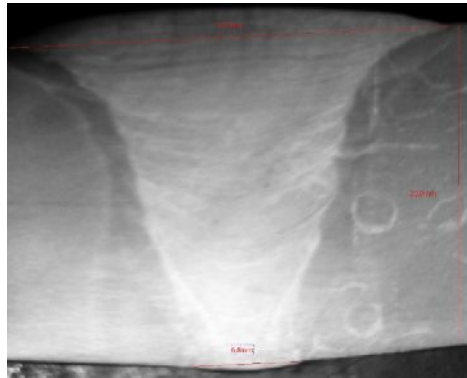
Yapmış olduğumuz çekme, çentik darbe ve mikro sertlik deneylerini desteklemesi hem de yapılacak yorumları kolaylaştırması amacıyla kaynak bölgesinde meydana gelen değişikliklerini genel olarak tespit etmek için parçalara makro incelemesi yapılmıştır. Makro incelemesi için, Şekil 7.21’de ki gibi kaynak yönüne dik kesitte numuneler alınarak 40-1200 nolu zımparalar ile zımparalanmış ve daha sonra parlatma yapılmıştır.



Şekil 7.21. Makro inceleme numunesi.



Şekil 7.22. Düz çok paso kaynak.



Şekil 7.23. Salınlımlı çok paso kaynak.

Numuneler 1200 zımparaya kadar zımparalanıp keçelerle parlatıldıktan sonra dağlanarak makro yapıları incelenmiştir. Makro inceleme sayesinde ısıdan etkilenen

bölgeyi, içyapıdaki değişimleri, pasolar arası geçiş sıcaklığının etkisi gözlemlenebilmiştir.

Isıdan etkilenmiş bölge kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi anında sıcaklığın içyapıya, dolayısıyla metalin özelliklerini etkilediği bölgedir ve ana malzemenin içine doğru genişler. Çeliklerin kaynağında bu bölgede sıcaklık 1450 ile 700 °C arasında değişmektedir. Erişilen sıcaklığa bağlı olarak çeşitli içyapı ve özellik gösteren bölgeler mevcuttur [39].

V dikişinin kenarlarında, ısı girdisinin büyüklüğünün ve etkime süresinin, istenen ince taneli bir yapıdan istenmeyen bir iri taneli yapıya kadar değişik içyapılar oluşturabileceği gösterilmektedir [50].

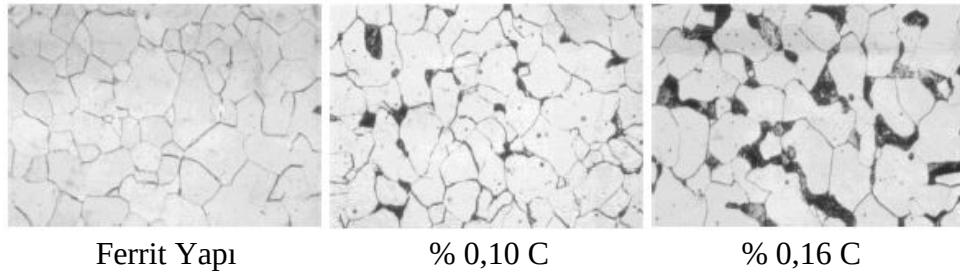
Şekil 7.22 ve Şekil 7.23'te ki makro görüntülerinde, kök paso bölgesindeki sağ ve sol taraf Itab bölgesi genişlikleri yaklaşık olarak birbirlerine eşittir. Kapak pasoya doğru yükseldikçe; Şekil 7.22'de ki Itab bölgesi, Şekil 7.23'te ki Itab bölgesine oranla daha dardır. Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11'de ki kaynak robotu parametreleri incelendiğinde her iki yöntemde de volt ve amper değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Buda Şekil 7.22'de ki parçada 3 boyutlu, Şekilde 7.23'te ki parçada 2 boyutlu ısı iletimine neden olmaktadır. Dolayısıyla salınlı çok paso kaynak uygulamasında (pasolar arası geçiş sıcaklığının etkisiyle de) kapak bölgesine yaklaştıkça daralan bir Itab bölgesi oluşmuştur.

7.5. MİKRO YAPI İNCELEME

Makro yapı incelemede gördüğümüz yapıyı daha detaylı incelemek amacıyla ve kaynak bölgesinde meydana gelen değişiklikleri başka bilimsel çalışmalarla için parçalara mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Mikroyapı incelemek amacıyla 8 mm kalınlığındaki numuneler 1200 zımpara ile zımparalanıp çuha bezi ile tekrar parlatılıp % 3 Nital ile dağlanmıştır.

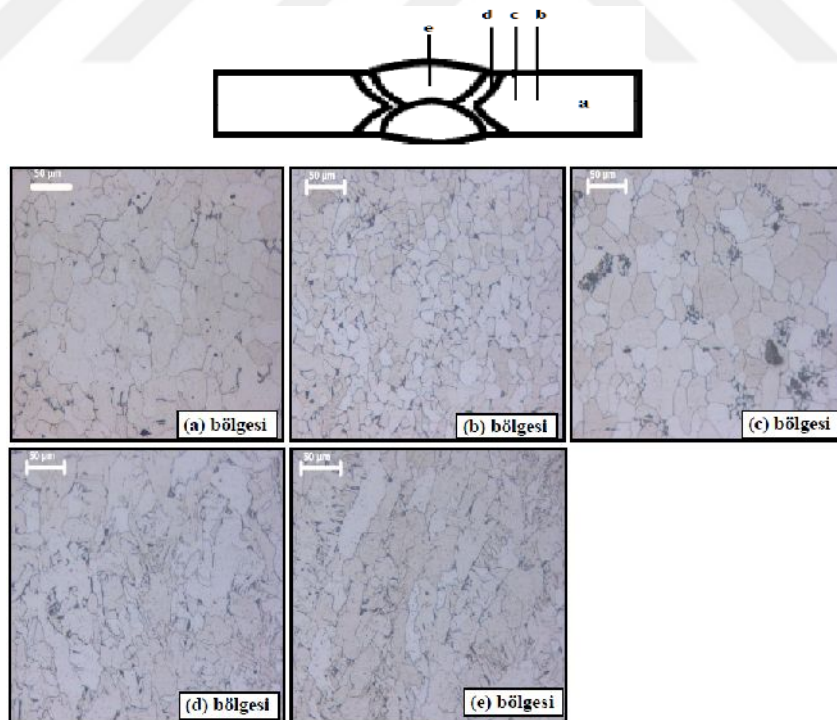
Farklı özlü tellerle ve düz & salınlı kaynak numunelerin her birisi için esas metal, ergime sınırı, kök paso, kaynak orta bölgesi ve kapak paso bölgesi olmak üzere 5 farklı bölgesinden mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Dağlanan parçaların mikro yapı görüntüleri Nikon Eclipse MA100 cihazı ile 20X ve 50X mercekler kullanılarak

alınmıştır. Dağlanan parçalar Şekil 7.24'te ki mikro yapılar ve çeşitli kaynaklardaki benzer görüntülerle kıyaslanmıştır.



Şekil 7.24. Karbon oranlarına göre Ferrit yapının mikro yapı görüntüsü [18].

Isıdan etkilenmiş bölge kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi anında sıcaklığın içyapıya, dolayısıyla metalin özelliklerini etkilediği bölgedir ve ana malzemenin içine doğru genişler. Çeliklerin kaynağında bu bölgede sıcaklık 1450 ile 700 °C arasında değişmektedir. Erişilen sıcaklığa bağlı olarak çeşitli içyapı ve özellik gösteren bölgeler mevcuttur [39]. Söz konusu bölgelerin kaynak numunesi üzerinde gösterimi ve bu bölgelere göre içyapıya ait mikro yapı görünüşleri Şekil 7.25'te gösterilmiştir.



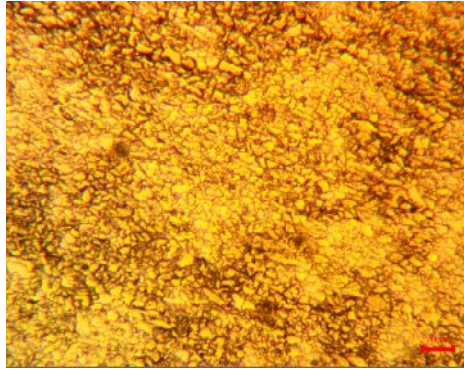
Şekil 7.25. Erişilen sıcaklığa bağlı olarak oluşan içyapı örnekleri [31].

Bu bölgede erişilen maksimum sıcaklık derecesi, kaynak dikişi eksenine olan mesafe ve sıcaklık değişimi de zamanın fonksiyonu olarak bilinirse, kaynak işlemi sonucunda

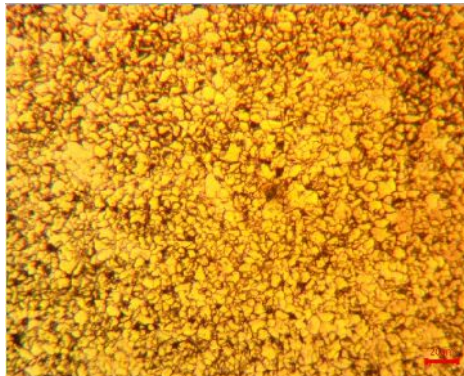
oluşabilecek içyapı, esas metalin özellikleri ve bileşimi göz önünde tutularak bir dereceye kadar önceden tahmin edilebilir. Kaynak anında ısının tesiri altındaki bölge hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonradan parça kalınlığı, kaynağa uygulanan enerji ve öntav sıcaklığının fonksiyonu olarak gene hızlı bir şekilde soğumaktadır. Genellikle ısıdan etkilenmiş bölge diye isimlendirilen bu bölge kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılmalar bu bölgede oluşur. Mikro alaşımlı bir HSLA çeliğinin tek pasolu kaynağının mikro yapısal analizi ısıdan etkilenmiş bölgenin gerçekte kaba taneli bölge (CGHAZ: coarse grained zone), ince taneli bölge (FGHAZ: fine grained zone), kritik arası veya kısmen dönüşmüş bölge (ICHAZ: intercritical or partially transferred zone), kritik altı veya temperlenmiş bölge (SCHAZ: subcritical or tempered zone) gibi bölümlerden oluştuğunu göstermiştir [39].

7.5.1. S460M Çeliğinin Mikro Yapı Görüntüleri

Kaynaklı birleştirme deney sonuçlarını inceleyebilmek için deney malzemesinin kaynak işleminden önceki mikro yapı fotoğrafları alınmıştır. Çeşitli büyütme ölçeklerinde alınan görüntüler Şekil 7.26, Şekil 7.27, Şekil 7.28 ve Şekil 7.29’da verilmiştir.



