



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

**DP600, DP800, MS1200, MS1400 TİPİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ
SACLARIN CMT KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ
VE MEKANİK/MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YASİN ŞEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALİ GÜRSEL**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DP600, DP800, MS1200, MS1400 TİPİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ SAÇLARIN
CMT KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE
MEKANİK/MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

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

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ali GÜRSEL

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ali GÜRSEL

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. İlyas UYGUR

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 13/12/2019

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.

13 Aralık 2019

Yasin ŞEN



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans seviyesine ulaşmamı sağlayan başta babam Mehmet ŞEN ve canım annem Aysel ŞEN'e ayrıca; abilerim Abdullah ŞEN ve Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN'e canı gönülden teşekkür eder ellerinden öperim.

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanma süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Ali GÜRSEL'e teşekkür ederim.

Robotik CMT kaynaklarının gerçekleştirilmesinde sürekli irtibat halinde olduğum Gökhan SARAÇ'a ve Fronius İstanbul Elektronik Ticaret ve Servis Ltd. Őti de tüm imkânları sağlayan genel müdür Sayın Nusret BİLEN'e, kaynakların yapılmasında yoğun emeği geçen Ferhat ÇAKMAK'a teşekkür ederim. Gedik Kaynak A.Ő.'den Dr. Didem TANSUĞ hocama teşekkür ederim. Ayrıca Dr. Öğr. Üyesi Fikret POLAT'a tez yazım aşamasında yapmış olduğu yardımlardan dolayı çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2019.06.05.943 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

13 Aralık 2019

Yasin ŞEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. OTOMOTİVDE KULLANILAN ÇELİKLER	3
2.1. YENİ NESİL YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER.....	3
2.1.1. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelikler	5
2.1.2. Dönüşüm Etkili Plastisite Çelikleri.....	5
2.1.3. Kompleks Fazlı Çelikler	6
2.1.4. Çift Fazlı Çelikler	7
2.1.5. Martenzitik Çelikler.....	8
3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ	10
3.1. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI	10
3.2. LAZER KAYNAĞI	11
3.3. SÜRTÜNME KAYNAĞI	12
3.4. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI	12
3.5. MIG-MAG KAYNAĞI.....	14
3.6. COLD METAL TRANSFER – CMT (SOĞUK METAL TRANSFERİ) YÖNTEMİ.....	15
3.6.1. CMT Yönteminin Genel Üstünlükleri.....	19
3.6.2. Kaynak Bağlantılarında CMT Yönteminin Üstünlükleri	19
3.6.2.1. CMT Kaynak Yöntemiyle Çeliğin Birleştirilmesi	19
3.6.2.2. CMT Kaynak Yöntemiyle Alüminyumun Birleştirilmesi.....	21
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	24
4.1. PROBLEMİN TANIMI.....	27
4.2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ	28
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELER.....	30
5.2. DENEY PARÇALARININ BOYUTLARI	31
5.3. ROBOTİK CMT İŞLEMİNİN YAPILIŞI VE DENEY DÜZENEGİ.....	32
5.4. ROBOTİK CMT KAYNAK YÖNTEMİNDE KULLANILAN PARAMETRELER	33
5.5. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI.....	35
5.6. DENEYLERİN YAPILIŞI	36

5.6.1. Çekme Deneyi	36
5.6.2. Metalografik İnceleme ve Vickers Sertlik Taraması	36
5.6.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	38
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	39
6.1. MAKRO İNCELEMELER.....	39
6.1.1. Kaynak Dikişlerin Ön ve Arka Yüzeyleri.....	40
6.1.2. Kaynak İşlemi Uygulanan Malzemelerin Dikiş Yükseklik İncelemesi ...	43
6.2. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI	45
6.3. METALOGRAFİK İNCELEME SONUÇLARI	53
6.4. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ	60
6.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU	64
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
7.1. SONUÇLAR.....	68
7.2. ÖNERİLER.....	69
8. KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Yeni nesil araçlarda kullanılan çelik türleri ve oranları [4].	4
Şekil 2.2. HSLA çeliklerin araç üzerindeki kullanımları [3].	5
Şekil 2.3. Yalın karbon ve TRIP çelikleri çekme testi karşılaştırması [3].	6
Şekil 2.4. Kompleks fazlı çeliklerin araç üzerindeki kullanım yerleri [6].	7
Şekil 2.5. Çift fazlı çeliklere ait mikro yapı.	7
Şekil 2.6. HSLA ve DP çeliğinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi [8].	8
Şekil 2.7. Martenzit çeliğin mikroyapısı.	9
Şekil 2.8. Martenzitik çeliklerin araç üzerindeki kullanım alanları [3].	9
Şekil 3.1. Kaynak devresinin çalışma prensip seması [9].	10
Şekil 3.2. Lazer ışın cihazının şematik yapısı [10].	11
Şekil 3.3. Sürtünme kaynak mekanizmaları [13].	12
Şekil 3.4. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin uygulanış şekli [14].	13
Şekil 3.5. MIG-MAG kaynağının prensibi [18].	14
Şekil 3.6. MIG-MAG kaynak donanımı [18].	15
Şekil 3.7. CMT yönteminin aşamaları a) Sıcak yöntem b) Soğuk yöntem c) Soğuk yöntem d) Sıcak yöntem [20].	16
Şekil 3.8. CMT yönteminin milisaniye zaman diliminde akışı [20].	17
Şekil 3.9. a) Tel sürme ünitesi b) Dijital kontrollü MIG/MAG güç kaynağı c) Soğutma ünitesi d) Robacta drive CMT torcu e) Kontaklama sistemi [22].	18
Şekil 3.10. Kısa ark, puls ve CMT kaynak yöntemlerinin çapak oluşum miktarı [22].	20
Şekil 3.11. Kısa ark ile CMT kaynak yöntemlerinin ısı girdilerinin karşılaştırılması [22].	20
Şekil 3.12. Kısa devre ark ve CMT kaynak yöntemleri kaynak ilerleme hızlarının karşılaştırılması [22].	21
Şekil 3.13. CMT ve puls kaynak yöntemlerinin ince saçlarda uygulanabilirliği [22].	22
Şekil 3.14. CMT, pulse ve TIG kaynak yöntemlerinin ısı girdisi ve kaynak hızlarının karşılaştırılması [22].	23
Şekil 4.1. 0°, 20° ve 40° çalışma açıları.	26
Şekil 4.2. Ülke ve yıllara göre CO ₂ gaz salınım değerleri [30].	28
Şekil 4.3. Yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımındaki artış [4].	29
Şekil 5.1. 75x210 mm boyutlarında su jetinde kestirilen malzeme.	32
Şekil 5.2. a) Kullanılan robotik CMT kaynak makinası b) Deney düzeneği.	32
Şekil 5.3. 80°'lik torç açısıyla kaynaklı birleştirme yapılan numune.	33
Şekil 5.4. a) Sujeti kesim cihazının dijital ekranı b) Sujeti kesim anı.	35
Şekil 5.5. Elde edilen çekme test boyutları.	35
Şekil 5.6. a) UTEST marka çekme cihazı b) Kaynaklı çekme test numuneleri c) Çekme test düzeneği.	36
Şekil 5.7. a) Ecopress 100 model bakalit cihazı b) Test numuneleri.	37
Şekil 5.8. a) Zımparalama ve parlatma Forcipol 1V model cihaz b) Eclipse MA100 model optik mikroskop c) Duroline-M model mikro sertlik cihazı.	37
Şekil 5.9. SEM FEI marka Quanta FEG 250 model cihaz.	38
Şekil 6.1. Kaynak dikiş görüntüsü.	39
Şekil 6.2. DP600 sac malzemesinin farklı parametrelerdeki a) Ön ve b) Arka yüzey görünümü.	41
Şekil 6.3. DP800 sac malzemesinin farklı parametrelerdeki a) Ön ve b) Arka yüzey görünümü.	42

Şekil 6.4. MS1200 sac malzemesinin farklı parametrelerdeki a) Ön ve b) Örka yüzey görünümü.	42
Şekil 6.5. MS1400 sac malzemesinin farklı parametrelerdeki a) Ön ve b) Arka yüzey görünümü.	43
Şekil 6.6. DP600 ve DP800 malzemelerin farklı kaynak hızlarında kaynak dikiş görünümü a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk.....	44
Şekil 6.7. MS1200 ve MS1400 malzemelerin farklı kaynak hızlarında kaynak dikiş görünümü a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk.....	44
Şekil 6.8. Farklı kaynak hızlarında birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kopma bölgeleri.....	45
Şekil 6.9. DP600 malzemesinin a) Kaynaksız gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi b) Malzemenin farklı kaynak hızlarındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.	46
Şekil 6.10. DP800 malzemesinin a) Kaynaksız gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi b) Malzemenin farklı kaynak hızlarındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.	48
Şekil 6.11. MS1200 a) Kaynaksız gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi b) Malzemenin farklı akım, voltaj ve kaynak hızlarındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.	50
Şekil 6.12. MS1400 a) Kaynaksız gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi b) Malzemenin farklı akım, voltaj ve kaynak hızlarındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.	52
Şekil 6.13. Kaynaklı malzemenin 5X büyütmedeki ITAB görüntüsü a) Ana malzeme b) Kısmen dönüşüme uğramış bölge c) İnce taneli bölge d) İri taneli bölge e) Kaynak dikişi.	54
Şekil 6.14. DP600 malzemenin a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları.	55
Şekil 6.15. Çift fazlı çeliğin farklı kaynak ilerleme hızlarına göre a) Ana malzeme ile kısmen dönüşüme uğramış bölge b) İri taneli bölge ile ince taneli bölge c) Kaynak dikiş geçiş bölgesi.	56
Şekil 6.16. DP800 malzemenin a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları.	57
Şekil 6.17. Martenzit çeliğinin farklı kaynak ilerleme hızlarına göre a) Ana malzeme ile kısmen dönüşüme uğramış bölge b) İri taneli bölge ile ince taneli bölge c) Kaynak dikiş geçiş bölgesi.....	58
Şekil 6.18. MS1200 malzemesinin a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları.	59
Şekil 6.19. MS1400 malzemesinin a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları.	60
Şekil 6.20. Sertlik alınan bölgeler a) Ana malzeme, b) ITAB ve c) Kaynak dikişi şematik gösterimi.	61
Şekil 6.21. DP600 kaynaklı malzemelerin sertlik değerleri.	61
Şekil 6.22. DP800 kaynaklı malzemelerin sertlik değerleri.	62
Şekil 6.23. MS1200 kaynaklı malzemelerin sertlik değeri.	63
Şekil 6.24. MS1400 kaynaklı malzemelerin sertlik değeri.	63
Şekil 6.25. DP600 çeliğinin a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş SEM yapıları.	64
Şekil 6.26. DP800 çeliğinin a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş SEM yapıları.	65
Şekil 6.27. MS1200 çeliğinin a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk	

kaynak hızlarındaki kaynak dikiş SEM yapıları.	66
Şekil 6.28. MS1400 çeliğinin a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş SEM yapıları.	67



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Çelik türüne göre içyapı ve mekanik değerler [3].	4
Çizelge 5.1. DP600, DP800, MS1200 ve MS1400 malzemelerine ait kimyasal bileşimi.	31
Çizelge 5.2. DP600, DP800, MS1200 ve MS1400 çeliğin mekanik özellikleri.	31
Çizelge 5.3. ER110 SG ve SG2 ilave teline ait kimyasal bileşimi.	31
Çizelge 5.4. ER 110 SG ve SG2 kaynak çeliğin mekanik özellikleri.	31
Çizelge 5.5. DP600 çeliğinde kullanılan parametreler.	33
Çizelge 5.6. DP800 çeliğinde kullanılan parametreler.	34
Çizelge 5.7. MS1200 çeliğinde kullanılan parametreler.	34
Çizelge 5.8. MS1400 çeliğinde kullanılan parametreler.	34
Çizelge 6.1. DP-MS çeliklerin kaynak genişliği.	40
Çizelge 6.2. DP600 sac malzemeni farklı parametrelerde birleşim özellikleri.	47
Çizelge 6.3. DP800 sac malzemeni farklı parametrelerde birleşim özellikleri.	49
Çizelge 6.4. MS1200 sac malzemeni farklı parametrelerde birleşim özellikleri.	51
Çizelge 6.5. MS1400 sac malzemeni farklı parametrelerde birleşim özellikleri.	53

KISALTMALAR

AHSS	Advanced high strength steel
CMT	Cold metal transfer
CP	Complex phase
DP	Dual phase
EDS	Energy dispersive spectrometry
FSW	Friction stir welding
HSLA	High strength low alloy
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge
MAG	Metal aktif gaz
MIG	Metal inert gaz
MS	Martensitic steel
OM	Optik mikroskop
SEM	Scanning electron microscope
TRIP	Transformation induced plasticity



SİMGELER

Al	Alüminyum
C	Karbon
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
Mn	Mangan
MPa	MegaPascal
Nb	Niyonyum
Ni	Nikel
P	Potasyum
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
V	Vanadyum



ÖZET

DP600, DP800, MS1200, MS1400 TİPİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ SACLARIN CMT KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK/MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yasin ŞEN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ali GÜRSEL

Aralık 2019, 72 sayfa

Otomotiv sanayindeki araştırmalar, yakıt tasarrufu sağlamak ve çevreye salınan zararlı gazları minimuma düşürmeyi hedeflemektedir. Mevcut uygulamalarda geçmişe nazaran daha hafif ve yüksek mukavemetli çelikler kullanmaya başlanmıştır. Kullanılan bu özel çeliklerin kaynaklı birleştirilmesinde oluşabilecek olumsuzlukları minimum seviyelere indirme adına dual faz (DP) ve martenzitik (MS) çelikler gibi malzemeler üretilmiş ve bu özel çeliklerin kaynak deformasyonunu minimuma indirecek CMT (Cold Metal Transfer) kaynak yöntemi gibi yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada, 1 mm kalınlığında dual fazlı (DP600 ve DP800) ile 1,5 mm kalınlığında martenzitik (MS1200 ve MS1400) yüksek mukavemetli çelik sacların, CMT kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği incelenmiştir. Çalışmada, DP600 ve DP800 deney numuneleri için 70, 100, 150 ve 200 cm/dk ve MS1200 ve MS1400 malzemeleri için 70, 130, 160 ve 190 cm/dk kaynak ilerleme hızları tercih seçilmiştir. Uygulanan kaynaklarda 0,8 mm çapında SG2 dolgu teli (DP600 ve DP800 numuneler için) ve 0,8 mm çapında ER110 dolgu teli (MS1200 ve M1400 numuneler için) kullanılmıştır. Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin tespit edilebilmesi amacıyla numunelere çekme testleri uygulanmış ve mikro sertlik değerleri alınmıştır. Kaynak bölgesinde oluşan yapısal değişimleri belirlemek için mikroyapı ve SEM görüntüleri alınmıştır. Yapılan çekme testlerinde kopmalar, ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) kaynak dikişine yakın bir yerde gerçekleşmiştir. Sertlik ölçüm sonucunda kaynak bölgesinin sertlik değerleri esas metal ile karşılaştırılmıştır. Sertlik sonuçları, kullanılan malzemelerin özellikleri ve dolgu teli özelliklerine göre farklılık göstermiştir. Mikroyapı incelemelerinde genel olarak ısı girdisi, malzemelerin tane yapısında değişime sebep olmuş, kaynak hızı arttıkça ısı girdisi düşmüş ve mukavemette artış gözlemlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Dual fazlı çelikler (DP600, DP800), Martenzitik çelikler (MS1200, MS1400), Soğuk metal transfer (Cold Metal Transfer – CMT) Kaynağı, Yüksek mukavemetli çelik saclar.

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF JOINING AND MECHANIC/MICROSTRUCTURE PROPERTIES OF THE DP600, DP800, MS1200, MS1400 TYPE HIGH STRENGTH SHEETS BY CMT METHOD

Yasin ŞEN

Düzce University

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

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali GÜRSEL

December 2019, 72 pages

The recent researches in the automotive industry aim to save fuel and minimize harmful gases emitted to the environment. In the present applications, lighter and higher strength steels have started to be used compared to the past. The materials such as dual phase (DP) and martensitic (MS) steels have been produced in order to minimize the problems that may occur in the welded joining of these special steels and methods such as CMT (Cold Metal Transfer) welding method have been developed to minimize the welding deformation of these steels. In this study, the weldability of 1 mm thick dual phase (DP600 and DP800) and 1.5 mm thick martensitic (MS1200 and MS1400) high strength steel sheets were investigated which are joined by CMT welding method. In the study, welding feed rates of 70, 100, 150 and 200 cm / min for DP600 and DP800 test samples and 70, 130, 160 and 190 cm / min for MS1200 and MS1400 materials were chosen. 0.82 mm diameter SG2 filler wire (for DP600 and DP800 samples) and 0.8 mm diameter ER110 filler wire (for MS1200 and M1400 samples) were used in the welds. In order to determine the mechanical properties of welded joints, tensile tests were applied to the samples and micro hardness values were obtained. Microstructure and SEM images were taken to determine the structural changes occurring in the welding region. In tensile tests, breaks occurred near the weld seam in the heat-affected zone (ITAB). As a result of the hardness measurement, the hardness value of weld seems were compared with the base metal. The hardness results differed according to the properties of the materials used and the filler metal properties. In the microstructure investigations it was observed that heat input generally caused a change in the grain structure of the materials, as the welding speed increased, the heat input decreased and the strength were increased.

Keywords: Dual phase steels (DP600, DP800), Martensitic steels (MS1200, MS1400), High strength steel sheets, (Cold Metal Transfer – CMT) Welding.

1. GİRİŞ

Hızla artan nüfus ve gelişen teknolojiye paralel olarak dünya genelinde kullanılan araç sayısı da artmaktadır. Araç sayısındaki bu artış fosil kökenli yakıt rezervlerinin tükenmesi, kaza oranları artması ve atmosfere salınan zararlı egzoz emisyonlarıdaki artış ile dünyanın ekolojik düzenini bozmaya, insan ve canlıları tehdit eden seviyelere ulaşmaya sebep olmuştur.

Fosil yakıtların rezervlerindeki azalmaya çözüm olarak dünya otomotiv sektöründe kabul görmüş birkaç çözüm yolu önerilmektedir. Bunlardan ilki, araç yakıtına birtakım eklemeler yaparak (biyodizel ve biyoalkol karışımları gibi) yenilebilir ve temiz enerji kaynağı elde etmek, diğeri ise araç gövde ağırlığını azaltarak yakıt tasarrufu sağlamaktır. Araç gövde ağırlığı çelik üreticilerin geliştirdiği yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılmasıyla azaltılmış ve böylece sadece yakıt tasarrufu sağlanmasıyla kalınmamış aynı zamanda da dayanım artırılarak araç içi yolcu can güvenliğinin artması sağlanmıştır. Bu malzemelerin kullanılmasıyla birlikte araçların hafiflemesi ve yakıt sarfiyatının azaltılması sağlanmış ve çevreye yayılan zararlı egzoz emisyonlarının seviyeleri azaltılmıştır. Literatürde önerilen diğeri bir çözüm yolu ise içten yanmalı motorlu araçlar yerine elektrik motorlu araçların tercih edilmesidir. Elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte enerji tasarrufu sağlanacak ve içten yanmalı motorlara kıyasla neredeyse sıfır egzoz emisyonu sağlanabilecektir.

Yeni nesil çeliklerin hafif olması ve hafifliğinin mukavemet değerine etkisinin olmaması önemli bir avantajdır. Bununla birlikte şekillenebilirlik ve birleştirilebilirlik bakımından kullanılabilirliği göreceli olarak iyi olmakla birlikte sınırlıdır. Bu yeni nesil çelik malzemelerin kaynaklı birleştirmesinde mekanik özelliklerini muhafaza edebilecek yeni birleştirme teknolojilerine ihtiyaç duyulmuştur.

Bu amaçla geliştirilen birleştirme yöntemlerinden biri de CMT (Cold Metal Transfer) kaynak yöntemidir. Otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan çift fazlı (DP serisi) ve martenzitik çeliklerinin (MS serisi) kaynaklı birleştirmelerinde, Direnç Nokta Kaynağı, Metal Inert Gaz (MIG) ve Metal Aktif Gaz (MAG) kaynak yöntemleri yerine, sağladığı önemli avantajlardan dolayı CMT kaynak yöntemi, bu çalışmada tercih

edilmiştir. CMT kaynak yönteminin temel avantajları, daha düşük ısı girdisi ile muhafaza edilen mikro-yapı, yüksek mukavemet, çapaksız dikiş ve bölgesel ısı girdisinin sebep olduğu çarpılmaların minimuma inmesi olarak sıralanabilir [1].

Bu çalışmada, 1 mm kalınlığındaki DP600, DP800 çift fazlı çelik saclara ve 1,5 mm kalınlığındaki MS1200, MS1400 martenzit çelik saclara CMT kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirmeler farklı kaynak ilerleme hızlarında (DP600 ve DP800 malzemeler için 70, 100, 150 ve 200 cm/dk, MS1200 ve MS1400 malzemeler için 70, 130, 160 ve 190 cm/dk) gerçekleştirilmiş ve ısı girdisine bağlı olarak değişen mekanik özellikleri incelenmiştir.



2. OTOMOTİVDE KULLANILAN ÇELİKLER

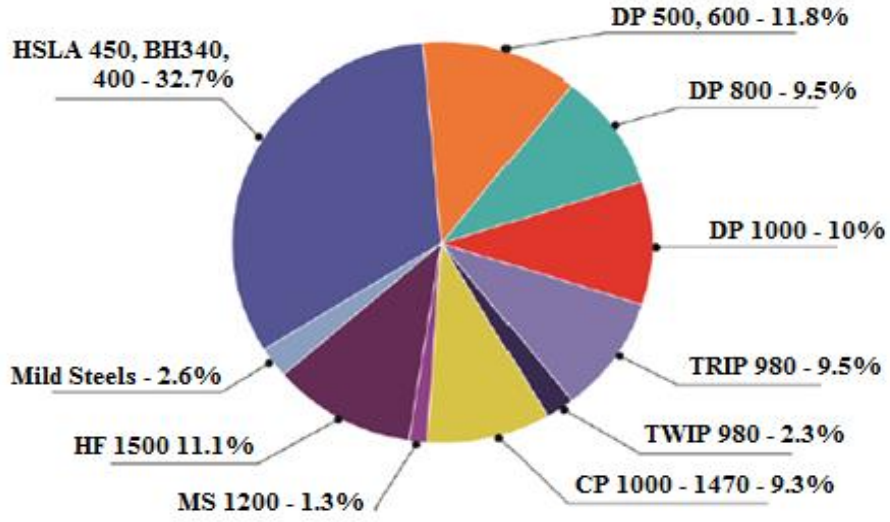
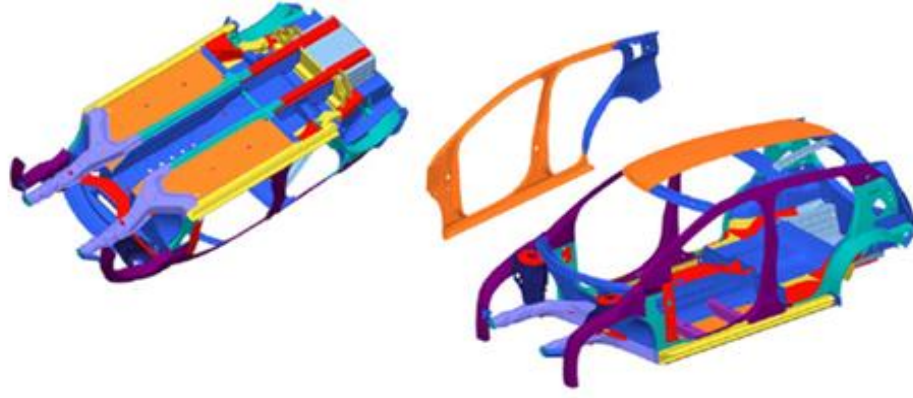
2.1. YENİ NESİL YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER

Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelikler, teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türleri de gelişmektedir. Bu geliştirilen çelikler ile araç gövde ağırlığı hafifletilmeye ve bununla birlikte çevreye salınan karbondioksit ve diğer zararlı gazların yayılmasını minimuma düşürmektir. Ayrıca yakıt tasarrufu sağlamak ve geliştirilen çeliklerin dayanımındaki artıştan dolayı kaza anında araç içi yolcuların can güvenliği tehlikesini daha az seviyelere düşürmek bu çelikler sayesinde mümkün olabileceği söylenebilir. Bu gelişen çelikler ile araç üretiminde kullanılan demir dışı malzemeler arasındaki rekabet artmaktadır. Bu rekabet ortamında çelik endüstrisi yüksek mukavemetli çelik (AHSS) geliştirme çalışmalarına yönelmişlerdir [2].

Bu çelikler mukavemet değerleri ve yüzde uzama ile şekillendirme özellikleri bakımından temel olarak aşağıda verildiği şekilde sınıflandırılabilir.

- Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (HSLA – High Strength Low Alloy)
- Çift fazlı çelikler (DP – Dual Phase)
- Kompleks fazlı çelikler (CP – Complex Phase)
- Dönüşüm etkili plastisite çelikleri (TRIP – Transformation Induced Plasticity)
- Martenzit çelikleri (MS – Martensitic Steel)

Otomotiv sektöründe kullanılan bu çelik malzemelerin kullanım oranları Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Ayrıca bu malzemelerin mekanik değerleri ve içyapı özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [3].



Şekil 2.1. Yeni nesil araçlarda kullanılan çelik türleri ve oranları [4].

Şekil 2.1’de yeni nesil araçlarda kullanılan çelik türlerinin yüzde (%) kullanım oranları belirtilmiştir. Bu malzemelerden çift fazlı çeliklerden (DP600, DP800) ve martenzit çeliklerinden (MS1200, MS1400) çelikleri çalışmada deneysel kısımda ele alınmıştır.

Çizelge 2.1. Çelik türüne göre içyapı ve mekanik değerler [3].

Çelik Türü	İçyapı	Çekme Mukavemeti [MPa]	% Uzama
HSLA	Ferrit + Perlit + Alaşım Çökeltileri	300 – 800	10 – 25
DP	Ferrit + Martenzit	450 – 1000	6 – 30
CP	Küçük Taneli Ferrit + Yüksek % Martenzit ve Perlit	450 – 1200	6 – 30
TRIP	Ferrit + Beynit + Martenzit	500 – 1200	10 – 33
MS	Martenzit	720 – 1650	3 – 12

Yeni nesil yüksek mukavemetli çeliklerin içyapı, çekme mukavemeti ve uzama değerleri Çizelge 2.1’de gösterildiği gibidir. Bu malzemelerin özellikleri yüksek mukavemetli ve şekillendirilebilir olmasıdır. Çizelge 2.1’e baktığımızda mukavemet olarak martenzit yapısı, şekillendirilebilirlik bakımından ferrit yapısı görülmektedir. Martenzit ve ferrit oranlarının artması veya azalması durumunda mukavemet değeri ve şekillendirilebilirlikleri değişim göstereceği söylenebilir.

2.1.1. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelikler

Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çelik (HSLA), karbon çeliği içerisindeki kimyasal kompozisyonlarına istenen özellikleri sağlayabilecek alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle ortaya çıkan bir tür karbon çeliğidir. HSLA çeliği, geleneksel karbon çeliğine göre daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Bulduğu ortamın olumsuzluklarına karşı geleneksel karbon çeliklerinden daha iyi korozyona dayanımına sahiptir [5].



Şekil 2.2. HSLA çeliklerin araç üzerindeki kullanımları [3].

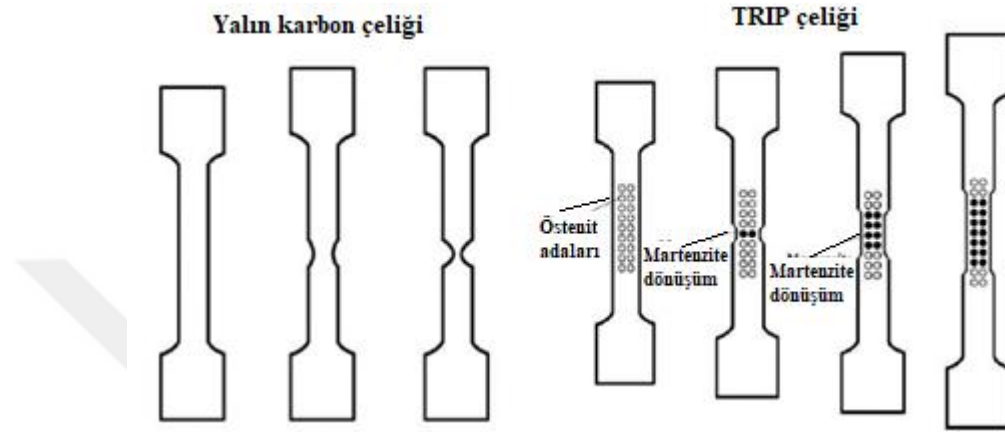
Şekil 2.2’de HSLA çeliğinin otomobil üzerinde yeşil renkle belirtilmiştir. Yeşil renkli bölgenin diğer renklerle gösterilmeye çalışılan çeliklerden daha fazla alan kapladığı görülmektedir.

