

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

**MIG LEHİMLEME YÖNTEMİ İLE DUAL FAZLI ÇELİK  
SACLARIN BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Faruk VAROL**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**  
**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Salim ASLANLAR**

**Nisan 2013**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MIG LEHİMLEME YÖNTEMİ İLE DUAL FAZLI ÇELİK  
SACLARIN BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

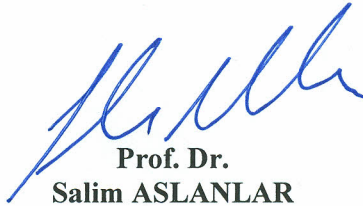
**Faruk VAROL**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Bu tez 26 / 04 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**



**Prof. Dr.  
Serdar SALMAN  
Jüri Başkanı**



**Prof. Dr.  
Salim ASLANLAR  
Üye**

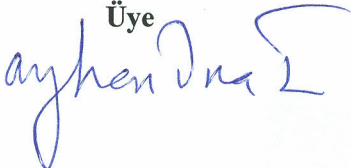


**Doç. Dr.  
Vedat ARI  
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.  
Uğur ÖZSARAC  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.  
Ayhan ONAT  
Üye**



## ÖNSÖZ

600 MPa mukavemete sahip DP 600 olarak adlandırılan dual-faz çeliği otomobil endüstrisinde yeni geliştirilmiş bir çift-faz çeliği olup özellikle otomobil karoserinde hafiflik, yüksek mukavemet, güvenlik, iyi korozyon dayanımı ve iyi zımbalama karakteristiği gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır. Çinko ile kaplanmış DP 600 çelik sacının gaz altı ve nokta kaynaklarında ise yüksek sıcaklıklardan dolayı çinko buharlaşması ve distorsiyon ile karşı karşıya kalınmaktadır. MIG-lehimleme düşük ısı girdisi ile kaynağın yakın bölgesinde korozyon korumasını sağlayan Zn miktarının minimum miktarlarda yanmasını sağlar. Lehim sıcaklığının azalması ile daha az Zn buharlaşacak ve düzen malzemenin ilk durumu gibi olacaktır. Lehim ısısı düşük olduğundan daha az çarpılma olur.

Otomotiv sektöründe kullanılan DP 600 çelik sacına MIG-lehimleme uygulanması ile ilgili çalışmaların yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında başta tez danışmanım Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a, Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a, Doç. Dr. Vedat ARI'ya, Yrd. Doç. Dr. Erdinç İLHAN'a, Prof. Dr. Ramazan YILMAZ'a Yrd. Doç. Dr. Ayhan ONAT'a, Öğr. Gör. Gürhan DENİZ'e, Arş. Gör. Azim GÖKÇE ve Murat ÇOLAK'a, SEM Uzmanı Fuat KAYIŞ'a, arkadaşlarım Erman FERİK ve Öskan KON'a, malzeme tedarikinde, ERMETAL firması ve çalışanları Serdar AKDAŞ ve Yasin KARACAN'a, ER-CE firması Genel Müdürü Erol KÖKSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan aileme ve her zaman yanımda bana destek olan eşime sevgilerimi sunarım.

Faruk VAROL

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK.....	5
2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelikler.....	9
2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Ahss Türleri.....	10
2.2.1. Mikro alaşımlanmış Yp ve Mc çelik saclar.....	11
2.2.2. Çift fazlı yüksek mukavemetli çelikler.....	11
2.2.3. Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikler.....	13
2.2.4. Kompleks fazlı (CP) çelikler.....	15
2.2.5. Martenzitik (Mart) çelikler.....	15
2.2.6. Gelişen AHSS türleri.....	16
2.2.6.1. IF çelikleri (instertital-free).....	16
2.2.6.2. Yumuşak çelikler.....	17
2.2.6.3. Fırında sertleştirilebilen (BH) çelikleri.....	18
2.2.6.4. İotropik çelikler.....	18
2.2.6.5. Karbon-mangan (CM) çelikleri.....	18

## BÖLÜM 3.

ÇİFT FAZLI ÇELİKLER.....	19
3.1. Giriş.....	19
3.2. Çift Fazlı Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	20
3.3. Çift Fazlı Çeliklerde Mikroyapının Mekanik Özelliklere Etkisi.....	25
3.3.1. Ferrit fazının özellikleri.....	28
3.3.2. Martenzit fazının özellikleri.....	30
3.3.3. Martenzit karakteri ve martenzit hacim.....	31
3.4. Çift Fazlı Çeliklerin Mekanik Özellikleri.....	33
3.4.1. Akma mukavemeti.....	34
3.4.2. Çekme mukavemeti.....	35
3.4.3. Kopma mukavemeti.....	36
3.4.4. Süneklik.....	37
3.4.5. Tokluk.....	39
3.4.6. Deformasyon sertleşmesi.....	39
3.5. Alaşım Elementlerinin Çift Fazlı Çeliklerin Özelliklerine Etkisi.....	39
3.5.1. Karbon.....	40
3.5.2. Manganez.....	40
3.5.3. Silisyum.....	41
3.5.4. Molibden.....	41
3.5.5. Vanadyum.....	42
3.5.6. Krom.....	42
3.5.7. Niyobyum.....	42
3.5.8. Alüminyum.....	43
3.5.9. Titanyum.....	43
3.6. Çift Fazlı Çelik Isıl İşlemi ve Üretimi.....	43
3.6.1. Sürekli tavlama metodu.....	46
3.6.2. Haddeleme metodu.....	46
3.6.3. Kutu tavı metodu.....	47
3.6.3.1. Çok yavaş soğutma metodu.....	48
3.6.3.2. Yavaş soğutma metodu.....	48

3.6.3.3. Hızlı soğutma metodu.....	49
3.7. Çift Fazlı Çeliklerin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı ve DP600..	50
3.8. Gavanizli Çelik Saclar.....	53
3.8.1. Çinkonun korozyon davranışı.....	54
3.8.2. Çeliğin çinko ile kaplanması.....	56
BÖLÜM 4.	
LEHİMLEME.....	58
4.1. Lehimleme.....	58
4.2. Yumuşak Lehimleme.....	59
4.3. Sert Lehimleme.....	59
4.4. Sert Lehimleme Parametreleri.....	60
4.4.1. İlave metal akışı ve ıslatma kabiliyeti.....	61
4.4.2. Yüzey temizleme.....	63
4.4.3. Birleştirme dizaynı ve boşluğu.....	64
4.4.4. Sıcaklık ve uygulama süresi.....	65
4.5. Düşük Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çeliklerin Sert Lehimleme Kabilyetleri.....	66
4.6. MIG Lehimleme.....	67
4.6.1. Birleşme.....	68
4.6.2. Donanım ve ilave tel.....	68
4.6.3. Makine ayarları.....	68
4.6.4. MIG lehimleme birleştirmesinde kullanılan teller.....	69
4.6.4.1. CuSi3.....	69
4.6.4.2. CuAl8.....	70
4.6.4.3. CuSn6.....	70
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	72
5.1. Genel.....	72
5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz.....	73
5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri.....	73

5.3.1. Numune hazırlama.....	74
5.3.2. MIG-lehimleme işlemleri.....	75
5.4. Sertlik Ölçümleri ve Isı Girdileri.....	77
5.5. Mikroyapı.....	78
5.5.1. Optik Mikroskop.....	78
5.5.2. Makroyapı.....	79
5.5.3. Taramalı elektron mikroskobu.....	80
5.6. Çekme Deneyi.....	80
5.7. Eğme Deneyi.....	81

## BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	82
6.1. DP 600 Sacın MIG Lehimleme Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri....	82
6.1.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	82
6.1.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	82
6.1.1.2. Lehim ark geriliminin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	84
6.1.1.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	86
6.1.1.4. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	88
6.1.1.5. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	89
6.1.1.6. Lehim birleştirme aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	91
6.1.2. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi.....	93
6.1.2.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi.....	93
6.1.2.2. Lehim ark geriliminin lehim geometrisine etkisi..	96
6.1.2.3. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi	99

6.1.2.4.	Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	102
6.1.2.5.	Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi.....	105
6.1.2.6.	Lehim birleştirme aralığının lehim geometrisine etkisi.....	107
6.1.3.	Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	110
6.1.3.1.	Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi.....	111
6.1.3.2.	Lehim ark geriliminin bağlantının sertliğine etkisi.....	111
6.1.3.3.	Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi.....	113
6.1.3.4.	Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	113
6.1.3.5.	Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi.....	114
6.1.3.6.	Lehim birleştirme aralığının bağlantının sertliğine etkisi.....	115
6.1.4.	Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	116
6.1.4.1.	Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	116
6.1.4.2.	Lehim ark geriliminin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi .....	120
6.1.4.3.	Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	123
6.1.4.4.	Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	126
6.1.4.5.	Lehim torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	128
6.1.4.6.	Lehim birleştirme aralığının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	131



6.2. DP 600 Sacın MIG Lehimleme Yöntemi İle Bindirme Birleştirmeleri.....	135
6.2.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	135
6.1.2.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	135
6.1.2.2. Lehim ark geriliminin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	137
6.1.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	139
6.1.2.4. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	141
6.1.2.5. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	143
6.1.2.6. Lehim birleştirme aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	145
6.2.2. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi.....	147
6.2.2.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi.....	147
6.2.2.2. Lehim ark geriliminin lehim geometrisine etkisi..	151
6.2.2.3. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi	153
6.2.2.4. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	156
6.2.2.5. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi.....	159
6.2.2.6. Lehim birleştirme aralığının lehim geometrisine etkisi.....	161
6.2.3. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	163
6.2.3.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi.....	164
6.2.3.2. Lehim ark geriliminin bağlantının sertliğine etkisi.....	165
6.2.3.3. Lehim ilerleme hızının bağlantı sertliğine etkisi..	166

6.2.3.4.	Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	167	
6.2.3.5.	Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi.....	168	
6.2.3.6.	Lehim birleştirme aralığının bağlantının sertliğine etkisi.....	169	
6.2.4.	Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	170	
6.2.4.1.	Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	170	
6.2.4.2.	Lehim ark geriliminin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi .....	173	
6.2.4.3.	Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	176	
6.2.4.4.	Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	179	
6.2.4.5.	Lehim torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	181	
6.2.4.6.	Lehim birleştirme aralığının ısı girdisi ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	184	
BÖLÜM 7.			
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....			186
7.1.	Sonuçlar.....	186	
7.2.	Öneriler.....	204	
KAYNAKLAR.....			205
ÖZGEÇMİŞ.....			213

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\alpha$	: Ferrit
$\gamma$	: Östenit
M	: Martenzit
P	: Perlit
B	: Beynit
C	: Karbon
$\sigma$	: Gerilme
$\sigma_{\zeta}$	: Çekme mukavemeti
e	: Parça kalınlığı
I	: Akım şiddeti
U	: Voltaj
HI	: Heat input
$\eta$	: Ark etki faktörü
V	: İlerleme hızı
$\sigma_A$	: Akma mukavemeti
DP	: Dual phase
HSS	: High strength steel
UHSS	: Ultra high strength steel
LSS	: Low strength steel
IF	: Interstitial-free
CP	: Complex phase
TRIP	: Transformation induced plasticity
TWIP	: Twinning-induced plasticity steel

BH	: Bake hardening
CM	: Carbon-mangan
BSD	: Biçimlendirme sınır diyagramı
YMDA	: Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı
MPB	: Martenzit parçacık boyutu
YMK	: Yüzey merkezli kübik
HMT	: Hacim merkezli tetragonal
SSD	: Sürekli soğuma diyagramı
MIG	: Metal inert gaz kaynağı
MAG	: Metal aktif gaz kaynağı
ASTM	: American society for testing materials
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
MHO	: Martenzit hacim oranı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kazalarda kullanılan malzemelere göre koruma oranı.....	6
Şekil 2.2.	Taşıtlarda çeliklerin kullanım oranları.....	7
Şekil 2.3.	Taşıtlardaki CO <sub>2</sub> emisyon miktarının yıllara göre değişimi.....	7
Şekil 2.4.	Saclarda kalınlık azaltılmasının sağladığı ağırlık kazancı.....	8
Şekil 2.5.	AHSS saclar, düşük mukavemetli saclar ve konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar (HSS) arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi.....	10
Şekil 2.6.	Otomobili oluşturan çeliklerin kullanım yerleri ve çeşitleri.....	13
Şekil 2.7.	TRİP çeliğinin mikroyapısı.....	13
Şekil 2.8.	HSLA, DP ve TRİP çeliklerinin kıyaslanması.....	14
Şekil 2.9.	Temperlenmemiş martenzitte karbon içeriği-çekme dayanımı ilişkisi.....	16
Şekil 2.10.	Otomobillerde kullanılan IF7111 ve IF7114 kalite sac gövde parçaları.....	17
Şekil 3.1.	Çift fazlı çelikte ferrit ve martenzit görünüşü.....	20
Şekil 3.2.	Çift fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait biçimlendirme sınır diyagramları.....	22
Şekil 3.3.	Çift fazlı ve düşük karbonlu çelikler için sac kalınlığının BSD (0) noktasına etkisi.....	22
Şekil 3.4.	Çift fazlı çeliklerden imal edilmiş otomobil parçalarında deformasyon sertleşmesine ilaveten boya kurutma işlemi sırasında meydana gelen fırınlama sertleşmesinin, çekme eğrisine etkisi.....	23

Şekil 3.5.	100, 175 ve 250 °C’de temperlenmiş alaşımsız çift fazlı çeliklerde, ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış.....	24
Şekil 3.6.	Sade karbonlu ve SAE 980X, SAE 950X ve M 980X (çift-fazlı) çeliklerinin mühendislik gerilme-%uzama eğrileri.....	26
Şekil 3.7.	Mn oranı %1.5 olan çift-fazlı çeliklerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisine temperleme sıcaklığının etkisi.....	29
Şekil 3.8.	Ferrit hacim oranının %uzama üzerine etkisi.....	29
Şekil 3.9.	%0,8 C’lu çelik sac numunelerde %0.2 akma ve çekme mukavemetlerinin martenzit hacim oran yüzdesi ile değişimi.....	33
Şekil 3.10.	%0.8 C’lu çelik sac numunelerde üniform ve % uzama değerlerinin martenzit hacim oranı ile .....	33
Şekil 3.11.	Çift-fazlı ve klasik yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin (HSLA) gerilme birim şekil değişim arasındaki ilişki...	34
Şekil 3.12.	Demir-sementit denge diagramı.....	44
Şekil 3.13.	Çeşitli çift faz üretim ısıl işlemleri.....	45
Şekil 3.14.	Değişik ısıl işlem sonrasında oluşan mikroyapılar.....	45
Şekil 3.15.	Sürekli tavlama hattında HSLA çeliğinde çift fazlı çelik üretimi için uygulanan ısıl işlem.....	49
Şekil 3.16.	Çift fazlı çeliklerin otomotivde kullanıldığı parçalar.....	52
Şekil 3.17.	Çift fazlı çeliklerin otomobil iskeletinde kullanıldığı kısımlar.....	53
Şekil 3.18.	Çinko kaplı çeliğin katodik koruması.....	55
Şekil 3.19.	Sıcak daldırma ile çinko kaplamada geçiş bölgesi iç yapısının Fe-Zn yardımıyla şematik açıklaması.....	56
Şekil 4.1.	Su dolu bir kaba yerleştirilmiş iç içe iki bakır borudaki suyun seviyesi, boru çapları yeterince büyükse bileşik kaplar prensibine uyar b) Dıştaki boru çapı küçüldükçe kapiler etki ortaya çıkar ve iki boru arasındaki suyun seviyesi kaptaki seviyenin üzerine çıkar c) Yeterince küçük bir aralıkta kapiler etki en üst seviyesine çıkarak iki boru arasındaki boşluğu doldurur.....	62

Şekil 4.2.	Sert lehimlemede aralığın kapileriteye etkisi.....	62
Şekil 5.1.	DP 600 sacının numune ebatları.....	74
Şekil 5.2.	MIG-lehimlenmiş DP 600 sacdan çıkarılan test numuneleri.....	75
Şekil 5.3.	MIG-lehimleme işleminin yapıldığı makine ve sekatörü .....	76
Şekil 5.4.	MIG-lehimleme uygulanan sac plakaların ön ve arka yüzü.....	76
Şekil 5.5.	Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar .....	77
Şekil 5.6.	Bindirme birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.....	77
Şekil 5.7.	Mikroyapı inceleme noktaları.....	78
Şekil 5.8.	Bindirme birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar.....	79
Şekil 5.9.	Alın altına birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar.....	86
Şekil 5.10.	Çekme deneyi numunesi boyutları.....	81
Şekil 5.11.	Eğme deneyi numune boyutları.....	81
Şekil 6.1.	Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	83
Şekil 6.2.	Farklı akım şiddetlerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	83
Şekil 6.3.	Farklı lehim gerilimlerinde çekme kuvvetleri grafiği.....	85
Şekil 6.4.	Farklı lehim gerilimlerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	85
Şekil 6.5.	Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği.....	87
Şekil 6.6.	Farklı lehim hızlarında eğme kuvvetleri grafiği.....	87
Şekil 6.7.	Farklı lehim gaz debilerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	88
Şekil 6.8.	Farklı lehim gaz debilerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	89
Şekil 6.9.	Farklı lehim torç açılarında çekme mukavemetleri grafiği.....	90
Şekil 6.10.	Farklı lehim torç açılarında eğme kuvvetleri grafiği.....	91
Şekil 6.11.	Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemetleri grafiği.....	92
Şekil 6.12.	Farklı lehim aralıklarında eğme kuvvetleri grafiği.....	92
Şekil 6.13.	Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.....	93
Şekil 6.14.	Farklı akım şiddetlerinde lehim ıslatma açısı grafiği.....	94
Şekil 6.15.	Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.....	95
Şekil 6.16.	Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği.....	95
Şekil 6.17.	Farklı lehim gerilimlerinde makro görüntüleri.....	96
Şekil 6.18.	Farklı lehim gerilimlerinde ıslatma açısı grafiği.....	97
Şekil 6.19.	Farklı lehim gerilimlerinde lehim genişliği grafiği.....	98
Şekil 6.20.	Farklı lehim gerilimlerinde lehim yüksekliği grafiği.....	98
Şekil 6.21.	Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri.....	99

Şekil 6.22.	Farklı lehim ilerleme hızlarında ısılatma açısı grafiği.....	100
Şekil 6.23.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.....	101
Şekil 6.24.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.....	101
Şekil 6.25.	Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.....	102
Şekil 6.26.	Farklı lehim gaz debilerinde ısılatma açısı grafiği.....	103
Şekil 6.27.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.....	104
Şekil 6.28.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği.....	104
Şekil 6.29.	Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.....	105
Şekil 6.30.	Farklı lehim torç açılarında ısılatma açısı grafiği.....	106
Şekil 6.31.	Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.....	107
Şekil 6.32.	Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.....	107
Şekil 6.33.	Farklı lehim aralığında makro görüntüleri.....	108
Şekil 6.34.	Farklı lehim aralığında ısılatma açısı grafiği.....	109
Şekil 6.35.	Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği.....	109
Şekil 6.36.	Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği.....	110
Şekil 6.37.	Farklı lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.....	110
Şekil 6.38.	Farklı lehim gerilimlerinde mikrosertlik noktaları.....	112
Şekil 6.39.	Farklı lehim ilerleme hızları mikrosertlik noktaları.....	112
Şekil 6.40.	Farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik noktaları.....	114
Şekil 6.41.	Farklı lehim torç açılarında mikrosertlik noktaları.....	115
Şekil 6.42.	Farklı lehim aralıklarında mikrosertlik noktaları.....	116
Şekil 6.43.	Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği.....	117
Şekil 6.44.	65A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	118
Şekil 6.45.	Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	118
Şekil 6.46.	65A akım şiddetinde SEM görüntüsü.....	119
Şekil 6.47.	65A akım şiddetinde EDS analizi.....	119
Şekil 6.48.	Farklı lehim gerilimlerinde ısı girdisi grafiği.....	120
Şekil 6.49.	12V lehim geriliminde mikroyapı görüntüleri.....	121
Şekil 6.50.	Farklı lehim gerilimlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri..	121
Şekil 6.51.	12V lehim geriliminde SEM görüntüsü.....	122
Şekil 6.52.	12V lehim geriliminde EDS analizi.....	122
Şekil 6.53.	Farklı lehim ilerleme hızlarında ısı girdisi grafiği.....	123



Şekil 6.54.	34,28 cm/dk lehim ilerleme hızında mikroyapı görüntüleri.....	124
Şekil 6.55.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	124
Şekil 6.56.	34,28 cm/dk lehim ilerleme hızında SEM görüntüsü.....	125
Şekil 6.57.	34,28 cm/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.....	125
Şekil 6.58.	8 lt/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri.....	126
Şekil 6.59.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri	127
Şekil 6.60.	8 lt/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüsü.....	127
Şekil 6.61.	8 lt/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.....	128
Şekil 6.62.	70 <sup>0</sup> lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.....	129
Şekil 6.63.	Farklı torç açılarında lehim bölgesi ve ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	129
Şekil 6.64.	70 <sup>0</sup> torç açısında SEM görüntüsü	130
Şekil 6.65.	70 <sup>0</sup> torç açısında lehim ara bölge EDS analizi.....	130
Şekil 6.66.	0.5mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri.....	131
Şekil 6.67.	0.5 mm lehim aralığı SEM görüntüsü.....	132
Şekil 6.68.	0.5 mm lehim aralığı lehimlenmiş bölgenin EDS analizi.....	132
Şekil 6.69.	70A akım şiddetinde galvaniz tabakası azalan bölgenin uzunluğu	133
Şekil 6.70.	70A akım şiddetinde galvaniz tabakası azalan bölgenin EDS analizleri.....	133
Şekil 6.71.	70A akım şiddetinde galvaniz tabakası azalmamış bölgenin uzunluğu.....	134
Şekil 6.72.	70A akım şiddetinde galvaniz tabakasının başladığı bölgenin EDS analizleri.....	135
Şekil 6.73.	Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	136
Şekil 6.74.	Farklı akım şiddetlerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	137
Şekil 6.75.	Farklı lehim gerilimlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	138
Şekil 6.76.	Farklı lehim gerilimlerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	139
Şekil 6.77.	Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği.....	140
Şekil 6.78.	Farklı lehim hızlarında eğme kuvvetleri grafiği.....	141
Şekil 6.79.	Farklı lehim gaz debilerinde mukavemetleri grafiği.....	142
Şekil 6.80.	Farklı lehim gaz debilerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	143
Şekil 6.81.	Farklı lehim torç açılarında çekme mukavemetleri grafiği.....	144

Şekil 6.82.	Farklı lehim torç açılarında eğme kuvvetleri grafiği.....	145
Şekil 6.83.	Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemetleri grafiği.....	146
Şekil 6.84.	Farklı lehim aralıklarında eğme kuvvetleri grafiği.....	147
Şekil 6.85.	Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.....	148
Şekil 6.86.	85A Akım şiddetinde ana malzemede meydana gelen ergime.....	149
Şekil 6.87.	Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.....	150
Şekil 6.88.	Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği.....	150
Şekil 6.89.	Farklı lehim gerilimlerinde makro görüntüleri.....	151
Şekil 6.90.	14V lehim geriliminde ana malzemede oluşan ergime.....	152
Şekil 6.91.	Farklı lehim gerilimlerinde lehim genişliği grafiği.....	153
Şekil 6.92.	Farklı lehim gerilimlerinde lehim yüksekliği grafiği.....	153
Şekil 6.93.	Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri.....	154
Şekil 6.94.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.....	155
Şekil 6.95.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.....	156
Şekil 6.96.	Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.....	156
Şekil 6.97.	8 lt/dk (a) ve 10 lt/dk (b) gaz debisinde ana malzemede oluşan ergime.....	157
Şekil 6.98.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.....	158
Şekil 6.99.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği.....	158
Şekil 6.100.	Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.....	159
Şekil 6.101.	101. 50 <sup>0</sup> (a) ve 60 <sup>0</sup> (b) torç açısında ana malzemede oluşan ergime.....	160
Şekil 6.102.	Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.....	160
Şekil 6.103.	Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.....	161
Şekil 6.104.	Farklı lehim aralığında makro görüntüleri.....	162
Şekil 6.105.	Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği.....	163
Şekil 6.106.	Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği.....	163
Şekil 6.107.	Farklı lehim akım şiddetleri mikrosertlik noktaları.....	164
Şekil 6.108.	Farklı lehim gerilimleri mikrosertlik noktaları.....	165
Şekil 6.109.	Farklı lehim ilerleme hızları mikrosertlik noktaları.....	166
Şekil 6.110.	Farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik noktaları.....	167
Şekil 6.111.	Farklı lehim torç açılarında mikrosertlik noktaları.....	168
Şekil 6.112.	Farklı lehim aralıkları mikrosertlik noktaları.....	169

Şekil 6.113.	Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği.....	170
Şekil 6.114.	70A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	171
Şekil 6.115.	Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	171
Şekil 6.116.	70A akım şiddetinde SEM görüntüsü.....	172
Şekil 6.117.	70A akım şiddetinde EDS analizi.....	172
Şekil 6.118.	Farklı lehim gerilimlerinde ısı girdisi grafiği.....	173
Şekil 6.119.	12V lehim geriliminde mikroyapı görüntüleri.....	174
Şekil 6.120.	Farklı lehim gerilimlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri..	174
Şekil 6.121.	12V lehim geriliminde SEM görüntüsü.....	175
Şekil 6.122.	12V lehim geriliminde EDS analizi.....	175
Şekil 6.123.	Farklı lehim ilerleme hızlarında ısı girdisi grafiği.....	176
Şekil 6.124.	24 cm/dk lehim ilerleme hızında mikroyapı görüntüleri.....	177
Şekil 6.125.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	177
Şekil 6.126.	18,4 cm/dk lehim ilerleme hızında SEM görüntüsü.....	178
Şekil 6.127.	18,4 cm/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.....	178
Şekil 6.128.	14 lt/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri.....	179
Şekil 6.129.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri	180
Şekil 6.130.	14 lt/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüsü.....	180
Şekil 6.131.	14 lt/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.....	181
Şekil 6.132.	80 <sup>0</sup> lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.....	182
Şekil 6.133.	Farklı torç açılarında lehim bölgesi ve ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	182
Şekil 6.134.	80 <sup>0</sup> torç açısında SEM görüntüsü.....	183
Şekil 6.135.	80 <sup>0</sup> torç açısında lehim bölgesi EDS analizi.....	183
Şekil 6.136.	0.5mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri.....	184
Şekil 6.137.	0.5 mm lehim aralığı SEM görüntüsü.....	185
Şekil 6.138.	0.5 mm lehim aralığı lehimlenmiş bölgenin EDS analizi.....	185

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Kopma davranışının incelenmesi.....	36
Tablo 3.2.	Yavaş soğutma metodu ile üretilen çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi.....	49
Tablo 3.3.	Çift-fazlı çeliklerin otomotiv endüstrisindeki uygulamaları.....	51
Tablo 3.4.	Çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	52
Tablo 3.5.	Elektro kimyasal gerilim serisi.....	54
Tablo 3.6.	Çinkonun fiziksel özellikleri.....	54
Tablo 4.1.	CuSi3 lehim metalinin bileşimi - %.....	69
Tablo 4.2.	CuA8 lehim metalinin bileşimi - %.....	70
Tablo 4.3.	CuSn6 lehim metalinin bileşimi - %.....	71
Tablo 5.1.	DP 600 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	73
Tablo 5.2.	DP 600 çeliğinin mekanik özellikleri.....	73
Tablo 5.3.	CuAl8 lehim telinin kimyasal bileşimi.....	74
Tablo 5.4.	CuAl8 lehim telinin mekanik özellikleri	74
Tablo 6.1.	Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	82
Tablo 6.2.	Farklı lehim gerilimlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	84
Tablo 6.3.	Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	86
Tablo 6.4.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	88
Tablo 6.5.	Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	90
Tablo 6.6.	Farklı lehim aralıklarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	91

Tablo 6.7.	Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	136
Tablo 6.8.	Farklı lehim gerilimlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	138
Tablo 6.9.	Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	140
Tablo 6.10.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	142
Tablo 6.11.	Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	144
Tablo 6.12.	Farklı lehim aralıklarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	145

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Çift-Fazlı Çelik, DP600 Çelik, MIG-Lehimleme, Çekme Mukavemeti

Son Yıllarda araba montaj endüstrisi araba gövdelerinde düşük fiyat, iyi korozyon özellikleri ve mekanik özelliklerini birleştiren galvanizli çelik sacları kullanmaya başladı. Galvanizli DP 600 çelik saclar özellikle otomotiv endüstrisinde korozyon direnci ile konstrüksiyonlarda geniş oranda kullanılmaktadır. Araba montajlarında gaz metal ark kaynağı gibi geleneksel yöntemler kullanıldığında ana metal ve kaynaklanan bölge, çinkonun buharlaşmasıyla oksidasyona uğramaktadır. Çinkonun buharlaşma riskini azaltmak için, düşük ısı girdisi destekli yeni kaynak proseslerinde mesafe kat edilmeye başlandı. MIG kaynağının avantajları (yüksek damla geçişi, yüksek kaynak hızı ve otomasyona uygunluk) ile lehimlemenin (kaynaklanan malzemeyi ergitmeksizin ve mekanik özelliklerinde bir değişme olmaksızın) düşük ısı girdisini birleştiren, MIG-lehimlemedir.

Bu çalışmada 1mm kalınlığa sahip DP 600 çelik saclar MIG-lehimleme yöntemi kullanılarak bakır esaslı bir tel olan CuAl8 teli ile birleştirilmiştir. Numuneler iki farklı bağlantı biçimi olan bindirme ve alın bağlantılar olarak hazırlanmıştır. Lehimleme tatbikleri altı farklı parametrede, akım şiddeti, lehim gerilimi, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, torç açısı ve lehimleme aralığı olarak incelenmiştir.

MIG-lehimlenmiş malzemelerin mukavemet özellikleri, eğme kuvveti ve bağlantı bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı tetkiklerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada akım şiddeti, lehim gerilimi, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, torç açısı ve lehimleme aralıklarının, lehimlenen bağlantı bölgesi ve DP 600 çeliği arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır.

# **MIG BRAZING METHOD AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE UNIFICATION OF DUAL-PHASE STEEL SHEETS**

## **SUMMARY**

Keywords: MIG- Brazing, Dual Phase Steel, DP600 Steel, Tensile Strength

The car assembly industries have recently been using zinc-coated carbon steel sheets in passenger car bodies because they combine good mechanical properties, good corrosion resistance and low purchase cost of this material. Galvanized DP steel sheets are widely used in construction with corrosion resistance and especially in the automotive industry. In car assembly, where conventional welding processes like gas meta arc welding (GMAW) are used, the zinc coating is subject to severe evaporation and oxidation, leaving the weld bead and part of the base metal unprotected against subsequent oxidation. To reduce the risk of zinc evaporation, new welding processes with a low heat supply have begun to gain ground, for example MIG-brazing, which combines the advantages of the MIG process (high deposition rate, high welding speed and adaptable to automation) and brazing (without any intense fusion of the welded parts and without any appreciable alteration of the mechanical properties of the base metal and the coating applied).

In this study, DP 600 (Dual-Phase) steel plates having 1 mm thickness were joined by copper-based CuAl<sub>8</sub> wire in gas metal arc brazing technique. Specimens were prepared in two different joining forms as butt joint and overlap joint. Brazing operations were done with six different parameters, current intensities, arc voltages, travel speeds, shielding gas, torch angles and brazing gaps.

Tensile strength, bending force, microstructure of brazed materials, and their micro hardness distribution throughout joining were determined. In macro and microstructure examinations, stereo optical microscope, scanning electron microscope (SEM), SEM/energy dispersive spectroscopy was used. This study investigated effects of current intensities, arc voltages, travel speeds, shielding gas at flow rates, torch angles and brazing gaps on microstructure and microhardness distribution of transition zone between DP 600 steel and brazed metal of joined material.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Çelik kullanım oranının yüksek olduğu başlıca sektörlerden biri de otomotiv sektörüdür. Özellikle araçların karoseri tamamen çelik saclardan oluşturulur. Dünya çapında görülen enerji krizleri, enerjiye olan taleplerin artması ve enerji kaynaklarının azlığı, otomobil üreticilerini daha ekonomik, yakıt tüketimi daha az olan taşıt üretmeye yöneltmiştir. Taşıtlarda yakıt tasarrufu, motor verimi artırılarak ve/veya taşıt ağırlığını azaltarak mümkün olabilir [1]. Çift fazlı çeliklerin benzer alanlarda kullanılan diğer çeliklere göre mukavemet/ağırlık oranları daha yüksektir. Bunun yanında şekillendirilebilme kabiliyeti ve şekillendirme sonrası dayanımlarının daha iyi olması nedeniyle özellikle otomotiv endüstrisinde taşıt ağırlığının azaltılmasını sağlamaktadır. Ayrıca çift fazlı çelikler beyaz eşya endüstrisi olmak üzere, diğer taşıt araçları, makine imalat endüstrileri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [2,3].

Çift fazlı çelikler yüksek mukavemet ve şekillendirilme kabiliyetleri nedeniyle tamamen otomobil gövde, panel ve kaporta parçaları için üretilmektedir. Geliştirilen bu çelik kalitesi yerine geleneksel yüksek mukavemetli ya da yumuşak çeliklerin herhangi bir kalitesi kullanıldığında ortaya çıkan en büyük problem mukavemet ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin uyuşmamasıdır. Bu amaçla geliştirilen DP çelikleri daha ince kesitli malzeme kullanarak azalan ağırlığa karşın, artan mekanik özellikleri ile son derece önemli bir malzeme konumuna gelmiştir [4].

600 MPa mukavemete sahip DP 600 olarak adlandırılan dual-faz çeliği otomobil endüstrisinde yeni geliştirilmiş bir çift-faz çeliği olup özellikle otomobil karoserinde hafiflik, yüksek mukavemet, güvenlik, iyi korozyon dayanımı ve iyi zımbalama karakteristiği gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır [5,6].



Otomobil üretiminde yaklaşık 700 adet preslenmiş ve kesilmiş parça ile 400 adet talaş kaldırılarak işlenmiş parça; cıvata, perçin, kıvrırma, lehimleme, yapıştırma ve en yaygın olarak da kaynak yardımıyla birbirlerine birleştirilmektedir. Toplam kaynaklar; yaklaşık olarak 5000 adet elektrik nokta direnç kaynağından, 30 metre kadar ark kaynağından, 1 metre elektron ışın kaynağından ve 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır. Dolayısıyla karoseri üretiminde kullanılan çelik sacların birleştirilmesinde, otomasyona uyumlu olmaları nedeniyle sırasıyla en çok nokta direnç kaynağı ve gaz altı (MIG-MAG) kaynak yöntemi tercih edilir ve kullanılır [7,8]. Otomobil yapılarındaki bağlantılar işletme sırasında, dinamik ve statik zorlanmalara maruz kaldıkları için çoğu hasar ve çatlaklar, kaynaklar etrafında ve özellikle ısının tesiri altındaki bölgelerde (ITAB) meydana gelmektedir [9].

Son yıllarda, galvanizli çelik saclar otomotiv endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek korozyon dirençleri nedeniyle bu saclar modern otomobillerde kaplanmamış çelik sacların yerini almıştır. DP 600 çinko ile kaplanmış yüksek mukavemetli bir çeliktir. Fakat çinko kaplanmış çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemlerinde bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Nokta direnç kaynağında elektrotun çabuk aşınması ve elektrot ömrünün kısa olması kaynak kalitesi açısından problem teşkil etmektedir [5]. Bununla beraber, kaplama uygulanmış yüksek mukavemetli çelikler için kaynak metali bölgesinde metal kayıpları, boşluk, gözenek ve porozite gibi süreksizliklerden dolayı kaynak mukavemetinde düşüşler gözlenir. Ayrıca kaynak yüzeyi kolayca korozyona uğrayabilir. Çinko ile kaplanmış DP 600 çelik sacının gaz altı kaynaklarında ise yüksek sıcaklıklardan dolayı çinko buharlaşması ve distorsiyon ile karşı karşıya kalınmaktadır.

Bununla birlikte son yıllarda galvanizli ürünlerin kullanımındaki artış endüstriyi bu malzemenin kaynağı üzerine araştırmalar yapmaya yoğunlaştırmıştır. Yüksek verimlilik ile birlikte yüksek kaynak kalitesi gibi zorlukların üstesinden gelmek için endüstri yeni alternatif prosesler uygulamaktadır. Bu alternatiflerin arasında elektrik ark-lehimleme göze çarpmaktadır. Bu, malzemelerin birleştirilmesinde yeni bir kavram ve bugünlerde “MIG-Lehimleme” olarak kullanılmaktadır.

MIG-lehimleme geleneksel lehimleme yöntemlerinden farklı olarak ilave metalde kapiler hareketle bağlantıda birikmesi ya da dağılmasıdır. Bu yöntemde yalnızca ilave metal erir, ana metalde bir ergime gerçekleşmez ve bağlantıya yakın bir bölgede ısılatma vasıtasıyla atomik bir difüzyon meydana gelir.

Elektrik ark lehimlemede kullanılan kaynak donanımları MIG kaynağında kullanılanlar ile aynıdır. Kaynak teli biçimi, besleme ünitesinden beslenen ilave metal ve atmosfer koruma olarak MIG kaynağında kullanılan soy gazlardır. Elektrik ark lehimleme denilen bu yeni kavrama hem lehimleme hem de gaz altı kaynağına sahip karakteristiklerinden dolayı İngilizcede yaygın olarak kullanılan “MIG-BRAZING” (MIG-Lehimleme) denilmiştir.

MIG-lehimleme düşük ısı girdisi ile kaynağın yakın bölgesinde korozyon korumasını sağlayan Zn miktarının minimum miktarlarda yanmasını sağlar. Genellikle MIG kaynağında elektrot telinin ergime sıcaklığı Zn (910 °C) buharlaşma sıcaklığından daha yüksektir. Bu durum kaynak bölgesinde çinkonun buharlaşmasına sebep olur. MIG-lehimlemede ise lehim sıcaklığının azalması ile çelik sacda daha az çarpılma ve daha az Zn buharlaşacak ve düzen malzemenin ilk durumu gibi olacaktır.

Guimaraes (2007) galvanizli çeliklerde çinko katmanının davranışını incelemiş ve galvaniz katmanının korumasında bir rolü olan Zn katmanının kaybında önemli bir azalma görmüştür [10]. Quintino (2006) galvanizli çelik sacların MIG-lehimlemede koruyucu gazların etkisini incelemiş, farklı gaz korumalarda farklı ısı girdileri tespit etmiş ve buna bağlı olarak Zn kayıplarında değişimler olabileceğini söylemiştir [11]. Yu Zhi-shui (2006) galvanizlenmiş ince saclarda MIG-lehimlemede bağlantının ara yüzeyinde oluşan bileşiklerin büyüme davranışlarını incelemiş ve ara yüzeylerde oluşan intermetalik bileşikleri analiz etmiştir [12].

Bu çalışma otomotiv sektöründe kullanılan galvanizlenmiş DP 600 çelik saclarının MIG-lehimleme ile farklı akım şiddetleri, voltaj farkları, farklı lehim ilerleme, farklı torç açılarında birleştirilebilirliğini ve mekanik özelliklerini incelemektedir. Ayrıca farklı parametrelerde uygulanan lehim parçalarının mukavemet özellikleri incelenecektir.

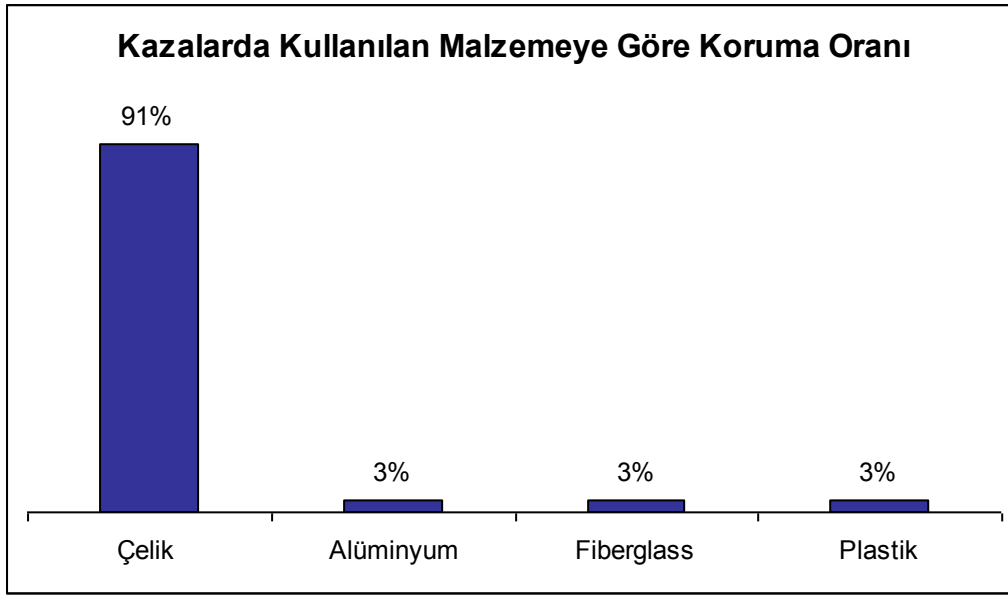
Lehim kepinin ve lehim kökünün yükseklikleri tespit edilerek farklı parametre değerlerinde ısı girdileri hesap edilerek en uygun parametre belirlenmeye çalışılacaktır. Belirlenen bu parametrelerle DP 600 galvanizlenmiş otomotiv sacının diğer birleştirme yöntemlerine göre avantajlarının ispat edilmesi hedeflenmektedir.

## **BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK**

Demir ve çelik malzemelerin hammaddesi olan demir, dünyada en çok bulunan elementlerden biri olup çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Gerek ucuzluğu gerekse işlenmesindeki kolaylığından dolayı makine, taşımacılık ve savunma sanayi, dekoratif ve mobilya sektörleri gibi pek çok sektörün vazgeçilmez malzemesi olmaktadır. Özellikle çelik malzemeler üzerine yapılan araştırma-geliştirme faaliyetleri neticesinde malzemelerin yeni alanlarda kullanımında önemli artışlar görülmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte yeni nesil çelikler geliştirilmiş, mukavemet ve hafiflik gibi önemli kazanımlar sağlanmıştır. Bu kazanımların en büyük etkilerinin gözlemlendiği sektörlerden biride otomotiv endüstrisidir.

Otomotiv endüstrisinde çelik kullanımı üretilen otomotiv adeti ile yakından ilgilidir. Bugün sadece Amerika da üretilen araba adeti 18 milyon civarındadır. Kuzey Amerika'da sadece otomobiller için 16 milyon ton çelik kullanılmaktadır. Malzeme seçiminde en önemli parametreler hammadde ve süreç maliyeti, kalite ve sağlamlık, sürekli malzeme temin edilebilirlik, mukavemet ve korozyon gibi fonksiyonel özellikler, üretim yöntemleri, oluşan atıklar ve geri dönüşebilirliktir. Çelik bu koşulların hemen hepsine cevap verebilmektedir.

Taşıtlarda önemli bir unsur olan güvenliğin geliştirilmesi arzusu çelik gibi yüksek mukavemetli malzemelerin daha yoğun kullanılmasına yol açmaktadır. Kullanılan malzeme türüne göre kazalardan korunma oranları Şekil 2.1'de verilmiştir. Yapılan kazalarda çelik yapılar ile tasarımı yapılmış araçlarda can kaybının %90 oranında azaltılması mümkün olmaktadır. Alüminyum ve diğer fiberglas, plastik malzemelerinininki ise %3 civarındadır. Bu önemli avantaj çelik kullanımı daha da cazip hale getirmiştir [4].

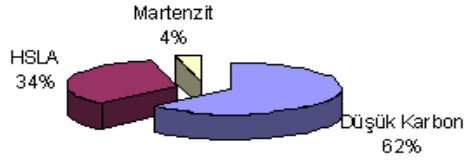


Şekil 2.1. Kazalarda kullanılan malzemelere göre koruma oranı

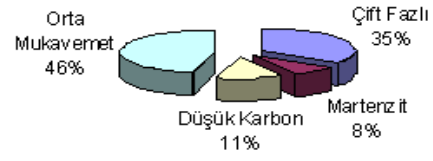
Genel olarak, otomobil gövdesi metal sac parçalardan oluşmakta olup yaklaşık olarak toplam araç kütesinin %25'ini meydana getirmektedir. Bu parçaların yeni nesil çelikler ile üretilmesi son zamanlarda büyük önem arz etmekte olup bu çelikler birim ağırlık için daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olmakta ve sac metal endüstrisindeki kullanımlarında çok hızlı bir artış görülmektedir [13,14].

Otomotiv endüstrisinde kullanılan bazı çelik türlerinin dünü, bugünü ve gelecekteki durumunu gösteren grafik Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere yakın gelecekte özellikle yüksek mukavemetli çeliklerden çift fazlı çeliklerin taşıtlarda kullanım miktarının %45'lere kadar artacağı öngörülmektedir. Bu artış ile araçlarda sağlanan hafifletmenin özellikle yakıt tasarrufu ve gaz emisyonuna olan katkısı çok büyük olacaktır. Benzer öngörüler alüminyum alaşımları içinde daha önceki çalışmalarda vurgulanmış olup hafif malzemeler ile ağırlığı 1100 kg'a düşürülmüş sedan bir araç ile 1400 kg ağırlığındaki aracın ömürleri boyunca harcamış oldukları yakıt miktarında 3000 litrelik bir kazanım elde etmek mümkün olmaktadır [15].

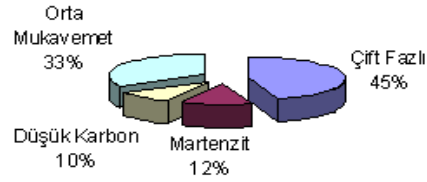
Geçmişte Kullanılan Çelik Oranları



Yakın Gelecekte Kullanılan Çelik Oranları

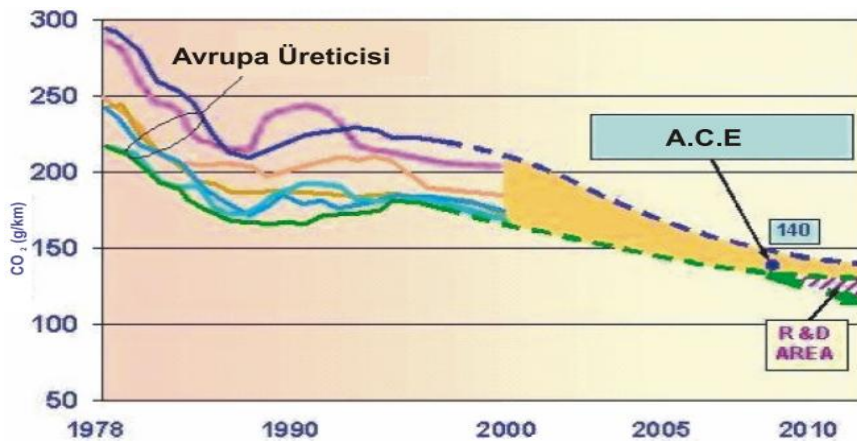


Gelecekte Kullanılacak Çelik Oranları

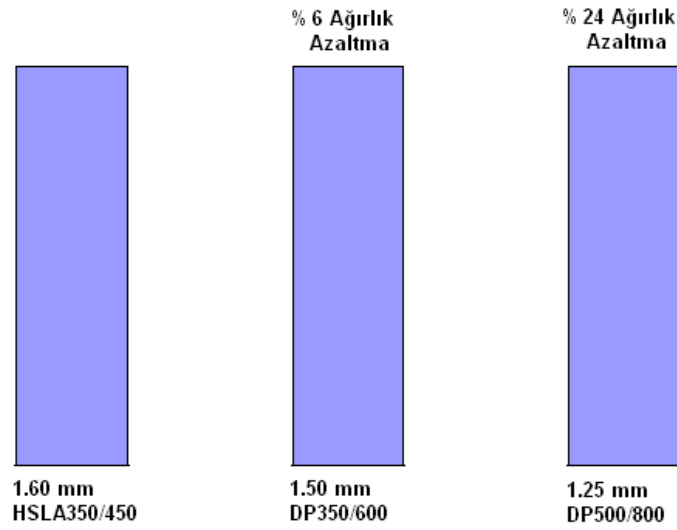


Şekil 2.2. Taşıtlarda çeliklerin kullanım oranları

Ayrıca bu taşıtların geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerle (Advanced High Strenght Steel (AHSS)) yapılan üretimi ile yaklaşık ömrü boyunca 2800 kg'lık bir azalma sağlamak mümkün olabilmektedir. Bu kazanımların 460 kg'lık bölümü malzemelerin üretimi esnasında sağlanırken, geri kalan 2340 kg'lık bölümü ise taşıtların kullanımı esnasında sağlanmaktadır. Yıllara göre CO<sub>2</sub> emisyonu Şekil 2.3'de gösterilmiş olup grafikte azalma eğilimi görülmektedir. Bu azalmanın daha da düşürülmesi için yeni kurallar getirilecektir. Avrupa birliği 2012 yılı için taşıtlardaki CO<sub>2</sub> emisyon miktarının 140 g CO<sub>2</sub>/kg'dan 120 g CO<sub>2</sub>/kg'a düşmesini hedeflemektedir [16].

Şekil 2.3. Taşıtlardaki CO<sub>2</sub> emisyon miktarının yıllara göre değişimi [16]

Otomobillerde kullanılan sac parçalarındaki kalınlık azaltılmasının araç ağırlığına olan etkisi Şekil 2.4’de gösterilmiş olup malzemede sağlanan mukavemet artırımını ile daha ince kalınlıktaki parçaların kullanılması mümkün hale gelmektedir. Bu anlamda kalınlık azaltılması ile ağırlıkta yaklaşık %24’lük bir kazanım elde etmek mümkün olmaktadır. Bu yeni nesil çeliklerin kullanımının artırılması için en uygun şekillendirme yönteminin belirlenmesi gerekmektedir [17].



Şekil 2.4. Saclarda kalınlık azaltılmasının sağladığı ağırlık kazancı

Günümüzde gittikçe artan sürüş emniyeti gereksinimi, yakıt tasarrufu ve çevresel faktörlerden dolayı en azından araçların karasöri kısmı hafifletmekte yani otomobillerde kullanılan sacların kalınlığı gittikçe azalmakta, ancak bununla birlikte, bu sacların mukavemeti güvenlik gereksinimini karşılayabilmek için artmaktadır [18].

Bu nedenle özellikle son yıllarda Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik Saclar (Advanced High Strength Steel-AHSS) otomobillerde ve diğer araçlarda giderek daha yoğun oranda tercih edilmeye başlanmıştır.

Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik Sacların kullanıldığı yerler aşağıda belirtilmiştir:

1. Ağır araçlarda
2. Otomobillerin güvenlik parçalarında
3. Vinç imalatında
4. Otomobil koltuklarında
5. Konteynerlerde
6. Değişik tip uygulamalarında, örneğin bebek arabaları ve bisikletlerde

## 2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelikler

Otomotiv endüstrisinde kullanılan saclar yaygın olarak metalürjik dizaynlarına ve mukavemetlerine göre sınıflanırlar ve tanımlanırlar. Mukavemete göre yapılan sınıflandırmaya göre, Yüksek Mukavemet Çelikleri (HSS) çekme dayanımları 270-700 MPa olan çeliklerdir. Ultra-Yüksek Mukavemet Çelikleri (UHSS) çekme dayanımları 700 MPa'ın üstünde olan çeliklerdir [19].

LSS, (Low Strength Steel) Düşük mukavemet çelikleri olup genellikle alaşımsız ve orta karbonlu çeliklerdir.

HSS, (High Strength Steel) konvansiyonel yüksek mukavemet çelikleri, genellikle karbon-mangan, fırında sertleştirilebilen izotropik, yüksek mukavemetli IF ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerdir.

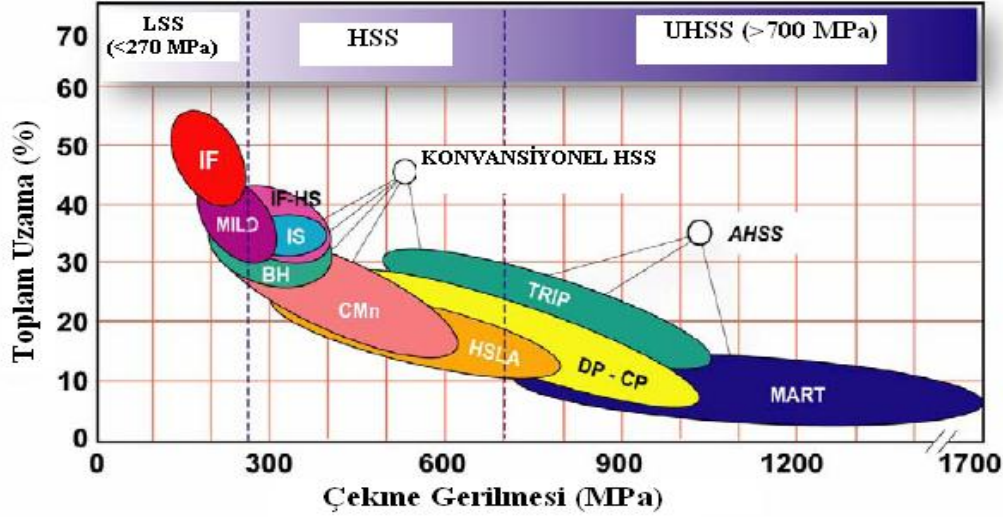
AHSS ise (Advanced High Strength Steel) Gelişmiş yüksek mukavemet çeliklerinin yeni tipleri ise aşağıda sıralanmıştır:

1. Mikro alaşımlanmış YP ve MC çelik saclar
2. Dual Faz DP ve DL Çelik Saclar
3. Trip Çelik saclar
4. Martensitik M Çelik Saclar
5. Mangan Boron çelikleri

AHSS saclar ile diğer saclar arasındaki mukavemet ve % uzama oranları Şekil 2.5'de gösterilmiştir. AHSS'in HSS ve UHSS çekme dayanım alanlarını kapladığı görülür.



Genel olarak, AHSS ailesi benzer çekme dayanımlarındaki konvansiyonel HSS' den daha büyük toplam uzamaya sahiptir.



Şekil 2.5. AHSS saclar, düşük mukavemetli saclar ve konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar (HSS) arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi [20]

## 2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan AHSS Türleri

Konvansiyonel düşük ve yüksek mukavemetli çeliklerin (High Strength Steel -HSS) metalürjisi ve üretimi konvansiyonel çeliklere göre alışılmamış bazı özellikler içerir. Bütün AHSS'ler östenit veya östenit + ferrit fazından başlayarak kontrollü soğutmayla -sıcak haddelenmiş ürünler için haddeleme sırasında, kaplama veya tavlama yapılmış ürünler için tav fırınlarında- üretilirler [20]. Martenzitik çelikler ise, östenit fazından hızlı soğutma ile östenitin büyük çoğunluğunu martenzite dönüştürerek üretilirler.

Çift fazlı (DP) ferritik-martenzitik çelikler ise östenit fazından kontrollü soğutmayla (sıcak hadde ürünlerinde) veya ferrit-östenit çift fazından (sürekli tavllanmış ve sıcak kaplanmış ürünlerde) hızlı soğumadan önce östenitin bir kısmını ferrite dönüştürüp, hızlı soğumayla geri kalan kısmını martenzite dönüştürerek elde edilirler.

TRIP çelikleri ise ara sıcaklıkta izotermal tutulma ile bir miktar beynit oluşturularak üretilirler. TRIP çeliklerinde yüksek silisyum ve karbon miktarları son mikroyapıda yüksek hacim oranlarında artık östenite sebep olur.

Kompleks fazlı çelikler de benzer soğutma şekliyle üretilirler, fakat daha az artık östenit eldesi ve daha ince çökeltiler oluşturmak için kimyasal bileşimleri düzenlenir.

### **2.2.1. Mikro alaşımlanmış YP ve MC çelik saclar**

YP ve MC çelik saclar mikro alaşımlanmış ve soğuk haddelenmiş çelikler olup yüksek mukavemet niyobyum ve titanyum gibi metallerin mikro alaşımlanması ile elde edilmektedir. Bu tarz çeliklerde akma dayanımı ile çekme dayanımı arasında çok az bir fark olup bükme ve presleme karakteristikleri akma noktalarına bağlı olarak çok iyidir. Bunlarla birlikte kaynak edilebilirlikleri çok iyidir. Bu tarz malzemelerin kalitesi minimum akma mukavemeti üzerinden tanımlanmaktadır.

### **2.2.2. Çift fazlı yüksek mukavemetli çelikler**

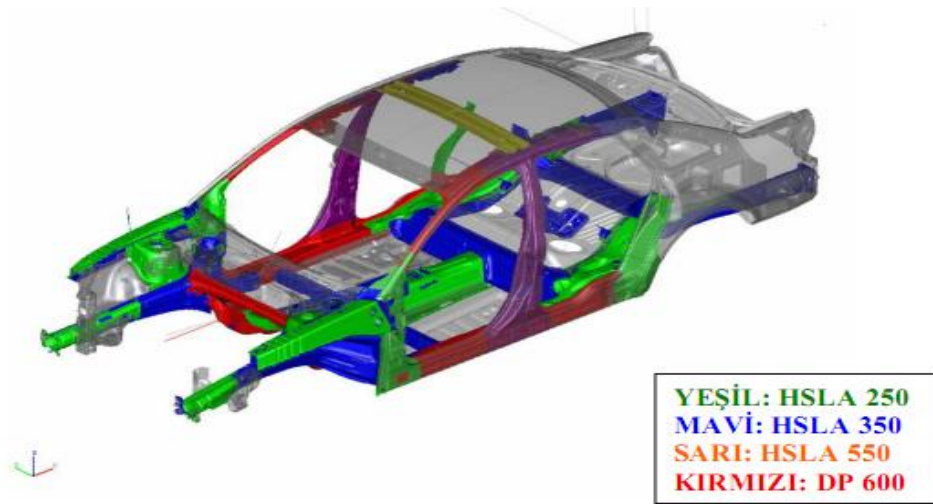
Çift fazlı malzemeler (Dual Phase) 2000'li yılların başından itibaren kullanımına başlanmıştır. Bu malzemelerin ana yapısı tamamen özel tavlama ile sacın ferritik özelliklerinin artırılması ve böylece malzemeye kolay şekil verebilmenin sağlanması, ikinci faz olarak da martenzit fazın oluşturulması ki bu faz iğneli sert yapısı ile mukavemet özelliğini arttırmaktadır. Bu çelikler, ferrit matris içerisinde sert bir ikinci fazın dispersiyonundan oluşan bir mikroyapı ile karakterize edilirler. İkinci faz genellikle yaklaşık %20 lik bir seviyede olan martenzittir, ancak diğer düşük sıcaklık ürünleri ve kalıntı ostenit de bulunabilir. Sürekli akma davranışı, düşük bir akma/çekme mukavemet oranı, yüksek bir deformasyon sertleşme hızı ve yüksek seviyede üniform ve toplam uzama gösterirler. Çift fazlı çelik mikro-yapısı ostenitten martenzite dönüşüm için yeterince yüksek bir hızda  $A_1$  ile  $A_3$  iki fazlı kritik bölgeden çeliği soğutma ile üretilirler [21].

Bu çeliklerin kimyasal bileşimi bu yüzden ısı referans sıcaklıklarının ve aynı zamanda martenzite dönüşüm için kritik soğuma hızının (sertleşebilirlik) saptanmasında büyük öneme sahiptir.

Genel olarak bu çelikler % 0.1'den daha az karbon içerirler ve bu sayede kaynak edilebilme kabiliyetine sahip olurlar. Tavlamayı takip eden hızlı soğutma sonucunda mikro-yapıdaki martenzitin % 20'si oluşur. %1 ila 1.5 arasındaki mangan, hızlı soğutmada martenzitin oluşmasını sağlar. % 0.6'nın altındaki miktarlarda krom ve molibden de çeliğe ilave edilebilir. Silisyum, katı eriyik sertleşmesi amacıyla ilave edilir. Vanadyum, niyobyum, titanyum, gibi mikro alaşım elementleri, çökeltme sertleşmesi veya tane boyutu kontrolü için ilave edilebilir. Fazın yapısında tavlama uzun tutularak iğne yapılı gevrek özelliğin artırılması ile mukavemet en üst düzeye çıkartılmaktadır.

DP çelikleri yüksek mukavemet ve şekillendirilme kabiliyetleri nedeniyle tamamen otomobil gövde, panel ve kaporta parçaları için üretilmektedir. Geliştirilen bu çelik kalitesi yerine geleneksel yüksek mukavemetli ya da yumuşak çeliklerin herhangi bir kalitesi kullanıldığında ortaya çıkan en büyük problem mukavemet ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin uyumsuzmasıdır. Aslında aşırı mukavim ve aşırı sünek malzemeler parça optimizasyonunun sırasında üretimde önemli sorunlar yaratırlar. Bu amaçla geliştirilen DP çelikleri daha ince kesitli malzeme kullanarak azalan ağırlığa karşın, artan mekanik özellikleri ile son derece önemli bir malzeme konumuna gelmiştir.

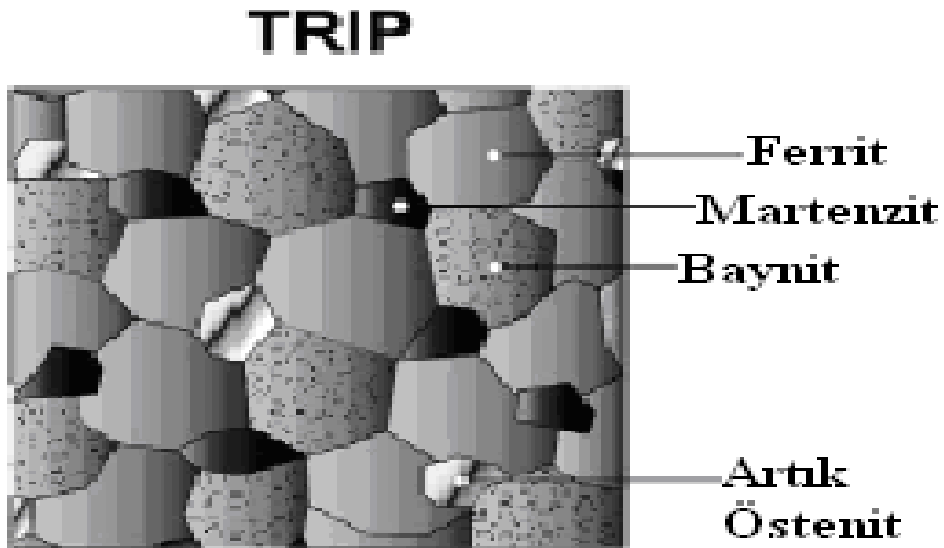
Otomobil gövde elamanlarının üretiminde, çeliklerin mekanik özellikleri başta olmak üzere çeşitli özelliklerinden yararlanılarak kullanılacak çeliğin türü belirlenmektedir. Şasi ve panellerde daha yüksek mukavemetli (Çift Fazlı-Dual Phase Steel) çelikler kullanılmakla birlikte destek braketlerinde ve destek parçalarında plastik şekil değiştirebilme özelliği ön plana çıkabilmektedir.