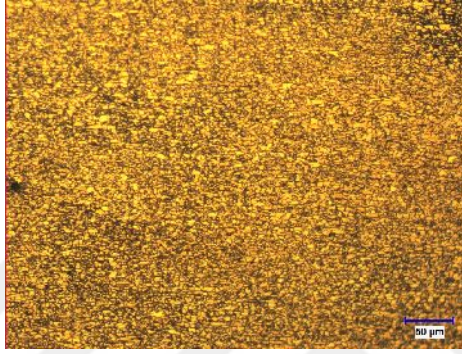
Şekil 7.26. A1 ana malzeme.



Şekil 7.27. A2 ana malzeme.



Şekil 7.28. B1 ana malzeme.



Şekil 7.29. B2 ana malzeme.

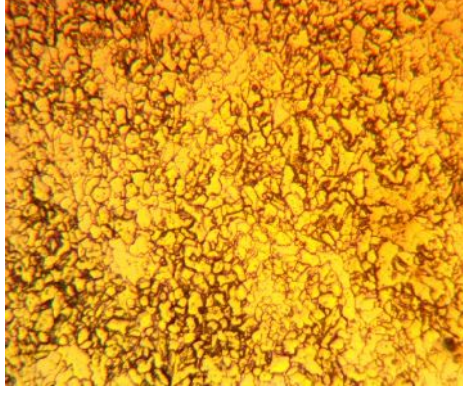
Ana malzeme görüntülerinde, düşük karbonlu çelik yapısı olan yoğun ferrit ve düşük miktarda perlit görüntüsü olduğu görülmektedir. Alınan görüntüler sayesinde literatür ve üretici firmaların belirttiği gibi ince taneli yapıya sahip olduğu görülmüştür.

7.5.2. FCW140 Özlü Telle Yapılan Salınlı Kaynağın Mikro Yapı Görüntüleri

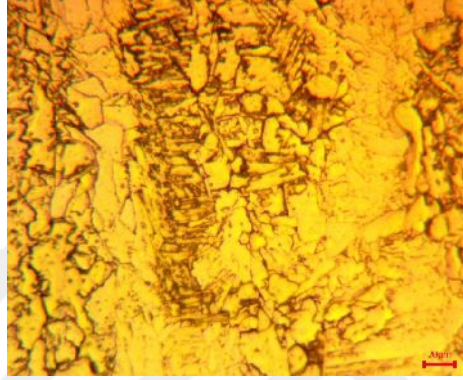
FCW140 özlü telle yapılan salınlı kaynağın mikro yapı görüntüleri Şekil 7.30, Şekil 7.31, Şekil 7.32 ve Şekil 7.33'te verilmiştir.



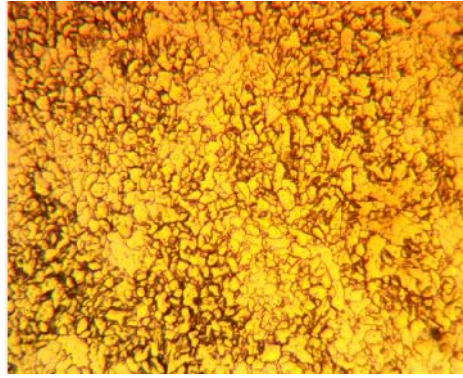
Şekil 7.30. A1 kök paso.



Şekil 7.31. A1 kaynak ortası.



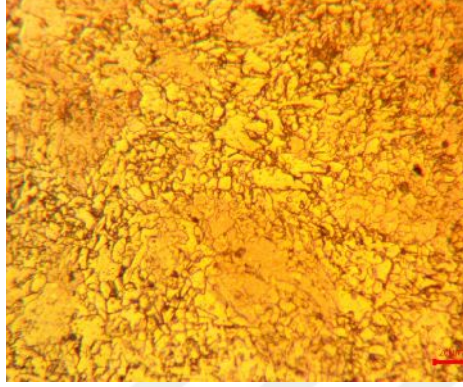
Şekil 7.32. A1 kaynak üst.



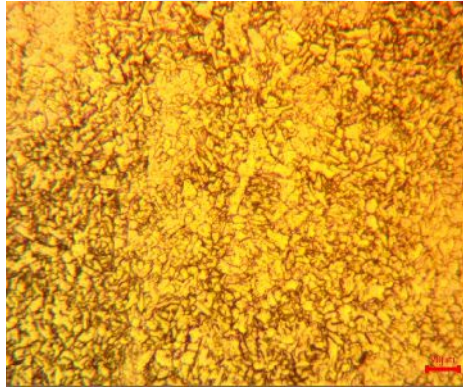
Şekil 7.33. A1 ergime sınırı.

7.5.3. FCW140 Özlü Telle Yapılan Düz Kaynağın Mikro Yapı Görüntüleri

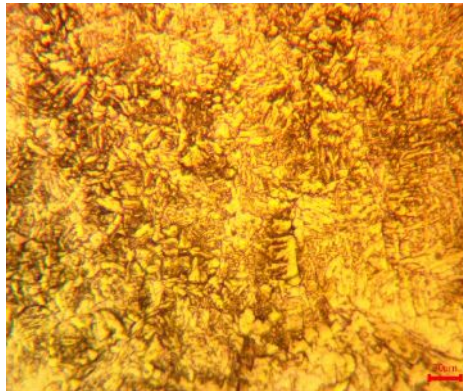
FCW140 özlü telle yapılan düz kaynağın mikro yapı görüntüleri Şekil 7.34, Şekil 7.35, Şekil 7.36 ve Şekil 7.37’de verilmiştir



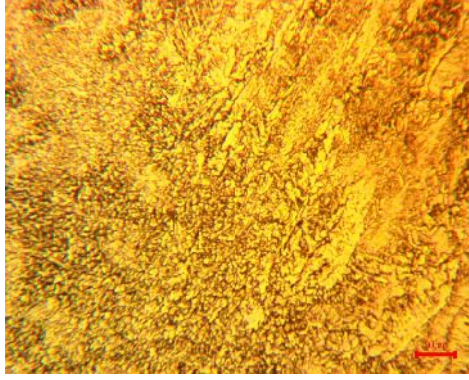
Şekil 7.34. A2 kök paso.



Şekil 7.35. A2 kaynak ortası.

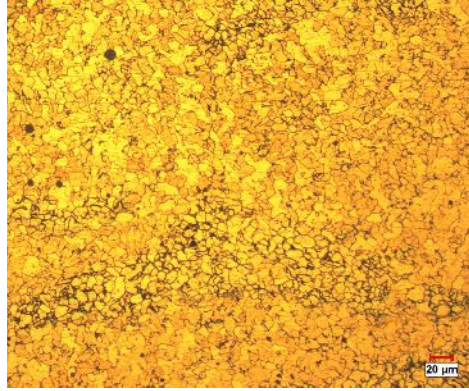


Şekil 7.36. A2 kaynak üst.

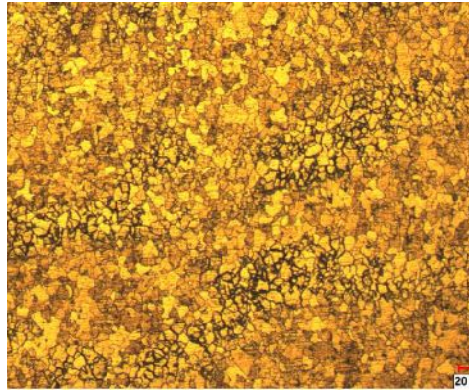


Şekil 7.37. A2 ergime sınırı.

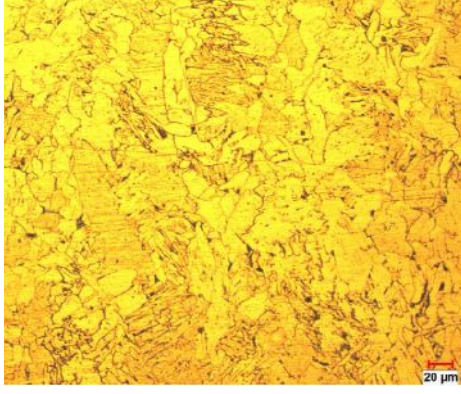
7.5.4. Fluxofil 20HD Özlü Telle Yapılan Salınlı Kaynağın Mikro Yapı Görüntüleri



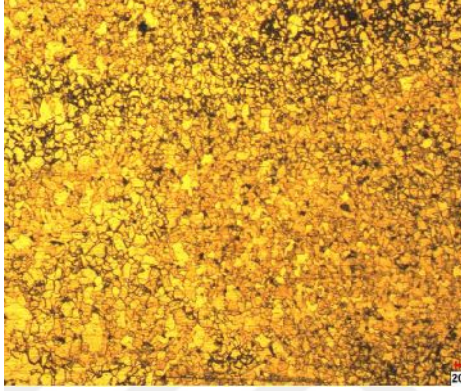
Şekil 7.38. B1 kök paso.



Şekil 7.39. B1 kaynak ortası.



Şekil 7.40. B1 kaynak üst.

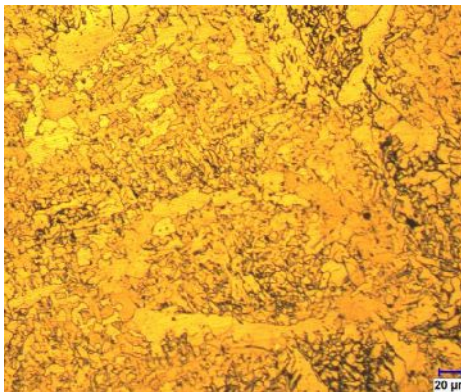


Şekil 7.41. B1 ergime sınırı.

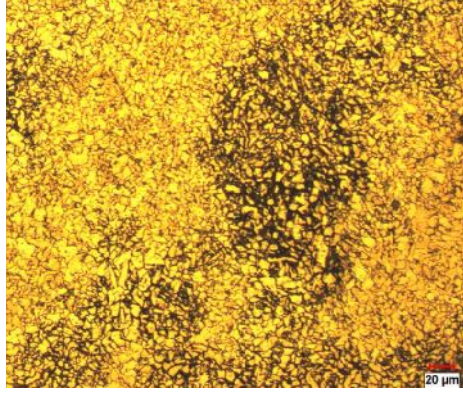
Fluxofil 20 HD özlü telle yapılan salınlımlı kaynağın mikro yapı görüntüleri Şekil 7.38, Şekil 7.39, Şekil 7.40 ve Şekil 7.41’de verilmiştir.

7.5.5. Fluxofil 20HD Özlü Telle Yapılan Düz Kaynağın Mikro Yapı Görüntüleri

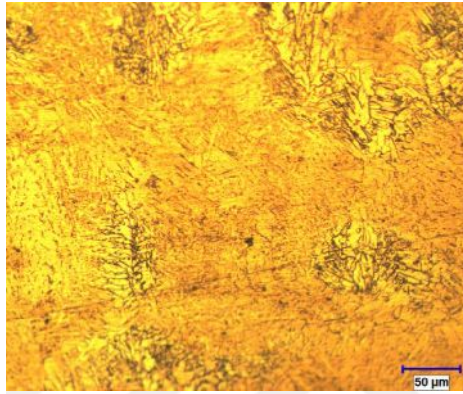
Fluxofil 20 HD özlü telle yapılan düz kaynağın mikro yapı görüntüleri Şekil 7.42, Şekil 7.43, Şekil 7.44 ve Şekil 7.45’te verilmiştir.