2.1.2. Dönüşüm Etkili Plastisite Çelikleri

Dönüşüm etkili plastisite (TRIP- Transformation Induced Plasticity) çelikler otomotiv endüstrisinde kullanılan AHSS çelik türündendir. Mikro yapısında ferrit, martenzit ve beynit yapılarına ilave olarak %5’ten fazla oranda kalıntı östenit de bulunmaktadır [6]. Mikro yapıdaki ferrit fazı malzemeye süneklik kazandırmaktadır. En önemli özellikleri içyapılarındaki kalıntı östenitin soğuk deformasyon anında martenzit fazına

dönüşmeleridir, bu dönüşüm deformasyon tarafından tetiklenmiş faz dönüşümü olarak adlandırılmaktadır [7].

TRIP çelikleri çekme testi uygulanırken kopmadan önce uzamaları yüksektir. Malzemenin boyun verme aşamasına geldiği zaman östenit fazının yükün etkisi ile martenzit fazına dönüşmesi ve boyun vermenin sert martenzit fazından diğer bölgelere kaymasına neden olmaktadır. Şekil 2.3'te çekme testi örneği görülmektedir.



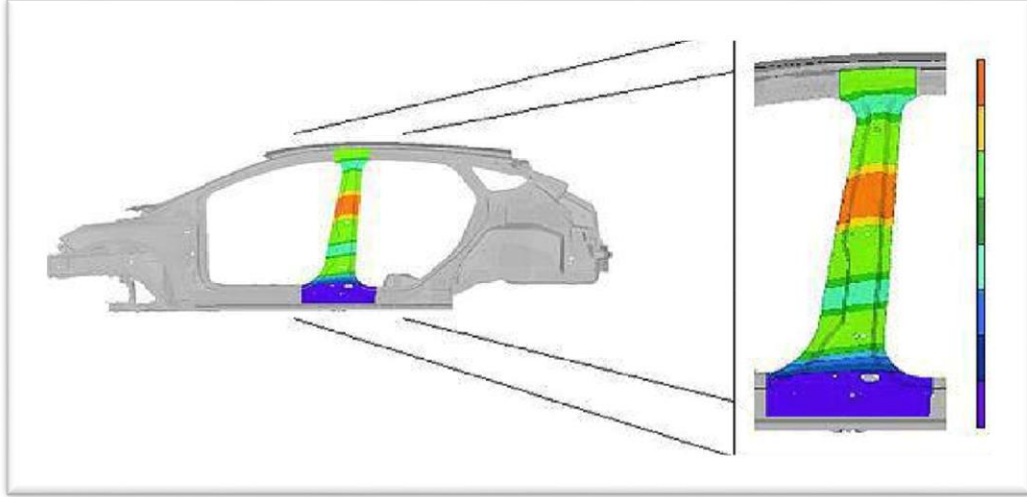
Şekil 2.3. Yalın karbon ve TRIP çelikleri çekme testi karşılaştırması [3].

TRIP çeliklerinin kopmadan önce uzamalarının yüksek olması malzemenin şekillendirilebilirliğinde, soğuk şekillendirme, derin çekme vb. uygulamalarda avantaj sağlamaktadır.

TRIP çelikleri Ni, Cr gibi alaşım elementleri içermemekte olup, Mn ve Si ilavesi ile geliştirilmiştir. Genel olarak ara bağlantı parçaları ve araç ön/arka raylarında kullanılmaktadırlar [6].

2.1.3. Kompleks Fazlı Çelikler

Kompleks fazlı (CP) çelikler mikro yapılarında martenzit ve ferrite ilave olarak beynit de içermektedirler. Tane yapılarını küçültme işlemleri Nb, Ti ve V alaşım elementleri ile gerçekleştirilmektedir. Yüksek şekillendirilebilirlik, enerji absorbe etme ve kalıntı deformasyon kapasitelerinden dolayı, araçlarda gövde parçalarında, pervaz takviyelerinde kullanılmaktadır. Şekil 2.4'te araç üzerinde kullanım yeri gösterilmektedir [6].

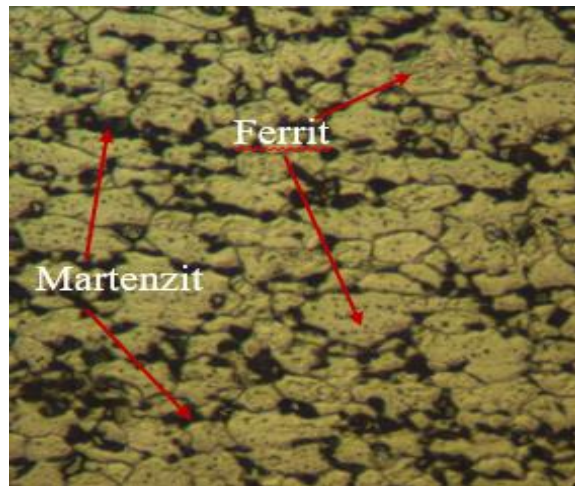


Şekil 2.4. Kompleks fazlı çeliklerin araç üzerindeki kullanım yerleri [6].

CP çeliği Şekil 2.4'te çarpışma anında enerjiyi absorbe edebilme özelliğine sahip olmasından dolayı pervaz takviyelerinde kullanımı daha etkili olacağı düşünülmektedir.

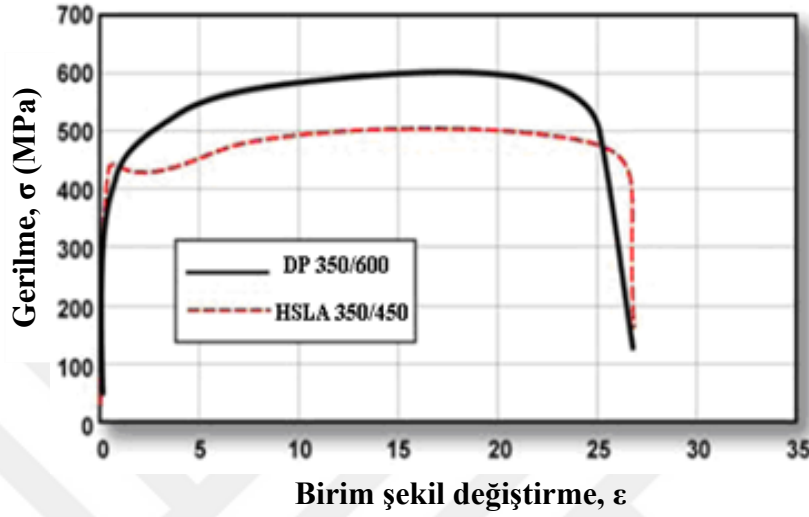
2.1.4. Çift Fazlı Çelikler

Çift fazlı (DP) çelikler, ada şeklinde bir martenzitik ile ferritik fazlı bir matristen oluşur. Martenzit faz hacim oranının artırılması genellikle dayanımı artırır. DP (ferrit + martenzit) çelikleri, kontrollü soğutma yoluyla üretilir. Bu işlem östenit fazından veya iki fazlı östenit+ferrit fazından sürekli tavlama ve soğuk haddeleme yoluyla östenit fazı martenzit fazına dönüşür. Üretim sürecinde başka (östenit, beynit) fazlar da oluşabilir. Şekil 2.5'te ferrit ve martenzit adaları içeren DP çeliği bu çalışmada kullanılan DP600 numunesinden alınmıştır.



Şekil 2.5. Çift fazlı çeliklere ait mikro yapı.

DP çeliği içerisindeki yumuşak ferrit fazı sayesinde, bu çeliklere mükemmel süneklik verir. Bu çelikler deforme olduğunda, uygulanan kuvvet martenzit adalarını çevreleyen düşük ferrit fazında yoğunlaştırılır. Yüksek mukavemetli çeliklerden olan HSLA ve DP çeliğinin çekme değerleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

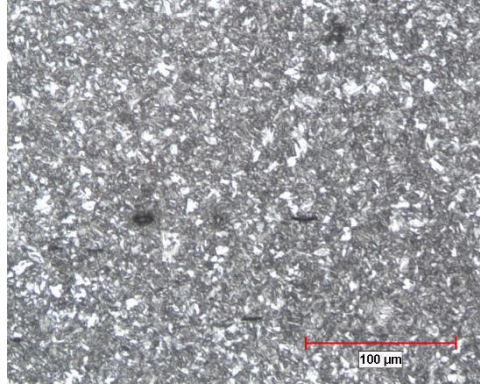


Şekil 2.6. HSLA ve DP çeliğinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi [8].

Şekil 2.6'da HSLA ve DP çeliklerinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi verilmiştir. Burada DP çeliklerinin HSLA çeliklerine oranla daha fazla mukavemet direnci sağladığı gösterilmektedir. Birim şekil değiştirme oranları ise birbirine yakın olduğu görülmektedir. Çift fazlı çelikler araçlar üzerinde enerji yutucu, çatı rayı ve pervaz takviyelerinde kullanılmaktadırlar.

2.1.5. Martenzitik Çelikler

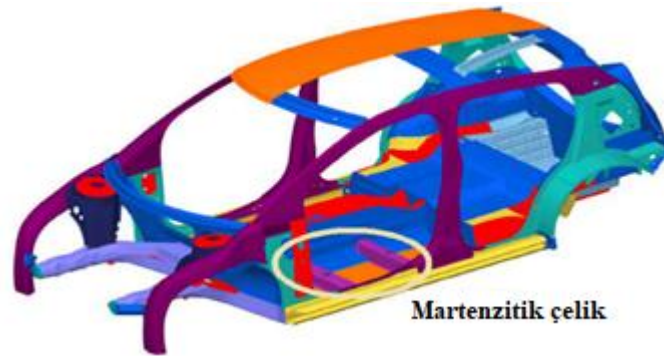
Martenzitik (MS) çelikleri oluşturmak için, sıcak haddeleme veya tavlama sırasında var olan östeniti, son aşamadaki su verme işlemi sırasında veya sürekli tavlama hattının soğutma bölümünde östenit faz tamamen martenzite dönüştürülür. MS çelikleri, az miktarda ferrit ve / veya beynit fazı içeren bir martenzitik matris ile karakterize edilir. Bu çalışmada kullanılan MS1200 malzemeye ait mikroyapı Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Martenzit çeliğin mikroyapısı.

Şekil 2.7’de MS çeliğinin kılıç şeklindeki martenzit fazı görülmektedir. MS çelikleri diğer fazlı çelikler grubuna göre en yüksek çekme dayanımı seviyesini gösterir. MS çelikleri, en yüksek mukavemet değeri, 1700 MPa nihai çekme mukavemeti sağlar. MS çelikleri, sünekliği iyileştirmek için söndürme sonrası temperleme işlemine tabi tutulur ve aşırı yüksek dayanımlarda bile yeterli şekillendirme sağlayabilir. MS çeliklerine karbon eklenmesi sertleşebilirliği artırır ve martenzitini güçlendirir. Sertleşebilirliği arttırmak için çeşitli kombinasyonlarda manganez, silisyum, krom, molibden, bor, vanadyum ve nikel de kullanılır.

Otomotiv gövdesinde genellikle deformasyonun sınırlı kalacağı yüksek mukavemet gerektiren yolcu bölümünün çevresinde kullanılmaktadır. Şekil 2.8’de otomobil üzerindeki kullanılan bölge açık mor renkle gösterilmektedir [3].



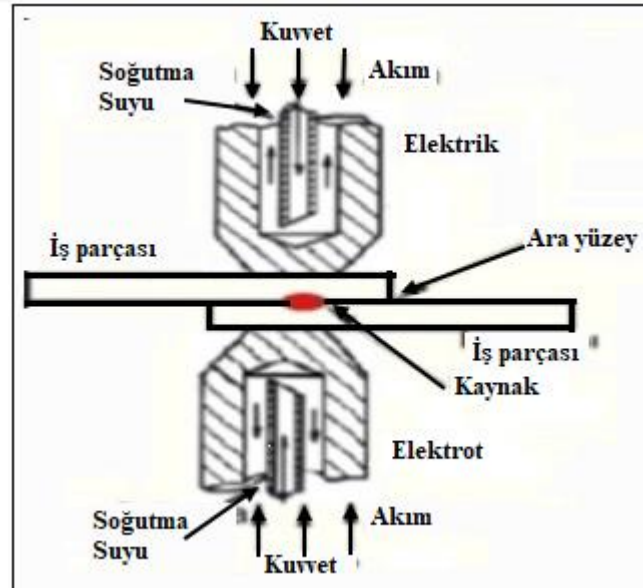
Şekil 2.8. Martenzitik çeliklerin araç üzerindeki kullanım alanları [3].

Martenzit çelikleri yüksek mukavemet değerlerine sahip oldukları için Şekil 2.8’de görüldüğü gibi kaza anında dış etmenlerden korumak için yolcu bölümünü çevreleyen kısımlarında kullanılır [3]

3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

3.1. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

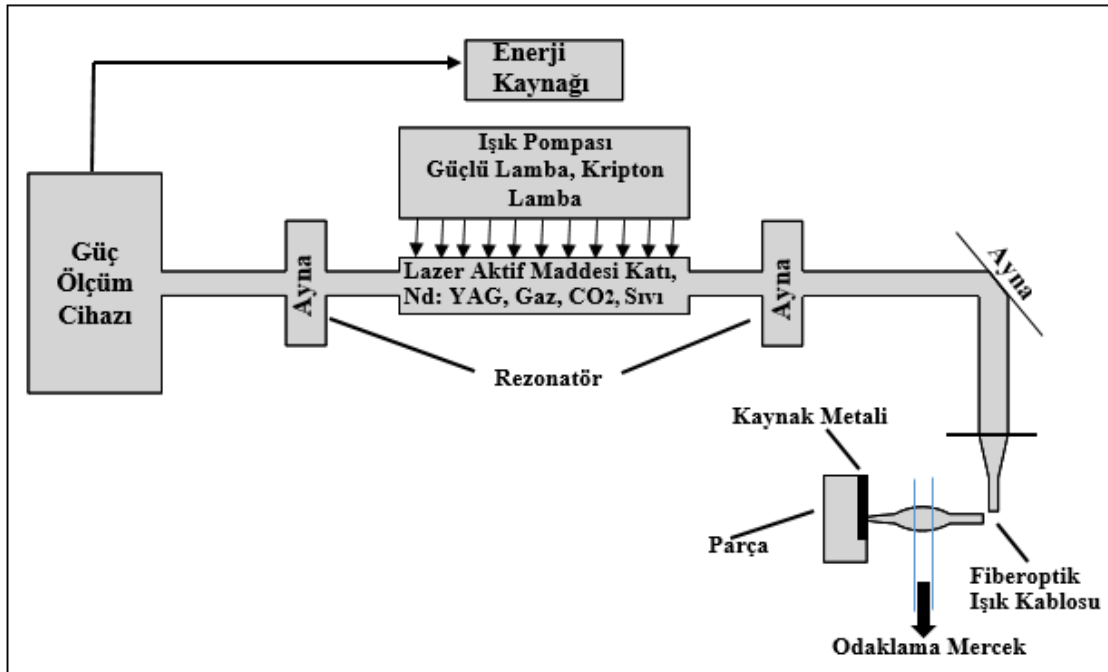
Elektrik direnç kaynağı sac malzeme birleşimleri için en uygun birleştirme yöntemi olarak görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri de elektrik direnç kaynağının her türlü üretim sistemine kolaylıkla adapte olabilmesi ve robotik olarak uygulanabilmesidir. Kaynak için gerekli olan ısı veya enerji, düşük gerilim yüksek akım yardımı ile sağlanır. Elektrik hatlarından alınan elektrik enerjisi transformatörler yardımı ile yüksek akım, düşük gerilime çevrilmektedir. Kaynak esnasında parçaya uygulanan yüksek akım parçada direnç ile karşılaşmakta, bu da direnç kaynak için gerekli olan ısıyı meydana getirmektedir. Elektrik direnç kaynağının, nokta direnç kaynağı, dikiş direnç kaynağı ve alın direnç kaynağı gibi çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Direnç kaynak yönteminin çalışma prensibi aşağıdaki Şekil 3.1’de gösterilmiştir [9].



Şekil 3.1. Kaynak devresinin çalışma prensip şeması [9].

3.2. LAZER KAYNAĞI

Lazer kavramı, uyarılmış radyasyon salınımlarıyla ışığın kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir. Lazer, İngilizce 'deki (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kelimelerinin baş harfleri bir araya getirilerek elde edilmiştir. Şekil 3.2'de lazer ışın makinasının şematik yapısı gösterilmiştir. Lazerin oluşturduğu ışın, birçok yönlendirme aynasından yansıtılarak odaklama merkezine ulaşır. Odaklanma sonucunda lazer ışını çok küçük bir alanda yoğunlaştırıldığında, malzemenin yüzeyinde yerel bir ergime ve buharlaşma sağlar. Lazer enerjisinin malzemeye emilim olurken buharlaşmış malzeme ve koruyucu gazdan oluşan plazma yoğunlaşır. Lazer enerjisinin plazmada oluşturduğu ısı, ergimekte olan malzemeye geçerek iş parçasına iletilir. Malzeme içinde, eriyik olarak bulunan atomların çok yüksek sıcaklık ve basınç farklarından dolayı yer değiştirir ve bununla (anahtar deliği) akıcı fazlı bir buhar kanalı oluşur [10].

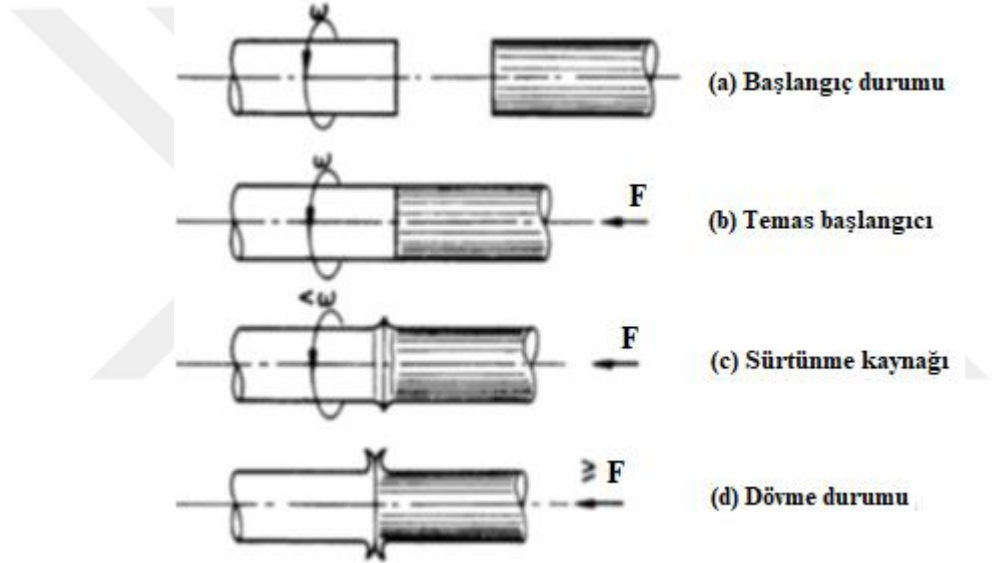


Şekil 3.2. Lazer ışın cihazının şematik yapısı [10].

Lazer ışın kaynağı, diğer kaynak yöntemlerine göre daha dar kaynak bölgesi sunar. Bununla birlikte kaynaklı malzemede daha düşük ısı girdisi olduğu için ince levhaların birleştirmesini mümkün kılar. Lazer ışın kaynağı; havacılık, otomotiv, askeri ve güç santralleri gibi birçok endüstride tercih edilmektedir [11].

3.3. SÜRTÜNME KAYNAĞI

Sürtünme kaynağı katı hal kaynak yöntemlerinden birisidir. Sürtünme kaynağında çözülemeyen birleştirmenin yapılışı, kaynak edilecek parçaların biri sabitlenip, diğeri hareketli olan parçaya temas ettirilir. Temas bölgelerinde sürtünmeden dolayı oluşan ısı ve basınç sayesinde birleştirme gerçekleşir. Birleşme bölgesinde ısı ve basıncın etkisiyle sürtünen yüzeylerden dışarıya doğru flanş oluşumu gerçekleşir. Bununla birlikte birleşme bölgesinde ince bir film oluşumu meydana gelir. Birleşmeden sonra oluşan ince film tabakasında tam bir ergime yine de gözlemlenmez. Bu işlem için herhangi bir koruyucu gaz ve ilave metal kullanılmaz [12]. Sürtünme kaynak yönteminin uygulama aşaması Şekil 3.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.3. Sürtünme kaynak mekanizmaları [13].

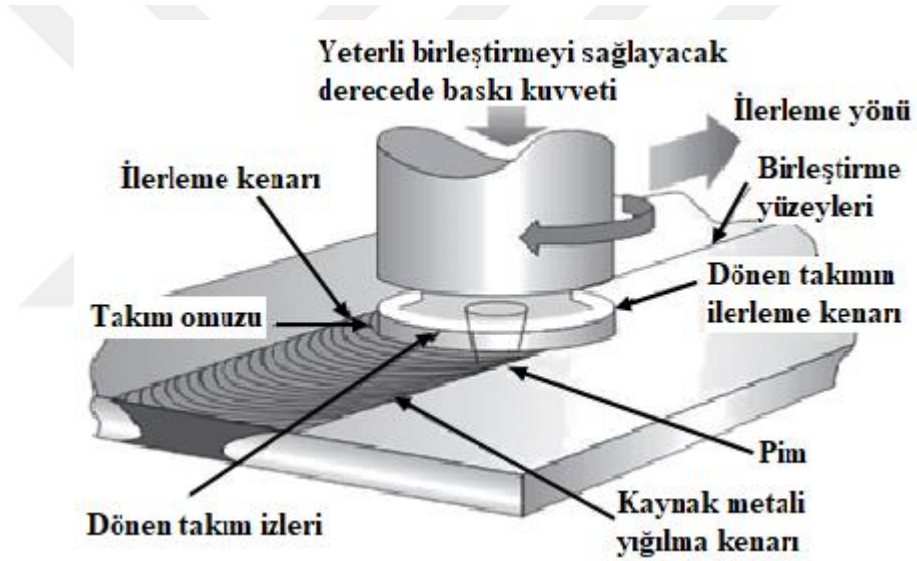
Şekil 3.3'te görüldüğü üzere önce kullanılacak iki malzemedен birisi sabitlenir diğеr malzeme temas yüzeyi doğrultusunda dönme hareketiyle sabit malzemeye sürtünür. Sürtünmeden dolayı malzemede ısı ortaya çıkar. Isıyla birlikte temas yüzeyleri yumuşar ve basınç altında katı hal birleştirme gerçekleşmiş olur.

3.4. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

Sürtünme karıştırma kaynağı, katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Literatürde Friction Stir Welding (FSW) olarak tanımlanan yöntem, 1991 yılında İngiliz Kaynak Enstitüsü (TWI) tarafından bulunmuştur. Günümüze kadar geliştirme çalışmalarına devam edilmiş

ve daha yeni bir yöntem olmasına rağmen 1999 yılında uzay endüstrisinde Boeing Delta II roketinin yakıt tanklarının birleştirilmesinde dahi kullanılmıştır [14].

FSW yöntemi öncelikle alüminyum ve alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmesiyle bakır ve bakır alaşımları, magnezyum ve magnezyum alaşımları gibi farklı malzemelerin ve metallerin birleştirilmesinde kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde düşük karbonlu çeliklerin ve bazı tür paslanmaz çeliklerin hatta düşük karbonlu çelik ile paslanmaz çelik ve farklı metallerin kaynağında da kullanılır duruma gelmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemini diğer ergitme esaslı kaynak yöntemlerinden ayıran en büyük fark; kaynak edilen parçaların ağızlarının kaynak sırasında ergimemeleri, yani katı fazda bulunmalarıdır. [15]. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulama şekli aşağıdaki Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



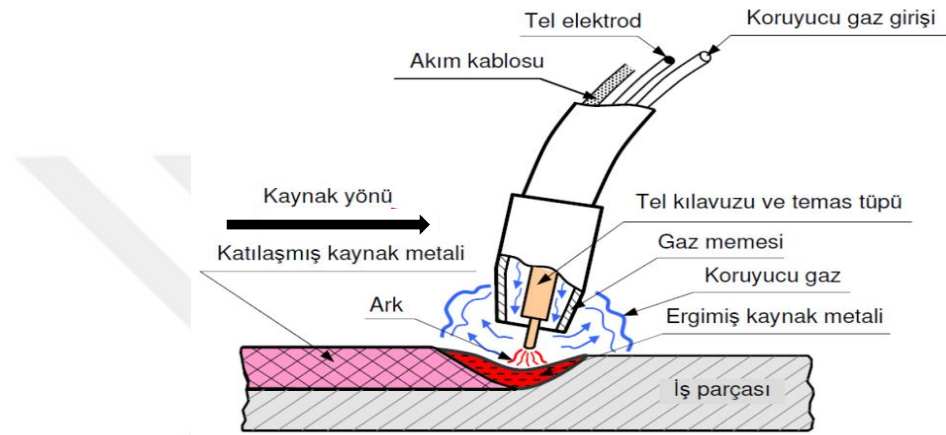
Şekil 3.4. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin uygulama şekli [14].

Birleştirme için kullanılacak malzemeye özel olarak tasarlanmış, tükenmeyen omuz ve pimden oluşan silindirik şeklindeki takım uygulanacak parametre hızında döndürülerek, birleştirilecek plakaların birleşim yüzeylerine daldırılır. Takım dönme ve sürtünme etkisiyle oluşturduğu ısıyla malzeme yumuşar ve karışır. Karışan malzeme, pime bağlı olan takım omuzu ile temas ederek yüzeyin düzgün ve esas metal kalınlığı ile eş olmasını sağlar [16].

3.5. MIG-MAG KAYNAĞI

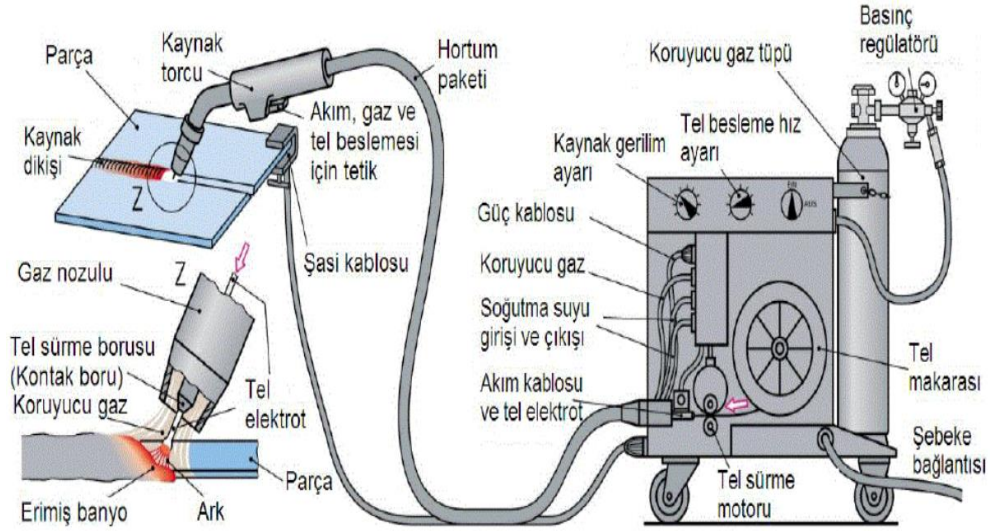
MIG-MAG kaynak işleminde ısı, torç içerisinde sürekli beslenerek çıkan dolgu malzemesiyle iş parçası arasında etkileşim sonucu dolgu malzemesinden geçen kaynak akımının elektrotta oluşturduğu direnç ile ısıtma oluşur.

Kaynak yapılacak ortamın havadaki istenmeyen etkilerinden gaz ortamı ile korunduğu için “Gazaltı Kaynak Yöntemi” diye nitelendirilmiştir [17]. Yöntemin şematik görüntüsü Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. MIG-MAG kaynağının prensibi [18].

Bu kaynak yöntemi ile alüminyum, düşük karbonlu çelikler, bakır, paslanmaz çelik ve titanyum gibi malzemeler kolaylıkla kaynaklanabilirler [19]. Gaz altı kaynakları, koruyucu gazın sağladığı özelliklerden dolayı iki şekilde adlandırılır. Kaynak işlemi esnasında asal (inert) gaz kullanılıyorsa MIG (Metal Inert Gas), aktif gaz kullanılıyorsa MAG (Metal Active Gas) olarak adlandırılır [17]. Şekil 3.6’da MIG-MAG kaynağı mekanizma ve donanımı görülmektedir.



Şekil 3.6. MIG-MAG kaynak donanımı [18].

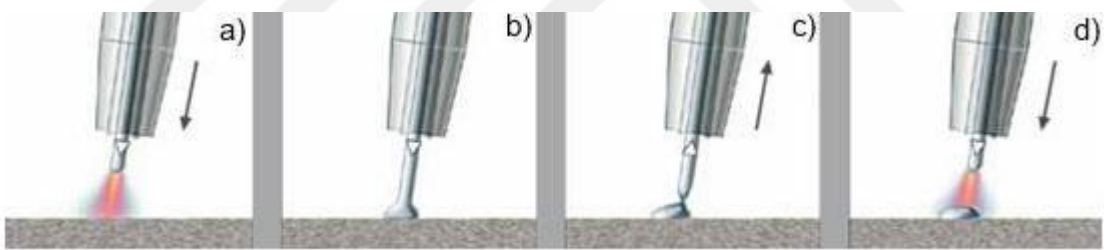
Bu kaynak yönteminde kullanılacak parametreler doğru (gaz debisi, tel besleme hızı, tel türü v.b.) seçildikten sonra seri şekilde uygulanabilir [15]. Kaynakçı ilk ayarları yaptıktan sonra, arkın elektriksel karakteristiğini kaynak makinası otomatik olarak sağlar. Yarı otomatik kaynakta ise kaynakçının gerçekleştirdiği elle kontroller, kaynak hızı, doğrultusu ile torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilip ve ayarlar yapıldığında ark boyu ile akım şiddeti (elektrod besleme hızı) otomatik olarak sabit değerde kaynak makinası tarafından tutulur [17].