Şekil 2.6. Otomobili oluşturan çeliklerin kullanım yerleri ve çeşitleri [4]

### 2.2.3. Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikler

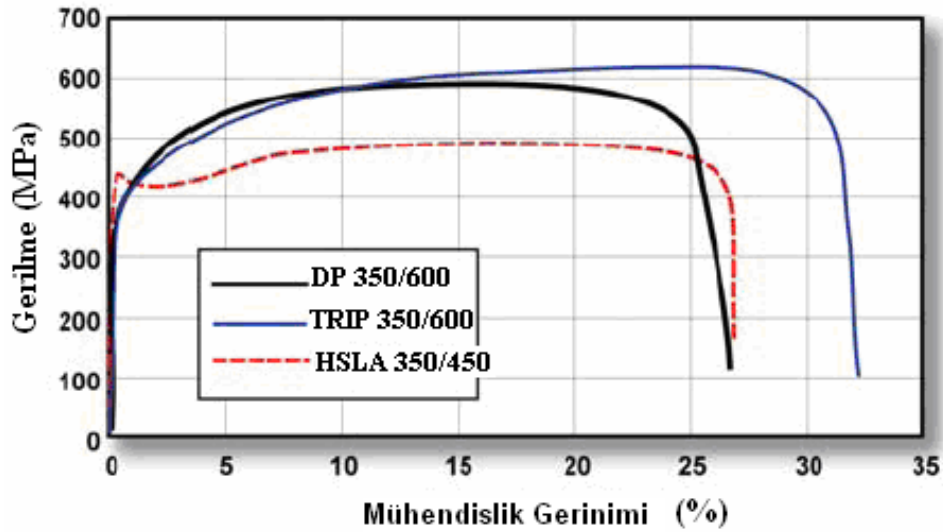
TRIP çeliklerinin mikroyapısı, birincil ferrit matrisi içerisine gömülmüş artık östenit şeklindedir. Artık östenitle beraber çeşitli miktarlarda martenzit ve beynit gibi sert fazlar da görülür. TRIP çeliğinin şematik mikroyapısı Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. TRIP çeliğinin şematik mikroyapısı [20]

DP çeliklerinde de görüldüğü gibi deformasyon sırasında, yumuşak ferrit içinde dağılmış sert ikincil fazlar yüksek çalışma sertleşmesi eldesi sağlarlar. Fakat TRIP çeliklerinde artık östenit yükselen gerilimle beraber hızla martenzite dönüşerek yüksek gerinimlerde çalışma sertleşmesi verir.

Bu durum Şekil 2.8’de aynı akma dayanımlarındaki HSLA DP ve TRIP çeliklerinin kıyaslanmasında gösterilmiştir. TRIP çelikleri DP çeliklerine göre daha düşük ilk işlem sertleşmesi değerine sahipken, DP çeliğinden daha yüksek gerinimlere kadar devam edebilmektedir.



Şekil 2.8. HSLA DP ve TRIP çeliklerinin kıyaslanması [20]

TRIP çeliklerinin çalışma sertleşmesi oranları konvansiyonel HSS'den daha iyidir. Bu durum tasarımcıların yüksek sertleşme avantajını şekil verildiği gibi kullanılan parça dizaynında ele almasıyla önem kazanır. TRIP çeliklerinin bu özellikleri gerinimle şekil verme uygulamalarında DP çeliklerine göre avantaj sağlar. TRIP çelikleri martenzit başlangıç sıcaklığını ortam sıcaklığının altına çekerek artık östenit oluşturmak için daha yüksek karbon miktarı kullanır.

Silis ve alüminyum, baynit bölgesinde karbür çökmesini önlemek için kullanılır. Karbon miktarı değiştirilerek, artık östenitin martenzite dönüşme anındaki gerinim değeri tasarlanabilir.

Düşük karbon değerlerinde, preste basma işleminde artık östenit deformasyonla beraber hızla martenzite dönüşerek işlem sertleşmesi oranını ve şekil verilebilirliği yükseltir.

Yüksek karbon değerlerinde ise şekil verme sırasında artık östenit daha karardır. Bu karbon değerinde artık östenit çarpma olayındaki gibi en son deformasyon durumlarında martenzite dönüşür. TRIP çelikleri mükemmel şekil verilebilirlik ve çarpma anındaki yüksek enerji absorpsiyonu durumları için tasarlanabilir. TRIP çeliklerine alaşım elementi ilavesi, nokta kaynağı dayanımını düşürür. Bu durum kaynak yönteminin geliştirilmesiyle düzeltilebilir.

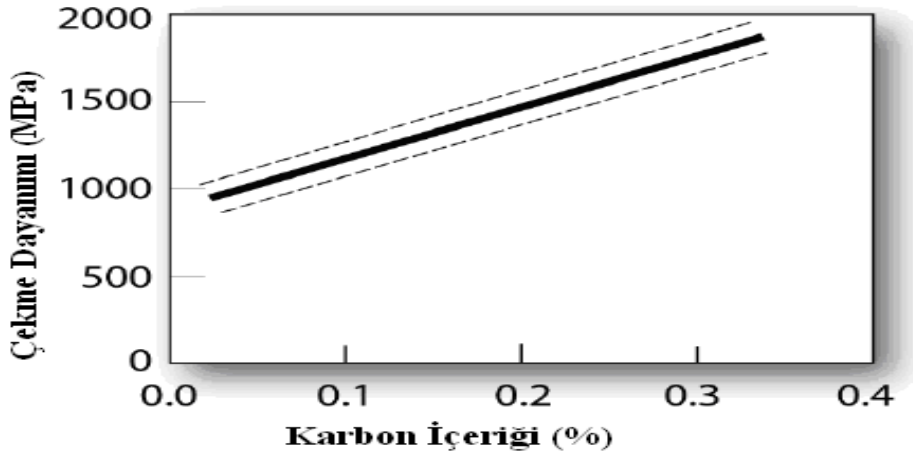
#### **2.2.4. Kompleks fazlı (CP) çelikler**

Kompleks fazlı çelikler yüksek çekme dayanımlarına ulaşan çelik türleridir. CP çelikleri çok ince mikroyapıdaki ferrit ve yüksek hacim oranlarındaki ince sert kökeltelerden oluşur. DP ve TRIP çeliklerinde de bulunan benzer alaşım elementleri kullanılır fakat çoğunlukla az miktarlarda niyobyum, titanyum ve vanadyum içerirler. CP çelikleri 800 MPa ve üzeri eşdeğer çekme dayanımlarında yüksek akma dayanımı gösterirler. CP çelikleri yüksek deformasyona uğrama, enerji absorpsiyonu ve artan deformasyon kapasitesine sahiptirler.

#### **2.2.5. Martenzitik (Mart) çelikler**

Martenzitik çelik elde etmek için, sıcak haddeleme ya da tavlama sırasında oluşan östenit, soğutma işlemi esnasında tamamıyla martenzite dönüştürülür [20]. Yapı ayrıca, şekillendirme işlemi sonrasında uygulanan ısıl işlemle de elde edilebilir. Martenzitik çelikler 1700 MPa'a kadar çok yüksek çekme dayanımlarına çıkabilirler. Martenzitik çelikler çoğunlukla sünekliğin artırılması için su verme sonrası temper işlemine tabi tutulurlar. Sertleşebilirliğin artırılması ve martenzitin dayanımının artırılması için karbon ilavesi yapılabilir.

Temperlenmemiş martenzitte karbon içeriği-çekme dayanımı ilişkisini Şekil 2.9'daki veriler gösterir. Sertleşebilirliği arttırmak için ayrıca, mangan, silisyum, krom, molibden, bor, vanadyum ve nikel ilave edilir.



Şekil 2.9. Temperlenmemiş martenzitte karbon içeriği-çekme dayanımı ilişkisi

## 2.2.6. Gelişen AHSS türleri

AHSS'in yeteneklerinin yanında otomotiv endüstrisinin ihtiyaçları doğrultusunda, çelik endüstrisi yeni çelik türleri geliştirme çalışmalarına devam etmektedir. Bu çelikler ağırlık azatımı, dayanım artımı ve uzama artımı için tasarlanırlar. Bu gelişen çeliklere örnek olarak TWIP (İkizlemeyle plastikliği arttırılmış) çelikleri ve nano tane boyutlu çelikler verilebilir.

### 2.2.6.1. IF çelikleri (Interstitial-Free)

If (Interstitial-Free) çelikleri mükemmel derin çekilebilirliğin gerektiği yerlerde yaygın olarak kullanılan bir çelik türüdür. IF çelikleri sıcak daldırma ile galvanizlemeye ya da sürekli tavlama hatlarında ekstra derin çekme sacların üretimine olanak sağlar.

Bu çelikler arayer katı eriyiği oluşturan elementler olan düşük karbon ve azot içeriklerinden dolayı ( örnek olarak  $<0,0030$  %C ve  $<0,0040$  %N) biçimlendirmeye

en uygun olup, ayrıca düşük akma dayanımı ve kesit incelmesine karşı yüksek direnç gösterirler.



Şekil 2.10. Otomobillerde kullanılan IF7111 ve IF 7114 kalite sac gövde parçaları [22]

Karmaşık geometriye sahip şekillendirilmesi zor olan otomotiv gövde parçaları, derin çekmeye uygun kalite çeliklerin sahip olduğu akma mukavemet değerlerinin altındaki değerlere sahip çeliklerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmaların sonucunda son derece düşük miktarda arayer elementi içeren ve %50 gibi iyi bir uzama ve akma dayanıcı  $13-15 \text{ kg/mm}^2$  mükemmel derin çekilebilir soğuk haddelenmiş çelik olarak tanımlanan yumuşak IF çelikleri üretilmiştir. Otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan IF çelikleri 7111, 7114, 6224, 3010 olarak sıralanabilir.

### 2.2.6.2. Yumuşak çelikler

Yumuşak çelikler ferritik mikroyapıya sahiptir. Ana sertleştiriciler; katı çözültideki element bileşikleri, karbür/nitrür çökeltileri ve tane saflaştırması işlemleridir. Çekme kalite çelikleri ve alüminyumu alınmış çelikler geniş uygulama alanı ve üretim hacimleriyle örnek olarak verilebilir.



### **2.2.6.3. Fırında sertleştirilebilen (BH) çelikler**

Fırında sertleştirilebilen çelikler ana ferritik mikroyapıdadır ve katı çökelti sertleştirilmesi ile sertleştirilirler. Bu çeliklerin belirleyici özellikleri kimyaları ve üretimidir. Çelik üretimi esnasında karbon çözeltide tutulur, boya pişirme esnasında karbonun çözültiden çıkması sağlanır. Bu sayede şekil verilmiş çeliğin akma dayanımı yükselir.

### **2.2.6.4. İzotropik çelikler**

İzotropik çelikler esas olarak ferritik mikroyapıdadır. Bu çeliklerin özelliği 'delta r' değerinin sıfıra eşit olmasıdır.

### **2.2.6.5. Karbon-mangan (CM) çelikleri**

Yüksek mukavemetli karbon-mangan çelikleri üretim esası olarak katı çözülti sertleşmesi ile dayanımları artırılır.

## BÖLÜM 3. ÇİFT FAZLI ÇELİKLER

### 3.1. Giriş

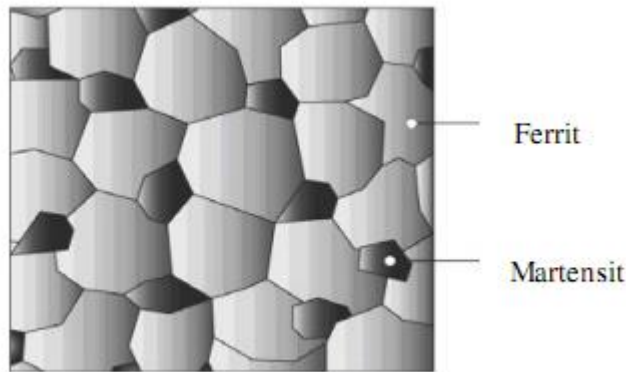
Otomobillerde yakıt tüketimini azaltıcı önlemlerin alınmasını gerektiren sebeplerin başında 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi olmuştur. Bu durum hafif otomobillerin üretilmesi gereksinimlerini doğurmuş, yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı gündeme gelmiştir. Yüksek mukavemetli az alaşımlı (H.S.L.A.) çeliklerin diğer karbon çelikleri ile mukayese edildiğinde şekil verme özelliklerinin iyi olmaması, araştırmaları yeni bir malzeme arayışına yönlendirmiş, bunun sonucu olarak da çift fazlı çelikler geliştirilmiştir.

Çift fazlı çelik kavramı 1937'de yeni bir yatak malzemesinin üretimi için Grabe'in %0,25 C'lu bir çeliği kritik bölgeden soğutması sonucunda çift fazlı yapıyı elde etmesi ve patent almasıyla tanınmıştır. 1947'de Herres ve Lorig, tamamlanmamış ostenitleştirmenin yüksek alaşımlı ostenit adalarının oluşumuna ve arkasından martensite dönüşümüne yol açan bir çelik bileşimine etkilerini tanımlamışlardır. 1960'lı yıllar kalay kaplama uygulamaları için yeniden fosforlanmış kalitelere bir alternatif olarak ferrit martensit şerit gelişimi üzerine Williams ve Davies'in bir makalesi ile başlanan çalışma çift fazlı çeliklerin esas inceleme periyodu olarak anılır. Cairns ve Charles tarafından yapılan çalışmalarda bu tip çelikler üzerine yapılan ilk çalışmalardandır. Çift fazlı çelikler üzerine yapılan asıl çalışmalar 1970 ler boyunca devam etmiştir. Tamura (1996) martensitin mukavemeti ve hacim oranı arasında bir ilişki tespit etmiştir. Hayami ve Furukawa (1975) ise sürekli tavlama yolu ile işlenen ferrit-martensit çeliklerinin özelliklerini tartışmışlardır.

Çift fazlı çelikler genel olarak %0.1 den daha az karbon içerirler ve bu sayede kaynak edilebilme kabiliyetleri iyidir. Tavlamaı takip eden hızlı soğutma sonucunda mikroyapıdaki martensitin %20'si oluşur. %1 ile 1.5 arasında manganez, hızlı soğutmada martensitin oluşmasını sağlar.

%0.6'nın altındaki miktarlarda krom ve molibdenide çeliğe ilave edilebilir. Silisyum katı eriyik sertleşmesi amacıyla ilave edilebilir. Vanadyum, Niyobyum, Titanyum gibi mikroalaşım elementleri çökelme sertleşmesi ve/veya tane boyutu kontrolü için ilave edilir [23].

Çift fazlı çelikler, mikroyapılarında ferrit matrisi içinde adacıklar şeklinde martensit parçacıkları içeren az karbonlu, az alaşımlı veya alaşımsız yüksek dayanımlı gelişmiş çelik türleridir. Şekil 3.1'de yapılarında ferrit ve martensit fazını bir arada bulduklarından ötürü hem yüksek mukavemete hem de yüksek sünekliğe sahiptirler. Yapıda bulunan ferrit ( $\alpha$ ) fazı yüksek sünekliği sağlarken, martensit (M) fazı ise sertlik ve mukavemeti arttırmaktadır [24,25,26,27,28-29].



Şekil 3.1. Çift fazlı çelikte ferrit ve martensit görünüşü

İdeal çift fazlı çelik özellikleri için, ticari çift fazlı çeliklerde en fazla %0,3 C ve %15-25 martensit hacim oranı (MHO) tercih edilir. Soğutma sonrasında ikinci fazı oluşturan martensit haricinde beynit, perlit veya kalıntı ostenit fazların oluşması ideal çift-fazlı çelik özelliklerinin elde edilememesine sebep olur. İdeal çift-fazlı çelik özelliklerini sağlamak için kimyasal içeriğin yanında, üretim şartlarının ve ısıl işlem süresinin bilinmesi gereklidir [30,31-32].

### 3.2. Çift Fazlı Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Yapılarındaki sert martensit fazından dolayı mukavemeti yüksek, sünek ve ince ferrit tanelerinden dolayı şekil verilebilme yeteneği iyi olan çift fazlı çelikler;

1. Sürekli akma davranışı
2. Düşük akma / çekme dayanımı oranı
3. Yüksek plastik deformasyon sertleşmesi oranı
4. Yüksek üniform ve toplam % uzama değerleri gibi özelliklerle karakterize edilirler [35].

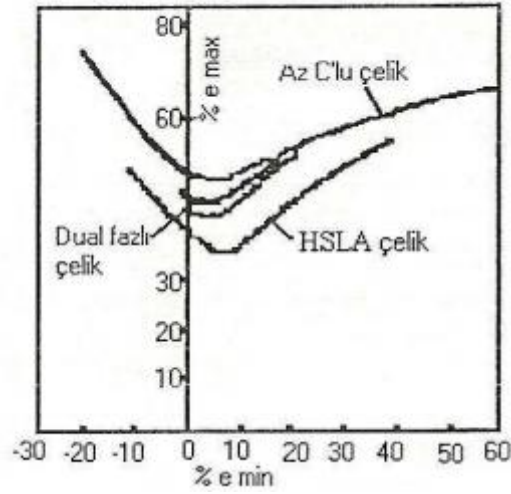
Malzemelerin akma mukavemetlerinin düşük olması, plastik şekil verme işlemi sırasında uygulanan kuvvet ile daha fazla bir deformasyon gerçekleştirilmesi veya aynı deformasyon işlemi için daha az bir kuvvet gerekmesi açısından istenilen bir özelliktir. Çekme dayanımının yüksek olmasının malzemenin hasarını geciktirdiği bilindiğine göre akma dayanımı/çekme dayanımı oranı düşük olan çift fazlı çeliklerin derin çekme sacları olarak kullanımındaki önem anlaşılmış olur.

Derin çekme işlemlerinde malzemenin kesiti azalacağından, şekil verme işleminin diğer kademelerindeki kuvvetleri karşılayabilmesi için yapının sertleşmesi gerekir. Mukavemet özelliklerinin yanı sıra süneklik özellikleri de iyi olan çift fazlı çeliklerin yüksek deformasyon sertleşmesi oranına sahip olması bu bakımdan da avantaj teşkil etmektedir.

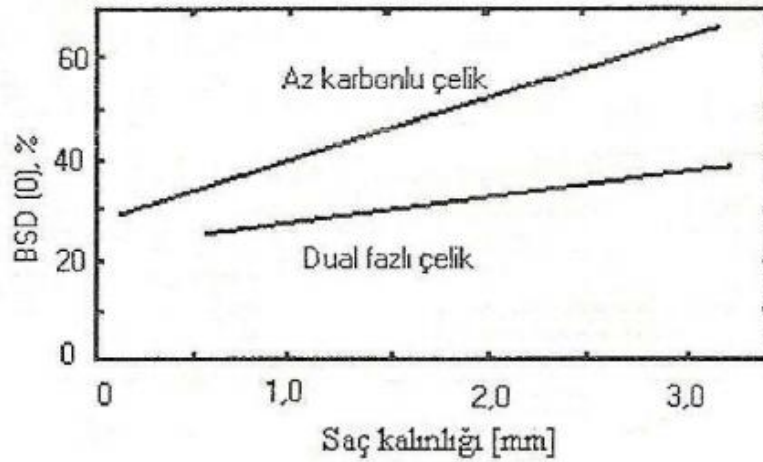
Mukavemet/ağırlık oranları yüksek olan bu çeliklerin, otomobillerde yakıt tüketimini azaltıcı yönde önlemler alınması kapsamında hafif otomobillerin üretilmesi gündeme gelmiştir. Çeşitli otomobil parçaları yapımında düşük karbonlu çelikler yerine yüksek mukavemet / ağırlık oranına sahip olan yüksek mukavemetli ve az alaşımlı çelikler (HSLA) ve çift fazlı çeliklerin kullanılması, taşıt ağırlığını azaltarak yakıt tasarrufuna yol açmaktadır. Çift fazlı çelikler aynı mukavemetteki HSLA çeliklerden daha yüksek biçimlenebilme kabiliyetine sahip olmaları nedeniyle, presle biçimlenen çeşitli otomobil parçaları yapımında tercih edilmektedir. Bu özellik metalik malzemelerin biçimlendirme kabiliyetlerinin belirlenmesinde kullanılan biçimlendirme sınır diyagramından anlaşılmaktadır [37].

Malzemelerin mukavemeti arttıkça biçimlenebilme kabiliyetlerinin azaldığı bilinmektedir. Metalik sacların biçimlendirilmesi esnasında meydana gelebilecek çatlamları kontrol etmek amacıyla çizilen biçimlendirme sınır diyagramları

yardımıyla çeşitli malzemelerin biçimlenebilme kabiliyetleri karşılaştırılabilir. Şekil 3.2’de çift fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait BSD’ları görülmektedir. Söz konusu diyagramda çift fazlı çeliklerin biçimlendirme sınır eğrileri HSLA çeliklerin üstünde fakat düşük karbonlu çeliklerin altında yer almaktadır. Çift fazlı çeliklerin mukavemetinin artması, biçimlendirme sınır eğrilerinin daha düşük maksimum birim şekil değiştirme değerlerine doğru kaymasına sebep olmaktadır. BSD’nda minimum şekil değişiminin sıfır olduğu nokta, BSD (0), düzlemsel şekil değişimini belirtir ve Şekil 3.3’de görüldüğü gibi sac kalınlığının artmasına bağlı olarak artar [38].



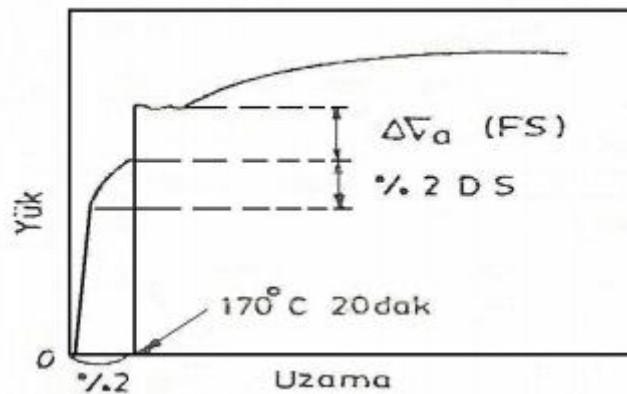
Şekil 3.2. Çift fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait biçimlendirme sınır diyagramları [37]



Şekil 3.3. Çift fazlı ve düşük karbonlu çelikler için sac kalınlığının BSD (0) noktasına etkisi [38]

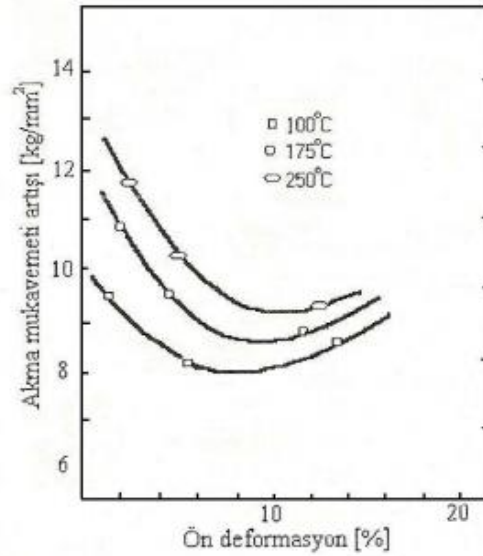
Biçimlendirilen otomobil parçalarından beklenen özelliklerden biri de, darbelere karşı direnç göstermesidir. Darbe direnci, sac kalınlığı ve akma mukavemetine bağlıdır. Sac kalınlığının artırılması taşıtın ağırlığının artmasına sebep olduğundan darbe direncinin artırılmasında tek yol akma mukavemetini arttırmaktır. Çift fazlı çeliklerin akma mukavemeti, soğuk biçimlendirme sırasında oluşan deformasyon sertleşmesine ilaveten biçimlendirilen parçaların boyanmasından sonra yapılan boya kurutma işlemi sırasında oluşan fırınlama sertleşmesi (bakehardening) nedeniyle de artar. Otomotiv endüstrisinde, biçimlendirilen parçalar boyandıktan sonra, 170 ° C sıcaklığındaki fırınlarda ½ saat kurutma işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem sonucu akma mukavemetinin artması gerçekte bir deformasyon yaşlanması olup, fırınlama sertleşmesi olarak adlandırılır [39]. Özellikle temperlenmiş çift fazlı çeliklerde görülen fırınlama sertleşmesi, çift fazlı çeliklerin önemli mekanik özelliklerinden birisi olup deformasyon yaşlanması sonucu ortaya çıkmaktadır [40].

Deformasyon yaşlanması; metallerin soğuk şekil değişimi sonrasında, genellikle düşük sıcaklıklarda tavlama veya oda sıcaklığında uzun süre bekletilmesi sonucunda akma ve çekme dayanımının artması, sünekliğin ise düşmesidir [41]. Düşük karbonlu çeliklerden üretilen çift fazlı çelikler, boya kurutma işlemi sırasında gerçekleşen bu olaydan belirgin olarak etkilenirler.



Şekil 3.4. Çift fazlı çeliklerden imal edilmiş otomobil parçalarında deformasyon sertleşmesine ilaveten boya kurutma işlemi sırasında meydana gelen fırınlama sertleşmesinin, çekme eğrisine etkisi

Şekil 3.4’de yük-uzama diyagramından da görüldüğü gibi, çift fazlı çeliklerde akma uzamasının tekrar ortaya çıkmasına sebep olan fırınlama sertleşmesi deformasyon sertleşmesine eklenerek, bu çeliklerden yapılmış çeşitli otomobil parçalarını darbelere karşı daha dirençli yapmaktadır. Şekil 3.5’de 100, 175 ve 250° C’de temperlendikten sonra ön deformasyon yapılmış alaşımsız çift fazlı çeliklerde, ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış görülmektedir. Akma mukavemetindeki artış %8–10 ön deformasyon miktarı için minimum seviyede olmasına rağmen 8 kg/mm<sup>2</sup> mertebesindedir [39].



Şekil 3.5. 100,175 ve 250°C’de temperlenmiş alaşımsız çift fazlı çeliklerde, ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış [39]

( $\alpha+\gamma$ ) bölgesindeki tavlama ile çift fazlı yapılan çelik levha ve sac numunelerinin geldikleri duruma nazaran, mukavemetlerinin artmasına ve % uzama değerlerinin azalmasına ilaveten, boyun verme uzamalarında da önemli derecede azalma gözlenmiştir. Buna ferrit/martenzit ara yüzeyinde oluşan boşlukların birleşme hızının yüksek olması sebep olmaktadır. Bandlaşmanın fazla olduğu dual fazlı çelik levha numunelerde ise, martenzit fazında oluşan çatlakın ferrit fazı tarafından durdurulamadan hızla ilerlemesi, sünekliği önemli derecede azaltmaktadır.

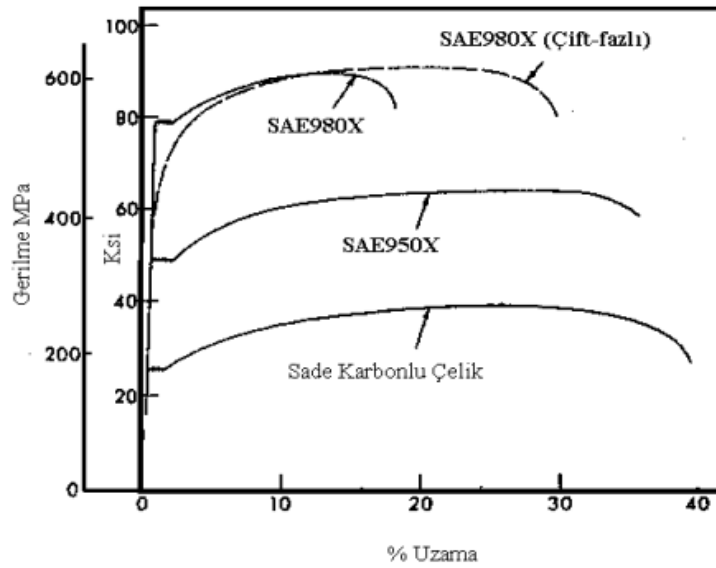
Ticari olarak ABD, Japonya ve bazı Avrupa ülkelerinde (Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Lüksemburg) çekme mukavemeti  $40 \text{ kg/mm}^2$  'den  $100 \text{ kg/mm}^2$ 'ye kadar değişen çeşitli çift fazlı çelik üretimi yapılmaktadır. Üretim yöntemi olarak genellikle sürekli tavlama ve haddeleme metotları kullanılmaktadır. Diğer bir üretim metodu da kutu tavı metodudur [42].

Tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon kapı panelleri gibi presle biçimlendirilen çeşitli otomobil parçaları yapımında çift fazlı çeliklerin kullanılması ile sağlanan ağırlık tasarrufu taşıt ağırlığının %10'una ulaştığında, yakıt tüketimi önemli miktarda azalmakta ve taşıt daha ekonomik hale gelmektedir. Sözgelimi çift fazlı çeliklerden imal edilmiş tamponun ağırlığı, mukavemet ve darbe direncinde herhangi bir kayıp olmaksızın %25–30 oranında azaltılabilmektedir. Jantlarda ise, ağırlık tasarrufu jantın boyutuna ve şekline bağlı olarak yaklaşık %12 mertebesindedir [43].

### **3.3. Çift Fazlı Çeliklerde Mikroyapının Mekanik Özelliklere Etkisi**

Çift-fazlı çelikler genel olarak düşük akma, yüksek çekme dayanımı, pekleşme hızı, yüksek uniform ve toplam uzama gibi çekme özellikleri ile tanımlanmaktadır. Üretildikleri yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (YMDA) çelikler ile karşılaştırıldığında benzer çekme dayanımına sahiptirler; uniform ve toplam uzama değerleri ise çok üstün bir düzeydedir. Bu özellikler ile çift-fazlı çelikler YMDA çeliklere göre iyi şekillendirilebilme ve şekillendirme sonrası yüksek dayanım gibi önemli özelliklere sahiptirler. Bu üstün özellikler Şekil 3.6'da SAE980X, SAE950X ve sade karbonlu çeliklerin çekme diyagramları görülmektedir [44].





Şekil 3.6 Sade karbonlu ve SAE 980X, SAE 950X ve M 980X (çift-fazlı) çeliklerinin mühendislik gerilme-%uzama eğrileri [44]

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi ticari 980X çeliğinden elde edilen çift-fazlı çeliğin akma dayanımı 550 MPa’dan 380 MPa değerine düşmüş, toplam uzama %18’den %27 değerine yükselmiş ve çekme dayanımı 690 MPa olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuç çekme dayanımında belirli bir kayıp olmadığını göstermektedir.

Çift-fazlı çeliklerin benzer sınıftaki çeliklerle kıyaslandıklarında sahip oldukları üstün çekme özellikleri, mikroyapılarını oluşturan ferrit ve martenzit fazlarından ileri gelmektedir. Sert ve dayanıklı martenzit ile yumuşak ve sünek olan ferritin karışımından oluşan çift-fazlı çeliğin çekme özelliklerine bakıldığında, dayanımı martenzitin, sünekliliği ise daha çok ferrit fazı özelliklerinin belirlediği anlaşılmaktadır [45,46–47]. Bazı araştırmacılar Das (2003); Davies (1978), çift fazlı çeliklerin özelliklerini karışım teorisi ile açıklamaktadırlar. Bunun yanında ferritin dayanım üzerinde ve martenzitin de süneklik üzerinde etkisi vardır. Çift-fazlı çeliklerin optimum özellikleri için ferrit ve martenzit fazlarının optimum özelliklerine ihtiyaç vardır. Kim ve Thomas (1981), çift-fazlı çeliklerin çekme özelliklerine etki eden faktörleri aşağıdaki şekilde ifade etmiştir.

1. Ferrit ve martenzitin özellikleri
2. Ferrit ve özellikle martenzit (İkinci faz) morfolojisi

### 3. Martenzit hacim oranı (MHO) ve martenzit karbon içeriği

Bunları ise şu değişkenler belirlemektedir:

1. Alaşım elementleri
2. Kritik tavlama sıcaklığı ve süresi
3. Soğutma hızı

Das ve arkadaşları (2003), %0.07 C içeren HSLA çeliğine ara tav ve kademeli ısıtılma işlem uyguladıkları deneylerinde artan tavlama sıcaklığıyla, MHO'nun arttığını ve buna paralel olarak sertlik değerlerinin yükseldiğini ara tav işleminde 740 °C'de %30 MHO'da, sertlik değerinin 180 vickers olduğu, kademeli ısıtılma işlemde 740 °C'de sertlik değerinin 140 vickers olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca ara tav sonucunda elde edilen yapının iğne şeklindeki martenzite, kademeli ısıtılma işlemde ise blokalsal martenzite sahip olduğu rapor edilmiştir.

Chen ve Cheng (1989), sırasıyla %0.1-%0.14-%0.19 oranlarında karbon içeren çelik numuneler kullanmışlar ve çeşitli sürelerde tavlamışlardır. Tavlama sıcaklıklarının artmasıyla MHO (%Vm) değerlerinin arttığını belirlemişlerdir. Bu üç çeliğin martenzit hacim oranlarının maksimum değerlerinde yani %80 MHO'da çekme mukavemetlerinin %0.1C:1100MPa, %0.14C:1200 MPa ve %0.19C:1390 MPa olduğunu tespit etmişlerdir. Bu numunelerin aynı %Vm değerlerinde en yüksek çekme mukavemetinin karbon oranı en yüksek numunede görüldüğü rapor edilmiştir.

Sudhakar ve Dwarakadas (2000), deneylerinde %0.14 C içeriğine sahip C1003 çeliği kullanmış olup, östenitleme işleminin ardından numunelere 730 ila 850 °C arasındaki 8 farklı sıcaklıkta 1 saat tavlamanın ardından %9 tuzlu suda su vermişlerdir. 850°C'de en yüksek MHO (%76) elde edilmiştir. Bu en üst sıcaklık değerinde akma mukavemeti (630MPa) ve kopma mukavemetinin (940MPa) en yüksek değerine ulaştığını, % uzamanın ise en düşük değerinde (%12) olduğu saptanmıştır.

### 3.3.1. Ferrit fazının özellikleri

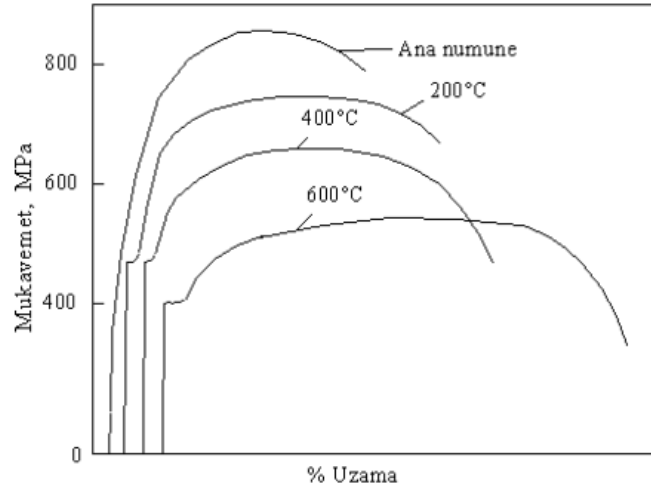
Ferritin, özellikle çeliğin akma mukavemeti, akma tarzı ve süneklik üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir [46]. Ferrit hacim oranı ile süneklik arasında doğrusal bir ilişki vardır. Ferritin dayanımı özellikle ferrit tane boyutuna ve saflığına bağlı olarak değişmektedir. Çift fazlı çeliklerde ferritin kristal boyutu küçüldükçe hem mukavemet hem de süneklik artmaktadır. En uygun çift faz çelikleri, ferrit tanelerinin eş eksenli ve ferrit tane boyutunun mümkün olduğunca küçük ( $<5\mu\text{m}$ ) tutulması ile sağlanmaktadır. Ferrit matris içinde çok ince dağılmış karbür veya karbonitrür partiküllerinin bulunması sünekliği azalttığı için ferritin temiz olması gerekmektedir.

Ferritin saflığı, içerisinde çözünen elementlere ve çökelen karbür veya karbonitrürlere bağlıdır. Ferritin saflığı azaldıkça dislokasyonların hareketi zorlaşacağı için akma gerilmesi yükselir ve süneklik azalır. Çift-fazlı çeliklerde ferritin katı eriyik atomlarından özellikle karbon atomlarından azami derecede arındırılması gereklidir. Bundan dolayı çift-fazlı çelik üretimi için, karbon oranı düşük çelikler seçilir. Ayrıca çift-fazlı çeliklerin yukarıda belirtilen problemlere yol açmayacak şekilde alaşımlandırılması için P ve Si önerilmektedir. Yavaş soğutulan çeliklerde ferritte çözünen karbon az olduğu için akma mukavemeti düşük ve süneklik değerleri yüksek olur.

Hızlı soğutulmuş çift-fazlı çeliklerde karbon miktarı daha fazla olduğundan akma mukavemeti yüksek ve süneklik düşük olur. Ferrit fazındaki aşırı doymuş C miktarını azaltarak sünekliği arttırmak amacıyla temperleme işlemi yapılır. Temperleme ile ferrit matris içinde karbürler çökeler ve çökelen bu karbürler irileştikçe ferritin sünekliği artar. 200-400°C arasındaki temperleme sıcaklıklarında çift-faz çeliğin mikroyapısında bulunan kalıntı östenit ferrit/karbür karışımına dönüşmektedir.

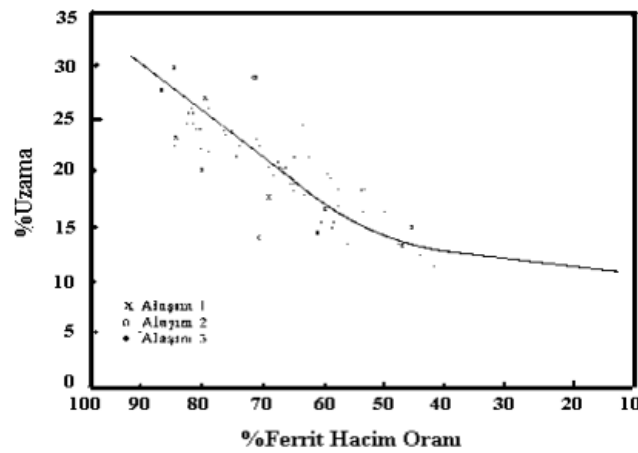
Bolvadin ve Tekin (1991), yaptıkları çalışmada, çeşitli sıcaklıklardaki (200–400-600°C) temperleme işlemlerinin çift-fazlı yapı çeliklerinin mekanik özelliklerine ve içyapısına etkilerini incelemiştir. Sonuçta temperleme işleminin çeliklerin

sertliklerinde düşüşe neden olduğunu, en düşük sertlik değerinin de buna bağlı olarak 600°C’de 30 ve 120 dakikalarda temperleme işlemlerinde elde edildiği bildirilmiştir. Temperleme sıcaklığı ve süresi düştükçe çeliklerin sertliklerindeki düşüş hızı azalmıştır. Şekil 3.7’de temperleme sıcaklığının mukavemet ve % uzamaya etkileri gösterilmektedir [2].



Şekil 3.7. Mn oranı %1.5 olan çift-fazlı çeliklerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisine temperleme sıcaklığının etkisi

Çift-fazlı çeliklerin sünekliği, ferrit fazı hacim oranının artması, diğer bir deyişle MHO’nın azalmasıyla artar. Çok iyi süneklik değerleri için ferrit fazı miktarının %80’den büyük olması arzu edilir. Ferrit fazı miktarına bağlı olarak süneklik değerlerindeki değişimi Şekil 3.8’de görüldüğü gibi bildirilmiştir.



Şekil 3.8. Ferrit hacim oranının %uzama üzerine etkisi [3]

Optimum çift-fazlı çelik çekme özellikleri için ferritin dayanımını artırmak gereklidir. Bu amaçla tane boyutunun inceltilmesi önerilmektedir. Bunun yanında ferritin saflığının en az derecede etkilenmesine dikkat edilir. Bazı alaşım elementleri özellikle karbon, sertliği dolayısıyla dayanımı arttırırken sünekliği düşürür [2]. Bu yüzden süneklikten en az şekilde kaybetmek için çift-fazlı çeliklerin dizaynında, katılacak alaşım elementlerinin, dayanımı arttırmalarının yanında ferrit içerisinde oksit veya karbür oluşumundan dolayı ferritin saflığının bozulması gibi bir problem oluşturmayacak miktarlarda seçilmesine dikkat edilmelidir [3].

### 3.3.2. Martenzit fazının özellikleri

Çift fazlı çeliklerin mekanik özelliklerini kontrol eden en önemli mikro yapı bileşeni martenzit fazıdır. Çelik mikro yapısında martenzitin, perlitin yerini alması akma ve çekme mukavemetini arttırmaktadır. Çift-fazlı çeliklerde mikroyapı morfolojisi uygulanan ısıl işlem rotasına bağlı olarak gelişir. Elde edilen morfolojiye özellikle de ikinci faz (martenzit) morfolojisine bağlı olarak çift-fazlı çeliklerin özellikleri de değişmektedir. Hedeflenen özelliklere göre, uygun ısıl işlem yöntemi belirlenerek arzu edilen morfolojiye sahip çift-fazlı çelik elde edilebilir [48,49].

Örneğin çift-fazlı çeliklerin optimum çekme özellikleri için ikinci fazın ince taneli ve birbirlerinden bağlantısız bir morfolojiye sahip olması istenir. İri taneli ve birbirleriyle bağlantılı şekilde oluşmuş martenzit morfolojisine sahip çift-fazlı çelikler düşük seviyelerde süneklik değeri göstermişlerdir [48,50].

Erdoğan ve Şeker (2000), yaptıkları çalışmada farklı martenzit parçacık boyutuna sahip çift-fazlı çelikler elde ederek, bu çeliklerin işlenebilirliğini incelemişlerdir. Bu yapıyı elde etmek için AISI-SAE 8620 çeliğini kullanarak çeşitli tür ısıl işlemlerle ince martenzit parçacık boyutu (MPB), orta kaba MPB ve kaba MPB'ye sahip çift-fazlı çelikler elde etmişlerdir. Sabit martenzit hacim oranında martenzit parçacık boyutu ( $\mu\text{m}$ ) azaldıkça yüzey pürüzlüğünün azaldığı belirlenmiştir [51]. Sabit martenzit hacim oranında martenzit parçacık boyutu arttırıldığında ise; sertlik değerlerinde azalma olduğu bildirilmiştir. Bu da göstermiştir ki; en sert yapı ince MPB sahip numunedir.

Thomas ve Koo (1977), martenzit morfolojisi üzerine yaptıkları çalışmada, farklı ısıl işlem basamakları kullanarak değişik morfolojiye sahip çift-fazlı çelikler üretmişlerdir. Kademeli su verme işlemiyle elde ettikleri martenzitin, ara ısıl işlem suda su verme yöntemiyle elde ettikleri martenzite oranla daha iri taneli, birbirleriyle bağlantılı şekilde oluştuğunu ve daha düşük süneklik değerleri gösterdiğini bildirmişlerdir [52].

### 3.3.3. Martenzit karakteri ve martenzit hacim oranı

Çift-fazlı çeliklerin dayanımı büyük oranda martenzit fazı özelliklerine bağlıdır [47,48–53]. Sert ve deformasyona dirençli olan martenzit fazı çift-fazlı çeliklerin mekanik özelliklerini kontrol eden en önemli mikroyapı bileşenidir. Çeliğin yüksek sıcaklıklarda hızlı soğutulması ile yüzey merkezli yapıya (YMK) sahip östenitten, hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıdaki yeni bir faz oluşur ve oluşan bu faza “martenzit” adı verilir. Meydana gelen dönüşüme ise martenzitik dönüşüm denilmektedir. Ani soğuma şartlarında difüzyon engellendiğinden östenit ile martenzit fazının bileşimi aynıdır. Martenzitin dayanımı ve MHO aşağıdaki faktörlere bağlı olarak değişmektedir [1,48].

1. Malzemenin karbon içeriği
2. Tavlama sıcaklığı
3. Östenitin sertleşebilirliği

Çift-fazlı çeliklerde östenitin martenzite dönüşümü esnasında meydana gelen hacim genişlemesi (yaklaşık %2–4) ferrit fazında plastik deformasyona sebep olur. Bu nedenle ferrit tanelerinin ferrit/martenzit ara yüzeyine yakın bölgelerinde dislokasyon yoğunluğu yüksek, ferrit taneleri içinde ise düşüktür. Çift-fazlı çeliklerde martenzit hacim oranının artması mukavemetin artmasına ve sünekliğin azalmasına neden olur [29,45].

Sudhakar ve Dwarakadas (2000), deneylerinde %0.14C içeriğine sahip C1003 çeliği kullanmış olup, östenitleme işleminin ardından numunelere 730 ila 850 °C arasındaki 8 farklı sıcaklıkta 1 saat tavllanmış ve %9 tuzlu suda su vermişlerdir.

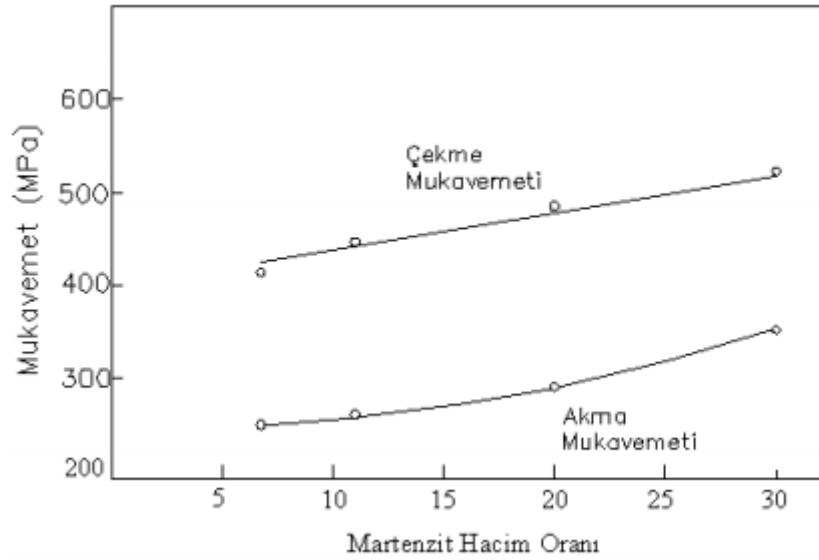
850°C'de en yüksek MHO (%76) elde edilmiştir. Bu en üst sıcaklık değerinde akma (630MPa) ve kopma mukavemetinin (940MPa) en yüksek değerine ulaştığını, % uzamanın ise en düşük değerinde (%12) olduğu saptanmıştır [54].

Bolvadin ve Tekin (1991), karbon oranları %0,23-%0,37 arasında değişen 6 farklı yapı çeliklerini değişik sıcaklıklarda, 740, 750, 770 °C'de sabit sürede tavlayarak çift-fazlı çelik elde etmişlerdir. MHO'nun kritik bölgedeki sıcaklık artışından dolayı arttığını belirlemişlerdir. Karbon oranı 0,30'dan fazla olan çeliklerde matris martenzit olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca MHO'nun artışı ile akma, çekme, ve sertlik değerlerinin arttığını, tokluk değerinin azaldığını bildirmişlerdir. Tayanç ve Toktaş (2001), aynı şekilde artan sıcaklıkla MHO'nun arttığını, % uzamanın azaldığını, akma, çekme mukavemetinin ve sertliğin arttığını, darbe enerjisi değerlerinde azalma olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca artan karbon miktarının da MHO'nı arttırdığını bildirmişlerdir [55].

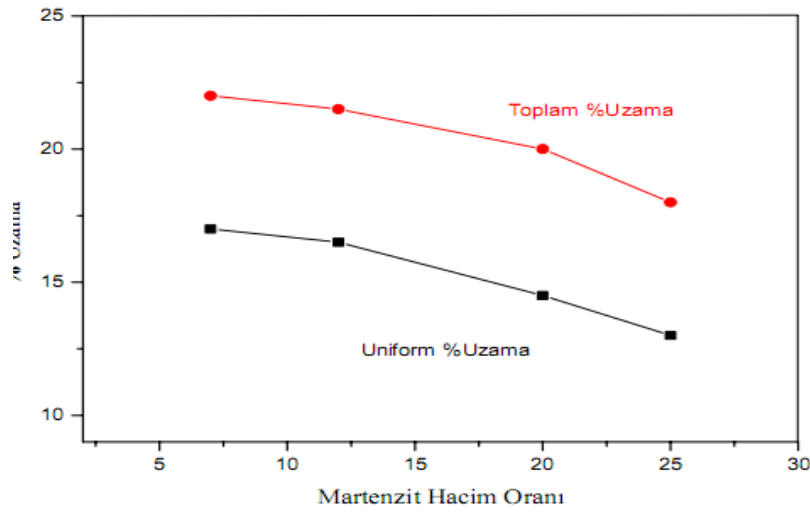
Martenzit hacim oranı sabitken, martenzit fazının karbonca zenginleşmesi çift-fazlı çeliğin akma ve çekme mukavemetlerini artırır, fakat akma mukavemetindeki artış çekme mukavemetine kıyasla daha azdır. Davies (1978), çift-fazlı çeliklerin mukavemetlerinin MHO'na bağlı olduğunu fakat martenzitin karbon içeriğine bağlı olmadığını ileri sürmüştür. Bunun tersi olarak Speich (1997), karbon içeriğinin de etkin olduğunu bildirmiştir.

Su verme işlemi ile östenitin tamamen martenzite dönüşmemesi çift-fazlı çeliklerin mikroyapısında %2–9 oranında kalıntı östenit bulunmasına neden olur. Kalıntı östenitin deformasyon ile martenzite dönüşmesi uniform ve toplam uzamayı arttırmasına rağmen, kalıntı östenit miktarı düşükse, üniform ve toplam uzamadaki artış ihmal edilecek seviyede kalır.

Çimenoğlu ve Kayalı (1985), %0.8 C içeren çift-faz mikroyapısına sahip çelik sac numunelerinin martenzit hacim oranının değişimi ile mukavemet ve %uzamadaki değişimleri Şekil 3.9 ve 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9. % 0.8 C'lu çelik sac numunelerinde %0.2 akma ve çekme mukavemetlerinin martenzit hacim oran yüzdesi ile değişimi [2]



Şekil 3.10. % 0.8 C'lu çelik sac numunelerinde üniform ve % uzama değerlerinin martenzit hacim oranı ile değişimi [2]

### 3.4. Çift Fazlı Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Çift fazlı çeliklerin klasik düşük karbonlu çeliklere olan üstünlüğü mekanik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çift fazlı çeliklerin mekanik davranışları mikroyapıyı oluşturan fazların hacim oranları, martenzit fazının morfolojisi, fazların ayrı ayrı süneklik ve mukavemet değerleri, fazların tane boyutu ve fazların tanecikleri arasındaki uzaklıklardan etkilenmektedir.

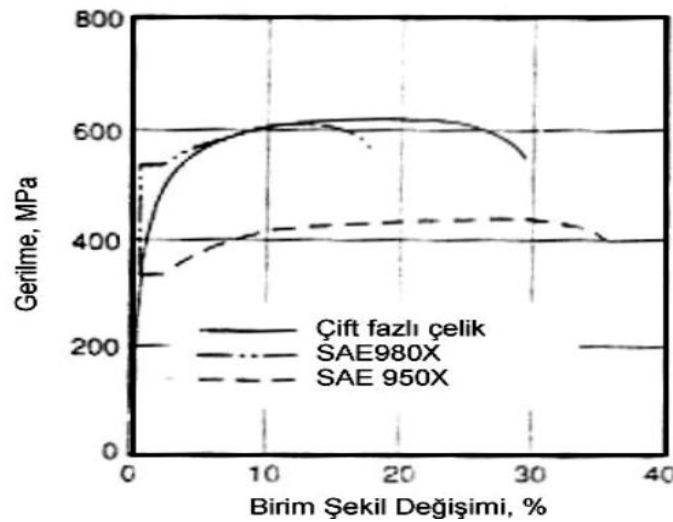


Çift-fazlı çeliklerin sahip olduğu önemli özellikler şunlardır: a) sürekli akma davranışı, b) düşük akma/çekme dayanımı oranı, akma oranı c) yüksek çalışma sertleşmesi oranı, d) yüksek düzeyde üniform toplam uzamadır [56,57].

Çift-fazlı çelikler kolay şekillendirilebilirliği, yüksek pekleşme oranı, yüksek dayanım ve yüksek süneklik özelliğine sahiptir. Sahip olduğu bu üstün özellikler, çift-fazlı çelikleri özellikle otomotiv sanayinde kullanılan önemli malzeme türlerinden biri yapmıştır.

### 3.4.1. Akma mukavemeti

Genel olarak ferrit-martensit çelikleri akma noktası göstermezler. Ferritteki yüksek hareketli dislokasyon yoğunluğu ile yüksek gerilmelerin kombinasyonu düşük plastik şekil değiştirmelerde bile plastik akmanın kolaylıkla olunmasına neden olur. Sonuç olarak, Şekil 3.11’de ferritin etrafındaki birçok bölgede akma görülür. Çift fazlı çeliklerin sürekli akma davranışı göstermelerini ostenit martenzite dönüşürken oluşan % 2–4 arasındaki hacim büyümesinin ferrit fazının neden olduğu mobil dislokasyonlar olduğu düşünülmektedir [48,58].



Şekil 3.11. Çift-fazlı ve klasik yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin (HSLA) gerilme birim şekil değişimi arasındaki ilişki

Çift fazlı çeliklerde akma mukavemeti nispeten düşüktür. Fakat sadece temperleme veya ön soğuk deformasyon işleminden sonra yapılacak temperleme ile arttırılabilir[59]. Böylece bu çeliklerde akma mukavemetinin isteğe göre düşürülüp arttırılabileceği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Akma gerilmesi martenzitteki karbon oranına değil, martenzit hacim oranına bağlı olarak değişir. MHO değerinin % 15–25 civarında ve malzemenin karbon içeriğinin % 0,3'ten az olması istenir. Çift-fazlı çeliklerin dayanımlarını artırabilmek amacıyla östenitin miktarını ve sertleştirilebilirliğini artırıcı alaşım elementleri (Mn, Cr, Mo, V, Ni vb.) ile alaşımlandırılması gereklidir. Bununla birlikte bulunan alaşım elemanları ferritin saflığını bozmayacak miktarlarda olmalıdır [60]. Çift-fazlı çeliklerin akma ve çekme dayanımları üzerine MHO, martensit morfolojisi ve karbon içeriği baskın olmakla birlikte ferrit fazı özellikleri de etkilidir. Faz hacim oranları ve özellikleri kontrol edilerek, çift-fazlı çeliklere arzu edilen dayanım değerleri kazandırılabilir. Çift faz çeliğinin tane iriliği arttıkça martenzit hacim oranının artışına paralel olarak akma gerilmesi de artış göstermektedir [61].

### 3.4.2. Çekme mukavemeti

Çift-fazlı çeliklerde çekme dayanımında etkili olan mikroyapı elemanları, düşük dayanımlı ferrit ve yüksek dayanımlı martensit fazları ve bu fazların morfolojileridir. Çift-fazlı çeliklerin dayanımına esas etkiyi martensit fazı yapmaktadır. Martenzit oranı arttıkça çekme mukavemeti de partikül çapına bağlı kalmadan artmaktadır. Martensit hacim oranı ise, östenitleme sıcaklığının dışında, östenit fazının sertleşebilirliğine bağlıdır. Östenit fazının sertleşebilirliği sadece karbon miktarına bağlı ise,  $A_3$  dönüşüm sıcaklığına yaklaştıkça, östenit fazındaki karbon miktarı azalacak ve martensit harici östenit dönüşüm ürünleri ortaya çıkabilecektir. Bu ise çekme dayanımında azalmaya sebep olacaktır [25,62].

Kim ve Thomas (1981) çift-fazlı çeliklerin çekme özelliklerine etki eden faktörleri aşağıdaki gibi ifade etmişlerdir.

1. Ferrit ve martensitin özellikleri
2. Ferrit ve özellikle martensit (ikinci faz) morfolojisi

### 3. Martensit hacim oranı ve martensitin karbon içeriği

Bunların durumunu ise; alaşım elementleri, kritik tavlama sıcaklığı, tavlama süresi ve soğutma hızı belirlemektedir.

Çift-fazlı çelikte haddelenmeyen malzemede martensit etrafında oluşan yeni ferrit sünekliği iyileştirirken çekme mukavemetini düşürür. Ancak sıcak haddelenen malzemede eski ve yeni ferritin morfolojisi değişir ve yeni ferrit sünekliği ekstra artırır. Çift-fazlı çelikler uygulanan temperleme, ön deformasyon sonrası temperleme, aşırı yaşlandırma veya deformasyon yaşlanması işlemleri sonucunda belirgin bir akma noktası göstermektedirler. Bu işlemler sonucu akma ve çekme dayanımları da artmaktadır [63].

#### 3.4.3. Kopma mukavemeti

Çekme testinin son aşamasını oluşturan kopma iki aşamadan meydana gelir. Bu aşamaların birincisi çatlak başlangıcı olan mikro boşluk oluşumu ve ikinci aşama olarak da çatlağın ilerlemesiyle kopmanın gerçekleşmesidir. Kopma iki sınıfta incelenir. Bunlar gevrek ve sünek kopmalardır [64].

Tablo 3.1. Kopma davranışının incelenmesi [64]

<b>Davranışın Tanımlanması</b>	<b>Kullanılan Terimler</b>	<b>Kırılma Türü</b>
<b>Kristalografik Şekil</b>	Kayma	Klivaj
<b>Kopma Görünüşü</b>	Lifli	Taneli
<b>Kırılma Deformasyonu</b>	Sünek	Gevrek

Çift fazlı çeliklerde yüksek bölgesel şekil değişimlerinin olduğu boyun bölgesinde öncelikli olarak görülen mikroboşluk oluşumu çatlak başlangıcını oluşturur [23].

Çift fazlı çeliklerde boşluklar, metalik olmayan inklüzyonlar ya da martenzit parçacıkları üzerinde oluşur. Mikro boşlukların martenzit üzerinde çekirdeklenmeleri

martenzit-ferrit ara yüzeylerinin ayrışmasını ya da martenzitin gevrek kırılmasını başlatır.

Kopma yüzeyine doğru boşluk yoğunluğu artar. Bölgesel boyun gösteren numunelerde boşluk yoğunluğu fazladır [64].

Kim ve Thomas (1981), iri taneli çift fazlı çeliklerde deformasyonun erken aşamasında kopmanın başladığını belirtmişler ve buna sebep olarak da ilk çatlak başlangıcının martenzit üzerinde oluşmasını ve ferrit anayapı içlerine doğru ilerlemesini göstermişlerdir.

Speich ve Miller (1979), düşük martenzit hacim oranında ve yüksek karbon içerikli martenzite sahip dual fazlı çeliklerin, yüksek martenzit hacim oranı ve düşük karbon içerikli martenzite sahip çift fazlı çeliklere oranla daha kolay çatladığını belirtmişlerdir. Bundan martenzitin karbon içeriğinin artmasıyla sünekliğinin azalabileceği sonucu çıkarılabilir.

Genel olarak karşılaştırıldığında çift fazlı çelikler HSLA çeliklerine oranla daha sünek bir kopma karakterine sahiptirler [23,25].

#### **3.4.4. Süneklik**

Çift fazlı çelikler, aynı mukavemet değerlerinde HSLA çeliklerine göre daha iyi sünekliğe sahiptirler. Bunun sebebini şöyle açıklamak mümkündür. Çift fazlı çeliklerde ferrit içinde ince dağılmış karbür ve nitrokarbür parçacıklarının bulunması süneklik açısından bir dezavantajdır. Ayrıca bu çeliklerde perlit fazının yerini martenzit gibi sünekliği perlitten daha iyi olan bir faz almıştır. Bu ise sünekliği artıran bir faktördür [65].

HSLA çeliklerinin toplam uzama değerleri %18'e kadar arttırılabilirken çift fazlı çeliklerin toplam uzama değerleri %28'e ulaşabilmektedir[84]. Bu şekilde çift fazlı çeliklerin süneklik özelliği en seçkin özelliklerinden biridir. Bu durum çift fazlı çeliklerin ticari olarak ta ilgi çekmesini sağlamıştır [23].

Çift fazlı çeliklerde süneklik büyük oranda ferrit fazı hacim oranına ve karakterine bağlıdır. İyi süneklik değerleri için ferritin saf ve hacim oranının %80'den fazla olması gereklidir [59,52].

Çift fazlı çeliklerde toplam % uzama, artan martenzit hacim oranıyla azalır. Düşük karbonlu martenzit fazı, sünekliğin yüksek olmasına sebep olur. Çünkü düşük karbonlu martenzitin çatlaması veya ferrit/martenzit arayüzeyinin dekohezyonu zordur.

Sac numunelerde toplam birim şekil değişimi yani toplam % uzama, malzeme çeşidine ve sac kalınlığına göre değişir. Numune kalınlığı azaldıkça, toplam % uzama azalır. Fakat üniform uzama sac kalınlığından bağımsızdır [66].

Speich ve Miller (1979), toplam ve üniform % uzama arasındaki farkın, ikinci fazın karbon içeriği ve / veya martenzit hacim oranı arttıkça azaldığını ileri sürmüşlerdir. Çünkü bu durumda martenzit/ferrit arayüzeyinde boşluklar kolayca oluşur ve aralarındaki mesafe kısa olduğu için kolayca birleşirler. Bu nedenle üniform olmayan % uzama, ikinci faz partikülleri etrafında boşluk oluşumuna ve boyun bölgesindeki hidrostatik gerilmelere bağlıdır [67]. Sabit martenzit hacim oranında yapıda homojen olarak dağılmış küçük martenzit partikülleri sünekliği arttırırlar [68].

Ferrit çift fazlı çeliklerin sünekliğini etkileyen diğer bir fazdır. Ferrit fazındaki karbon ve azot miktarının artması sünekliğin azalmasına sebep olur. Bu nedenle arayer elementi içermeyen ferritin yapıda bulunması arzu edilir [69].

Çift fazlı çeliklerin yapısında bulunan büyük miktardaki kalıntı östenitin deformasyon esnasında martenzite dönüşümü üniform % uzamanın artmasına sebep olur [21,59–70]. Eğer yapıda %20 kalıntı östenit varsa % uzama %20 oranında artar [52]. Fakat yapıda bulunan kalıntı östenit miktarı az ise veya deformasyon esnasında hemen martenzite dönüşüyorsa, bu fazın üniform % uzama üzerindeki etkisi ihmal edilebilir [21].

Optimum çift faz özelliği elde edebilmek için optimum süneklik-mukavemet kombinasyonu sağlamak gerekir. Bunun için de martenzit tanelerini irtibatsız, ince taneli ve belirli bir hacim oranında elde etmek lazımdır [63].

#### **3.4.5. Tokluk**

Çift fazlı çeliklerin yüksek tokluğunun ferritin düşük karbon içeriği, martensitin plastisitesi ve kalıntı ostenit miktarı gibi etkenlere bağlı olduğu düşünülmektedir. En çok kabul gören düşünce, kalıntı ostenitin miktarı ve plastik deformasyon sırasındaki dönüşümünün etkisidir. Tavlama sırasında yapılan müdahaleler sonucunda kalıntı ostenit miktarı değiştirildiğinde, tokluğun maksimum bir değere ulaştığı görülmüştür [71].