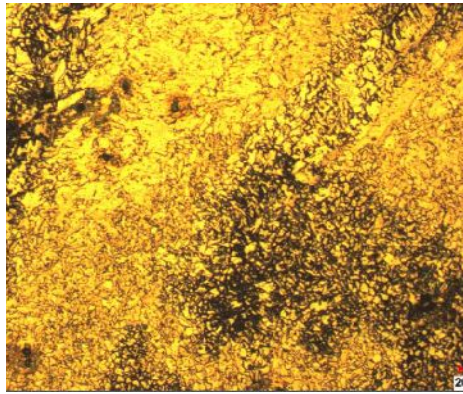
Şekil 7.42. B2 kök paso.



Şekil 7.43. B2 kaynak ortası.



Şekil 7.44. B2 kaynak üst.



Şekil 7.45. B2 ergime sınırı.

Çok pasolu kaynakta başarılı pasolar nüfuziyet bölgesindeki mikro yapıları ve önceki pasolardaki ısıdan etkilenmiş bölgeyi tekrar ısıtmakta ve değiştirmektedir. Yeniden ısıtma sonucu östenit taneciklerinin boyutları artmakta, kaynak tokluğu azalmaktadır. Kaba taneli bölgede (CGHAZ) yüksek karbonlu martenzit adaları değişmeksizin kalabilir veya yeniden ısıtma sonucu ulaşılan tepe sıcaklığı nedeniyle sertleşebilirler. Kaba taneli yeniden ısıtılmış bölgelerdeki (CGRHZ: coarse grained reheated zones) mikro yapısal özelliklerin tek pasolu kaba taneli bölgede (CGHAZ)'ki özelliklerle

benzer olduğu saptanmıştır. İnce taneli yeniden ısıtılmış bölgede (FGRHZ: fine grained reheated zones) meydana gelen tane incelmesi genellikle önceki kaba taneli bölge (CGHAZ)’nin tokluğunu iyileştirmekte, artırmaktadır. Bununla birlikte üstteki beynit kaynak ısıl çevrimleri boyunca değişmeden kalmaktadır [39].

7.6. KIRIK YÜZEY İNCELEME

Kaynaklı birleştirmesi yapılan deney numunelerinin ıtab ve kaynak metali bölgelerinden çıkarılarak -20 °C’de kırılan çentik darbe deney numunelerin kırılma yüzeyleri 200X ve 1000X merceklerle görüntülenerek incelenmiştir. Yapılan inceleme ve alınan görüntüler 2 ana başlık altında değerlendirilmiştir.

7.6.1. 8 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Kırık Yüzey İncelemesi

8 mm kalınlığındaki numuneler;

A1 KO: FCW 140 zl telle yapılan salınlımlı kaynağın kaynak metali (kaynak orta) bölgesinin kırık yüzeyi

A1 ITAB: FCW 140 zl telle yapılan salınlımlı kaynağın ıtab bölgesinin kırık yüzeyi

A2 KO: FCW 140 zl telle yapılan düz kaynağın kaynak metali (kaynak orta) bölgesinin kırık yüzeyi

A2 ITAB: FCW 140 zl telle yapılan düz kaynağın ıtab bölgesinin kırık yüzeyi

B1 KO: Fluxofil 20HD zl telle yapılan düz kaynağın kaynak metali (kaynak orta) bölgesinin kırık yüzeyi

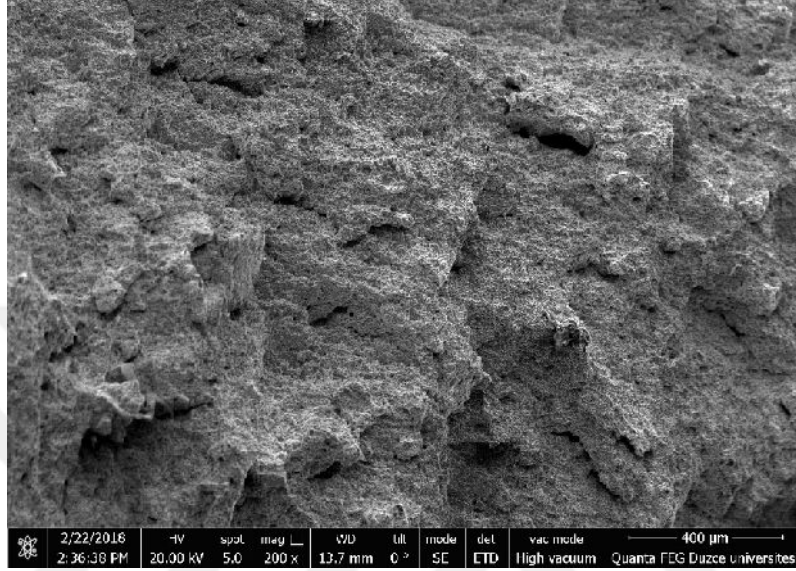
B1 ITAB: Fluxofil 20HD zl telle yapılan salınlımlı kaynağın ıtab bölgesinin kırık yüzeyi

B2 KO: Fluxofil 20HD zl telle yapılan düz kaynağın kaynak metali (kaynak orta) bölgesinin kırık yüzeyi

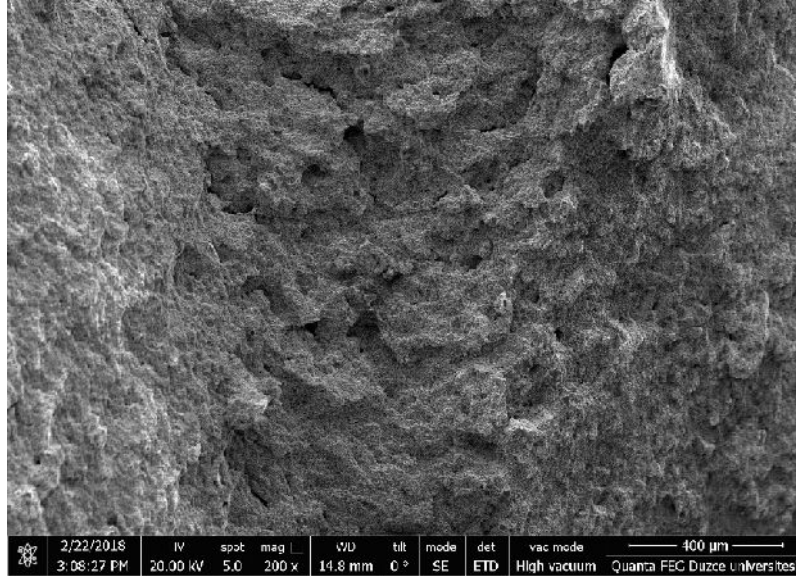
B2 ITAB: Fluxofil 20HD zl telle yapılan düz kaynağın ıtab bölgesinin kırık yüzeyi olarak adlandırılmıştır.

7.6.1.1. FCW 140 Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak A1 KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.46'da ve düz kaynak A2 KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.47'de verilmiştir.



Şekil 7.46. FCW140 salınlı kaynak A1 KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.

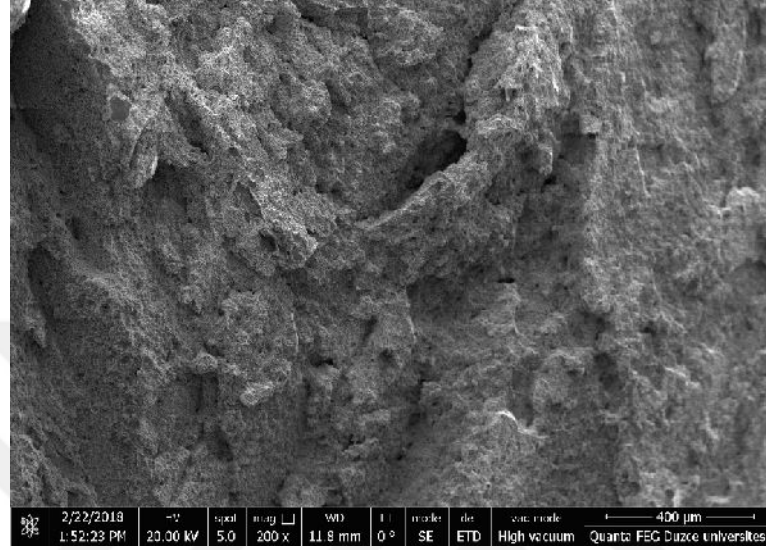


Şekil 7.47. FCW140 düz kaynak A2 KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.

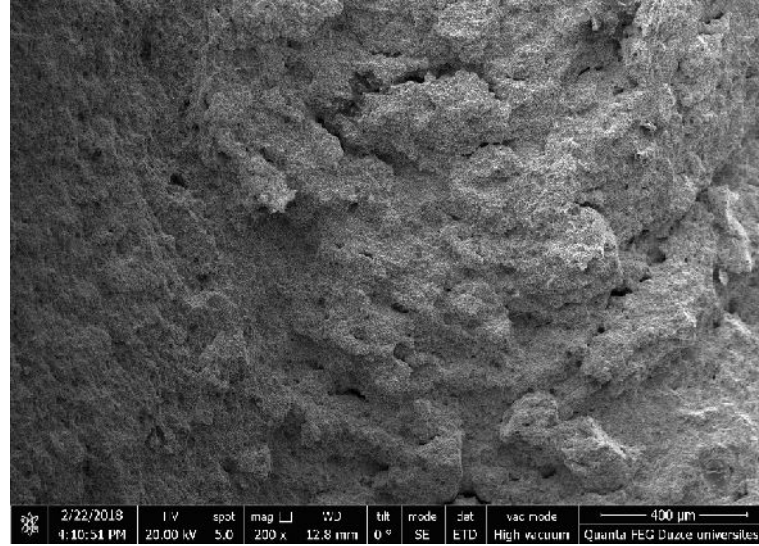
Kırık yüzeylerin pürüzlü, girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir [59]. Resim de çok sayıda girintiler ve birkaç farklı düzlemde dikey kademeler bulunmaktadır. Bölgede kaba ve yüzeyde çok sayıda çukurcuk görülmektedir [59].

7.6.1.2. FCW 140 Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak A1 Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.48’de ve düz kaynak A2 Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.49’da verilmiştir.



Şekil 7.48. FCW140 salınlı kaynak A1 Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.