3.6. COLD METAL TRANSFER – CMT (SOĞUK METAL TRANSFERİ) YÖNTEMİ

Soğuk metal transferi kaynak yöntemi 2004 yılında Fronius tarafından geliştirilen, kaynak donanımı, verilerin dijital alınması ve robotik uygulanması anlamında kaynak teknolojisine yenilik katan önemli bir uygulamadır. Geleneksel olarak bilinen MIG/MAG kaynağına göre soğuk transfer sağlayan donanım ve düşük ısı girdisi sayesinde kaynak edilmesi zor olan farklı malzemelerin kaynağı dahi mümkün olabilmektedir. CMT prosesi bugüne kadar bilinmeyen ve tamamıyla yeni bir yöntem olmamakla birlikte, gaz tungsten ark kaynağının limitlerini genişleten yeni bir uygulama olmuştur. Birbirinden farklı malzemelerin birleştirilebilirliğini sağlar. Örneğin; Alüminyumun ile çeliğin ark kaynağı ile kaynaklı birleştirilmesine imkan sağlamıştır [14]. Bazı metallerin kaynağında ergimenin gerçekleşmesi için yüksek sıcaklıklara ulaşılır ve sürekli bir ısı girdisine maruz

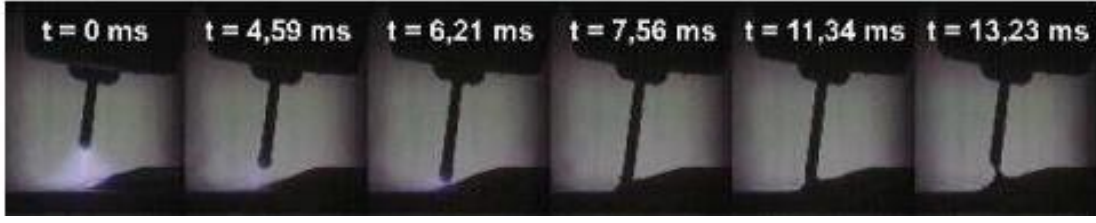
kalan malzemenin kaynak banyosunda çukurlaşma, sıçrama ve yetersiz nüfuziyet gibi kaynak hatalarından kaçınmak için düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hatalara karşı CMT yönteminin düşük ısı girdisi sağlaması ile sıçrantı olmayan ve düzgün dikiş geometrisine sahip kaynaklı birleştirme elde edilir. MIG/MAG yöntemi ile karşılaştırıldığında yöntem halen soğuk bir yöntem özelliğini korumaktadır [20].

CMT yöntemi, ısı girdisinin çok düşük olduğu bir gazaltı kaynak yöntemi olarak tanımlanabilir. CMT kaynağı ile enerji girdisi diğer gaz altı kaynak yöntemlerine göre %30 oranında azaltılmıştır. Bu da kaynakta çarpılmaların minimize edilmesi ve yüksek hassasiyet kazandırması sağlamıştır [21]. Geleneksel yöntemlerde tel, devre tamamlanıncaya kadar ileri yönde hareket ettirilir, bu esnada kaynak akımı yükselir ve ark oluşumu için devrenin tekrar açık devre olmasını sağlar. CMT yönteminde ise ergiyen elektrot damlasının elektrottan ayrılma prensibi tamamen yeni bir teknolojidir. Bu yöntemde 70 Hertz'lik bir osilasyon ile tel beslemesi yapılır ve bu şekilde tel iş parçasına doğru itilir ve geri çekilirken bir dizi sıcak-soğuk-sıcak-soğuk transferi oluşur. Bu hareket sayesinde geleneksel yöntemlerde daha yüksek akım çekilmesi ve sürekli tel besleme sonucu oluşan yüksek ısı girdisi ve sıçrantı CMT yönteminde elimine edilmiş olur [20].



Şekil 3.7. CMT yönteminin aşamaları a) Sıcak yöntem b) Soğuk yöntem c) Soğuk yöntem d) Sıcak yöntem [20].

CMT yöntemi, geleneksel MIG/MAG kaynağına göre daha kararlı ark sağlar ve eksiksiz proses regülasyonu sunar. Sıcak ve soğüğün sürekli değişimi prensibi ile uygulanan bu yöntemde ark yanma fazında, dolgu malzemesi kaynak banyosuna doğru hareket ettirilir. Dolgu malzemesinin kaynak banyosuna daldırılması ile ark söner ve kaynak akımı azalır. Telin, saniyenin doksanda biri (1/90 sn) süresinde geriye doğru hareketi, temas esnasında damlacık transferine yardımcı olur. Telin hareket yönü tersine çevrilir ve yönteme yeniden başlanır. Yukarıda anlatılan çalışma prensibi Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Şekil 3.8'de ise yöntemin akışı milisaniye zaman diliminde gösterilmiştir.



Şekil 3.8. CMT yönteminin milisaniye zaman diliminde akışı [20].

Geleneksel MIG/MAG yöntemi ile CMT yöntemi karşılaştırıldığında CMT kaynak yöntemini MIG/MAG kaynak yönteminden farklı kılan üç temel üstün özelliği vardır. Bu üstün özelliklerden birincisi, birbiriyle bağlanma yoluyla bütünleşen tel hareketidir yani tel beslemesi doğrudan kaynak donanımı içindedir. Dijital proses sayesinde, teması algılar ve teli saniyede 90-120 defaya kadar geri çekerek damlacık transferine yardımcı olur. Geleneksel kaynak yöntemlerinde ise tel besleme hızı sabittir ya da önceden belirlenen zaman cetveline göre değişmektedir. CMT yönteminde ise tel besleme hızı ve yönü, devrenin tamamlanması ve açık hale gelmesi ile kontrol edilir. Tel hareketi için önceden ayarlanmış bir zaman çizelgesi bulunmamaktadır. Bu yöntemde tel hareketi ile kaynak havuzu arasında doğrudan bir etkileşim olduğu görülmektedir. Bundan dolayı tel hareketi tam olarak devrenin tamamlanmasına bağlı olduğu için telin ortalama osilasyon frekansı üzerinde durulmaktadır. Yaklaşık olarak bu değer 70 Hertz civarındadır [20].

CMT yönteminin ikinci üstün özelliği ise, metal transferinin akımdan bağımsız olmasıdır. Bu durum geleneksel yöntemlerde akıma bağlıdır. Metal transferinin oluşması telin geri çekilmesi ve kaynak banyosunun yüzey gerilimi ile gerçekleşir. Bundan dolayı devre akımı çok düşük tutulur ve bunun beraberinde metale daha düşük ısı girdisi sağlanır [14].

Üçüncü üstün özelliği, ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleştiğinden ark, iş parçasının yüzey kalitesinden ya da hangi hızda kaynak yapmak istediğinizden bağımsız olarak daima kararlı kalır. Bu sayede CMT her yerde ve her konumda uygulanabilir. Telin geriye doğru hareketin temas esnasında damlacık transferine yardımcı olur. Devre kontrol edilir ve akım düşük seviyede tutulur. Bunun sonucunda ise çapaksız metal geçişi gerçekleşir [20]. CMT kaynak makinesinin fiziki donanımı aşağıdaki Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. a) Tel sürme ünitesi b) Dijital kontrollü MIG/MAG güç kaynağı c) Soğutma ünitesi d) Robacta drive CMT torcu e) Kontaklama sistemi [22].

- Tel sürme ünitesi:

Kaynak dolgu malzemesinin, tel makara tertibatından iş parçasına doğru ve sürtünmesiz taşınması için 4 makaralı tahrike sahip tel sürme ünitesi.

- Dijital kontrollü MIG/MAG güç kaynağı:

Tamamen dijitalleştirilmiş, mikro işlemci tarafından yönetilen inverter güç kaynağı, kaynak işlevinde benzersiz doğruluk, kaydedilen parametrelerde aynı işlemi çok defa tekrarlama imkanı ve üstün kaynak özelliklerini temin eder.

- Soğutma ünitesi:

Dayanıklı ve güvenilir soğutma ünitesi tüm kaynak sistemi ile entegre edilmiştir. Torcun ısınmasına karşın su ile optimal şekilde soğutulmasını sağlar.

- Robacta Drive CMT Torcu:

Entegre robot kaynak torcu, yüksek ölçüde dinamik bir AC servomotor ile donatılmıştır. Bu motor, dolgu telin düzgün doğrusal hareket ettirilmesini ve baskı oranının sabit tutulmasını sağlar. Kaynak dolgu telini saniyede 90 defaya kadar ileri ve geri hareket ettirir.

- Kontaklama sistemi:

İki hareketli yarım meme parçası, kontaklama sistemi ve kaynak teli arasındaki kontak yüzeylerini ve kontak kuvvetlerini mutlak tanımlanmış nominal aralıkta tutar. Kontak meme dengeli bir şekilde aşınır, prosese aykırı ve zor hesaplanabilir etkiler en aza indirilir. Kontak tüm tel çapları ve malzemeleri için uygundur [22].

3.6.1. CMT Yönteminin Genel Üstünlükleri

- Düşük Isı Girdisi:

Kaynak işlemi sırasında tel ileri doğru hareket ettiğinde kaynak parçasıyla temas sağlandığı anda tel tekrar geriye doğru çekilir böylece yanma fazında ark çok kısa bir süre için ısı verir.

- Çapaksız Kaynak:

Telin geriye doğru hareketi damlacık transferine yardımcı olur. Devre kontrol edilir ve akım düşük seviyede tutulur. Bu şekilde çapaksız bir metal transferi gerçekleşir.

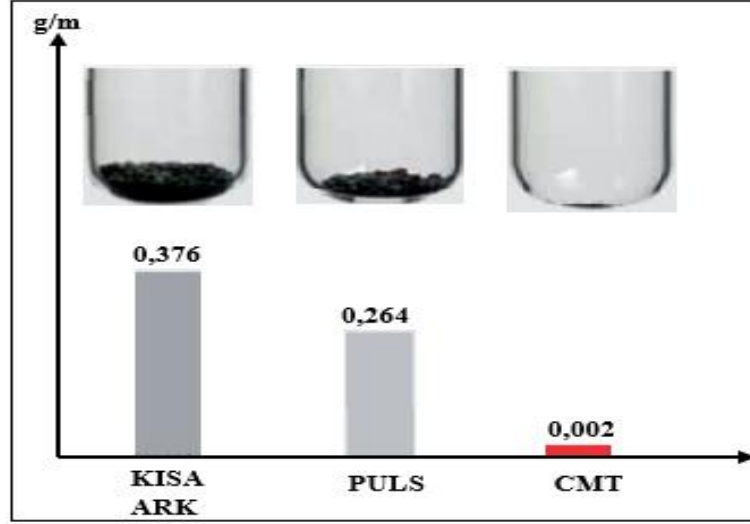
- Kararlı Ark:

Ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleşir. Ark iş parçasının yüzey kalitesinden ya da hangi hızda kaynak yapmak istediğinizden bağımsız olarak daima kararlı kalır. Bu sayede CMT her yerde ve her konumda uygulanabilir [21].

3.6.2. Kaynak Bağlantılarında CMT Yönteminin Üstünlükleri

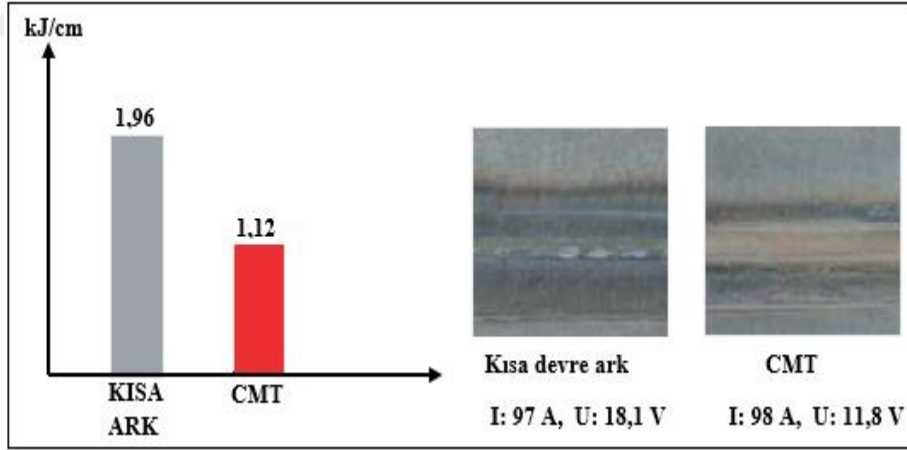
3.6.2.1. CMT Kaynak Yöntemiyle Çeliğin Birleştirilmesi

Çelik sacların CMT yöntemi ile kaynağında yöntemin sağladığı üstünlüklere bakıldığında malzeme yüzeyinde oluşabilecek çapak miktarının kısa ark, pulse ve CMT yöntemlerinin karşılaştırılması Şekil 3.10'da verilmiştir.



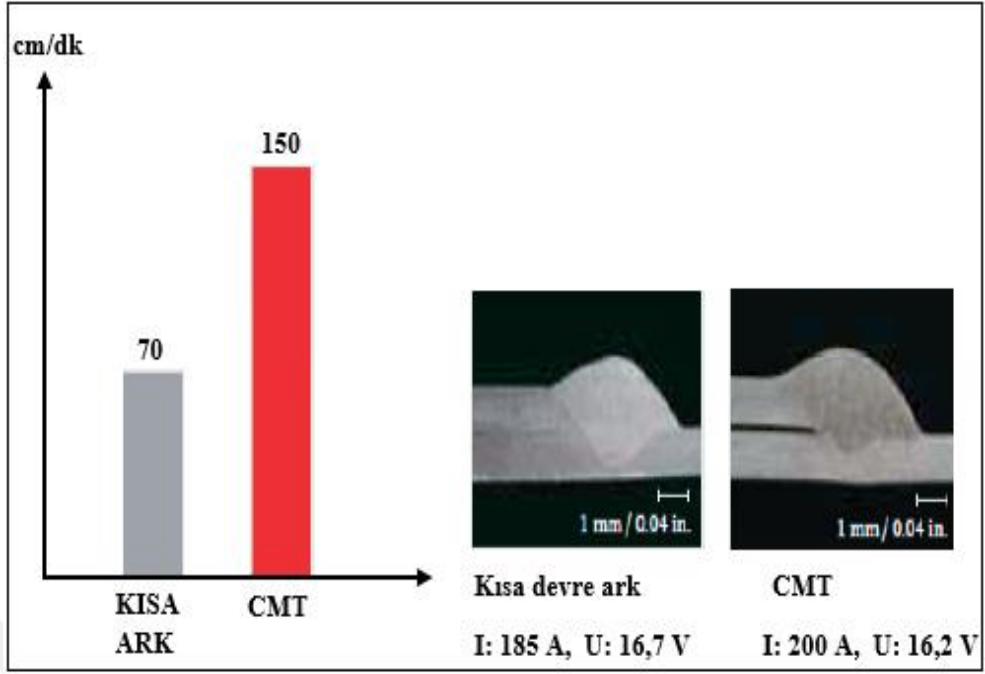
Şekil 3.10. Kısa ark, puls ve CMT kaynak yöntemlerinin çapak oluşum miktarı [22].

Şekil 3.10' da kaynaktan sonra malzeme yüzeyinde oluşan çapak g/m cinsinden miktarı belirtilmiştir. Üç kaynak yöntemi (Kısa ark, pulse ve CMT) karşılaştırıldığında CMT yönteminde neredeyse hiç çapak oluşmadığı görülmektedir. Bu avantaj sayesinde üretim esnasında oluşabilecek çapak gibi kirlilikleri temizlemek için zaman ve çaba harcamaya gerek kalmayacaktır [22].



Şekil 3.11. Kısa ark ile CMT kaynak yöntemlerinin ısı girdilerinin karşılaştırılması [22].

CMT kaynak yönteminin sağladığı başka bir avantaj ise Şekil 3.11'de gösterilen ısı girdisi farklılığıdır. Şekil 3.11'de Kısa ark ve CMT kaynak yönteminin ısı girdisi değerlerinin karşılaştırılmasıyla CMT kaynak yöntemi %50 daha az ısı girdisi oluşmuştur. Isı girdisiyle malzemenin ITAB bölgesi daha dar kalmıştır [22].

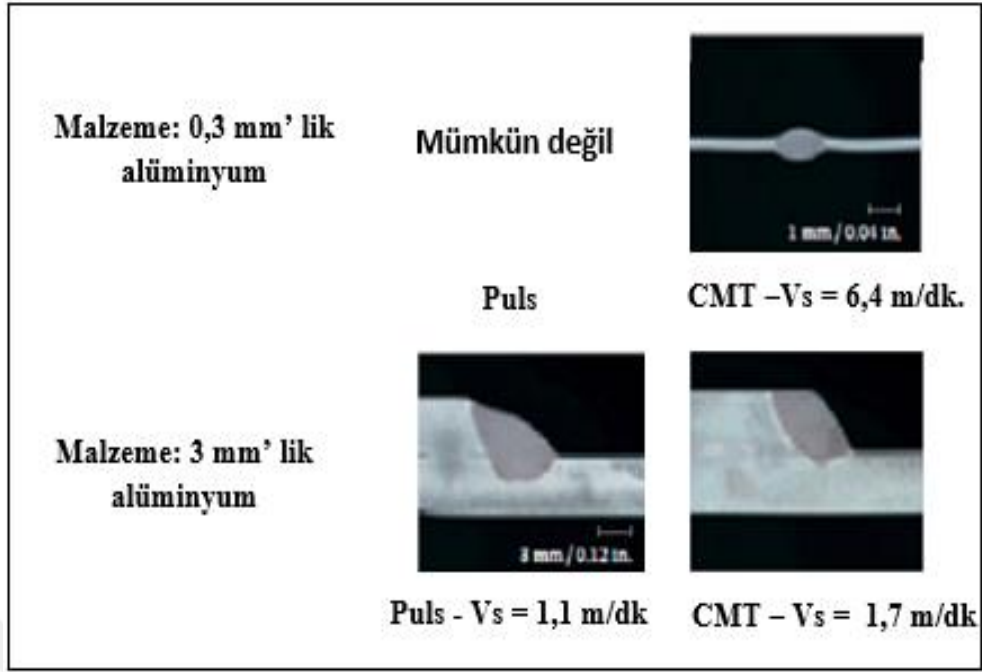


Şekil 3.12. Kısa devre ark ve CMT kaynak yöntemleri kaynak ilerleme hızlarının karşılaştırılması [22].

Çelik malzemelerin birleştirilmesiyle kaynak hızlarında kıyaslama yapılmış ve Şekil 3.12’de kaynak ilerleme hızı cm/dk cinsinden ifade edilip gösterilmiştir. Bu kıyaslama, kısa ark ve CMT kaynak yöntemleri arasında yapılmıştır. CMT kaynak yöntemi ile daha yüksek hızlarda birleşme sağlamış [22] .

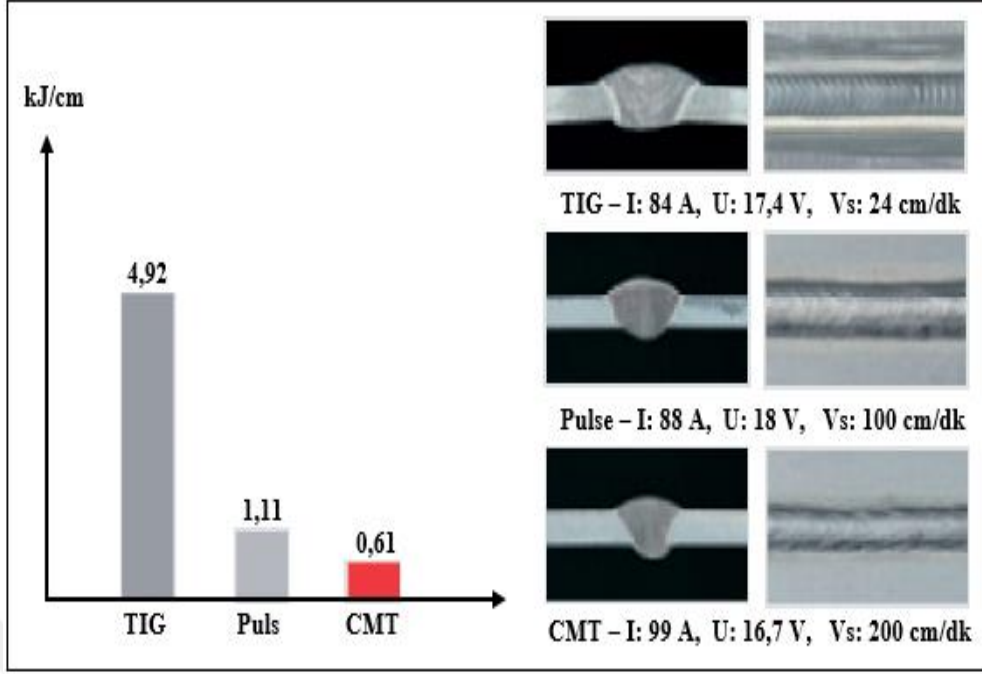
3.6.2.2. CMT Kaynak Yöntemiyle Alüminyumun Birleştirilmesi

CMT kaynak yöntemiyle alüminyum malzemesinin kaynaklı birleştirilmesi yapılmış ve çalışmada, kaynak yönteminin malzeme üzerindeki etkilerini incelenmiş. Değerlendirilmesi yapılan etkiler, 0.3 mm kalınlığındaki alüminyum malzemesinin birleştirilme imkanı olup olmaması ve düşük ısı girdisi bununla birlikte daha yüksek kaynak ilerleme hızı karşılaştırılmış. Bu etkiler TIG, pulse ve CMT kaynak yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmış [22].



Şekil 3.13. CMT ve puls kaynak yöntemlerinin ince saçlarda uygulanabilirliği [22].

Şekil 3.13'te 0,3 mm kalınlığındaki alüminyum malzemesi pulse ve CMT kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğini incelenmiştir. 0,3 mm kalınlığındaki malzemenin kaynaklı birleştirilmesi CMT yöntemiyle gerçekleşmiş, ancak pulse yöntemi birleştirme için mümkün olmamıştır. Ayrıca 3 mm kalınlığındaki alüminyum malzemesi bu iki kaynak yöntemi ile birleştirilip kaynak ilerleme hızlarını mukayese etmiştir. Bu kıyaslama ile CMT yöntemi pulse yönteminden daha hızlı birleştirme yapılmıştır [22].



Şekil 3.14. CMT, pulse ve TIG kaynak yöntemlerinin ısı girdisi ve kaynak hızlarının karşılaştırılması [22].

Şekil 3.14'te alüminyum malzemesin TIG, pulse ve CMT kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi sonucunda ısı girdisi ve kaynak ilerleme hızları kıyaslanmıştır. Malzemenin kalınlığı 1,6 mm dir. Kıyaslama da CMT kaynak yönteminin ısı girdisi daha düşük seviyede olması TIG ve pulse kaynak yöntemlerine göre avantaj sağlamaktadır. Kaynak ilerleme hızı CMT yönteminde TIG ve pulse yöntemine kıyasla maksimum seviyede olduğu belirtilmiştir [22].

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada, yüksek mukavemetli, otomotiv endüstrisinde kullanılan sacların CMT kaynak yöntemiyle birleştirilmesi, birleştirilen bölgelerinin incelenmesi ve mukavemet değerlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan ulusal ve uluslararası literatür taramalarında, genellikle CMT kaynak yöntemiyle alüminyum malzemelerin kaynaklanması üzerine çalışmaların yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Yapılan taramalarda, bu tez çalışmasına ışık tutması bakımından kullanılan benzer yöntem ve malzemelerle alakalı çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Özsaraç ve arkadaşları yaptığı çalışmada 1,2 mm kalınlığında DP600 çeliğini CMT yöntemi ile bakır esaslı CuSn1 ilave teli kullanarak, farklı akım değerlerinde alın birleştirme yapmışlardır. Yapılan birleştirmelerin, bu çalışmada olduğu gibi, çekme testleri yapmış ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı (EDS) ile element analizleri yapmışlardır. Bağlantının makro ve mikroyapı görüntüleri optik mikroskop aracılığı ile alıp ıslatma açılarını, dikiş yüksekliklerini ve genişliklerini hesaplamışlardır. Kaynak işlemi sonucunda çekme testlerine göre 55 A ve 70 A akım şiddeti aralıkları uygun parametre olarak gözlemlenmişler, akım şiddeti ve dolgu tel hızı artmış bu artışla birlikte çekme dayanımında da artış olduğunu göstermişlerdir [23].

Acar yapmış olduğu yüksek lisans tezinde otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türlerinden çift fazlı DP800 çelik sacının CMT-lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliğini incelemiştir. CMT-lehimleme yönteminde, DP800 çelik sacının hangi akım şiddetinde, lehim ilerleme hızında, lehim aralığında, koruyucu gaz basıncı ve torç açısında birleştirilebileceğini belirlemek için her bir parametreyi kendi içinde incelemiştir. Sonuç olarak DP800 çelik sacının farklı parametrelerde optimum akım şiddeti 80A, ilerleme hızı 31cm/dk, gaz debisi 12 lt/dk, torç açısı 50° ve lehim aralığı 0,5 mm olarak belirlemiştir [8].

Ünel yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında CMT yöntemi ile birleştirilmiş çelik-alüminyum alaşımına ait çekme test sonuçları temel alınarak yapılan analiz ile optimum kaynak parametreleri 3-4 m/dak tel besleme hızı, 0-1 mm elektrot besleme mesafesi, 8-

10 mm/s kaynak hızı değerleri olarak elde edilmiştir. Mukavemet, intermetalik tabaka kalınlığı ve yorulma testi sonuçları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve bu iki metalin belirtilen proses parametreleri ile uygun şekilde birleştirilebileceği sonucuna ulaşmıştır [14].

Çetin çalışmasında DP600-DP1000 çelik saclarını lazer kaynağı ile birleştirmiş, kaynaklı numunelere çekme testi, mikro sertlik testi uygulamış, kaynak bölgelerini makro ve mikro yapısal olarak incelemiştir. Lazer ile birleştirmeyi önce her bir malzemeyi kendi arasında, sonra iki farklı malzemeyi birleştirme şeklinde uygulamıştır. Sonuç olarak, DP600-DP600 lazer kaynağı sonucunda güç, darbe süresi ve frekans arttıkça çekme mukavemeti de arttığını, ışın çapı arttıkça çekme mukavemeti azaldığını tespit etmiştir. DP1000-DP1000 lazer çalışmasında yüksek güç, darbe süresi, frekans; düşük ışın çapı kaynak penetrasyonunu arttırmakta ve kaynak merkezindeki birleşme arayüzey kaynak hatasını küçültmekte. DP600-DP1000 lazer kaynağı çalışmasında yüksek güç, darbe süresi, frekans; düşük ışın çapı kaynak penetrasyonunu arttırmakta ve kaynak merkezindeki birleşme arayüzey kaynak hatasını küçültmekte olduğunu tespit etmiştir [24].

Kekik çalışmasında MS1200-DP800HF saclarını elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle birleştirmiş ve hasar modunun tespitini yapmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılan çift-fazlı (DP) ve martenzit mikro yapısına sahip 1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmeleriyle elde edilen optimum mekanik özellikleri sağlayan kaynak parametrelerinin belirlenmesini hedeflemiştir. Yapılan birleştirmeler sonrasında numunelere çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak kaynak zamanı, kaynak akım şiddetinin ve kaynak çekirdeği geometrisinin çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetine etkisini belirlemiş, optimum değerleri belirleyen kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanına bağlı olarak kaynak eğrisi grafiğine ulaşmıştır [25].

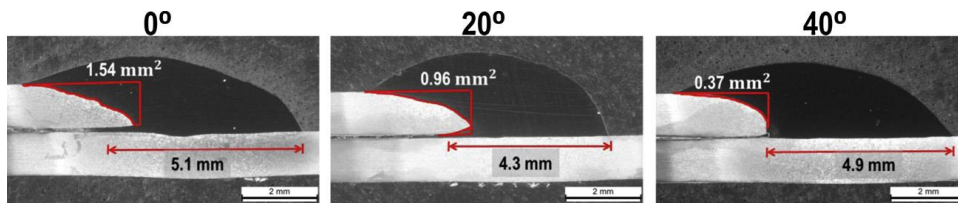
Milani ve arkadaşları çalışmalarında, 2 mm kalınlığındaki galvanize çelik ile 3 mm kalınlığındaki 5754 alüminyum alaşımını 15 mm bindirme dikiş türüyle CMT yöntemiyle birleştirmiş, birleştirmelerde farklı üç ilave dolgu teli (AlSi3Mn, AlSi5, AlSi12) ve üç farklı tel besleme hızını birleştirecek metallere uygulayarak deneysel çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Çekme testi sonrası ara yüzeyde oluşan intermetalik tabakaları, kopma yüzeylerinden incelemişlerdir. Sonuç olarak kullandığı farklı parametrelerin etkilerini inceleyip her biri için ayrı değerlendirme yapmışlardır. En iyi çekme

mukavemetinin AlSi3Mn dolgu metali ile elde edildiğini ve bu değerin 188 N/m2 olduğu bilgisini vermişlerdir.