#### **3.4.6. Deformasyon sertleşmesi**

Çift-fazlı çelikler yüksek pekleşme hızına sahiptirler [72,73]. Metallerde pekleşmenin oluşumunu anlayabilmek için deformasyonun mikroyapıdaki etkisinin anlaşılması gerekir. Çift-fazlı çeliklerin yüksek deformasyon sertleşmesi hızına sebep olarak martenzit çevresindeki kalıntı gerilmeler ve ferrit içinde bulunan ve çok sayıdaki hareketli dislokasyonlar gösterilmektedir [74].

Çekme sırasında deformasyonun henüz erken aşamasında, kalıntı gerilmeler yok olurken dislokasyonların kesişmesi veya arayüzeyin engellenmesi sonucu dislokasyonların hareketi önlenir. Deformasyonun devamı için gerekli yeni dislokasyonların oluşumu ve dislokasyonların tırmanması için gerilmenin artırılması gereklidir. Artan gerilme ile şekil değişimi de artacaktır [75].

### **3.5. Alaşım Elementlerinin Çift Fazlı Çeliklerin Özelliklerine Etkisi**

Alaşım elementlerinin çift fazlı çeliklerdeki işlevi, ısı işlem sırasında sertleşme kabiliyetini arttırmak, yani martenzitik dönüşümü kolaylaştırmaktadır. Alaşım elementlerinin ikinci bir etkisi ise, ferriti, katı eriyik sertleşmesi veya çökelme

sertleştirme mekanizmaları ile sertleştirmektedir. Aşağıda alaşım elementlerinin çift fazlı çeliklerin özelliklerine etkisi verilmiştir.

### 3.5.1. Karbon

Ferrit ve martensit fazlarındaki karbon miktarını kontrol etmek için, çift fazlı çeliklerdeki karbon miktarının % 0,1 veya daha az olması istenir. Martensit fazının gevrek olmaması, bu faz içindeki karbon miktarının düşük olması ile (% 0,3–0,4' den daha az) sağlanır. Çift fazlı çeliklerin sünekliği yapıda % 80 ferritin bulunması halinde yüksektir. Ferritteki karbon içeriğinin az olmasına dikkat ederek, ters kaldıraç kuralı uygulanırsa, çeliğin karbon miktarı % 0,06 – 0,09 olarak hesaplanır. ( $\alpha+\gamma$ ) bölgesindeki tavlama sıcaklığı arttırıldığında, östenitin karbon içeriği azalacağından dönüşümün daha dikkatli kontrol edilmesi gerekir. Çünkü östenitteki karbon miktarının azalması, sertleşme kabiliyetini azaltmaktadır. Ayrıca çeliğin karbon miktarının artması, kaynak kabiliyetini ve darbe direncini azaltır. Ms sıcaklığını düşürerek östenitin kararlılığını artırır.

### 3.5.2. Manganez

Manganez, çeliğin  $A_1$  ve  $A_3$  sıcaklıklarını düşürür ve dönüşüm ürünlerinin tane boyutunu küçültür. Manganezin çözümlenmesi, mukavemeti artırırken sünekliği azaltmaz. Manganez, östenitin sertleşme kabiliyetini arttırdığı için çift fazlı çeliklerde istenen alaşım elementidir, fakat Ms sıcaklığını düşürerek östeniti kararlı yapar. Çeliklerin korozyon ve darbe direncinin artmasına yardımcı olan manganez, kaynak kabiliyeti açısından sınırlı olarak kullanılır. Manganez miktarındaki artış, deformasyon yaşanmasını geciktirici bir etken olan ince karbür dağılımına yol açar, ancak çeliklerde manganez ve karbonun segregasyonu bantlaşmaya sebep olur. Çift fazlı çeliklerde bulunan manganez miktarı % 1–1,5 seviyesindedir. Ayrıca çeliklerde manganezin %1.8 oranının üstünde yapıda bulunması durumunda çeliğin sünekliğini düşürmesi gibi bir dezavantajı vardır [35].

### 3.5.3. Silisyum

Silisyum, çeliğin dönüşüm sıcaklıklarını artırdığından, tavlama işlemlerinde ferrit tanelerinin irileşmesine yol açar. Silisyum, katı eriyik sertleşmesine katkıda bulunarak, mukavemet/süneklik ilişkisini geliştirir [76]. Çift fazlı çeliklerde sünekliğin artması, silisyumun ferritteki karbon miktarını azaltarak ferriti temizlemesi ile sağlanır. Ancak genel olarak, silisyumun geçiş sıcaklığını artırdığı bilinmektedir. Silisyum, sürekli soğuma diyagramı (SSD) ferrit oluşum burnunu sola kaydırır ve östenitin sertleşme kabiliyetini artırarak martensit dönüşümü kolaylaştırır. Ayrıca silisyum  $A_3$  sıcaklık eğrisinin eğimini artırarak ısı işlem alanını genişletmektedir. Silisyum sementit çökeltme hızını ve temperleme sırasındaki yumuşama hızını yavaşlatır ve ototemperlemeyi engeller. Silisyum içeriğindeki azalma, çeliğin ana yapısal özelliğini değiştirmemesine rağmen, ferrit/martensit ara yüzeyinde gevrek karbürlerin oluşmasına sebep olur. Genel olarak silisyumun, çeliklerin soğuk deformasyonu esnasında şiddetle deformasyon sertleşmesine yol açtığı bilinmektedir. Çift fazlı çeliklerde bulunan silisyum % 0,5–2 mertebesindedir.

### 3.5.4. Molibden

Molibden, ( $\alpha + \gamma$ ) bölgesinde tavlama ile oluşan östenitin sertleşme kabiliyetini artırarak, martensitik dönüşümü teşvik eder. Aynı ısı işlem koşullarında, molibden içeren çelik, vanadyum içeren çelikten daha yüksek sertleşme kabiliyetine sahiptir. Molibden, SSD diyagramındaki perlit oluşum burnunu da çok sağa kaydırarak, soğuma esnasında perlit oluşma ihtimalini azaltır, ayrıca  $A_3$  sıcaklık eğrisinin eğimini artırarak ısı işlem alanını genişletir. Molibdenin çeliğin tane boyutuna etkisi yoktur, yani tane küçültücü bir element değildir. Molibden, ferrit fazında karbür oluşturur, ancak tavlama sıcaklığında bu karbürler çabuk erir. Çözeltideki molibdenin sertlik üzerine çok önemli etkisi vardır. Çift fazlı çeliklerde % 0,1 – 0,5 mertebesinde molibden bulunur.



### 3.5.5. Vanadyum

Vanadyum, ferrit tane boyutunu küçültür ve çözeltide iken östenitin sertleşme kabiliyetini artırır. Vanadyum, ferrit içinde ince çökeltilerin oluşmasına ve ferrit / ikinci faz ara yüzeyinde süreksiz çökelmelere sebep olur ve ferrit içinde titanyum ve niyobyum gibi arayer elementlerinin çözünürlüğünü azaltır. Vanadyumun östenit fazındaki çözünürlüğü titanyum ve niyobyumdan daha fazladır. Çift fazlı çeliklerde vanadyumun kesin rolü bilinmemekle beraber, ferrit ve perlit oluşumunu engellediği bilinmektedir. Çift fazlı çeliklerin vanadyum içeriği, karbonitrür oluşumunu engellemek amacıyla mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Çözeltide % 0,03 mertebesinde vanadyum bulunması yaşlanmayı engellemek için yeterlidir. HSLA çeliklerinde % 0,01 ile % 0,012 arasında bulunan vanadyum akma gerilmesini artırırken, darbe direnci ile kaynak kabiliyetini fazla etkilemez, ancak geçiş sıcaklığının artmasını önlediği gibi düşmesini de sağlar.

### 3.5.6. Krom

Krom, östenitin sertleşme kabiliyetini ve martensit adacıklarının birbiri ile temasını bağlantısını artırır. Sürekli soğuma diyagramında (SSD) beynit oluşumunu (başlama ve bitme) geciktirir. Krom, küçük oranlarda bulunduğu zaman düşük karbonlu çeliğe genellikle iyi etkide bulunur, fakat fazla miktarda kullanıldığında derin çekme özelliğini azaltır. Genel olarak kromun çelikteki bakır ve fosfor elementleriyle birlikte korozyon direncini artırdığı bilinmektedir.

### 3.5.7. Niyobyum

Niyobyum,  $A_3$  sıcaklık eğrisinin eğimini artırır ve yapının küçük taneli olmasını sağlar. Niyobyum karbür oluşturarak ferritin arayer içeriğini azaltır. Bu elementin oluşturduğu karbonitrürler tavlama sıcaklığında çözeltiye girmezler. Niyobyum, çeliğin mekanik özelliklerine büyük etkiler yapan bir elementtir. % 0,02 Nb ilavesi akma gerilmesinin  $7 - 10 \text{ kg/mm}^2$  artmasına neden olur. Akma gerilmesi, önemli derecede tane küçülmesi ve bunun yanında katı eriyik sertleşmesi ile çökeltme sertleşmesi sonucu artar. Darbe direncindeki azalma ve transiyon sıcaklığındaki

artma, alüminyum ilavesi ile giderilebilir. Ayrıca karbon oranının mümkün mertebe düşük olması bu iki sakıncanın oluşmasını büyük ölçüde önler.

### 3.5.8. Alüminyum

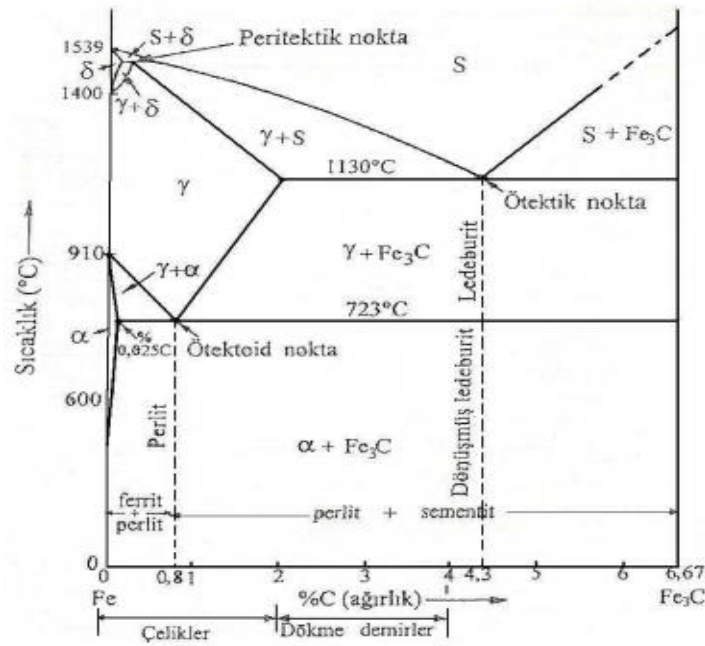
Alüminyum, karbonu aktive etmek suretiyle, ferritin sünekliğini artırır. Ferrit /martensit arayüzeyinde karbür oluşumunu önler.  $A_3$  sıcaklık eğrisinin eğimini artırarak ısı işlem alanını genişletir ve dönüşüm sıcaklıklarını yükseltir. Alüminyum tane küçültücü bir element olup, ferrit fazındaki azotu AlN şeklinde bağlar. Çeliğin darbe direncini artırır, geçiş sıcaklığının düşmesini sağlayan alüminyumun akma gerilmesine etkisi farklı şekillerde olur. Tane küçültücü etkisinden dolayı alüminyum akma gerilmesini artırır. Ancak AlN oluşumu ile ferrit fazındaki eriyik azot atomları azalacağından, ferritin mukavemeti ve dolayısıyla akma gerilmesi azalır. Diğer taraftan AlN çökeltileri, dislokasyon hareketlerine engel olacaklarından, akma dayanımının artmasına neden olurlar. Böylece alüminyum ilavesi halinde, söz konusu üç olaydan hangisi daha etkili ise genel etki o yönde olacaktır.

### 3.5.9. Titanyum

Titanyum, çelikte ince karbürlerin şekillenmesinde faydalı bir elementtir. Ayrıca çeliğin mekanik özelliklerinin anizotropisinin gelişmesinde, mikroyapının oluşmasında faydalıdır. Böylece çeliğin mukavemeti de artmış olacaktır. Buna karşın N ve O gibi elementler ile bileşik yaparak, çelikte inklüzyon olarak bulunurlar ve şekillendirilmeyi kötü etkileyebilirler. Bu yüzden tavsiye edilen oran % 0,01 – 0,02 arasındadır.

## 3.6. Çift Fazlı Çelik Isıl İşlemi ve Üretimi

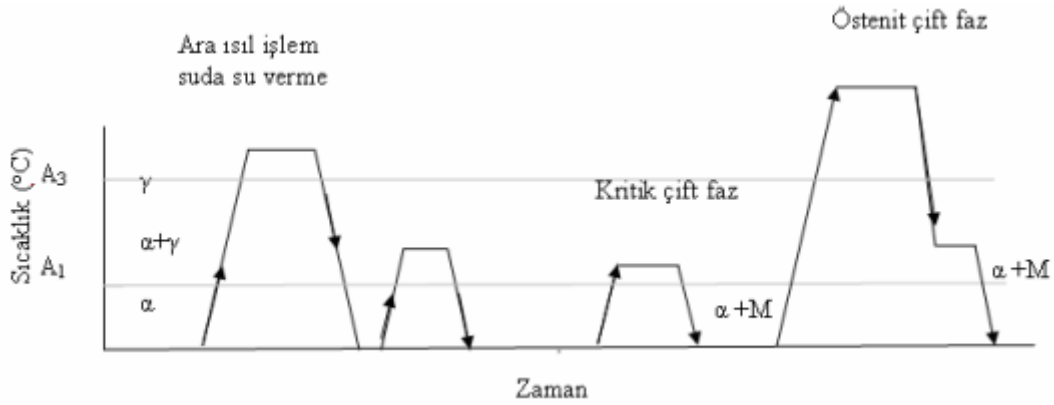
Çift-fazlı çelikler Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramı üzerindeki,  $A_1$  ile  $A_3$  sıcaklık eğrileri arasındaki, iki fazlı ( $\gamma+\alpha$ ) kritik bölgede ısı işlem gören çeliğin yapısındaki östenitin martensite dönüşümünü sağlayacak hızda soğutulmasıyla oluşur. Farklı morfolojilerde çift faz oluşturulması mümkündür [69,21].



Şekil 3.12. Demir-Fe<sub>3</sub>C denge diagramı

Çift fazlı yapı  $\alpha + P \rightarrow \alpha + \gamma \rightarrow \alpha + M$  dönüşümüyle gerçekleşir. Ferritli perlitli çelik, belirlenen kritik sıcaklığa ısıtılır ve yeterince bu sıcaklıkta bekletilir. Bu durumda çeliğin mikro-yapısı ferrit ve östenitten ibarettir. Ardından çelik, martenzit oluşturabilecek bir hızla soğutulur. Sonuçta mikro-yapı ferrit + martenzitten oluşur. Bu şekilde üretilen çift fazlı çeliğe “kritik sıcaklık çift faz çeliği” denir. Şekil 3.13’de farklı çift faz üretim ısı işlemlerinin şematik gösterimini içermektedir.

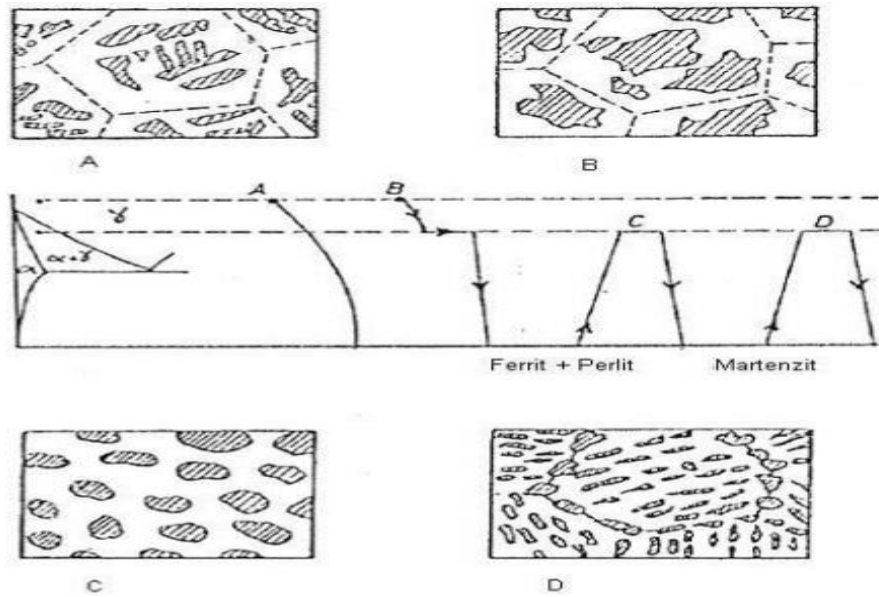
Diğer bir tür olan östenit çift faz işlemi ise uygun bileşimdeki çelik, ferrit + perlit bölgesinden östenit bölgesine tavlama ve ferrit + perlit bileşiminde östenit dönüşümü sağlandıktan sonra kontrollü bir şekilde soğutulmuş ve östenitten ferrit + östenit ayrışması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numune yapıda martenzit oluşturabilecek bir hızla soğutulmuştur.  $\alpha + P \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha + \gamma \rightarrow \alpha + M$ . Oluşan yapı yine ferrit + martenzittir.



Şekil 3.13. Çeşitli çift faz üretim ısı işlemleri [34]

Çift fazlı çelik üretmek amacıyla farklı ısı işlemlerin sonucunda oluşan mikroyapı ve özellikler birbirinden farklıdır. Şekil 3.14'de farklı çift faz ısı işlemi sonrasında meydana gelen mikroyapıları şematik olarak göstermektedir, şekilde siyah alanlar martenziti, beyaz alanlar ise ferriti temsil etmektedir.

Çift fazlı çeliklerin mikroyapıları, ferrit matris içerisinde dağılmış yaklaşık %20 sert martenzit fazından meydana gelir [35]. Yaklaşık %20 martenzit hacim oranı, çift fazlı çeliklerden beklenen süneklik ve mukavemet ilişkisi açısından önemlidir, bununla birlikte malzemenin kullanılacağı servis şartları dikkate alınır.



Şekil 3.14. Değişik ısı işlem sonrasında oluşan mikroyapılar [36]

Ticari olarak dual fazlı çeliklerin üretiminde, yukarıdaki ısıl işlemleri içeren genellikle sürekli tavlama ve haddeme metotları kullanılmaktadır. Diğer bir üretim metodu olan ve soğuk haddelenmiş saclara uygulanan kutu tavı metodu ise, henüz gelişme aşamasında olduğundan dar bir uygulama alanına sahiptir.

### 3.6.1. Sürekli tavlama metodu

Sürekli tavlama metodunda, sıcak ve soğuk haddelenmiş saclar rulo olarak sarılmadan önce sürekli tavlama fırınlarında “ferrit+östenit” bölgesindeki sıcaklıklarda kısa bir süre (1-2 dak) tavllanır ve uygun bir hızla soğutulur. Bu metot ile üretilen dual fazlı çeliklerin özellikleri, fırın sıcaklığının yanı sıra sacın fırın içindeki hareket hızına da bağlıdır. Sürekli tavlama metodunda sıcak veya soğuk haddelenmiş saclara uygulanan ekstra ısıl işlem kademesi maliyeti arttırıcı bir faktördür. Ancak sürekli tavlama metodu ile üretilen çift fazlı çeliklerin mekanik özelliklerinin homojen olması, bu metodun avantajlı yanıdır.

Japonya’da 1976 yılında, alaşımsız az karbonlu çeliklere uygulanan yeni bir sürekli tavlama metodu geliştirilmiştir. Bu metot da sac, “ferrit+östenit” faz bölgesinde tavlانیp, özel olarak dizayn edilmiş bir cihazda üzerine su püskürtülerek hızla soğutulduktan sonra, 25-300 °C’ de temperlenir. Bu sürekli tavlama metodu ile alaşımlama en düşük seviyede tutulabilmekte ve kalın kesitli çeliklerde de çift faz mikroyapısı oluşturulabilmektedir. Ayrıca enerji sarfiyatının azaltılması, ısıl işlem süresinin kısaltılması, personel sayısının azaltılması da söz konusu metodun avantajları arasındadır [77].

### 3.6.2. Haddeme metodu

Haddeme metodunda, saca çift faz mikroyapısı kimyasal bileşimin ve üretim parametrelerinin dikkatli kontrolü ile sıcak haddeme sonrasında kazandırılmaktadır. Bu metotta, sıcak haddelenmiş çeliğe iki kademeli soğutma uygulanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan haddemenin son pasosundan sonra, hadde çıkışında çelik mikro yapıda da % 80-90 ferrit oluşacak bir hızda soğutulur. Mikroyapının geriye kalan % 10-12’si ise, rulo sarma işleminden sonraki soğutma ile martenzite dönüştürülür. Bu işlem alışlagelmiş hadde tezgahlarının çıkış hızlarını ve

çeliğin soğuma hızını kontrol ederek gerçekleştiğinden büyük yatırım masrafı gerektirmez. Ancak haddeleme metodu ile üretilen çeliklerde, birinci soğuma kademesinde perlit, ikinci soğuma kademesinde beynit oluşumunu engellemek amacıyla ferrit dönüşümü hızlı, perlit ve beynit dönüşümleri yavaş olmalıdır. Sıcak haddelemede deformasyon oranının sınırlı olması ve alaşımlama için ek masrafa gerek duyulması, bu metodun dezavantajlarıdır. Sıcak haddeleme metodu ile 2 mm'den ince sacların üretimi mümkün değildir.

Sürekli tavlama ve haddeleme metotları ile üretilmiş aynı mukavemetteki ticari çift fazlı çelikler ile yapılan çalışmalar, sıcak haddelenmiş çift fazlı çeliklerin daha az karbon içerdiğini ve mikroyapıdaki martenzit miktarının daha az olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucu olarak, haddeleme metoduyla üretilen çift fazlı çeliklerin daha yüksek kaynak mukavemetine sahip oldukları söylenebilir [77].

### 3.6.3. Kutu tavlama metodu

Bu metotta, soğuk haddelenmiş ve rulo olarak sarılmış sac, “ferrit+ostenit” faz bölgesindeki sıcaklıklarda uzun süre tavlama ve çeliğin bileşimine göre havada veya suda soğutulur. Ekstra ısı işlem kademesinin maliyeti çok az etkilemesi bir avantajdır. Yüksek alaşımlama gerektirmesi ve mekanik özelliklerinin homojen olmaması ise bu metodun dezavantajlarıdır [77].

Çift faz mikroyapısında üretilen sac malzemenin kalınlığına bağlı olarak haddeleme veya kutu tavlama yöntemi uygulanır. Kalınlığı 2 mm'den fazla olan sacların sıcak haddelenmesi kritik sıcaklıklar arasında bitirilir ve bu sıcaklıktan itibaren uygun bir hızda soğutma yapılarak çift faz mikroyapısı elde edilir. Daha ince sacların üretiminde ise malzemeye sıcak haddeleme işlemi sırasında çift faz mikroyapısı kazandıran haddeleme yöntemi uygulanamaz. İnce sacların üretiminde kullanılan kutu tavlama yönteminde; malzeme, soğuk haddelenerek istenilen kalınlığa getirildikten sonra rulo olarak sarılır. Rulo olarak sarılmış sac “ferrit+ostenit” faz bölgesindeki sıcaklıklar arasına ısıtılır ve su verilerek çift faz mikroyapısı kazandırılır.

Soğuk haddelme ile istenilen kalınlığa indirilen saclara kritik sıcaklıklar arası bir ısıtım işlemi ile çift faz mikroyapısı kazandırılır. Uygulanan ısıtım işlemleri tavlama çeliğinin soğutma hızına göre üç sınıfa ayırmak mümkündür;

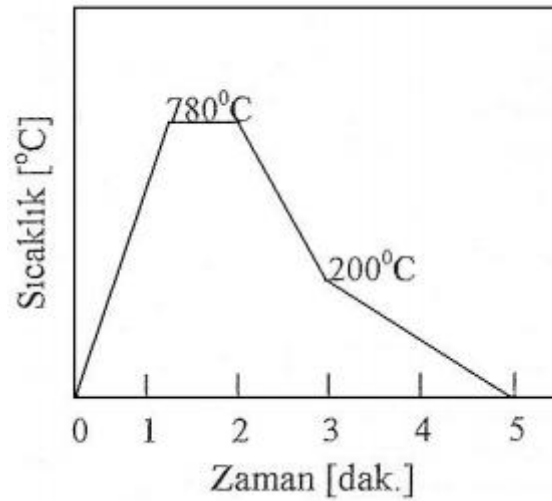
1. Çok yavaş soğutma metodu
2. Yavaş soğutma metodu
3. Hızlı soğutma metodu

### **3.6.3.1. Çok yavaş soğutma metodu**

Minimum % 2.5 mangan ihtiva eden düşük karbonlu çelik soğuk haddelendikten sonra kutu tavı ile “ferrit+ostenit” bölgesindeki sıcaklıklara ısıtılır. Rulo halindeki çelik uzun süre sabit sıcaklıkta tutularak “ferrit+ostenit” mikroyapısı oluşmaktadır. Daha sonra fırından çıkartılan çelik 20 °C/saat gibi çok yavaş bir hızla soğutulur. Mangan çeliğinin sertleşme kabiliyetini çok arttırdığı için bu hızda dahi çift faz mikroyapısı elde edilebilmektedir [78]. Ancak mikroyapıda hemen hiç kalıntı ostenit bulunmamakta, bunun yerine az miktarda ince perlit bulunmaktadır [63].

### **3.6.3.2. Yavaş soğutma metodu**

Kutu tavı yönteminde en fazla kullanılan metottur. Çelik fabrikalarında mevcut olan paslanmaz çelik veya galvaniz hatlarından faydalanılarak sürekli halde kritik sıcaklıklar arası ısıtım işlemi yapılmaktadır. Böylece hem kitle halinde, hem de ekonomik olarak çift fazlı çelik üretimi mümkün olmaktadır. Yavaş soğutma metodu ile çift fazlı çelik üretimi için yapılan tipik bir işlem Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Soğuk haddelenen çelik 15 °C/s hızla kritik sıcaklıklar arasına ısıtılır ve bu sıcaklıkta 60 saniye tutulduktan sonra 10-20°C/s hızla soğutulur ve 200°C’nin altında rulo olarak sarılır. Soğutma gaz-jet sistemiyle yapılmaktadır [79].



Şekil 3.15. Sürekli tavlama hattında HSLA çeliğinde çift fazlı çelik üretimi için uygulanan ısıl işlem

Yavaş soğuma ile çift faz mikroyapısı kazandırılan çeliklerin kimyasal bileşim sınırları Tablo 3.2’de verilmiştir.  $A_1$ - $A_3$  sıcaklıkları arasında oluşan östenitin sertleşme kabiliyeti yüksek olduğu için yavaş soğutma hızında ( $10\text{ }^\circ\text{C/s}$ ) da çift faz mikroyapısı elde edilmektedir. Bu çeliklerin sünekliği yeteri kadar yüksek olduğundan sünekliğin artırılması için temperleme işlemi gerekmemektedir.

Tablo 3.2. Yavaş soğutma metodu ile üretilen çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Al
%Ağırlık	0.05 - 0.15	0.9 - 2	0.5 - 1.5	0 - 0.5	0 - 0.1	0 - 0.2	0.04

### 3.6.3.3. Hızlı soğutma metodu

Alaşımli çeliklerin yanı sıra, alaşımsız düşük karbonlu çeliklerde de çift faz mikroyapısı elde etmek mümkündür. Bu çelikler %0,05 – 0,15 C ile %0,3-0,6 Mn ihtiva ederler. Isıl işlem sürekli tavlama hattında yapılır. Hızlı soğutma metodunda soğuk haddelenmiş çeliğin kritik sıcaklıklar arasına ısıtılma hızı ve bu sıcaklıkta tutma süresi yavaş soğutma metodundaki değerlere yakındır. Ancak oluşan östenitin sertleşme kabiliyeti düşük olduğu için soğutma hızı  $1000\text{ }^\circ\text{C/s}$ ’den daha büyük olmaktadır. Su verme işleminden sonra çift fazlı çeliklerde sünekliğin artırılması için  $500\text{ }^\circ\text{C}$ ’nin altında kısa süreli temperleme yapılır [80].



### 3.7. Çift Fazlı Çeliklerin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı ve DP600

Çift fazlı çelikler mikro yapılarında ferrit ve martenzit fazlarını bulundurarak hem yüksek mukavemete hem de yüksek sünekliğe sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Taşıtlarda kullanıldıklarında, yüksek mukavemetleri nedeniyle taşıt ağırlığının azalmasına ve dolayısıyla yakıt tasarrufuna neden olurlar. Buda gösteriyor ki daha ince saclar kullanılarak ağırlıkta azalmaya ve eşdeğer çekme mukavemetine sahip olmaları nedeniyle diğer kalite saclara üstünlük sağlanmasına yol açar.

Çift fazlı çeliklerin sünekliğinin yüksek olması nedeniyle yapılan otomobil parçalarının kolaylıkla biçimlendirilmesi sağlanmış olur. Çift fazlı çeliklerin otomobil endüstrisindeki uygulama alanları Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Çift-fazlı çeliklerin otomotiv endüstrisindeki uygulamaları [1]

Üretici	Bileşen	Notlar
General Motors	Tekerlek diskleri ve jantları, tampon takviyeleri, yüzey çubukları, kriko destekleri, su pompası makaraları, direksiyon kaplin takviyeleri	Yolcu arabaları ve hafif kamyon tekerlekleri için
Teksid Acciai	Stilli tekerlek diskleri	Lider Avrupa araba imalatçıları tarafından kullanılan
Hoesch-Estel	Tekerlek diskleri, fren levhası desteği (Girling)	Takımlar kesinlikle şerit ölçüsüne adapte edilmelidir
Inland Steel	Kapı panelleri, bagaj kapakları, merkez direkleri, rüzgarlık çerçeveleri, tekerlek teşkilatı	Hi-Form 80 iyi şekil verilebilirlik göstermiştir ve daha çok alüminyum gövde saçı gibi davranmıştır.
Jonesand Laughlin	Tampon yüzey çubukları, tampon takviyeleri, arka süspansiyon, tekerlekler, alternatör fan pervaneleri, direksiyon mili takviyeleri	2.2 mm'lik DP çelikleri 2.8 mm'lik yüksek mukavemetli çeliklerle yer değiştirmektedir. Daha iyi yorulma özellikleri parçalar daha kalın ölçülü düz karbonlu çelikler için
Kawasaki	Stilli tekerlek diskleri, kapı ve kaput panelleri ve çamurluklar	Dizayn edilmiş aletlerle yapılmıştır(3.2-4.0 mm) Fosfatlamaya tepkisi AK çeliklerle olduğu kadar iyidir
Nippon Steel	Tampon durdurma/yan kapı darbe çubukları, çerçeve bölümleri	CAPL'da işlem görmüş, 500-700 MPa, % 30-35
NKK	Dış ve iç paneller, kapı, giriş ve tampon takviyeleri	Cal-Hiten, düşük akma oranı tipinde; 350-450 MPa, 400-800 ve 500-1100 MPa kaliteleri
Sumitomo Metal Industries Ltd.	Dış oto gövdesi panelleri	Kutu tavllanmış ürün
US Steel	Araba, kamyon, otobüs, çiftlik ekipmanı, endüstriyel kullanım ünitelerindeki parçalar, ağır konstrüksiyon üniteleri	USS DP80

Biçimlendirilen otomobil parçalarında beklenen özelliklerden biriside bunların ani ve aşırı dış kuvvetlere karşı direnç göstermeleridir. Çift fazlı çeliklerde bu direnç soğuk biçimlendirme sırasında oluşan deformasyon sertleşmesine ilaveten, biçimlendirilmiş parçaların boyanmasından sonra 170 °C de sıcaklık fırınlarında 20-30 dak sürede yapılan kurutma işlemi sırasında daha da artmaktadır. Boya kurutma işlemi sırasında meydana gelen bu olay “fırınlama sertleşmesi” olarak adlandırılmaktadır ve çift fazlı çeliklerin önemli özelliklerinden biridir. Çift fazlı çelikler bu özelliğiyle diğer çelikler ile kıyaslandığında büyük üstünlük sağlar. Tablo 3.4 de çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 3.4. Çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimleri

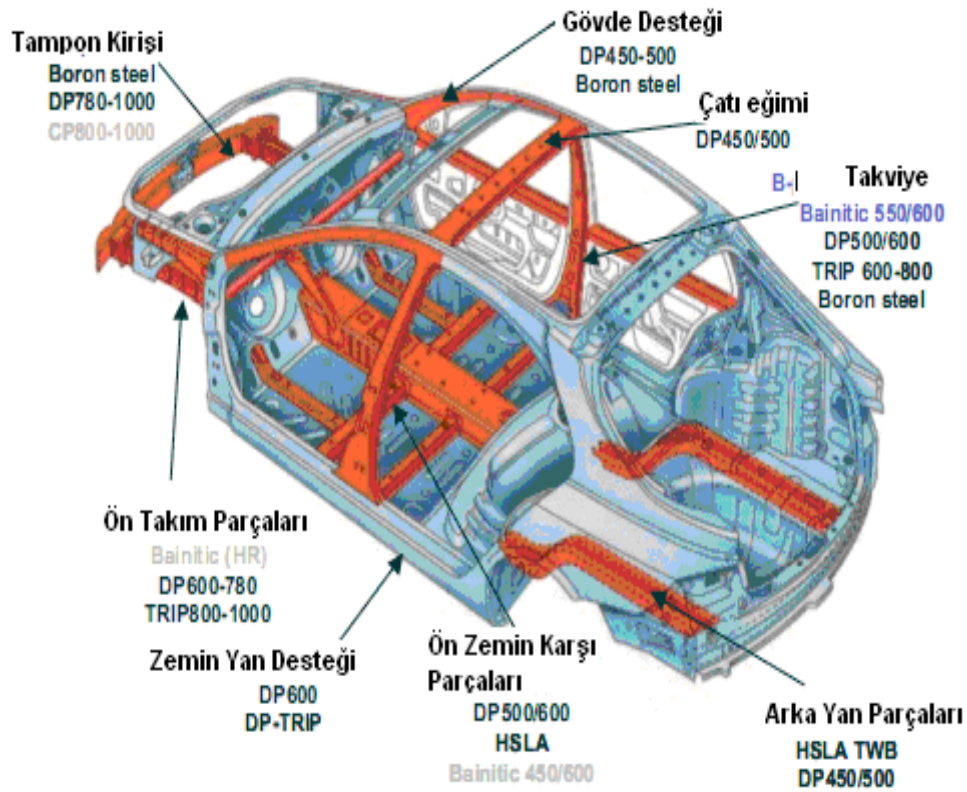
	C Max	Mn Max	Si Max
FF 280 DP	0.14	1.6	0.40
Dual Phase 450	0.08	1.6	0.40
Dual Phase 500	0.14	1.6	0.40
Dual Phase 600	0.14	2.1	0.40
Dual Phase 780 Y450	0.17	2.2	0.60
Dual Phase 780 LCE Y450	0.10	2.0	0.40
Dual Phase 780 Y500	0.17	2.2	0.60
Dual Phase 780 LCE Y500	0.10	2.0	0.40
Dual Phase 980 LCE Y600	0.11	2.9	0.70
Dual Phase 980 LCE Y660	0.11	2.9	0.70
Dual Phase 980 Y700	0.18	2.4	0.60
Dual Phase 980 LCE Y700	0.11	2.9	0.70
Dual Phase 1180	0.18	2.4	0.60
Dual Phase 600	0.09	1.0	0.25
Dual Phase 780	0.09	1.0	0.30

Hot rolled Cold rolled

Dual-fazlı çelikler, hızlı ve popüler bir biçimde günümüz otomobil endüstrisinin vazgeçilmez malzemelerinden biri olma yolundadırlar. 600 MPa mukavemete sahip DP600 olarak adlandırılan çift faz çeliği otomobil endüstrisinde yeni geliştirilmiş bir çift-faz çeliği olup özellikle otomobil karoserinde hafiflik, yüksek mukavemet, güvenlik, iyi korozyon dayanımı ve iyi zımbalama karakteristiği gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır [5,6].



Şekil 3.16. Çift fazlı çeliklerin otomotivde kullanıldığı parçalar



Şekil 3.17. Çift fazlı çeliklerin otomobil iskeletinde kullanıldığı kısımlar

### 3.8. Galvanizli Çelik Saclar

Karbonlu çeliklere alaşım elementlerinin ilavesi ve ısıl işlem uygulamaları çekme mukavemetini ve yorulma sınırlarını büyük miktarda artırırken, korozyona karşı davranışı üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. Galvanizli saclar korozyona karşı direnci sağlamak maksadı ile yüzeyleri çinko ile kaplanmış malzemelerdir. Kaplama malzemesi olarak çinkonun seçilmesinin temel nedeni, elektrokimyasal gerilim serisindeki yerinin asallıktan uzak oluşu ve yaygın kullanılan metallerle temasta olduğu zaman anod olarak davranmasıdır [85,86].

Tablo 3.5. Elektro kimyasal gerilim serisi [85]

Element (iyonlar)	Normal potansiyel V	Diğer pH değerlerinde		
		pH= 6 V	pH= 7.5 V	
Au <sup>+++</sup>	+1.42	+0.3	+0.20	Asal ↑
Ag <sup>+</sup>	+0.80	+0.2	+0.15	
Cu <sup>+</sup>	+0.52	-	-	
Cu <sup>++</sup>	+0.34	+0.2	+0.10	
H <sup>+</sup>	±0.00	-	-	
Pb <sup>++</sup>	-0.13	-0.3	-0.20	
Sn <sup>++</sup>	-0.14	-0.3	-0.80	
Ni <sup>++</sup>	-0.23	+0.1	+0.04	
Cd <sup>++</sup>	-0.40	-	-	
Fe <sup>++</sup>	-0.44	-0.4	-0.30	
Cr <sup>+++</sup>	-0.71	-0.2	-0.30	
Zn <sup>++</sup>	-0.76	-0.8	-0.30	
Al <sup>+++</sup>	-1.66	-0.2	-0.70	
Ti <sup>++</sup>	-1.75	+0.2	-0.10	
Mg <sup>++</sup>	-2.40	-	-	

### 3.8.1. Çinkonun korozyon davranışı

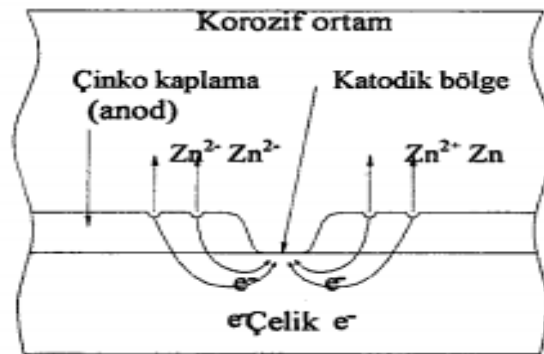
Dünyada çinkonun toplam tüketiminin yaklaşık % 40'ı demir ve çeliğin korozyonunun kontrolüne yardımcı olmak için kullanılır. Çinkonun fiziksel özellikleri Tablo 3.6 da verilmiştir.

Tablo 3.6. Çinkonun fiziksel özellikleri [85]

Yoğunluk		g/ cm <sup>3</sup>	7.14
Erime sıcaklığı		° C	419
Buharlaşma sıcaklığı		° C	906
Elastiklik modülü	Çok kristal (İzotrop)	N/mm <sup>2</sup>	94000
	Tek kristal (c-eks.)		37500
	Tek kristal (a-eks.)		125000
Genleşme Katsayısı	İzotrop	10 <sup>-6</sup> /K	39.8
	c-ekseninde		63.0
	a-ekseninde		14.2
Elektrik iletkenliği		m/(Ω mm <sup>2</sup> )	17

Galvanizli çelikte çinkonun başlangıçtaki korozyon direnci, parçanın servis ömrü süresince azalmadan devam eder. Kaplamanın altındaki çelikte açığa çıktığı zamanda, çinkonun tükenen anot olarak koruma kabiliyeti devam eder. Çinko, çeliğe göre korozyona daha çok dayanıklıdır. Çinkonun kimyasal bileşimi, atmosfer etkisindeki korozyona uğrama hızına çok az etki eder. Çinkonun içinde bulunduğu suyun sıcaklığı yükseldiği zaman, çinkonun korozyon hızı önce artar, sonra azalır. Yüksek sıcaklıktaki bölgelerde korozif etki yerel hale gelir ve noktasal korozyon ortaya çıkar. Çinkonun sudaki korozyon hızı, havada olduğu gibi demirinkine oranla daha azdır. Çinkonun korozyon hızı, sıcaklığa, pH ve oksijen yoğunluğuna bağlıdır. Bu hız artan oksijen ve karbondioksit miktarı ile artar. Çinko atmosferik bir metaldir ve ancak pH derecesi 6–12,5 arasında bulunan sulu çökeltilerde kullanılabilir. Asit oranı yüksek olan çözeltilerde korozyon hızı da artar. Çinko kaplı ürünler, kapalı bir ortamda uzun süre depolanırsa, saklı kalan nem nedeniyle, yüzeylerinde beyaz bir reaksiyon ürünü toz oluşur. Bu, genellikle “beyaz pas” olarak bilinir. Ancak çinko kaplama, bu durumdan olumsuz yönde etkilenmez.

Eğer çinko kaplama sürekli ise korozyon olayında, korozyona maruz kalma hızı tek faktördür. Nemli havanın veya doğal koşulların etkisi ile çinko yüzeyinde hidroksit ve karbonat karışımı sürekli zarf şeklinde, koruyucu bir takviye tabaka oluşur. Bu tabaka korozyon hızını azaltır. Ancak kaplama sürekli değilse veya atmosfer etkileri, gözenekler, kusurlar ve çatlaklar nedeniyle süreksiz hale gelmişse, bu durumda çinkonun elektrokimyasal özelliği veya anodik yapısı, koruma işleminde ön plana çıkar ve demir katodik olarak korunur. Şekil 3.18’de çinko kaplı çeliğin katodik korunması şematik olarak gösterilmektedir [85,87].



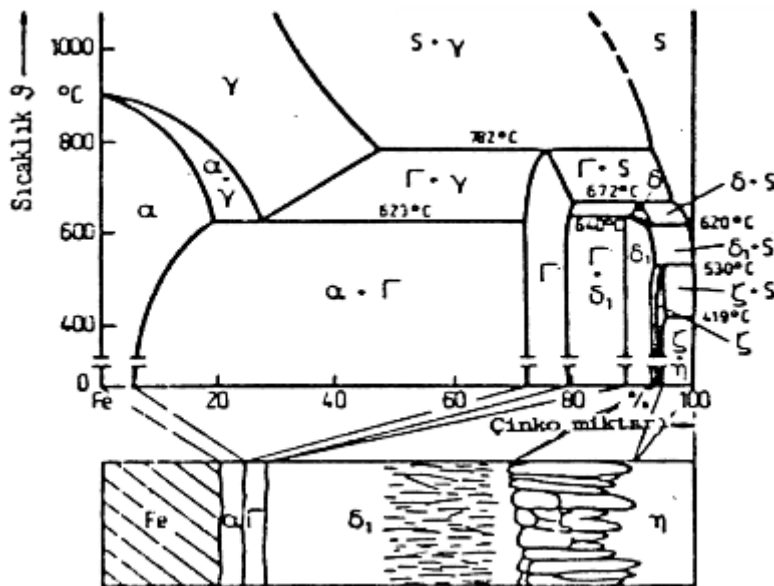
Şekil 3.18. Çinko kaplı çeliğin katodik korunması

### 3.8.2. Çeliğin çinko ile kaplanması

Çinkonun en büyük kullanım alanını oluşturan galvanizleme işlemi, ya çeliğin erimiş çinko banyosu içine daldırılmasıyla ya da elektro kaplama ile yapılır. Bunların dışında difüzyon metal püskürtme tipi kaplama yöntemleri mevcuttur.

Normal şartlarda çinko tabakası, her iki yüzeyde olmak üzere  $350\text{g/m}^2$ 'dir. Bu  $50\ \mu\text{m}$  kalınlıkta çinko kaplı saclar, normal atmosfer koşullarında yaklaşık 20 yıl korunmuş olurlar. Kaplamanın hangi yöntemle yapıldığı korozyon ömrü açısından pratik bir fark oluşturmaz. Kaplamanın korozyona karşı etkinliği, galvaniz kaplama kalınlığına bağlıdır.

Sıcak daldırmada, Şekil 3.19'da esas metal ile çinko arasındaki geçiş bölgesinde, Fe-Zn alaşımları meydana gelir.



Şekil 3.19. Sıcak daldırma ile çinko kaplamada geçiş bölgesi içyapısının Fe-Zn yardımıyla şematik açıklaması [85]

Demir-Çinko denge diyagramı göz önünde bulundurulduğunda, çelik yüzeyinin önce (% 21- 28 Fe)  $\Gamma$  fazı daha sonra (%7- 11.4 Fe)  $\delta_1$  fazı ve nihayet (% 6 – 6.2)  $\zeta$  fazını oluşturduğu görülür. Bu ara tabakaların kalınlığı, banyo sıcaklığı yanında, dalma

süresi ve demirce giderek zenginleşen eriğın bileşimine bağılıdır. Sıcak daldırma ile galvanizlemede kural olarak % 98.7- 99.5 çinko ve % 0.2'ye kadar Alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyum, bu gevrek ara tabakaların gevrekliğini azaltmakta ve çinko tabakanın parlaklığını arttırmaktadır. Özel amaçlar için sıcak daldırma ile galvanizleme işleminde %99.99kullanılmaktadır [85].



## **BÖLÜM 4. LEHİMLEME**

### **4.1. Lehimleme**

Genel olarak iki ya da daha fazla malzemenin, uygun bir ilave metal kullanılarak, ilave metalin ergime sıcaklığının üzerinde; ancak ana metallerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta yapılan birleştirme işlemleri lehimleme olarak tanımlanır. Bu tanıma göre lehimleme, sadece ilave metallerin ergiyip katılmasıyla ana metaller arasındaki birleştirme bağının oluşturulduğu bir yöntemdir. Burada birleştirilen malzemelerin kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ergimesi söz konusu değildir [81,82].

Lehimleme işleminde, eğer ilave dolgu metali 450 °C'nin altında ergirse yöntem yumuşak lehimleme, 450 °C'nin üstünde ergirse sert lehimleme adını alır. Sert lehimleme yumuşak lehimlemeden daha yüksek sıcaklıklarda yapılır; ancak temel kavramlar her iki yöntemde de benzerdir. Fakat birleşme dizaynı, birleştirilen malzemeler, ısıtma yöntemi, birleşme bölgesinin ön hazırlığı, kullanılacak ilave metallerin ve dekapanların seçimi iki yöntemde de birbirinden oldukça farklıdır.

Lehimleme işlemi, lehimlenecek yerin şekline göre, kapiler lehimleme ve lehim kaynağı olarak ikiye ayrılır. Kapiler lehimlemede birleştirilecek yüzeyler arasında 0,03 – 0,2 mm arasında bir lehimleme aralığı bırakılarak, sıvı dolgu metali bu aralıkta kapiler kuvvet etkisi ile yayılır. Lehim kaynağında ise, birleştirilecek parçalara kaynak ağzı açılıp, ergitilmiş ilave dolgu metali doldurulur ve birleştirme işlemi ergitme kaynağında kullanılan tekniğe benzer bir şekilde yapıldığı için lehim kaynağı adı verilmiştir. Lehimleme işlemlerinin hepsinde ilave dolgu metali ergir. Fakat ana malzemede herhangi bir ergime gerçekleşmez. Birleştirme uygun bir lehimleme sıcaklığında gerçekleştirilir.

Lehimleme ile birleştirilecek parçaların kullanılacağı servis ortam sıcaklığı, dolgu metalinin ergime sıcaklığından düşük olmasına dikkat edilir. Sert ve yumuşak lehimleme elektronik, uzay ve havacılık endüstrilerinden günlük tesisat uygulamalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır [82].

#### **4.2. Yumuşak Lehimleme**

Lehimleme işleminde ilave metalin ergime sıcaklığının 450 °C'nin altında olduğu yöntem yumuşak lehimleme olarak adlandırılır. Diğer lehimleme metotlarında ana malzemeler arasındaki bağlantı, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerinin, ergimiş lehim malzemesi tarafından ıslatılması ve bu durumda katılaşana kadar soğutulmasıyla sağlanmaktadır. Yumuşak lehimleme; kaynatılması ekonomik ve pratik olmayan metallerin birleştirilmesinde, kaynaklı birleştirmenin mümkün olmadığı yerlerde, diğer birleştirme yöntemlerinin kullanılmayacağı kadar küçük oranda olan parçaların birleştirilmesinde, elektrik–elektronik sanayinde, motorlu araçlarda, soğutma sistemlerinin birleştirilmesi ve tamir işlemlerinde, çatı oluklarının birleştirilmesi aşamalarında sıkça kullanılmaktadır.

#### **4.3. Sert Lehimleme**

Ana metali, ergimiş sıvı haldeki ilave dolgu metalinin ıslatması, dolgu metalinin lehimleme aralığında yayılması ve ana metal ve dolgu metal arasında metalürjik bir bağ oluşması sonucu meydana gelen birleştirmeye sert lehimleme adı verilir. Buradaki birleştirme bir difüzyon olayı olup, ana metaldeki bazı elementlerin atomları lehim alaşımına ve lehim alaşımındaki bazı elementlerin atomları da ana metale geçmektedir. Ana metal ile dolgu metali arasındaki ısıtma kabiliyetini artırmak amacı ile çeşitli dekapanlar kullanılır. Sert lehimlemede birleşme bölgesinin mekanik dayanımı yüksektir. Birleştirme bölgesi iyi tasarlandığında ve işlem uygun olarak yapıldığında oluşan intermetalik bağlantı; ana metallerinkine eşit, hatta daha fazla olabilen mekanik dayanıma sahip olmaktadır. Katılaşmış lehim yüzeyleri doğal olarak çok düzgün şekilli ve köşesizdir. Lehim malzemesinin iş parçası köşeleri ve birleşme bölgelerinde oluşturduğu bu bükey form yorulmaya karşı da iyi bir direnç sağlamaktadır. Bununla birlikte ötektik tip ilave metaller kullanıldığında, katılaşmış

lehim malzemesi yüksek miktarda kırılğan intermetalik bileşen içerir ve dolayısıyla lehim bölgesinde çatlak başlangıcı oluşma riski vardır.

İlave dolgu metali, birleştirilecek parçaların yüzeyine ulaştığı için, kenarlarda gerilim azalması olacağından dolayı mekanik özellikler artar. Bu yöntemle genellikle darbe ve titreşimlere karşı dayanıklı bir birleştirme elde etmek mümkündür. Dolgu metali ile birleştirilecek parçalar arasında, reaksiyon sonucu gevrek metaller arası fazlar meydana gelebilir. Bu gevrek fazların miktarına bağlı olarak, birleştirme mukavemeti azalabilir [83]. Bu yöntemin en önemli avantajı benzer olmayan farklı özelliklerdeki malzemelerin birleştirilmesi yapılabilmektedir. Örneğin; metal ile seramiklerin sert lehimleme yöntemi ile birleştirilmesi, demir esaslı metaller ile demir dışı metallerin birleştirilmesi, paslanmaz çelik ile bakırın birleştirilmesi mümkündür. Buna ilaveten karmaşık geometrilerin, farklı kalınlıktaki parçaların, lehimle tekniği ile birleştirilmesi mümkündür. Sert lehimleme, ana metalin ergime sıcaklığından düşük bir sıcaklıkta gerçekleştirildiği için, ana metalin mevcut özelliklerini değiştirecek aşırı bir ısınma olmaz. Lehimle işlemi sonucunda parça çarpılması büyük oranda değildir [82,83].

#### 4.4. Sert Lehimleme Parametreleri

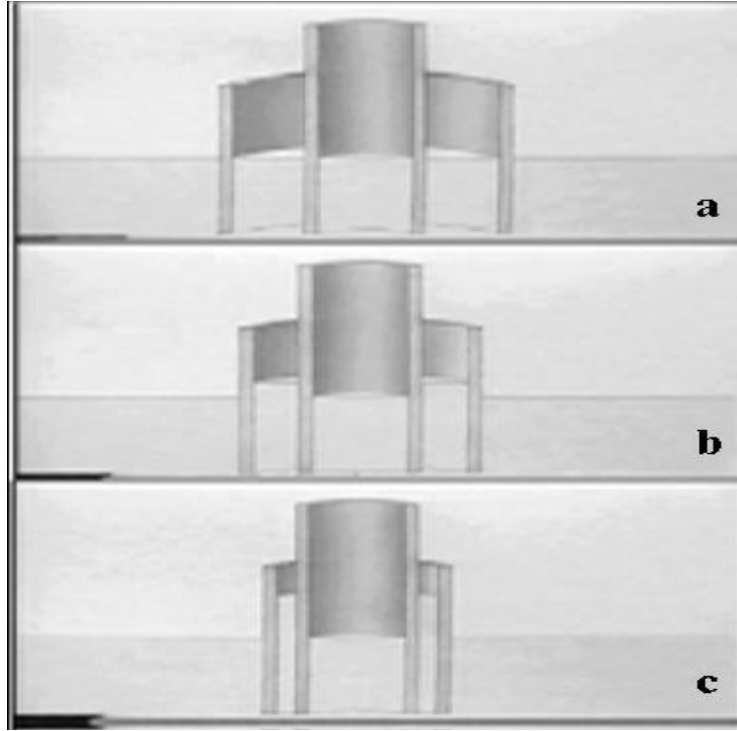
Sert lehimlemede kullanılacak yöntem lehimleme birleştirmesinin tasarımı, mekanik dayanımı, yorulma dayanımı, korozyona duyarlılık, yüksek sıcaklık dayanımı göz önünde bulundurulduğunda ilave metal ve işlem parametrelerinin seçimine bağlıdır.

1. Ana metalin özellikleri
2. İlave metalin özellikleri
3. Yüzey hazırlama
4. Birleştirme dizaynı ve boşluğu
5. Sıcaklık ve uygulama süresi
6. Isıtma yöntemi ve ısıtma hızı
7. Koruyucu atmosfer veya dekaparla koruma dolgu metali (ilave metal) akışı ve ıslatma kabiliyeti

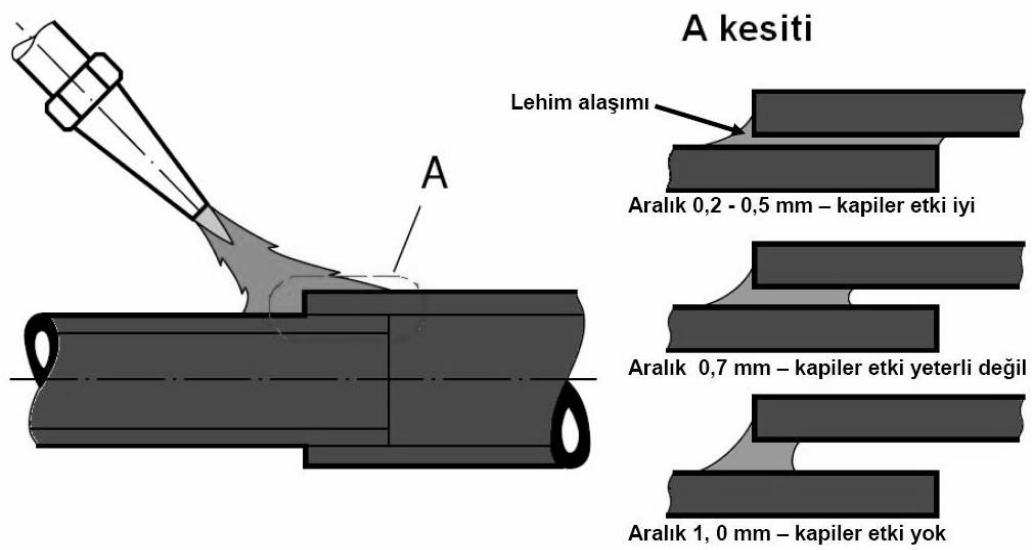
#### 4.4.1. İlave metal akışı ve ıslatma kabiliyeti

Sert lehimleme için ilave metalin ıslatma ve akış özellikleri çok önemlidir. Başta kapilarite olmak üzere katı yüzeylerin durumu (oksit tabakalarının vb.'nin varlığı ıslatma ve akışı etkiler), yüzey pürüzlülüğü, ana metal – ana metal ve ana metal – ilave metal alaşımlanmaları ve bu alaşımlanmaların lehimleme atmosferinde maruz kaldıkları termodinamik etkiler ıslatma ve akışı etkileyen etmenlerdendir. Öte yandan ilave metalin akış özelliği, viskozite, gaz basıncı, gravite ve özellikle ana metalle ilave metal arasındaki metalurjik etkileşimlere de bağlıdır.

Birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerinin ergimiş ilave metalle tamamen ıslatılarak iyi bir lehimleme elde edilmesini sağlayan kapiler etkidir. Birleşme aralıkları uygun bir kapiler etkiyi sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Kapilarite; sıvı metalin moleküllerinin birbirlerine ve katı metal moleküllerine karşı gösterdiği ilginin bir sonucudur. İyi tasarlanmış bir birleştirmede ve koruyucu bir atmosfer altında çalışıldığında ilave metal tamamen birleşme boşluğuna çekilerek hiç bir açıklık bırakmadan doldurma işlemini tamamlar. Bu şekilde katılmış lehim malzemesi titreşime veya şok darbelerine maruz kalsa dahi sızdırmazlık özelliğini sürdürür. Dolayısıyla kapiler çekim, sızdırmaz birleştirmelerin yapılmasını kolaylaştırır. Kapiler çekim etkisi aynı zamanda, sıvıların küçük ve dar alanlarla sınırlanmış yüzeylerdeki akışını da belirleyen etkidir. En temel biçimiyle kapiler etkinin tanımlanması ve sert lehimlemedeki etkisi Şekil 4.1 ve 4.2'de görülmektedir [84].



Şekil 4.1. Su dolu bir kaba yerleştirilmiş iç içe iki bakır borudaki suyun seviyesi, boru çapları yeterince büyükse bileşik kaplar prensibine uyar b) Dıştaki boru çapı küçüldükçe kapiler etki ortaya çıkar ve iki boru arasındaki suyun seviyesi kaptaki seviyenin üzerine çıkar c) Yeterince küçük bir aralıkta kapiler etki en üst seviyesine çıkarak iki boru arasındaki boşluğu doldurur [84]



Şekil 4.2. Sert lehimlemede aralığın kapilariteye etkisi [84]

Genellikle sıvıların ve katıların bileşimleri ile yüzey enerjilerinin sabit olduğu düşünülür. Buna rağmen gerçek sistemlerde oluşan su etkileşimler bunun tersi yönde sonuçlara yol açar:

1. Sıvı ilave metal ve ana metal arasındaki alaşımınma
2. Ana metalin ilave metale difüzyonu
3. İlave metalin ana metal tanelerine difüzyonu
4. İlave metalin tane sınırları boyunca penetrasyonu
5. İntermetalik bileşiklerin oluşması

Pratikte bu etkileşimler uygun lehim alaşımının seçilmesi, lehimleme sıcaklığının mümkün olduğu kadar düşük (ancak akış sağlayacak derecede), lehimleme sıcaklığında tutma süresinin kısa ve işlem sonrası soğutmanın mümkün olduğu kadar hızlı (çatlama veya şekil bozukluğu oluşturmadan) tutulması ile en aza indirilir [82,84].

#### **4.4.2. Yüzey temizliği**

Kaliteli bir sert lehim bağlantısı elde edebilmek için iş parçası yüzeylerinin temiz ve oksitlerden arındırılmış olması gereklidir. Ana ve ilave metal yüzeylerindeki yağ, kir ve oksitler lehimlemeden önce dikkatle temizlenmeli ve lehimleme işlemi temizlemeden mümkün olduğu kadar kısa bir süre sonra yapılmalıdır. Temizleme süresi kullanılan metallere ve içinde buldukları koşullara bağlıdır. Temizleme işlemleri genellikle mekanik ve kimyasal olarak iki gruba ayrılır. Kimyasal temizleme yağ ve gres kalıntılarını ortadan kaldırmada en etkili yöntemdir. Oksitleri ortadan kaldırmak için de kullanılırlar.

Mekanik temizleme yöntemleri taşlama, tel fırçayla fırçalama veya herhangi bir talaşlı işlem olabilir. Taşlama yapıldığında kullanılan soğutma sıvısının yüzey yapısını bozmamasına ya da yüzeyi kirletmemesine dikkat edilmelidir.

Ergimiş ilave metalin akışını etkileyen bir diğer önemli faktör yüzey pürüzlülüğüdür. Genellikle düzgün bir yüzeyi ıslatabilen bir sıvı pürüzlü bir yüzeyi daha da fazla

ıslatır. Pürüzlü bir yüzey akışı laminerden türbülansa çevirir ve dolayısıyla akış süresini uzatarak alaşımlanma ve diğer etkileşimlerin oluşma olasılığını artırır. Bazı durumlarda yüzey pürüzlülüğü birleşme bölgesindeki homojenliği sağlar.

#### 4.4.3. Birleştirme dizaynı ve boşluğu

Sert lehimlemeyle birleştirmede birleşme boşluğunun kapilariteye büyük etkisi vardır. Bu nedenle genellikle küçük birleştirme boşlukları kullanılır. Birleştirme boşluğu küçüldükçe kapilarite artar ve lehim metali soğurken çökme ya da boşluk oluşma riski azalır. Çoğunlukla birleştirme boşluğu 0,03 mm. – 0,08 mm. arasında olduğunda en iyi kapilarite ve birleşme dayanımına ulaşılır.

Birleşme bölgesinin dizaynı engelsiz ve düzgün bir kapileri akış sağlamalı, dekapanın kaçmasına izin verirken dolgu metalinin boşluğu tamamen doldurmasını sağlamalıdır. Dolgu metalinin çubuk veya tel olarak elle beslendiği durumlarda birleşme bölgesi rahat görülebilir ve ulaşılabilir olmalıdır.

Birleştirme dizaynını etkileyen en önemli faktörlerden bazıları üründen istenen mekanik özellikler, korozyon direnci, elektriksel ve ısı iletkenlik, birleştirme sonrası muayene ihtiyaçları ve ilave metalin uygulanma şeklidir. Ayrıca basınca dayanıklılık, görünüm, kullanılan lehimleme yöntemi de birleştirme dizaynı kriteri olabilmektedir.

Ana metallerin sünekliği, birleşme bölgesindeki gerilme dağılımı ve birleştirilecek yüzeylerin lehimleme esnasında birbirlerine göre hareket etmeleri (ısı genleşme gibi faktörlerle), şekil bozukluklarına yol açabilir.

Isı genleşmeler özellikle farklı ana malzemelerin kullanıldığı durumlarda ve parçaların her yerinin ısıtıldığı fırın sert lehimlemesi gibi yöntemlerde kesinlikle göz önüne alınmalıdır. Bu gibi durumlarda birleşme bölgesi dizaynının, katılan ilave metal üzerinde basınç oluşturabilecek şekilde yapılması tercih edilir. Örneğin silindirik birleştirmelerde daha yüksek ısı genleşme katsayısına sahip parça mümkünse dış tarafta tutulmalıdır.