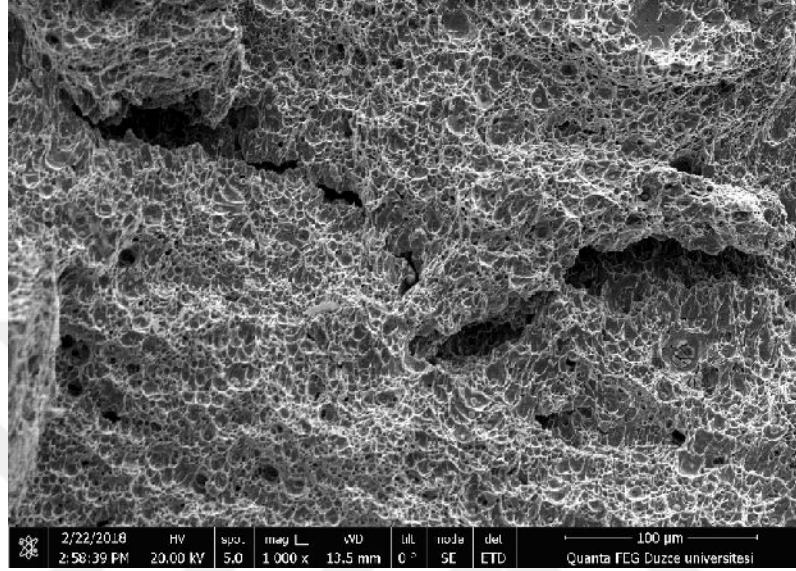


Şekil 7.49. FCW140 düz kaynak A2 Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.

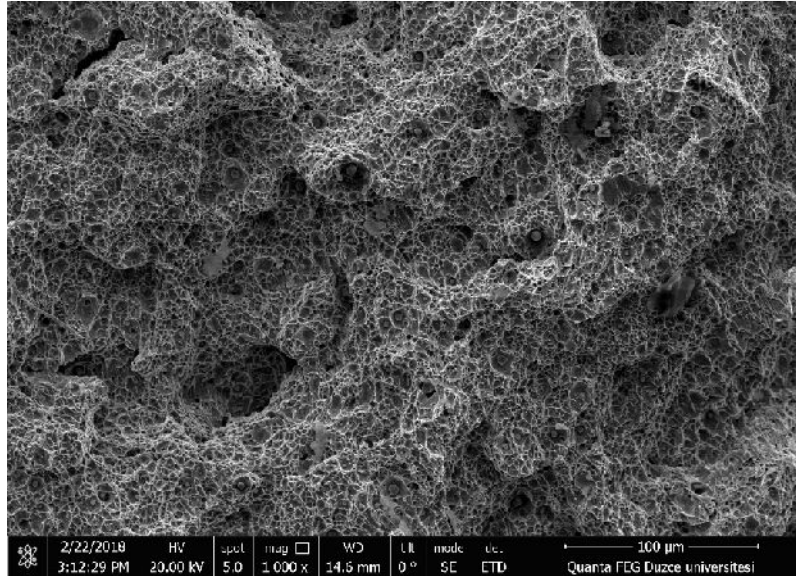
Kırık yüzeylerin pürüzlü, girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir [59]. Resim de çok sayıda girintiler ve birkaç farklı düzlemde dikey kademeler bulunmaktadır. Yüzeyde kaba ve çok sayıda çukurcuk ile derin çatlaklar mevcuttur [60].

7.6.1.3. FCW 140 Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak A1 KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.50’de ve düz kaynak A2 KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.51’de verilmiştir.



Şekil 7.50. FCW140 salınlı kaynak A1 KO numunesi 1000X kırık yüzey görüntüsü.

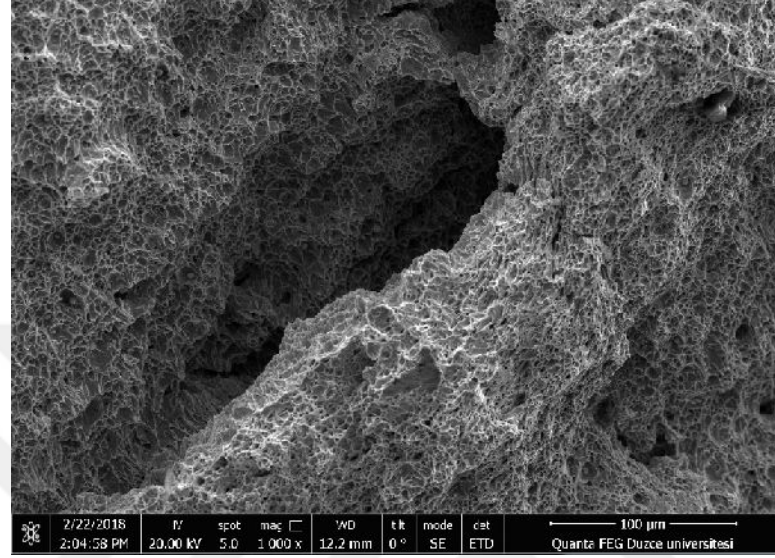


Şekil 7.51. FCW140 düz kaynak A2 KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü.

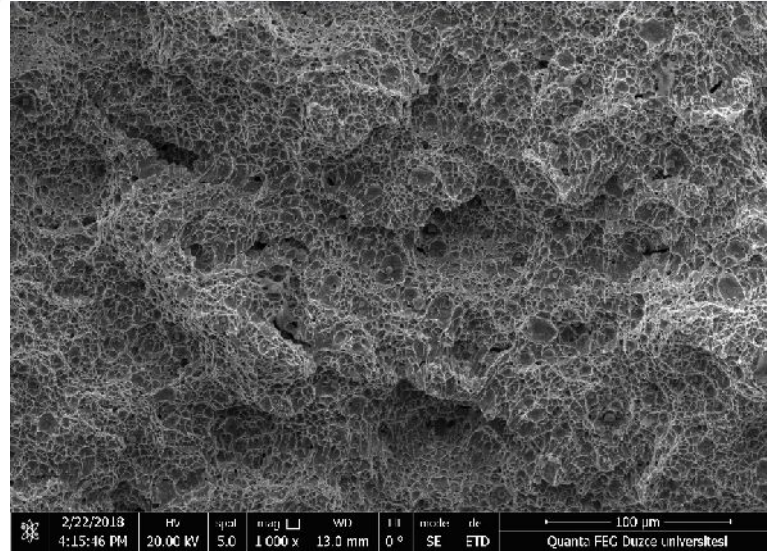
Yüzeyde demir oksit çöküntüleri bulunmaktadır [60]. Kırık yüzeylerin pürüzlü, girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu dolayısıyla sünek bir kırılma yüzeyine sahip olduğu görülmektedir [59]. Bunlara ilaveten Şekil 7.50’de mikro çatlaklar görülmekte.

7.6.1.4. FCW 140 Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak A1 Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.52’de ve düz kaynak A2 Itab numunesi 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.53’te verilmiştir.



Şekil 7.52. FCW140 salınlı kaynak A1 Itab numunesi 1000X kırık yüzey görüntüsü.

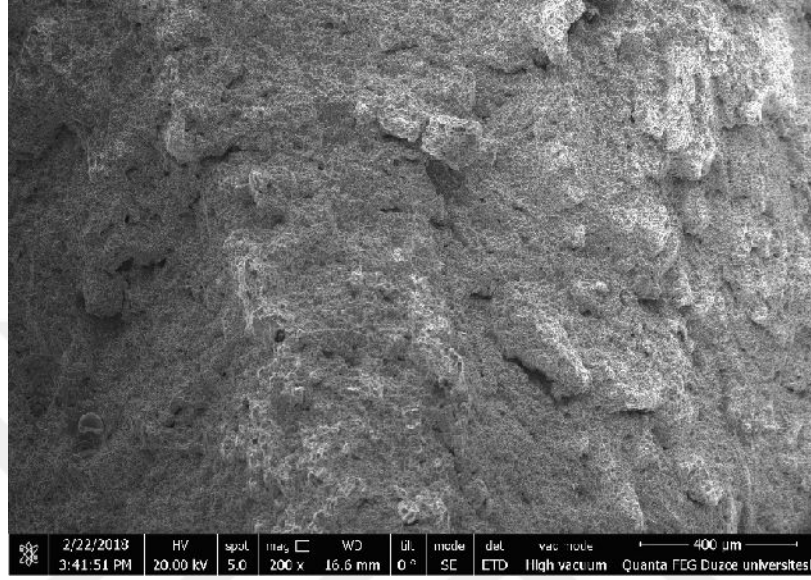


Şekil 7.53. FCW140 düz kaynak A2 Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü.

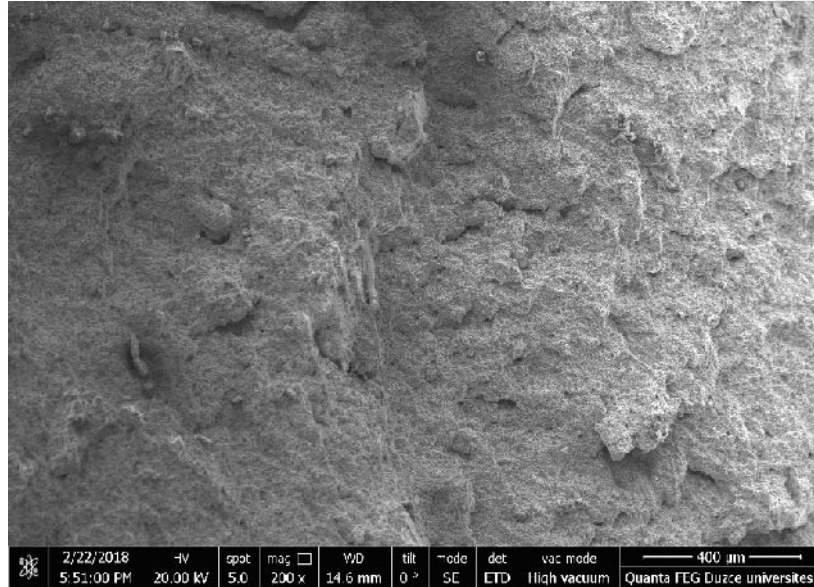
Yüzeyde bazı demir oksit çöküntüleri bulunmaktadır [60]. Şekil 7.52’de derin çöküntüler görülmektedir. Kırık yüzeylerin pürüzlü, girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu dolayısıyla sünek bir kırılma yüzeyine sahip olduğu ancak Şekil 7.50 ve Şekil 7.51’e kıyasla daha gevrek kırılma yüzeyine sahip olduğu görülmektedir [59].

7.6.1.5. Fluxofil 20 HD Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak B1 KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.54'te ve düz kaynak B2 KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.55'te verilmiştir.



Şekil 7.54. Fluxofil 20HD salınlı kaynak B1 KO numunesi 200X görüntüsü.