Medgyesi ve arkadaşları yaptıkları bilimsel araştırmada, farklı metallerin birleştirilmesinin zor ve sorun oluşturabilecek olmasından dolayı soğuk metal transferi kaynak yöntemin sağladığı avantajlar göz önünde bulundurarak bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada farklı kalınlıktaki çelik ve alüminyum alaşımlarını sinerjik TPS 2700 model CMT kaynak makinası ile farklı parametrelerde AlMg3 dolgu metaliyle birleştirme yapmışlar ve sonuçları şu şekilde belirtmişlerdir [26];

1. İnce saçların birleştirilmesinde malzemede oluşan geometrik değişim CMT yöntemi ile minimum düzeye düştüğünü,
2. Birleştirmede %1 ile 1,5 Si alaşımı içeren dolgu metalinin kullanılması ile üçlü ötektik oluşumunun gözlemlendiğini, buna bağlı olarak akışkanlık ve ıslatabilirliği geliştirdiğini,
3. Birleştirmenin mikroskopik analiz sonucunda tane yapısının alfa faz dentritleri ve tane sınırlarına yakın bölgelerde kaba Al3Mg2 tanesi oluştuğunu,
4. Al3Mg2 fazının tane sınırlarında oluşması alüminyum magnezyum alaşımının kırılgenliğini artırdığı bilgilerini çalışmalarında ortaya koymuşlardır [26].

Singh ve arkadaşları yaptıkları akademik çalışmalarında, CMT lehimleme kaynak yöntemiyle DP780 çeliğini farklı kaynak açılarındaki (0°-20°-40°) birleştirme yapmış ve kaynaklı malzemenin yük taşıma kapasitesini test etmiştir. Uygulanan kaynaklı birleştirmedeki malzemenin açısal değişimi Şekil 2.1’de verilmiştir. Birleştirme sonucunda malzemenin kaynaklanacak yüzeyinin farklı açılarda uygulanması değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1. 0°, 20° ve 40° çalışma açıları.

Çalışma açısının, 133 J/mm'lik bir ısı girdisinde hem 0° hem de 40°'ye değiştirilmesinde bağlantı kuvvetinde yaklaşık %20'lik bir artış sağlamışlar. Yapılan gözlemlerde, aşırı

yayılabilirlik ve ciddi metal kaybı, dinamik yükleme ve aşındırıcı ortamda eklem performansının düşmesine neden olabileceğini, bu nedenle çalışma torç açısının 40° tutulmasını önermişlerdir [27].

Lei ve arkadaşları soğuk metal transfer kaynağını kısa ark, pulsed ve CMT yöntemleriyle A6061-T6 alüminyum serisini üç farklı kaynak türü ile birleştirmiş, elde edilen kaynakları makro ve mikro metalografik inceleme, mikro sertlik testi ve çekme testi ile incelemişlerdir. Sonuçlar CMT ark modunun en az kaynak hatasıyla anlaşılabilir şekilde en güçlü kaynakları elde edebileceğini ifade etmişlerdir [28].

Fernandes ve arkadaşları otomotiv endüstrisinde kullanılan DP600 çeliğine Lazer kaynak işlemi uygulamışlar ve optimum parametreleri bulmayı hedeflemişlerdir. Bu amaçla, bir lazer Nd: YAG kaynak makinesi SISMA SWA300 kullanılarak, düz pozisyonda küçük levhalar kaynaklamışlardır. Çalışmalarında, kaynaklı numuneleri değerlendirmek için çekme ve mikro sertlik testleri uygulamış, ek olarak, ısıdan etkilenen bölgenin sertliğini azaltmak için ısıl işlem gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlarında, çift fazlı DP600 çeliğini lazer teknolojisi vasıtasıyla optimum parametrelerle, başarılı bir şekilde kaynaklanması uygun görüldüğünü belirtmişlerdir [29].

Yapılan literatür taramasında benzer malzemeler ve kaynak yöntemleri kullanılan çalışmalar incelenmiş, yukarıda verilen örneklerden yola çıkarak bu çalışmada kullanılan kaynak parametreleri ve testler belirlenmiştir. Belirlenen parametre ve testler 5. bölümde verilmiştir.

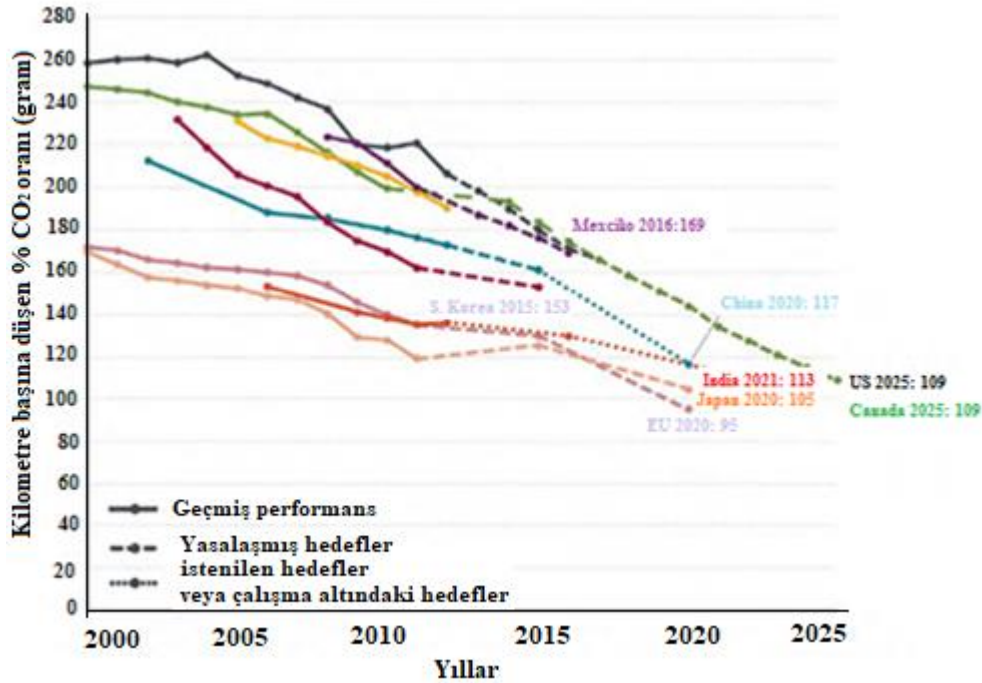
4.1. PROBLEMİN TANIMI

Çelik üreticileri tarafından yüksek mukavemetli çeliklerin geliştirilmesi ve araç üretiminde kullanılmasıyla montaj esnasında veya iki malzemenin çözülemez bağlantı elemanı (kaynaklı) birleştirilmesini sağlayacak ve mekanik özelliklerini muhafaza edebilecek yeni birleştirme teknolojilerine ihtiyaç duymuşlardır. Bu geliştirilen birleştirme yöntemlerinden biri de CMT kaynak yöntemidir. Otomotiv endüstrisinde her geçen gün kullanımı artan yüksek mukavemetli çeliklerinin kaynaklı birleştirmelerinde, MIG ve MAG kaynak yöntemlerinin kullanıldığı yerlerde oluşabilecek problemleri minimize edebilmektedir. Bu problemler ince kalınlıktaki saclarda ısı girdisinin yüksek olması neticesinde içyapıda düzensizlikler ve geometride çarpımlardır. Bu olumsuzlukları, düşük ısı girdisiyle birleştirmeyi sağlayan CMT kaynak yönteminin, söz

konusu olumsuzlukları ortadan kaldıracabileceği düşünölmekte ve en uygun alternatiflerden birisi olduğu öngörölmektedir.

4.2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

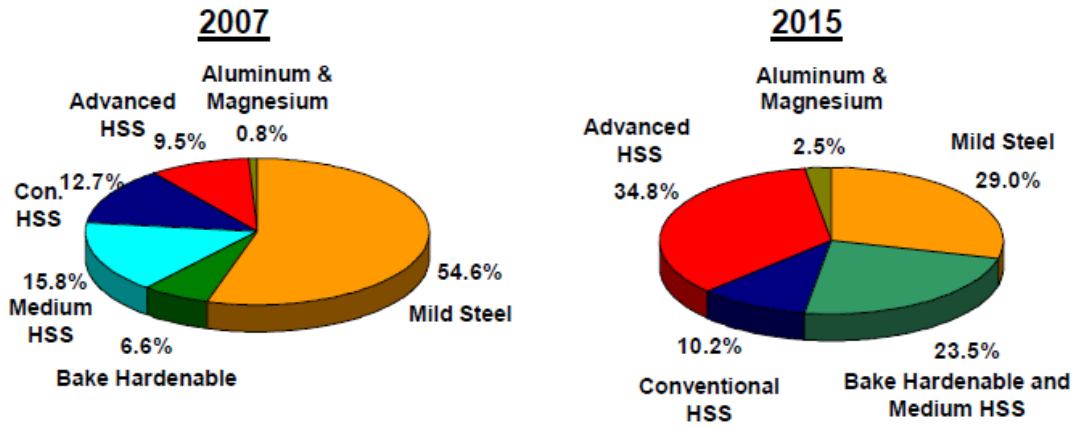
Bu çalışmada, araç kullanım oranının artması sonucunda fosil yakıt rezervlerinin azalmaya başlaması ve çevreye salınan CO₂ oranının her geçen gün artması bununla birlikte kaza anında yolcu can güvenliğini tehdit etmesi insanlar üzerinde olumsuzlukları ortadan kaldırmaya yönelik üretilen yüksek mukavemetli sacların CMT kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve mekanik özellikleri incelenecektir. Otomobil üreticileri emniyetli araç üretme, yakıt tüketimini minimize etme ve atmosfere salınan CO₂ emisyon değerlerini azaltacak araçlar üretmeye yönelik çalışmalar yapmaktadır. Araçlardan çevreye salınan CO₂ seviyelerindeki değişimi yıllara göre hedeflenen azalmayı Şekil 4.2’de görölmektedir.



Şekil 4.2. Ülke ve yıllara göre CO₂ gaz salınım değerleri [30].

Şekil 4.2’de göröldüğü üzere ülkelere ve yıllara göre CO₂ değerlerinde 2025 yılına kadar belirgin bir azalma hedeflenmektedir. Bu veriler, sorunun önümüzdeki yıllarda da devam edeceğini göstermektedir. Bu gereklilik ve hedeflere ulaşılması için çelik üreticileri, otomotiv üreticilerinin talepleri doğrultusunda yüksek mukavemetli sacları üretmişlerdir.

Bu tür sacların üretilmesi, mevcut saclardan daha ince saclar kullanarak araç gövde ağırlığını düşürmesi ve ağırlık hafiflemesiyle çevreye yayılacak CO₂ gazının azalacak olması, yüksek mukavemetli olması sebebiyle de kaza anında daha güvenli araçların üretilmesi açısından önem arz etmektedir. CO₂ salınımı azaltmak amacıyla kütlede tasarruf ve mukavemet arttırmaya yönelik 2007 ile 2015 yılları arasında otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin oranları Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. Yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımındaki artış [4].

Şekil 4.3.'de yüksek mukavemetli sac metal malzemeler kullanımının önemli oranda arttığını göstermektedir. Yüksek mukavemetli sacların kullanılmaya başlanmasıyla ortaya birkaç problem çıkmaktadır. Bunlar düşük % uzamalara sahip olmasından dolayı şekillendirme problemi ve ince malzemelerde kaynaklı birleştirme esnasındaki ısı girdisi etkisiyle çarpılmalara sebep olmasıdır.

Bu çalışmada ince (1-1,5 mm) malzemelerin kaynak esnasında yüksek kaynak ilerleme hızlarında hem malzemenin geometrisini muhafaza etmek, hem de ısı girdisine bağlı olarak mekanik özellikleri de koruma hedeflenmiştir. Oluşabilecek değişimlerin incelenmesiyle yukarıda bahsedilen problemlere çözüm bulunacağı düşünülmektedir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan özel çeliklerden 1 mm kalınlığına sahip çift fazlı DP600, DP800 ve 1,5 mm kalınlığındaki martenzitik MS1200, MS1400 çelik saclarının CMT kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği, mekanik özellikleri ve mikroyapı değişimleri incelenmiştir.

5.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan 1 mm kalınlığındaki çift fazlı çeliklerden DP600, DP800 ve 1,5 mm kalınlığındaki martenzitik çeliklerden MS1200, MS1400 sac metal malzemeler kullanılmıştır. Kaynak işlemleri alın altına kaynak şeklinde ve kullanılan dört farklı malzeme kendi arasında robotik CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmesi yapılmıştır. Literatürde de bahsedildiği üzere, uygulanan kaynaklarda değişken kaynak ilerleme hızlarına göre parametreler belirlenmiştir. Diğer ark kaynaklarına kıyasla kararlı kaynak banyosu, akım şiddeti ve diğer parametreler otomatik olarak ayarlanmakta ve değişkenlik göstermektedir. Yapılan kaynaklı birleştirmede kaynak makinasının kaynak ilerleme hızı değiştirilmesiyle kaynak akım değeri ve kaynak voltaj değeri otomatik olarak değişmiştir. Kaynak işlemi esnasında kaynak hızının artması durumunda ısı girdisi azalmakta, kaynak hızının azalmasında ise ısı girdisi artmakta ve malzemenin mekanik özelliklerinde değişime neden olmaktadır.

Kaynaklı birleştirmenin yapılmasında önemli etkiye sahip olan dolgu tel malzemesi, kullanılacak (DP600, DP800, MS1200 ve MS1400) malzemelerin kimyasal kompozisyonları ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi yapılarak uygun dolgu tel malzemesi seçilmiştir.

Kaynak işlemlerinde kullanılacak ilave dolgu malzemesi olarak çift fazlı çeliklerden DP600, DP800 malzemeler için 0,8 mm çapında SG2 ve martenzitik çeliklerden MS1200, MS1400 malzemeler için 0,8 mm çapında ER110 standardında ilave dolgu metali seçilmiştir.

Deneysel çalışmalar için seçilen yüksek mukavemetli malzemelerin (DP600, DP800,

MS1200, MS1400) kimyasal kompozisyonları Çizelge 5.1’de, yine aynı malzemelere ait mekanik özellikler ise Çizelge 5.2’de verilmişti. Çizelge 5.3’te ve 5.4’te kullanılan ilave dolgu tellerin kimyasal ve mekanik özellikleri sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 5.1. DP600, DP800, MS1200 ve MS1400 malzemelerine ait kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kimyasal Bileşimi (Ağırlık %)								
	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	Fe
DP600	0,097	0,225	0,823	0,0123	0,0120	0,053	0,014	0,007	Kalan
DP800	0,141	0,214	1,483	0,0106	0,0156	0,085	0,018	0,009	
MS1200	0,067	0,218	1,586	0,0117	0,0137	0,047	0,002	0,034	
MS1400	0,143	0,182	1,145	0,0114	0,0140	0,041	0,002	0,033	

Çizelge 5.2. DP600, DP800, MS1200 ve MS1400 çeliğin mekanik özellikleri.

Malzeme	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)
DP600	450	610	16
DP800	620	805	10
MS1200	950	1255	3
MS1400	1150	1352	3

Çizelge 5.3. ER110 SG ve SG2 ilave teline ait kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kimyasal Bileşimi (Ağırlık %)							
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu	Fe
SG 2	0,08	0,85	1,45	-	-	-	-	Kalan
ER 110 SG	0,09	0,75	1,70	0,50	2,0	0,30	0,20	

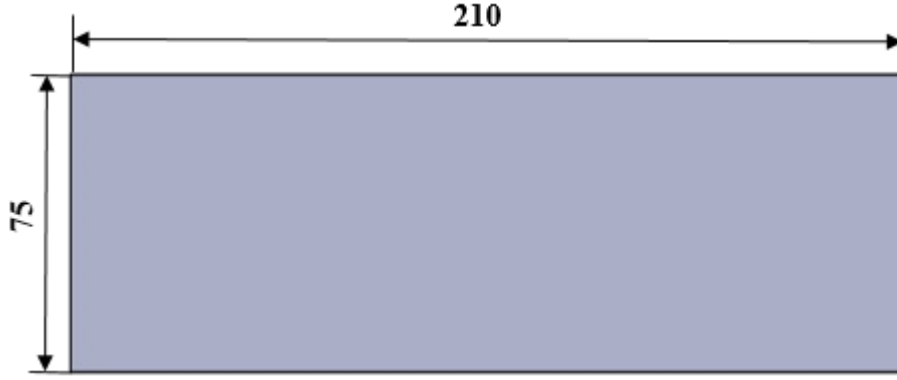
Çizelge 5.4. ER 110 SG ve SG2 kaynak çeliğin mekanik özellikleri.

İlave Tel	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)
SG 2	Min.430	550	26
ER 110 SG	Min. 690	770-940	19

5.2. DENEY PARÇALARININ BOYUTLARI

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak çift fazlı çeliklerden DP600, DP800 ve martenzitik çeliklerden MS1200, MS1400 sac metal malzemeler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan bu saclar otomotiv endüstrisinde kullanım oranı her geçen gün artan yüksek mukavemete sahip saclardır. Deneyler için kullanılacak malzemelerin

boyutu Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

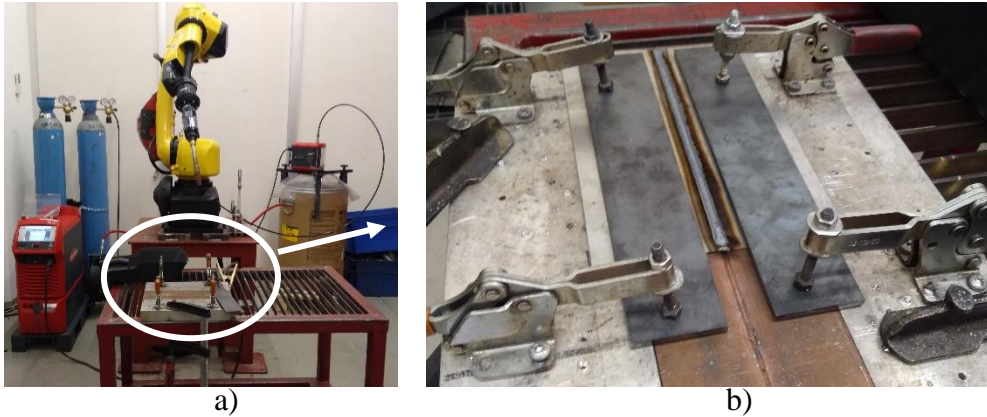


Şekil 5.1. 75x210 mm boyutlarında su jetinde kestirilen malzeme.

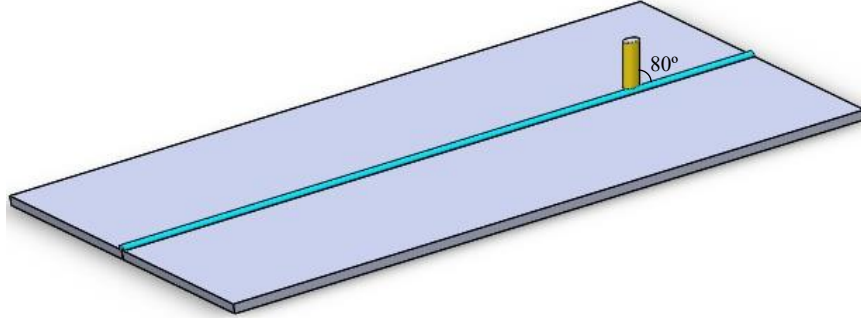
Bu malzemelerden 210×75 mm boyutlarında her birinden 10’ar adet olacak şekilde toplam 40 parça su-jeti yöntemiyle ile kestirilmiştir.

5.3. ROBOTİK CMT İŞLEMİNİN YAPILIŞI VE DENEY DÜZENEĞİ

TPS 500i model robotik CMT kaynak makinasıyla pürüzsüz bir şekilde kesilip hazırlanmış malzemeler kaynak öncesi yağ, nem, gres gibi kirliliklerden arındırılmış ve bakır altlıklı, sabitleme aparatları ile tezgâha sabitlenip aralarında boşluk olmadan alın altına getirilip puntalanmıştır. CMT kaynak işlemi ve deney düzeneği Şekil 5.2’de verilmiştir. Kaynak esnasında tabla sabit, kaynak torcu hareketli olacak şekilde planlanmıştır. Kaynak işlemi tek pasoda sola kaynak yöntemi ve 80^0 torç açısı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.3’te uygulanan bu yöntem görülmektedir.



Şekil 5.2. a) Kullanılan robotik CMT kaynak makinası b) Deney düzeneği.



Şekil 5.3. 80°'lik torç açısıyla kaynaklı birleştirme yapılan numune.

Kaynak sonrası numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır, özel bir soğutma veya ısıl işlem uygulanmamıştır.

5.4. ROBOTİK CMT KAYNAK YÖNTEMİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

İncelenen literatür araştırmaları ve denemeler sonucu DP600, DP800 ve MS1200, MS1400 sac malzemelerinde dört farklı hız parametreleri uygulanmıştır. CMT kaynak yönteminde parametrenin hız seçilmesinin sebebi CMT kaynak makinasının akımdan bağımsız çalışması ve kaynak makinasının en önemli özelliğinin yüksek hızlarda birleştirme yapabilesidir. Yapılan kaynaklı birleştirmede kaynak makinasının kaynak ilerleme hızı değiştirilmesiyle kaynak akım değeri ve kaynak voltaj değeri otomatik olarak değişmiştir. Kaynak esnasında değişimi yapılan parametreler her bir farklı malzeme için Çizelge 5.5 ve 5.6'da DP600, DP800 ve Çizelge 5.7 ve 5.8'de MS1200 ve MS1400 sacların parametreleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.5. DP600 çeliğinde kullanılan parametreler.

Numune kodu	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak ilerleme hızı (cm/dk)	Tel sürme hızı (m/dk)	Kullanılan gaz	Gaz debisi (l/dk)
DP600	151	15.2	70	13.2	M21 Ar+15-20%CO2	15
	153	14.7	100			
	154	14.6	150			
	152	14.4	200			

Çizelge 5.6. DP800 çeliğinde kullanılan parametreler.

Numune kodu	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak ilerleme hızı (cm/dk)	Tel sürme hızı (m/dk)	Kullanılan gaz	Gaz debisi (l/dk)
DP800	152	15.1	70	13.2	M21 Ar+15-20%CO ₂	15
	154	14.6	100			
	154	14.4	150			
	151	14.5	200			

Kullanılan kaynak parametrelerinde DP600 malzemesi için Çizelge 5.5'te görüldüğü üzere gaz debisi, kullanılan gaz cinsi ve tel sürme hızı sabit kalmıştır. Kaynak ilerleme hızlarının stabil değişimiyle amper ve voltaj değerleri otomatik değişmiştir. DP800 malzemesi için Çizelge 5.6'da benzer değişimler görülmektedir.

Çizelge 5.7. MS1200 çeliğinde kullanılan parametreler.

Numune kodu	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak ilerleme hızı (cm/dk)	Tel sürme hızı (m/dk)	Kullanılan gaz	Gaz debisi (l/dk)
MS1200	145	18	70	13.6	M21 Ar+15-20%CO ₂	15
	158	18.6	130	14.7		
	168	19.1	160	15.5		
	168	19.1	190	13.2		

Çizelge 5.8. MS1400 çeliğinde kullanılan parametreler.

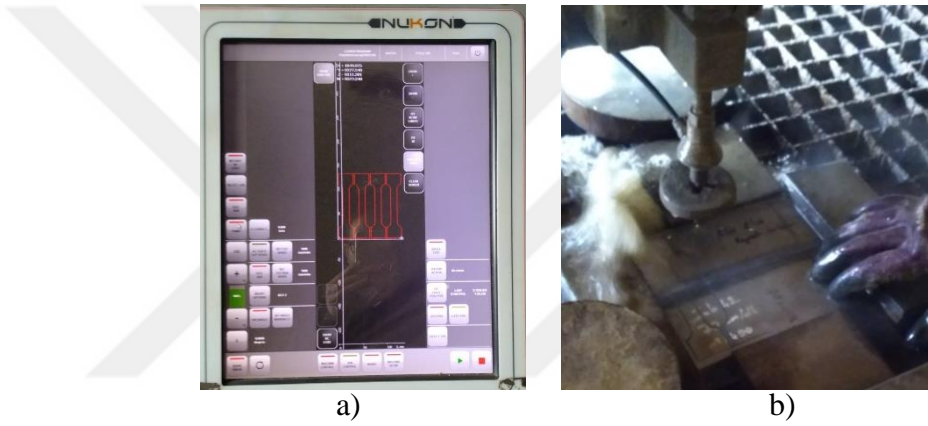
Numune kodu	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak ilerleme hızı (cm/dk)	Tel sürme hızı (m/dk)	Kullanılan gaz	Gaz debisi (l/min)
MS1400	145	18	70	13.6	M21 Ar+15-20%CO ₂	15
	161	18.7	130	14.9		
	168	19.1	160	15.5		
	168	15.5	190	13.2		

Kullanılan kaynak parametrelerinde MS1200 malzemesi için Çizelge 5.7'de görüldüğü üzere gaz debisi ve kullanılan gaz cinsi sabit kalmış ve tel sürme hızı değişim göstermiştir. Kaynak ilerleme hızlarının stabil değişimiyle amper ve voltaj değerleri otomatik değişmiştir. MS1400 malzemesi için Çizelge 5.8'de benzer değişimler görülmektedir.

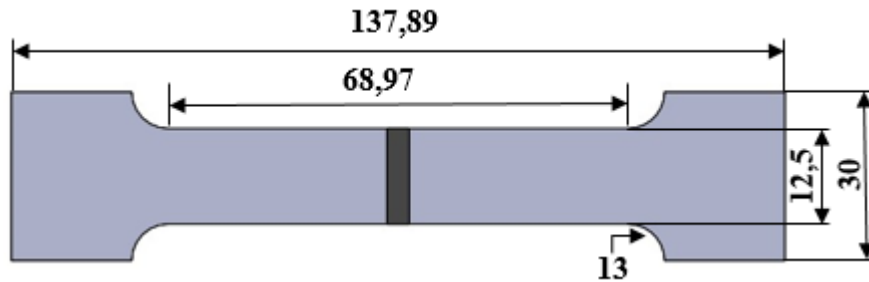
Burada parametreler üzerinden ısı girdisi, $J=(\eta \times 60 \times UI)/v$ formülü kullanılarak hesaplanmış olup, U ortalama kaynak voltajı (V), I ortalama kaynak akımı (A), v (cm/dk) ise kaynak ilerleme hızı ve η verim değeri 0,7 alınmış ve hesaplamalar 6.2'deki çekme deney sonuçları başlığı bölümünde gösterilmiştir.

5.5. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Belirlenen kaynak parametrelerinde gerçekleştirilen kaynak işlemi sonrası ısı girdisini önleme adına çekme test numuneleri ASTM-E8 standardında su-jeti marifetiyle kestirilmiştir. Su-jeti kesim işlemi Şekil 5.4'te ve çekme testi ölçüleri Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.4. a) Sujeti kesim cihazının dijital ekranı b) Sujeti kesim anı.



Şekil 5.5. Elde edilen çekme test boyutları.

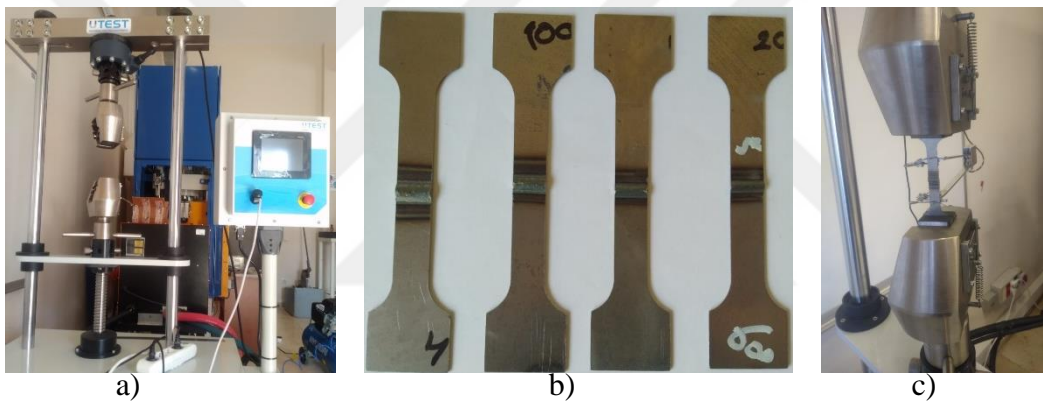
Kesilen malzemelere, kesim yönteminin sağladığı pürüzsüzlük sayesinde başka bir işlem uygulanmasına ihtiyaç kalmamıştır. Sadece kesimden sonra yüzeylerin ıslak kalması durumunda korozyona uğrayacağı düşüncesiyle bütün numuneler kurulanmıştır.

5.6. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deney numuneleri Düzce Üniversitesi bünyesindeki laboratuvarlarda gerçekleştirilmiştir. Makine Mühendisliği laboratuvarında çekme testleri, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT) laboratuvarlarında mikro yapı, SEM ve sertlik ölçümleri yapılmıştır.

5.6.1. Çekme Deneyi

Öncelikle ana malzemelerin (DP600, DP800, MS1200 ve MS1400) çekme dayanımlarını belirlemek için her bir malzemeden üçer adet olmak üzere toplam 12 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesinin dayanımını belirlemek için her kaynaklı parçadan üçer adet olmak üzere toplamda 48 adet çekme numunesi çıkartılmıştır.