#### 4.4.4. Sıcaklık ve uygulama süresi

İlave metalin sıcaklığı ve bu sıcaklıkta tutulma süresi, ıslatma ve alaşımlanma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve sıcaklık arttıkça bu özellikler de artmaktadır. Lehimleme sıcaklığı ilave metalin ergime noktası üzerinde; ancak ana metallerin ergime sıcaklıkları altında malzemelere, yöntem ve üründen beklenen özellikleri sağlayacak şekilde seçilmelidir.

Genellikle ısıtma enerjisi maliyetlerini azaltmak, ana metaller üzerindeki ısı etkisini en aza indirmek (tane büyümesi, temperleme, çarpılma, vb.), ana metal – ilave metal etkileşimlerini azaltmak ve fikstür vb. lehimleme ekipmanlarının ömrünü arttırmak için mümkün olduğu kadar düşük sert lehimleme sıcaklıkları ve sıcakta tutma süreleri tercih edilir. Yüksek sert lehimleme sıcaklıkları ise şu durumlarda istenmektedir:

1. Daha ekonomik ancak daha yüksek ergime noktalı bir ilave metal kullanılabilmesinin istenmesi
2. Çeşitli ısı işlemlerin sert lehimlemeyle birleştirilmesi istendiğinde
3. Lehimlemeyi takip eden daha yüksek sıcaklıklardaki işlemlerin yapılabilmesini sağlamak
4. Ana metal – ilave metal etkileşimleriyle alaşımlanma oluşmasını sağlamak (Bu teknik genellikle birleşme bölgesinin yeniden ergime sıcaklığını ve sünekliğini arttırmak için kullanılır)
5. Koruyucu atmosfer içerisindeki lehimleme yöntemlerinde yüzeylerdeki yabancı maddeleri etkili bir şekilde uzaklaştırmak için
6. Gerilme çatlaklarını önlemek için

İlave metallerin ergimesi sürecinde lehimlemeyi etkileyen önemli bir faktör de likidasyondur. Ergime sırasında sıcaklık solidüs noktasından likidüs noktasına doğru artarken, sıvı ve katı ilave metal fazlarının bileşimleri değişir. Eğer ilk ergiyen ilave metal parçaları akıp birleşme bölgesinden uzaklaşırsa, kalan katı fazlar orijinal bileşimden daha büyük bir ergime derecesine sahip olur ve ergimedeki bölgede kalabilir. Bu olaya likidasyon adı verilmektedir.



Dar ergime aralıklı ilave metaller ayrışma eğilimi göstermez ve ana metalde çözünme ve difüzyon hızları düşük olduğu sürece aşırı dar birleşme boşluklarında çok serbestçe akıp ilerlerler. Geniş ergime aralıklı ilave metallerin hızlı ısıtılması veya birleşme bölgesine ana metaller lehimleme sıcaklığına çıkarıldıktan sonra uygulanması bu ayrışmayı (likidasyonu) en aza indirmektedir. Bununla beraber likidasyon tamamen ortadan kaldırılamaz. Dolayısıyla daha yavaş akış eğilimi gösteren geniş ergime aralıklı lehim malzemeleriyle çalışıldığında, daha geniş birleşme boşluklarına ihtiyaç duyulur [82].

#### **4.5. Düşük Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çeliklerin Sert Lehimleme Kabiliyetleri**

Endüstri de çeşitli amaçlar için kullanılan malzemeler oldukça değişiktir. Her bir malzemenin özelliklerine bağlı olarak sert lehimleme kabiliyetleri de farklılık gösterir. Tüm sert lehimleme işlemleri temizleme operasyonu, ilave dolgu metali ve dekapan seçimi, ısıtma ve soğutma aşamaları, lehimleme sonrası işlemler içerir. Malzemelerin özelliklerine bağlı olarak bu işlemler farklılık gösterebilir. Dolayısı ile her malzemenin özelliği dikkate alınarak sert lehimleme işlemleri belirlenmelidir.

Düşük karbonlu ve düşük alaşımli çeliklerin sert lehimlenmesi pratikte hemen hemen aynı özellikleri gösterir. Burada sözü geçen düşük karbonlu çeliklerde karbon miktarı maksimum kütleli olarak % 0,1'dir. Düşük alaşımli çeliklerde ise, miktarlarının toplamı maksimum kütleli olarak % 5'dir. Bu çelikler yüksek mukavemetli ve düşük alaşımli veya mikro alaşımli çelikler de olarak da bilinir. Düşük karbonlu ve düşük alaşımli çeliklerin lehimlenmesinde lehimle tekniği, lehimleme sıcaklığı, lehimleme zamanı, lehimlenen parçaların soğutulduğu ortam, ilave dolgu metalinin türü, dekapan veya koruyucu atmosferin çeşidi, temizleme şartları ve birleştirme geometrisi dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir. Düşük karbonlu ve düşük alaşımli çelikler, hemen hemen bütün yöntemler ile sert lehimlenebilir. Fakat en yaygın kullanılan teknikler üfleç, fırın, indüksiyon ve daldırma lehimlemesidir. Düşük alaşımli çeliklerin üfleç ile sert lehimlenmesinde nötr veya hafif asetilen fazlası alev kullanılır. Böylece ana metal, ilave dolgu metali ve dekapan üzerindeki ısının etkisi, minimuma indirilmiş olunur. Bu metot da tam bir ısı ayarı veya sıcaklık ayarı mümkün değildir. Bu nedenle tane büyümesi meydana gelebilir.

Çeliklerde mikro yapısal değişiklerin olmaması istenildiğin de, yumuşak lehimleme tercih edilmelidir. Özellikle çok temiz bir yüzey ve uygun bir dekapan sayesinde iyi bir yumuşak lehimleme birleştirmesi elde edilebilir. Genelde yumuşak lehimlemede ilave dolgu metali olarak kalay-kurşun alaşımı kullanılır (%20-50 kalay içeren ilave dolgu metalleri) [82].

#### 4.6. MIG Lehimleme

MIG lehimleme tamamen yüzeysel amaçlar dolgulu bağlantılar ve dikişler olarak yıllarca uygulandıktan sonra birleştirme çeşidi olan MIG kaynağının yerini almaktadır. MIG kaynağında kaynak boyunca oluşturulan ısıdan dolayı galvanizli çelikler korozyon korumasını sağlayan özelliklerini kaybetmektedir. Oysa kaynak uygulamalarında malzemenin korozyon özelliklerinin kaybolması istenmemektedir. MIG lehimleme düşük ısı girdisi ile kaynağın yakın bölgesinde korozyon korumasını sağlayan Zn miktarının minimum miktarlarda yanmasını sağlar [88].

Genellikle MIG kaynağı elektrot telinin ergime sıcaklığı Zn (910 °C) buharlaşma sıcaklığından daha yüksektir. Bu durum kaynak bölgesinde çinkonun buharlaşmasına sebep olur. MIG lehimleme de ise kaynak sıcaklığının azalması ile daha az Zn buharlaşacak ve düzen malzemenin ilk durumu gibi olacaktır [89]. Bir sıcaklığı düzenlemek için buharlaşma miktarı belirlenir. Bu kaynak makinesi üzerindeki MIG lehimleme programını kullanmak için önemlidir. Makine üzerinde koruyucu gaz, ilave tel, özel kaplama için bu dizayn edilmiştir. Galvanik korumaya ek olarak MIG lehimlemedeki düşük ısı ilişkisi çeliğin mukavemetinden de ödün vermemektedir. Diğer pek çok sayıdaki karakteristikler MIG lehimleme ile birleştirilmiştir.

1. Kaynak sıçraması çok azdır. İlave malzeme kaynak havuzunu kısa sürede besler.
2. Kaynaklı bağlantının sonu çıkışı daha kolaydır.
3. Damla geçişi sakın ve yumuşaktır.
4. Kaynak ısısı düşük olduğundan daha az çarpılma olur.
5. Kaynak boyunca iyi sızdırmazlık

6. Kaynak damlasının veya metali bölgesinde katodik koruma özelliği [89,90-91].

#### **4.6.1. Birleşme**

MIG kaynağında ana metal ergir ve ilave metalde yaklaşık olarak 1650 °C de eriyerek ana metal ve ilave metal arasında bir birleşme meydana gelir. MIG lehimleme de ise kaynak sıcaklığı oldukça düşüktür, yaklaşık olarak 960–1000 °C de civarındadır. Bu yüzden yalnızca ilave dolgu metali erir. Kaynak bölgesindeki ana metal de herhangi bir ergime olmaz. Kaynak metali ana metal üzerine adeta konumlanır ve bu sıcaklıklarda çok önemsiz boyutta ana metalde ergime meydana gelebilir.

#### **4.6.2. Donanım ve ilave tel**

MIG lehimleme bir mig kaynak makinesi kullanarak oluşturulabilir. MIG lehimleme dolgu teli özellikle çelik saclar için yaygın olan CuSi3 tavsiye edilir ya da bronz alaşımları CuAl8 ve CuSn6 telidir. Elektrot kalınlık tipi 0.8- 1.1-6 mm kullanılabilir. Tavsiye edilen kaynak gazı % 100 Argon'dur [92]. Fakat ark stabilizesini korumak adına %18 CO<sub>2</sub>-Argon karışımı kullanılabilir.

#### **4.6.3. Makine ayarları**

MIG lehimleme uygulaması için MIG kaynak makinesi ayarlanırken teknisyenlerin yaptığı en yaygın hata kaynak makinesini yüksek verime ayarlamak ve kaynak sıcaklığını çok yüksek yapmaktır. Bu gibi durumlarda daha düşük tel besleme hızı kullanılmalıdır. Aynı zamanda daha düşük voltaj ayarı ve daha kısa ark mesafesi kullanılmalıdır. Bu bize düşük güç akışında kararlı bir arkı iletmek veya oluşturmak için kaynak makinesi üzerinde düşük güç kaynağı gerektirir.

MIG lehimleme için MIG kaynak makinesi kullanıldığında özel parametreler makine üzerinde programlanabilir.

Bu yüzden bazı ayarları sınırlandırmak gerekebilir. Ark boyu, damla geçişi ve diğer bağlantı bütünlüğünü etkileyen pek çok faktör otomatik olarak ayarlanabilir.

#### 4.6.4. MIG lehimleme birleştirmesinde kullanılan teller

##### 4.6.4.1. CuSi3

Silisyum bronzlu (bakır-silisyum) MIG kaynak telidir. Bakır-silis kaynak teli silisyum bronzlu galvanizli çeliklerin kaynağında galvanizi yakmadan kaynak yapabilme özelliğine sahiptir. Koruyucu gaz olarak Argon gazı kullanılır. Kaynak Akım Türü: MIG D.C. (+).

MIG lehimleme de kullanılan CuSi3 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen çelikler CuSi2 Mn, CuSi3 Mn, CuMn5, CuMn2, Galvaniz kaplı çelikler, Bakır-Çinko(Pirinç) alaşımları, Bakır-Mangan Alaşımlarıdır.

Tablo 4.1 CuSi3 lehim metalinin bileşimi - %

<b>Cu</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>
Kalanı	3,0	1.0	<0,20	0,10

MIG Lehimleme de kullanılan CuSi3 içerikli lehim telinin mekanik değerleri aşağıda verilmiştir.

Akma Dayanımı(N/mm<sup>2</sup>): 130

Çekme Dayanımı(N/mm<sup>2</sup>): 220

Uzama (Lo=5 do) (%): 30

Sertlik: 55 HB

Ergime Sıcaklığı: 970-1025 °C

Genleşme (25 - 300°C) (106 /K): 18

Isı İletimi (20°C'de) (W/mK): 38

Elektrik İletkenliği [S\*m/mm<sup>2</sup>]: 3,8-4

#### 4.6.4.2. CuAl8

Alüminyum bronz (bakır-alüminyum) MIG kaynak telidir. Bakır %8 Al ihtiva eden kaynak telidir. Metal metale aşınmaya ve deniz suyu ve asitler gibi korozif sıvılara maruz parçalarda kullanılır. Koruyucu gaz olarak Ar(%99.99),Ar+%30He,He gazları kullanılabilir. Kaynak Akım Türü: MIG D.C. (+).

MIG lehimleme de kullanılan CuAl8 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen çelikler CuAl5, CuAl8, G-CuAl8, Mn, CuAl5 As, CuZn20Al2.

Tablo 4.2 CuAl8 lehim metalinin bileşimi - %

Cu	Al	Mn	Fe	Sn
Kalanı	8,0	<0,5	<0,5	<0,5

MIG Lehimleme de kullanılan CuAl8 içerikli lehim telinin mekanik değerleri aşağıda verilmiştir.

Akma Dayanımı(N/mm<sup>2</sup>): 200

Çekme Dayanımı(N/mm<sup>2</sup>): 430

Uzama (Lo=5 do) (%): 40

Sertlik: 100 HB

Ergime Derecesi: 1030-1035 °C

Genleşme (25 - 300°C) (106 /K): 17

Isı İletimi (20°C'de) (W/mK): 67

Elektrik İletkenliği [S\*m/mm<sup>2</sup>]: 8

#### 4.6.4.3. CuSn6

Kalay bronz (fosfor-kalay) alaşımlı MIG kaynak telidir. Bronz kaynak teli; bronz armatürlerde, boru tabanlarında, haddeleme bantlarında, alet yapımında, layner kaynağında, yatak dolgularının kaynağında kullanılır. Koruyucu gaz olarak saf Argon Ar+He gazları kullanılır. Kaynak akım türü: Mig D.C. (+).

MIG lehimleme de kullanılan CuSn6 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen çelikler CuSn2, CuSn4, CuSn6, CuSn8, CuSn6 Zn, G-CuSn2 ZnPb, G-CuSn5 ZnPb, G-CuSn6 ZnNi.

Tablo 4.3.CuSn6 lehim metalinin bileşimi - %

<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>P</b>	<b>Fe</b>	<b>Sn</b>
Kalanı	<0,02	0,20	<0,1	6,0

MIG Lehimleme de kullanılan CuSn6 içerikli lehim telinin mekanik değerleri aşağıda verilmiştir.

Akma Dayanımı(N/mm<sup>2</sup>): 270

Çekme Dayanımı(N/mm<sup>2</sup>): 410

Uzama (Lo=5 do) (%): 30

Sertlik: 100 HB

Ergime Derecesi: 910-1040 °C

Genleşme (25 - 300°C) (106 /K): 18,5

Isı İletimi (20°C'de) (W/mK): 75

Elektrik İletkenliği [S\*m/mm<sup>2</sup>]: 9

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **5.1. Genel**

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türlerinden, çift fazlı çelik olarak adlandırılan DP 600 sacının MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olan MIG-lehimleme yönteminde, DP 600 sacının hangi akım şiddetinde, lehim geriliminde, koruyucu gaz basıncında, torç açısında, lehimleme hızında ve lehimleme aralığında birleştirilebileceğini belirlemek için her parametre kendi içinde incelenmiştir.

DP 600 saclarına MIG-lehimleme yönteminin tatbiki sonucu lehim bağlantılarında galvanik koruma sağlanmaktadır. Diğer birleştirme türlerinde meydana gelen galvaniz tabakasının sıcaklık etkisiyle buharlaşıp ortamdan uzaklaşmasına karşı bir çözüm olarak görülmektedir. MIG-lehimleme uygulaması koruyucu gaz altında yapılan lehimleme olarak tanımlanabilir. Bu işlemde nispeten düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımlar kullanılarak birleşme bölgesine giren ısı girdisinin azaltılması, buna bağlı olarak lehim uygulanan bölgedeki çarpılmanın ve yüzeydeki galvaniz tabakasının lehim işlemi uygulanırken buharlaşmasının önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

Bu bölümde, deneylerde kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilerek, birleştirilen numunelere uygulanan mikroyapı, mikrosertlik, çekme, eğme ve SEM-EDS deneysel çalışmalarının nasıl yapıldığı ve hangi numunelerin kullanıldığı hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

## 5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan saclar, otomotiv sektöründe kullanılan çift tarafı galvaniz kaplamalı 1 mm kalınlığındaki DP 600 serisi saclardır. Galvaniz tabakasının kalınlığı bir yüzeyde 7,5  $\mu\text{m}$  olmak üzere iki yüzey için toplam 15  $\mu\text{m}$ ' dur. Yüksek mukavemet ve şekillendirilme kabiliyeti nedeniyle tamamen otomobil gövde, panel ve kaporta parçaları için kullanılan DP 600 çeliğinin spektrometrik analizi Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. DP 600 çeliğinin kimyasal bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al
0,091	0,239	1,858	0,011	0,001	0,573	0,004	0,024	0,039
%Cu	%Nb	%V	%N	%B	%Sn	%Ti	%Al-ZO	%Fe
0,012	0,001	0,004	0,0035	0,0001	0,001	0,002	0,038	96,282

DP 600 çeliğinin çekme ve sertlik testleri sonucu elde edilen mekanik özellikleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. DP 600 çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı( $\text{N/mm}^2$ ):	365
Çekme Dayanımı( $\text{N/mm}^2$ ):	635
Uzama (%):	24
Sertlik(HV):	195

## 5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri

DP 600 sac numunelerine 1mm çapındaki CuAl8 bakır alaşımli MIG-lehimleme teliyle birleştirme işlemi uygulanmıştır. CuAl8, alüminyum bronz (bakır-alüminyum) MIG lehim teli olup bakır %8 alüminyum ihtiva eder.



Metal metale aşınmaya ve deniz suyu ve asitler gibi korozif sıvılara maruz kalan parçalarda kullanılır. Bu telin kimyasal analizi Tablo 5.3’de diğer özellikleri aşağıda verilmiştir [93].

Tablo 5.3. CuAl8 lehim telinin kimyasal bileşimi

Cu	Al	Mn	Fe	Sn
Kalanı	8	<0,5	<0,5	<0,5

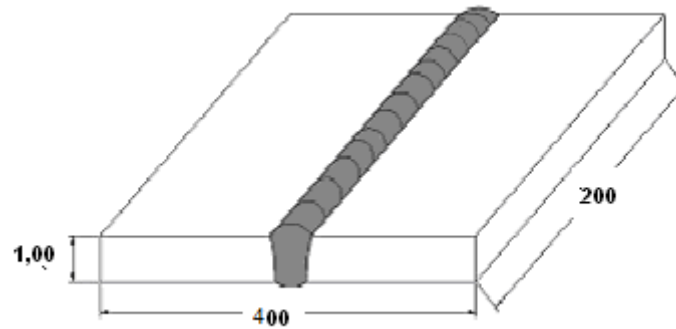
CuAl8 MIG-lehim teli TS EN 14640 normuna göre S Cu 6100 olarak kodlanmıştır. Telin mekanik özellikleri Tablo 5.4’de verilmiştir:

Tablo 5.4. CuAl8 lehim telinin mekanik özellikleri

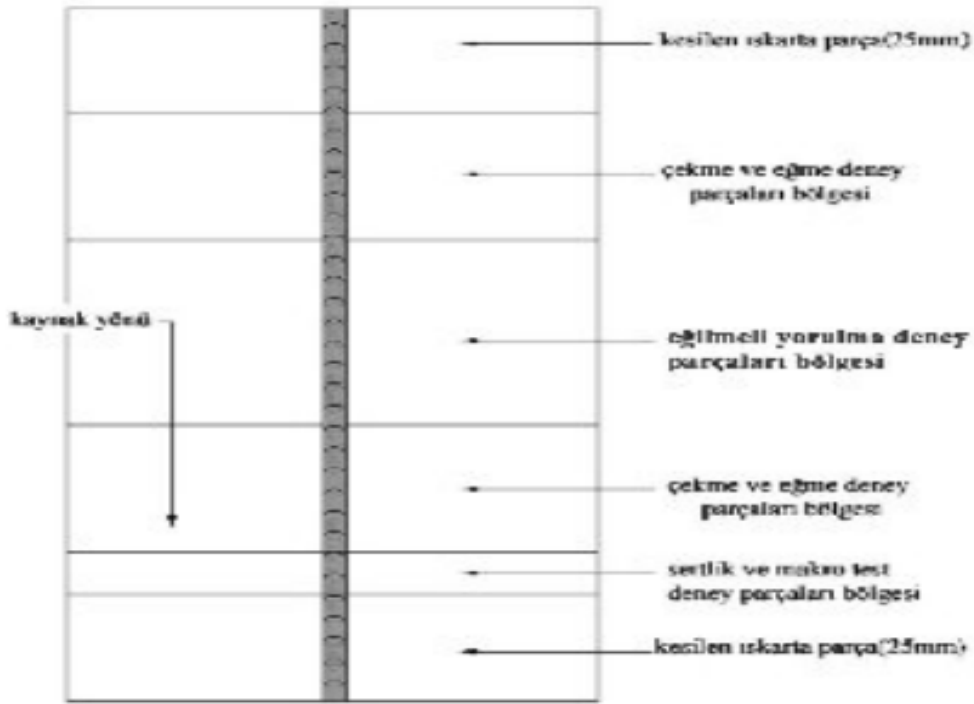
Akma Dayanımı(N/mm <sup>2</sup> ):	200
Çekme Dayanımı(N/mm <sup>2</sup> ):	430
Uzama (L <sub>0</sub> =5 do) (%):	40
Sertlik:	100 HB
Ergime Sıcaklığı:	1030-1035 °C

### 5.3.1. Numune hazırlama

MIG-lehimleme işlemi öncesi 1 mm kalınlığındaki DP 600 sac plakalar hadde yönleri belirlenerek 200x200x1 mm ölçülerinde kesilerek aseton ile temizlenerek yağ ve kirlerden arındırılmıştır.



Şekil 5.1. DP 600 sacının numune ebatları



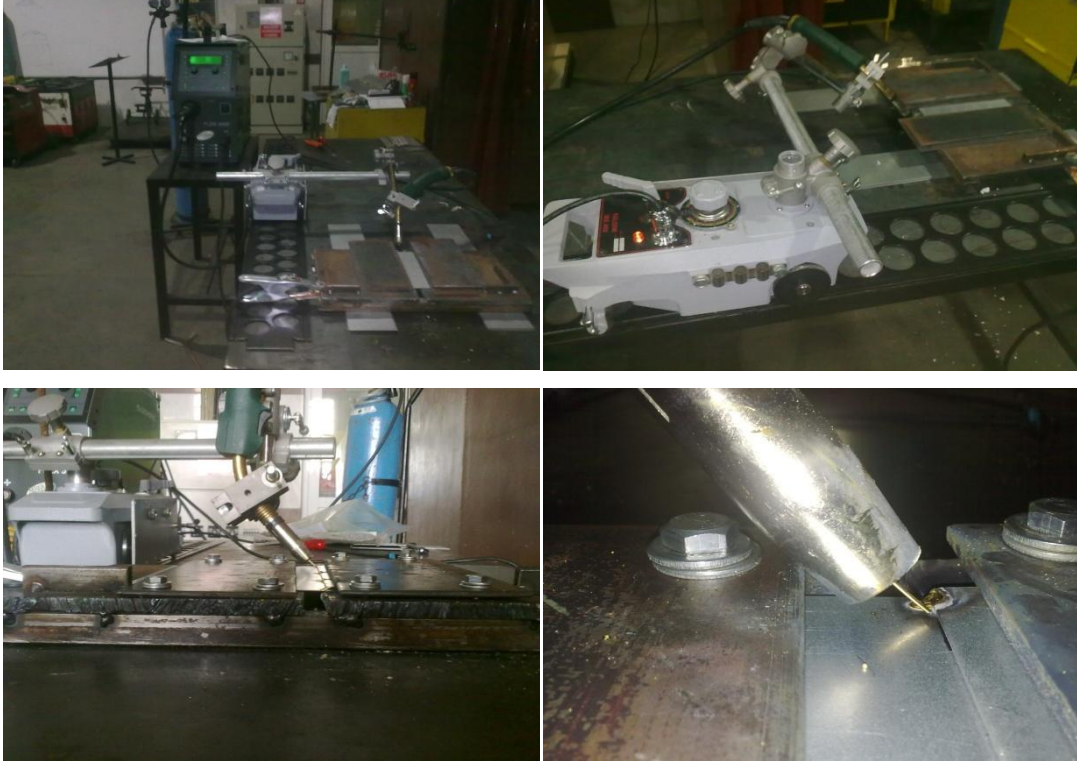
Şekil 5.2. MIG-lehimlenmiş DP 600 sacdan çıkarılan test numuneleri

### 5.3.2. MIG-lehimleme işlemleri

MIG-lehimleme işlemleri akım kontrollü, 300 Amper kapasiteli bir MIG kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın hassasiyeti açısından numunelerin hadde yönüne dikkat edilmiş, hadde yönüne 90 derece dik olarak lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Literatürde bindirme birleştirmeler göze çaparken bu çalışmada birleştirmeler bindirme birleştirme şeklinde uygulanırken aynı zamanda alın altına birleştirmede incelenmek üzere tatbik edilmiştir. Numunelerde oluşabilecek çarpılmayı azaltmak için vidalı kalıp sistemi yapılmış, numuneler bu kalıba bağlanarak MIG-lehimleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.4'de lehimleme işlemi uygulanan DP 600 sacının ön ve arka yüzeyinin görüntüsü verilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalardaki lehimlenen sac parçalarında ilerleme hızını sabitleyebilmek için kaynak robotu kullanılmıştır. Lehim uygulamaları farklı akım şiddetlerinde, lehim gerilimlerinde, lehim ilerleme hızlarında, farklı lehim gaz debilerinde, lehim torç açılarında ve farklı lehim aralıklarında olmak üzere

uygulanmıştır. Uygulamada kullanılan makine ve kaynak robotu ile ilgili fotoğraflar şekil 5.3’de görülmektedir.



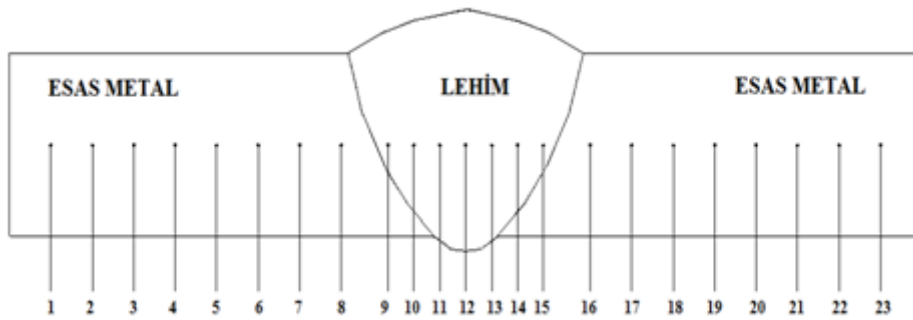
Şekil 5.3. MIG-lehimleme işleminin yapıldığı makine ve sekator



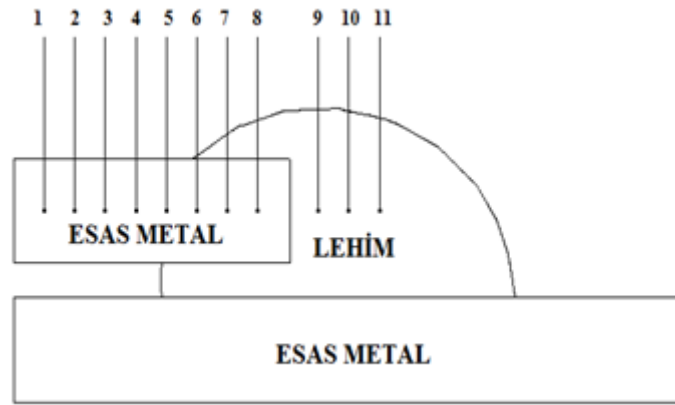
Şekil 5.4. MIG-lehimleme uygulanan sac plakaların Ön ve arka yüzü

#### 5.4. Sertlik Ölçümleri ve Isı Girdileri

MIG-lehimleme işlemi uygulanan numunelerinin, esas metalden tamamen lehim uygulanmış bölgeye kadar değişik özellikler gösteren yerlerinden mikro sertlik ölçümleri alınmış ve bunlar grafik olarak gösterilmişlerdir. Ölçümler 0,5 mm aralıklarla alınmıştır. Sertlik ölçümleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilen biçimde sıra-sertlik şeklinde yapılmıştır.



Şekil 5.5. Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar



Şekil 5.6. Bindirme birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar

Laboratuar ortamında yapılmış olan bütün mikro sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmış, 100 g yükte 5 s ve piramit batıcı uç kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Wolpert- Wilson marka cihaz ile yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda MIG-lehimlenen DP 600 sac parçalarının ısı girdisi hesaplarında kullanılan ısı girdisi formülleri aşağıda verilmiştir. (Denklem 1.1, 1.2) [94].

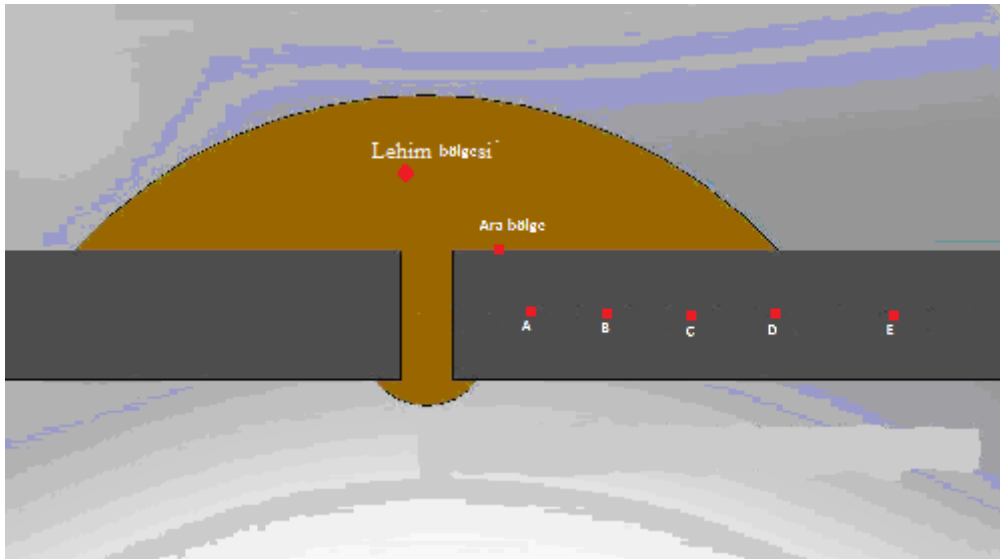
$$HI_{linear} = \frac{(60 \times UI)\eta}{V} \quad (1.1)$$

$$HI_{normalized} = \frac{HI_{linear}}{e} \quad (1.2)$$

## 5.5. Mikroyapı

### 5.5.1. Optik mikroskop

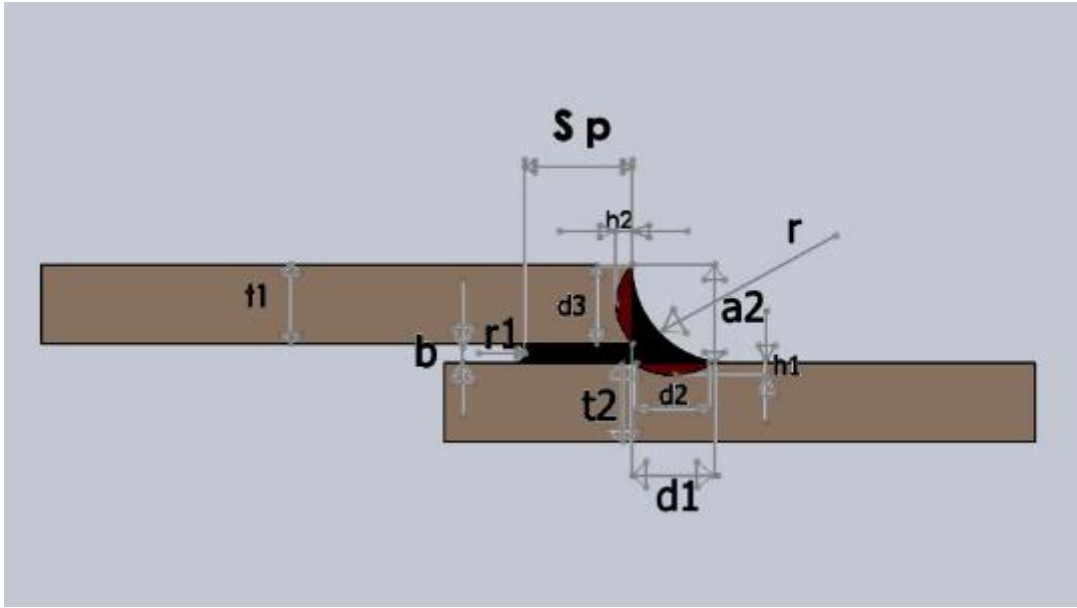
Bu çalışmada MIG-lehimleme yapılmış DP 600 çift-fazlı çelik sac malzemelerden kesit numuneler çıkarılmış ve bunların metalografik inceleme sonucunda mikroyapıları incelenmiştir. Numuneler sırasıyla 80, 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalarda zımparalandıktan sonra 0,3  $\mu\text{m}$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) alümina solüsyonu ile parlatılmış daha sonra numuneler % 3'lük Nital çözeltisi ile 5-6 s sürede dağlanmıştır. Hem düşük hem de yüksek büyütmelede çalışılmıştır. Mikroyapı çalışmaları Nikon marka optik mikroskopta yapılmıştır. Mikroyapı alınan noktalar Şekil 5.7'de verilmiştir.



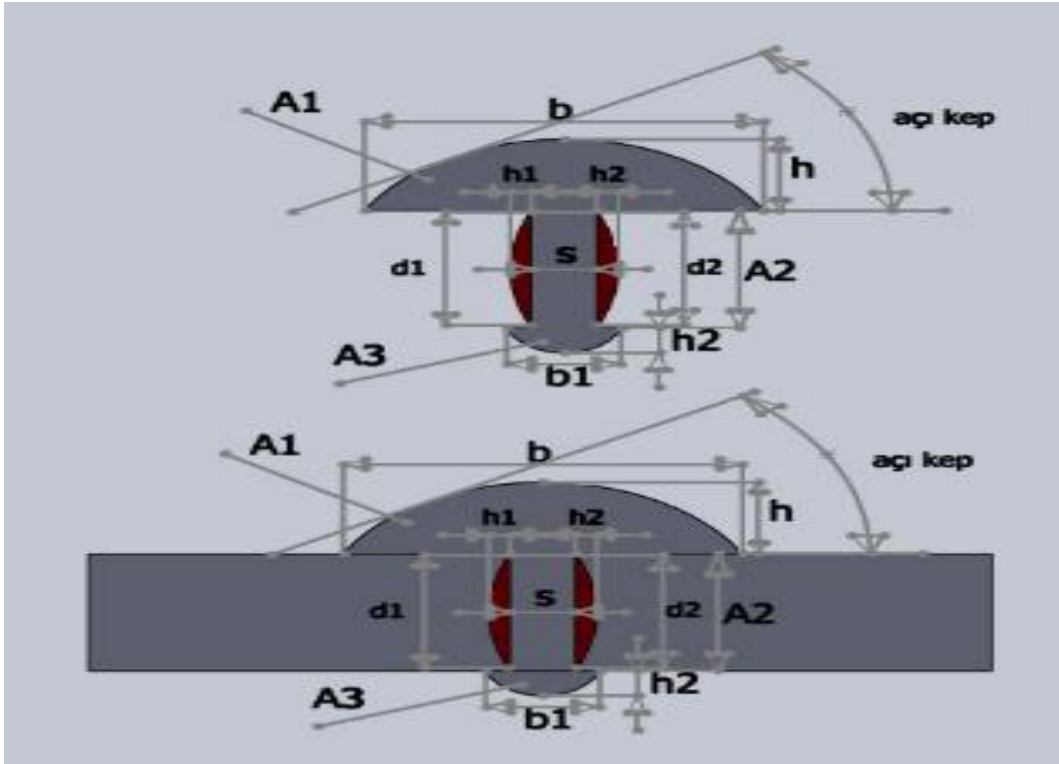
Şekil 5.7. Mikroyapı inceleme noktaları

### 5.5.2. Makroyapı

MIG-Lehimleme yapılan numunelerin makroyapı incelemeleri, lehim birleştirmelerinin lehim dikiş genişliği, lehim dikiş yüksekliğinin ve lehim ıslatma açılarının ölçülmesi, optimum lehim parametrelerinin belirlenebilmesi için yapılmıştır. Makroyapı fotoğraflarında ölçümlerin alındığı bölgeler Şekil 5.8’de bindirme birleştirme için Şekil 5.9’da alın altına birleştirme için verilmiştir.



Şekil 5.8. Bindirme birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar [95]



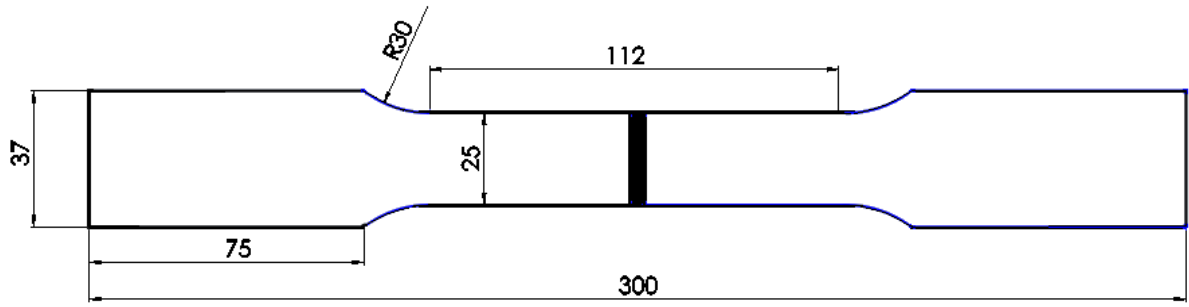
Şekil 5.9. Alın altına birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar [95]

### 5.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

MIG-lehimleme yöntemi uygulanan parçalardan hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskobunda ana malzeme, Zn kaplanmış bölge ve lehim bölgesi olmak üzere SEM görüntüleri çekilmiş ve aynı bölgelerden EDX analizleri alınmıştır. Bunun için JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır.

### 5.6. Çekme Deneyi

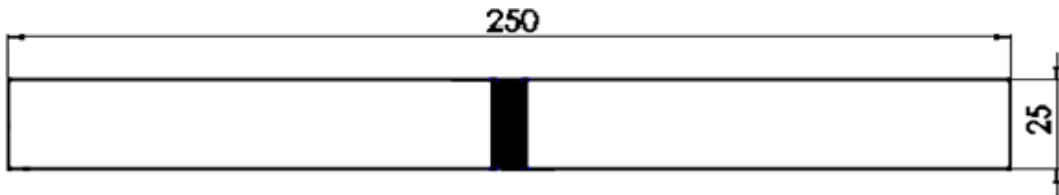
MIG-lehimleme tatbiki gerçekleştirilen DP 600 çift-fazlı çeliğinin mekanik özelliklerini belirlemek için 5 ton kapasiteli Shimadzu marka cihazla çekme testleri yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri EN 895 normu standardına göre hazırlanmıştır. Çekme deneylerinde kullanılan numune boyutları Şekil 5.10'da verilmiştir. Çekme hızı 10 mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Deney sırasında, gerilme ve yüzde uzama değerleri bilgisayara numune çevresindeki problemler ile aktarılmıştır.



Şekil 5.10. Çekme deneyi numunesi boyutları

### 5.7. Eğme Deneyi

MIG-lehimleme tatbiki gerçekleştirilen DP 600 çift-fazlı çeliğinin mekanik özelliklerini belirlemek için 5 ton kapasiteli Shimadzu marka cihazla üç eksen eğme testleri lehim kependen ve kökünden eğme olarak yapılmıştır. Eğme deneyi numuneleri EN 910 normu standardına göre hazırlanmıştır. Numune boyutları Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Eğme deneyi numune boyutları



## BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

### 6.1. DP 600 Sacın MIG Lehimleme Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri

#### 6.1.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

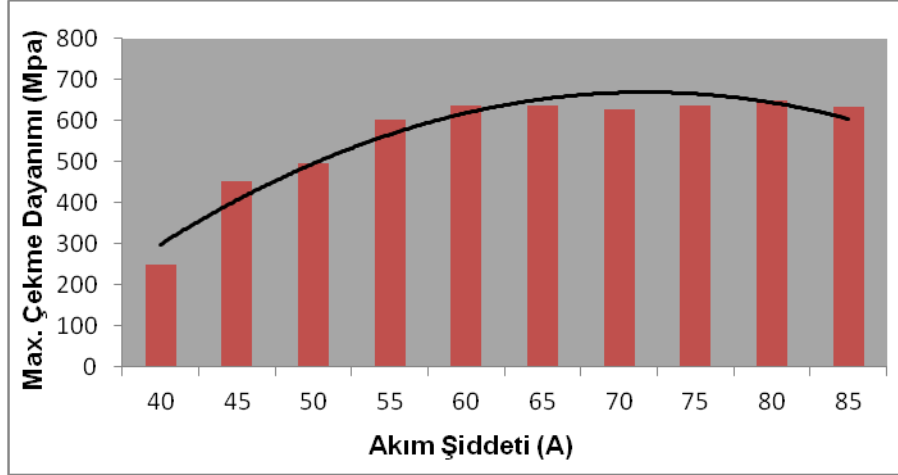
##### 6.1.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

DP 600 galvanizli çeliğinin farklı akım şiddetlerinde, çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.1'de verilmiştir. Akım şiddetleri 40 amperden başlayarak 90 ampere kadar tatbik edilmiştir. 90 amperde yüksek akım şiddeti, lehim gerilimi ile artan ısı girdisinden dolayı sacda ergime gerçekleşmiştir.

Tablo 6.1. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

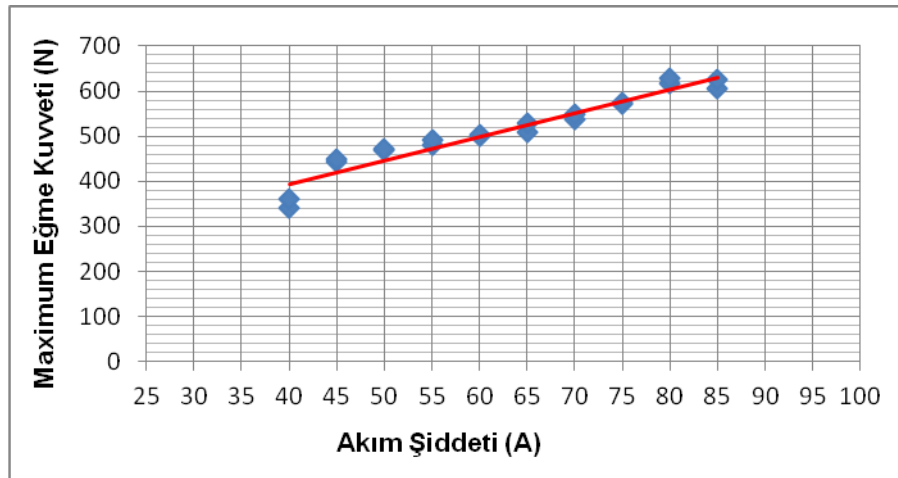
DP 600 MIG BRAZING ALIN BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
40	2,0	11,6	12	%100Argon	24	0,5	248	350
45	2,2	11,7	12	%100Argon	24	0,5	452	444
50	2,5	11,8	12	%100Argon	24	0,5	497	481
55	2,8	12	12	%100Argon	24	0,5	603	500
60	3,1	12,1	12	%100Argon	24	0,5	635	515
65	3,4	12,3	12	%100Argon	24	0,5	638	523
70	3,7	12,4	12	%100Argon	24	0,5	628	540
75	4,0	12,6	12	%100Argon	24	0,5	635	558
80	4,1	12,7	12	%100Argon	24	0,5	648	610
85	4,3	12,8	12	%100Argon	24	0,5	633	624

40, 45, 50A akım şiddetlerinde MIG-lehimleme tatbikinde ısı girdisinin azalması sonucu oluşan yetersiz ısıtma sebebi ile ilave telde çok fazla sıçrama meydana gelmiştir. İlave teldeki bu durum lehim görüntüsünde düzensizlikler olarak görülmüştür. 55A akım şiddeti ilave telde meydana gelen sıçramanın azalması ve maksimum çekme mukavemetinin artışında kritik değer olmuştur.



Şekil 6.1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 6.1’de maksimum çekme mukavemetleri incelendiğinde DP 600 galvanizli çeliği 40, 45, 50A akım şiddetlerinde lehim bölgesinden, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85A akım şiddetlerinde çekilen numuneler ana malzemedan kopmuştur. Bu sebeple maksimum çekme mukavemetinde kritik mukavemet eşiği 55 Amper olarak görülmektedir. 65A akım şiddetine kadar artan maksimum çekme mukavemeti, 70A de azalmış 75A de yeniden artmış ve 85A akım şiddetine kadar değişen mukavemet değerleri göstermiştir. Bunun sebebinin yükselen ısı girdisi olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple DP 600 galvanizli çeliğine uygulanacak optimum akım şiddeti değerinin 60-65A olduğu görülmektedir.



Şekil 6.2. Farklı akım şiddetlerinde eğme kuvvetleri grafiği

Farklı akım şiddetleri uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetlerinin, akım şiddeti arttıkça eğme kuvvetinin arttığı Şekil 6.2’de görülmektedir. Gerçekleştirilen tüm eğme testleri sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır. Lehim akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin artması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki genişleme gözle muayene sonucunda görülmüştür

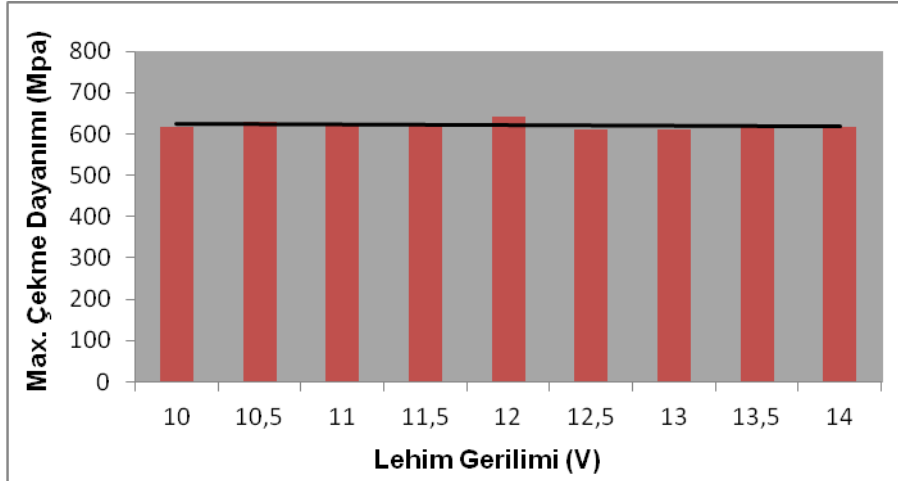
### 6.1.1.2. Lehim ark geriliminin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Optimum akım şiddeti 65A olarak belirlediğimiz DP 600 galvanizli çeliğinin farklı lehim gerilimlerinde, çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.2’de verilmiştir. Lehim gerilimleri 10V’dan başlayarak 14V’a kadar 0,5V aralıklarla tatbik edilmiştir.

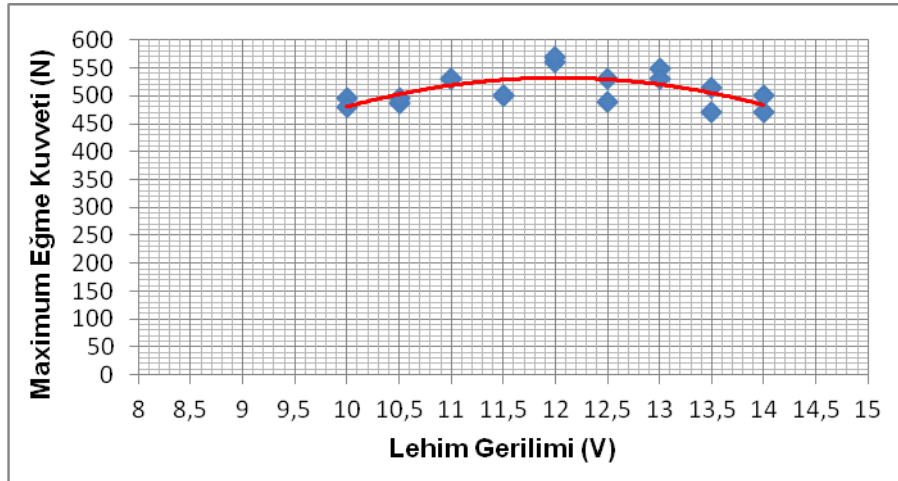
Tablo 6.2. Farklı lehim gerilimlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

DP 600 MIG BRAZING ALIN BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	10	12	%100Argon	24	0,5	617	488
65	3,4	10,5	12	%100Argon	24	0,5	628	491
65	3,4	11	12	%100Argon	24	0,5	625	530
65	3,4	11,5	12	%100Argon	24	0,5	619	500
65	3,4	12	12	%100Argon	24	0,5	640	565
65	3,4	12,5	12	%100Argon	24	0,5	610	510
65	3,4	13	12	%100Argon	24	0,5	612	540
65	3,4	13,5	12	%100Argon	24	0,5	624	493
65	3,4	14	12	%100Argon	24	0,5	617	485

Farklı lehim gerilimleri için maksimum çekme mukavemeti değerleri Şekil 6.3’de incelendiğinde lehimlenen bütün numuneler ana malzemedan kopmuş olmasına rağmen lehim gerilimi değeri 12V’da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Lehim gerilimi arttıkça ısı girdisinin artması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki genişleme gözle muayene sonucunda görülmüştür.



Şekil 6.3. Farklı lehim gerilimlerinde çekme mukavemetleri grafiği



Şekil 6.4. Farklı lehim gerilimlerinde eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim gerilimleri uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde gerilim değerinin 12V'da maksimum değere ulaştığı 12V'dan sonra belirli oranda düştüğü Şekil 6.4'de görülmektedir. Gerçekleştirilen tüm eğme testleri sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlakla rastlanılmamıştır. DP 600 galvanizli çeliğinin lehim gerilimi MIG-lehimleme makinesinde 65A'e karşılık 12,3V değeri olarak görülmektedir. Lehim gerilimi parametrelerinde en uygun değer 12V olarak görülmesi makine değerleri ile uygunluk göstermektedir. Bu yüzden 65A akım değeri için makinenin otomatik olarak verdiği 12,3V gerilim değerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

### 6.1.1.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

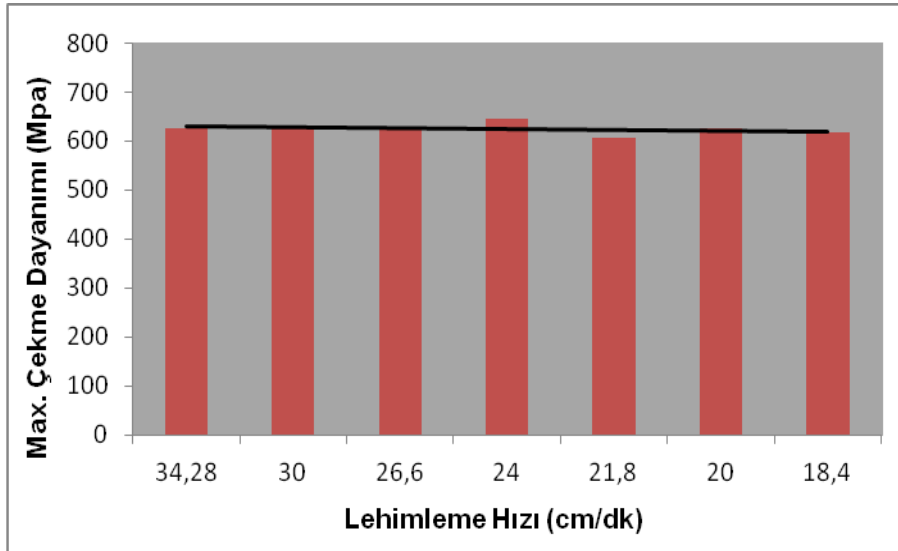
Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimi 12,3V olarak belirlenen DP 600 galvanizli çeliğinin farklı lehim hızlarındaki çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.3’de verilmiştir. Lehimleme işlemleri hız sabitleyici olarak kullandığımız kaynak robotu vasıtasıyla 34,28 cm/dk ile 18,4 cm/dk aralıklarda tatbik edilmiştir.

Tablo 6.3. Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

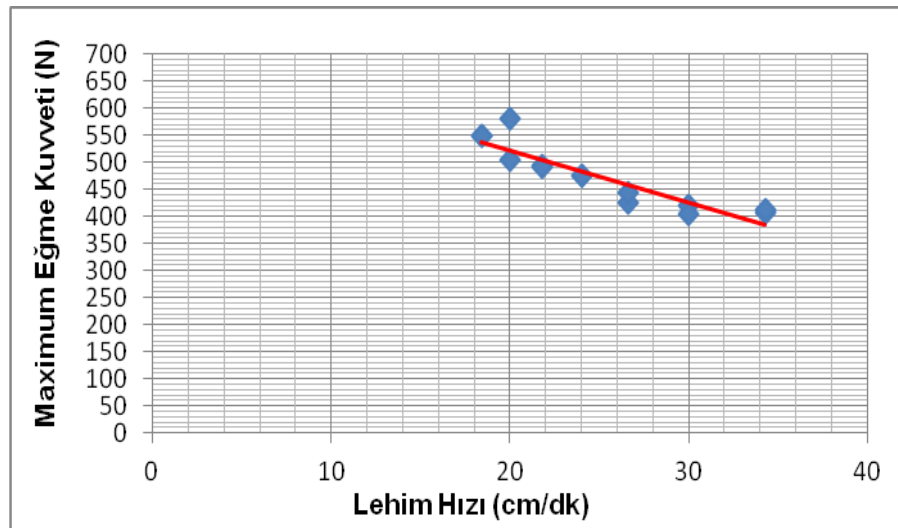
DP 600 MIG BRAZING ALIN BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	12,3	12	%100Argon	34,28	0,5	625	410
65	3,4	12,3	12	%100Argon	30	0,5	626	413
65	3,4	12,3	12	%100Argon	26,6	0,5	628	435
65	3,4	12,3	12	%100Argon	24	0,5	646	475
65	3,4	12,3	12	%100Argon	21,8	0,5	606	493
65	3,4	12,3	12	%100Argon	20	0,5	625	543
65	3,4	12,3	12	%100Argon	18,4	0,5	618	550

Farklı lehim hızları maksimum çekme mukavemeti değerleri Şekil 6.5’de incelendiğinde, lehimlenen bütün numunelerin ana malzemedan koptuğu belirlenmiştir. Buradaki verilere bakıldığında lehim hızı değeri 24 cm/dk da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Lehimleme hızı arttıkça ısı girdisi azalmaktadır. Isı girdisinin azalması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki daralma gözle muayene sonucunda görülmüştür.

Farklı lehim hızlarında maksimum çekme mukavemeti kopma noktaları her parametre için ölçüldüğünde 34,28 cm/dk ile 20 cm/dk aralığındaki hızlarda lehimden ana malzemeye kopma mesafesi 4 mm olarak belirlendi. Lehim ilerleme hızı 18,4 cm/dk olan numune kopma mesafesi ise 5 mm olarak ölçülmüştür. Burada lehim hızı azaldıkça ısı girdisinin arttığı ve artan ısı girdisi ile ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği görülmektedir.



Şekil 6.5. Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği



Şekil 6.6. Farklı lehim hızlarında eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim ilerleme hızları uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde lehim ilerleme hızı arttıkça ısı girdisinin azalması sonucu maksimum eğme kuvvetinin azaldığı Şekil 6.6'da görülmektedir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.

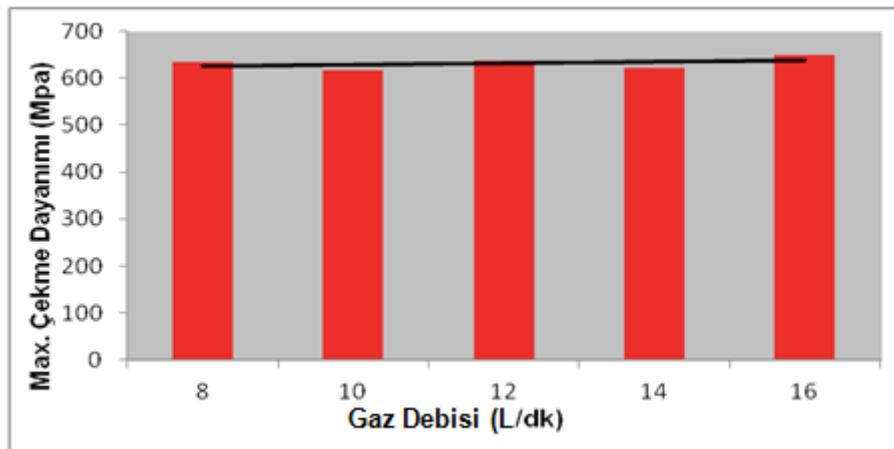
#### 6.1.1.4. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimi 12,3V, lehim hızı 24 cm/dk olarak belirlenen DP 600 galvanizli çeliğinin farklı lehim gaz debilerinde çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.4’de verilmiştir. Gaz akış debisi argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz kaçaklarının oluşabileceği ihtimaline göz önünde bulundurularak, lehim torcunun ucundan gaz akış debileri ölçülerek lehimleme işlemlerinin tatbiki gerçekleştirilmiştir.

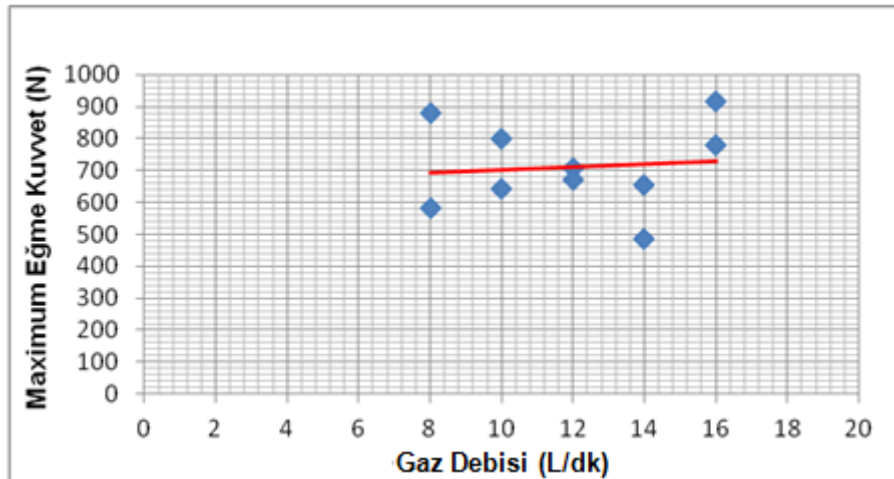
Tablo 6.4. Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

DP 600 MIG BRAZING ALIN BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	12,3	8	%100Argon	24	0,5	634	730
65	3,4	12,3	10	%100Argon	24	0,5	616	720
65	3,4	12,3	12	%100Argon	24	0,5	638	691
65	3,4	12,3	14	%100Argon	24	0,5	623	568
65	3,4	12,3	16	%100Argon	24	0,5	648	840

Farklı lehim gaz akış debisi maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numunelerin ana malzemedeki koptuğu Şekil 6.7’de görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında lehim gaz akış debisi değeri 12 L/dk ve 16 L/dk’da en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.



Şekil 6.7. Farklı lehim gaz debilerinde çekme mukavemetleri grafiği



Şekil 6.8. Farklı lehim gaz debilerinde eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim gaz debileri uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde gaz debisi arttıkça eğme kuvvetinin arttığı Şekil 6.8’de görülmektedir. Fakat maksimum eğme kuvveti grafiği eğim çizgisinden de görüldüğü üzere gaz akış debisinin maksimum kuvvet üzerinde etkili olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca 8 L/dk lehim gaz debisinde lehim tatbiki uygulanırken sıçramanın yoğun olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen tüm eğme testleri sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.

#### 6.1.1.5. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

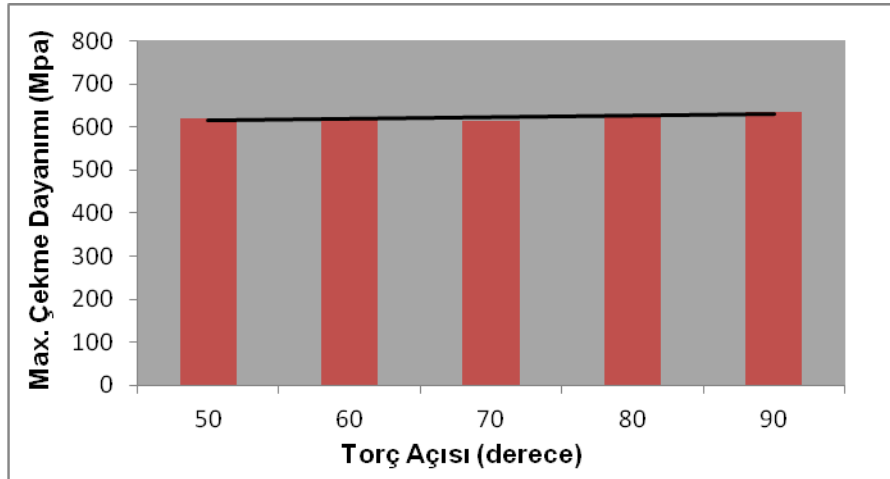
Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimi 12,3V, lehim hızı 24 cm/dk ve gaz akış debisi 12 L/dk olarak belirlenen DP 600 galvanizli çeliğinin farklı torç açılarında çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.5’de verilmiştir. MIG-lehim kaynak makinesinin torcu sekatöre sabitleyici aparatlar vasıtası ile sabitlendikten sonra farklı torç açılarında lehim işlemi gerçekleştirilmiştir.



Tablo 6.5. Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

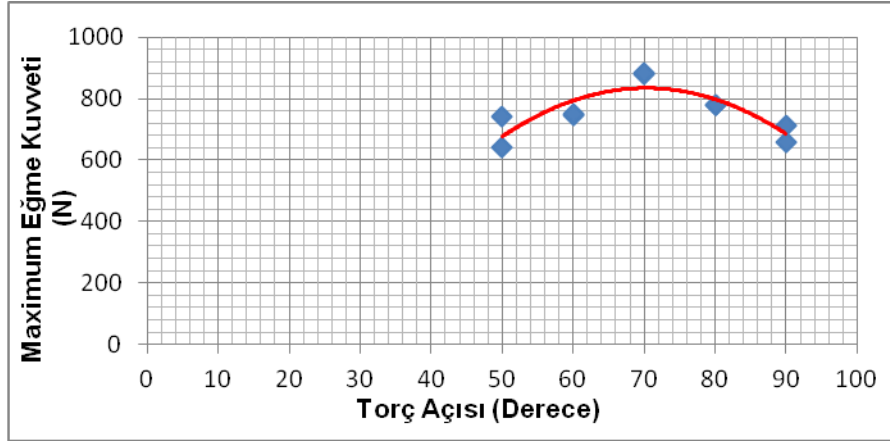
DP 600 MIG BRAZING ALIN BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Torç Açısı (Derece)	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	12,3	12	24	0,5	50	620	691
65	3,4	12,3	12	24	0,5	60	619	747
65	3,4	12,3	12	24	0,5	70	615	880
65	3,4	12,3	12	24	0,5	80	622	781
65	3,4	12,3	12	24	0,5	90	638	685

Farklı lehim torç açılarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numunelerin ana malzemeden koptuğu Şekil 6.9 da görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında lehim torç açısı değeri 90<sup>0</sup> de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.