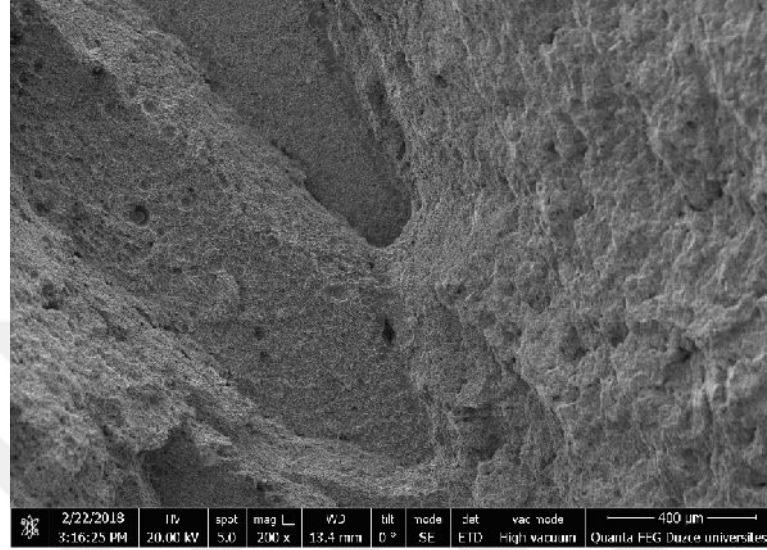


Şekil 7.55. Fluxofil 20HD düz kaynak B2 KO numunesi 200X görüntüsü.

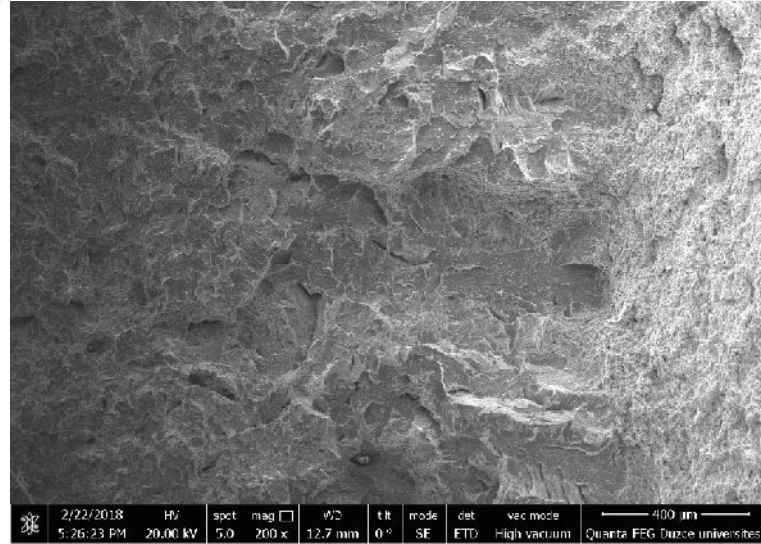
Her iki numunede birbirine benzer tarzda kırılma yüzeyi bulunmaktadır. Kırık yüzeylerin pürüzlü, girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir [59]. Yüzeylerde çok sayıda ve bir kaç farklı düzlemde dikey kademeler bulunmaktadır [60].

7.6.1.6. Fluxofil 20 HD Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak B1 Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.56’da ve düz kaynak B2 Itab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.57’de verilmiştir.



Şekil 7.56. Fluxofil 20HD salınlı kaynak B1 Itab numunesi 200X görüntüsü.

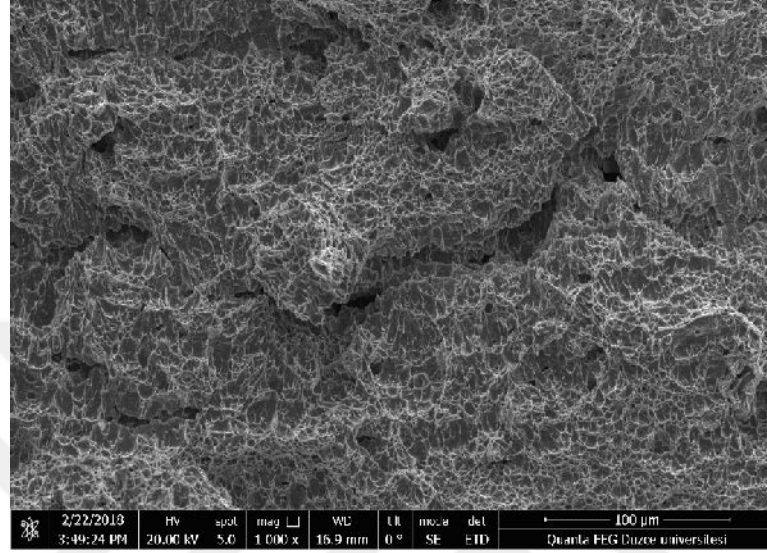


Şekil 7.57. Fluxofil 20HD düz kaynak B2 ITAB numunesi 200X görüntüsü.

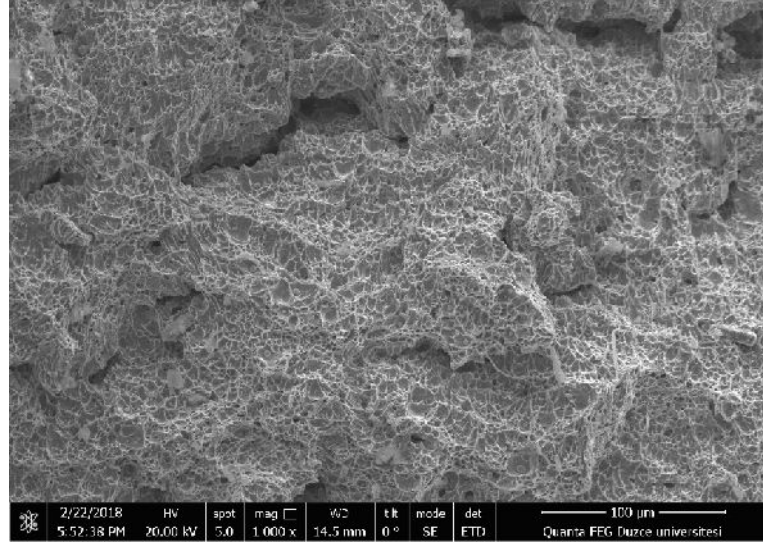
Yüzeylerde çok sayıda ve birkaç farklı düzlemde dikey kademeler bulunmaktadır [60]. Şekil 7.56’da derin yarıklar ve köşeli bir kırılma hattı bulunmaktadır. Şekil 7.57’de ana malzeme ile itab bölgesi net bir şekilde görülmektedir. Şekil 7.57’de Şekil 7.56’ya nazaran gevrek kırılma gerçekleşmiştir.

7.6.1.7. Fluxofil 20 HD Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak B1 KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.58’de ve düz kaynak B2 KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.59’da verilmiştir.



Şekil 7.58. Fluxofil 20HD salınlı kaynak B1 KO numunesi 1000X görüntüsü.

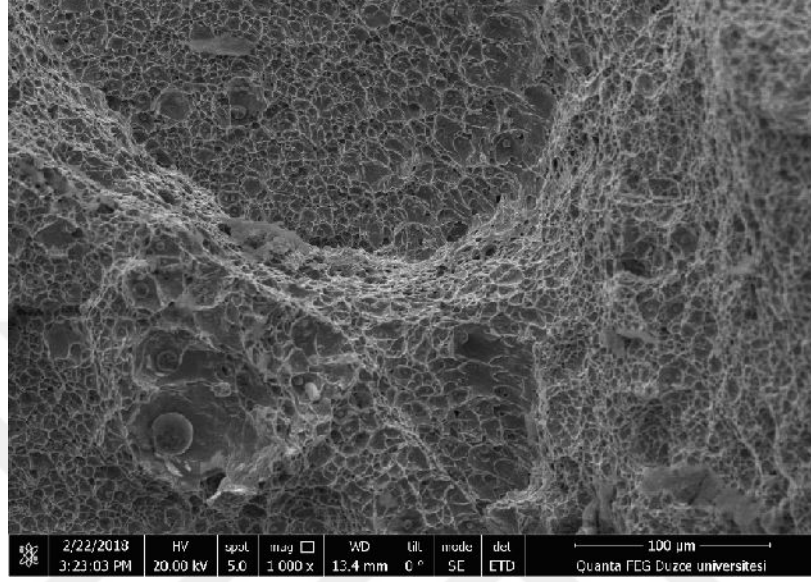


Şekil 7.59. Fluxofil 20HD düz kaynak B2 KO numunesi 1000X görüntüsü.

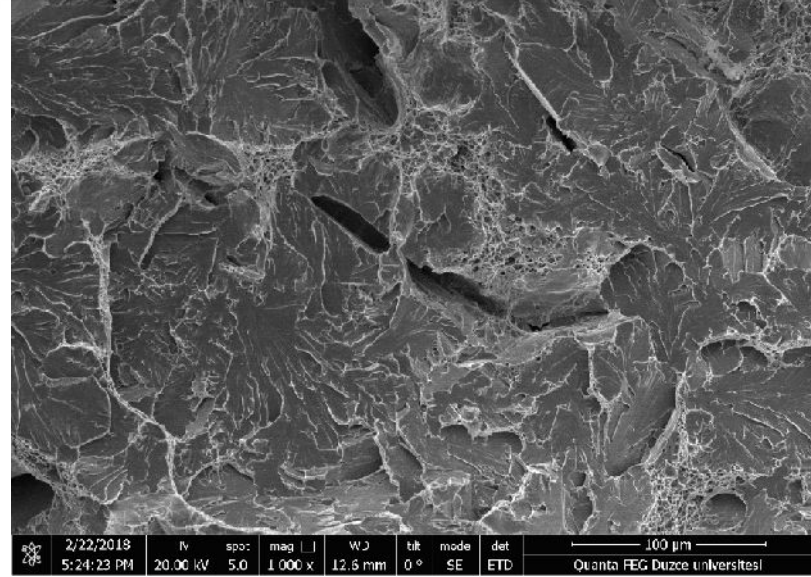
Kırık yüzeylerin pürüzlü, girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip ancak; Şekil 7.50 ve Şekil 7.51’e kıyasla daha gevrek bir kırılma yüzeyi görülmektedir [59]. Resimlerde çok sayıda girintiler ve birkaç farklı düzlemde dikey kademeler bulunmaktadır. Bölgede kaba ve yüzeyde çok sayıda çukurcuk ile mikro çatlaklar tespit edilmiştir [60].

7.6.1.8. Fluxofil 20 HD Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak B1 Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.60'da ve düz kaynak B2 Itab numunesi 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.61'de verilmiştir.



Şekil 7.60. Fluxofil 20HD salınlı kaynak B1 ITAB numunesi 1000X görüntüsü.



Şekil 7.61. Fluxofil 20HD düz kaynak B2 ITAB numunesi 1000X görüntüsü.

Şekil 7.60'ın yüzeyinde demir oksit çöküntüleri görülmektedir ve yüzeyinin pürüzlü olduğu görülmüştür. Şekil 7.61'de, Şekil 7.60'a göre pürüzsüz ve rijit kırılma gerçekleşmiştir [60].