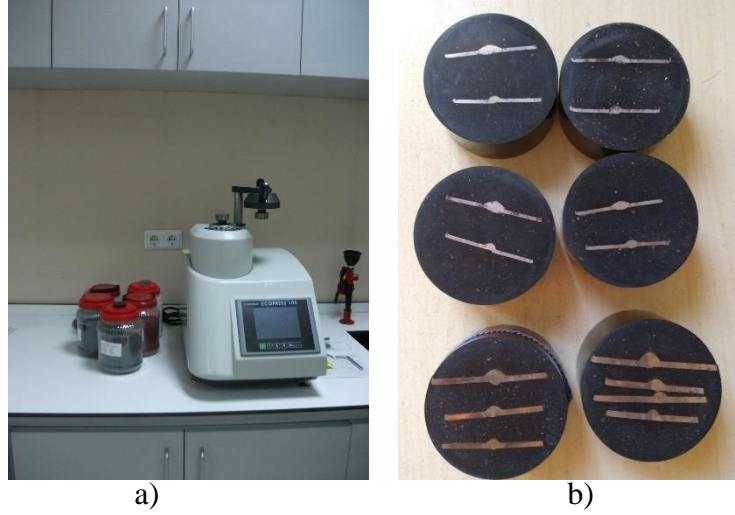


Şekil 5.6. a) UTEST marka çekme cihazı b) Kaynaklı çekme test numuneleri c) Çekme test düzeneği.

Hazırlanan çekme deneyleri Şekil 5.6'da gösterilen Düzce Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde mevcut UTEST marka 100 kN'luk çekme testinde $1 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ çekme hızında, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

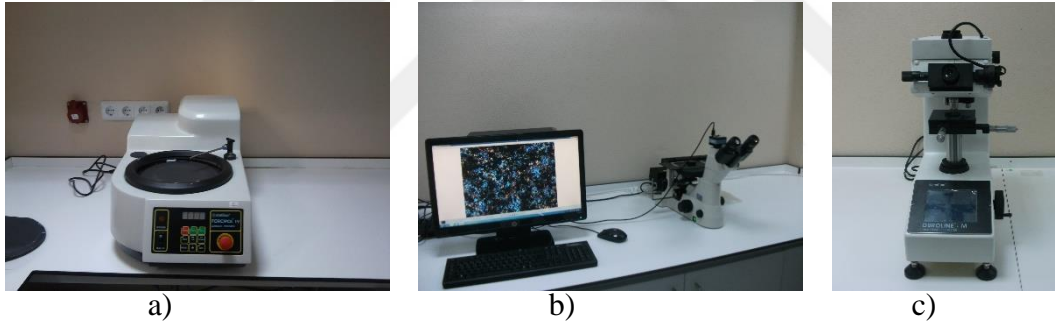
5.6.2. Metalografik İnceleme ve Vickers Sertlik Taraması

Kaynaklı birleştirmelerin Optik Mikroskop (OM) görüntülerinin yapılabilmesi ve sertlik değerlerinin karşılaştırılması için, ölçümlerden önce numuneler Şekil 5.7.a'da görüldüğü gibi Metkon marka Ecopress 100 model cihaz vasıtasıyla bakalite alınmıştır.



Şekil 5.7. a) Ecopress 100 model bakalit cihazı b) Test numuneleri.

Bir sonraki adımda bakalite alınan numuneler sırasıyla 120, 350, 500, 800 ve 1200 zımparalarla zımparalanmıştır. Parlatma işlemi 6, 3 ve 1 μm solüsyonlar kullanarak keçelerle çizikler giderilmiştir. Kullanılan zımparalama ve parlatma işlemleri Şekil 5.8.a'da görülen Metkon Marka Forcipol 1V Model cihazla yapılmıştır.



Şekil 5.8. a) Zımparalama ve parlatma Forcipol 1V model cihaz b) Eclipse MA100 model optik mikroskop c) Duroline-M model mikro sertlik cihazı.

Dağlama yapmak için %2 NH_3 ve %98 Alkol karışımı kullanılmış ve optik mikroskop olarak Şekil 5.8.b'de görülen Nikon Marka Eclipse MA100 model cihaz kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri, kaynak bölgesinden başlanmak üzere ana malzemenin sertlik değerine ulaşıncaya kadar 0,5 mm aralıklarla yapılmıştır.

Daha sonra numunelerin sertlik ölçümleri alınmış, Şekil 5.8.c'de Metkon marka ve Duroline-M model cihazda sertlik ölçümleri yapılmıştır.

5.6.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Robotik CMT kaynaklı birleştirme yapılmış parçalardan hazırlanan numuneler, taramalı elektron mikroskopuyla incelenmiş, kaynak dikişi ve geçiş bölgelerinden SEM görüntüleri alınmıştır. Bu işlemler için FEI marka Quanta FEG 250 model SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.9).



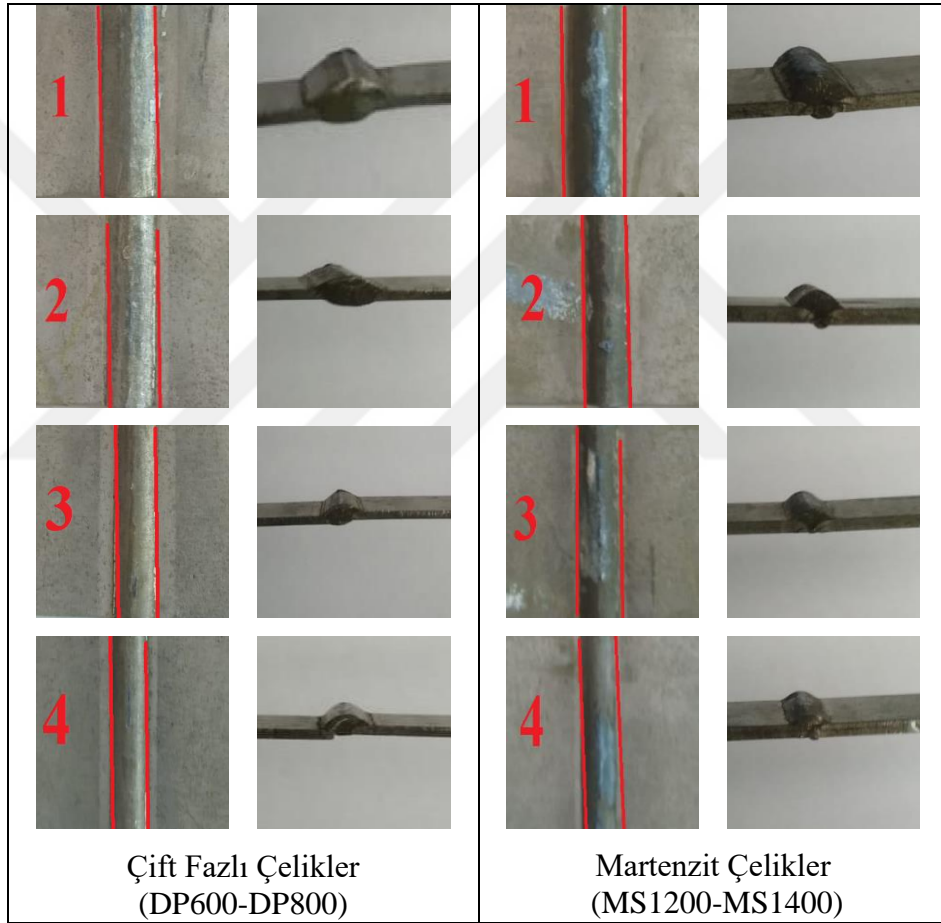
Şekil 5.9. SEM FEI marka Quanta FEG 250 model cihaz.

Malzemelerin yüksek büyütmelerde içyapı görüntülerine ulaşabilmek için Şekil 5.9'daki SEM cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihaz sayesinde tane yapıları daha belirgin olarak tespit edilmiş ve görüntüleri alınmıştır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. MAKRO İNCELEMELER

Martenzit ve çift fazlı çeliklerin CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sonucu kaynak hızlarına bağlı olarak kaynak dikiş genişliği aşağıdaki Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Kaynak dikiş genişlikleri mm cinsinden Çizelge 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Kaynak dikiş görüntüsü.

Çizelge 6.1. DP-MS çeliklerin kaynak genişliği.

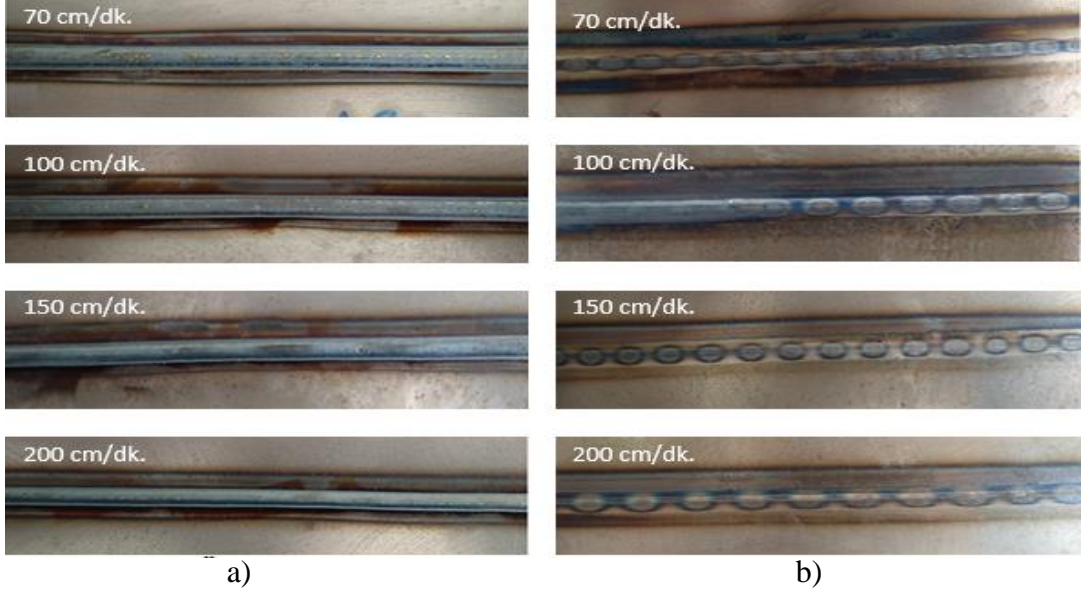
DP çelikleri	Numune no	Kaynak ilerleme hızı (cm/dk)	Kaynak genişliği (mm)	MS çelikleri	Kaynak ilerleme hızı (cm/dk)	Kaynak genişliği (mm)
	1	70	6,34		70	5,91
2	100	5,57	130	4,88		
3	150	4,07	160	4,50		
4	200	3,50	190	3,90		

Şekil 6.1’de görüldüğü üzere kaynak dikiş genişlikleri ve yükseklikleri, kaynak ilerleme hızının artmasıyla doğru orantılı olarak azalmıştır. Çizelge 6.1’de de ölçülen bu değerler görülmektedir. Kaynak ilerleme hızının artmasıyla kaynak dikiş genişliği azalmıştır.

Mercan yaptığı lisansüstü çalışmasında farklı serilerdeki alüminyum alaşımlarını robotik MIG kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve akım sabit kaynak ilerleme hızının artmasıyla kaynak metalinin daraldığını belirtmiştir [18].

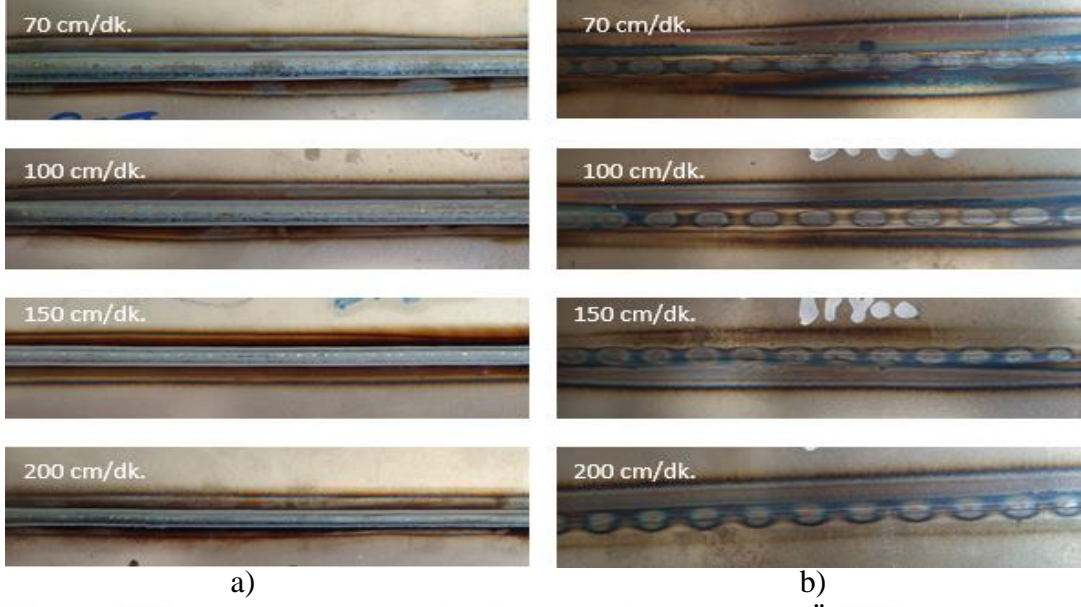
6.1.1. Kaynak Dikişlerin Ön ve Arka Yüzeyleri

Yapılan tez çalışmasında, deney numuneleri olarak DP ve MS serilerinden toplamda dört farklı (DP600, DP800, MS1200 ve MS1400) malzeme kullanılmıştır. Farklı kaynak ilerleme hızlarına bağlı olarak malzemenin ön ve arka yüzeylerinde meydana gelen değişimler, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te sırasıyla DP600 ve DP800 numunelerinden ve Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’te ise MS1200 ve MS1400 numunelerinden alınan görüntüler sergilenmiştir. Şekil 6.2-6.5 incelendiğinde, deney numunelerinin birleştirilmesinde tercih edilen kaynak ilerleme hızlarının artmasına bağlı olarak kaynak dikiş genişliğinde azalma, ITAB bölgelerinde de daralma gözlemlenmiştir.



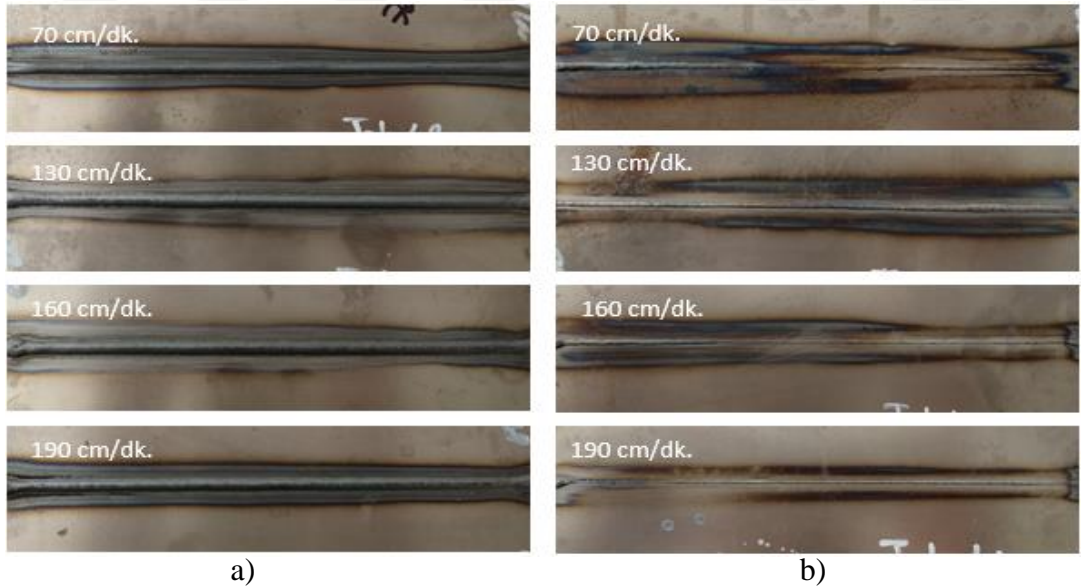
Şekil 6.2. DP600 sac malzemesinin farklı parametrelerdeki a) Ön ve b) Arka yüzey görünümü.

Kaynaklı DP600 malzemenin kaynak ilerleme hızına bağlı olarak Şekil 6.2’de kaynak ilerleme hızının artmasıyla, numunenin arka yüzeyindeki dikiş kökünün değişim gösterdiği görülmektedir. Numunelerin ince (1 mm) olmasından dolayı CMT kaynak yöntemindeki dolgu telinin damlacık şeklinde giriş ve çıkış esnasındaki oluşturduğu etki malzemenin arka yüzeyinde açıkça görülmektedir. Yine değişken olarak kullanılan kaynak ilerleme hızının artması; kaynak dikiş genişliğinde de azalmaya ve ITAB’ın daralmasına sebep olmuştur. Bu durum da sürekli, düzgün ve çapaksız kaynaklı numunelerin elde edilmesine imkân sağlamıştır.

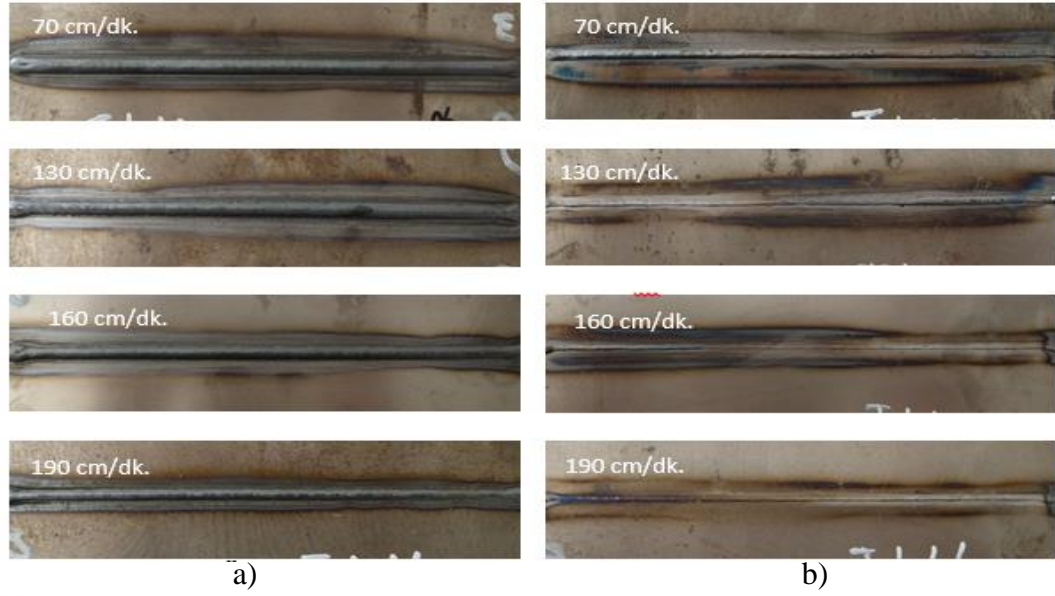


Şekil 6.3. DP800 sac malzemesinin farklı parametrelerdeki a) Ön ve b) Arka yüzey görünümü.

Şekil 6.3'te görüldüğü üzere, 70 cm/dk kaynak hızı ile birleştirilen DP800 numunenin arka yüzeyi, 200 cm/dk kaynak hızı ile birleştirilen numuneden farklı görünüme sahiptir. Bu durum, numunelerin 70 cm/dk kaynak ilerleme hızında daha yüksek ısı girdisine maruz kaldığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.4. MS1200 sac malzemesinin farklı parametrelerdeki a) Ön ve b) Örka yüzey görünümü.



Şekil 6.5. MS1400 sac malzemesinin farklı parametrelerdeki a) Ön ve b) Arka yüzey görünümü.

Son olarak, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 incelendiğinde, MS1200 ve MS1400 numunelerin arka yüzeylerindeki kök kısımlarının kaynak ilerleme hızının minimum olduğu yerlerde daha belirgin olduğu görülmektedir. Martenzitik malzemeler çift fazlı çeliklerden 0,5 mm daha kalın olduğu için malzemelerin arka yüzeylerinde, çift fazlı çeliklerdeki gibi damlacık transferi gözükmemektedir. Kaynak ilerleme hızları karşılaştırıldığında, malzeme yüzeyinde oluşan yanmaların düşük ilerleme hızında (70 cm/dk) daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle parametrelerimizden en yüksek kaynak ilerleme hızındaki (190 cm/dk) malzemenin arka yüzeyinde minimum seviyede yanma oluşmuştur.

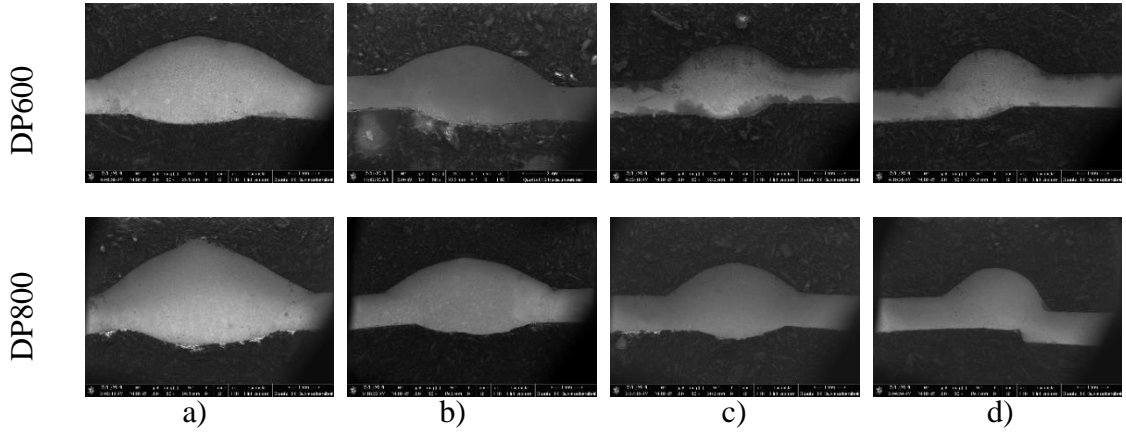
Yapılan çalışmada CMT kaynak yöntemi ile kullanılan DP600, DP800, MS1200 ve MS1400 ince saclardaki geometrik çarpılmalar minimum düzeyde olmuştur.

Medgyesi ve arkadaşları ince saçların birleştirilmesinde malzeme de oluşan geometrik bozulma (çarpılma), CMT yöntemi ile minimum düzeye düştüğünü belirtmişler [26].

6.1.2. Kaynak İşlemi Uygulanan Malzemelerin Dikiş Yükseklik İncelemesi

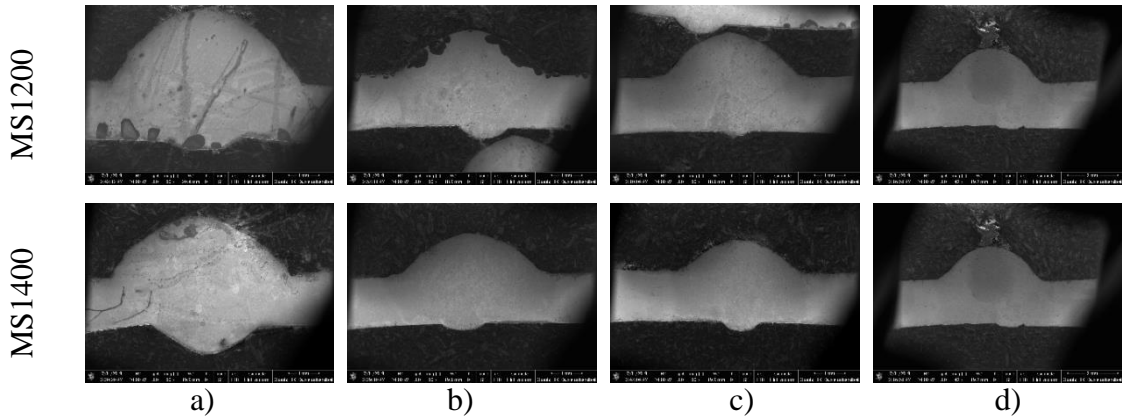
Otomotiv endüstrisinde kullanılan DP600-DP800 ve MS1200-MS1400 malzemelerin farklı kaynak hızlarında CMT kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde, kaynak yönteminin sağlamış olduğu nüfuziyetin iyi olduğu Şekil 6.5'te (DP600-DP800) ve 6.6'da (MS1200-MS1400) kaynaklı numunelerde görülmektedir. Şekil 6.5 ve 6.6'da sırasıyla kaynaklı numunelerin dikiş yüksekliği görülmektedir. Kaynak ilerleme hızının

artması ile kaynak ısı girdisi düşmüş ve kaynak dikiş yüksekliği azalmıştır.



Şekil 6.6. DP600 ve DP800 malzemelerin farklı kaynak hızlarında kaynak dikiş görünümü a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk.

Şekil 6.6'da (DP600-DP800) kaynaklı numunelerin makro görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.6 incelendiğinde, en fazla kaynak dolgu malzemesi ve yığılmanın Şekil 6.6.a'da 70 cm/dk kaynak ilerleme hızında ve en az kaynak dolgu malzemesinin ise Şekil 6.6.d'de 200 cm/dk kaynak ilerleme hızında meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, yüksek kaynak ilerleme hızlarında dolgu malzemesinin kaynak edilecek bölgeyi hızlı geçmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca Şekil 6.6.d'de gösterilen şekilde eksen uyumsuzluğu görülmekte ve bunun sebebi kaynaktan önce puntalama hatası olduğunu belirtmektedir.. Şekil 6.7'de (MS1200-MS1400) kaynaklı numunelerin makro görüntüleri verilmiştir.



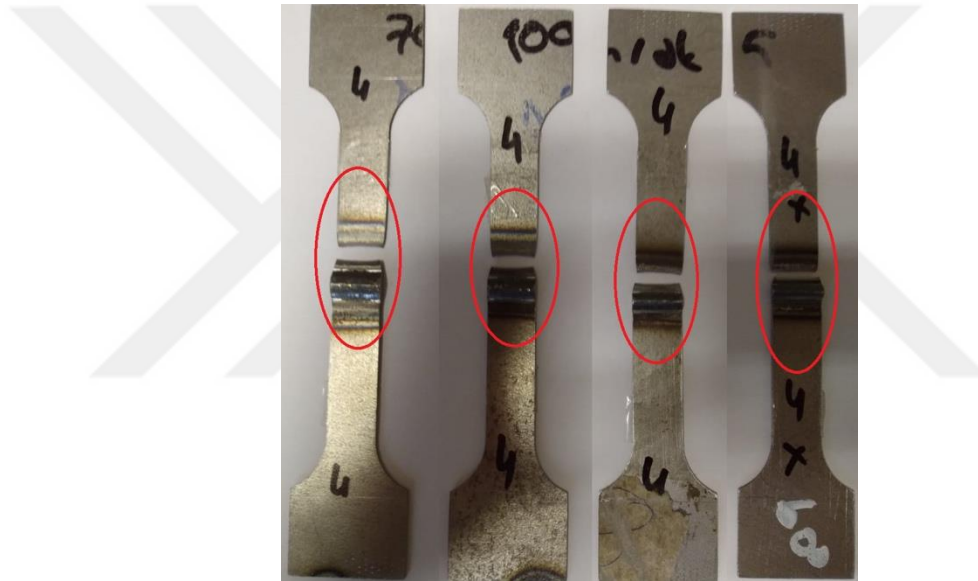
Şekil 6.7. MS1200 ve MS1400 malzemelerin farklı kaynak hızlarında kaynak dikiş görünümü a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk.

Şekil 6.7 incelendiğinde, değişken olan kaynak ilerleme hızı Şekil 6.7.a'dan Şekil 6.7.d'ye doğru artmasıyla malzemenin kaynak dikiş yüksekliği ve kaynak eninde azalma

göstermiştir. Bu değişimler en fazla kaynak dolgu malzemesinin ve yığılmanın Şekil 6.7.a'da 70 cm/dk kaynak ilerleme hızında ve en az kaynak dolgu malzemesinin ve yığılmanın ise Şekil 6.7.d'de 190 cm/dk kaynak ilerleme hızında meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, yüksek kaynak ilerleme hızlarında kaynak edilecek bölgede kaynak torcunun uygulanacak yüzeyde daha az durmasından kaynaklanmaktadır.

6.2. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Yapılan çalışmada kullanılan DP ve MS çelik sacları CMT kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen malzemelerden elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır. Uygulanan çekme test sonuçları Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.8. Farklı kaynak hızlarında birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kopma bölgeleri.