Şekil 6.9. Farklı lehim torç açılarında çekme mukavemetleri grafiği

Farklı lehim torç açıları uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde, 50<sup>0</sup> torç açısında en düşük eğme kuvvetini, 70<sup>0</sup> torç açısında maksimum değeri, 90<sup>0</sup> torç açısında bu değer düşüğü Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.10. Farklı lehim torç açılarında eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim torç açılarında elde edilen MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çelik numunelerinde gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.

#### 6.1.1.6. Lehim birleştirme aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

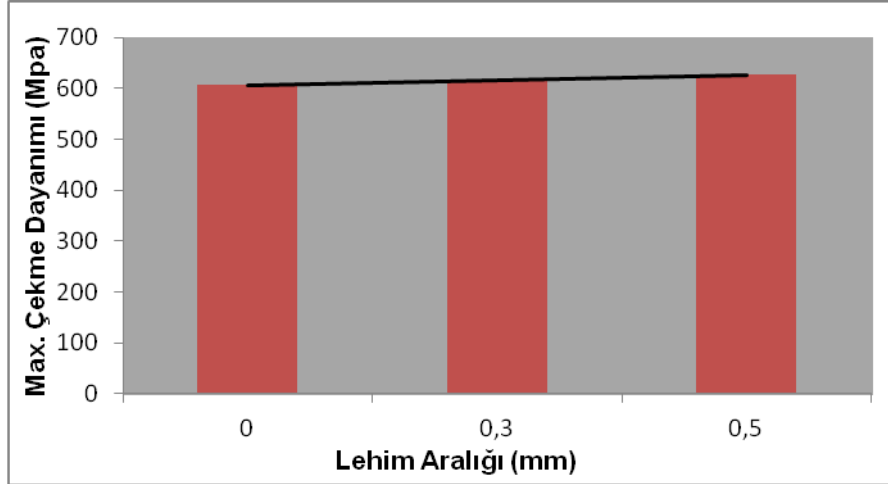
Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimi 12,3V, lehim hızı 24 cm/dk, gaz akış debisi 12 L/dk, torç açısı 90<sup>0</sup> olarak belirlenen DP 600 galvanizli çeliğinin farklı lehim aralığında çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6. Farklı lehim aralıklarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

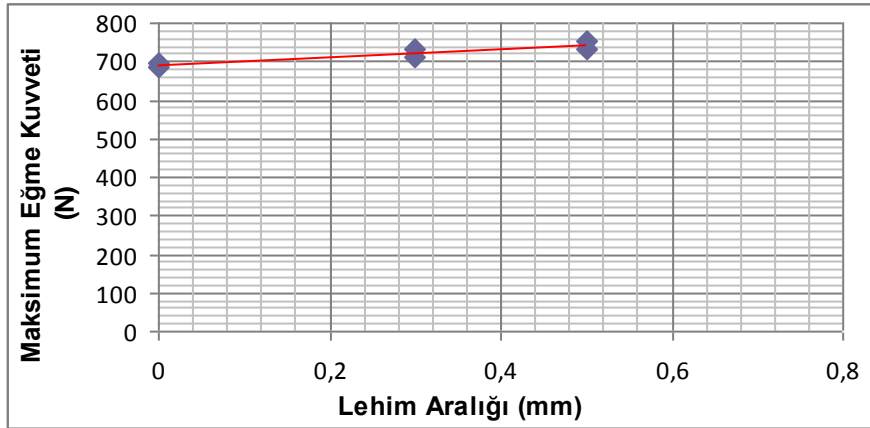
DP 600 MIG BRAZING ALIN BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Lehim Hızı [cm/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	12,3	12	24	%100Argon	0	608	690
65	3,4	12,3	12	24	%100Argon	0,3	614	720
65	3,4	12,3	12	24	%100Argon	0,5	638	745

Uygulanan lehim aralığı 0.5 mm den sonra aralık mesafelerinde alın birleştirme parçalarında delinmeler meydana gelmiştir. Bu yüzden alın birleştirmeler için 0, 0.3, 0.5 mm lehim aralıklarının maksimum çekme mukavemeti ve eğme kuvvetleri incelenmiştir.

Farklı lehim aralıklarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numunelerin ana malzemeden koptuğu Şekil 6.11’de görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında lehim aralığı değeri 0,5 mm de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.



Şekil 6.11. Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemetleri grafiği



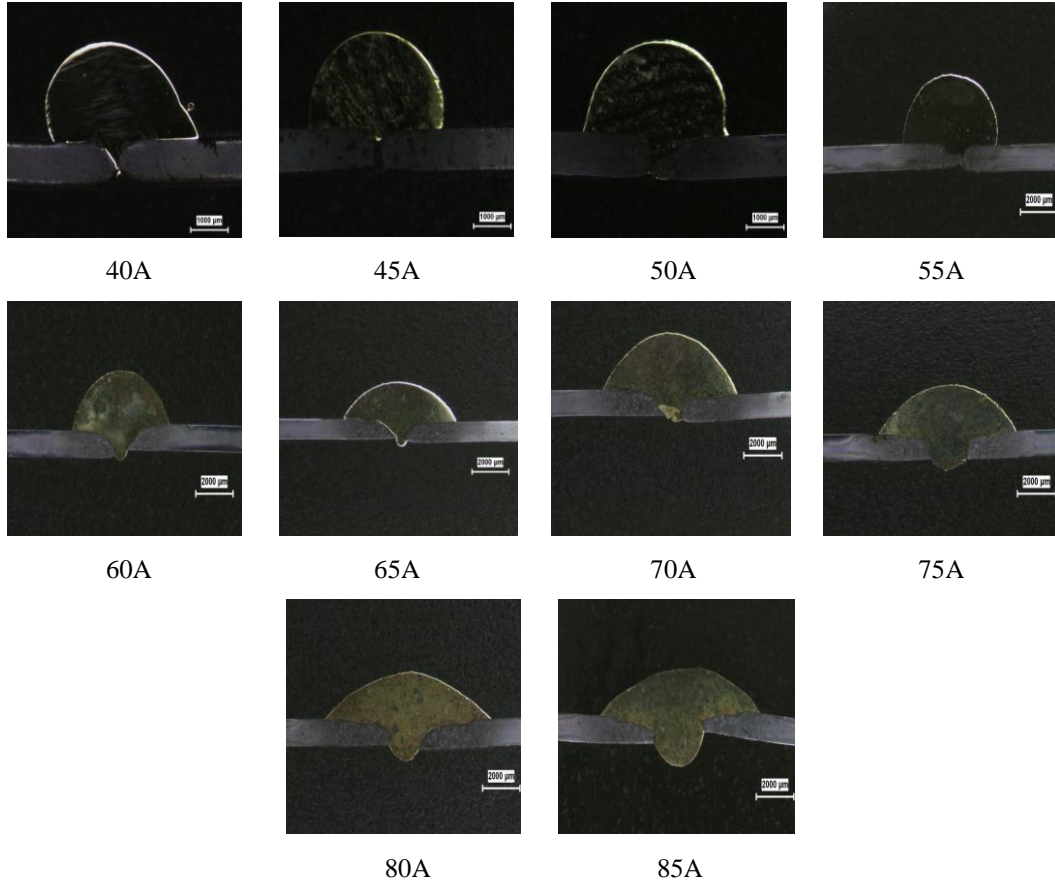
Şekil 6.12. Farklı lehim aralıklarında eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim aralığı uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde, lehim aralığı arttıkça maksimum eğme kuvvetinin arttığı Şekil 6.12’de görülmektedir. Farklı lehim aralıklarında gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır

## 6.1.2. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi

### 6.1.2.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddeti farklarına göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makro görüntüleri Şekil 6.13’de verilmektedir. 40, 45, 50 ve 55A akım şiddeti uygulanan bağlantıların makro görüntülerinden lehim ıslatma kabiliyetinin çok düşük olduğu görülmektedir.

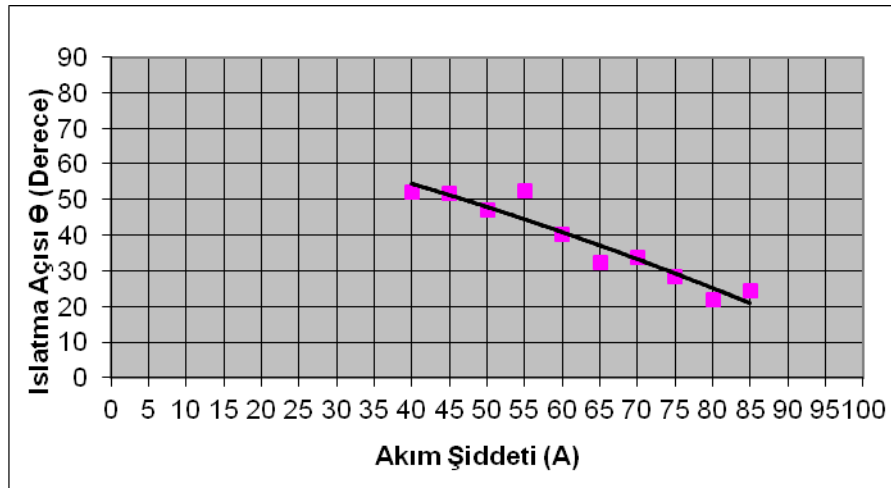


Şekil 6.13. Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri

60A akım şiddetinde ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 80A akım şiddetine kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır. 85A akım şiddetinde ıslatmanın çok fazla olduğu lehim kökündeki aşırı nüfuziyetin makro görüntüsünden görülmektedir.

Farklı akım şiddetlerinde elde edilen DP 600 sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

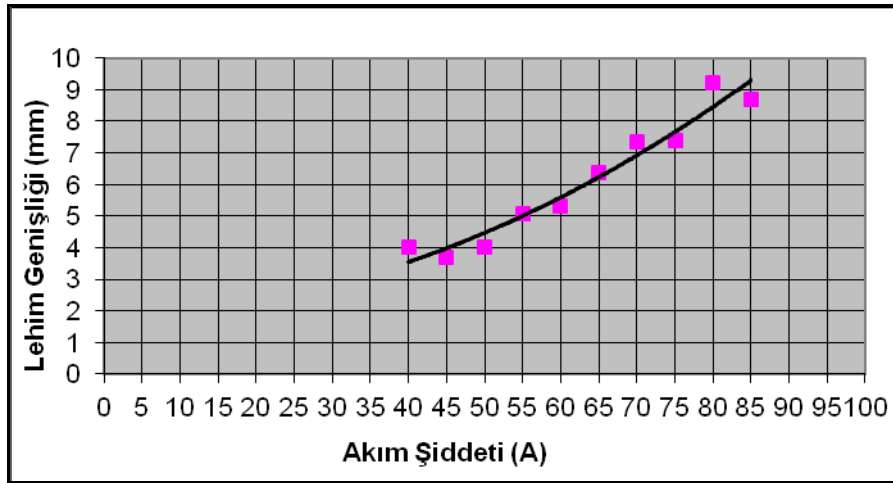
40A akım şiddetinden başlayarak 85A akım şiddetine kadar MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin ıslatma açısı grafiği Şekil 6.14'de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisinden anlaşıldığı üzere akım şiddeti arttıkça ıslatma açısı azalmaktadır ve lehim malzemesi ana metale yayılmaktadır.



Şekil 6.14. Farklı akım şiddetlerinde lehim ıslatma açısı grafiği

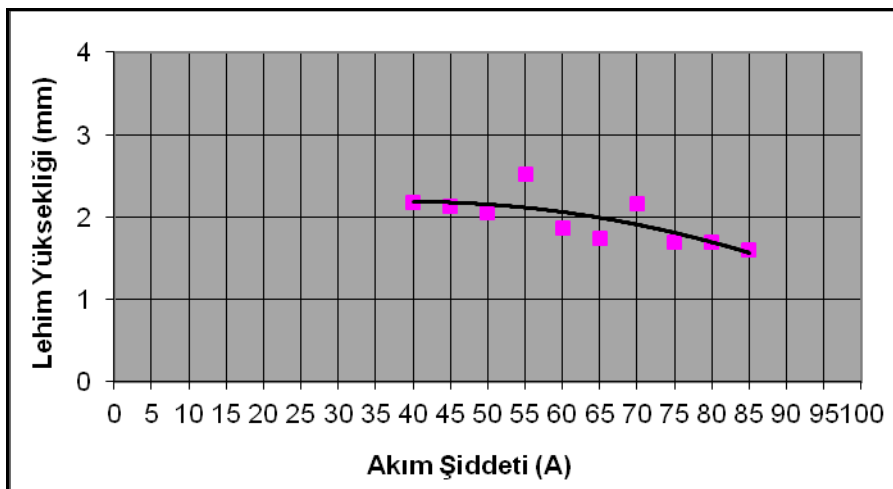
Buradaki ıslatma açısı mukavemet ilişkisini incelediğimizde 40, 45 ve 50A akım şiddetinde birleştirilen DP 600 sacı lehim bölgesinde koptuğu için bu aralıkta kullanılan akım şiddetleri için ıslatma açısı değerlerinin uygun olmadığı anlaşılmaktadır. 55A akım şiddetinde bazı parçalar lehimden bazıları ana malzemedan koptuğu için mukavemet artışında kritik nokta olmasından dolayı ıslatma açısı kabul edilebilir değildir. 60, 65, 70, 75, 80 ve 85A ana malzemedan koptuğu için buradaki ıslatma açısı verilerinin uygun olduğu görülmektedir. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmakta ve artan ısı girdisi ile bağıntılı olarak ıslatma açısı düşmektedir. MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen akım şiddetine bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.15'de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında akım şiddeti arttıkça lehim kepi genişliği artmaktadır.

Lehim genişliği 40A de 4 mm iken 85A de 9 mm olmuştur. Akım şiddeti lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 40, 45, 50 ve 55A de lehim genişliği 4–5 mm arasında kalarak yetersiz lehim genişliği ve ıslatma kabiliyetinden dolayı lehim bölgesinde kopmuştur. Lehim genişliği 5 mm den sonra 60, 65, 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetinde iyi mukavemet özellikleri göstermiştir.



Şekil 6.15. Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği

Şekil 6.16'da akım şiddeti ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, akım şiddeti arttıkça lehim yüksekliği düşmektedir. Akım şiddetinin artması ile artan ısı girdisi lehim telinin ıslatma özelliğini arttırmış bu durum lehim kep yüksekliğinin azalmasını sağlamıştır.

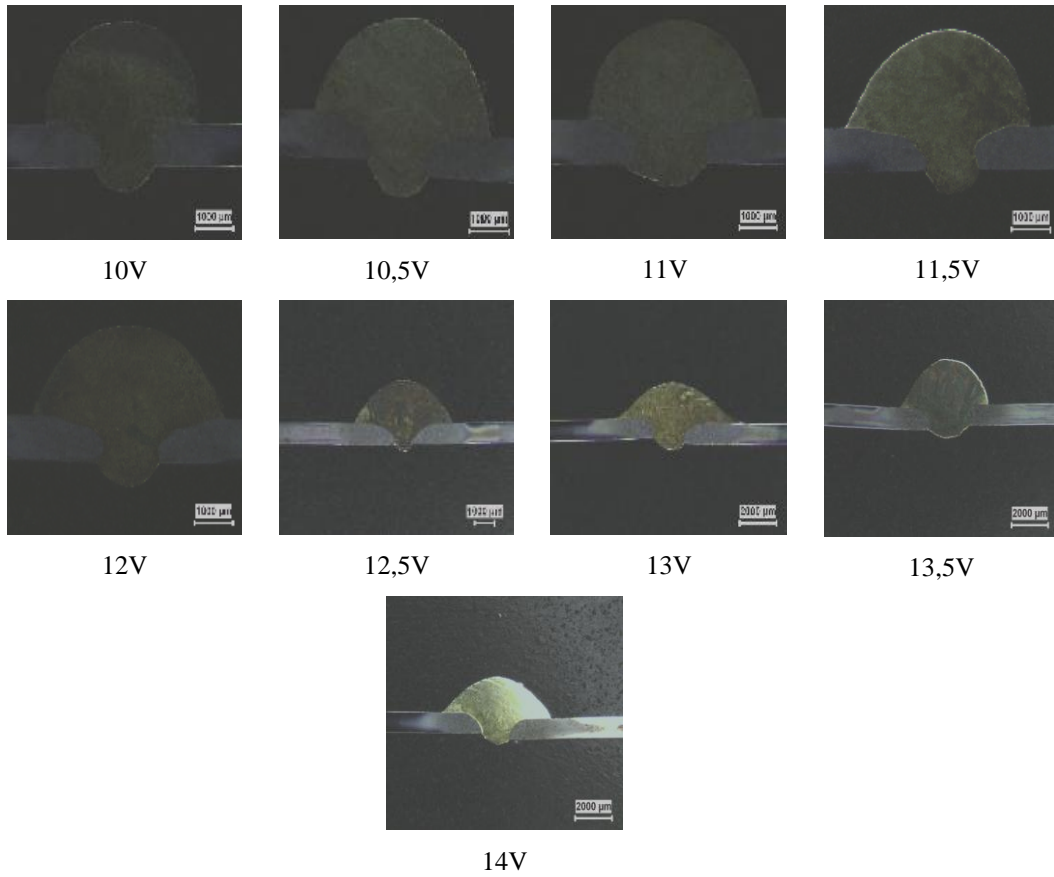


Şekil 6.16. Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği

### 6.1.2.2. Lehim ark geriliminin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A olarak belirlenmiş, bu akım şiddetine göre farklı lehim gerilimleri parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.

Lehim gerilimi farklarına göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.17’de verilmektedir. 10, 10.5, 11 ve 11.5V lehim gerilimi uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma kabiliyetinin çok düşük olduğu görülmektedir.

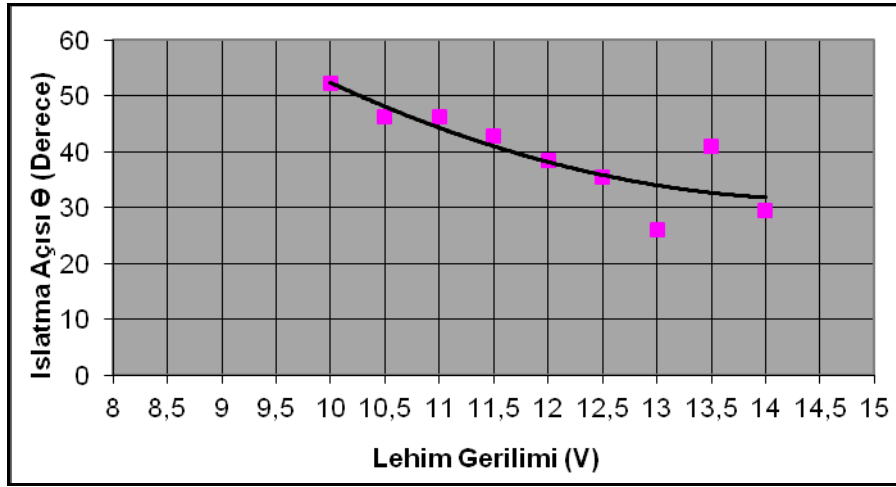


Şekil 6.17. Farklı lehim gerilimlerinde makro görüntüleri

12V lehim geriliminde ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 14V lehim gerilimine kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır.

Lehim gerilimi farklarına göre lehim tatbikleri uygulanan DP 600 sac malzemelerin makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

10V lehim geriliminden başlayarak 14V lehim gerilimine kadar MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin ıslatma açısı grafiği Şekil 6.18’de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisinden anlaşıldığı üzere lehim gerilimi arttıkça ıslatma açısı azalmaktadır.



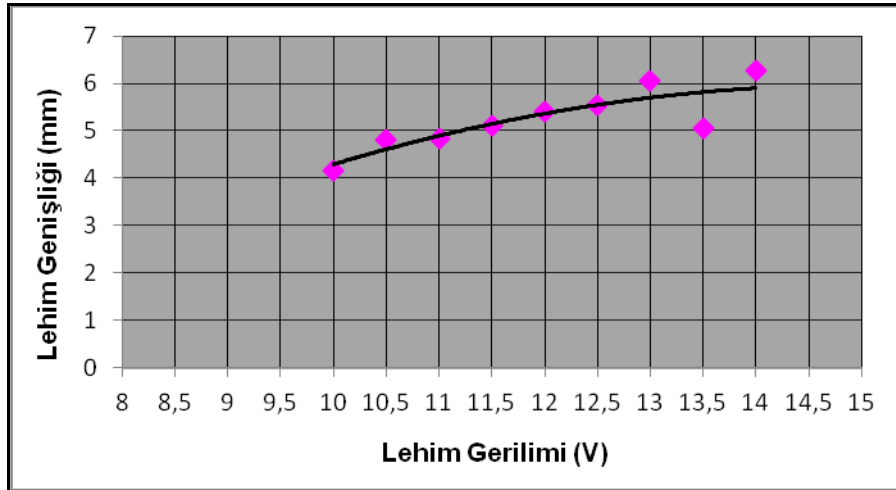
Şekil 6.18. Farklı lehim gerilimlerinde ıslatma açısı grafiği

Buradaki ıslatma açısı mukavemet ilişkisini incelediğimizde, bütün lehim gerilimi değerlerinde kopma ana malzemedeki gerçekleşmiştir. Fakat farklı lehim gerilimleri parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek mukavemet değerinin 12V gerilim değerinde olduğu belirlenmiştir. 10, 10.5, 11 ve 11.5V gerilim değerlerindeki ıslatma açısının  $40^{\circ}$  ile  $50^{\circ}$  arasında olduğu görülmektedir. Bu durumdan yola çıkarak ıslatma açısı  $30^{\circ}$  ila  $40^{\circ}$  aralığında olan 12V ve 12,5V değerinin arasının en uygun ıslatma açısı olduğu belirlenmektedir. 13, 13,5 ve 14V lehim gerilim değerlerinin mukavemet verilerine bakılarak ıslatma açılarının uygun olduğu söylenebilmektedir.

MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim gerilimine bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.19’da verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim gerilimi arttıkça lehim kepi genişliği artmaktadır.

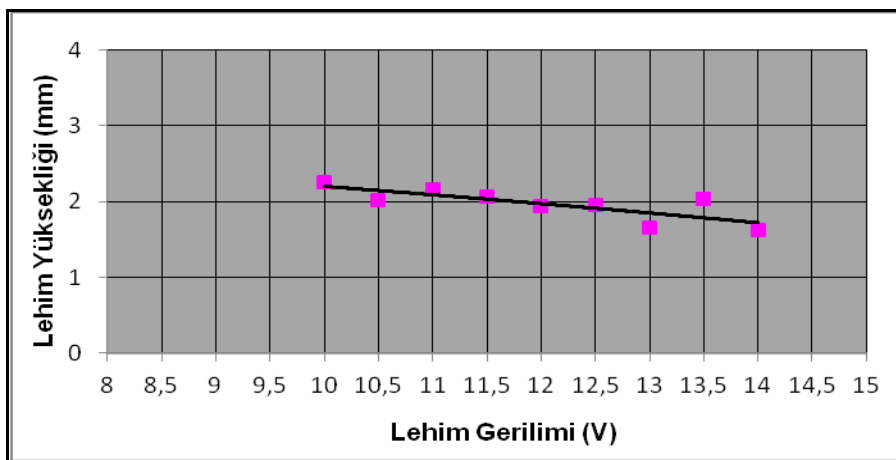


Lehim genişliği 10V da 4 mm iken 14V da 6.5 mm olmuştur. Lehim gerilimi lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 12V'daki mukavemet değeri en yüksek mukavemet değeridir. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 5-6 mm aralığındadır.



Şekil 6.19. Farklı lehim gerilimlerinde lehim genişliği grafiği

Şekil 6.20'de lehim gerilimi ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim geriliminin artması sonucu ısı girdisinin arttığı görülmektedir. Artan ısı girdisi, ilave telin ıslatma özelliğini arttırmış ve lehim kep yüksekliğinin azalmasına sebep olmuştur.

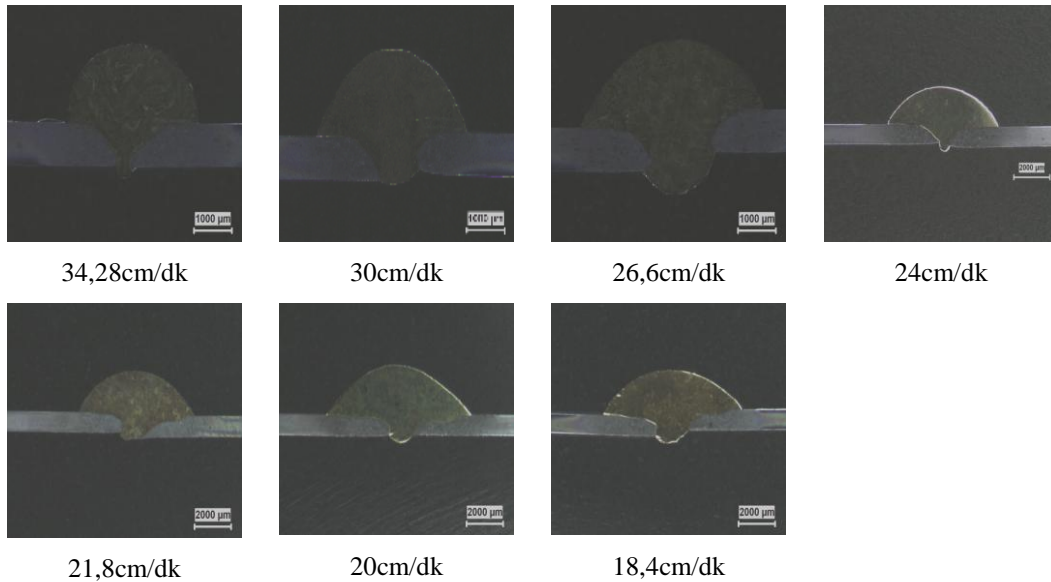


Şekil 6.20. Farklı lehim gerilimlerinde lehim yüksekliği grafiği

### 6.1.2.3. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 12,3V olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim ilerleme hızı parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.

Lehim ilerleme hızı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.21'de verilmektedir. 34,28 cm/dk ve 30 cm/dk lehimleme hızı uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma kabiliyetinin çok düşük olduğu görülmektedir.

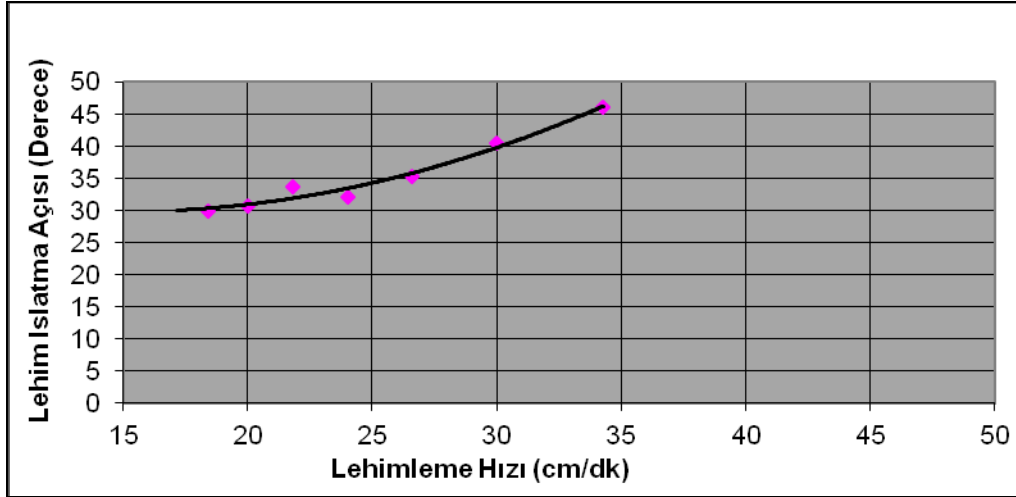


Şekil 6.21. Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri

26,6 cm/dk lehimleme hızında ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 18,4 cm/dk lehim gerilimine kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır.

Lehimleme hızı farklarına göre lehim tatbikleri uygulanan DP 600 sac malzemelerin makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

34,28 cm/dk lehimleme hızından başlayarak 18,4 cm/dk lehimleme hızına kadar MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin ıslatma açısı grafiği Şekil 6.22’de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisinden anlaşıldığı üzere lehimleme hızı arttıkça ıslatma açısı artmaktadır.

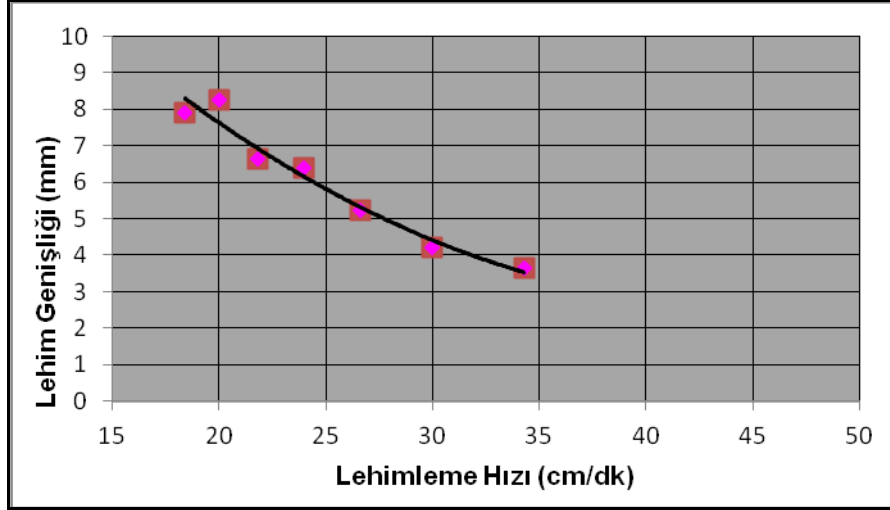


Şekil 6.22. Farklı lehim ilerleme hızlarında ıslatma açısı grafiği

Buradaki ıslatma açısı mukavemet ilişkisini incelediğimizde, bütün lehimleme hızı değerlerinde kopma ana malzemede gerçekleşmiştir. Fakat farklı lehim ilerleme hızları parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek mukavemet değerinin 24 cm/dk değerinde olduğu belirlenmiştir. 34,28 cm/dk ve 30cm/dk lehimleme hızı değerlerinde ıslatma açısı  $40^{\circ}$  ile  $50^{\circ}$  arasında olduğu görülmektedir. Lehimleme hızı arttığında ısı girdisi azalarak ıslatma açısı artmıştır. Bu durumdan yola çıkarak ıslatma açısı  $30^{\circ}$  ila  $40^{\circ}$  aralığında olan 26,6 cm/dk ve 24 cm/dk değerinin arasının en uygun ıslatma açısı olduğu belirlenmektedir. 21,8, 20, 18,4 cm/dk lehim ilerleme hızı değerlerinin mukavemet verilerine bakılarak ıslatma açılarının uygun olduğu söylenebilmektedir.

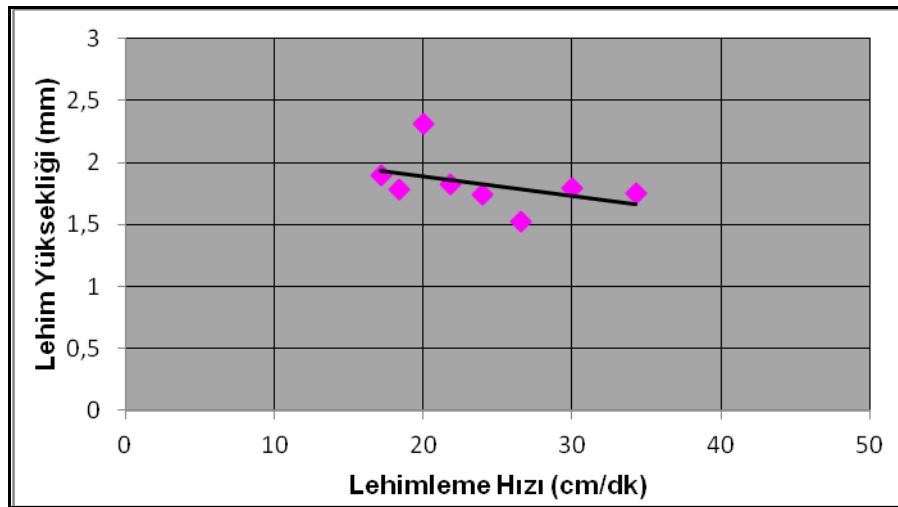
MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim ilerleme hızına bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.23’de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim ilerleme hızı arttıkça lehim kepi genişliği azalmaktadır. Lehim genişliği 34,28 cm/dk da 4 mm iken 18,4 cm/dk da 8 mm olmuştur.

Lehimleme hızı lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 24 cm/dk'daki mukavemet değeri en yüksek mukavemet değeridir. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 6 mm aralığındadır.



Şekil 6.23. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği

Şekil 6.24'de lehim ilerleme hızı ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehimleme hızının artması sonucu ısı girdisi azalmıştır. Lehimleme hızı azaldığında ise ana malzemeye ilave telin yığılması artarak lehim kep yüksekliğinin artmasına sebep olmaktadır.

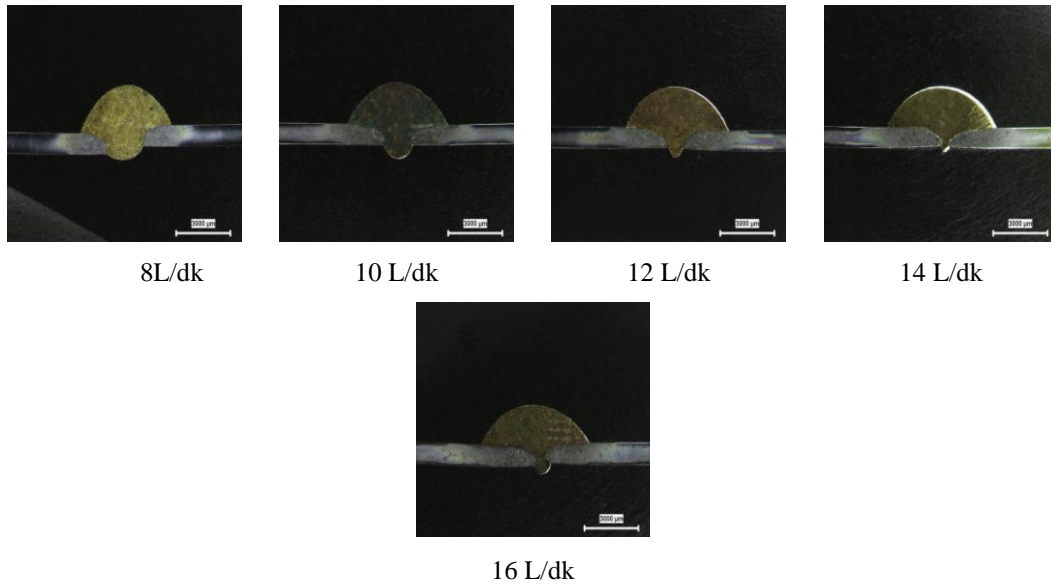


Şekil 6.24. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği

#### 6.1.2.4. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 12.3V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim gaz debisi parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.

Lehim gaz debisi parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.25’de verilmektedir.



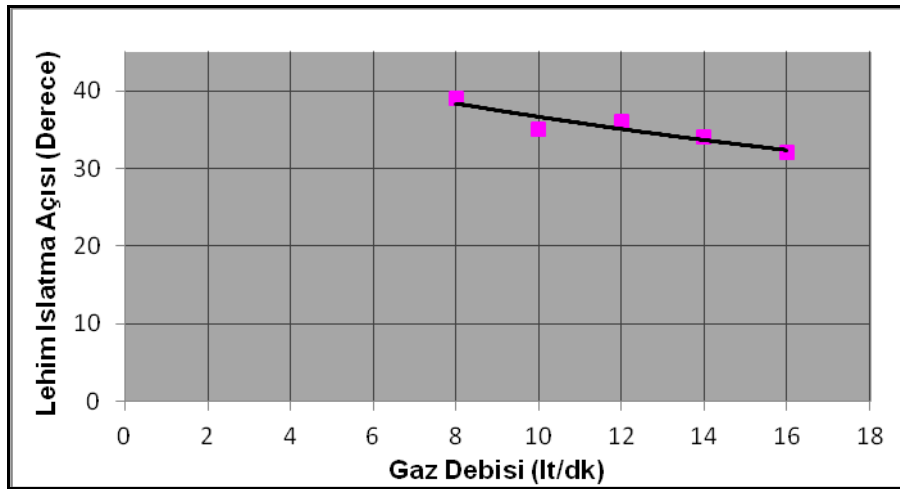
Şekil 6.25. Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri

Lehimleme esnasında 8 L/dk gaz debisinde ilave telde sıçrama olduğu görülmekte, 10 L/dk gaz debisinde bu sıçramada yoğun bir azalma görülse de devam ettiği gözlemlenmiştir. 12 L/dk gaz debisinde ilave telde sıçramalar tamamen ortan kalkmış, ıslatma özelliklerinde iyileşmeye başlamış, 16 L/dk ya kadar uygun ıslatma açısının olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır.

Lehimleme gaz debisi farklarına göre lehim tatbikleri uygulanan DP 600 sac malzemelerin makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

8, 10, 12, 14 ve 16 L/dk gaz debisi uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının  $30^0$  ile  $40^0$  arasında olduğu görülmektedir. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti, lehim gerilimi ve lehimleme hızı parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermektedir.

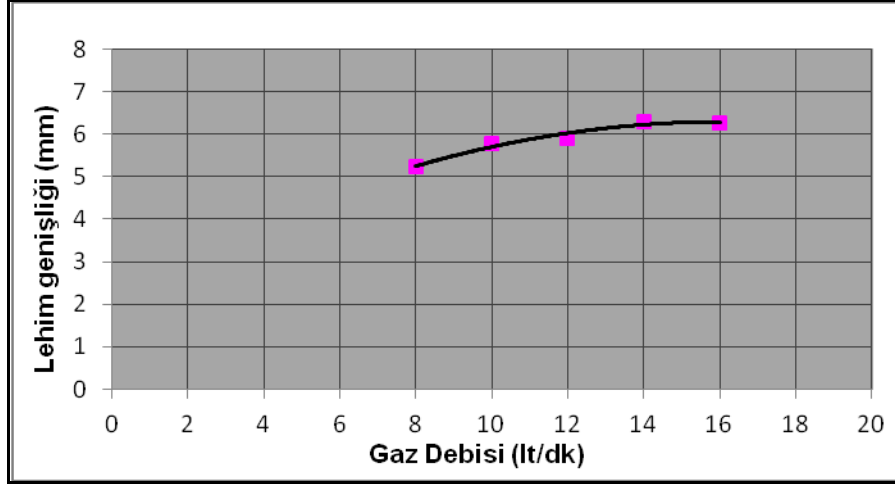
Buradaki ıslatma açısı mukavemet ilişkisini incelediğimizde, bütün lehim gaz debisi farklarında kopma ana malzemede gerçekleşmiştir. Fakat farklı lehim gaz debisi parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek mukavemet değerinin 12 ve 16 L/dk değerinde olduğu belirlenmiştir. 8 ve 10 L/dk lehim gaz debisinde ilave teldeki sıçrama olduğu tespiti bu gaz debilerini DP 600 sac malzemesi için olumsuz kılmaktadır. Sıçramanın tamamen ortadan kalktığı 12 L/dk lehimleme gaz debisi değerinde ıslatma açısı  $30^0$  ile  $40^0$  arasında olduğu görülmektedir. Lehimleme gaz debisi arttığında ıslatma açısı azalmıştır. Gaz debisi arttıkça lehim kepi üzerindeki basınç arttıkça lehim ıslatma açısı düşmektedir.



Şekil 6.26. Farklı lehim gaz debilerinde ıslatma açısı grafiği

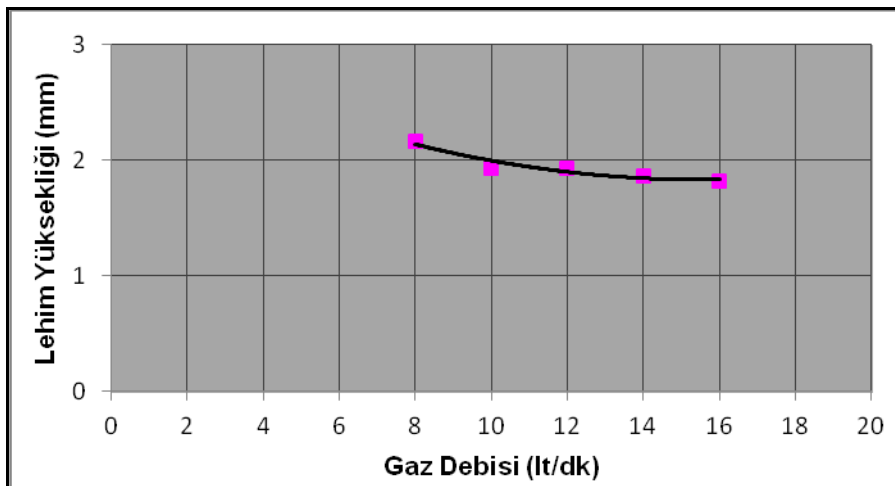
MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim gaz debisine bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.27'de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim gaz debisi arttıkça lehim kepi genişliği artmaktadır. Lehim gaz debisi 8 L/dk da 5 mm iken 16 L/dk da 6.5 mm olmuştur.

Lehim gaz debisi lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 12 L/dk' daki mukavemet değeri, en yksek mukavemet değeri olmuştur. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 6 mm aralığındadır.



Şekil 6.27. Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği

Şekil 6.28'de lehim gaz debisi ve lehim yksekliği grafiği incelendiğinde, lehim gaz debisinin artması ile lehim kepi üzerindeki basınç artmıştır. Lehim kepi üzerinde artan basınç etkisi, ilave telin ıslatma açısını azaltmış ve lehim kepi yksekliğinin azalmasına sebep olmuştur.

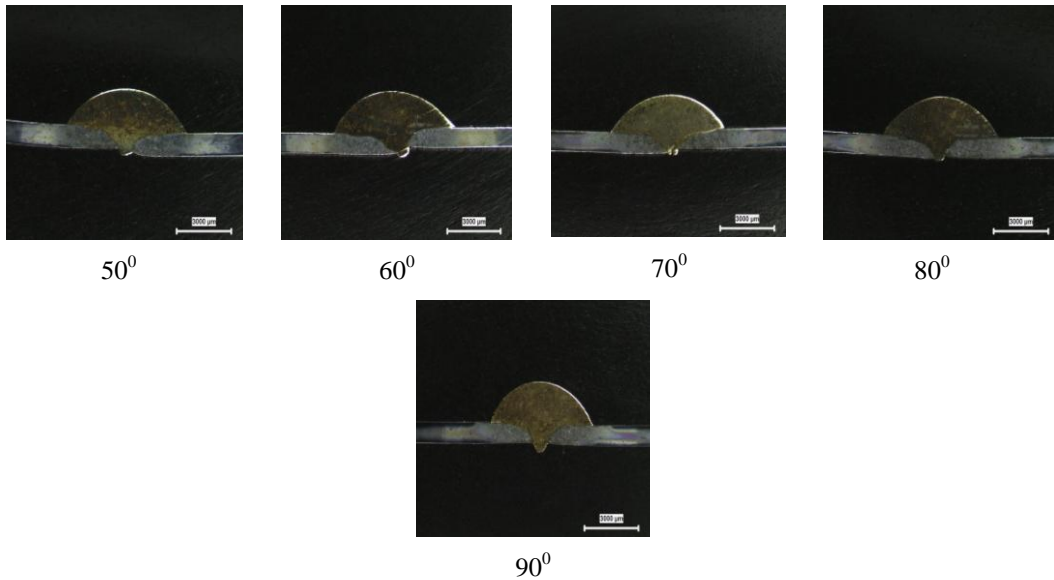


Şekil 6.28. Farklı lehim gaz debilerinde lehim yksekliği grafiği

### 6.1.2.5. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 12.3V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz debisi 12 L/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim torç açısı parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.

Lehim torç açısı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.29'da verilmektedir.



Şekil 6.29. Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri

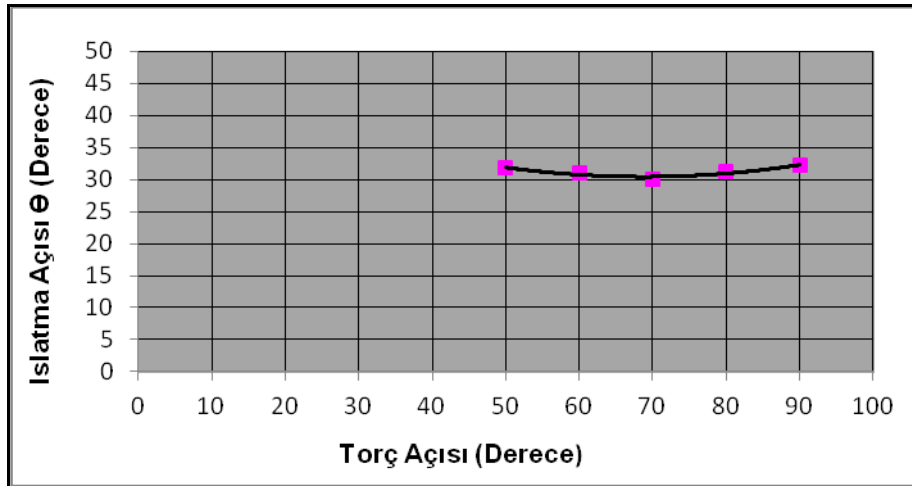
Farklı lehimleme torç açılarının makroyapı fotoğrafları incelendiğinde tüm parametrelerdeki lehimlerin benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Lehimleme torç açısı farklarına göre lehim tatbikleri uygulanan DP 600 sac malzemelerin makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağlantıları incelenmiştir.



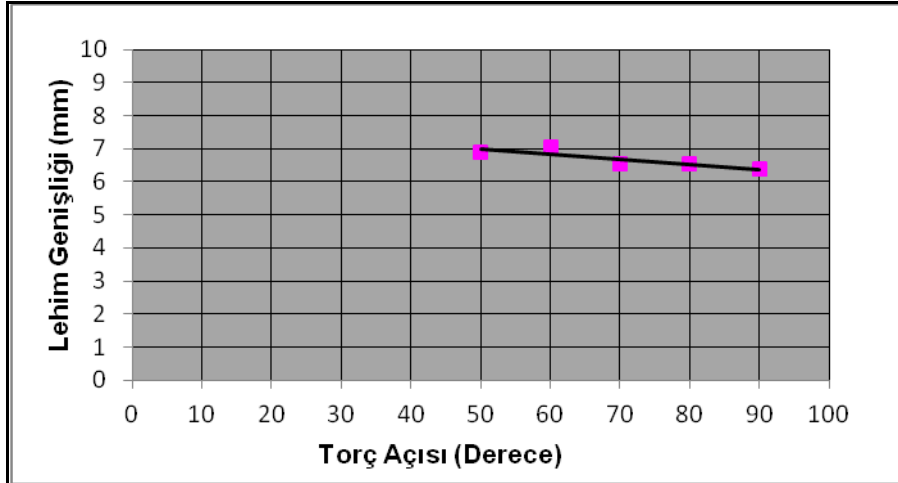
$50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$  ve  $90^{\circ}$  torç açısı uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının  $30^{\circ}$  ile  $35^{\circ}$  arasında olduğu Şekil 6.30'da görülmektedir. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti, lehim gerilimi, lehimleme hızı ve lehim gaz debisi parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermektedir.

Buradaki ıslatma açısı mukavemet ilişkisini incelediğimizde, bütün lehim torç açısı farklarında kopma ana malzemedeki gerçekleşmiştir. Farklı lehim torç açısı parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek mukavemet değerinin  $90^{\circ}$  değerinde olduğu belirlenmiştir. Fakat mukavemet verileri arasında çok fazla farklar olmadığı anlaşılmaktadır.



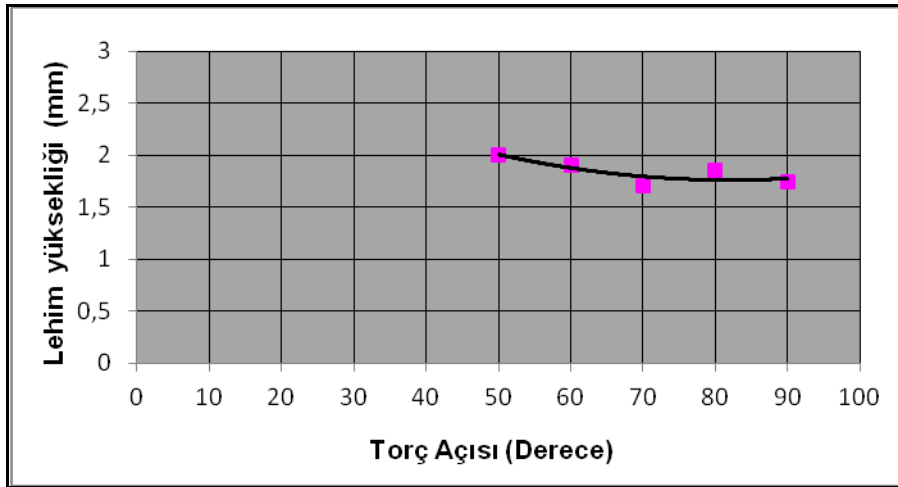
Şekil 6.30. Farklı lehim torç açılarındaki ıslatma açısı grafiği

MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim torç açılarına bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.31'de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim torç açısı arttıkça lehim kepi genişliği çok az oranda azalmaktadır. Grafikteki lehim genişliği 6 – 7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir.



Şekil 6.31. Farklı lehim torç açılarındaki lehim genişliği grafiği

Şekil 6.32’de lehim torç açısı ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim torç açısının artması lehim kep yüksekliğini çok az oranda düşürmektedir.



Şekil 6.32. Farklı lehim torç açılarındaki lehim yüksekliği grafiği

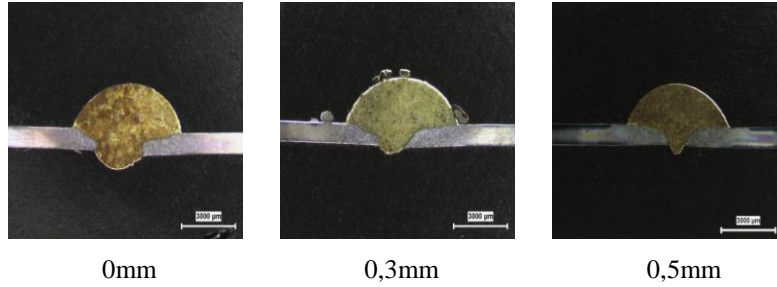
Torç açısının lehim ısıtma açısı, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

#### 6.1.2.6 Lehim birleştirme aralığının lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 12.3V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk,

lehim gaz debisi 12 L/dk, lehim torç açısı  $90^0$  olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim aralığı parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.

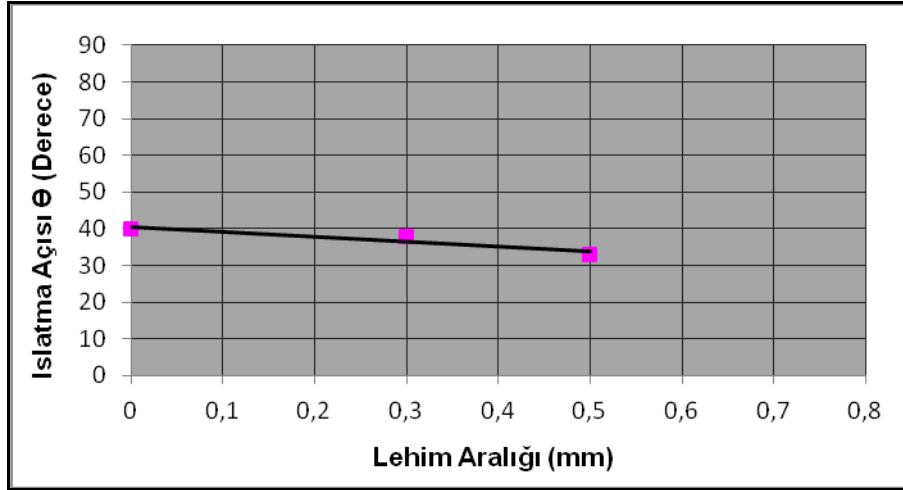
Lehim aralığı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.33’de verilmektedir.



Şekil 6.33. Farklı lehim aralığında makro görüntüleri

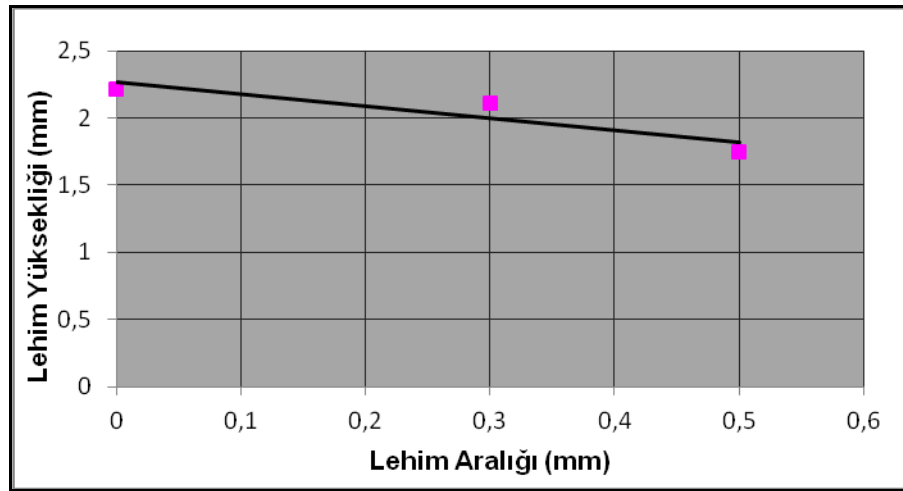
DP 600 1mm sac için lehim aralıkları 0, 0.3, 0.5 mm olarak belirlenmiştir. 0.8 mm aralıkta ana malzemede delinmeler meydana gelmiştir. Lehimleme aralığı farklarına göre lehim tatbikleri uygulanan DP 600 sac malzemelerin makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

0, 0.3, 0.5 lehim aralığı uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının  $30^0$  ile  $40^0$  arasında olduğu Şekil 6.34’de görülmektedir. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti, lehim gerilimi, lehimleme hızı ve lehim gaz debisi parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermektedir. Buradaki ıslatma açısı mukavemet ilişkisini incelediğimizde, bütün lehim aralığı farklarında kopma ana malzemede gerçekleşmiştir. Farklı lehim aralığı parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek mukavemet değerinin 0.5 değerinde olduğu belirlenmiştir. Fakat mukavemet verileri arasında çok fazla farklar olmadığı belirtilmiştir.



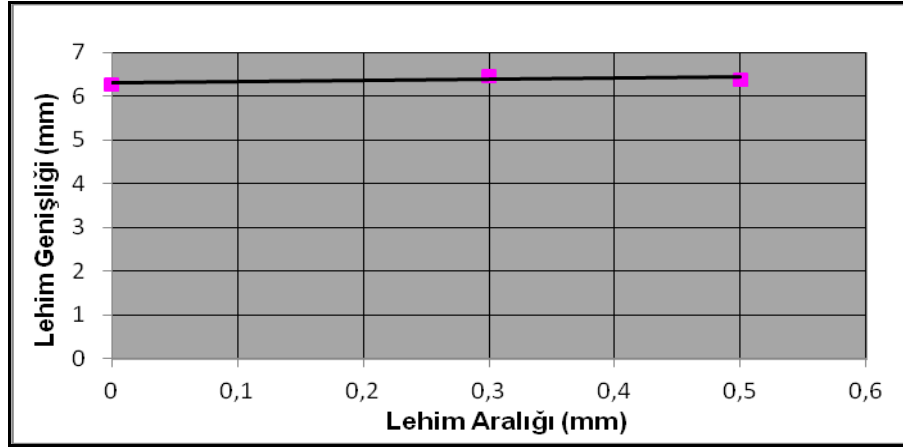
Şekil 6.34. Farklı lehim aralığında ıslatma açısı grafiği

Şekil 6.35’de lehimleme aralığı ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim aralığının artması lehim kep yüksekliğini çok az oranda düşürmektedir.



Şekil 6.35. Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği

MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim aralıkları farklarına bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.36 de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim aralığı arttıkça lehim kepi genişliği neredeyse aynı kalmaktadır. Grafikteki lehim genişliği 6 – 7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir.



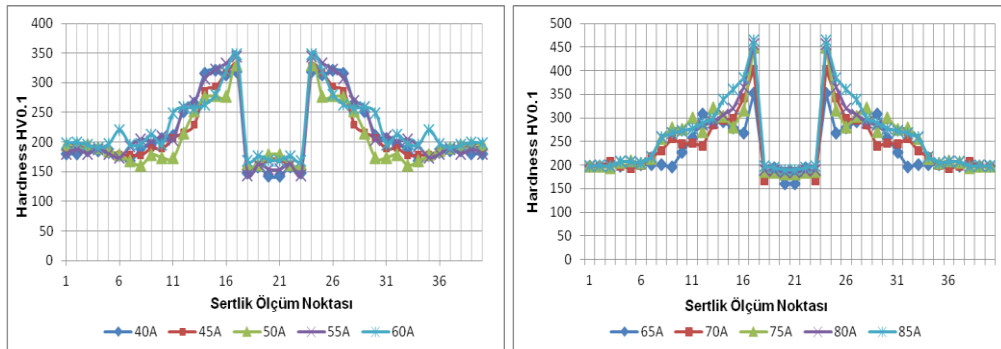
Şekil 6.36. Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği

Lehim aralığının, lehim ıslatma açısı, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

### 6.1.3. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi

#### 6.1.3.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı akım şiddetlerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.37’de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere 40, 45 ve 50A akım şiddetinde sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



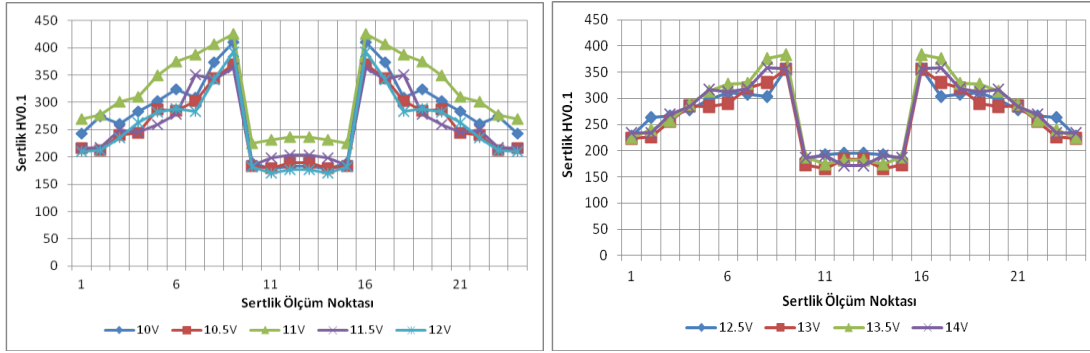
Şekil 6.37. Farklı lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları

55, 60, 65, 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetlerindeki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları akım şiddetinin artması ile daha da artmaktadır. Lehim bölgesi ise ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmaktadır. 80 ve 85A akım şiddetlerinde lehim bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden daha fazla olduğu sertlik noktalarından anlaşılmaktadır. Bu sebeple 55A akım şiddetinde maksimum çekme mukavemeti 603 MPa olarak belirlenmiş ve kopma ana malzemedeki gerçekleşmiştir. 55A ve sonrasındaki akım şiddetlerinde ısı girdisinin artması ile lehim bölgesinde sertlik ve mukavemet artışı meydana gelmiş ve tüm deney numuneleri ana malzemedeki kopmuştur.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, akım şiddeti arttıkça mikrosertlik değeri artmıştır. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmış ve artan ısı girdisi ile ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dendrit oluşumu gerçekleşmektedir. Lehim bölgesindeki dendritler incelendiğinde dendritin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

### **6.1.3.2 Lehim ark geriliminin bağlantının sertliğine etkisi**

Farklı lehim gerilimlerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.38'de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı lehim gerilimlerinde, sertliği düşük olan nokta CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölgedir. Bu bölgeden ITAB bölgesine geçilen noktada mikrosertlik değerlerinde yüksek bir artış görülmekte ve ITAB bölgesinin bittiği noktalar boyunca azalarak ana malzemeye doğru ilerlemektedir.

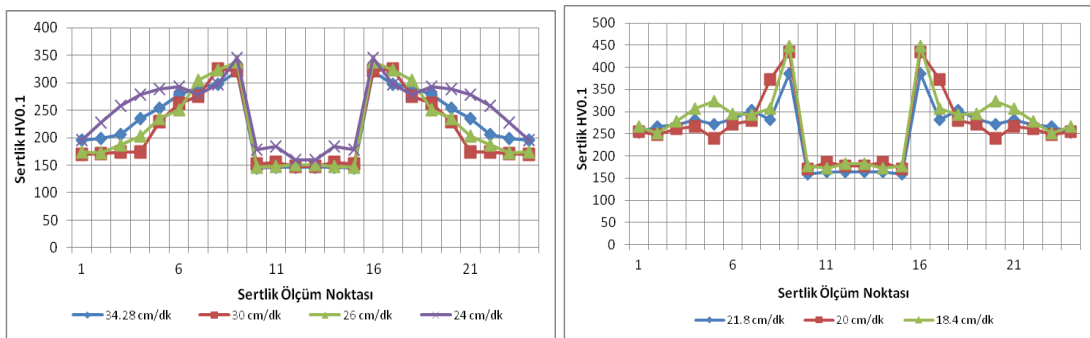


Şekil 6.38. Farklı lehim gerilimlerinde mikrosertlik noktaları

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gerilimi arttıkça mikrosertlik değeri artmıştır. Lehim gerilimi arttıkça ısı girdisi artmış, bu sebeple ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dendrit oluşumunda artış artmaktadır. Lehim bölgesindeki dendritler incelendiğinde dendritin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

### 6.1.3.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.39'da verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı lehim ilerleme hızlarında, sertliği düşük olan nokta CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölgedir. Bu bölgeden ITAB bölgesine geçilen noktada mikrosertlik değerlerinde yüksek bir artış görülmekte ve ITAB bölgesinin bittiği noktalar boyunca azalarak ana malzemeye doğru ilerlemektedir.



Şekil 6.39. Farklı lehim ilerleme hızları mikrosertlik noktaları

18.4 cm/dk, 20 cm/dk, 21.8 cm/dk, 24 cm/dk, 26 cm/dk, 30 cm/dk ve 34.28 cm/dk ilerleme hızlarındaki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları lehim ilerleme hızının azalması ile daha da artmaktadır. 34.28 cm/dk, 30 cm/dk, 26 cm/dk ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarının lehim bölgesi, ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmaktadır. 21.8 cm/dk, 20 cm/dk, 18.4 cm/dk lehim ilerleme hızında lehim bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden daha az olduğu sertlik noktalarından anlaşılmaktadır. 21.8 cm/dk, 20 cm/dk, 18.4 cm/dk lehim ilerleme hızında ITAB bölgesinin sertlik değeri 350HV - 450HV mikrosertlik değerlerine ulaştığı görülmektedir. Bu sebeple tüm lehim ilerleme hızlarında maksimum çekme mukavemeti ana malzemenin çekme mukavemetlerinin üzerindedir ve kopmalar ana malzemede gerçekleşmiştir.