7.6.2. 20 mm Kalınlığındaki Deney Numunelerinin Kırık Yüzey İncelemesi

20 mm kalınlığındaki numuneler;

B KO: Düz kaynağın kaynak metali (kaynak orta) bölgesinin kırık yüzeyi 200X -1000X

B ITAB: Düz kaynağın ıtab bölgesinin kırık yüzeyi

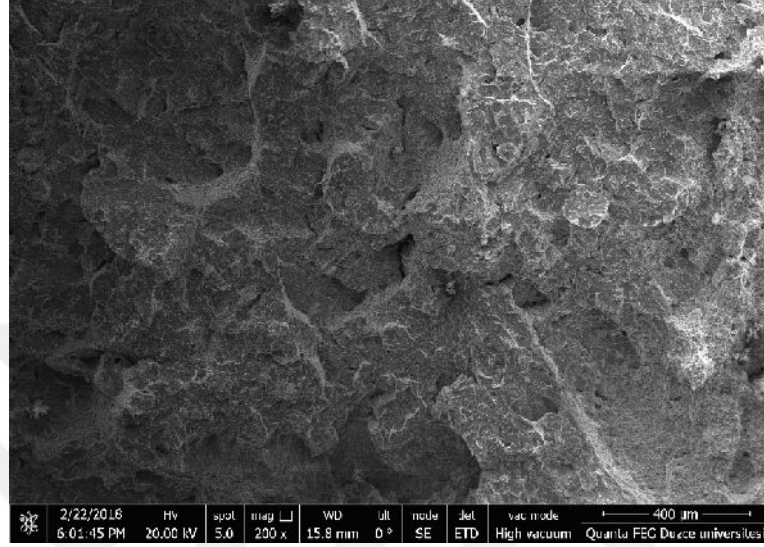
SA KO: Salınlımlı kaynağın kaynak metali (kaynak orta) bölgesinin kırık yüzeyi

SA ITAB: Salınlımlı kaynağın ıtab bölgesinin kırık yüzeyi olarak adlandırılmıştır.

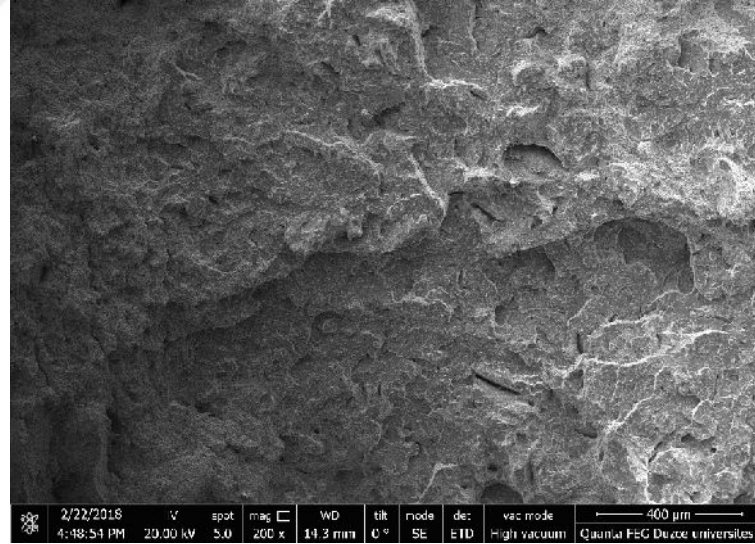


7.6.2.1. Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak SA KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.62’de ve düz kaynak B KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.63’te verilmiştir.



Şekil 7.62. Salınlı kaynak SA KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.

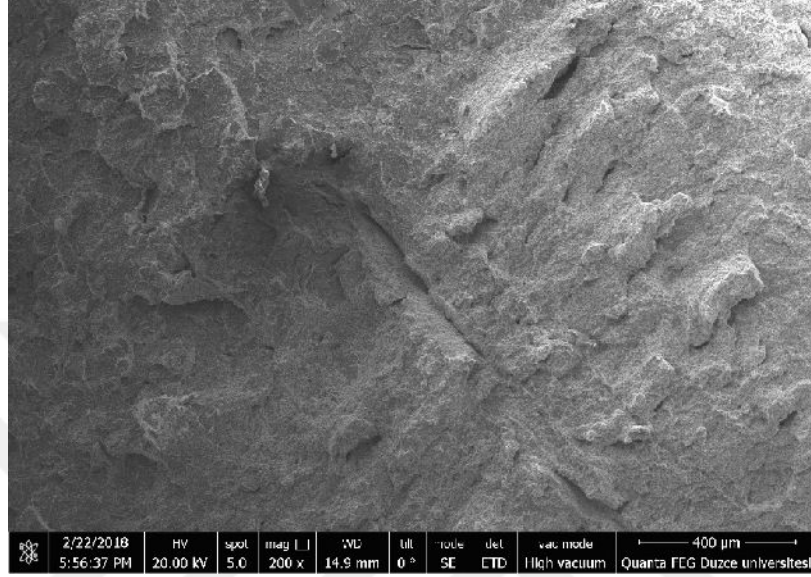


Şekil 7.63. Düz kaynak B KO numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.

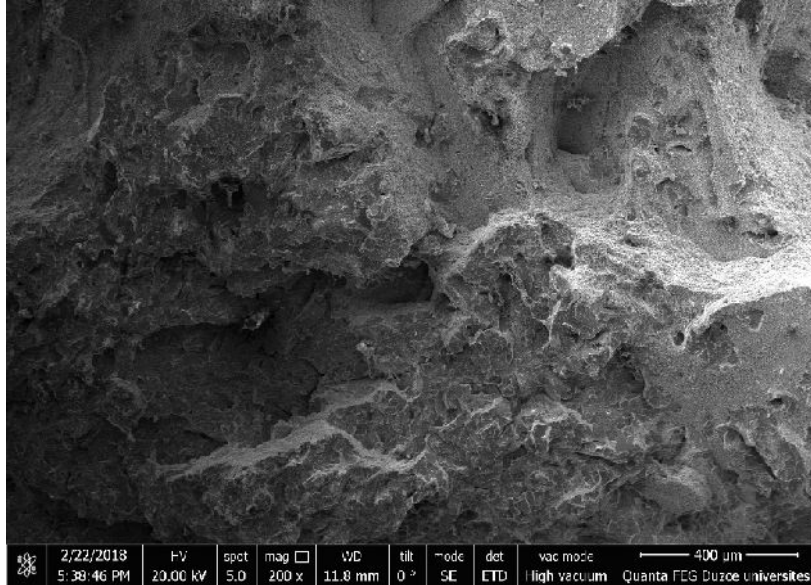
Kırılmış yüzeylerin ikisinde de birbirine benzer tarzda kırılma gözlemlenmiştir. Kırık yüzeylerin pürüzlü, girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir [59]. Yüzeylerde çok sayıda ve birkaç farklı düzlemde köşeli dikey kademeler bulunmaktadır [60].

7.6.2.2. Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin İtab Numunelerine Ait 200X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak SA İtab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.64'te ve düz kaynak B İtab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.65'te verilmiştir.



Şekil 7.64. Salınlı kaynak SA İtab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.

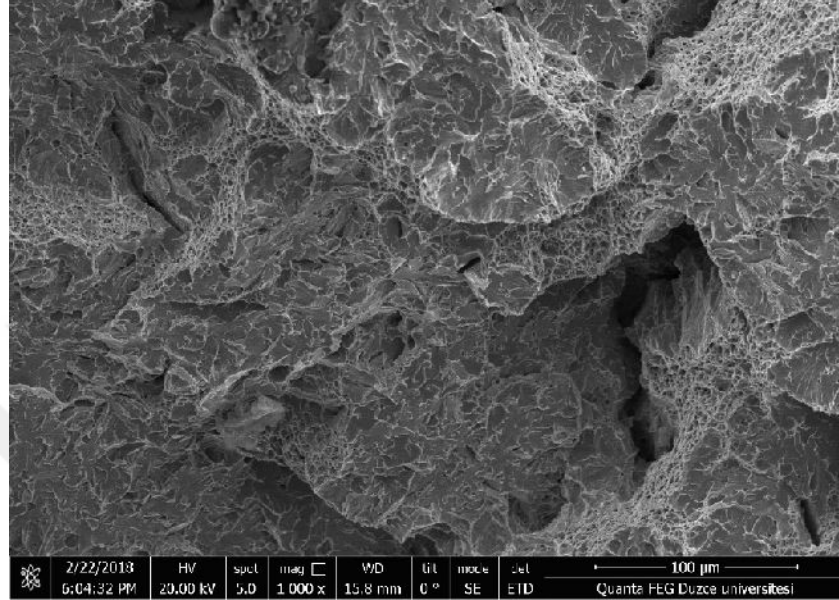


Şekil 7.65. Düz kaynak B İtab numunesinin 200X kırık yüzey görüntüsü.

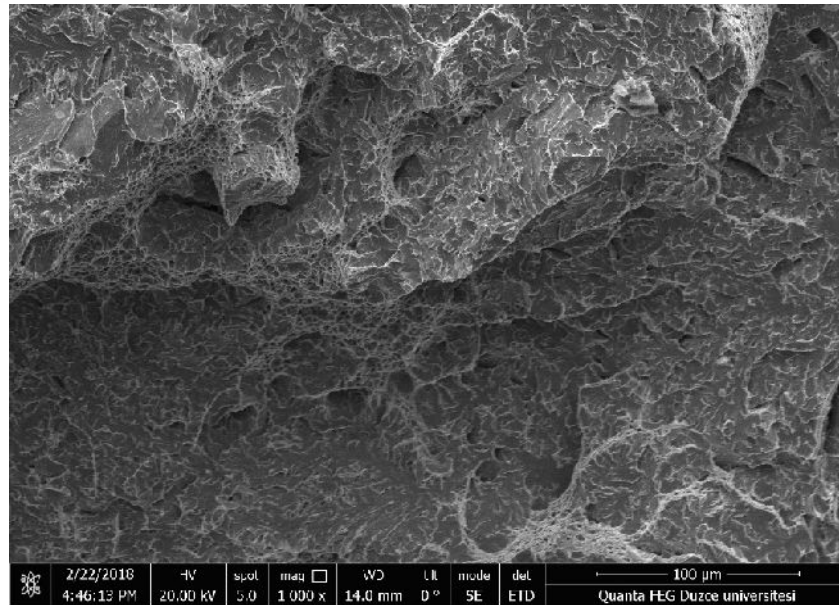
Şekil 7.65'te ana malzeme ile ıtab bölgesi net bir şekilde görülmüştür. Yine bölgede kaba ve yüzeyde çok sayıda çöküntüler ile köşeli çıkıntılar bulunmuştur [60]. Şekil 7.64'te Şekil 7.65'e nazaran sünek kırılma yüzeyi bulunmaktadır.

7.6.2.3. Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Orta Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak SA KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.66’da ve düz kaynak B KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.67’de verilmiştir.



Şekil 7.66. Salınlı kaynak SA KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü.