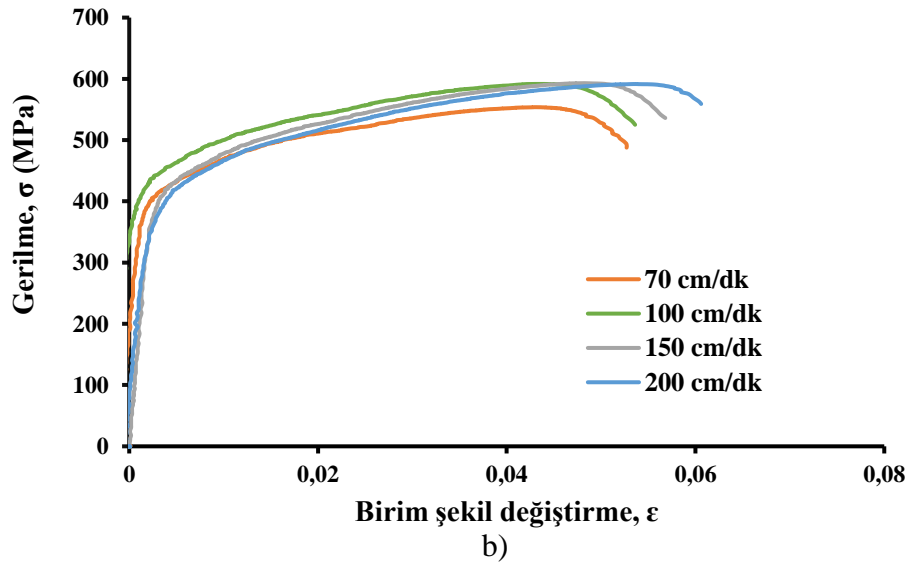
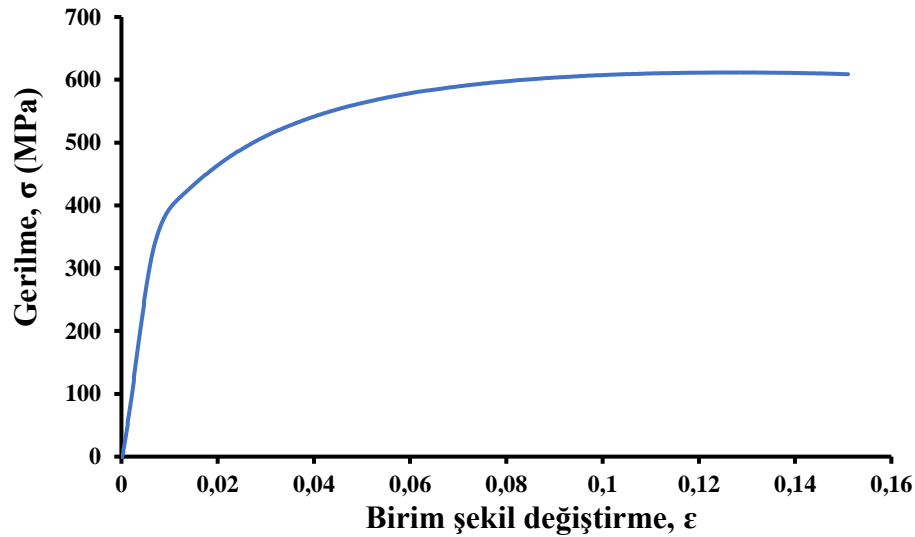
Şekil 6.8'de farklı kaynak hızlarında birleştirilen DP ve MS çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinden sonra malzemelerin ısı girdisine bağlı olarak mukavemet değerlerini belirlemek amacıyla yapılan çekme testlerinde, numunelerinde kopmalar ITAB bölgesi içerisinde ana malzemenin kaynak dikişine yakın kısmında meydana gelmiştir. Kaynaklı birleştirmeler istenen mukavemet değerlerini sağladığı için kaynak dikişlerinden kopma olmamıştır.

Kaynaklı malzemelerin çekme test değerleri ölçümünde, kaynak esnasında meydana gelen ısı girdisi değişimi farklı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Ana malzeme ve kaynaklı malzemelerin çekme test değerleri sırasıyla Şekil 6.9'da DP600, Şekil 6.10'da DP800,

Şekil 6.11’de MS1200 ve Şekil 6.12’de MS1400 numuneleri için verilmiştir. Çalışmada, ısı girdisi değerleri, Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$J = (\eta \cdot 60 \cdot U \cdot I) / v \quad (6.1)$$

Eşitlik 1’de, U ortalama kaynak voltajı (V), I ortalama kaynak akımı (A), v (cm/dak) ise kaynak ilerleme hızını temsil etmektedir. Ayrıca, çalışmada η verim değeri 0,7 alınmıştır. Kullanılan parametreler Eşitlik 1’de yerine konularak ısı girdi değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.2-6.5’te sunulmuştur.



Şekil 6.9. DP600 malzemesinin a) Kaynaksız gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi b) Malzemenin farklı kaynak hızlarındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.

Kaynak uygulanmayan DP600 referans numunesine ait gerilme-birim şekil değiştirme

eğrisi Şekil 6.9.a’da ve kaynak uygulanan numuneye kaynak ilerleme hızına bağlı olarak değişim gösteren gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Şekil 6.9.b’de verilmiştir. Şekil 6.9.b incelendiğinde, DP600 numuneler için kaynak ilerleme hızının artmasıyla birlikte çekme değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir. Şekil 6.9. b’de görüldüğü üzere, 150 ve 200 cm/dk ilerleme hızlarında, kaynak uygulanmamış DP600 numunesine kıyasla, çekme değerlerinde daha yüksek değerler elde edilmiştir. Yani kaynaklı malzemelerde mukavemette düşme değil, tam aksine artış gözlemlenmiştir. Daha düşük kaynak ilerleme hızlarında (70 ve 100 cm/dk) ise kaynaklı numunelerin kaynak edilmemiş referans numuneye kıyasla çekme değerlerinde düşüş görülmüştür. Kaynak hızlarına bağlı olarak elde edilen çekme test sonuçları daha detaylı olarak Çizelge 6.2’de de verilmiştir.

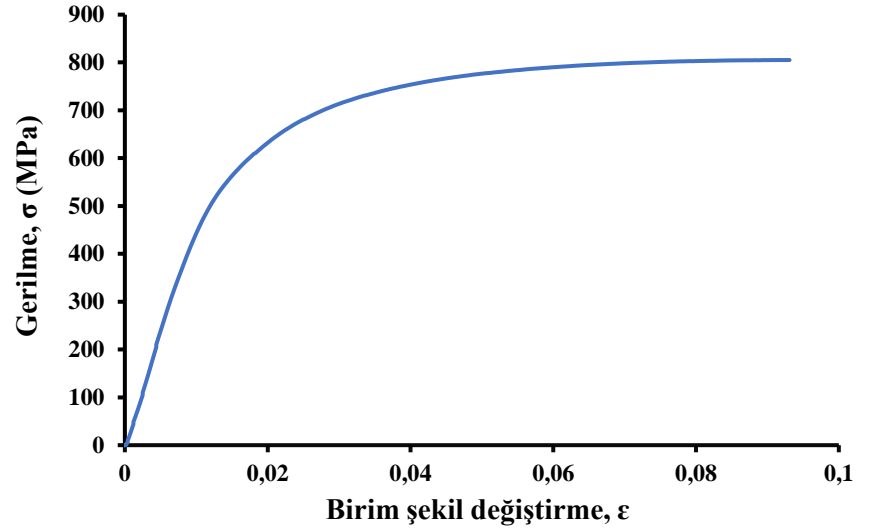
Çizelge 6.2. DP600 sac malzemeni farklı parametrelerde birleşim özellikleri.

Örnek Numarası	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Voltajı (V)	Kaynak İlerleme Hızı (cm/dk)	Kaynak Isı Girdisi (J/cm)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Değişim (%)
Kaynaksız numune	-	-	-	-	610	-
1	151	15,2	70	1.377,1	553	-9.28 ↓
2	153	14,7	100	944,6	591	-3.11 ↓
3	154	14,6	150	629,5	592	-2.95 ↑
4	152	14,4	200	459,6	591	-3.11 ↑

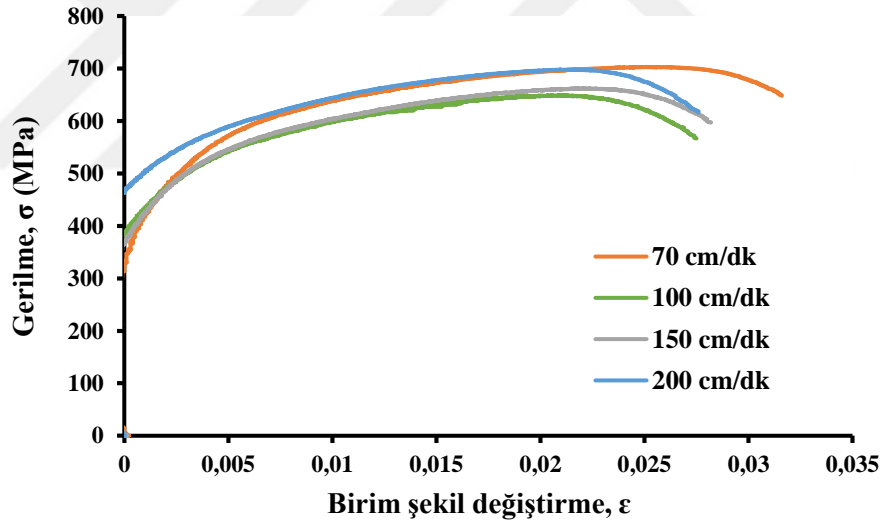
Çizelge 6.1’de verilen DP600 malzemesinde kullanılan parametre değerlerine göre ısı girdisi formülü ile hesaplanması sonucunda, kaynak ilerleme hızının artmasıyla ısı girdisinin düştüğü gözlemlenmiştir. Düşen ısı girdisi ve kullanılan dolgu malzemesi sayesinde 150 ve 200 cm/dk kaynak hızlarında, çekme dayanımı ana malzemeden yüksek çıkmıştır. Bu sonuç CMT yönteminin diğer ark kaynaklarından farkını ortaya koymaktadır. DP gibi özel malzemelerin yapısında bozulma meydana getirmemesi de ayrı bir olumlu sonuçtur. Şekil 6.10’da DP800 malzemesinin kaynaksız ve kaynak uygulanan malzemelerin çekme test sonuçları gösterilmiştir.

Özsaraç ve arkadaşları yaptığı çalışmada 1,2 mm kalınlığında DP600 çeliğini CMT yöntemi ile bakır esaslı CuSn1 ilave teli 70 A akım ve 24 cm/dk kaynak ilerleme hızında (1053,3 J/cm ısı girdisi ile) birleştirme yapmışlar ve çekme mukavemeti 598 MPa elde etmişler [23].

Çetin DP600-DP1000 çelik sacları lazer kaynağı ile birleştirilmiş, sonuç olarak ışıın çapı arttıkça çekme mukavemeti azaldığını tespit etmiştir. Yani ısı girdisi azalmasına bağlı olarak, çekme mukavemetinin azaldığını rapor etmiş [24].



a)



b)

Şekil 6.10. DP800 malzemesinin a) Kaynaksız gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi b) Malzemenin farklı kaynak hızlarındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.

Şekil 6.10.b'de DP800 kaynaklı malzemenin çekme test değerleri karşılaştırıldığında 70 cm/dk kaynak hızına bakıldığında en yüksek çekme test değerine ulaşılmıştır. Kullanılan SG2 ilave dolgu malzemesinin dayanımı DP800 malzemesinin dayanımından düşük olduğu için çekme dayanımları düşük ölçüldüğü söylenebilir. Diğer numunelerden alınan sonuçlara kıyasla DP800 numunesinden alınan bu farklı sonucun sebebi, ilave metal

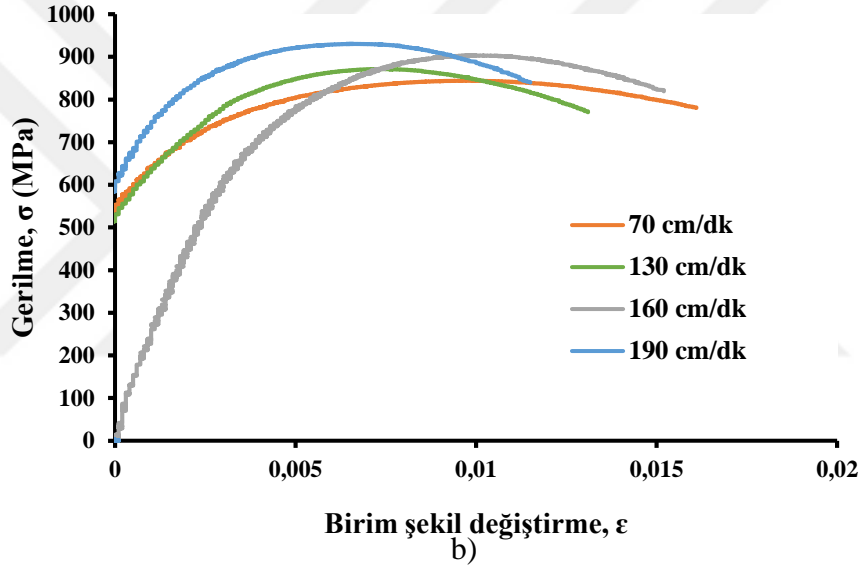
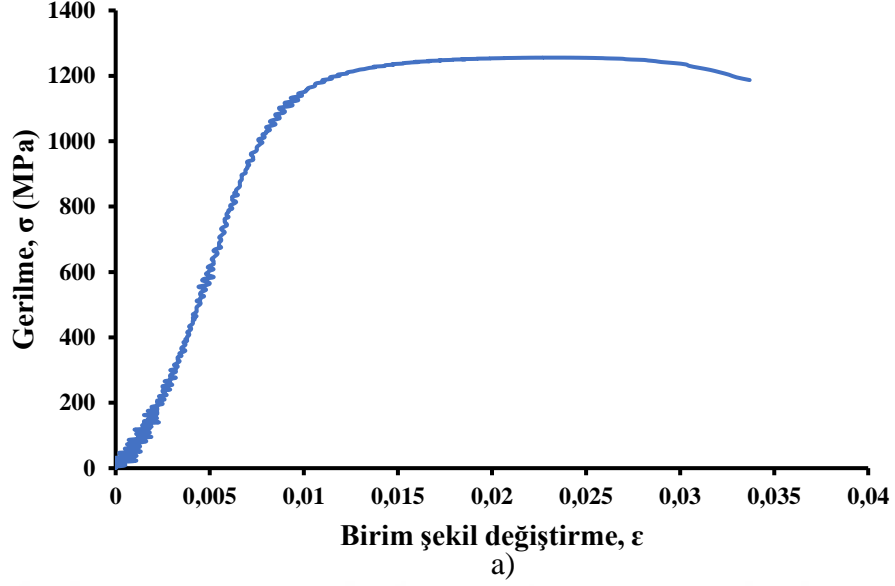
kompozisyonunun ana malzemeyle daha az uyumlu olmasıdır. Düşük kaynak hızında yığılma ve yüksek ısı girdisinden mütevellit düşük mukavemet değerleri beklenirken, bu parametrede elde edilen değer, ilave metal/ana metal kompozisyonu uyumsuzluğundan dolayı yüksek ölçülmüştür. Çizel 6.3'te DP800 malzemesinde kullanılan parametreler verilmiştir.

Çizelge 6.3. DP800 sac malzemeni farklı parametrelerde birleşim özellikleri.

Örnek Numarası	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Voltajı (V)	Kaynak İlerleme Hızı (cm/dk)	Kaynak Isı Girdisi (J/cm)	Max. Çekme Muk. 0(MPa)	Değişim (%)
Kaynaksız numune	-	-	-	-	805	-
1	152	15,1	70	1.377,1	702	-12.79↓
2	154	14,6	100	944,3	648	-19.50↓
3	154	14,4	150	620,9	661	-17.89↓
4	151	14,5	200	459,8	697	-13.42↓

Çizelge 6.3'te verilen DP800 malzemesinde kullanılan parametre değerleri ile ısı girdileri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlarda kaynak ilerleme hızının artmasıyla ısı girdisi düşmüştür. Kullanılan dolgu malzemesinin (SG2) de mekanik özellikleri değerlendirildiğinde DP800 malzemeyle kimyasal kompozisyonu tam uymadığından yüksek mukavemet sağlamadığı söylenebilir. MS1200 malzemesinin çekme test sonuçları Şekil 6.11'de verilmiştir.

Acar (2018) çalışmasında DP800 çelik sacını CMT lehimleme yöntemi ile birleştirmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmasında lehim ilerleme hızlarını (17, 20, 22, 24, 27, 30, 32, 36 cm/dk) seçerek çekme dayanımlarını karşılaştırmıştır. En yüksek 24 cm/dk lehim ilerleme hızında 763 MPa çekme mukavemeti elde etmiş [8].



Şekil 6.11. MS1200 a) Kaynaksız gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi b) Malzemenin farklı akım, voltaj ve kaynak hızlarındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.

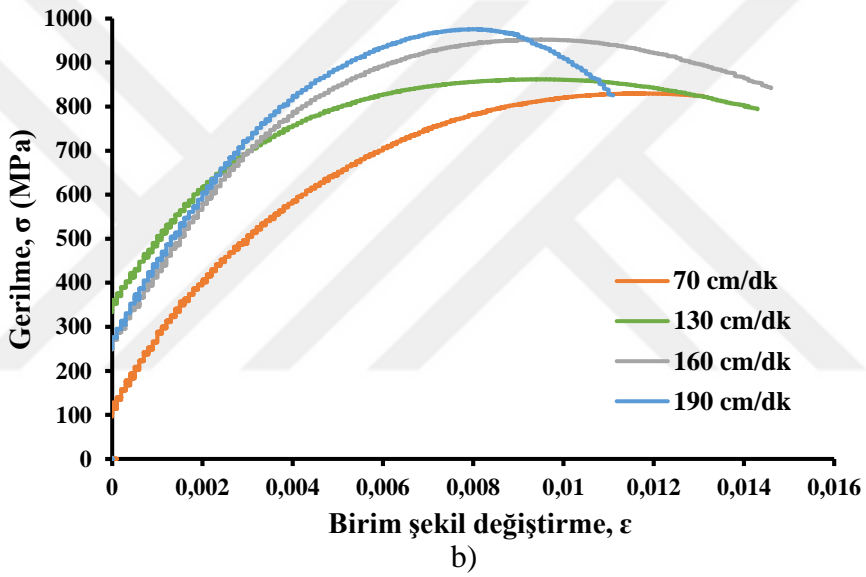
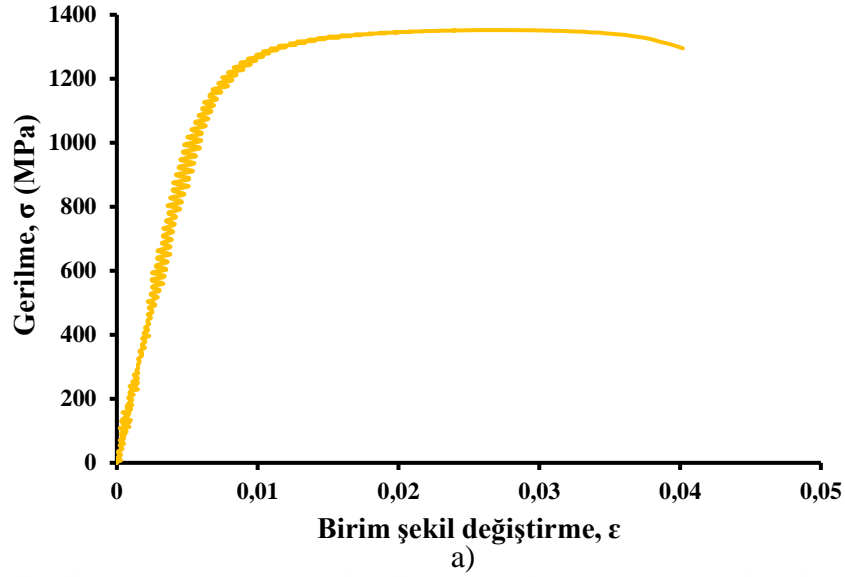
MS1200 malzemesinin Şekil 6.11.a'da kaynak işlemi uygulanmadan gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi verilmiştir. Şekil 6.11.b'de kaynaklı malzemelerin çekme test sonuçlarına bakıldığında kaynak ilerleme hızının değişken parametre olarak ele alınması sonucunda kaynak ilerleme hızı arttıkça çekme dayanımı artmıştır. Bu özellik CMT kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerinden ayıran en önemli özelliğidir. Robotik kaynak makinasının yüksek çalışma hızlarında birleştirme yapabilmekte ve buna bağlı olarak malzeme ısı girdisi düşmektedir. Çizelge 6.4'te MS1200 malzemesine uygulanan parametre değerleri sonucunda elde edilen çekme test verileri ve ısı girdisi görülmektedir.

Çizelge 6.4. MS1200 sac malzemeni farklı parametrelerde birleşim özellikleri.

Örnek Numarası	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Voltajı (V)	Kaynak İlerleme Hızı (cm/dk)	Kaynak Isı Girdisi (J/cm)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Değişim (%)
Kaynaksız numune	-	-	-	-	1255	-
1	145	18	70	1.566	843	-32.83↓
2	158	18,6	130	949,4	871	-30.60↓
3	168	19,1	160	842,3	903	-28.05↓
4	168	19,1	190	709,3	930	-25.90↓

Çizelge 6.4'e bakılarak sonuçlar değerlendirildiğinde, kaynak ilerleme hızı 70 cm/dk'da iken ısı girdisi 1.566 J/cm'ye çıkmıştır. 190 cm/dk kaynak ilerleme hızı uygulandığında 709,3 J/cm ısı girdisi elde edilmiştir. 70 cm/dk kaynak ilerleme hızında 843 MPa ve 190 cm/dk kaynak hızında 930 MPa çekme dayanımı elde edilmiş ve artış gözlemlenmiştir. Şekil 6.12'de Ms1400 malzemesinin çekme test değerleri verilmiştir.





Şekil 6.12. MS1400 a) Kaynaksız gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi b) Malzemenin farklı akım, voltaj ve kaynak hızlarındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.

Martenzit malzemenin kaynaklı birleştirme esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalmasından dolayı Şekil 6.12’de görüldüğü üzere ana malzemelerden daha düşük çekme dayanımları elde edilmiştir. Ancak birleştirme esnasında ana malzeme içyapısını korumak amacıyla kaynak ilerleme hızı arttırılıp, yüksek ısı girdisine maruz kalması engellenmeye çalışılmıştır. Bunun sonucunda ana malzeme dayanımına ulaşılamasa da kaynak ilerleme hızının artmasıyla mukavemet değerinin diğer parametrelere göre arttığı söylenebilir. Çizelge 6.5’te bu açıkça görülmektedir.

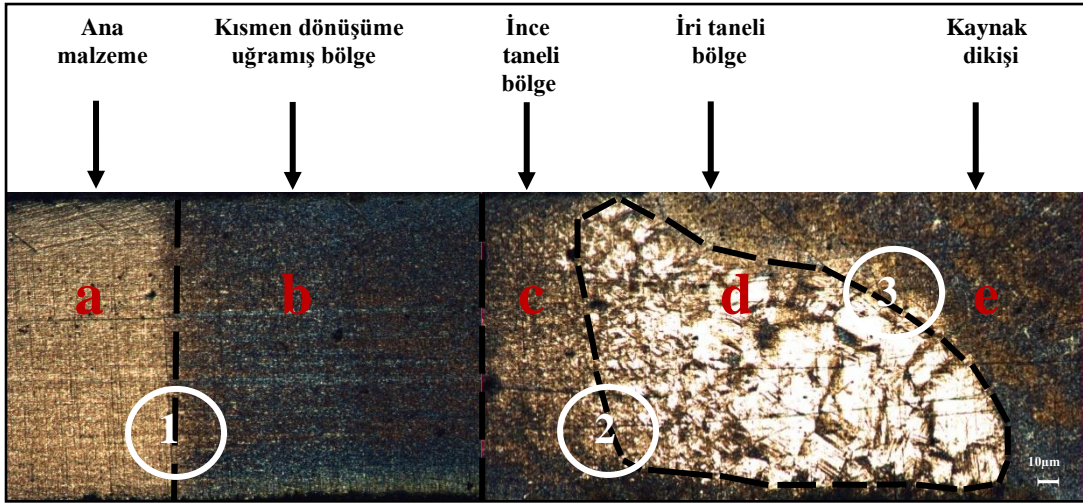
Çizelge 6.5. MS1400 sac malzemeni farklı parametrelerde birleşim özellikleri.

Örnek Numarası	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Voltajı (V)	Kaynak İlerleme Hızı (cm/dk)	Kaynak Isı Girdisi (J/cm)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Değişim (%)
Kaynaksız numune	-	-	-	-	1352	-
1	145	18	70	1.566	829	-38.68↓
2	161	18,7	130	972,6	861	-36.32↓
3	168	19,1	160	842,3	952	-29.59↓
4	168	19,1	190	709,3	975	-27.89↓

Martenzitik çelik sac numunelerin çekme test sonuçlarında da kaynak ilerleme hızının artmasıyla ısı girdisi düşmüş ve çekme mukavemet değerleri artış göstermiştir. Ancak bu artış Çizelge 6.5'te görüldüğü üzere ana malzemenin mukavemet değerine ulaşamamıştır. Kaynak ilerleme hızı arttıkça, kaynak parametreleri arasında mukavemet değerlerinde artış sağlandığı görülmüştür.

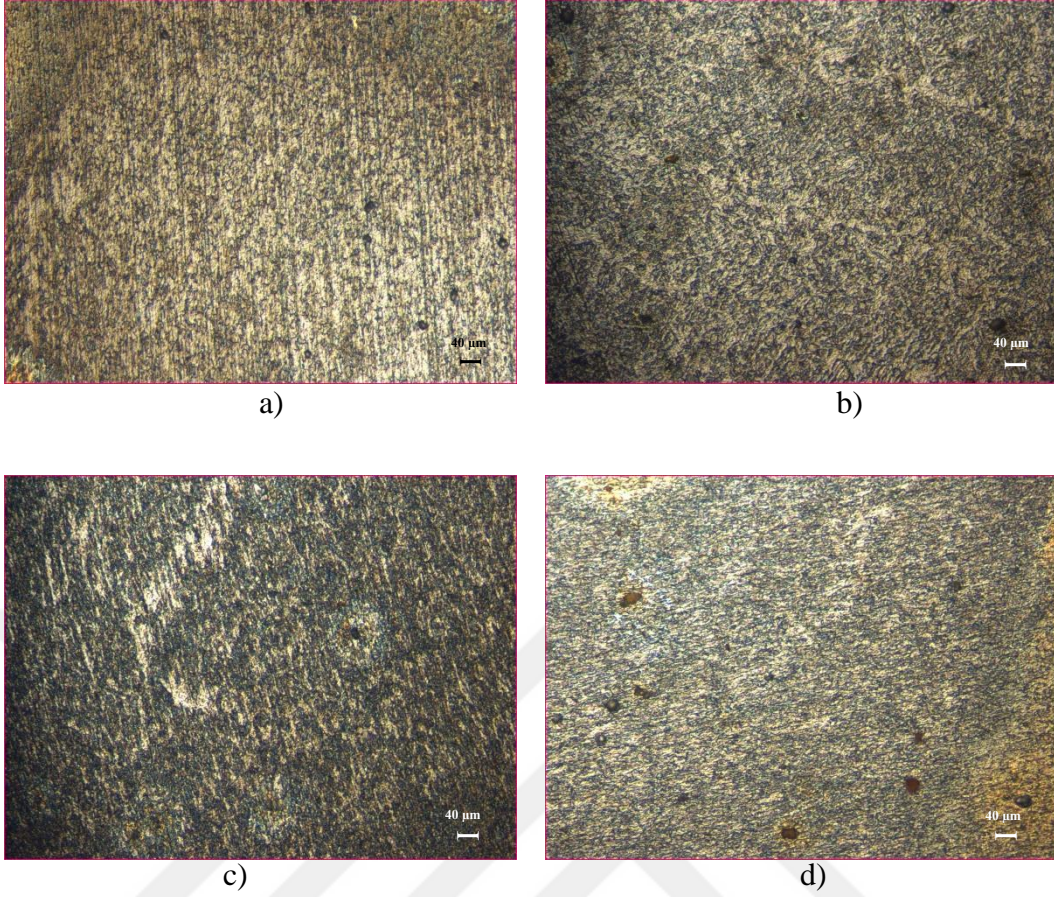
6.3. METALOGRAFİK İNCELEME SONUÇLARI

Çift fazlı çeliklerden DP600, DP800 malzemeleri SG2 ilave dolgu teli kullanılarak CMT kaynağı ile birleştirilmiştir. Malzemelerde kaynak hızının mikro yapısı üzerindeki etkisini belirlemek üzere kaynaklı numuneler optik mikroskop ile incelenmiştir. Martenzitik çeliklerden MS1200, MS1400 malzemeleri için dolgu teli olarak ER110 malzemesi kullanılmıştır. Malzemelerde kaynak hızının mikro yapısına etkisi incelenmiştir.