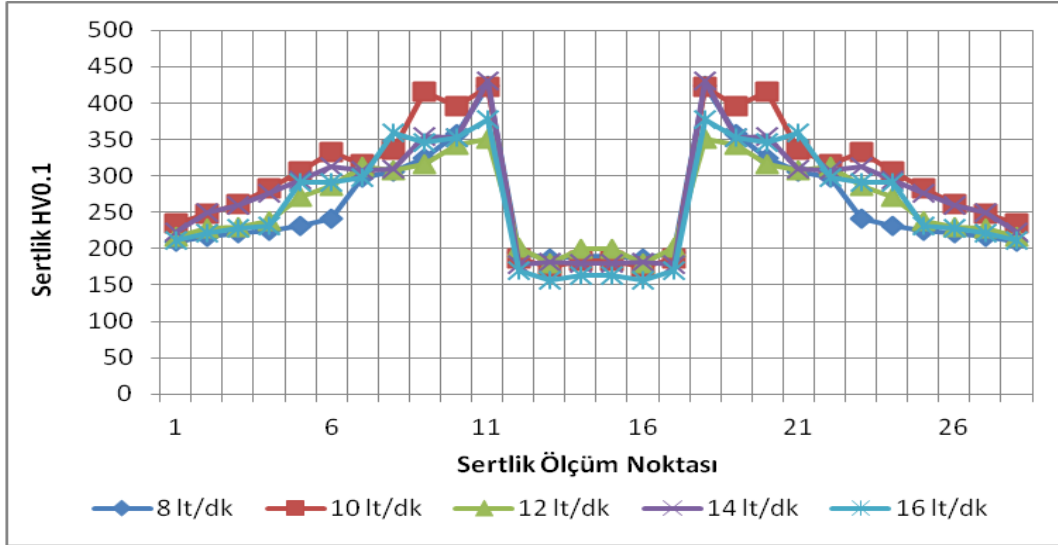
Burada dikkat çekilen durumlardan biride lehimleme hızı azaldıkça artan ısı girdisinin ITAB bölgesinin genişlemesine sebep olmuş olmasıdır.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehimleme hızı azaldıkça mikrosertlik değeri artmıştır. Lehimleme hızı azaldıkça ısı girdisi artmış ve artan ısı girdisi ile ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dentrid oluşumu gerçekleşmektedir. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

#### **6.1.3.4. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi**

Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantının mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.40'da verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı gaz debilerinde sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



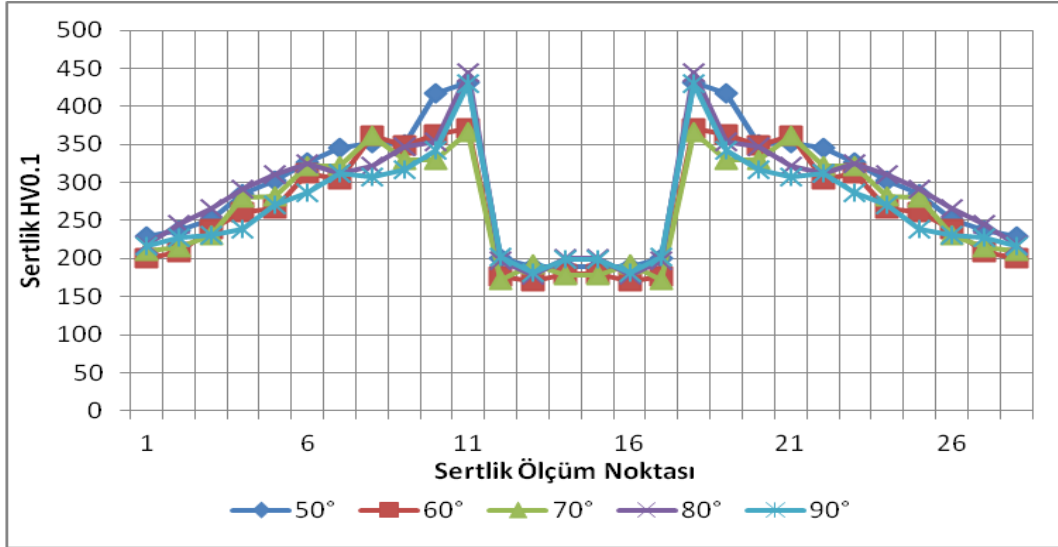


Şekil 6.40. Farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik noktaları

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gaz debisi 8 L/dk, 10 L/dk, 14 L/dk ve 16 L/dk’da mikrosertlik 350 HV sertlik değerinin üzerinde iken 12 L/dk’da 350 HV ve altındadır. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

#### 6.1.3.5. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim torç açılarında elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.41’de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı torç açılarında sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.

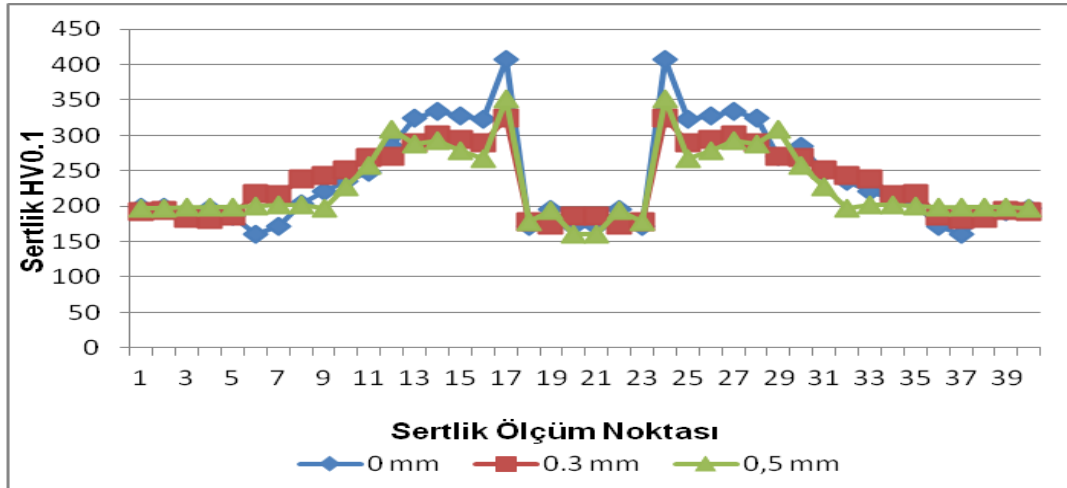


Şekil 6.41. Farklı lehim torç açılarında mikrosertlik noktaları

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm ortalama mikrosertlik değerlerinde, lehim torç açısı  $50^{\circ}$  de 179HV mikrosertlik değeri,  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$  ve  $80^{\circ}$  de 183HV,  $90^{\circ}$  de 186 HV değerlerini almıştır. Buradaki açı değeri yükseldikçe ısı girdisinin ana malzemeye dikey konumda girmesiyle mikrosertlik değerinin arttığı görülmektedir. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

#### 6.1.3.6. Lehim birleştirme aralığının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim aralıklarında elde edilen lehim bağlantılarının mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.42’de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı lehim aralıklarında sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



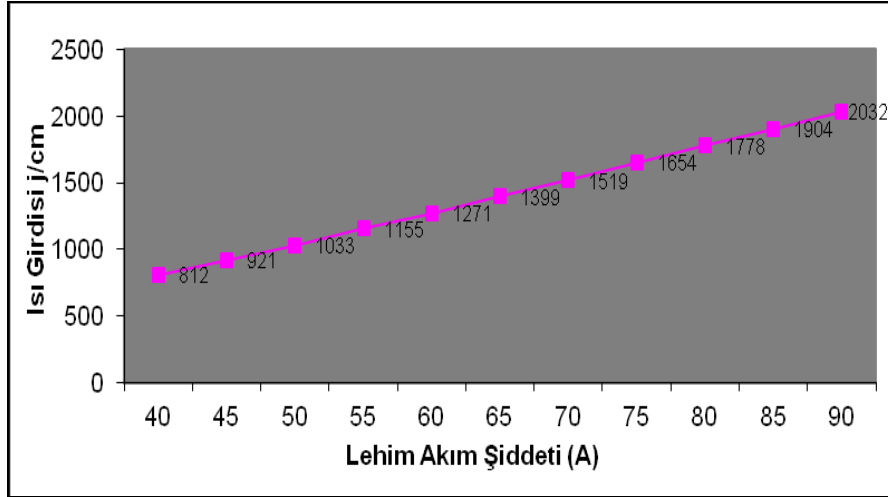
Şekil 6.42. Farklı lehim aralıklarında mikrosertlik noktaları

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan 0 mm, 0.3 mm ve 0.5 mm lehim aralıklarında tüm numunelerin mikrosertlik değerleri kıyaslandığında, 0 mm lehim aralığında mikrosertlik değerlerinin, lehim bölgesinde diğer aralıklarınkinden daha fazla olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Buna karşın 0.3 mm ve 0.5 mm lehim aralığındaki sertlik değerleri 0 mm lehim aralığındaki sertlik değerinden daha düşük sertlik elde edildiği tespit edilmiştir. Buda kabul edilen değer altındadır (350 HV) ve ITAB bölgesinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

#### 6.1.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

##### 6.1.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği Şekil 6.43'de verilmektedir. Burada akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. 90A akım şiddetindeki ısı girdisi 2032 J/cm de ana malzeme delinmeye maruz kalmıştır. Mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 60 ve 65A akım şiddetinde ısı girdileri 1271 ve 1399 J/cm olmuştur.

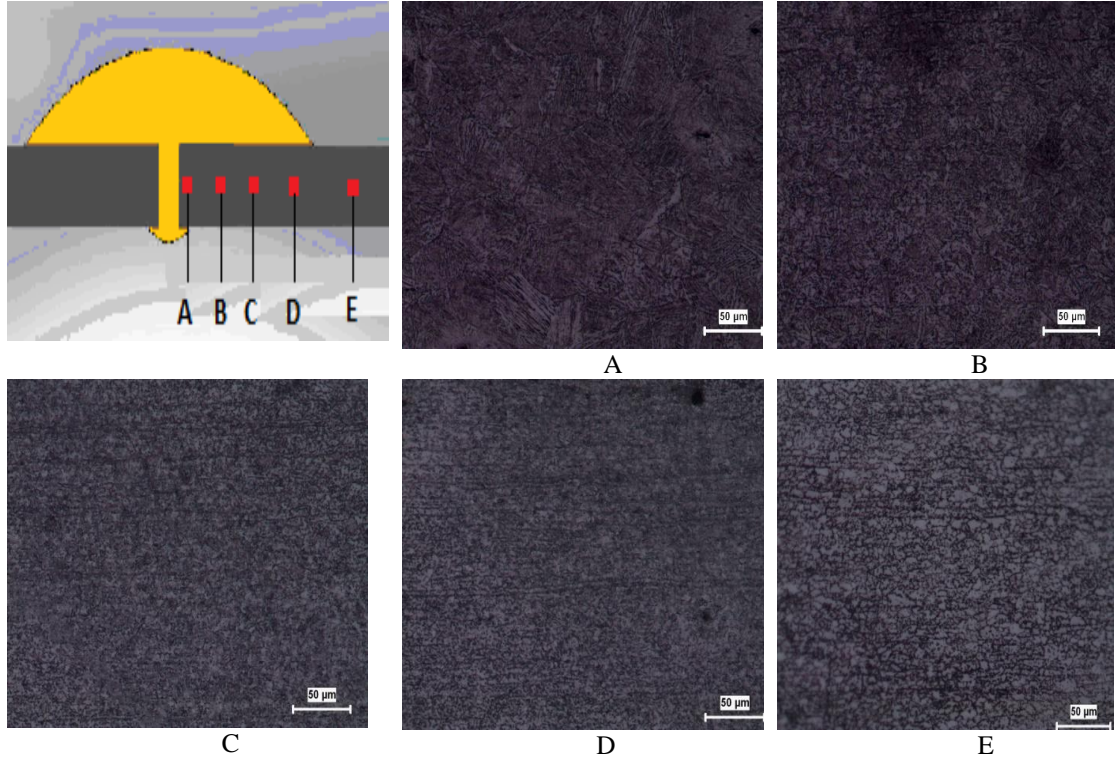


Şekil 6.43. Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği

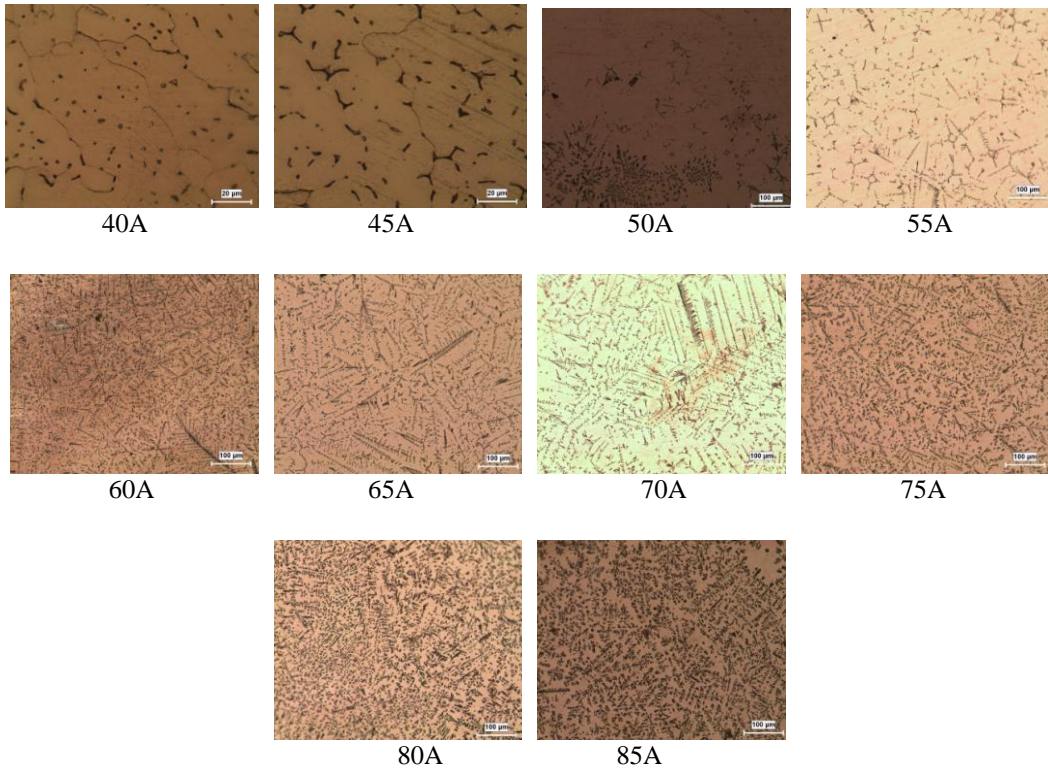
65A akım şiddetinde lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgedeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.44’de verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.

Farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.45’de verilmiştir. 40 ve 45A mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü üzere dentridlerin oluşumları çok azdır.

50A akım şiddetine dentridlerin oluşumu başlamıştır ve akım şiddeti arttıkça, ısı girdisi atmış ve dentridlerin oluşumları artmıştır.

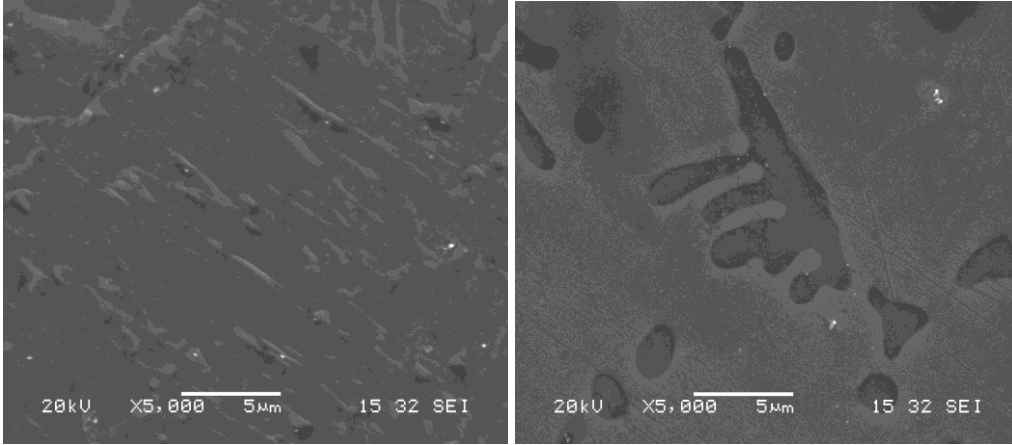


Şekil 6.44. 65A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri



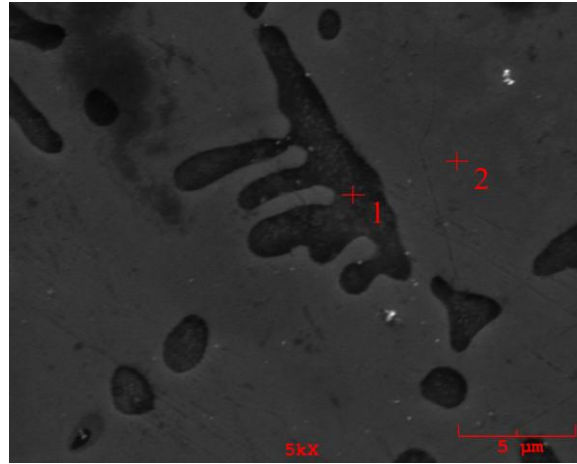
Şekil 6.45. Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

65A akım şiddetinde lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.46'da verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.46. 65A akım şiddetinde SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.47 de verilmiştir.

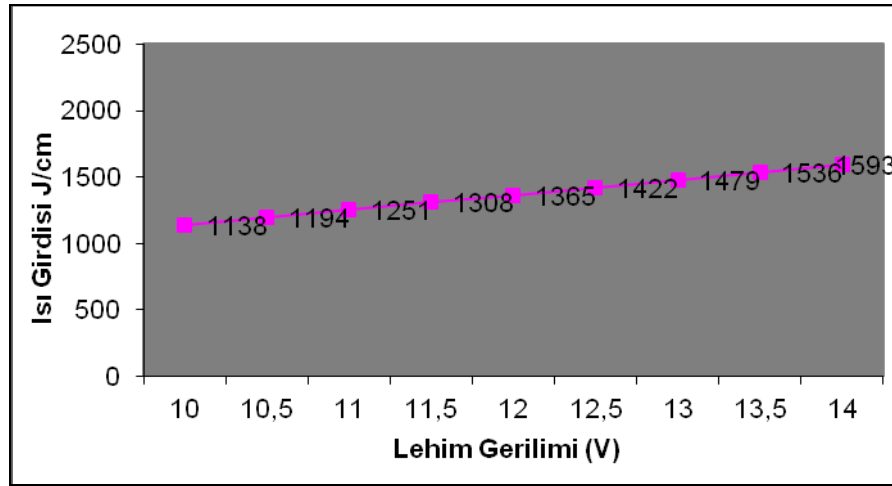


Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	10.123	-	0.843	0.714	66.448	19.508	1.024
2	9.183	0.289	-	0.115	79.118	5.907	-

Şekil 6.47. 65A akım şiddetinde EDS analizi

### 6.1.4.2. Lehim ark geriliminin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

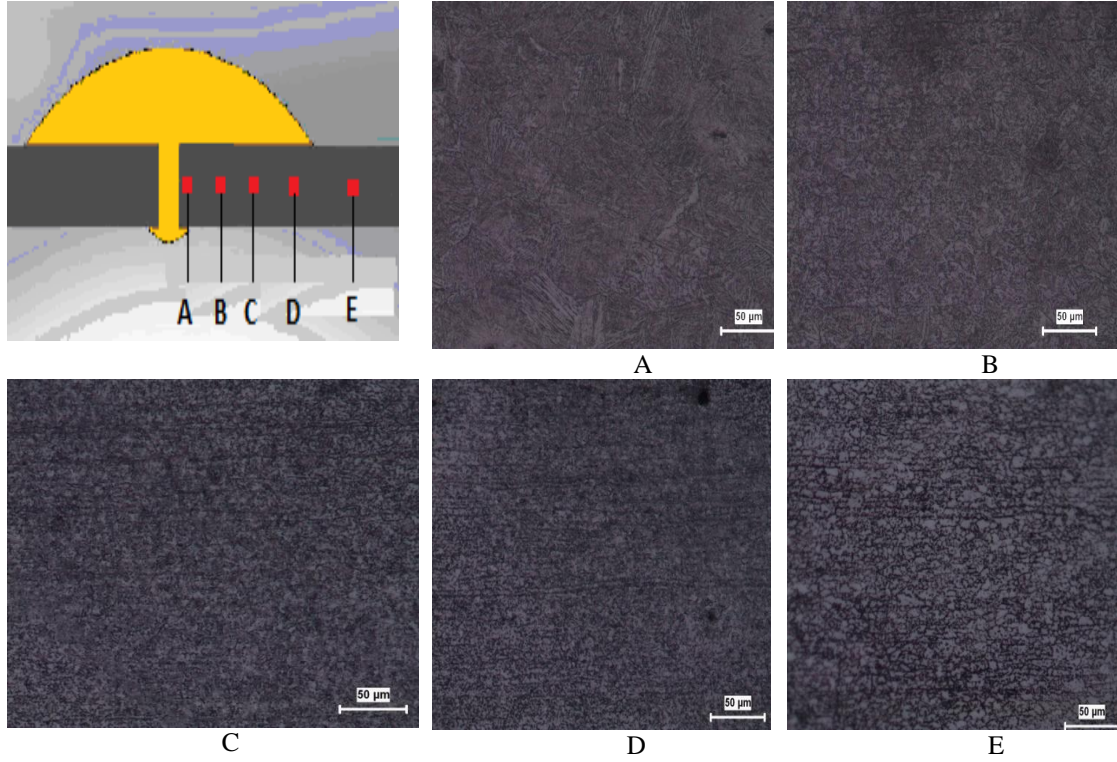
Farklı lehim gerilimlerinde lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği Şekil 6.48’de verilmektedir. Burada lehim gerilimi arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. En yüksek lehim gerilimindeki ısı girdisi 1593 J/cm olurken, mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 12V ve 12.5V lehim gerilimlerinde ısı girdileri 1308 ve 1365 J/cm olmuştur.



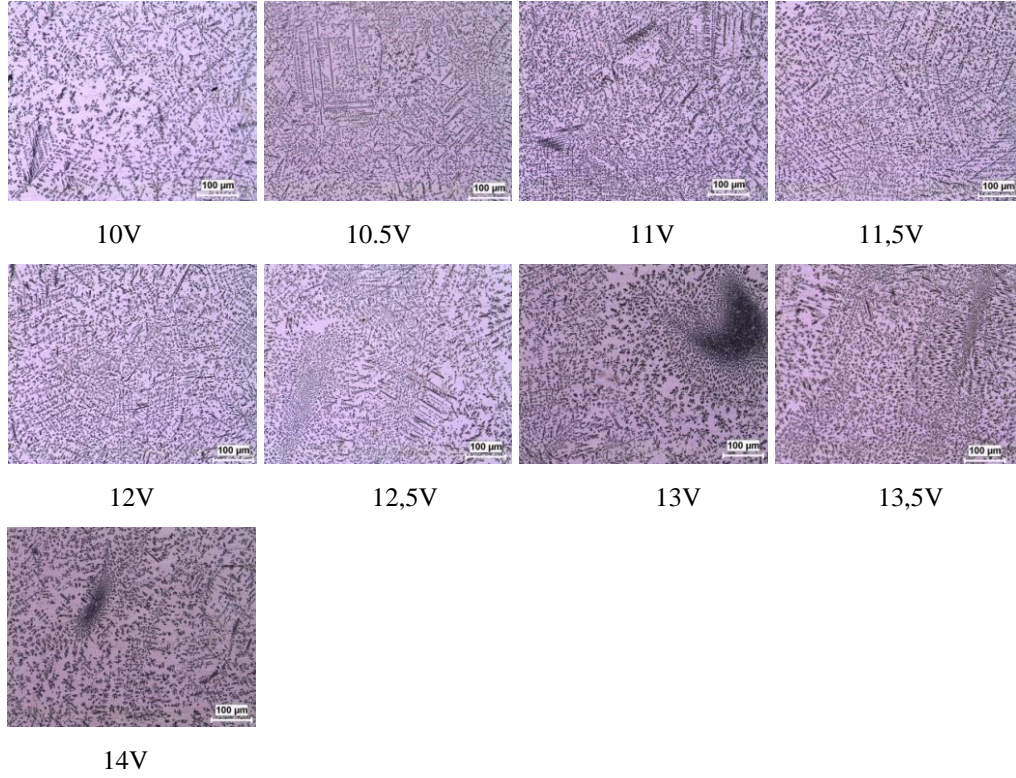
Şekil 6.48. Farklı lehim gerilimlerinde ısı girdisi grafiği

12V lehim geriliminde lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgedeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.49’da verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.

Farklı lehim gerilimlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.50’de verilmiştir. Lehim gerilimi arttıkça dendridlerin oluşumları artmıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değerleri 60-65A olduğu için dendridler yoğunlaşmıştır. Fakat lehim geriliminin artışı da bu dendrid oluşma miktarını arttırmıştır. Dendridlerin artması mikrosertlik değerlerini de arttırmaktadır.



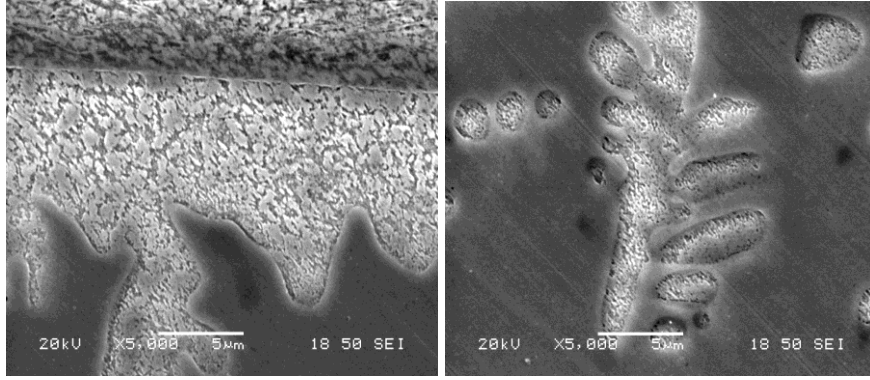
Şekil 6.49. 12V lehim geriliminde mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.50. Farklı lehim gerilimlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

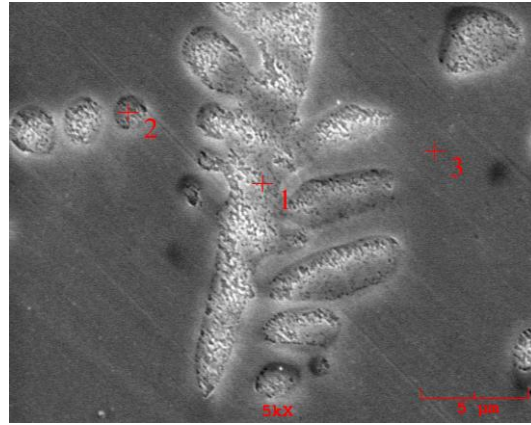


12V lehim gerilimi, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.51’de verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.51. 12V lehim geriliminde SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.52’de verilmiştir. Lehim bölgesinin içerisinde oluşan dendritler üzerinden (1,2) ve lehim bölgesinden (3) elementer analizler alınmıştır.

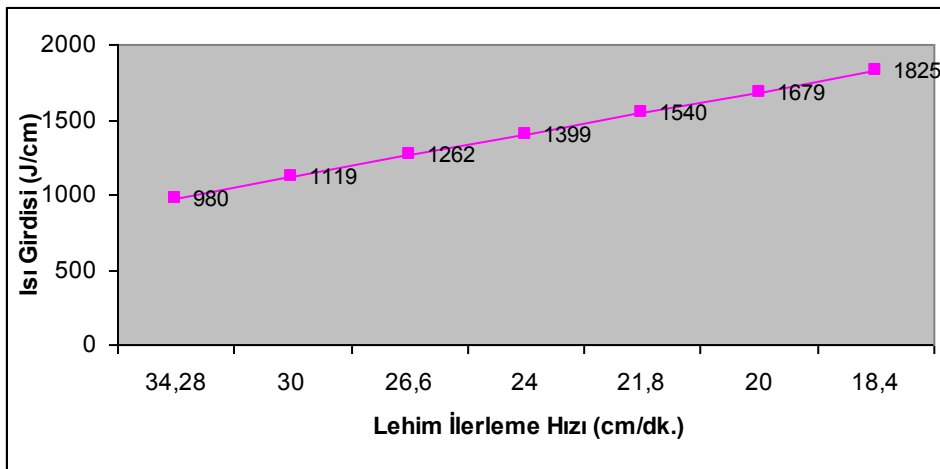


Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	7.796	0.672	0.364	0.530	77.729	12.430	0.479
2	7.795	0.579	0.444	0.273	71.629	18.612	0.668
3	8.726	0.265	0.025	0.647	3.783	83.420	1.057

Şekil 6.52. 12V lehim geriliminde EDS analizi

### 6.1.4.3. Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği Şekil 6.53'de verilmektedir. Burada lehim ilerleme hızı azaldıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. En düşük lehim ilerleme hızında ısı girdisi 1825 J/cm olurken, mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 26.6 cm/dk ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarında ısı girdileri 1262 ve 1399 J/cm olmuştur.

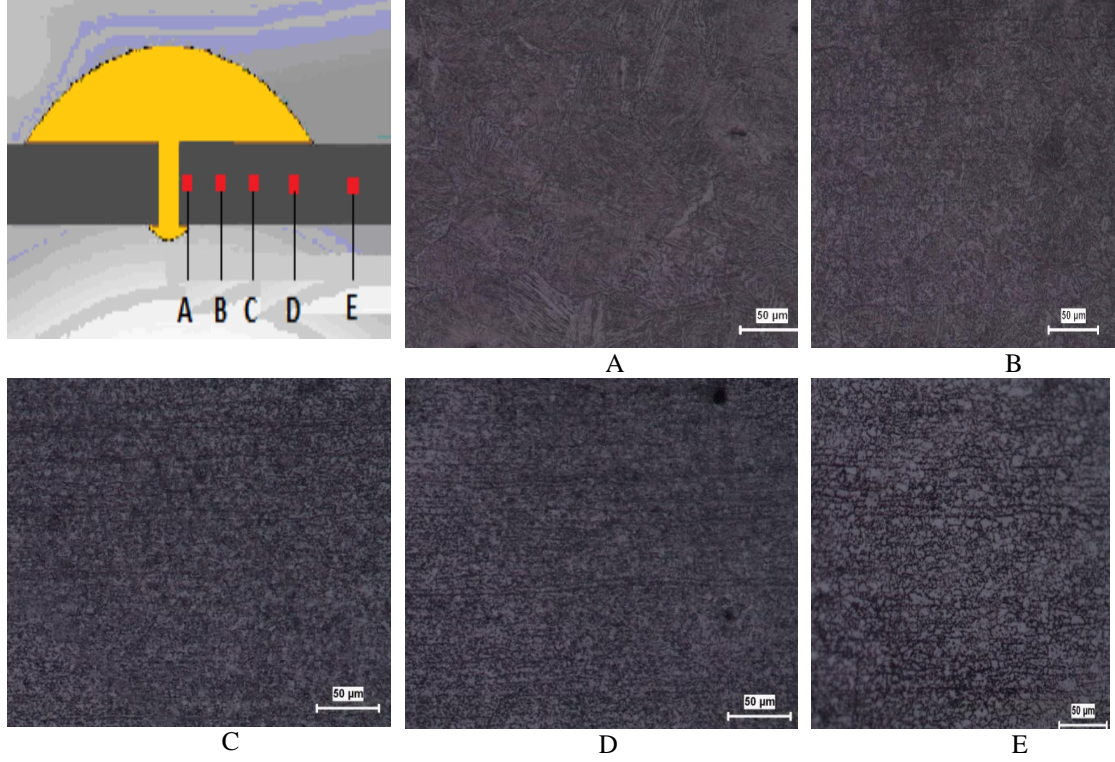


Şekil 6.53. Farklı lehim ilerleme hızlarında ısı girdisi grafiği

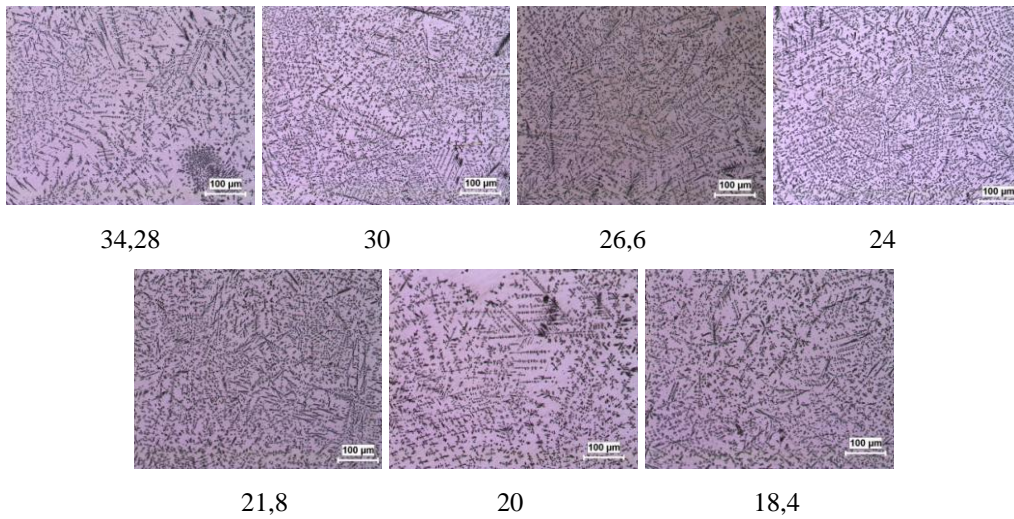
34.28 lehim ilerleme hızında lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgedeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.54'de verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.

Farklı lehim ilerleme hızlarında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.55'de verilmiştir. Lehim ilerleme hızı arttıkça dentridlerin oluşumları azalmıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A olduğu için dentridler yoğunlaşmıştır.

Fakat lehim ilerleme hızında azalma burada dendrit oluşma miktarını arttırmıştır. Dendritlerin artması mikrosertlik değerlerini de arttırmaktadır.



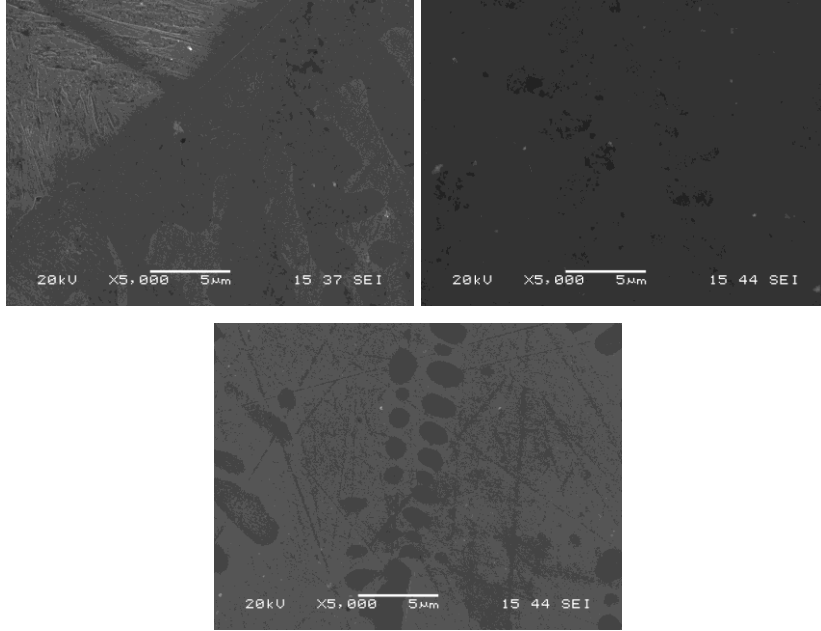
Şekil 6.54. 34,28 cm/dk lehim ilerleme hızında mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.55. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

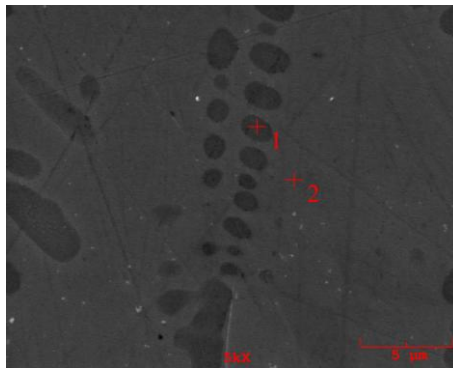
34.28 cm/dk lehim ilerleme hızı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.56'da verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme

yüzeyinden CuAl8 bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dentridlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.56. 34,28 cm/dk lehim ilerleme hızında SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dentrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.57’de verilmiştir. Lehim bölgesinin içerisinde oluşan dentridler üzerinden (1) ve lehim bölgesinden (2) elementer analizler alınmıştır.



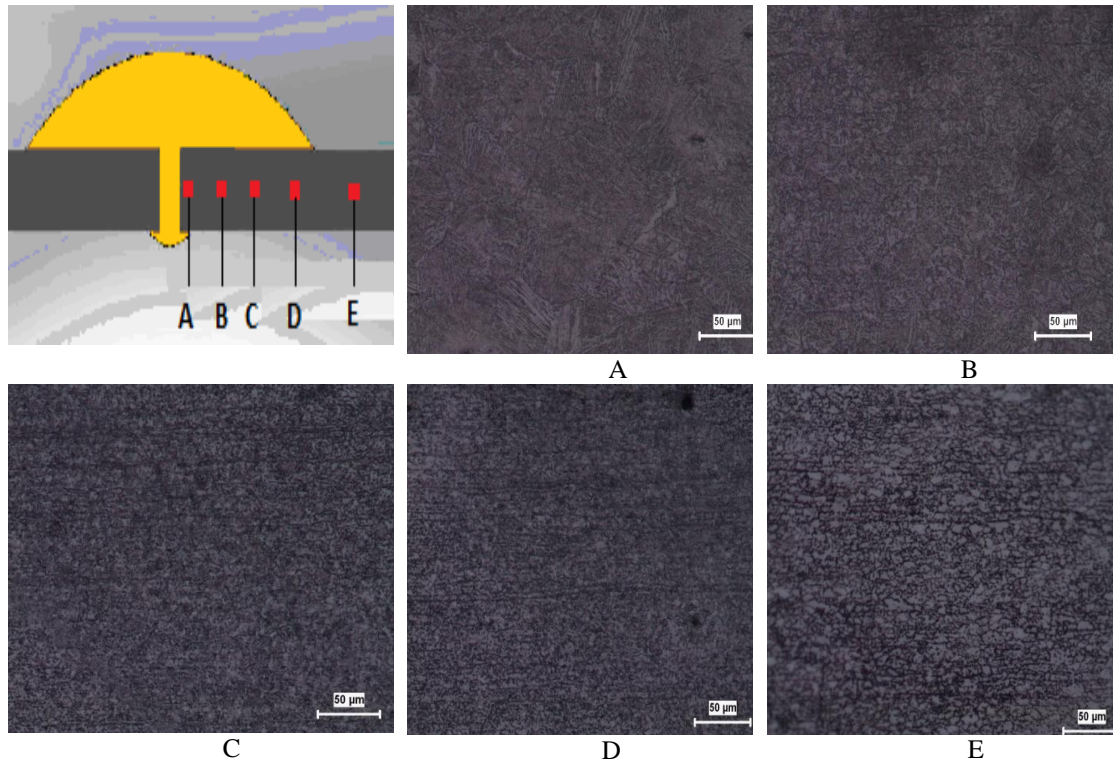
Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	8.657	0.890	0.299	0.309	67.021	17.599	0.374
2	7.415	0.335	-	0.731	4.364	83.271	-

Şekil 6.57. 34,28 cm/dk lehim gaz debisinde EDS analizi

#### 6.1.4.4. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

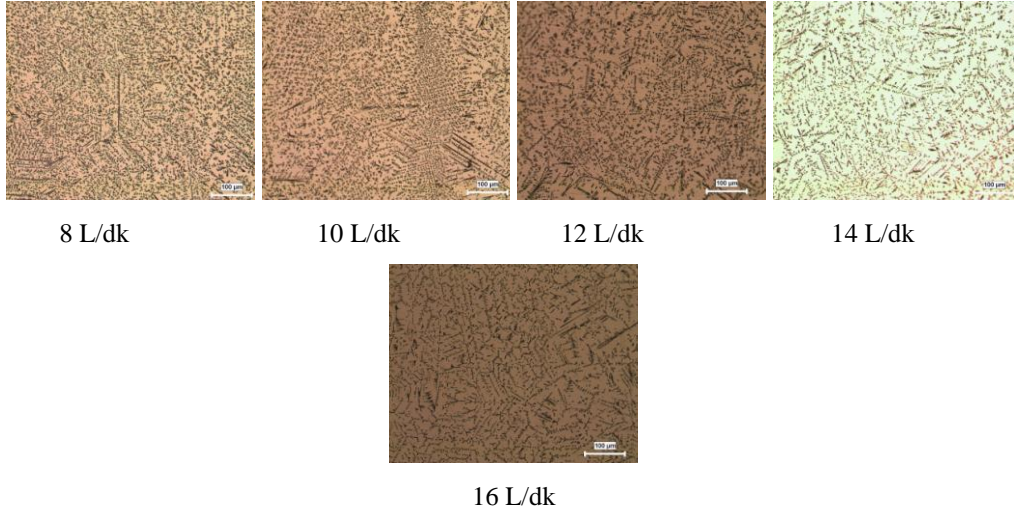
Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantının ısı girdileri teorik olarak 1399 J/cm olarak hesaplanmıştır.

8 L/dk lehim gaz debisinde lehimlenmiş ana malzemenin, ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.58'de verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



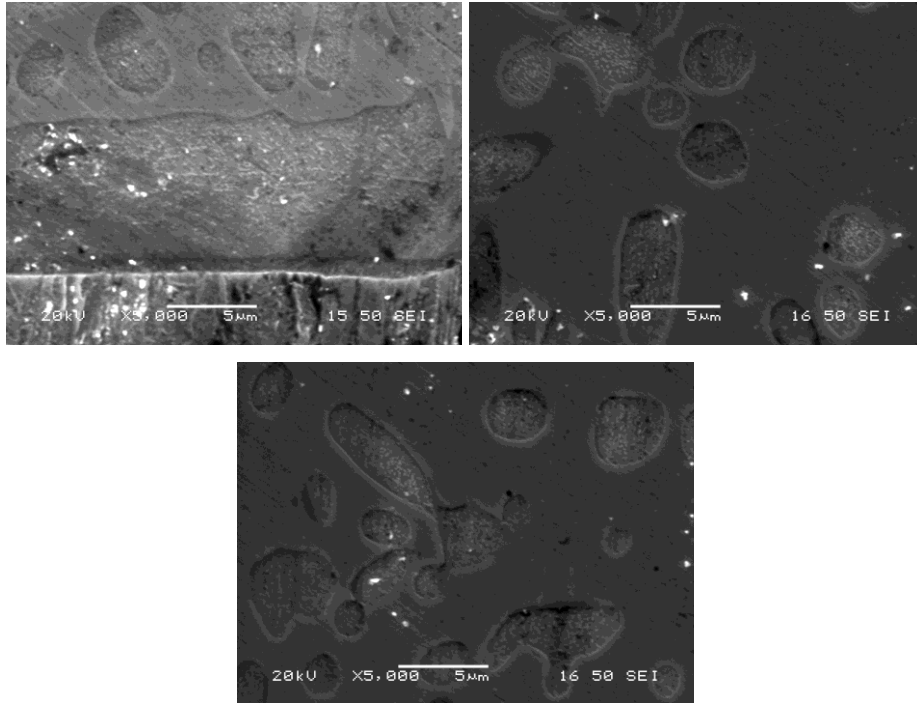
Şekil 6.58. 8 L/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri

Farklı lehim gaz debisinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.59'da verilmiştir. Lehim gaz debisi arttıkça dendritlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A, lehim gerilimi 12,3V ve lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.



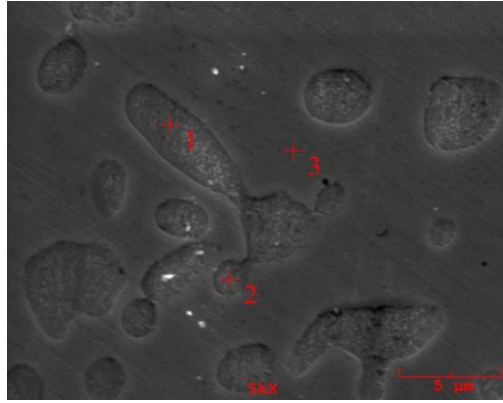
Şekil 6.59. Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

8 L/dk lehim gaz debisinde, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.60'da verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dentridlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.60. 8 L/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dentrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.61’de verilmiştir. Lehim bölgesinin içinde oluşan dentridler üzerinden (1,2) ve lehim bölgesinden (3) elementer analizler alınmıştır.



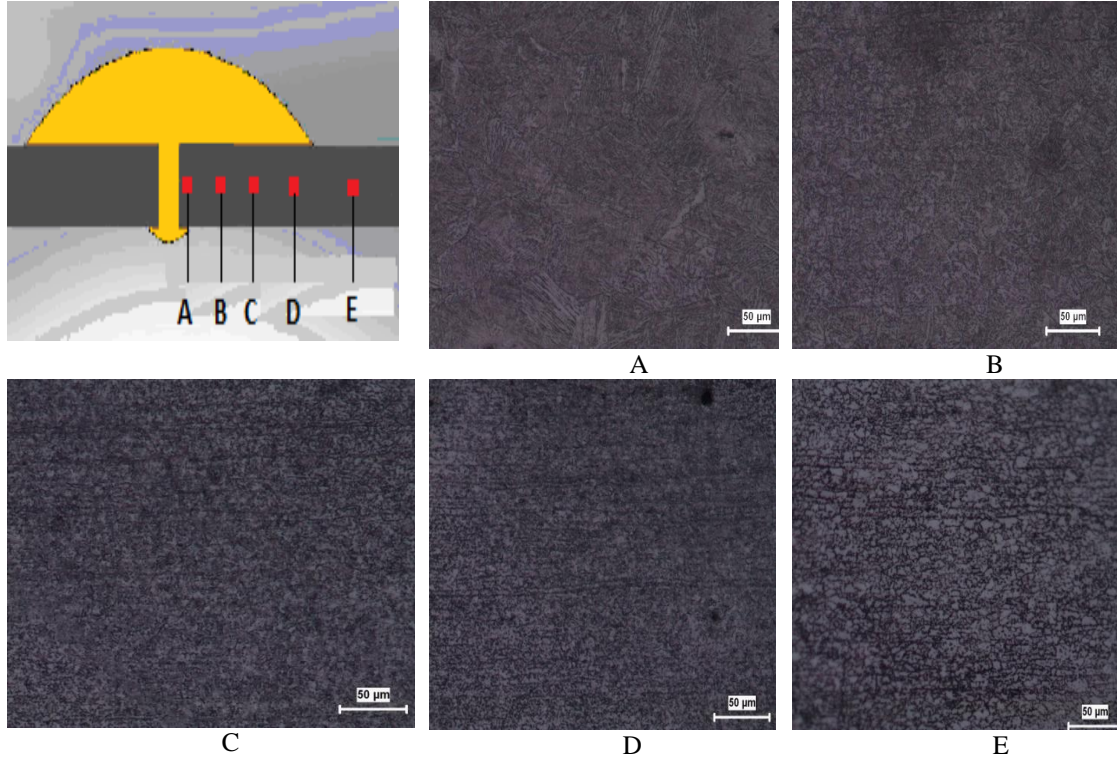
Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	7.706	0.644	0.303	0.174	77.606	11.695	0.317
2	8.484	0.246	0.104	0.540	19.029	71.427	0.170
3	7.350	0.132	0.213	0.293	5.298	80.348	0.046

Şekil 6.61. 8 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi

#### 6.1.4.5. Lehim torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

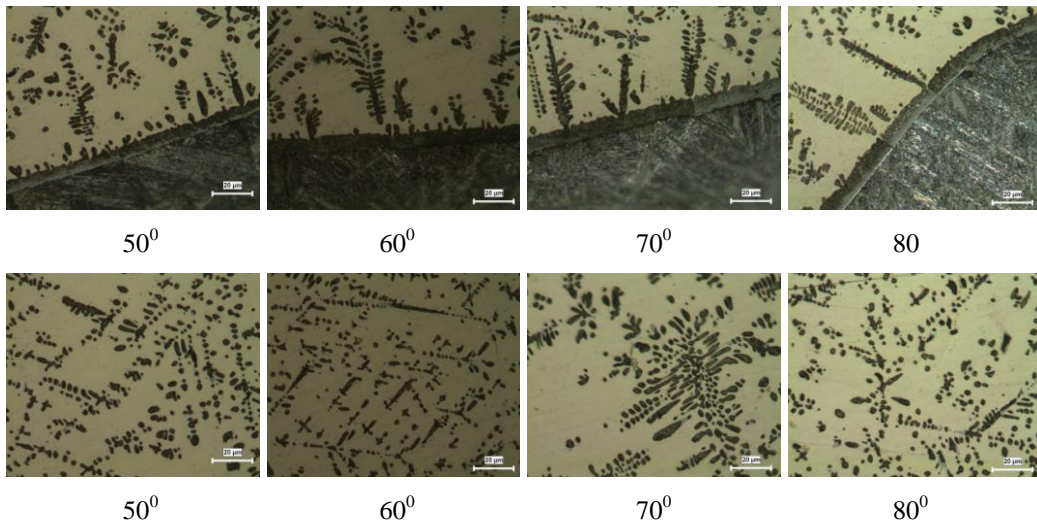
Farklı lehim torç açılarında elde edilen bağlantının ısı girdileri teorik olarak 1399 J/cm olarak hesaplanmıştır. Fakat sertlik dağılımları incelendiğinde, sertlik değişimlerinde farklarından açı değeri yükseldikçe ısı girdisi dağılımının değiştiği ve bu duruma bağlı olarak ısı girdisinin arttığı düşünülmektedir.

70<sup>0</sup> lehim torç açısında lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.62’de verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.62. 70<sup>0</sup> lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri

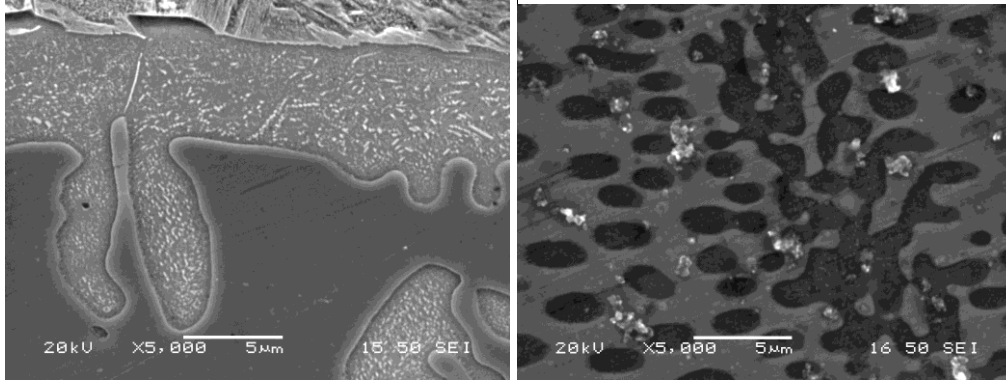
Farklı lehim torç açısında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.63'de verilmiştir. Lehim torç açısı arttıkça dendritlerin oluşumlarında yukarıda bahsettiğimiz ısı girdisi dağılım farkından dolayı en yoğun dendrit oluşumunun, 90<sup>0</sup> torç açısında olduğu diğer parametrelerden anlaşılmaktadır.



Şekil 6.63. Farklı torç açılarında lehim bölgesi ve ara bölge mikroyapı görüntüleri

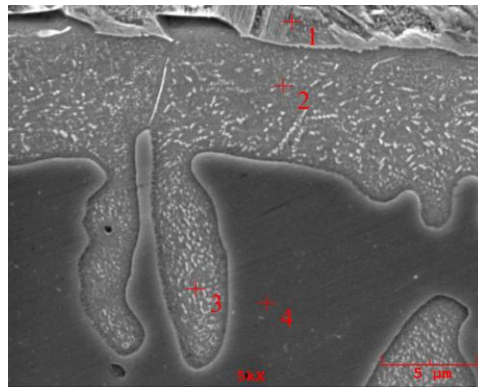


70° lehim torç açısı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.64’de verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden Cu bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dentridlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımları yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.64. 70° torç açısında SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan ve ana malzemedeki lehim bölgesine uzanan dentrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.65’de verilmiştir. Lehim bölgesinin içerisinde oluşan dentrid üzerinden (2,3), ana malzemedeki (1) ve lehim bölgesinden (4) element analizleri alınmıştır.



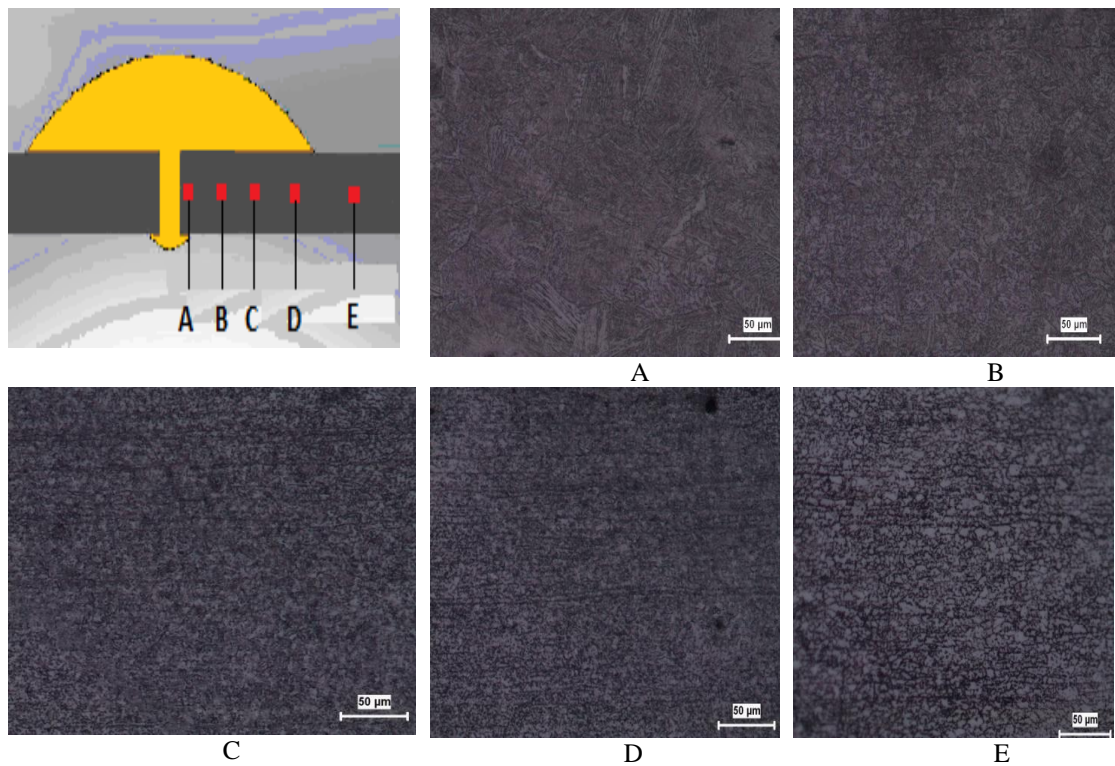
Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	3.229	0.765	0.598	0.824	86.541	6.220	0.367
2	6.587	0.370	0.201	0.568	79.634	12.519	0.121
3	8.424	1.177	0.453	0.412	52.802	36.565	0.168
4	8.568	0.085	0.271	0.538	2.660	83.449	0.189

Şekil 6.65. 70° torç açısında lehim ara bölge EDS analizi

#### 6.1.4.6. Lehim birleştirme aralığının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

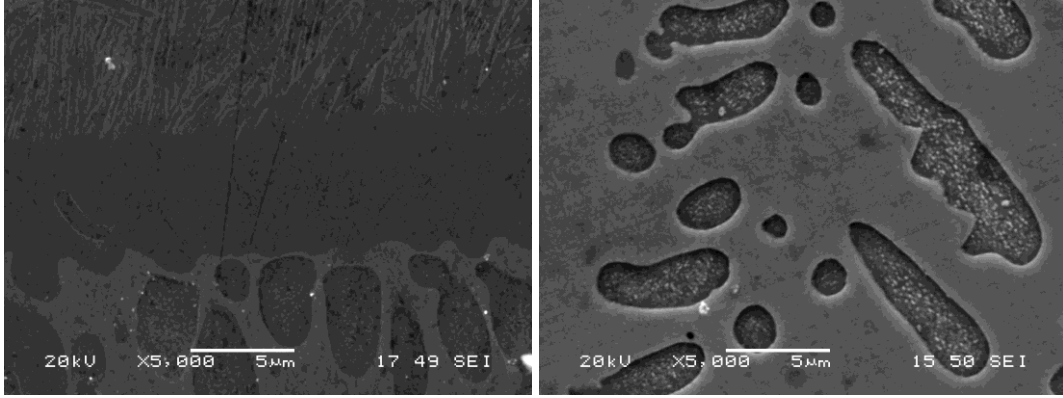
Farklı lehim aralıklarındaki lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri her lehim aralığı farkı için 1399 J/cm olarak hesaplanmaktadır.

0.5 mm lehim aralığında lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.66'da verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüştürmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



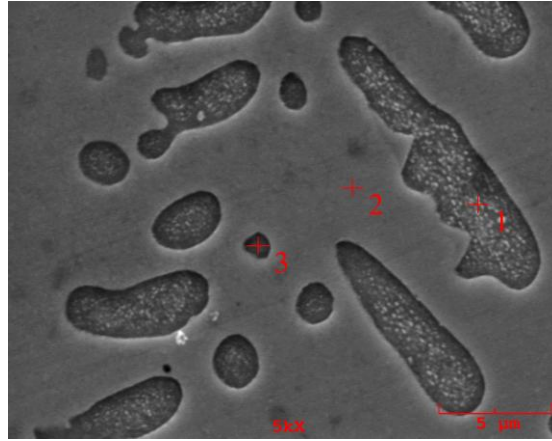
Şekil 6.66. 0.5 mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri

0.5 mm lehim aralığı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.67'de verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.67. 0.5 mm lehim aralığı SEM görüntüsü

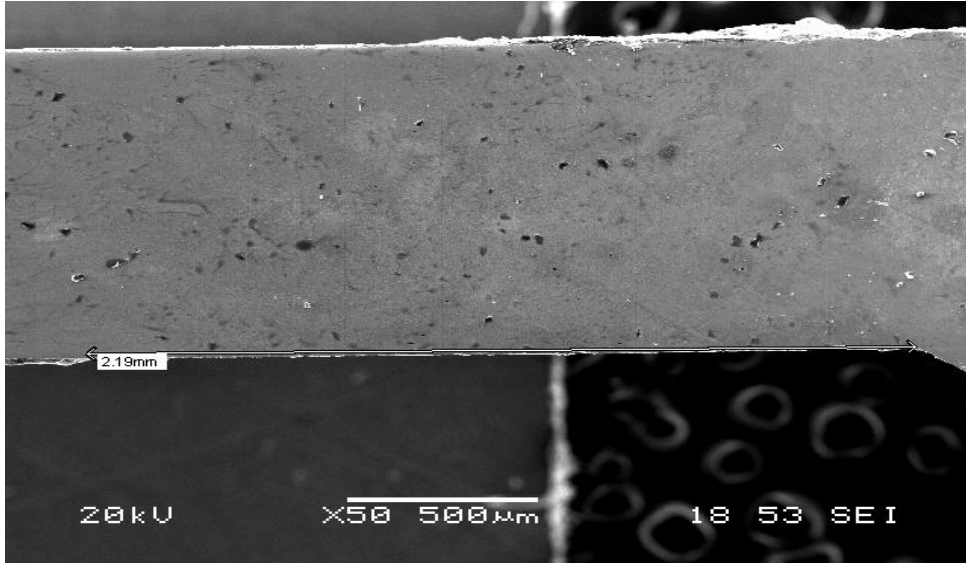
Atomal yayınma ile oluşan dentrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.68’de verilmiştir. Lehim bölgesinden (2) ve bu bölgede oluşan dentridlerin (yuvarlak (3), dallanmış(1)) üzerinden elementer analizler alınmış ve aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	7.637	0.114	0.189	0.179	74.697	14.273	0.390
2	7.586	0.274	0.157	0.078	5.474	83.132	0.173
3	6.890	0.645	0.563	0.370	61.479	26.397	0.344

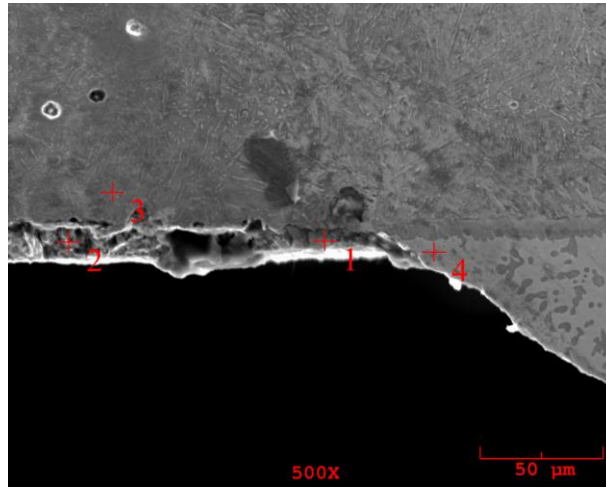
Şekil 6.68. 0.5 mm lehim aralığı lehimlenmiş bölgenin EDS analizi

70A akım şiddeti parametresinde birleştirilen 1 mm kalınlığındaki DP 600 çelik sacının alın altına birleştirilmesi sonucunda, ısı girdisi sebebi ile lehim kepinin bittiği noktadan itibaren Zn galvaniz kaplamanın 2-3 mm uzunluğundaki yüzey bölgesinde azaldığı Şekil 6.69’da verilmektedir.



Şekil 6.69. 70A akım şiddetinde galvaniz tabakası azalan bölgenin uzunluğu

70A akım şiddeti parametresinde birleştirilen 1 mm kalınlığındaki DP 600 çelik sacının aln alına birleştirilmesi sonucunda, lehim kepinin bittiği nokta (4) ve daha sonraki galvanizin buharlaştığı gözlenen (1,2,3) noktalarından alınan EDS analizleri Şekil 6.70'de verilmektedir.