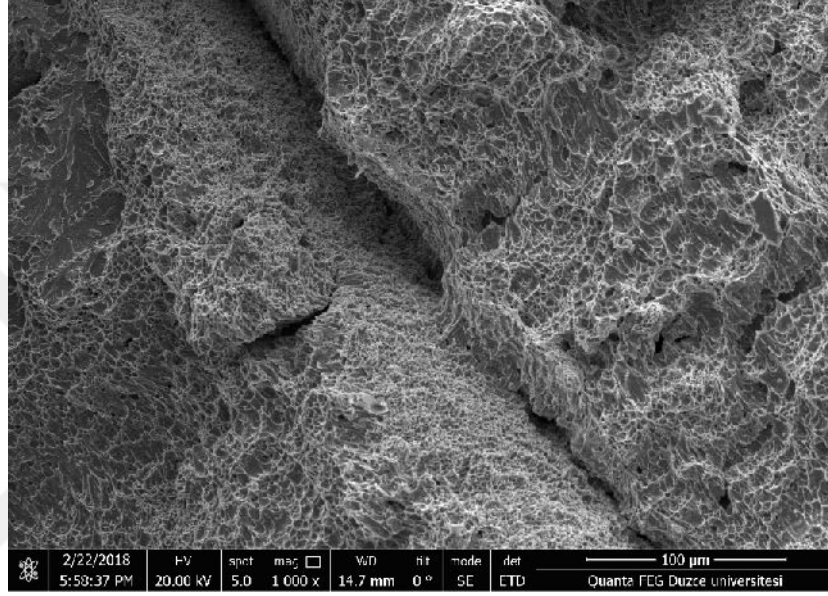
Şekil 7.67. Düz kaynak B KO numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü.

Şekil 7.66 ve Şekil 7.67’de, Şekil 7.62 ile Şekil 7.63’e kıyasla gevrek kırılma gerçekleştiği daha net görülmektedir. Kırılmış yüzeylerin ikisinde de birbirine benzer tarzda kırılma gözlemlenmiştir. Kırık yüzey resimlerinin girintili çıkıntılı ve keskin

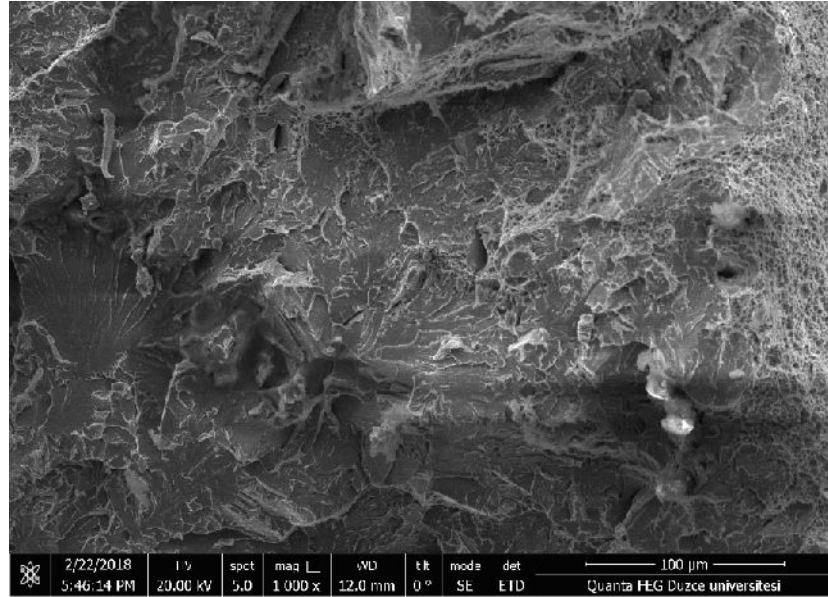
kırılma yüzeylerine sahip olduğu görülmüştür. Şekil 7.66'da çöküntülü ve mikro çatlaklı yüzeye sahip olduğu görülmüştür [60].

7.6.2.4. Salınlı ve Düz Kaynak Yöntemlerinin Itab Numunelerine Ait 1000X Kırık Yüzey İncelemesi

Salınlı kaynak SA Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.68'de ve düz kaynak B Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü Şekil 7.69'da verilmiştir.



Şekil 7.68. Salınlı kaynak SA Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü.



Şekil 7.69. Düz kaynak B Itab numunesinin 1000X kırık yüzey görüntüsü.

Şekil 7.69’da, Şekil 7.68’e nazaran daha gevrek kırılma gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 7.69’da ana malzeme ve ıtab belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 7.68 kırık yüzey resimlerinin girintili çıkıntılı ve farklı düzlemlerde çatlaklar bulunmaktadır [60].



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Çok Pasolu Kaynağın Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi adlı bu tez çalışmasında, değişken olarak kullanılan parametreler; parça kalınlığı, özlü tel cinsi, salınlı kaynak ve düz kaynak teknikleridir. Yapılan kaynak uygulaması sanayi ortamında gerçekleştiği için hali hazırda yapılan uygulamalar ve kullanılan wps&pwps'ler tercih edilmiştir. Amper, volt, ilerleme hızları birbirine yakın tutularak ve kaynak robotu kullanılarak kaynatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Hem yapı çeliği, hem de otomotiv alanında şasi olarak kullanıldığı için yüksek mukavemetli çelik olarak S460M çeliği seçilmiştir. Otomotiv sanayi ve çelik yapı sektörüne aynı anda hitap edebilecek şekilde 8 mm ve 20 mm kalınlığındaki S460M kalite yüksek mukavemetli çeliğin hem çok pasolu uygulamaların mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkilerinin kıyaslanabilmesi, hem de çok pasolu uygulamaların farklı malzeme kalınlıklarına etkisinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Her iki yöntemde de mekanik değerler birbirine benzer çıkmıştır. Yapılan deneysel neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Ana Malzemenin ince taneli yapıya sahip olduğu görülmüştür.
- Genel olarak; 8 mm ve 20 mm kalınlığındaki yüksek mukavemetli S460M çeliğinin kaynaklı birleştirmeleri birbiriyle kıyaslandığında mekanik değerlerin farklı olduğu görülmüştür.
- 20 mm kalınlığındaki parçalara uygulanan salınlı çok paso kaynak yöntemi; çentik darbe dayanımında % 22 - % 38 arasında avantaj sağlamıştır.

- 20 mm kalınlığındaki parçaların makro incelemesinde, salınlı çok paso kaynak yönteminin “İtab” bölgesi düz çok paso kaynak yöntemine kıyasla daralma göstermiştir.
- 20 mm kalınlığındaki parçaların mikro sertlik değerleri ile ilgili olarak her iki kaynak uygulamasının kök dikişi bölgesi, kesitin orta bölgesi ve kapak paso bölgesi ölçüm noktaları karşılıklı olarak birbiriyle kıyaslanıp ortalaması alındığında, aralarındaki fark en fazla % 5 çıkmıştır.
- 20 mm kalınlığındaki parçaların çekme deneyinde numunelerden elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır.
- 20 mm kalınlığındaki parçaların çentik darbe testi sonuçlarına göre salınlı çok paso yöntemiyle yapılan kaynak numunelerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- Robotun çalışma süresi baz alındığında 20 mm kalınlığındaki parçaların salınlı çok paso yöntemiyle yapılan kaynaklı imalat süresi, düz çok paso kaynak yöntemine göre yaklaşık % 10 daha kısa sürmüştür.
- Robotun çalışma süresi baz alındığında 8 mm kalınlığındaki parçaların salınlı çok paso yöntemiyle yapılan kaynaklı imalat süresi, düz çok paso kaynak yöntemine göre yaklaşık % 4 daha kısa sürmüştür.
- 20 mm ve 8 mm parçaların üretim sürelerinin kıyaslanmasında robotun ayarlanması, pasolar arası geçiş sıcaklığının beklenmesi, çapak temizliği v.s. süreçler dikkate alındığında 20 mm parçaların üretim süresinin 8 mm parçaların üretim süresinden toplamda daha kısa olduğu görülmüştür.
- 8 mm kalınlığındaki parçaların mikro sertlik değerleri 4 farklı kaynak uygulamasının (A1-A2-B1-B2) kök dikişi bölgesi, kesitin orta bölgesi ve kaynak üst bölgesi ölçüm noktaları karşılıklı olarak birbiriyle kıyaslanıp ortalaması alındığında, aralarındaki fark en fazla % 6 çıkmıştır.
- 8 mm kalınlığındaki parçaların mikro sertlik ölçümleri genel olarak 20 mm kalınlığındaki malzemeye göre düşük çıkmıştır.

- 8 mm kalınlığındaki parçaların salınlımlı kaynak yöntemiyle ancak iki farklı özlü telle yapılan; A1 ve B1 numunelerinin “Kök Paso ve Kaynak Ortası” mikro yapı görüntülerinde taneler düzenli yapıda ve orta irilikte çıkmıştır.
- 8 mm kalınlığındaki parçaların düz kaynak yöntemiyle ancak iki farklı özlü telle yapılan; A2 ve B2 numunelerinin “Kök Paso ve Kaynak Ortası” mikro yapı görüntülerinde taneler düzensiz yapıda, orta irilikte ve uzamaya başlamış şekilde çıkmıştır.
- Bütün numunelerin “Kaynak Üst” mikro yapı görüntüleri iri taneli ve yönelmiş olarak çıkmıştır; ancak “B1 ve B2” numunelerinde lamelimsi bir yapı ortaya çıkmıştır.
- Bütün numunelerin “Ergime Sınırı” mikro yapı görüntülerinde ıtab bölgesi ince taneli ve düzenli yapı; kaynak metali kısmında iri taneli ve düzenli yapı çıkmıştır.
- 8 mm ile 20 mm kalınlığındaki parçaların mikro sertlik değerleri kök dikişi bölgesi, kesitin orta bölgesi ve kaynak üst bölgesi ölçüm noktaları karşılıklı olarak birbiriyle kıyaslanıp ortalaması alındığında, aralarındaki fark yaklaşık olarak % 25 çıkmıştır.
- Mikro sertlik ölçümlerinde 20 mm kalınlığındaki parçanın 8 mm kalınlığındaki parçadan daha sert olduğu görülmüştür.
- 8 mm ile 20 mm kalınlığındaki parçaların -20 °C’deki çentik darbe sonuçlarını incelediğimizde; kesit farklılığı ile ilgili oran & orantı kurulduğunda 20 mm kalınlığındaki kaynaklı parçanın yaklaşık % 20 daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür.
- 8 mm ile 20 mm kalınlığındaki parçaların çekme deneyi sonuçlarını incelediğimizde; kesit farklılığı dikkate alındığında 20 mm kalınlığındaki kaynaklı parçanın yaklaşık % 25 daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür.
- 8 mm ile 20 mm kalınlığındaki parçaların mekanik değerlerini birbiriyle kıyaslayıp incelediğimizde, 20 mm kalınlığındaki parçada meydana gelen 3 boyutlu ısı iletimi nedeniyle mekanik değerlerin yükseldiği öngörülmüştür.