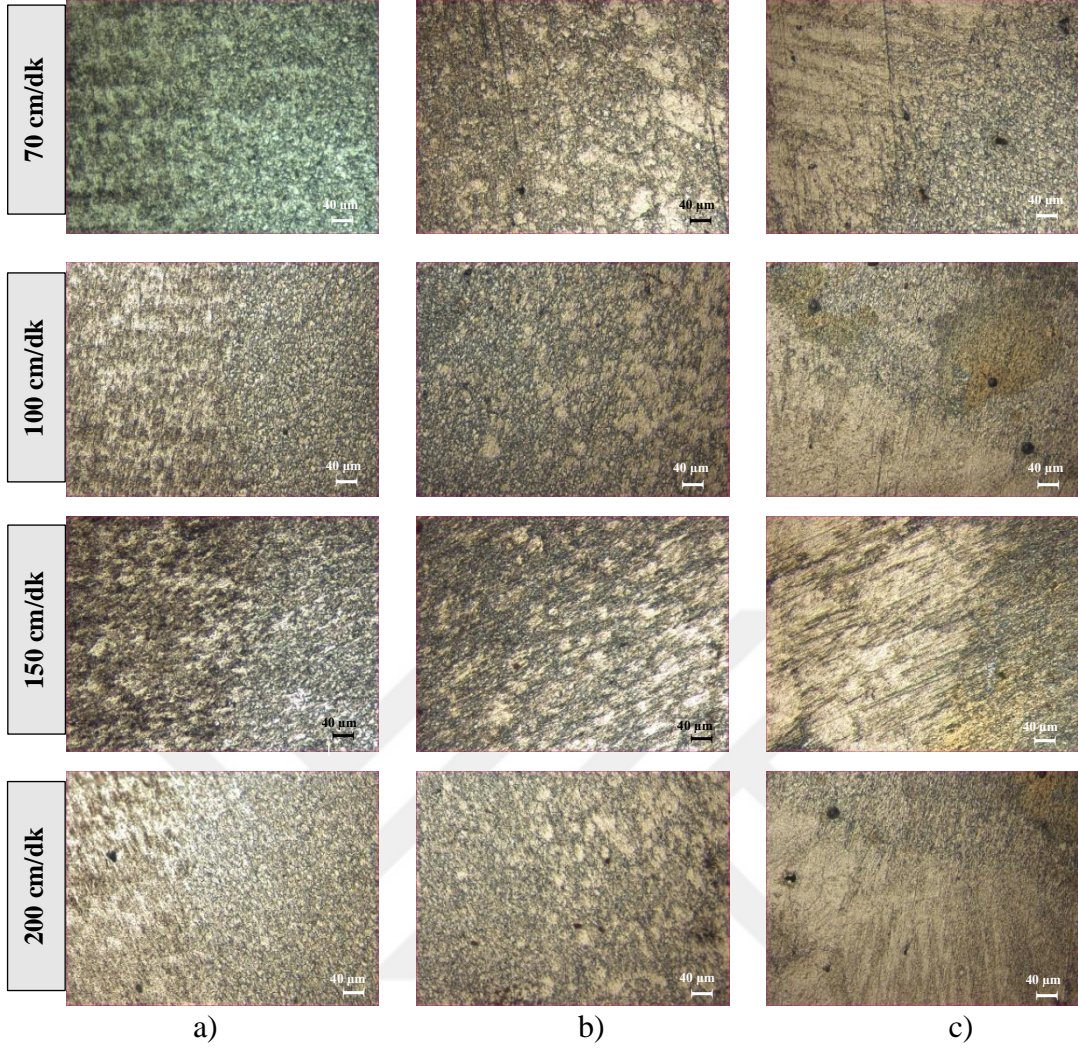
Şekil 6.13. Kaynaklı malzemenin 5X büyütmedeki ITAB görüntüsü a) Ana malzeme b) Kısmen dönüşüme uğramış bölge c) İnce taneli bölge d) İri taneli bölge e) Kaynak dikişi.

Şekil 6.13'te DP800 kaynaklı malzemenin optik mikroskop yardımı ile 5X büyütmedeki görüntüsü alınmıştır. Bu görüntü de kaynak esnasında ısı girdisiyle meydana gelen mikro yapı değişimi gösterilmiştir. Bu yapılar kaynak dikişi, iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşüme uğramış bölge ve ana malzeme şeklinde kaynak merkezinden ana malzemeye doğru tane yapıları gözükmemektedir. Şekil 6.13'te ayrıca geçiş bölgeleri (1, 2, 3) harfleriyle belirtilmiştir. Şekil 6.14'te de DP600 malzemenin farklı kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları görülmektedir.



Şekil 6.14. DP600 malzemenin a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları.

Kullanılan DP600 malzemesinin kaynak metal bölgesindeki mikro yapıları Şekil 6.14’te gösterildiği gibidir. Kullanılan dolgu malzemesinin (SG2) DP600 malzemeyle kimyasal kompozisyonları yakın olduğundan ve soğuk metal transferi yöntemiyle de düşük ısı girdisinden mütevellit tane yapısı farklılaşması düşük olduğundan geçiş bölgelerinde belirgin farklılık tespit edilememiştir. Şekil 6.15’te çift fazlı (DP800) numunelerin farklı kaynak hızlarındaki ITAB bölgesi mikro yapı görüntüleri verilmiştir.

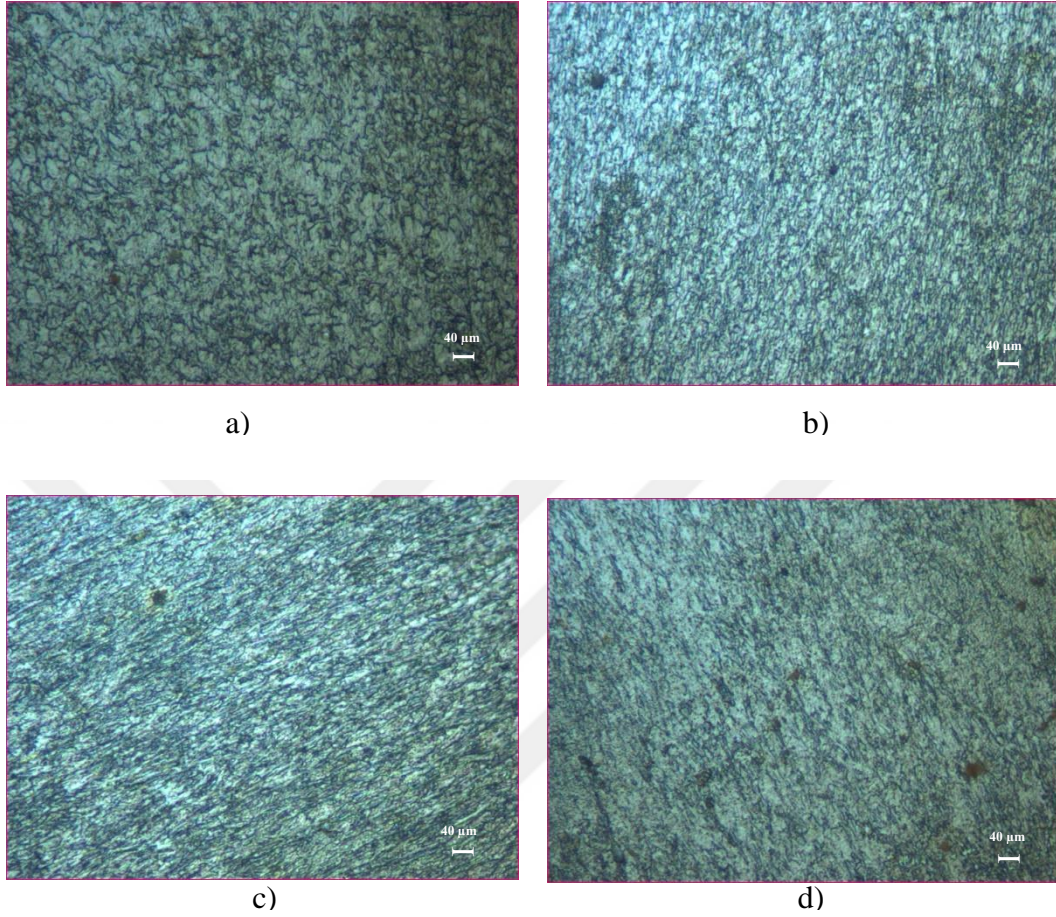


Şekil 6.15. Çift fazlı çeliğin farklı kaynak ilerleme hızlarına göre a) Ana malzeme ile kısmen dönüşüme uğramış bölge b) İri taneli bölge ile ince taneli bölge c) Kaynak dikiş geçiş bölgesi.

Şekil 6.15'te DP800 malzemenin farklı kaynak hızlarındaki (70, 100, 150, 200 cm/dk) kaynak metali ve ITAB geçiş bölgeleri verilmiştir. Şekil 6.15.a'da ana malzeme ile kısmen dönüşüme uğramış bölgesindeki tane yapılarının farklılığı gösterilmiştir. Aynı Şekil 6.15.b'de iri taneli bölge ile ince taneli bölgenin yapısını belirtmekte ve Şekil 6.15.c'te ile gösterilen kısım ise kaynak dikiş geçiş bölgesini göstermektedir.

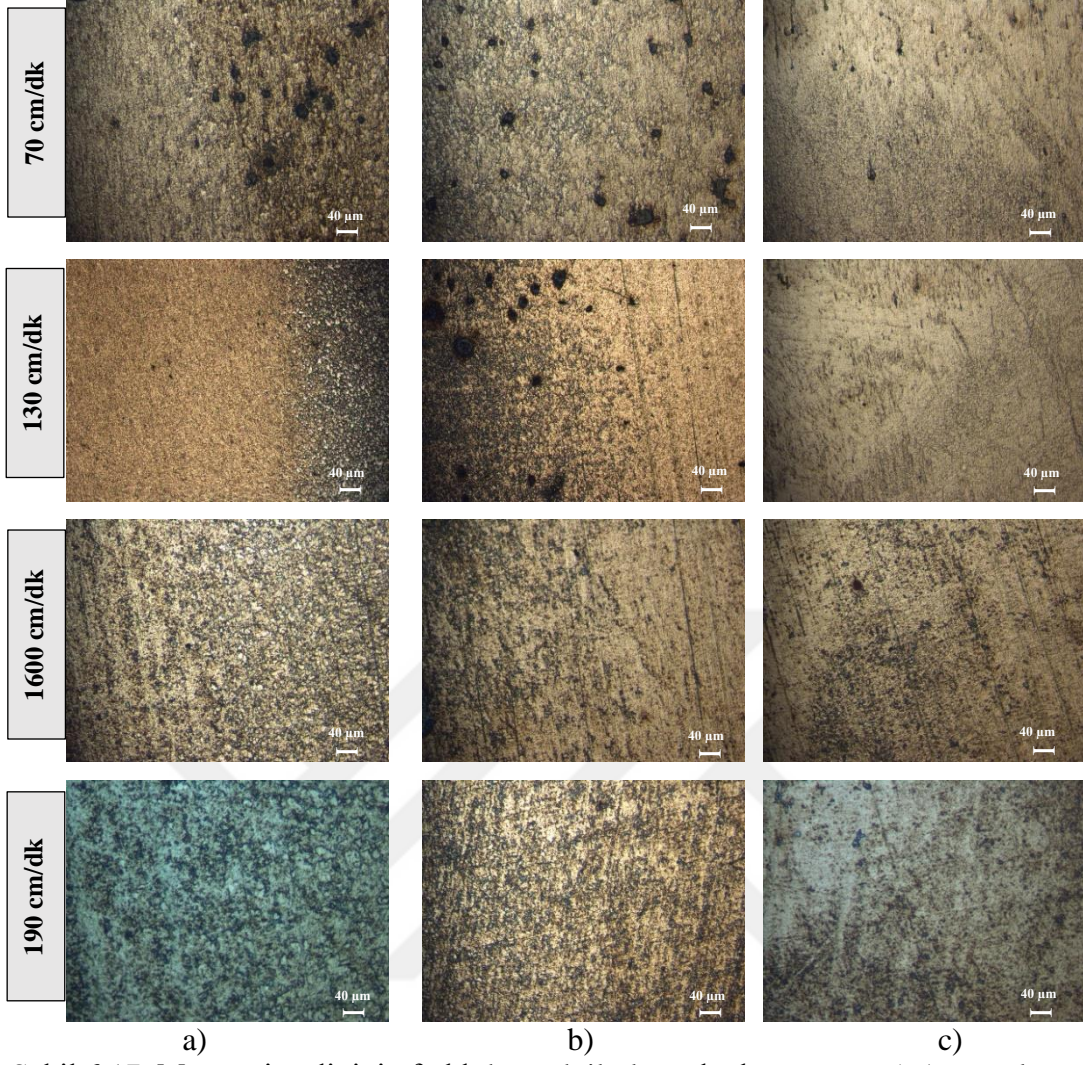
İncelemelerde tane büyüklükleri hariç yapıların birbirine benzediği söylenebilir. Kullanılan farklı kaynak hızlarında ısı girdisi değişkenlik göstermiştir. Değişen ısı girdisinden dolayı bu sıcaklığın bir bölgede uzun süre kalması mikro yapıda tane büyümesine neden olmaktadır. Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde 70 cm/dk kaynak hızında gerçekleştirilen birleşmede geçiş bölgesi daha belirgin görülmektedir. Bunun

sebebi 70 cm/dk kaynak hızındaki ısının, diğer 100, 150 ve 200 cm/dk kaynak hızlarında oluşan ısı girdisinden fazla olması söylenebilir. Şekil 6.16'da DP800 malzemenin farklı kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları görülmektedir.



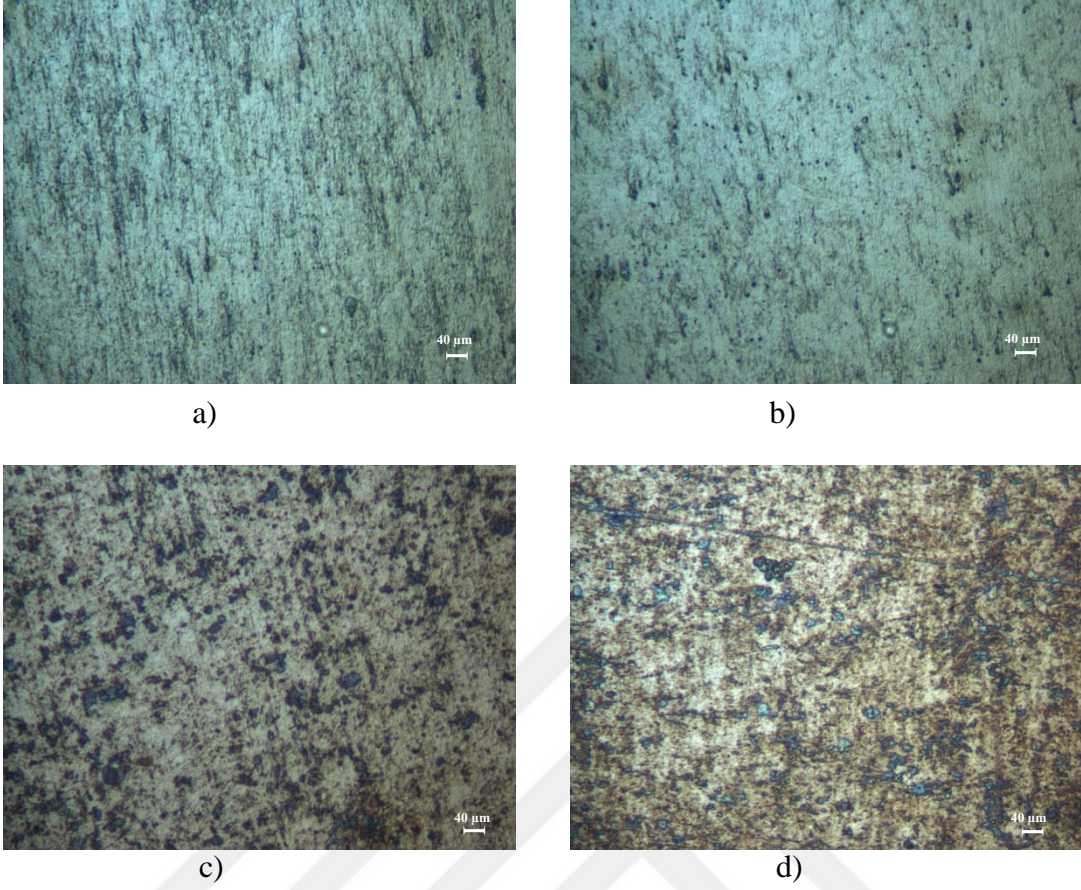
Şekil 6.16. DP800 malzemenin a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları.

Şekil 6.16'da DP800 malzemenin kaynak metalinin mikro yapıları verilmiştir. Uygulanan farklı kaynak hızları malzemenin kaynak dikişinde 70 cm/dk kaynak hızındaki birleştirmede diğer 100, 150 ve 200 cm/dk kaynak hızlarına kıyasla daha büyük ve belirgin olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.17'de martenzit malzemenin farklı kaynak hızlarındaki ITAB bölgesi mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



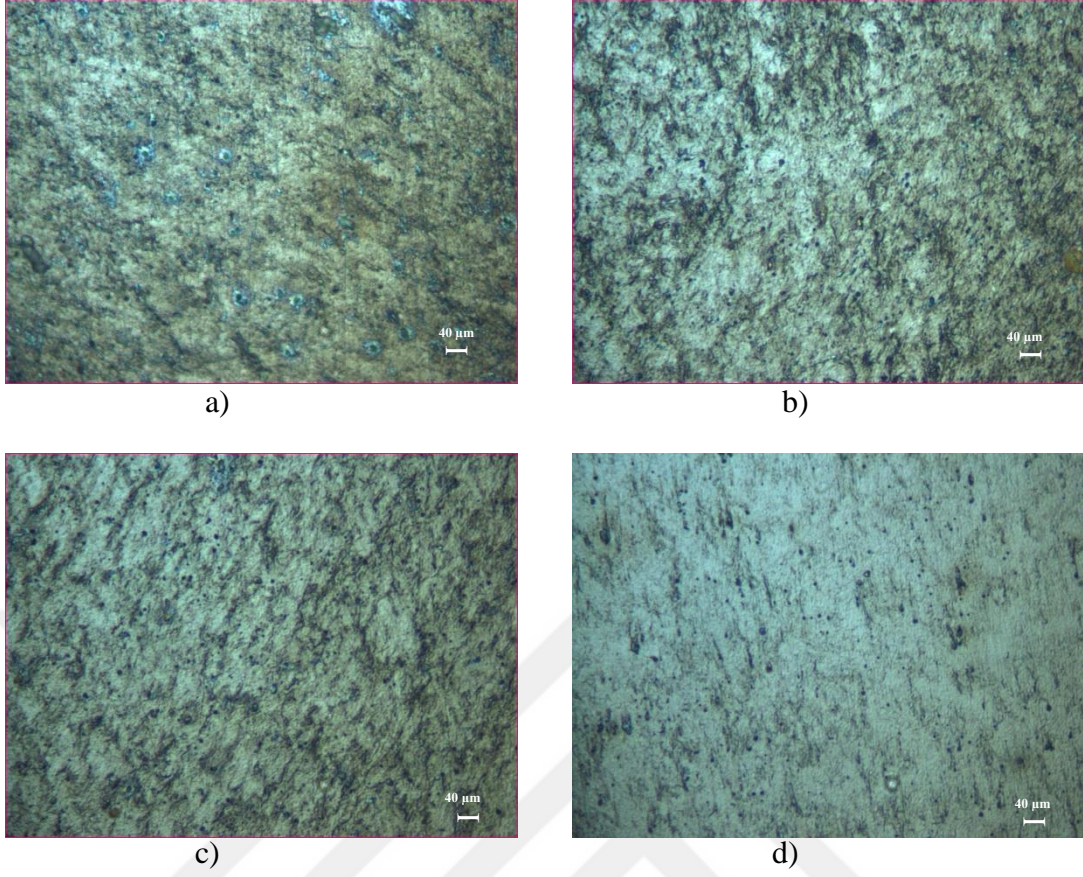
Şekil 6.17. Martenzit çeliğinin farklı kaynak ilerleme hızlarına göre a) Ana malzeme ile kısmen dönüşüme uğramış bölge b) İri taneli bölge ile ince taneli bölge c) Kaynak dikiş geçiş bölgesi.

CMT kaynağı uygulanan MS1200 malzemede ısı girdisiyle oluşan mikro yapı değişimi Şekil 6.17’de görülmektedir. Verilen görüntülerde kaynak dikişi, iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşüme uğramış bölge ve ana malzeme şeklinde kaynak merkezinden ana malzemeye doğru değişimi sergilemektedir. Şekil 6.18’de MS1200 malzemenin farklı kaynak hızlarındaki kaynak dikiş bölgesinin mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 6.18. MS1200 malzemesinin a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları.

Kaynak ilerleme hızının artmasıyla Şekil 6.18’de MS1200 malzemesinin kaynak dikiş bölgesi gösterilmiştir. 160 ve 190 cm/dk kaynak hızında tanelerin daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 6.19’da MS1400 malzemenin farklı kaynak hızlarındaki kaynak dikiş bölgesi mikro yapısı görülmektedir.



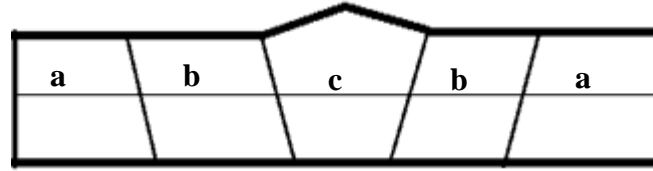
Şekil 6.19. MS1400 malzemesinin a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş mikro yapıları.

Kaynak esnasında dolgu malzemesinin ergiyip katılaştığı kaynak dikiş mikro yapı görüntüsü Şekil 6.19'da görüldüğü gibidir. Burada kullanılan ER110 dolgu malzemenin MS1400 çeliğine yakın özelliklere sahip olduğu ve kaynak dikiş kısmının mikro yapı görüntüleriyle birbirine benzediği söylenebilir.

6.4. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ

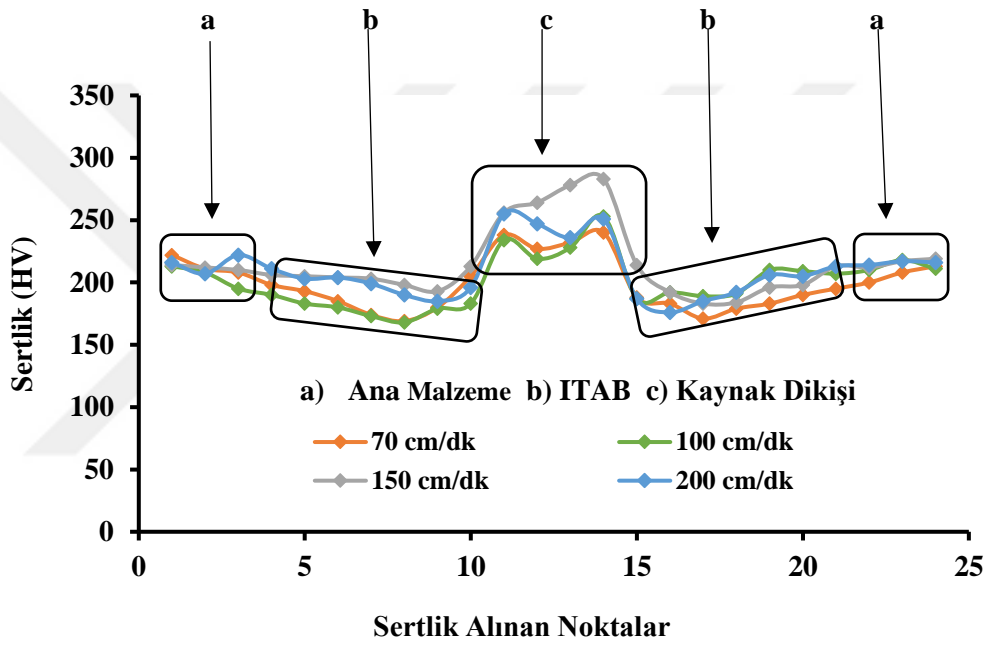
Sertlik ölçümleri farklı kimyasal özelliklere sahip olan çift fazlı çeliklerden DP600, DP800 ve martenzitik çeliklerden MS1200, MS1400 malzemelerin kaynak bölgelerindeki sertlik değişimlerini belirlemek amacıyla uygulanmıştır.

Mikro sertlik analizleri 0,5 kg yük altında, 10 sn bekleme süresi ile kaynak dikişi, ITAB ve ana malzemeye kadar (ana malzeme dâhil) 0,5 mm araklarla, her bölgeden yaklaşık 5 farklı noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik alınan bölgeler Şekil 6.20'de gösterilmektedir.

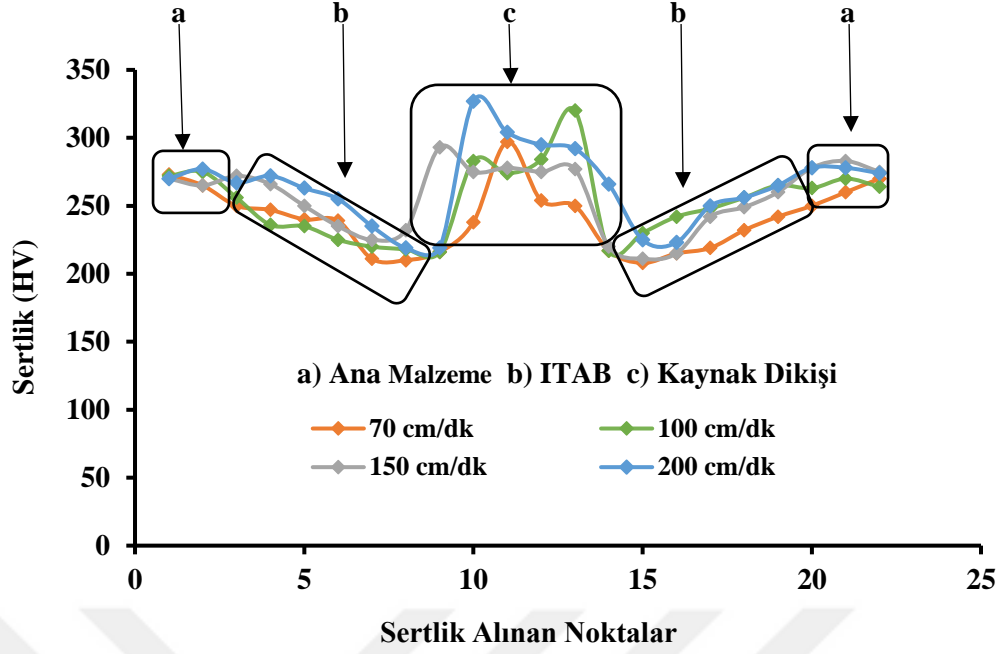


Şekil 6.20. Sertlik alınan bölgeler a) Ana malzeme, b) ITAB ve c) Kaynak dikişi şematik gösterimi.

Şekil 6.20’de belirtilen bölgelere göre DP600 kaynaklı malzemeden alınan mikro sertlik değerleri Şekil 6.21’de, DP800 malzemeden alınan mikro sertlik değerleri Şekil 6.22’de verilmiştir.



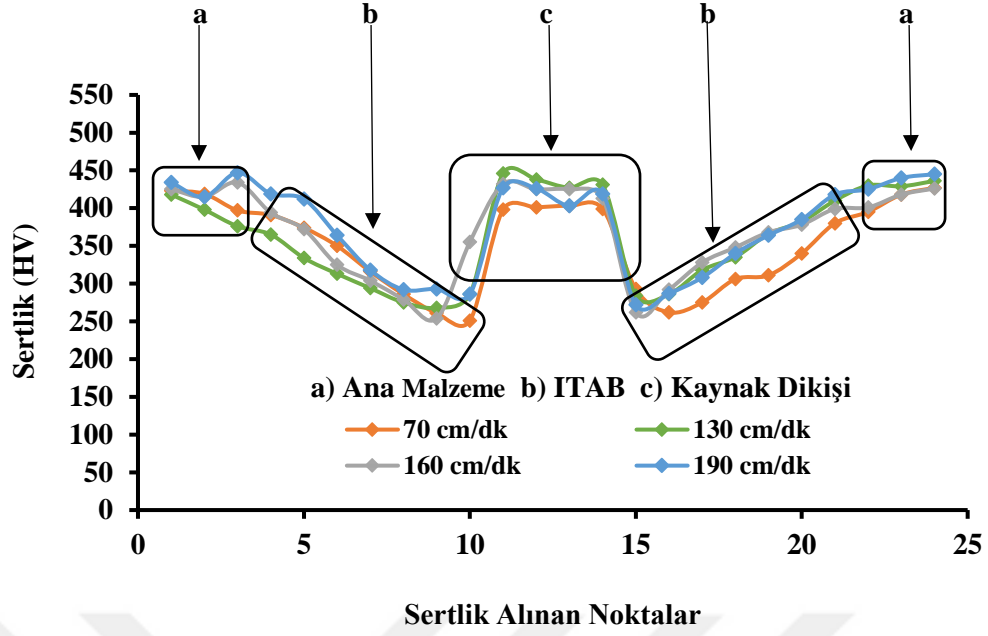
Şekil 6.21. DP600 kaynaklı malzemelerin sertlik değerleri.



Şekil 6.22. DP800 kaynaklı malzemelerin sertlik değerleri.

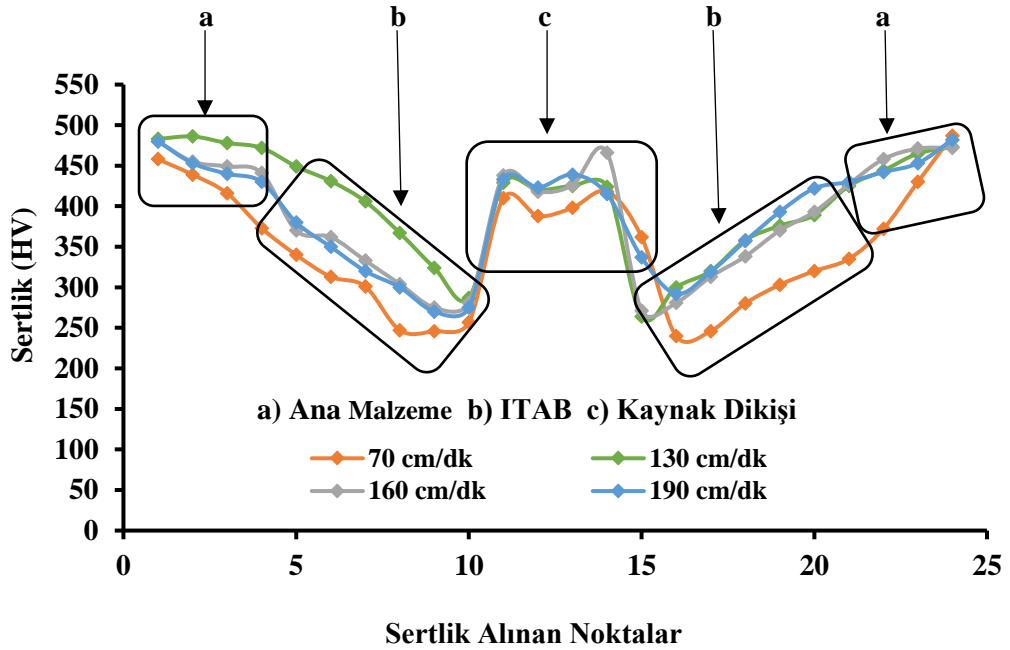
Şekil 6.21’de DP600 malzemenin ve Şekil 6.22’de DP800 malzemenin sertlik değerleri incelenmiştir. Buna göre, ısı girdisinin en az olduğu esas metal kısımda ve kaynak metal bölgesindeki sertlik değeri en yüksek ölçülmüştür. Kaynak metalinin sertlik değeri esas metalden yüksek çıkmıştır, ancak ITAB geçiş bölgesinde ana malzemeden daha düşük sertlik değerleri ölçülmüş ve çekme testleri yapılırken kopmalar ITAB geçiş bölgesinde, sertliğin en düşük olduğu kısımda gerçekleşmiştir.