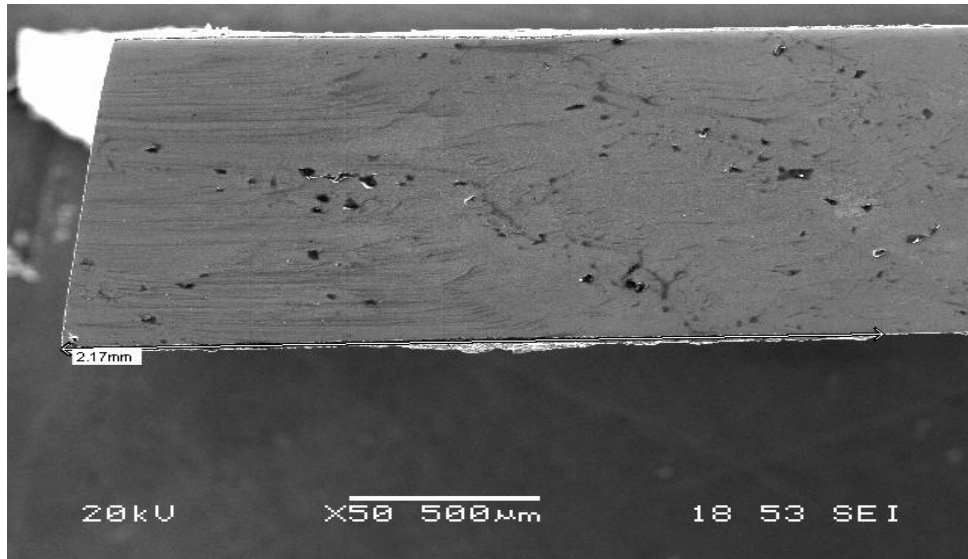


Point	Element (wt %)						
	Al	Si	O	Mn	Fe	Cu	Zn
1	0.747	0.667	3.672	-	61.914	-	-
2	0.900	-	29.206	1.108	68.787	-	-
3	-	-	10.319	1.624	88.057	-	-
4	6.879	-	-	-	3.687	89.434	-

Şekil 6.70. 70A akım şiddetinde galvaniz tabakası azalan bölgenin EDS analizleri

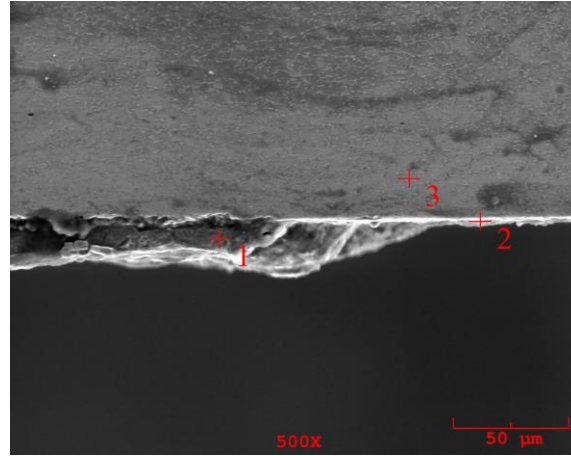
EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde, lehim kepinin bittiği nokta (4) lehim bölgesinde ağırlıklı olarak Cu olmak üzere Al ve Fe elementlerinin varlığı görülmektedir. Bu noktadan sonra ana malzeme bölgesi olan (1,2,3) noktalarında ise ağırlıklı olarak Fe olmak üzere Mn, O, Al ve Si elementlerinin varlığı görülmekte, fakat hiç Zn elementine rastlanmamıştır. Bu durumda lehim kepinin bittiği nokta bölgesinden ana malzemeye doğru 2-3 mm sonraki kısımda galvaniz katmanının tamamen ortadan kalktığı anlaşılmaktadır. Galvanik koruma sağlayan Zn elementinin bulunmadığı, (1,2,3) noktalarında ise oksijenin varlığı burada bir oksitlenme olduğunu göstermektedir.

1 mm kalınlığındaki DP 600 çelik sacının 70A akım şiddetinde alın altına birleştirilmesi sonucunda, lehim kepinin bittiği noktadan sonraki 2-3 mm den sonra galvaniz katmanının olduğu Şekil 6.71’de gösterilmektedir.



Şekil 6.71. 70A akım şiddetinde galvaniz tabakası azalmamış bölgenin uzunluğu

1 mm kalınlığındaki DP 600 çelik sacının 70A akım şiddetinde alın altına birleştirilmesi sonucunda, lehim kepinin bittiği noktadan ana malzemeye doğru 2-3 mm den sonraki ilk noktadan EDS analizi alınarak Şekil 6.72’de analiz sonuçları verilmiştir.



Point	Element (wt %)						
	Al	Si	O	Mn	Fe	Cu	Zn
1	-	-	6.288	-	9.711	-	84.001
2	17.551	-	-	1.742	80.707	-	-
3	-	-	-	1.426	98.574	-	-

Şekil 6.72. 70A akım şiddetinde galvaniz tabakasının başladığı bölgenin EDS analizleri

EDS analizlerinde (1) bölgesinde Zn varlığı galvaniz kaplamanın olduğunu açıkça göstermektedir. (2,3) bölgesinde ise Zn varlığının olmadığı ve bu bölgelerin korozyon dayanımının (1) bölgesinden daha zayıf olduğu anlaşılmaktadır.

## 6.2. DP 600 Sacın MIG Lehimleme Yöntemi İle Bindirme Birleştirmeleri

### 6.2.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

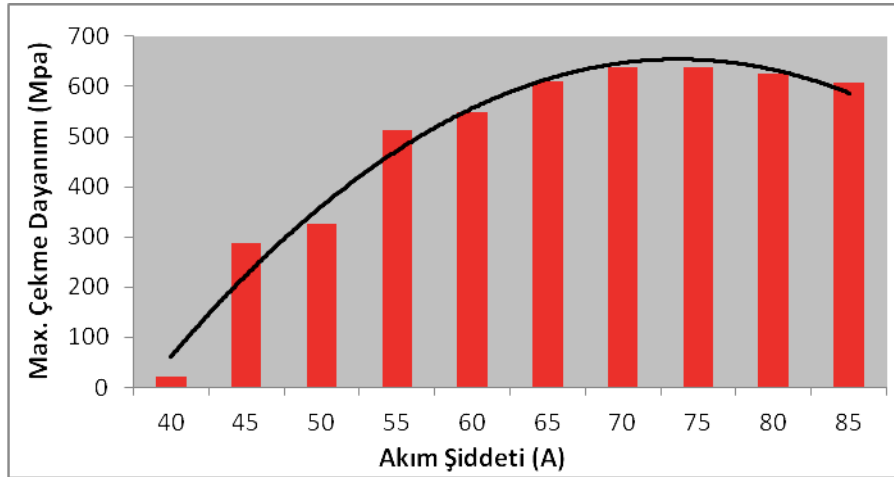
#### 6.2.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

DP 600 galvanizli çeliğinin farklı akım şiddetlerinde, çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.7'de verilmiştir. Akım şiddetleri 40 amperden başlayarak 90 ampere kadar tatbik edilmiştir. 90 amperde 1 mm DP 600 galvanizli çeliğinde yüksek akım şiddeti ve lehim gerilimi ile artan ısı girdisinden dolayı sacda ergime gerçekleşmiştir.

Tablo 6.7. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

DP 600 MIG BRAZING BİNDİRME BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
40	2,0	11,6	12	%100Argon	24	0.8	21	1004
45	2,2	11,7	12	%100Argon	24	0.8	288	1126
50	2,5	11,8	12	%100Argon	24	0.8	327	1178
55	2,8	12	12	%100Argon	24	0.8	512	1256
60	3,1	12,1	12	%100Argon	24	0.8	548	1300
65	3,4	12,3	12	%100Argon	24	0.8	609	1324
70	3,7	12,4	12	%100Argon	24	0.8	638	1325
75	4,0	12,6	12	%100Argon	24	0.8	638	1369
80	4,1	12,7	12	%100Argon	24	0.8	625	1286
85	4,3	12,8	12	%100Argon	24	0.8	607	1397

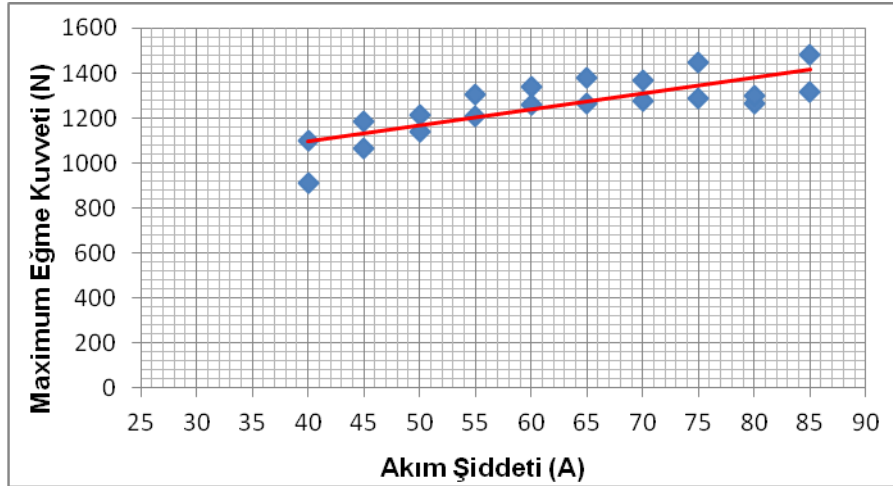
40, 45, 50A akım şiddetlerinde MIG-lehimleme tatbikinde ısı girdisinin azalması sonucu oluşan yetersiz ısıtma sebebi ile ilave telde çok fazla sıçrama meydana gelmiştir. İlave teldeki bu durum lehim görüntüsünde düzensizlikler olarak görülmüştür. 55 ve 60A akım şiddeti ilave telde meydana gelen sıçramanın azalması ve maksimum çekme mukavemetinin artışında kritik bölgeler olmuştur.



Şekil 6.73. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 6.73'de maksimum çekme mukavemetleri incelendiğinde DP 600 galvanizli çeliği 40, 45, 50, 55, 60A akım şiddetlerine kadar lehim bölgesinden, 65, 70, 75, 80, 85A akım şiddetlerinde çekilen numuneler ana malzemedan kopmuştur. Bu sebeple maksimum çekme mukavemetinde kritik mukavemet eşiği 60A olarak görülmektedir. 75A akım şiddetine kadar artan maksimum çekme mukavemeti, 80A

de düşmüş ve 85A akım şiddetine kadar değişen mukavemet değerleri göstermiştir. Bunun sebebinin yükselen ısı girdisi olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple DP 600 galvanizli çeliğine uygulanacak en uygun optimum akım şiddeti değerinin 65-70A olduğu görülmektedir.



Şekil 6.74. Farklı akım şiddetlerinde eğme kuvvetleri grafiği

Farklı akım şiddetleri uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde akım şiddeti arttıkça eğme kuvvetinin arttığı Şekil 6.74'de görülmektedir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır. Lehim akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin artması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki genişleme gözle muayene sonucunda görülmüştür.

#### 6.2.1.2. Lehim ark geriliminin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

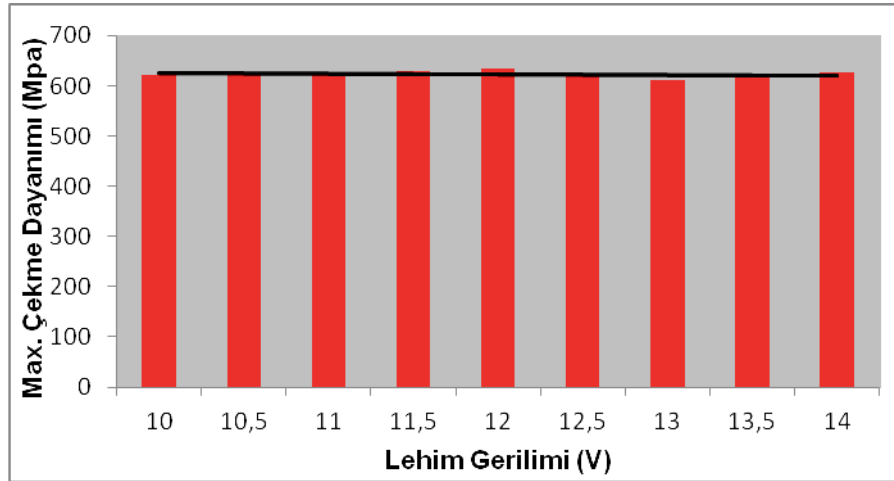
Optimum akım şiddeti 65A olarak belirlediğimiz DP 600 galvanizli çeliğinin farklı lehim gerilimlerinde, çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.8'de verilmiştir. Lehim gerilimleri 10V'dan başlayarak 14V'a kadar 0,5 V aralıklarla tatbik edilmiştir.



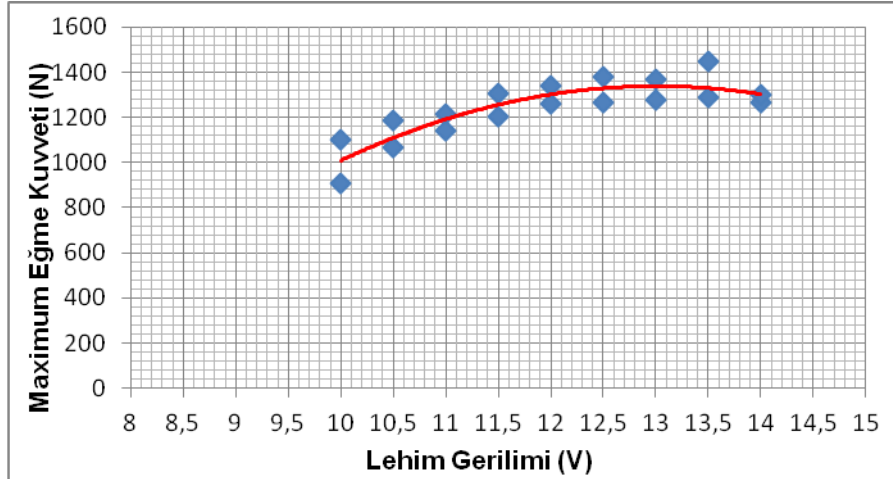
Tablo 6.8. Farklı lehim gerilimlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

DP 600 MIG BRAZING BİNDİRME BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	10	12	%100Argon	24	0.8	622	1016
65	3,4	10,5	12	%100Argon	24	0.8	624	1126
65	3,4	11	12	%100Argon	24	0.8	627	1178
65	3,4	11,5	12	%100Argon	24	0.8	628	1256
65	3,4	12	12	%100Argon	24	0.8	633	1300
65	3,4	12,5	12	%100Argon	24	0.8	619	1325
65	3,4	13	12	%100Argon	24	0.8	611	1320
65	3,4	13,5	12	%100Argon	24	0.8	617	1369
65	3,4	14	12	%100Argon	24	0.8	627	1286

Farklı lehim gerilimleri için maksimum çekme mukavemeti değerleri Şekil 6.75’de incelendiğinde, lehimlenen bütün numuneler ana malzemeden kopmuş olmasına rağmen lehim gerilimi değeri 12V’da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Lehim gerilimi arttıkça ısı girdisinin artması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki genişleme gözle muayene sonucunda görülmüştür.



Şekil 6.75. Farklı lehim gerilimlerinde çekme mukavemetleri grafiği



Şekil 6.76. Farklı lehim gerilimlerinde eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim gerilimleri uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde, gerilim değerinin 12V'da maksimum değere ulaştığı 12V'dan sonra belirli oranda düştüğü Şekil 6.76'da görülmektedir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır. DP 600 galvanizli çeliğinin lehim gerilimi MIG-lehimleme makinesinde 65A'e karşılık 12,3V değeri olarak görülmektedir. Lehim gerilimi parametrelerinde en uygun değer 12V olarak görülmesi makine değerleri ile uygunluk göstermektedir. Bu yüzden 65A akım değeri için makinenin otomatik olarak verdiği 12,3V gerilim değerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

### 6.2.1.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

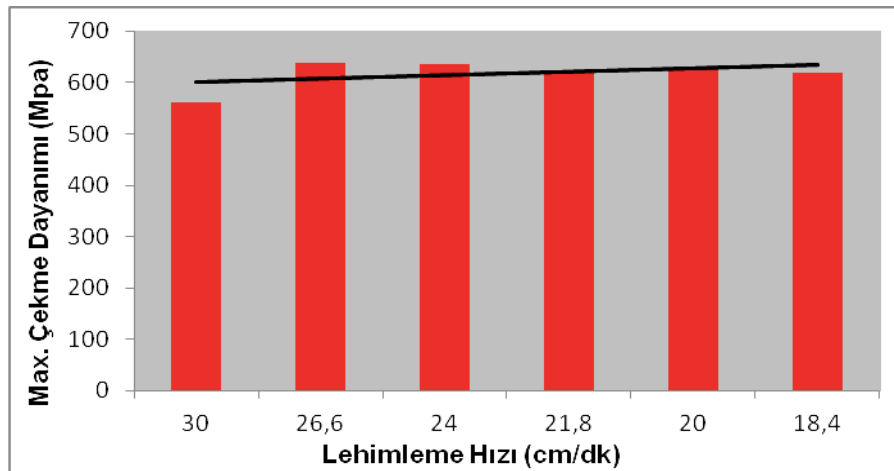
Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimini 12,3V olarak belirlenen DP 600 galvanizli çeliğinin farklı lehim hızlarındaki çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.9'da verilmiştir. Lehimleme işlemleri hız sabitleyici olarak kullandığımız kaynak sekatörü vasıtasıyla 30 cm/dk ile 18,4 cm/dk aralıklarında tatbik edilmiştir.

Tablo 6.9. Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

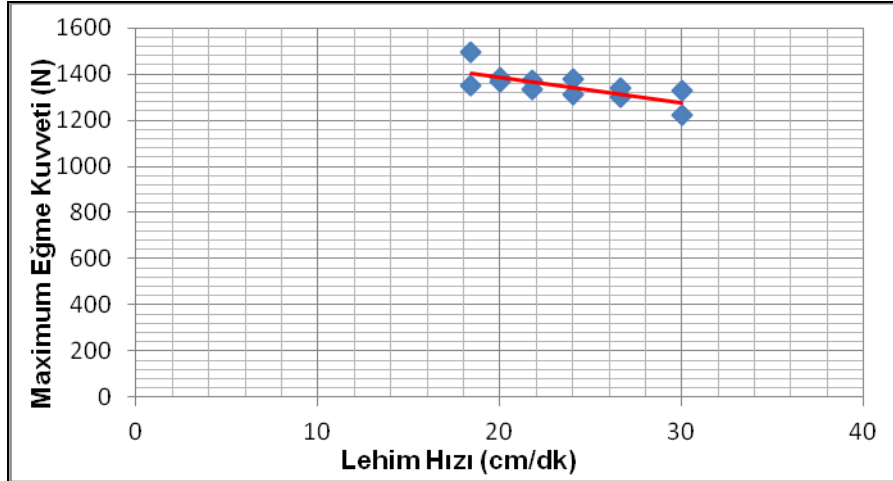
DP 600 MIG BRAZING BİNDİRME BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	12,3	12	%100Argon	30	0.8	562	1274
65	3,4	12,3	12	%100Argon	26,6	0.8	639	1320
65	3,4	12,3	12	%100Argon	24	0.8	635	1346
65	3,4	12,3	12	%100Argon	21,8	0.8	623	1351
65	3,4	12,3	12	%100Argon	20	0.8	626	1376
65	3,4	12,3	12	%100Argon	18,4	0.8	618	1421

Farklı lehim hızları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 30 cm/dk lehim hızı dışında lehimlenen bütün numunelerin ana malzemedan koptuğu Şekil 6.77’de belirlenmiştir. Buradaki verilere bakıldığında lehim hızı değeri 24 cm/dk ve 26,6 cm/dk da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Lehimleme hızı arttıkça ısı girdisi azalmaktadır. Isı girdisinin azalması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki daralma gözle muayene sonucunda görülmüştür.

Farklı lehim hızlarında maksimum çekme mukavemeti kopma noktaları her parametre için ölçüldüğünde 30 cm/dk, 20 cm/dk ile 26,6 cm/dk aralığındaki hızlarda lehimden ana malzemeye kopma mesafesi 3 mm olarak belirlendi. Lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, 18,4 cm/dk ve 21,8 cm/dk olan numune kopma mesafesi ise 4 mm olarak ölçülmüştür. Burada lehim hızı azaldıkça ısı girdisinin arttığı ve artan ısı girdisi ile ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği görülmektedir.



Şekil 6.77. Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği



Şekil 6.78. Farklı lehim hızlarında eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim ilerleme hızları uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde, lehim ilerleme hızı arttıkça ısı girdisinin azalması sonucu maksimum eğme kuvvetinin azaldığı Şekil 6.78’de görülmektedir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.

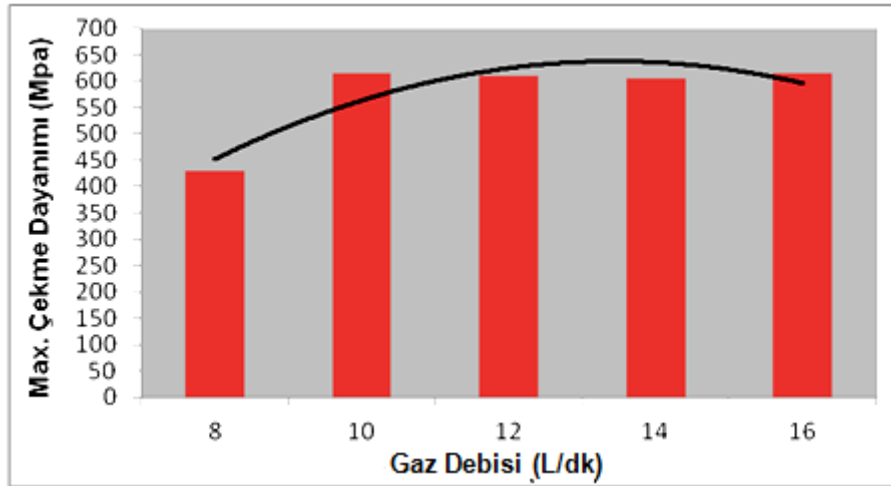
#### 6.2.1.4. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimini 12,3V, lehim hızı 24 cm/dk olarak belirlenen DP 600 galvanizli çeliğinin farklı lehim gaz debilerinde çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.10’da verilmiştir. Gaz akış debisi argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz kaçaklarının oluşabileceği ihtimaline göz önünde bulundurularak lehim torcunun ucundan gaz akış debileri ölçülerek lehimleme işlemlerinin tatbiki gerçekleştirilmiştir.

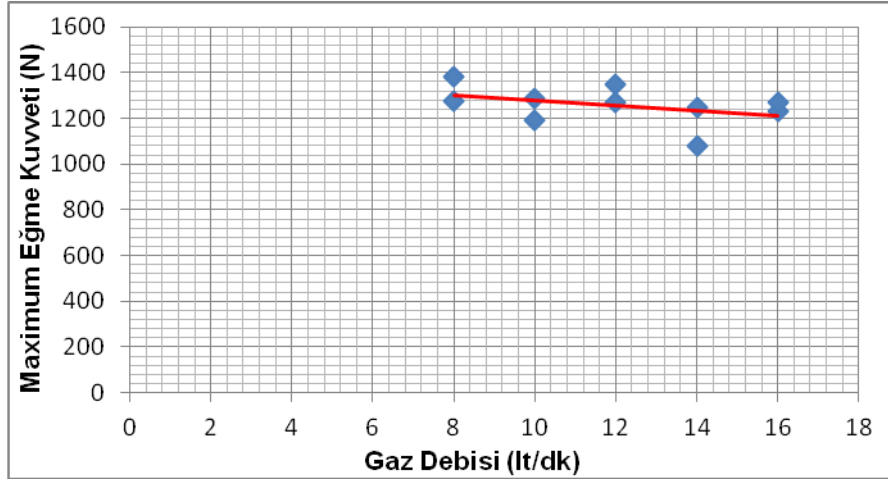
Tablo 6.10. Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

DP 600 MIG BRAZING BİNDİRME BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	12,3	8	%100Argon	24	0.8	428	1327
65	3,4	12,3	10	%100Argon	24	0.8	615	1238
65	3,4	12,3	12	%100Argon	24	0.8	609	1309
65	3,4	12,3	14	%100Argon	24	0.8	604	1164
65	3,4	12,3	16	%100Argon	24	0.8	614	1250

Şekil 6.79’da farklı lehim gaz akış debisi maksimum çekme makaslama mukavemeti değerleri incelendiğinde, 8 L/dk gaz debisi uygulanan çekme numunesindeki mukavemet değerinin 428 MPa olduğu ve kopmanın lehim bölgesinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. 10 L/dk için 615 MPa, 12 L/dk için 609 MPa, 14 L/dk için 604 MPa ve 16 L/dk için 614 MPa çekme mukavemetine sahip lehimlenen bütün numunelerin ana malzemedan koptuğu görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında lehim gaz akış debisi değeri 10 L/dk, en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. 8 ve 10 L/dk gaz debisi uygulanan DP 600 çelik sacının lehim tatbikleri esnasındaki sıçrama göz önünde bulundurularak bu gaz debilerinin uygun olmadığı söylenebilir.



Şekil 6.79. Farklı lehim gaz debilerinde mukavemetleri grafiği



Şekil 6.80. Farklı lehim gaz debilerinde eğme kuvvetleri grafiği

Şekil 6.80’de farklı lehim gaz debileri uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde, 8 L/dk gaz debisinde en yüksek eğme kuvveti 1327 N, 10 L/dk gaz debisinde 1238 N’a düşmüş, 12 L/dk gaz debisinde 1309 N’a çıkmıştır. 14 L/dk gaz debisinde 1164 N ve 16 L/dk gaz debisinde 1250 N eğme kuvveti değeri olmuştur. Gaz debisi arttıkça eğme kuvvetinin azaldığı görülmektedir. Fakat maksimum kuvvet grafiği eğim çizgisinden de görüldüğü üzere gaz akış debisinin maksimum kuvvet üzerinde çok etkin olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca 8 L/dk lehim gaz debisinde lehim tatbiki uygulanırken sıçramanın yoğun olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlağa rastlanılmamıştır.

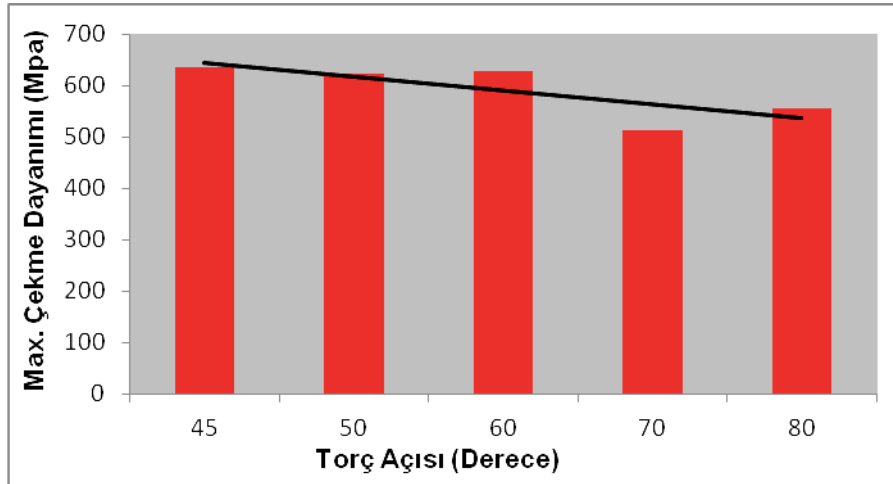
#### 6.2.1.5. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimi 12.3V, lehim hızı 24 cm/dk ve gaz akış debisi 12 L/dk olarak belirlenen DP 600 galvanizli çeliğinin farklı torç açılarında çekme mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.11’de verilmiştir. MIG-lehim kaynak makinesinin torcu sekatöre sabitleyici aparatlar vasıtası ile sabitlendikten sonra farklı torç açılarında lehim tatbikleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.11. Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

DP 600 MIG BRAZING BİNDİRME BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Torç Açısı (Derece)	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	12,3	12	24	0.8	45	635	1309
65	3,4	12,3	12	24	0.8	50	622	1073
65	3,4	12,3	12	24	0.8	60	627	1300
65	3,4	12,3	12	24	0.8	70	512	1271
65	3,4	12,3	12	24	0.8	80	556	1299

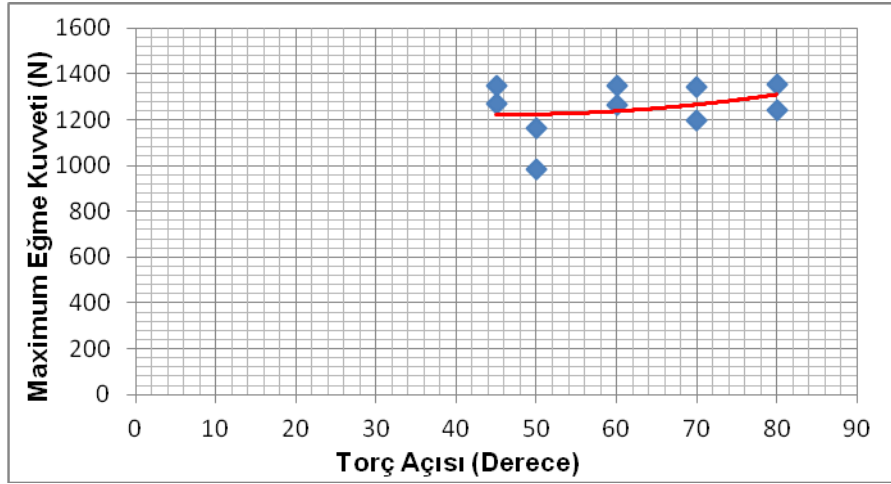
Şekil 6.81’de farklı lehim torç açılarında maksimum çekme-makaslama mukavemeti değerleri incelendiğinde, 45<sup>0</sup> lehim torç açısında 635 MPa, 50<sup>0</sup> lehim torç açısında 622 MPa, 60<sup>0</sup> lehim torç açısında 627 MPa maksimum çekme mukavemeti değerlerine sahip olup, numunelerin ana malzemedен koptuğu görülmektedir. 70<sup>0</sup> lehim torç açısında 512 MPa, 80<sup>0</sup> lehim torç açısında 556 MPa olduğu ve lehim bölgesinde koptuğu görülmektedir. Buradaki veriler değerlendirildiğinde lehim torç açısı değeri, 45<sup>0</sup> de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. Fakat 50<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> lehim torç açısı mukavemet değerleri de, optimum lehim torç açısı olarak düşünülebilir.



Şekil 6.81. Farklı lehim torç açılarında çekme mukavemetleri grafiği

Farklı lehim torç açıları uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri Şekil 6.82’de incelenmiştir. 45<sup>0</sup> lehim torç açısında 1309 N, 50<sup>0</sup> lehim torç açısında 1073 N, 60<sup>0</sup> lehim torç açısında 1300 N, 70<sup>0</sup> lehim torç açısında 1271 N ve

80<sup>0</sup> lehim torç açısında 1299 N maksimum eğme kuvveti olduğu görülmektedir. Burada en yüksek eğme kuvvetine sahip torç açısının 45<sup>0</sup> olduğu görülmektedir.



Şekil 6.82. Farklı lehim torç açılarında eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim torç açılarında gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır

#### 6.2.1.6. Lehim birleştirme aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

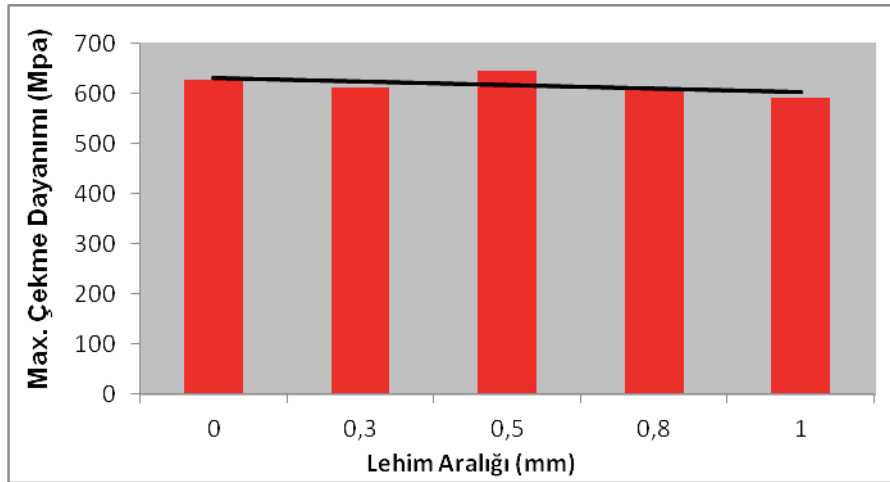
Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimi 12,3V, lehim hızı 24 cm/dk, gaz akış debisi 12 L/dk, torç açısı 45<sup>0</sup> olarak belirlenen DP 600 galvanizli çeliğinin farklı lehim aralığında çekme-makaslama mukavemeti ve eğme kuvvetlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12. Farklı lehim aralıklarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

DP 600 MIG BRAZING BİNDİRME BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı[m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Basıncı [L/dk]	Lehim Hızı [cm/dk]	Torç Açısı (Derece)	Lehim Aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [MPa]	Max. Eğme Kuvveti [N]
65	3,4	12,3	12	24	45	0	626	1348
65	3,4	12,3	12	24	45	0.3	612	1340
65	3,4	12,3	12	24	45	0.5	645	1324
65	3,4	12,3	12	24	45	0.8	609	1309
65	3,4	12,3	12	24	45	1	590	1338

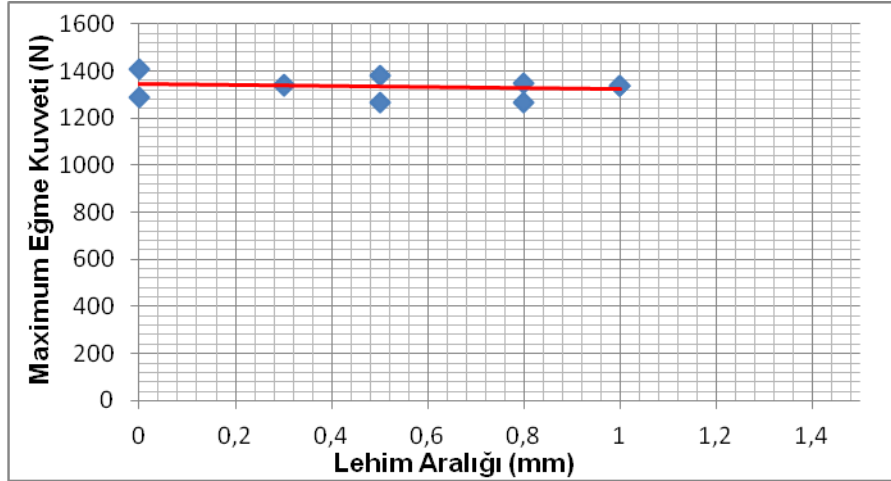


Uygulanan lehim tatbiklerinde 1 mm aralık mesafelerine kadar bindirme birleştirme parçalarına lehim tatbiki gerçekleştirilebilmiştir. Bu yüzden alın birleştirmeler için 0, 0.3, 0.5, 0.8 ve 1 mm lehim aralıklarının maksimum çekme mukavemeti ve eğme kuvvetleri incelenmiştir. Şekil 6.83’de farklı lehim aralıklarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 0 mm lehim aralığında 626 MPa, 0.3 mm lehim aralığında 612 MPa, 0.5 mm lehim aralığında 645 MPa, 0.8 mm lehim aralığında 609 MPa, 1 mm lehim aralığında 590 MPa maksimum çekme-makaslama verileri elde edilmiştir. Buradaki verilere bakıldığında lehim aralığı değeri 0.5 mm de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. Çekme makaslama deneylerinde, 0, 0.3, 0.5 ve 0.8 mm aralıklarındaki numunelerin ana malzeme bölgesinde koptuğu gözlenirken, 1 mm lehim aralığındaki numunenin lehim bölgesinde koptuğu görülmektedir. Lehim aralıkları çekme makaslama verileri değerlendirmelerine bakılarak, 1 mm kalınlığındaki DP 600 çelik sacının bindirme bağlantılarında 1 mm lehim aralığının uygun olmadığı elde edilen mukavemet değerlerinden tespit edilmiştir.



Şekil 6.83. Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemetleri grafiği

Farklı lehim aralığı uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri Şekil 6.84’de incelendiğinde lehim aralığı arttıkça maksimum eğme kuvvetinde fazla bir değişim söz konusu değildir.



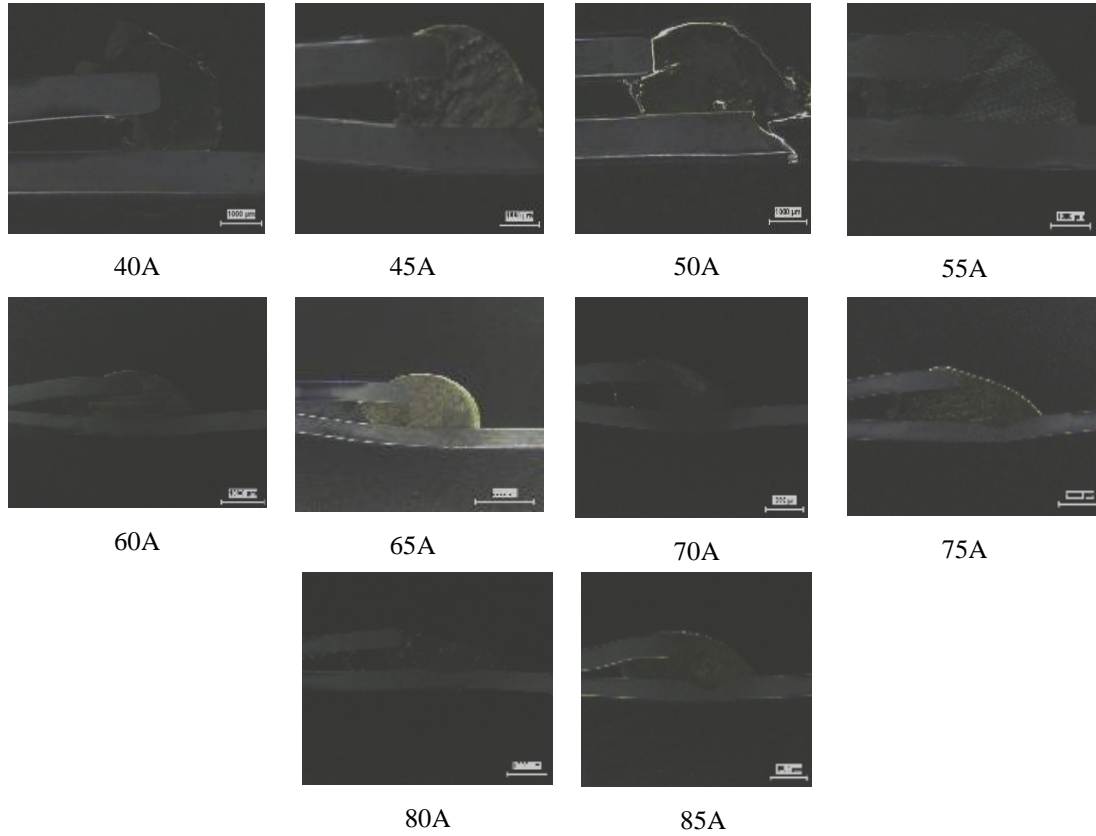
Şekil 6.84. Farklı lehim aralıklarında eğme kuvvetleri grafiği

Farklı lehim aralıklarında gerçekleştirilen maksimum eğme kuvveti testlerinin tüm verileri değerlendirilmiş ve gerekli incelemelerde göz ile muayene sonucu, MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinin bağlantı bölgesinde herhangi bir çatlğa rastlanılmamıştır

## 6.2.2. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi

### 6.2.2.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddeti farklarına göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makro görüntüleri Şekil 6.85’de verilmektedir. 40, 45 ve 50A akım şiddeti uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma kabiliyetinin çok düşük olduğu görülmektedir.



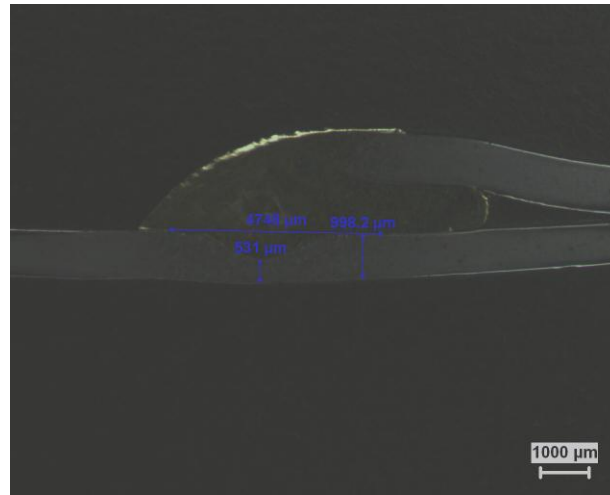
Şekil 6.85. Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri

40, 45 ve 50A akım şiddetlerinin makro görüntülerindeki bindirme birleştirme lehim aralığına, lehim ilave telinin nüfuziyetinin düşük olduğu görülmektedir. 55A akım şiddetinde ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 80A akım şiddetine kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır. 85A akım şiddetinde ıslatmanın çok fazla olduğu, lehimlenen ana malzemede ergimenin gerçekleştiği aşırı nüfuziyet, makro görüntüsünden görülmektedir.

Farklı Akım şiddetlerinde elde edilen DP 600 sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden, akım şiddeti ve akım şiddetine bağlı olarak lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

Buradaki lehim geometrisi mukavemet ilişkisini incelediğimizde 40A akım şiddetinde yetersiz ıslatma sonucu düşük bir mukavemet elde edilmiştir. 45A akım şiddetindeki lehim geometrisinde ıslatma biraz daha artarak maksimum mukavemet

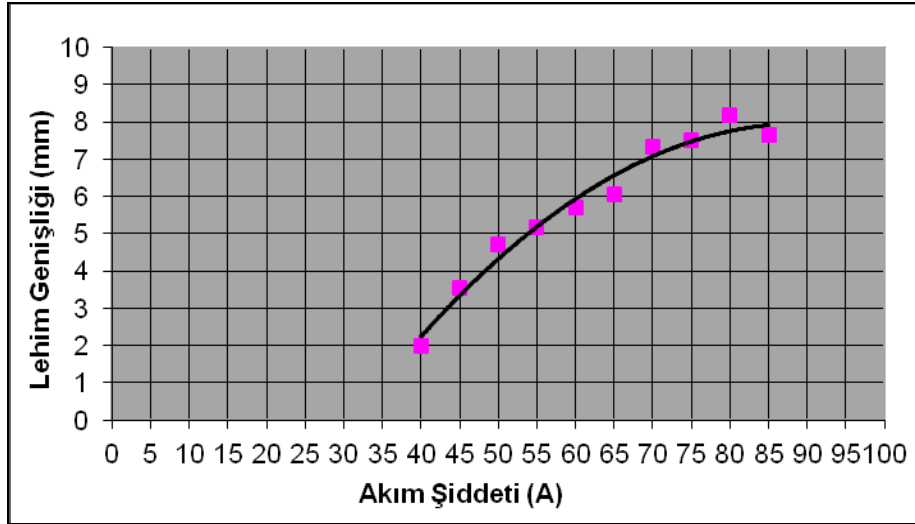
değeri 288 MPa olmuştur. 50A akım şiddetinde 327 MPa, 55A akım şiddetinde 512 MPa, 60A akım şiddetinde 548 MPa olarak görülmüş, bu aralıkta kullanılan akım şiddetleri için DP 600 sacının kopma noktalarının lehim bölgesinde olmasından dolayı, ıslatma değerlerinin uygun olmadığı anlaşılmaktadır. 60A akım şiddetinde bazı parçalar lehinden bazıları ana malzemeden koptuğu için mukavemet artışında kritik nokta olmasından dolayı ıslatma özellikleri kabul edilebilir değildir. 65, 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetlerinde çekilen numuneler ana malzemeden koptuğu için buradaki ıslatma verilerinin uygun olduğu görülmektedir. Fakat 85A akım şiddetindeki makro görüntüsünden anlaşıldığı üzere ana malzemede, artan ısı girdisinden dolayı bir ergime olduğu görülmektedir. Ana malzemede meydana gelen ergime Şekil 6.86'da gösterilmektedir. Bu değerlendirmelerden anlaşıldığı üzere akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmakta ve artan ısı girdisi ile bağıntılı olarak ilave metalin ıslatma özelliği artmaktadır.



Şekil 6.86. 85A Akım şiddetinde ana malzemede meydana gelen ergime

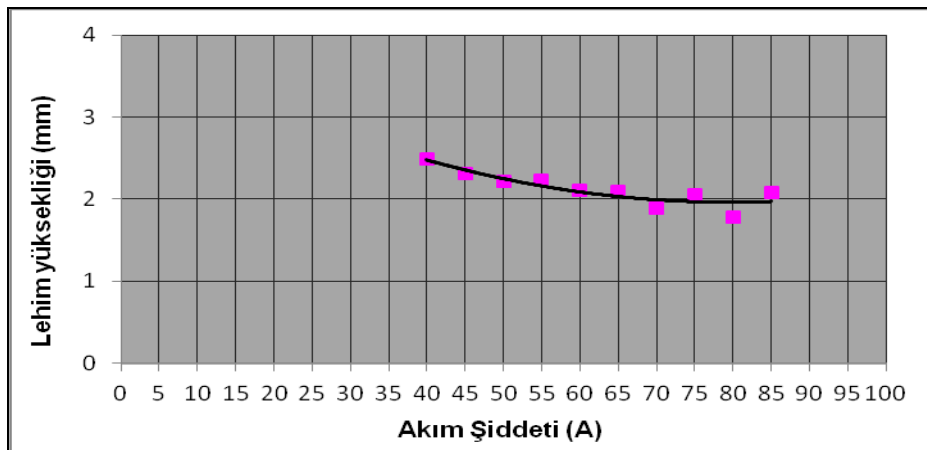
MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen akım şiddetine bağlı olarak lehim genişliği grafiği Şekil 6.87'de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında akım şiddeti arttıkça lehim genişliği artmaktadır. Lehim genişliği 40A de 1.988 mm, 45A de 3.552 mm, 50A de 4.693 mm, 55A de 5.159 mm, 60A de 5.711 mm, 65A de 6.049 mm, 70A de 7.317 mm, 75A de 7.503 mm, 80A de 8.169 mm ve 85A de 7.636 mm olmuştur. Akım şiddeti lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 40, 45, 50, 55 ve 60A de lehim genişliği 2–5 mm arasında

kalarak yetersiz lehim genişliği ve ıslatma kabiliyetinden dolayı lehim bölgesinde kopmuştur. Lehim genişliği 5 mm den sonra 65, 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetinde iyi mukavemet özellikleri göstermiştir.



Şekil 6.87. Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği

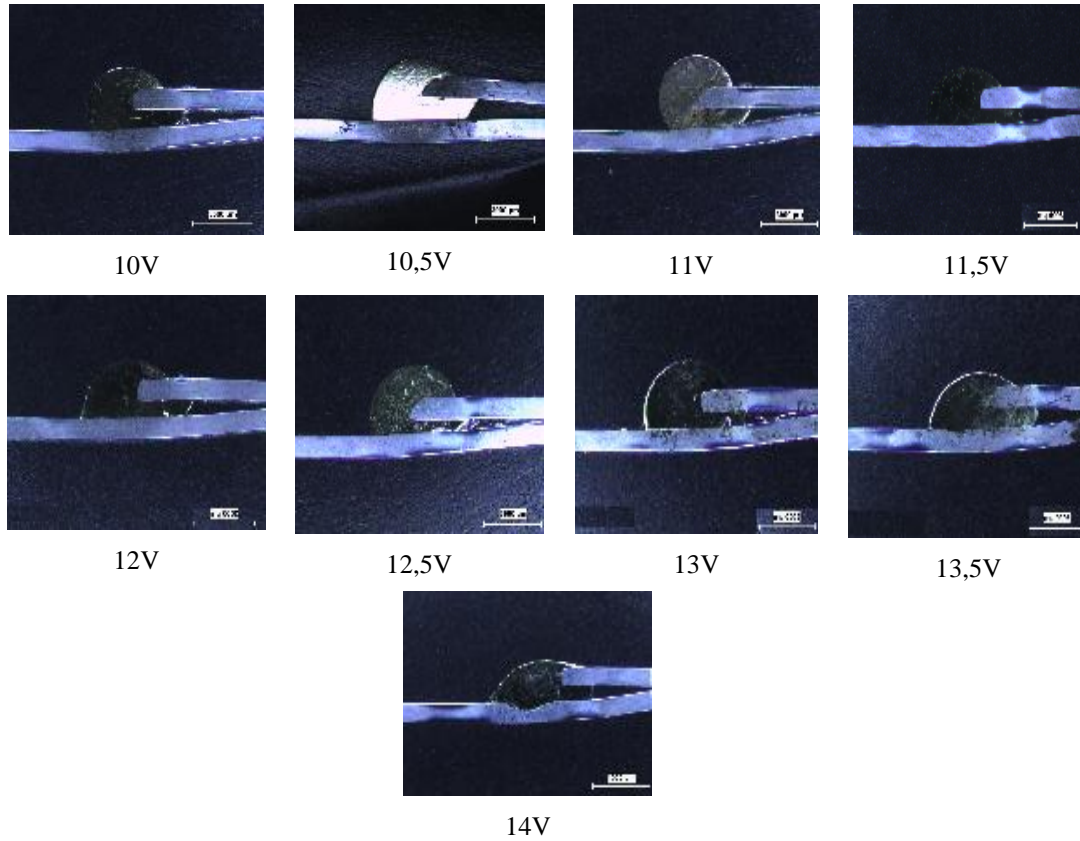
Şekil 6.88'de akım şiddeti ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, akım şiddeti arttıkça lehim yüksekliği düşmektedir. Akım şiddetinin artması ile artan ısı girdisi lehim telinin ıslatma özelliğini arttırmış bu durum lehim kep yüksekliğinin azalmasını sağlamıştır.



Şekil 6.88. Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği

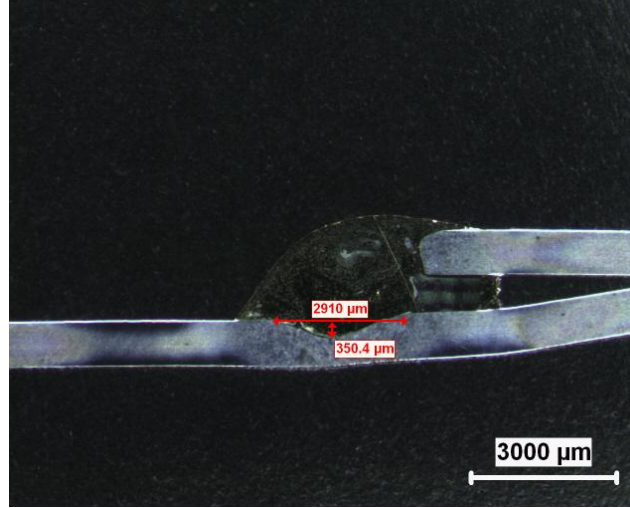
### 6.2.2.2. Lehim ark geriliminin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A olarak belirlenmiş, bu akım şiddetine göre farklı lehim gerilimleri parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.



Şekil 6.89. Farklı lehim gerilimlerinde makro görüntüleri

Lehim gerilimi farklarına göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.89'da verilmektedir. 10, 10.5, 11 ve 11.5V lehim gerilimi uygulanan makro görüntülerindeki lehim ilave telinin nüfuziyetinin düşük olduğu görülmektedir. 12V lehim geriliminde ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 14V lehim gerilimine kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır. Fakat 14V lehim geriliminde ısı girişinin çok fazla olduğu, lehimlenen numunelerde ergimenin ana malzemede gerçekleştiği belirlenmiştir. Ana malzemede meydana gelen ergime Şekil 6.90'da gösterilmektedir.



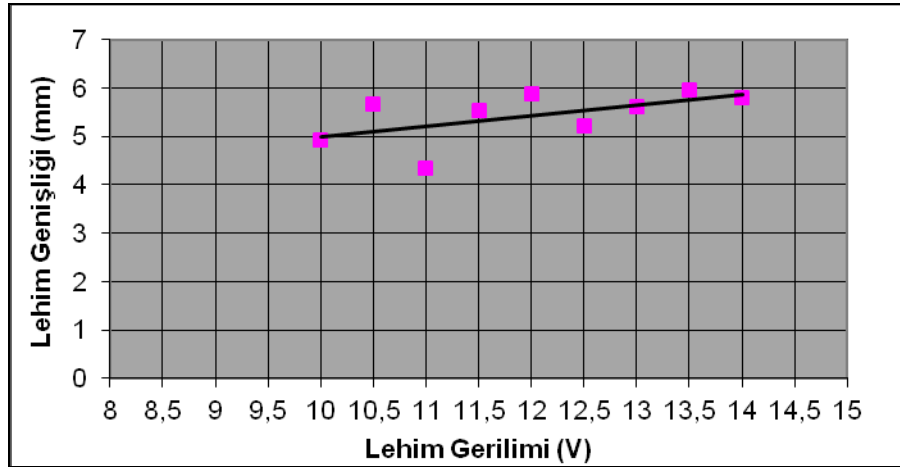
Şekil 6.90. 14V lehim geriliminde ana malzemede oluşan ergime

Farklı lehim gerilimlerinde elde edilen DP 600 sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden, lehim gerilimi ve lehim gerilimine bağlı olarak lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağlantıları incelenmiştir.

Buradaki lehim geometrisi mukavemet ilişkisini incelediğimizde, lehim gerilimleri parametrelerinden anlaşıldığı üzere tüm bağlantılarda kopma noktası, ana malzeme kısmında oluşmuştur.

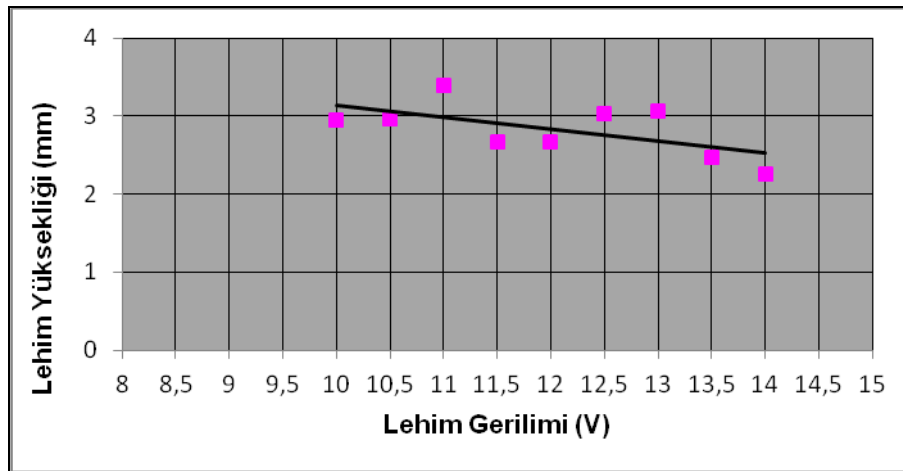
MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim gerilimine bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.91’de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim gerilimi arttıkça lehim kepi genişliği artmaktadır.

Lehim genişliği 10V da 4-5 mm iken 14V da 6 mm olmuştur. Lehim gerilimi lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 12V’daki mukavemet değeri en yüksek mukavemet değeridir. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 5-6 mm aralığındadır.



Şekil 6.91. Farklı lehim gerilimlerinde lehim genişliği grafiği

Şekil 6.92'de lehim gerilimi ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim geriliminin artması sonucu ısı girdisi artmıştır. Artan ısı girdisi, ilave telin ısılatma özelliğini arttırmış ve lehim kep yüksekliğinin azalmasına sebep olmuştur.



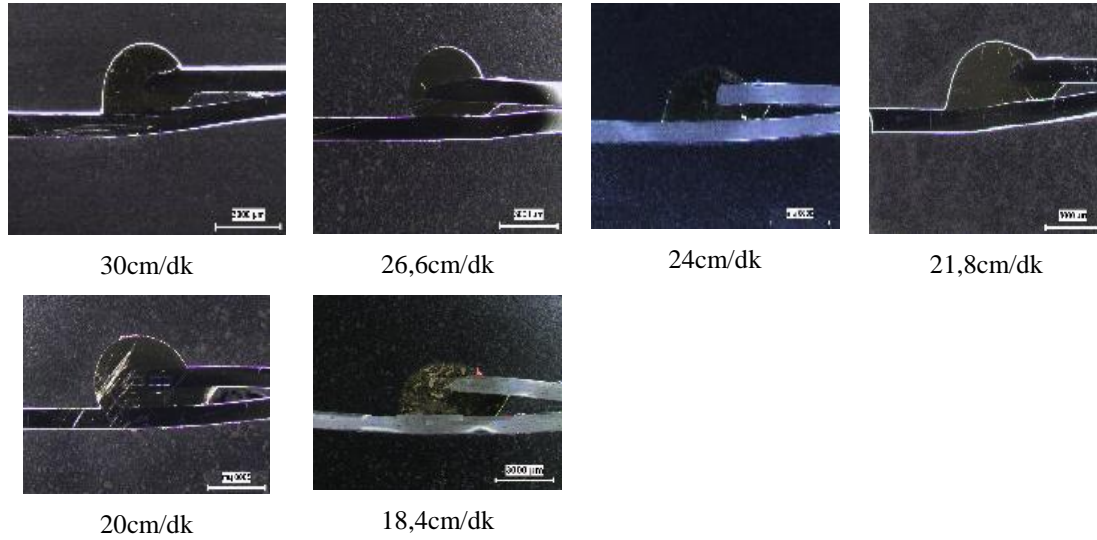
Şekil 6.92. Farklı lehim gerilimlerinde lehim yüksekliği grafiği

### 6.2.2.3. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 12,3V olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim ilerleme hızı parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.



Lehim ilerleme hızı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.93’de verilmektedir. 30 cm/dk lehimleme hızı uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma kabiliyetinin çok düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.93. Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri

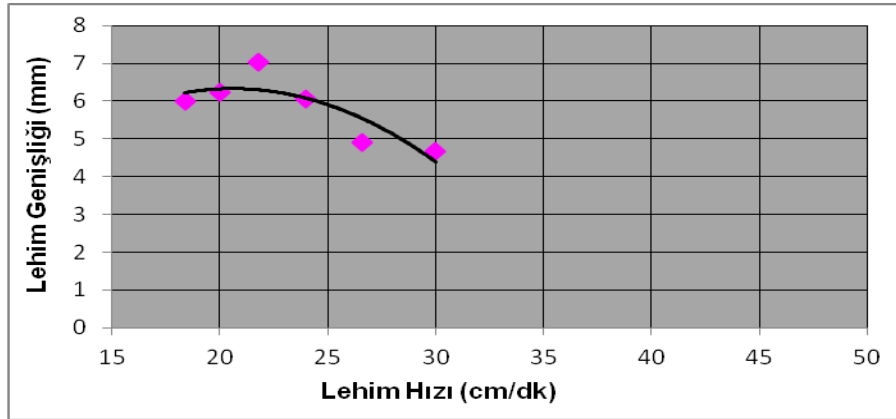
26 cm/dk lehim ilerleme hızında ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 18,4 cm/dk lehim ilerleme hızına kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır.

Farklı lehim ilerleme hızlarında, DP 600 sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden, lehim ilerleme hızı ve lehim ilerleme hızı bağlı olarak lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağlantıları incelenmiştir.

Buradaki lehim geometrisi mukavemet ilişkisini incelediğimizde, 30 cm/dk lehimleme hızında yetersiz ıslatma sonucu 562 MPa gibi düşük bir mukavemet elde edilmiştir. Bu aralıkta kullanılan lehim ilerleme hızı için DP 600 sacının kopma noktasının lehim bölgesinde olmasından dolayı, ıslatmanın uygun olmadığı anlaşılmaktadır. 26 cm/dk daki lehim geometrisinde ıslatma artarak maksimum mukavemet değeri 639 MPa olmuştur. 24 cm/dk lehim ilerleme hızında 635 MPa, 21.8 cm/dk lehim ilerleme hızında 623 MPa, 20 cm/dk lehim ilerleme hızında 626

MPa, 18,4 cm/dk lehim ilerleme hızında 618 MPa olduğu ve çekilen numuneler ana malzemeden koptuğu için buradaki ıslatma açısı verilerinin uygun olduğu görülmektedir. Bu değerlendirmelerden anlaşıldığı üzere lehim ilerleme hızı azaldıkça ısı girdisi artmakta ve artan ısı girdisi ile bağıntılı olarak ilave metalin ıslatma özelliği artmaktadır.

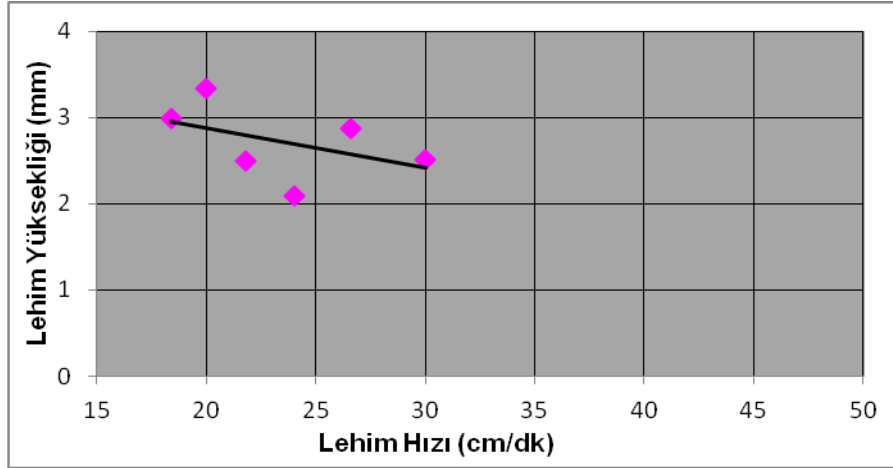
Lehimleme hızı farklarına göre lehimleri uygulanan DP 600 sac malzemelerin makro görüntülerinden, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir. MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim ilerleme hızına bağlı olarak lehim genişliği grafiği Şekil 6.94'de verilmektedir.



Şekil 6.94. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği

Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim ilerleme hızı arttıkça lehim genişliği azalmaktadır. Lehim genişliği 30 cm/dk ve 26,6 cm/dk da 4-5 mm iken 24 cm/dk ve 21,8 cm/dk da 6 mm, 20 cm/dk ve 18,4 cm/dk da 6-7 mm olmuştur. Lehimleme hızı lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 24 cm/dk'daki mukavemet değeri uygundur. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 6 mm aralığındadır.