- A1 ve A2 KO ile A1 ve A2 ITAB numunelerinde birbirine benzer sünek bir kırılma yüzeyi tespit edilmiştir.
- B1 ve B2 KO numunelerinde birbirine benzer ancak B2 Itab numunesinde B1 Itab numunesine nazaran daha gevrek bir kırılma yüzeyi olduğu görülmüştür.
- A1 KO, A2 KO ve B1 itab 1000X görüntülerinde demiroksit çöküntüleri tespit edilmiştir.
- SA KO ve B KO numunelerinde bir birine benzer kırılma yüzeyi bulunmaktadır ancak SA KO numunesinde çatlaklar tespit edilmiştir.
- B Itab numunesinde SA Itab numunesine nazaran daha gevrek bir kırılma gerçekleştiği görülmüştür.

8.2. ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında yeni yapılacak çalışmalar için aşağıdaki öneriler sunulabilir.

- Deneylerde kullanılan malzeme yerine trip, dp-cp, is, v.s. farklı karakterli yüksek mukavemetli çelikler kullanılabilir.
- Ø1,6 mm özlü tellin malzemenin çekmesine yönelik etkisi incelebilir.
- Çok pasolu kaynağın yapıldığı kalın kesitli numunelerde tek pasolu kaynaklı birleştirme yapabilecek yöntemler kullanılabilir. Örneğin tozaltı, elektrocüruf vb.
- +20 °C ve -40 °C arasında ıtab bölgesi daraltılarak bu çalışma genişletilebilir.
- Kaynakları yapılan numunelere kalıntı gerilme analizleri işlemi uygulanabilir. Aynı numunelerde kaynaklı bölgelere X-ışınları kırınım analizleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] İ. B. Eryürek, “Gazaltı ark kaynağı,” Yüksek lisans tezi, Metalurji Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, Ankara, Türkiye, 1994.
- [2] H. Uzun, Mig-mag gazaltı kaynak tekniğinde kullanılan koruyucu gazlar, *Ders Notları*, Sakarya, 2009.
- [3] J. Kuna, “Effect of shielding gas mixture on the impact toughness of pulsed arc welded joints”, Ph.D. dissertation, Department of Material Engineering, *Technical University of Wroclaw*, Wroclaw, Poland, 1989.
- [4] A. Işık, “Mig/Mag kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğilme yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [5] M. Çelikağ, “Yapısal Çelik Nedir?,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimağusa, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, 2002.
- [6] MEB, *Temel Kaynak-1*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: MEGEP Yayınları, 2005, ss. 4-6.
- [7] MEB, *Sıvı Çelik Üretimi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: MEGEP Yayınları, 2011, ss. 5.
- [8] Makine Bölümü. (2016, 10 Temmuz). [Online]. Erişim: <http://muhserv.atauni.edu.tr/makine/akgun/Docs/malzeme/6-celikler%20sınıflandırma%20ve%20standartlar.pdf>.
- [9] Anonim. (2017). [Online]. Erişim: <http://madenturk.org/forum/index.php?topic=702.0>.
- [10] Anonim. (2017). *Hasçelik teknik kataloğu* [Online]. Erişim: <https://www.mib.org.tr/uploads/UserFile/Pdf/bb2j03TptWY9K0xvTmufHdojBnUCGQNHrAj.pdf>.
- [11] M. Vural, F. Piroğlu, Ö.B. Çağlayan ve E. Uzginer, “Çeliklerinin kaynaklanabilirliği,” *TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 4, s 426 – 2003.
- [12] S. Asil, “Demir cevheri numunelerinde x-ışını floresans yöntemiyle molibden ve kalay tayini,” Yüksek lisans tezi, Kimya Ana Bilim Dalı Kimya Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [13] B. H. Aslan, “Demir çelik üretimindeki gelişmeler ve bir entegre tesis modernizasyon örneği,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye, 2008.
- [14] A. S. Gündoğdu, “Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı yöntemiyle üretilen boyuna dikişli çelik borularda kullanılan mikro alaşımlı malzemelerin kaynak zayıflığının azaltılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme ve İmalat Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye,

2012.

- [15] K. A. Bekişoğlu, “Demir elik endüstrisinin hammadde kaynağı olarak Türkiye demir cevheri potansiyeli,” *Metalurji Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 1967, ss. 5.
- [16] E. Kesti, “Ç-4140 eliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [17] MKE Normu Özel Nitelikte elik Türleri Kataloğu - MKE Yayınları, 1978.
- [18] C. Odabaş, *Paslanmaz elikler Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: As Kaynak Yayınları, 2004, ss. 2.
- [19] T. Savaşkan, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, 4. baskı, Trabzon, Türkiye: Celepler Matbaacılık, 2007, ss. 159-265.
- [20] D. Yaluk, “elik sistemlerin yüzey özelliklerinin sıcak daldırma galvaniz kaplamalara etkisi,” Doktora tezi, Fizik Ana Bilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2009.
- [21] A. A. Eker, Alaşım elementlerinin elik yapısına etkisi, *Ders Notları*, İstanbul, 2009.
- [22] Z. Taş, “Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma mekanizmaları,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 28, s. 2, ss. 98, 2012.
- [23] K. V. Güngörmüş, “Az alaşımlı imalat ve yapı çeliklerinin zayıf asidik ortamdaki ağırlık kaybına mikroyapı ve alaşım elementlerinin etkisi,” Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [24] E. Erişir, eliklerde malzeme bilimi ve son gelişmeler, *Ders Notları*, Kocaeli, 2013.
- [25] M. Akdağ, Isıl işlem ve uygun malzeme seçimi, *Ders Notları*, Ankara, 2013.
- [26] A. H. Demirci, *Mühendislik Malzemeleri*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Alfa Aktüel Yayınları, 2009, ss. 252.
- [27] Anonim. (2017, 10 Kasım). [Online]. Erişim: <http://malzemebilimi.net/peritektik-donusum-peritektik-faz-diyagrami.html>.
- [28] T. Savaşkan, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, 1. baskı, Trabzon, Türkiye: Derya Kitabevi, 2009, ss. 376.
- [29] T. Osmanoğu, “AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk deformasyon etkileri,” Yüksek lisans tezi, Üretim Teknolojileri ve Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [30] A. . Can, *Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2010, ss. 281.
- [31] G. Said, Malzeme - I, *Ders Notları*, Bartın, 2011.
- [32] H. Kır, “Sert krom kaplanan silindirik numunelerde kaplama parametrelerinin etkilerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.

- [33] İ. Kalkan ve S. Apay, “Yüksek mukavemetli çeliklerde çok pasolu uygulamaların mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkisi,” 16. *Uluslar Arası Malzeme Sempozyumu*, Denizli, Türkiye, 2016, ss. 3.
- [34] İ. Kalkan ve S. Apay, “Farklı kalınlıklardaki S460M çeliğine uygulanan salınlı kaynak yönteminin mekanik ve mikro yapıya etkisi,” 2. *Uluslar Arası Akademik Araştırmalar Kongresi*, Antalya, Türkiye, 2017, ss. 18.
- [35] Anonim. (2017, 11 Kasım). [Online]. Erişim: <http://www.news.com.au/technology/ininnovaton/motoring/graphic-crash-test-between-new-and-old-toyota-corollas-shows-why-we-need-drivers-in-newer-cars/news-story/c4e37152b2c575222105b481055f4cf70>.
- [36] M. Yüksel ve Ç. A. Can, “İnce taneli çeliklerin kaynağı,” *II. Ulusal Kaynak Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 1989, ss. 369.
- [37] C. Yüce, “Yeni nesil ticari araçlar için hafifletilmiş yolcu koltuğu tasarımı ve prototip imalatı,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2013.
- [38] C. Batıgün, Yüksek mukavemetli yapı çelikleri ve zırh çeliklerinin kaynağı, *Ders Notları*, Ankara, 2016.
- [39] E. Tekin, *Mühendisler İçin Çelik Seçimi*, 2. baskı, Ankara, Türkiye: TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, 1992, ss. 119.
- [40] S. Apay ve İ. Kalkan, “Farklı özlü tellerle kaynatılan yüksek mukavemetli çeliğin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi” 1. *Uluslar Arası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu*, Düzce, 2017, ss. 2.
- [41] E. Erişir, Plastik şekillendirme yöntemleri, *Ders Notları*, Kocaeli, 2013.
- [42] G. Uysal, “Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli sacların şekillendirilebilirlik özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2006.
- [43] R. Uzun, “Ön deformasyon uygulanmış DP600 kalite çeliklerin punta kaynak özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [44] E. Komaç, Teknik eğitim el kitabı, *Ders Notları*, İstanbul, 2009.
- [45] S. Anık, “Yöntemler ve donanımlar,” *Kaynak Tekniği El Kitabı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: GEV Yayınları, 2010.
- [46] M. Yalçın, “İnce taneli yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde kaynaklı bölgelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [47] MEGEP, *Elektrik Direnç Kaynağı*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: MEGEP Yayınları, 2005, ss. 2-3.
- [48] S. Anık ve M. Vural, *Gazaltı Ark Kaynağı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: GEV Yayınları yayın no: 3, 2010, ss. 224 – 233.
- [49] İ. Kalkan, “Gazaltı kaynağı,” *Gazaltı Kaynakçılığı*, 3. Baskı, Kocaeli, Türkiye: AEMTEM Yayınları, Kocaeli, 2007, ss. 6.
- [50] O. Çelik, “Gazaltı (mag) kaynağında kullanılan rutil, bazik ve metal özlü tellerin

- kaynak metali özelliklerine etkisinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [51] N. Karaman ve B. Gülenç, *Modern Kaynak Teknolojisi*, 2. baskı, Epa-Mat Basım Yayın Ltd Şti., Ankara, 2013, ss. 84.
- [52] A. O. Işık, “Mag kaynağında özlü tel elektrot tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [53] A. Onat, Kaynak tekniği, *Ders Notları*, Sakarya, 2006.
- [54] C. Kırbaş, “AISI P11 ve AISI P91 Kalite dikişsiz boru çeliklerinin mekanik özelliklerine gerilme giderme tavlama sıcaklığının etkisi,” Yüksek lisans tezi, Malzeme Mühendisliği Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [55] Erdemir Demir Çelik A.Ş., Ürün Kataloğu, 2015.
- [56] Anonim. (2017, 07 Temmuz). [Online]. Erişim: <http://www.oerlikon.com.tr/fcw140ozlutel.html>.
- [57] Anonim. (2017, 07 Temmuz). [Online]. Erişim: <http://www.oerlikonline.hu/files/332.pdf>.
- [58] Anonim. (2017, 07 Temmuz). [Online]. Erişim: <http://www.esab.co.uk/gb/en/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=410240&tab=2>.
- [59] H. Karabulut, “Mikro alaşımlı çeliklerde yaşlanma sertleşmesinin mekanik özelliklerine etkisi,” Bilim uzmanlığı tezi, Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 2004.
- [60] A. Bircan, “Makine parçalarının hasar analizi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail KALKAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.09.1978 / İzmit
Yabancı Dili : İngilizce
GSM : 0532 641 96 36
E-posta : i.kalkan@kalkanmuhendislik.com
i.kalkan41@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Kaynak Müh.	IIW	2011
Lisans	Metal Öğr.	Marmara Üniversitesi	2001
Lise	Metal İşleri	Körfez End. Meslek Lisesi	1995