Acar çalışmasında DP800 çelik sacını CMT lehimleme yöntemi ile birleştirmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Mikro sertlik değerleri incelendiğinde bakır esaslı dolgu malzemesin kullanılmasıyla kaynak dikiş bölgesinin sertliği düşmüş, ITAB bölgesi en yüksek değere ulaşmıştır [8]. MS1200 ve MS1400 martenzit malzemelerin mikro sertlik değerleri Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’te verilmiştir.



Şekil 6.23. MS1200 kaynaklı malzemelerin sertlik değeri.

MS1200 malzemenin mikro sertlik ölçümü Şekil 6.23'te gösterildiği üzere kullanılan ilave telin (ER110) mekanik özelliklerinden dolayı kaynak metalinin mikro sertliği esas metalle eş değer de gözükmemektedir. MS1200 malzemenin CMT kaynağında dikiş geçiş bölgesindeki sertlik değerleri ana malzeme ve kaynak dikişi değerlerinden daha düşük olarak ölçülmüştür. Diğer ergitmeli kaynaklarda geçiş bölgesindeki sertlik değerleri ana malzeme ve kaynak dikişinden daha yüksek değer vermektedir.

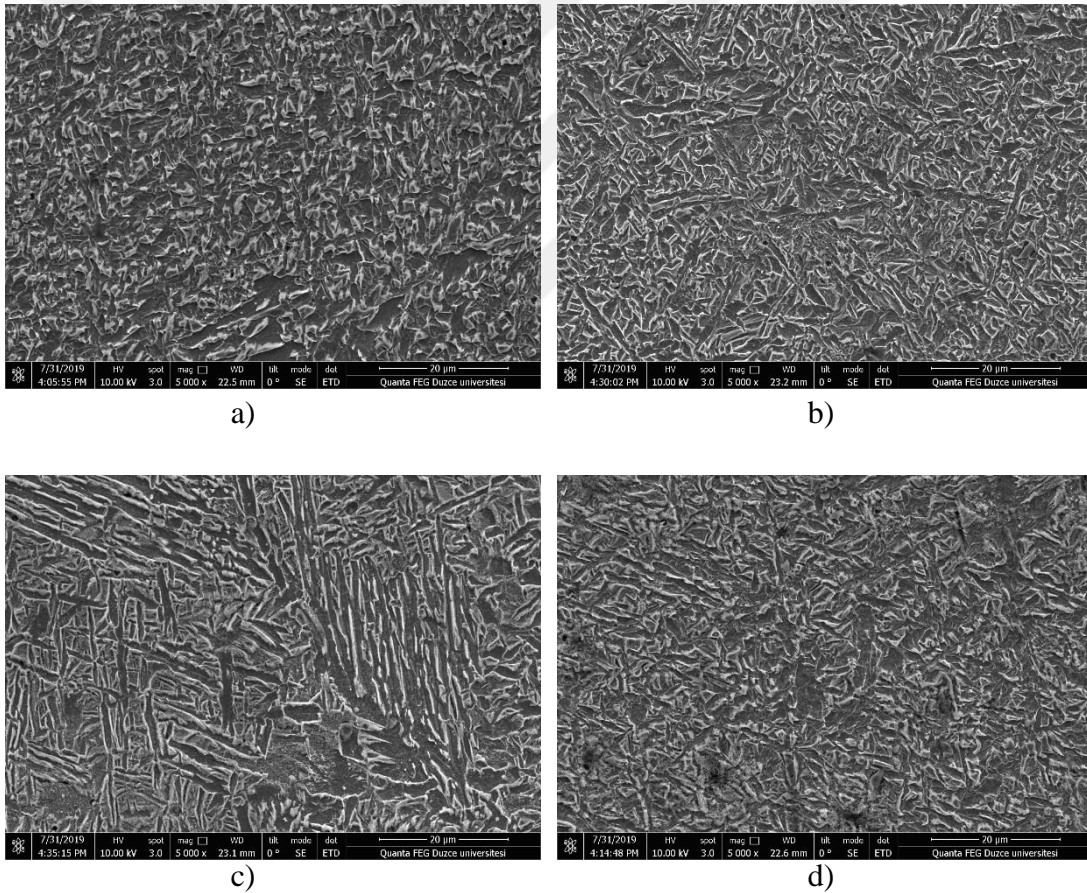


Şekil 6.24. MS1400 kaynaklı malzemelerin sertlik değeri.

MS1400 malzemenin mikro sertlik ölçümü Şekil 6.24'te gösterildiği üzere kullanılan ilave telin (ER110) mekanik özelliklerinden dolayı kaynak metalinin mikro sertliği esas metalden düşük olduğu gözükmemektedir. Kullanılan malzemelerin çekme test esnasında kopmalar ITAB içerisindeki en yumuşak sertlik olan geçiş bölgesinde gerçekleşmiştir. Kaynak ilerleme hızının artmasıyla kaynak dikiş bölgesinde sertlik artmıştır.

6.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU

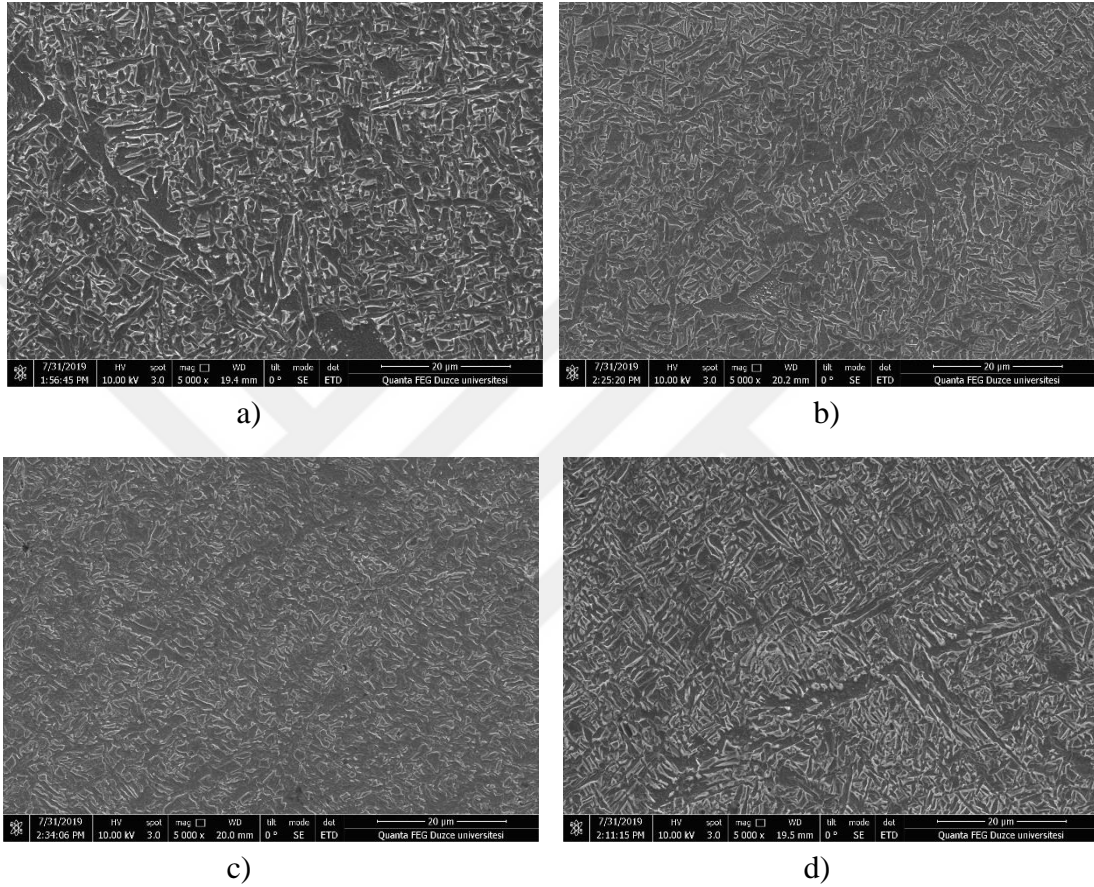
Robotik CMT kaynaklı birleştirme yapılmış parçalardan hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskopuyla incelenmiş, kaynak dikiş bölgesinden alınan SEM görüntüleri aşağıda verilmiştir. Şekil 6.25'te DP600 kaynak malzemenin kaynak dikiş bölgesinden alınan SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.25. DP600 çeliğinin a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş SEM yapıları.

Şekil 6.25'te 70 cm/dk'da gerçekleştirilen birleştirmenin tane yapısı diğer kaynak ilerleme hızlarıyla kıyaslandığında daha büyük tane yapıları görülmektedir. Bunun sebebi

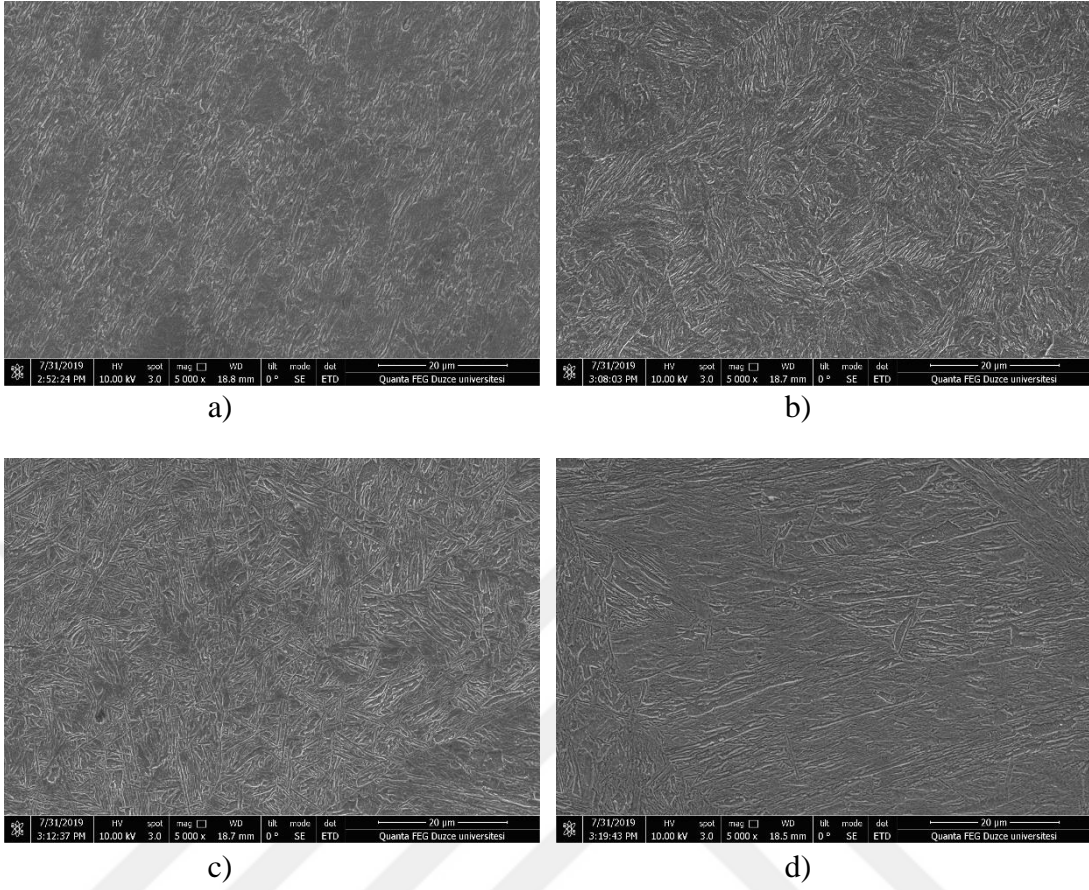
70 cm/dk kaynak ilerleme hızında daha fazla ısı girdisinin olması ve daha yavaş soğumasından kaynaklandığı söylenebilir. 150 cm/dk kaynak hızında birleştirilmesi gerçekleştirilen malzemenin kaynak dikiş metali incelendiğinde tanelerin iğnemsisi olduğu, kaynak dikiş sertliğine bakıldığında Şekil 6.21’de 150 cm/dk kaynak hızında diğer kaynak hızlarına kıyasla daha yüksek ölçüldüğü görülmektedir. Şekil 6.26’da DP800 kaynaklı numunenin kaynak dikiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.26. DP800 çeliğinin a) 70 cm/dk b) 100 cm/dk c) 150 cm/dk d) 200 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş SEM yapıları.

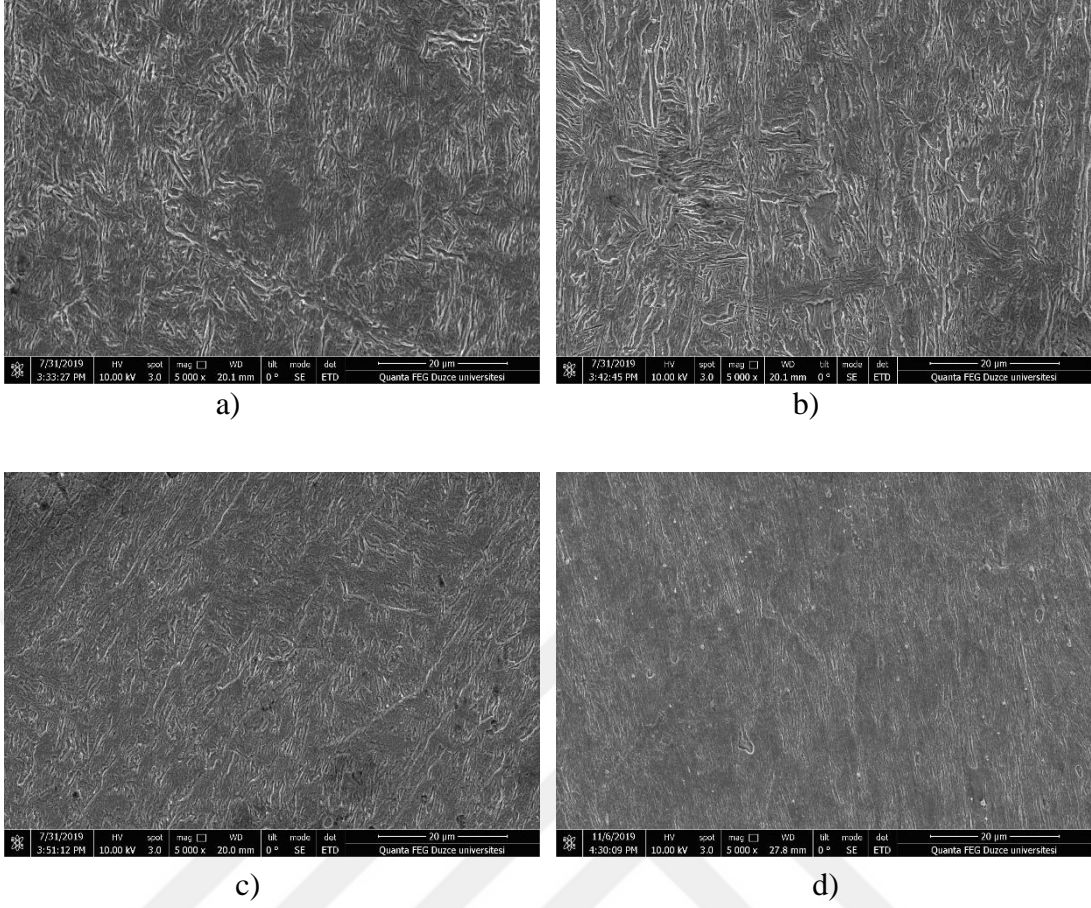
DP800 malzemenin kaynaklı birleştirmedeki SEM görüntüleri Şekil 6.26’da görüldüğü gibidir. Verilen görüntüler incelendiğinde 70 cm/dk ile 200 cm/dk kaynak hızlarında daha belirgin tanelerin oluştuğu, 70 cm/dk kaynak hızında daha iri kaynak taneleri oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu durum malzemede oluşan ısı girdisiyle açıklanabilir, kaynak esnasındaki ısı girdisi kaynak parametrelerinin malzeme üzerindeki etkisi öne çıkmaktadır. Isı girdisini belirleyen faktörler akım değeri ve kaynak ilerleme hızı parametreleridir. Bu sebeple, CMT kaynak yönteminin sağladığı avantaj olan yüksek kaynak ilerleme hızı, bu çalışmada ana parametre olarak seçilmiştir. MS1200 kaynaklı numunenin kaynak dikiş görüntüsü Şekil

6.27’de verilmiştir.



Şekil 6.27. MS1200 çeliğinin a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş SEM yapıları.

Şekil 6.27’de MS1200 malzemenin 70, 130, 160 ve 190 cm/dk kaynak hızlarında birleştirilmesiyle kaynak dikişinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Kaynak ilerleme hızlarının farklı olması ve bunun sonucunda ısı girdisinin farklılık göstermesinden dolayı kaynak dikiş yapısı 190 cm/dk kaynak ilerleme hızında daha ince taneli yapı, 70 cm/dk hızında ise iri taneli yapı olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6.28’de MS1400 numunesinin kaynak dikiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.28. MS1400 çeliğinin a) 70 cm/dk b) 130 cm/dk c) 160 cm/dk d) 190 cm/dk kaynak hızlarındaki kaynak dikiş SEM yapıları.

MS1400 malzemenin kaynaklı birleştirme sonrasında kaynak dikişinden alınan SEM görüntüleri, Şekil 6.28’de görülmektedir. MS1400 kaynaklı malzemesinden alınan farklı kaynak hızlarındaki birleştirmelerin kaynak dikişi SEM görüntüleri incelendiğinde, 70 cm/dk ve 130 cm/dk kaynak hızlarındaki birleştirmelerin tane yapıları daha belirgindir. Sertlik değerleri ile kaynak dikiş SEM görüntüleri kıyaslandığında yüksek kaynak hızlarında ısı girdisi düştüğünden sertliği arttığı, aynı zamanda kaynak dikiş mikro yapı görüntülerinde yüksek hızlarda tane yapıları daha küçük olduğu gözlemlenmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Otomotiv endüstrisinde kullanılan özel çeliklerden 1 mm kalınlığına sahip çift fazlı DP600, DP800 ve 1,5 mm kalınlığına sahip martenzitik MS1200, MS1400 malzemeleri yüzey kalitesinin iyi olması bununla birlikte mekanik ve mikro yapı değişim minimum düzeyde tutulması hedeflenmiştir. Bu istenen özellikleri sağlama adına geleneksel ark kaynak yöntemleri yerine CMT kaynak yöntemi seçilmiştir. CMT kaynak yöntemi metal transferinden bağımsız birleştirme sağladığı için maksimum seviyelerde kaynak ilerleme hızına ulaşılabilecektir. Kaynak ilerleme hızının yüksek olması ısı girdisini düşürecek ve malzemenin ITAB bölgesi daha dar kalacaktır.

Bu çalışmamızda asıl parametremiz olan kaynak ilerleme hızının artması neticesinde ısı girdisi düşmüş ve ısı girdisine bağlı olarak mekanik özellikleri arttığı görülmüştür.

7.1. SONUÇLAR

- DP600 ve DP800 çift fazlı çelikler ile MS1200 ve MS1400 martenzitik çelikler robotik CMT kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde uygun ilave dolgu teli ve kaynak parametreleri (kaynak akımı, kaynak voltajı ve kaynak ilerleme hızı) seçildiğinde yüksek kaynak verimi sağlanabileceği tespit edilmiştir.
- Kullanılan CMT kaynak yönteminde kaynak ilerleme hızının yükselmesiyle ısı girdisi düşmüştür. Isı girdisine bağlı olarak malzemede deformasyon meydana gelmemiş ve kaynak geçiş bölgelerinde bir homojenlik gözlemlenmiştir. Bu homojenlik DP600 ve MS1400 malzemelerinde daha net sağlanmıştır.
- Mikro yapı görüntülerinde DP800 ve MS1200 malzemenin kaynağında ITAB ve geçiş bölgeleri daha belirgindir. Bunun sebebi kullanılan ilave dolgu malzemenin ana malzeme kimyasal bileşiminden farklılık göstermesidir. CMT yönteminde, doğru kaynak metali seçildiğinde ana metalle bütünlük gösteren bir mikro yapı elde edilebilmektedir.
- Çekme test sonucunda kaynaklı numunelerin CMT kaynak yönteminin sağladığı

yüksek verim sayesinde kaynak dikişinden kopma olmamış, kopmalar ITAB bölgesinde sertliğin düştüğü geçiş bölgesinde meydana gelmiştir.

- Dört farklı malzemede kaynak ilerleme hızının artmasına bağlı olarak ısı girdisinin düşmesi neticesinde, çekme test sonucunda mukavemet değerlerinde artma görülmüştür.
- MS1200 ve MS1400 martenzitik çeliklerinde kaynaklı malzemelerin çekme test değerleri, ana malzemenin değerlerinden daha düşük ölçülmüştür. CMT yöntemiyle ısı girdisi az olmasına rağmen MS çeliklerde yapısal bozulmalara sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ısı girdisine büyük bir etkisi olan kaynak ilerleme hızı arttırıldığında, çekme dayanımlarında artış sağlanmıştır. MS çeliklerin CMT kaynağında da ısı girdisi düştükçe çekme dayanımlarının kendi aralarında artış gösterdiği saptanmıştır.
- DP çelik malzemelerinde kullanılan kaynak ilerleme hızına bağlı olarak ısı girdisi değerleri düşmesiyle kaynak dikiş bölgesinde mikro sertlik değeri yükselmiştir.
- MS1200 malzemesinde kullanılan ER110 ilave dolgu telinin mekanik özellikleri ile MS1200 malzemesinin mekanik özellikleri birbirlerine yakın olması sebebiyle kaynaklı malzemelerde kaynak dikişindeki sertlik, ana malzemenin sertliğine eşit değerlerde ölçülmüştür. Ayrıca kaynak ilerleme hızının artmasıyla kaynak dikiş sertliği artmıştır.
- MS1400 malzemeye uygulanan bütün kaynak ilerleme hızlarında, kaynak dikiş sertlik ölçümleri, ana malzemenin sertliğinden düşük ölçülmüştür. Bunun sebebi kullanılan ER110 ilave telinin mekanik özellikleri MS1400 malzemenin mekanik özellikleri ve sertlik değerlerinden düşük olmasıdır.

7.2. ÖNERİLER

- Bu çalışmada kullanılan CMT kaynak yöntemi yerine, farklı kaynak yöntemleri ve farklı parametreler DP600, DP800, MS1200 ve MS1400 malzemelere uygulanabilir ve elde edilen sonuçlar bu çalışmada elde edilen değerlerle karşılaştırılabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] B. Gungor, E. Kaluc, E. Taban, ve A. Sık, “Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys”, *Materials and Design*, c. 54, ss. 207–211, 2014.
- [2] S. Keeler, M. Kimchi, R. Kuziak, R. Kawalla, S. Waenger, ve Y. G. Yuqing Weng, Han Dong, “Introduction to Advanced High-Strength Steels (AHSS)”, *Advanced High-Strength Steels Application Guidelines Version 5.0*, c. 8, sayı 5, ss. 2, 2014.
- [3] E. Ulaştı, “Termomekanik haddeleme ile S700MC kalite çeliklerin üretimi ve üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [4] R. Kuziak, R. Kawalla, ve S. Waengler, “Advanced high strength steels for automotive industry: A review”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, c. 8, sayı 2. ss. 103–117, 2008.
- [5] K. S. A. Matoug, “Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerin lazerle kesilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye, 2019.
- [6] G. Karaçalı, “Soğuk haddelenmiş çift fazlı DP600 kalite çeliklerin yaşlanma davranışının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [7] F. Hayat, “TRIP çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 25, sayı 4, ss. 701–712, 2010.
- [8] İ. Acar, “DP800 çelik sacların cmt lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerin incelenmesi ve analizi”, Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2018.
- [9] H. Keskin, “Otomotiv sektöründe robot kaynak uygulaması”, Yüksek lisans tezi, Tasarım ve İmalat Mühendisliği, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Üniversitesi, Gebze, Türkiye, 2007.
- [10] K. Aydın, “Lazer kaynağı ile birleştirilmiş DP600 ve HSLA sac malzemelerde geri esneme davranışlarının deneysel araştırılması”, Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2018.
- [11] S. Üzgür, “Lazer kaynaklı inconel 718 süperalaşımının kaynak hassasiyeti için varestRAINT test düzeneğinin düzeneğinin geliştirilmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2013.

- [12] B. Balta, “Sürtünme kaynağı ve MIAB kaynağı ile birleştirilmiş boruların mikroyapısal ve mekanik karakterizasyonu”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2016.
- [13] M. Özasan, “Yüksek kromlu beyaz dökme demir / AISI 1040 çelik çiftinin sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye, 2019.
- [14] E. Ünel, “Cmt-mıg kaynaklı alüminyum ve çelik bağlantılarının özellikleri ve optimizasyonu”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2016.
- [15] E. Taban, “5XXX serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2004.
- [16] Ş. Kasman, F. Kahraman, ve A. Aydın, “Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının farklı karıştırıcı pim geometrilerinin kaynak performansına etkisinin incelenmesi”, *Published in 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 2016, ss. 3–5.
- [17] B. Gülenç, İ. Candan, ve N. Kahraman, “MIG-MAG kaynağı ile birleştirilen boruların tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, sayı 4, ss. 631–637, 2005.
- [18] E. Mercan, “5XXX-6XXX Alüminyum alaşımlarının otomatik MIG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2018.
- [19] E. Cirik, “Anodik oksidasyon işleminin 7075-T6 alüminyum alaşımının yorulma davranışına olan etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.
- [20] T. Rosado, P. Almeida, L. Pires, I. Miranda, ve R. Quintino, “Innovations In arc welding”, İçinde *Luso-Mozambican Engineering Congress*, 2008, ss. 2–4.
- [21] E. Ünel ve E. Taban, “Properties and optimization of dissimilar aluminum steel CMT welds”, *Welding in the World*, c. 61, sayı 1, ss. 1–9, 2017.
- [22] U. Kaçar, “CMT Cold metal transfer soğuk metal transferi”, *Kaynak Teknolojisi VIII. Ulusal Kongre ve Sergisi*, 2011, ss. 101–110.
- [23] S. Öz Saraç, U. Barlas, Z. Aslan, H. Ekici, M. Varol, F. Aslanlar, “Otomotiv endüstrisinde kullanılan DP600 çeliklerin CMT (Cold Metal Transfer) yöntem ile Cusn1 ilave metaliyle birleştirilmesi”, *The Journal of Internal Tional Manufacturing And Production Technologies*, ss. 54–59, 2017.
- [24] Ş. Çetin, “Lazer kaynağı ile birleştirilmiş yüksek mukavemetli çelik sacların mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2019.
- [25] M. Kekik, “1200M- DP800HF saclarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde hasar modunun tespiti”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve

Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2018.

- [26] C. Medgyesi, T. Popescu ve M. Opris, “Difficulties encountered in performing dissimilar joints on sheets”, *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium*, 2011, ss. 1726–9679.
- [27] J. Singha, K. S. Arora, N. Shajanb, D. K. Shuklaa ve M. Shome, “Role of bead shape and dispersed intermetallic phases in determining the strength of CMT brazed DP780 lap joints”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 44, ss. 207–215, 2019.
- [28] H. Y. Lei, Y. B. Li, ve B. E. Carlson, “Cold metal transfer spot welding of 1 mm thick AA6061-T6”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 28, sayı 1, ss. 209–219, 2017.
- [29] F. A. O. Fernandes, D. F. Oliveira, ve A. B. Pereira, “Optimal parameters for laser welding of advanced high-strength steels used in the automotive industry”, *Procedia Manufacturing*, c. 13, ss. 219–226, 2017.
- [30] R. Kuziak, R. Kawalla, ve S. Waengler, “Advanced high strength steels for automotive industry”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, c. 8, sayı 2, 103–117, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yasin ŞEN
Doğum Tarihi ve Yeri : 31.03.1994
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : efe.94.yasin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	İmalat Mühendisliği	Karabük Üniversitesi	2017
Lise		Nazilli Lisesi	2012

YAYINLAR

Yasin Şen, Ali Gürsel “DP600 tipi çelik sacların soğuk metal transferi (CMT) kaynak yöntemiyle birleştirilmesi”. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON 2019) Fen Bilimleri Bildiriler Kitabı. Cilt II, s. 1814-1818, 26-28 Nisan 2019, Kocaeli-Türkiye.