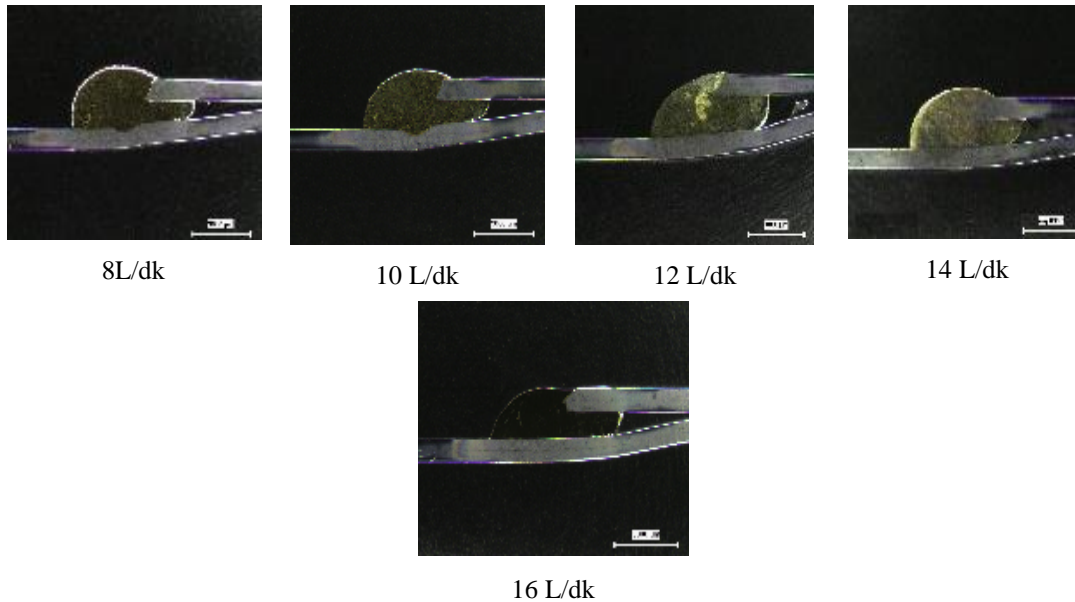
Şekil 6.95'de lehim ilerleme hızı ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehimleme hızının artması sonucu ısı girdisi azaltmıştır. Lehimleme hızı azaldığında ise ana malzemeye tel yığılması artarak lehim kep yüksekliğinin artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 6.95. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği

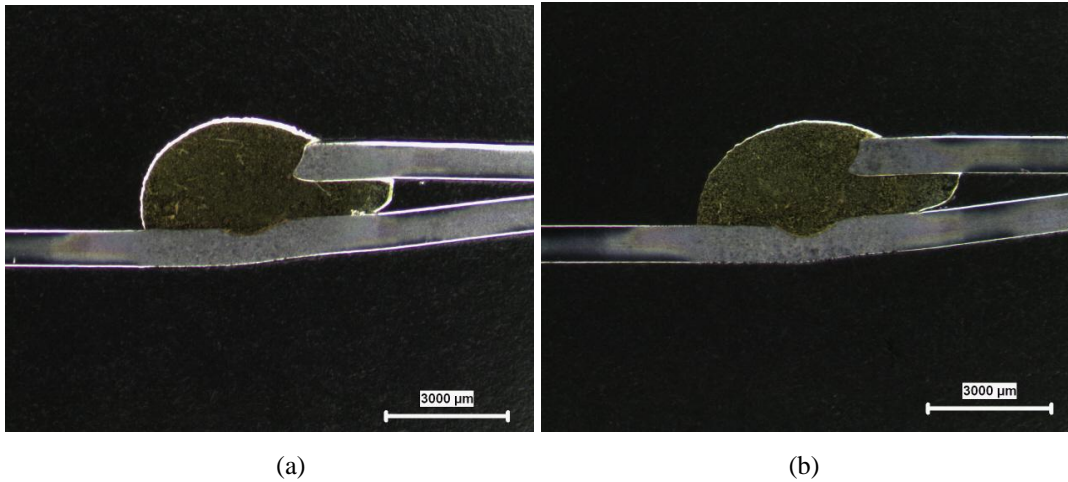
#### 6.2.2.4. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 12.3V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim gaz debisi parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir. Lehim gaz debisi parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.96'da verilmektedir.



Şekil 6.96. Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri

8, 10, 12, 14, 16 L/dk lehim gaz debisi uygulanan makro görüntülerindeki lehim ilave telinin ıslatma özellikleri tüm gaz debisi parametreleri için uygun olduğu görünmektedir. Fakat 8 L/dk ve 10 L/dk gaz debilerinin lehim tatbikleri sırasındaki sıçrama görüldüğünden bu parametrelerin uygun olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca 8 ve 10 L/dk gaz debisinde makro görüntülerinden ısı girdisinin fazla olduğu, lehimlenen numunelerde, ana malzemede ergimenin gerçekleştiği belirlenmiştir. Ana malzemede meydana gelen ergime Şekil 6.97’de gösterilmektedir.

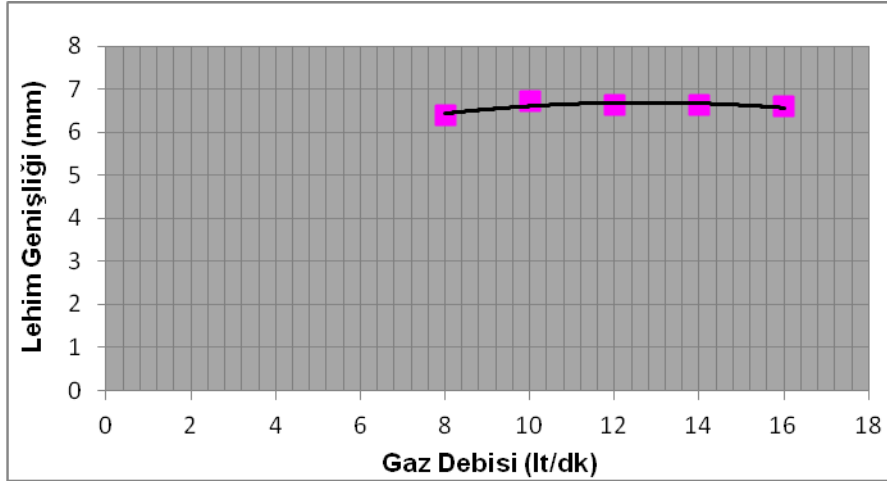


Şekil 6.97. 8 L/dk (a) ve 10 L/dk (b) gaz debisinde ana malzemede oluşan ergime

Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen DP 600 sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden, lehim gaz debisi ve gaz debisine bağlı olarak lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağlantıları incelenmiştir.

Buradaki lehim geometrisi mukavemet ilişkisini incelediğimizde, 8 L/dk gaz debisi uygulanan çekme-makaslama numunesindeki mukavemet değerinin 428 MPa olduğu ve kopmanın lehim bölgesinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. 10, 12, 14, 16 L/dk lehim gaz debisi parametrelerinden anlaşıldığı üzere bağlantıların kopma noktaları, ana malzeme kısmında oluşmuştur.

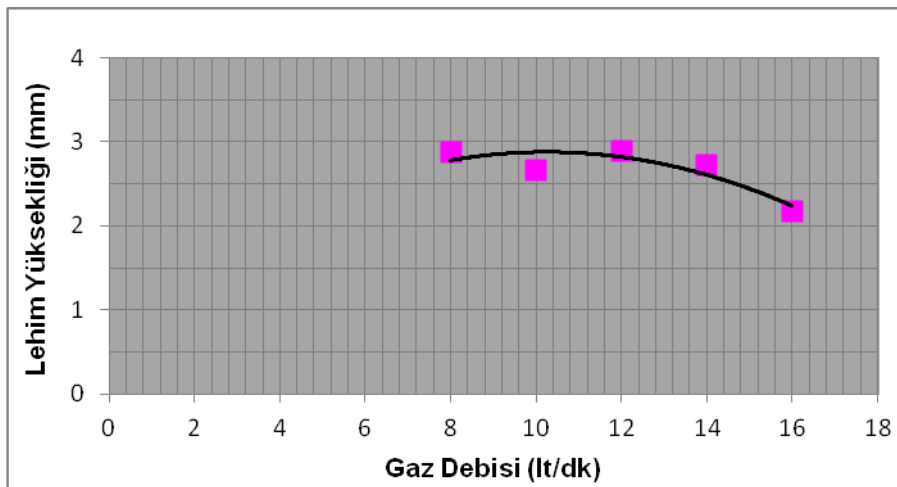
MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim gaz debisine bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.98’de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim gaz debisi arttıkça lehim kepi genişliği artmaktadır.



Şekil 6.98. Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği

Lehim gaz debisi 8 L/dk da 6.383 mm iken 16 L/dk da 6.595 mm olmuştur. Lehim gaz debisi lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 12 L/dk' daki mukavemet değeri en uygun mukavemet değeridir. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 6.637 mm aralığındadır.

Şekil 6.99'da lehim gaz debisi ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim gaz debisinin artması sonucu lehim kepindeki baskı artmıştır. Artan basınç etkisi, ilave telin ıslatma özelliğini arttırmış ve lehim kep yüksekliğinin azalmasına sebep olmuştur.



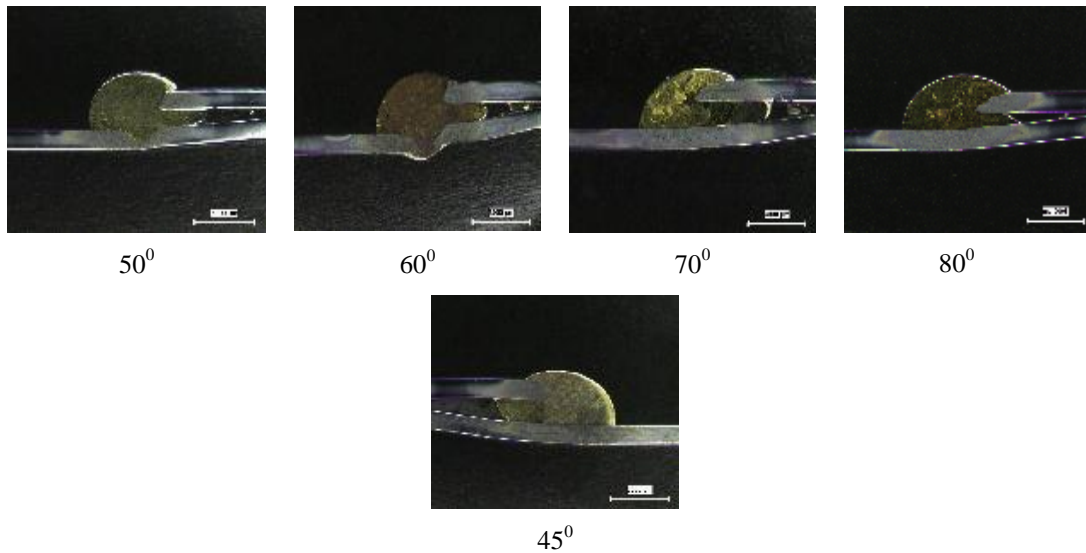
Şekil 6.99. Farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği

### 6.2.2.5. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 12.3V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz debisi 12 L/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim torç açısı debisi parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.

Buradaki ıslatma kabiliyeti mukavemet ilişkisini incelediğimizde,  $50^{\circ}$  lehim torç açısında 622 MPa,  $60^{\circ}$  lehim torç açısında 627 MPa maksimum çekme mukavemeti değerlerine sahiptir ve kopma ana malzemede gerçekleşmiştir.  $70^{\circ}$  torç açısında mukavemet 512 MPa,  $80^{\circ}$  lehim torç açısında mukavemet 556 MPa olarak ölçülmüş ve kopma lehim bölgesinde gerçekleşmiştir. Farklı lehim torç açısı parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek mukavemet değerinin  $45^{\circ}$  torç açısında 635 MPa değerinde olduğu belirlenmiştir.

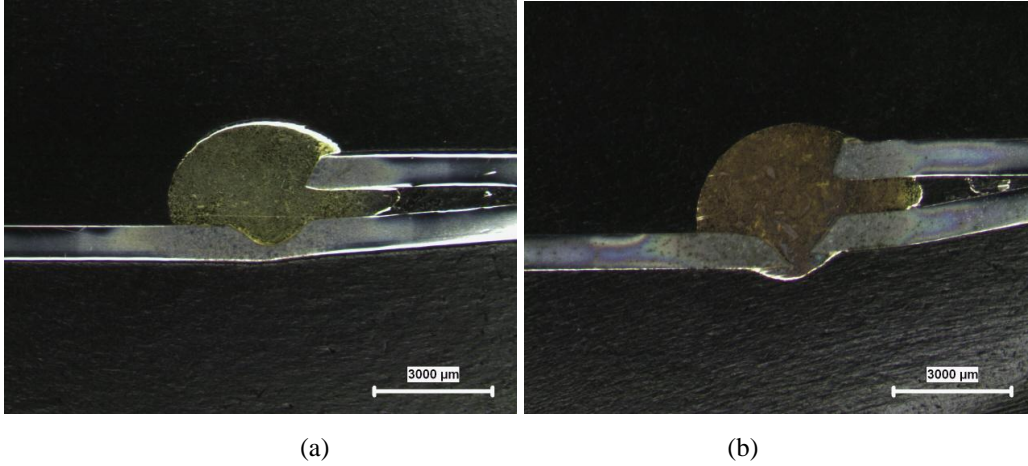
Lehim torç açısı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.100'de verilmektedir.



Şekil 6.100. Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri

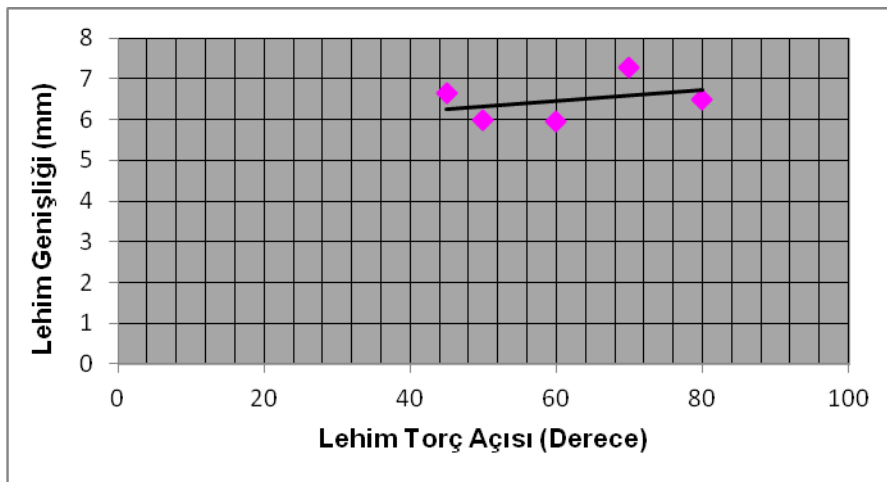
Farklı lehimleme torç açılarının makroyapı fotoğrafları incelendiğinde tüm parametrelerdeki lehimlerin benzerlik gösterdiği görülmektedir.  $45^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$  lehim torç açıları uygulanan makro görüntülerindeki lehim ilave telinin ıslatma

özelliklerinin tüm torç açısı parametreleri için uygun olduğu görünmektedir. Fakat  $50^{\circ}$  ve  $60^{\circ}$  lehim torç açılarında makro görüntülerinden ısı girdisinin fazla olduğu, lehimlenen numunelerde ana malzemede ergimenin meydana geldiği belirlenmiştir. Ana malzemede meydana gelen ergime Şekil 6.101’de gösterilmektedir.



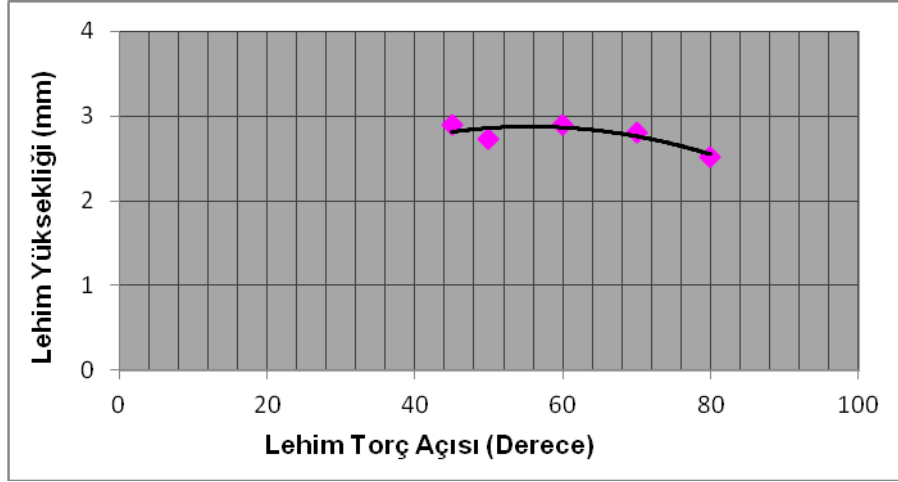
Şekil 6.101.  $50^{\circ}$  (a) ve  $60^{\circ}$  (b) torç açısında ana malzemede oluşan ergime

MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim torç açılarına bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.102’de verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim torç açısı arttıkça lehim kepi genişliği çok az oranda artmaktadır. Grafikteki lehim genişliği 6 - 7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir.



Şekil 6.102. Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği

Şekil 6.103’de lehim torç açısı ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim torç açısının artması lehim kep yüksekliğini çok az oranda düşürmektedir. Torç açısının, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

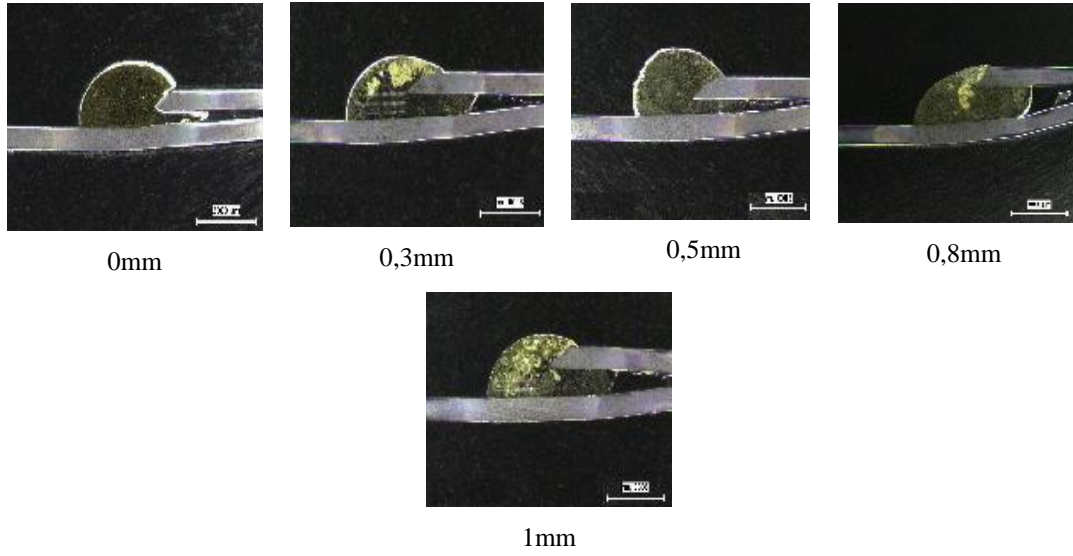


Şekil 6.103. Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği

#### 6.2.2.6. Lehim birleştirme aralığının lehim geometrisine etkisi

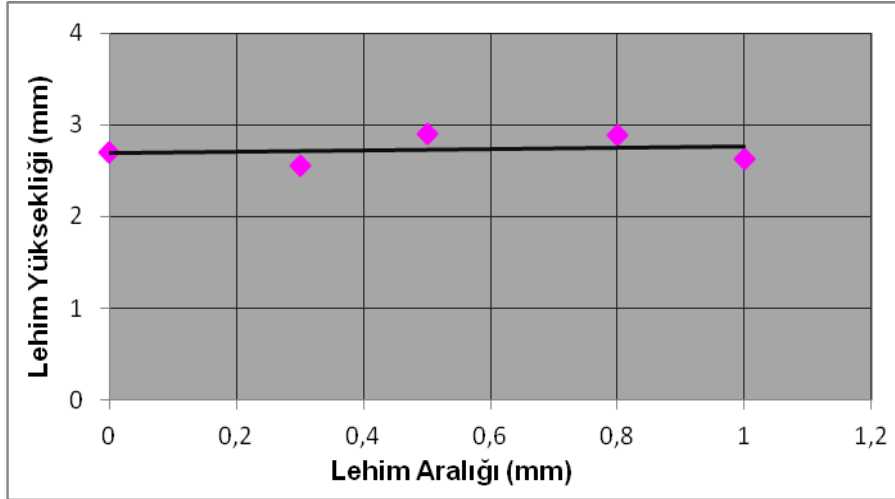
Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden DP 600 saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 12.3V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz debisi 12 L/dk, lehim torç açısı 45<sup>0</sup> olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim aralığı parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir. DP 600 1mm sac için lehim aralıkları 0, 0.3, 0.5, 0.8, 1 mm olarak belirlenmiştir. Lehim aralığı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.104’de verilmektedir.





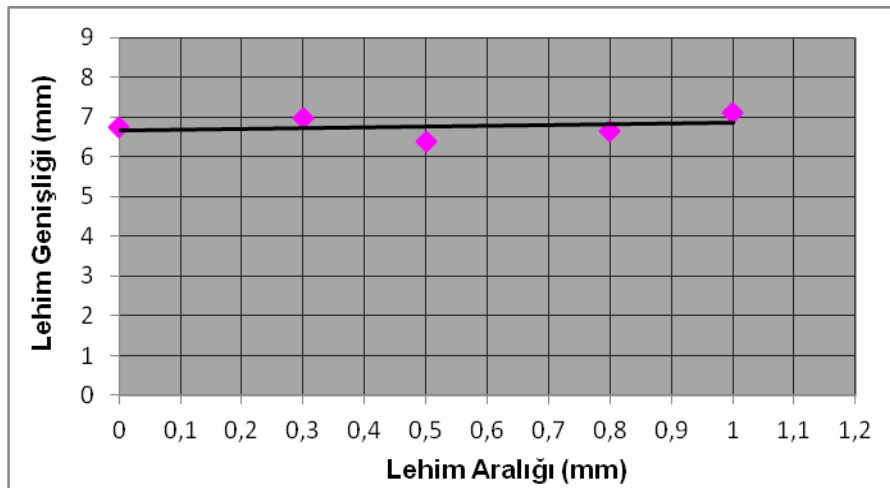
Şekil 6.104. Farklı lehim aralığında makro görüntüleri

Lehimleme aralığı farklarına göre lehim tatbikleri uygulanan DP 600 sac malzemelerin makro görüntülerinden lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir. Buradaki ıslatma kabiliyeti mukavemet ilişkisini incelediğimizde, 0 mm lehim aralığında 626 MPa, 0.3 mm lehim aralığında 612 MPa, 0.5 mm lehim aralığında 645 MPa, 0.8 mm lehim aralığında 609 MPa, 1 mm lehim aralığında 590 MPa maksimum çekme-makaslama verileri elde edilmiştir. Farklı lehim torç açısı parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek mukavemet değerinin 0.5 mm lehim aralığında 645 MPa olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan lehim aralığı parametre çalışmalarında lehim geometrisinin uygunsuz oluşu 1 mm den fazla lehim aralığı kullanılmamasının gerekliliğini göstermiştir. Şekil 6.105’de lehimleme aralığına bağlı olarak lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim aralığının artması lehim kep yüksekliğini çok az oranda düşürmektedir.



Şekil 6.105. Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği

MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim aralıkları farklarına bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği Şekil 6.106'da verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim aralığı arttıkça lehim kepi genişliği neredeyse aynı kalmaktadır. Grafikteki lehim genişliği 6 – 7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir. Lehim aralığının, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

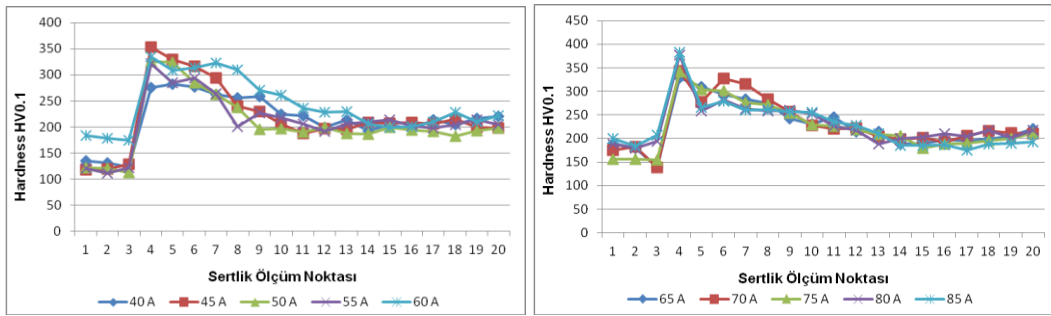


Şekil 6.106. Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği

### 6.2.3. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi

#### 6.2.3.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı akım şiddetlerinde lehim tatbikleri uygulanan DP 600 galvanizli sacı mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.107’de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere 40, 45, 50 ve 55A akım şiddetinde sertliği en düşük olan noktalar, CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



Şekil 6.107. Farklı lehim akım şiddetleri mikrosertlik noktaları

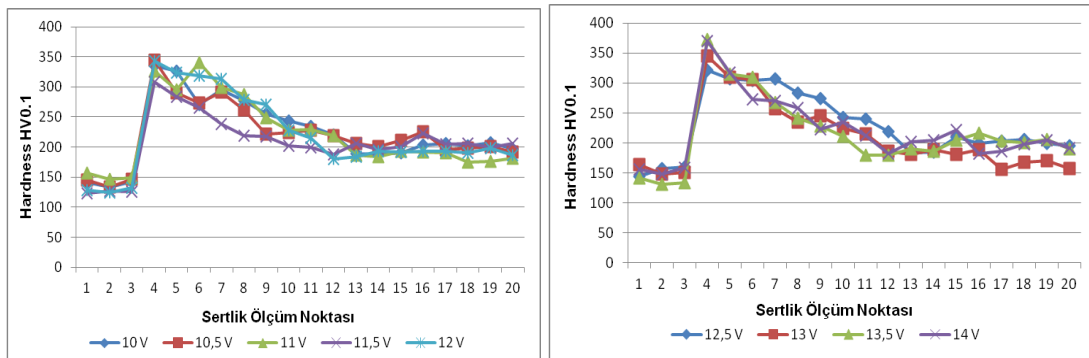
60, 65, 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetlerindeki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik akım şiddetinin artması ile daha da artmaktadır. Lehim bölgesi ise ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmaktadır. 80 ve 85A akım şiddetlerinde lehim bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden daha fazla olduğu sertlik noktalarından anlaşılmaktadır. Burada 65A akım şiddetinde maksimum çekme mukavemeti 609 MPa olarak belirlenmiş ve kopma ana malzemede gerçekleşmiştir. 65A ve sonrasındaki akım şiddetlerinde ısı girdisinin artması ile lehim bölgesinde sertlik ve mukavemet artışı meydana gelmiş ve tüm deney numuneleri ana malzemedan kopmuştur.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, akım şiddeti arttıkça mikrosertlik değeri artmıştır. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmış ve artan ısı girdisi ile ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dentrid oluşumu gerçekleşmektedir.

Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

### 6.2.3.2. Lehim ark geriliminin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim gerilimlerinde lehim tatbikleri uygulanan DP 600 galvanizli sacı mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.108’de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı lehim gerilimlerinde, sertliği düşük olan nokta CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölgedir. Bu bölgeden ITAB bölgesine geçilen noktada mikrosertlik değerlerinde yüksek bir artış görülmekte ve ITAB bölgesinin bittiği noktalar boyunca azalarak ana malzemeye doğru ilerlemektedir.

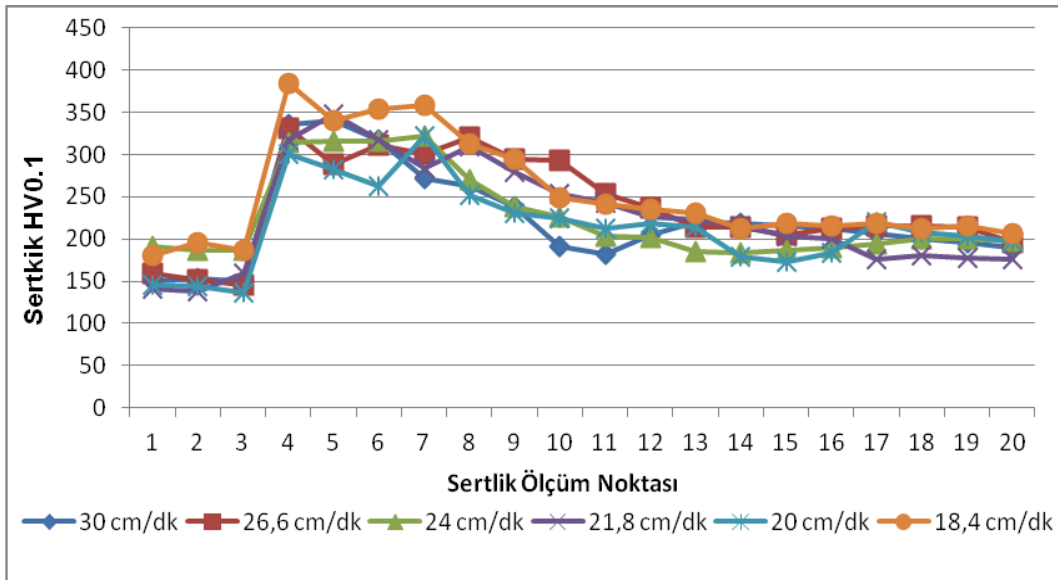


Şekil 6.108. Farklı lehim gerilimleri mikrosertlik noktaları

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gerilimi arttıkça mikrosertlik değeri artmıştır. ITAB bölgesinde 10, 10,5, 11, 11,5, 12, 12,5, 13V lehim gerilimlerinde 350 HV ve altında çıkarken 13,5 ve 14V’da ise 350 HV ve üzerinde olduğu görülmektedir. Lehim gerilimi arttıkça ısı girdisi artmış, bu sebeple ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dentrid oluşumundaki artış artmaktadır. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

### 6.2.3.3. Lehim ilerleme hızının bağlantı sertliğine etkisi

Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim tatbikleri uygulanan DP 600 galvanizli sacı mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.109’da verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı lehim ilerleme hızlarında, sertliği düşük olan nokta CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölgedir. Bu bölgeden ITAB bölgesine geçilen noktada mikrosertlik değerlerinde yüksek bir artış görülmekte ve ITAB bölgesinin bittiği noktalar boyunca azalarak ana malzemeye doğru ilerlemektedir.



Şekil 6.109. Farklı lehim ilerleme hızları mikrosertlik noktaları

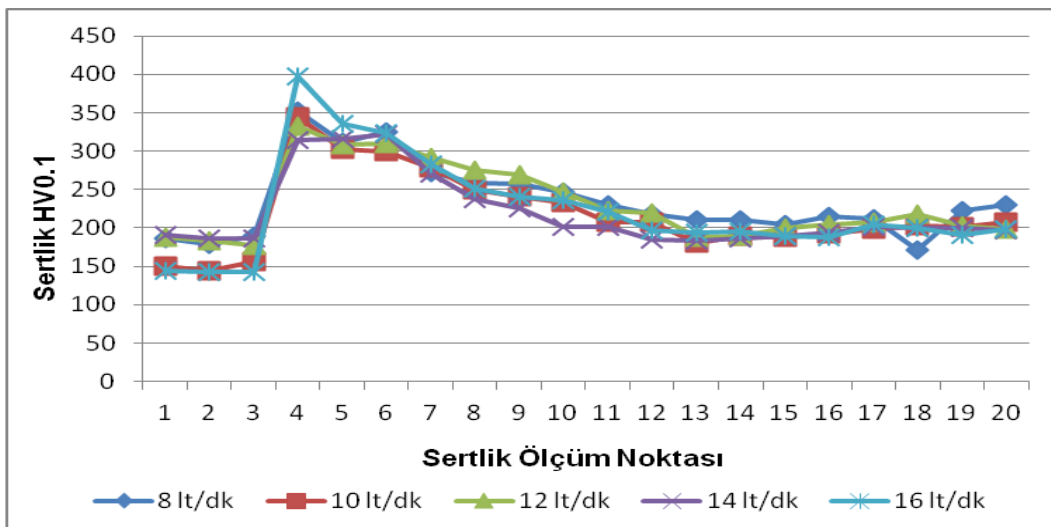
18.4 cm/dk, 20 cm/dk, 21.8 cm/dk, 24 cm/dk, 26 cm/dk, 30 cm/dk ve 34.28 cm/dk ilerleme hızlarındaki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları lehim ilerleme hızının azalması ile daha da artmaktadır. Özellikle 18.4 cm/dk lehim ilerleme hızında sertlik değerinin 350 HV sertlik değerinin üzerine çıktığı görülmekte ve bu ilerleme hızının kullanılması önerilmemektedir. Lehim bölgesi ise ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmaktadır lehim bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden daha fazla olduğu sertlik noktalarından anlaşılmaktadır. 30 cm/dk lehim ilerleme hızı dışında lehimlenen bütün numunelerin ana malzemedeki koptuğu belirlenmiştir.

Bu sebeple 30 cm/dk lehim ilerleme hızının maksimum çekme mukavemeti ile değerlendirildiğinde uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Burada dikkat çekilen durumlardan biride, lehimleme hızı azaldıkça artan ısı girdisi ITAB bölgesinin genişlemesine sebep olmuştur.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehimleme hızı azaldıkça mikrosertlik değeri artmıştır. Lehimleme hızı azaldıkça ısı girdisi artmış ve artan ısı girdisi ile ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dentrid oluşumu gerçekleşmektedir. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

#### 6.2.3.4. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim gaz debilerinde lehim tatbikleri uygulanan DP 600 galvanizli sacı mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.110'da verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı gaz debilerinde sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliği en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.

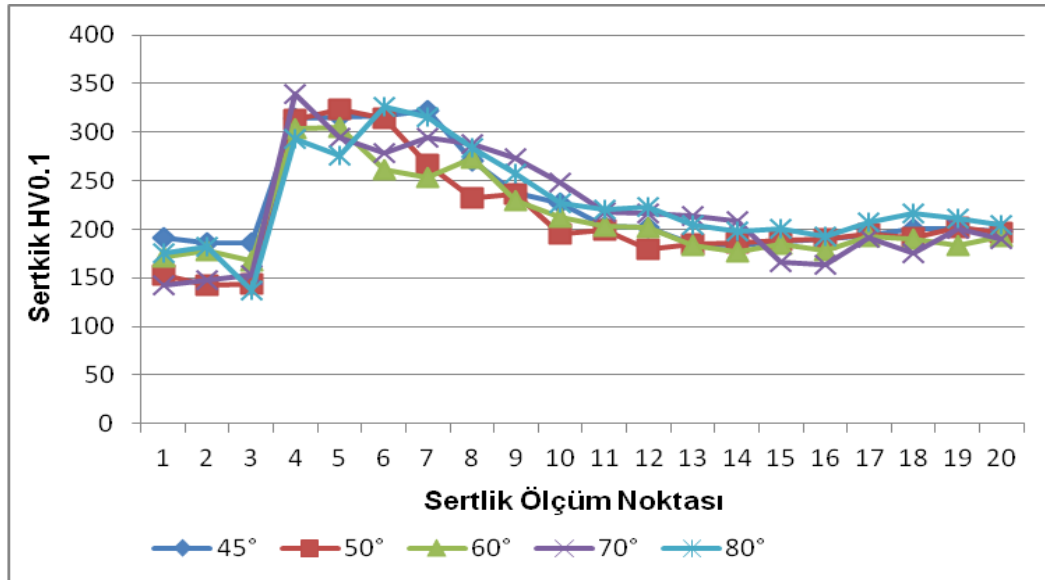


Şekil 6.110. Farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik noktaları

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gaz debisi 8 L/dk, 10 L/dk, 12 L/dk 14 L/dk da ITAB bölgesinin mikrosertlik değerleri 350 HV ve altında çıkarken, 16 L/dk gaz debisinde ITAB bölgesinin mikrosertlik değeri 396 HV çıkmıştır. Bu durumda 16 L/dk gaz debisinin DP 600 çelik sacının MIG-lehimleme birleştirilmesinde uygunluğundan söz edilememektedir. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

### 6.2.3.5. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim torç açılarında lehim tatbikleri uygulanan DP 600 galvanizli sacı mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.111'de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı torç açılarında sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



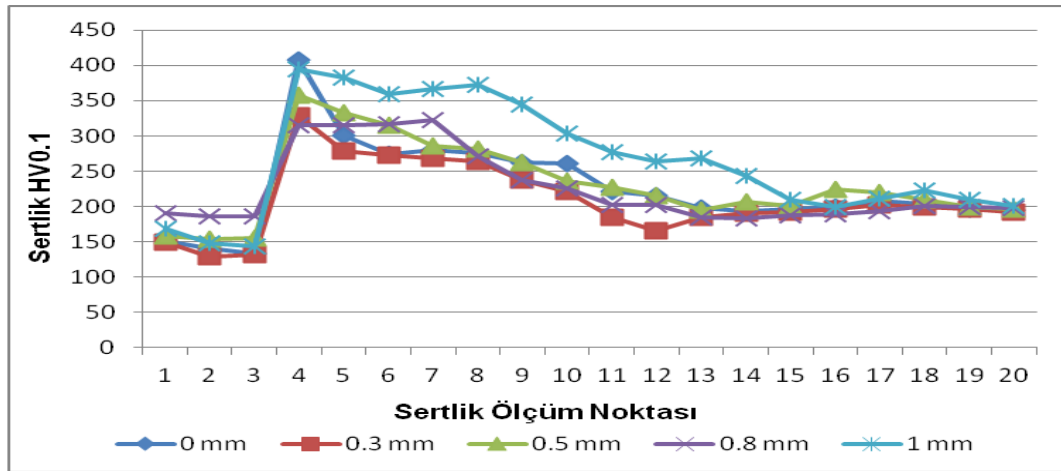
Şekil 6.111. Farklı lehim torç açılarında mikrosertlik noktaları

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm ortalama mikrosertlik değerlerinde, lehim torç açısı  $45^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$  ve  $80^{\circ}$  de 150-200 HV mikrosertlik değeri elde edilmiştir.

Lehim torç açısı farklarının bindirme numunelerde sertlik üzerinde etkisinde,  $45^0$  de üste binen sac numunesinin ITAB bölgesinin genişliğini arttırmış açı değeri yükseldikçe aynı durum altta kalan numune için geçerli olmuştur. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

### 6.2.3.6. Lehim birleştirme aralığının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim aralıklarında lehim tatbikleri uygulanan DP 600 galvanizli sacı mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.112’de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı lehim aralıklarında sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



Şekil 6.112. Farklı lehim aralıkları mikrosertlik noktaları

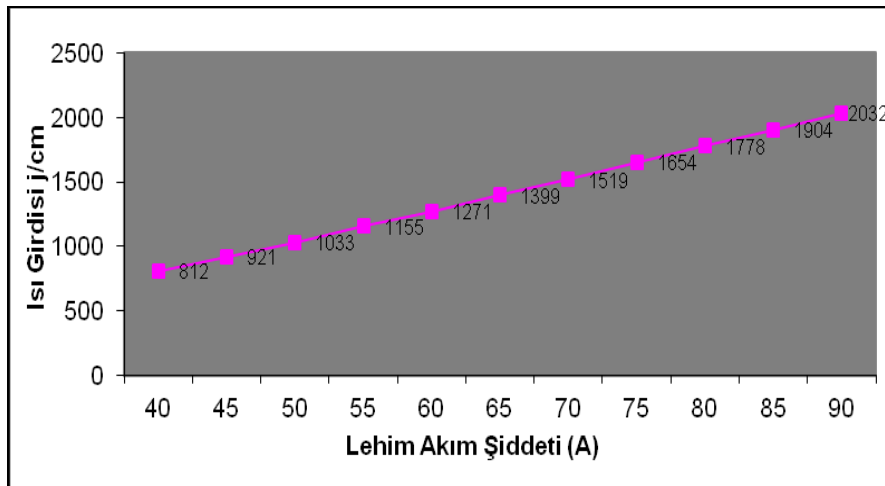
İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan 0 mm, 0.3 mm, 0.5 mm, 0.8 ve 1 mm lehim aralıklarında tüm numunelerin mikrosertlik değerleri kıyaslandığında 0 mm ve 1 mm lehim aralıklarındaki mikrosertlik değerleri 350 HV sertlik değerinin üzerinde olduğu bu aralıktaki parametrelerin DP 600 sacının bindirme birleştirilmesinde uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



## 6.2.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisi ve mikroyapı özelliklerine etkisi

### 6.2.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği Şekil 6.113'de verilmektedir. Burada akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. 90A akım şiddetindeki ısı girdisi 2032 J/cm de ana malzeme delinmeye maruz kalmıştır. Mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 65 ve 70A akım şiddetinde ısı girdileri 1399 ve 1519 J/cm olmuştur.

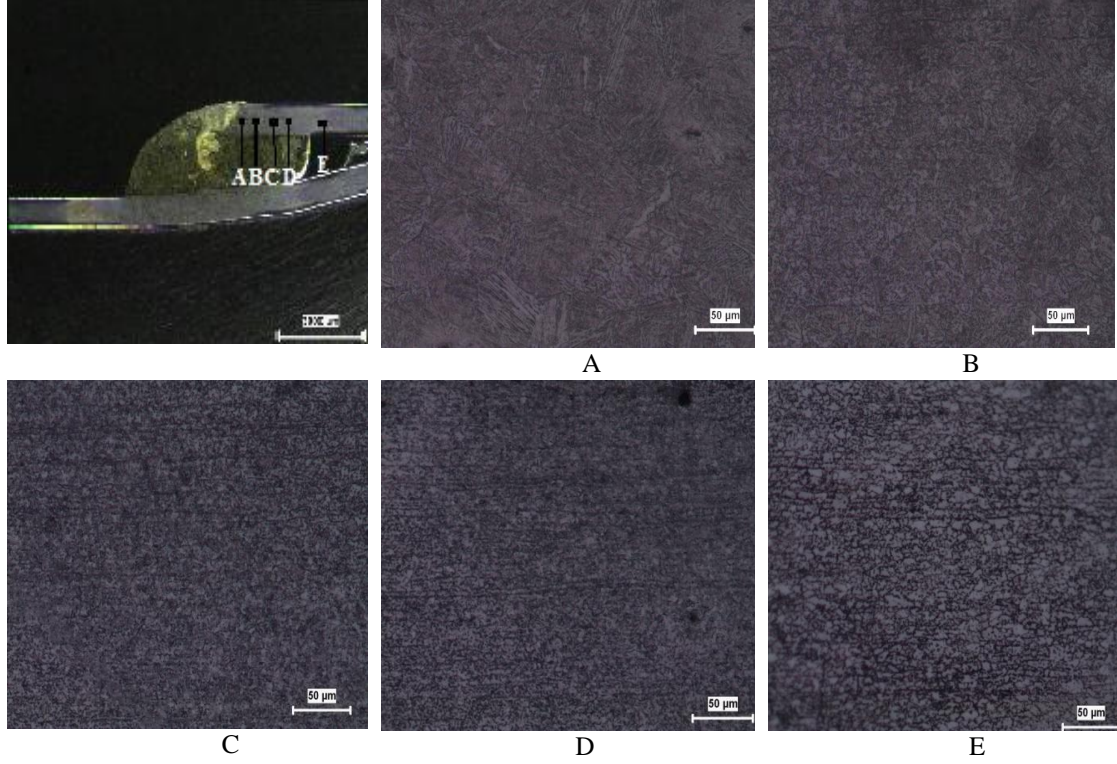


Şekil 6.113. Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği

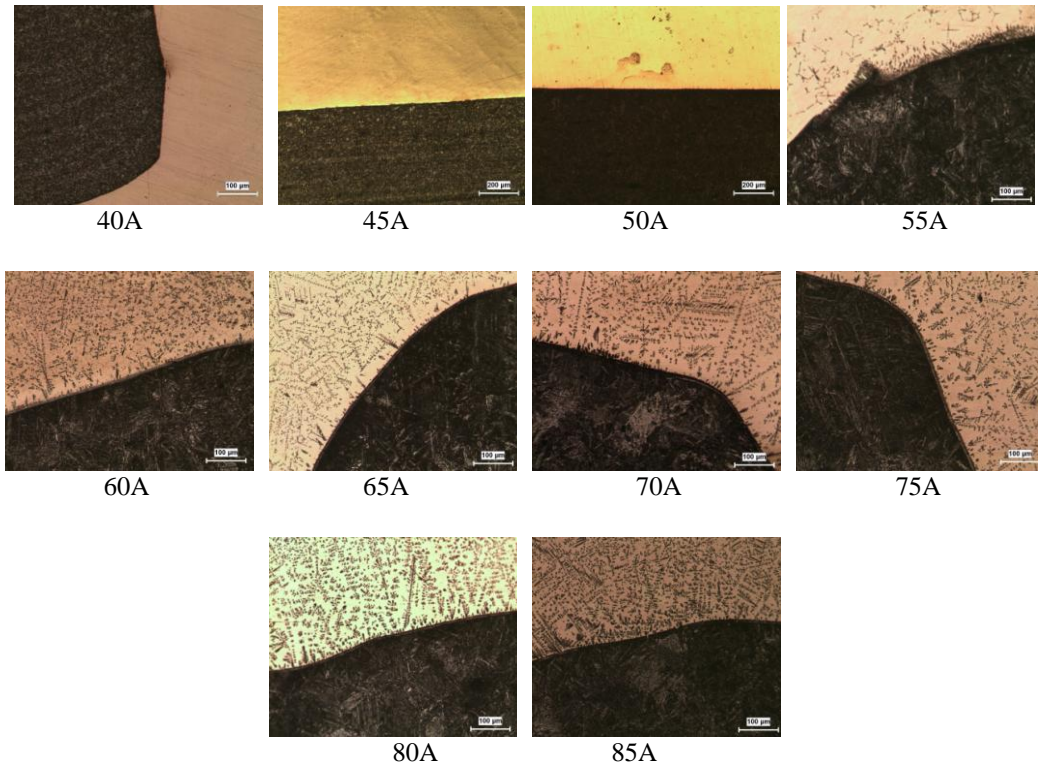
70A akım şiddetinde lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.114'de verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.

Farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.115'de verilmiştir. 40, 45 ve 50A mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü üzere dentridlerin oluşumları çok azdır. 55A akım şiddetine dentridlerin

oluşumu başlamıştır ve akım şiddeti arttıkça, ısı girdisi artmış ve dendritlerin oluşumları artmıştır.

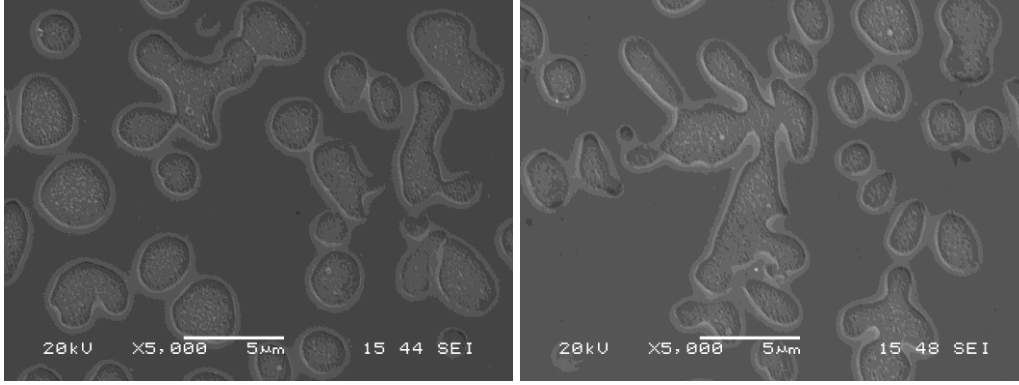


Şekil 6.114. 70A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri



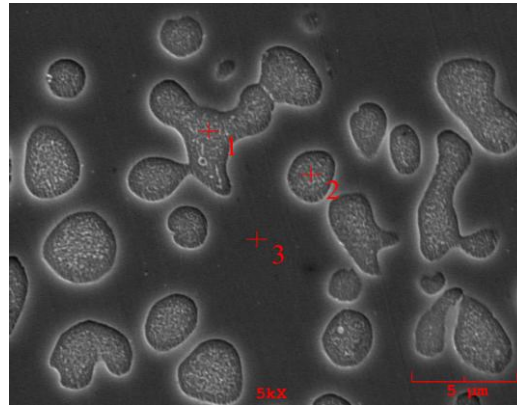
Şekil 6.115. Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

70A akım şiddetinde lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.116'da verilmiştir. Dendridlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.116. 70A akım şiddetinde SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dendrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.117'de verilmiştir. Lehim bölgesinin içerisinde oluşan dendridler üzerinden (1,2) ve lehim bölgesinden (3) elementer analizler alınmıştır.

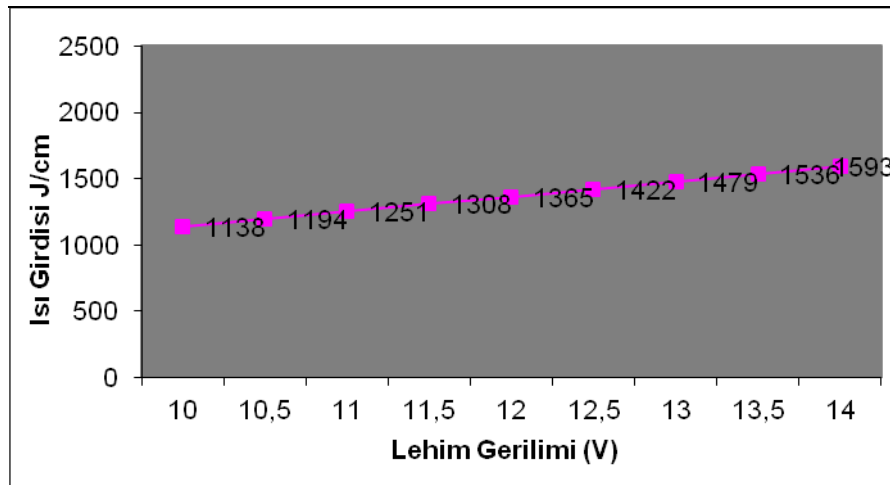


Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	8.932	0.235	0.232	0.438	75.196	14.360	0.608
2	9.933	0.425	0.347	0.558	74.406	13.466	0.865
3	9.619	0.741	0.399	0.579	12.706	75.259	0.181

Şekil 6.117. 70A akım şiddetinde EDS analizi

### 6.2.4.2. Lehim ark geriliminin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

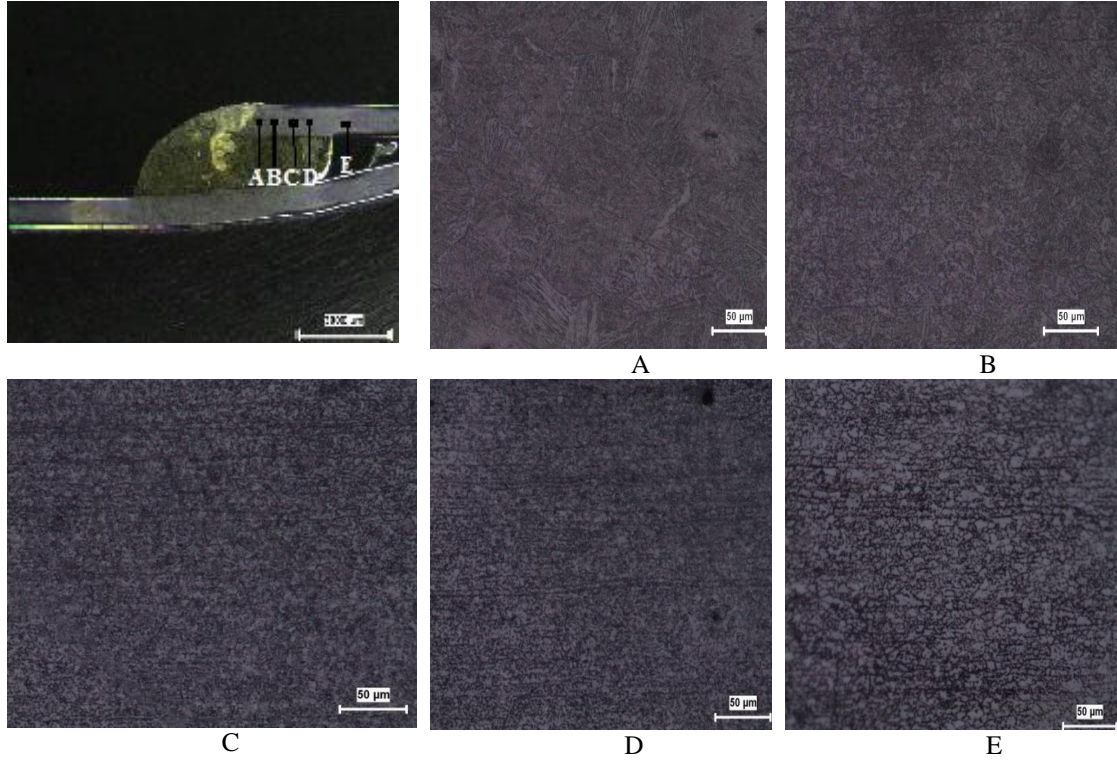
Farklı lehim gerilimlerinde lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği Şekil 6.118’de verilmektedir. Burada lehim gerilimi arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. En yüksek lehim gerilimindeki ısı girdisi 1593 J/cm olurken, mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 12V ve 12.5V lehim gerilimlerinde ısı girdileri 1308 ve 1365 J/cm olmuştur.



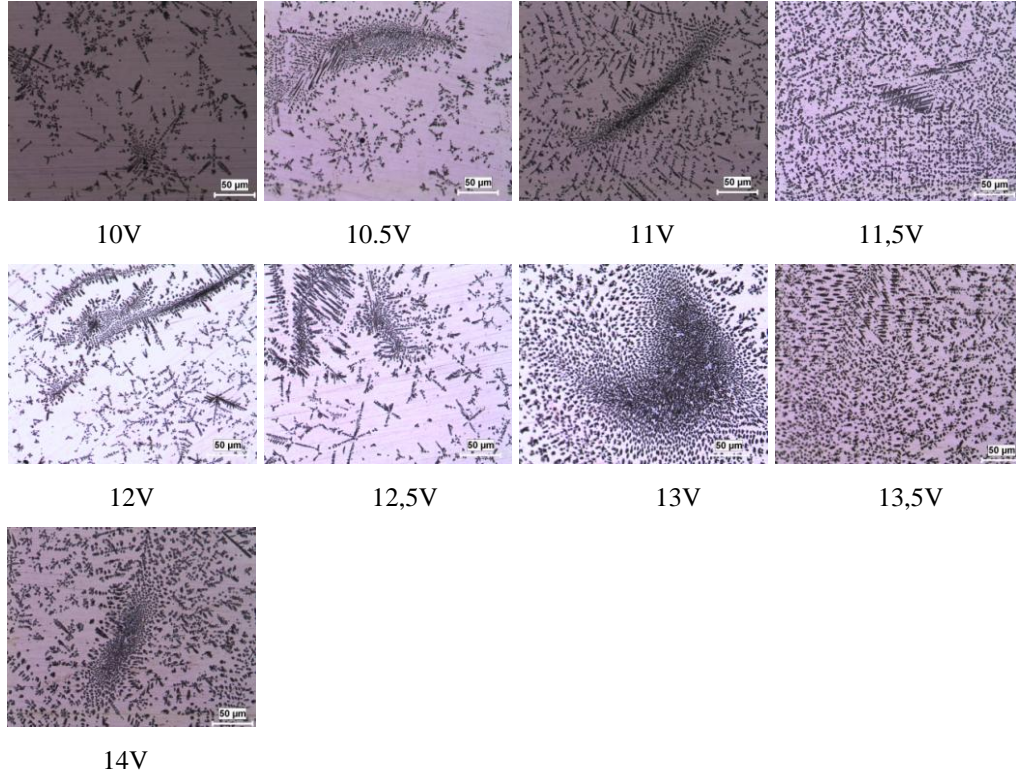
Şekil 6.118. Farklı lehim gerilimlerinde ısı girdisi grafiği

12V lehim geriliminde lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.119’da verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.

Farklı lehim gerilimlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.120’de verilmiştir. Lehim gerilimi arttıkça dendritlerin oluşumları artmıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değerleri 65-70A olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır. Fakat lehim geriliminin artışı da bu dendrit oluşma miktarını arttırmıştır. Dendritlerin artması mikrosertlik değerlerini de arttırmaktadır.

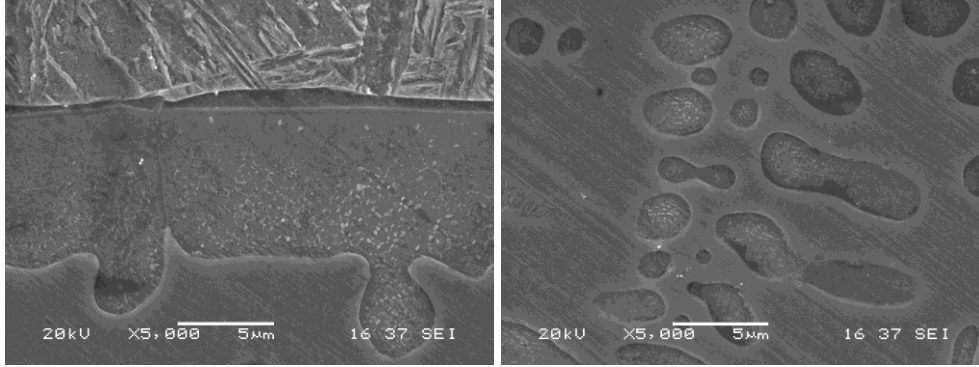


Şekil 6.119. 12V lehim geriliminde mikroyapı görüntüleri



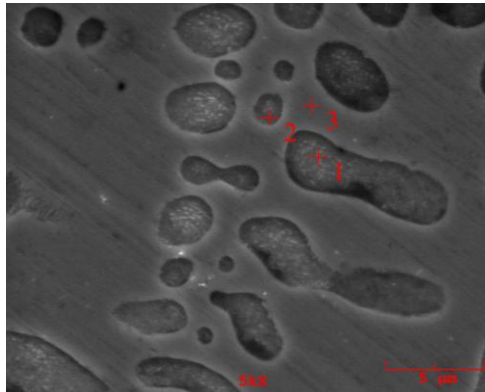
Şekil 6.120. Farklı lehim gerilimlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

12V lehim gerilimi, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.121’de verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.121. 12V lehim geriliminde SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.122’de verilmiştir. Lehim bölgesinin içinde dallanan dendritler üzerinden (1,2) ve lehim bölgesinden EDS analizleri alınmıştır.

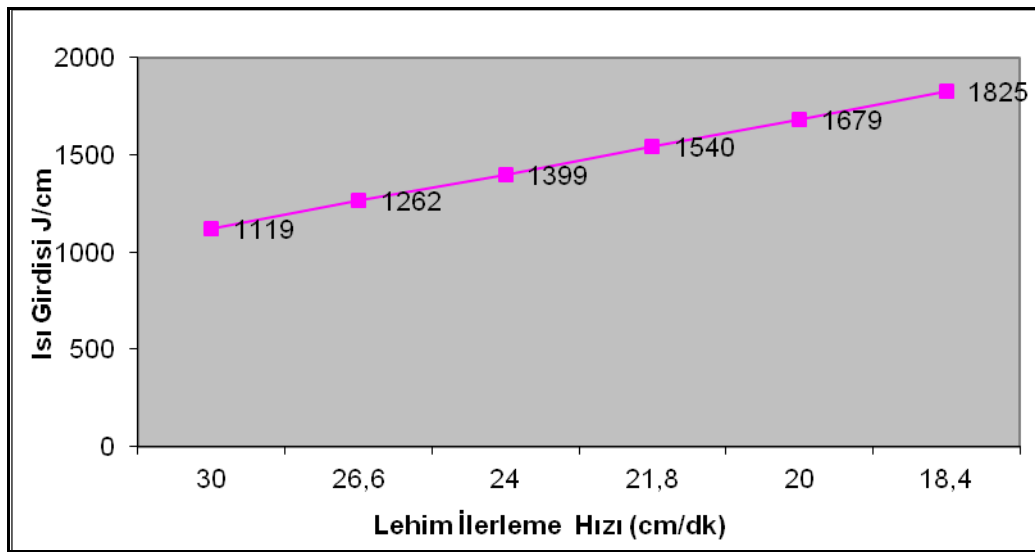


Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	7.495	-	-	-	79.933	12.572	-
2	8.629	0.707	-	-	54.884	35.781	-
3	9.523	-	-	-	6.678	83.799	-

Şekil 6.122. 12V lehim geriliminde EDS analizi

### 6.2.4.3. Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği Şekil 6.123’de verilmektedir. Burada lehim ilerleme hızı azaldıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. En düşük lehim ilerleme hızında ısı girdisi 1825 J/cm olurken, mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 26.6 cm/dk ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarında ısı girdileri 1262 ve 1399 J/cm olmuştur.

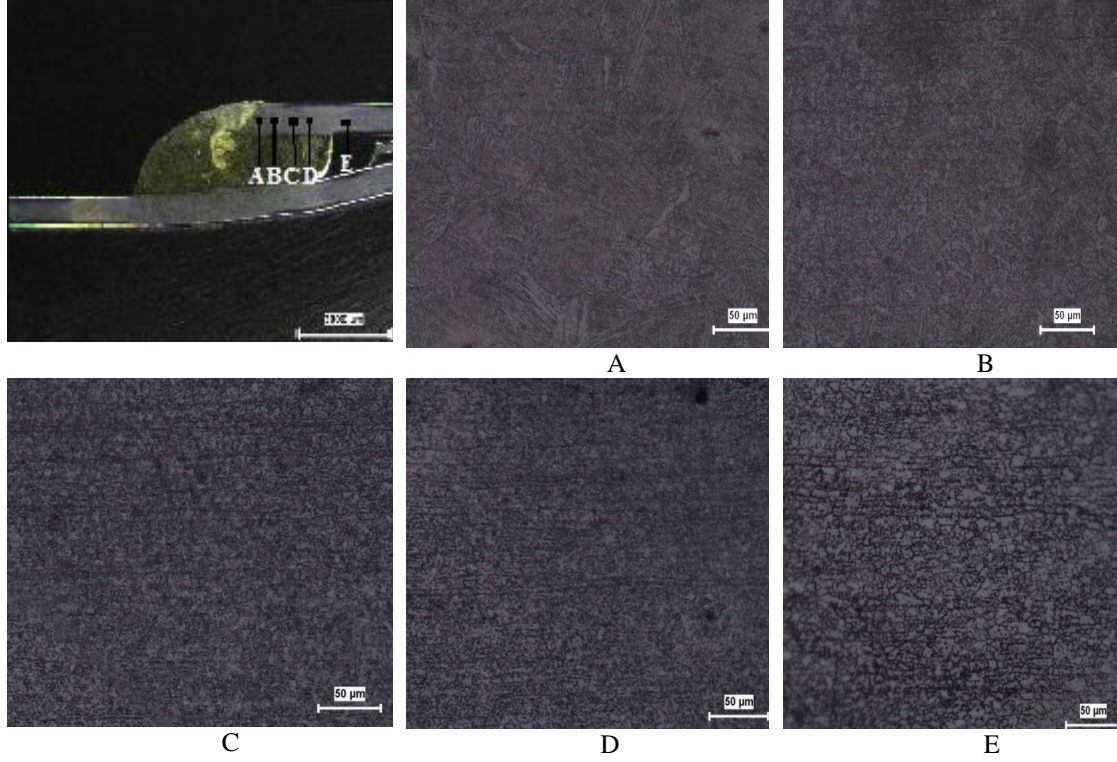


Şekil 6.123. Farklı lehim ilerleme hızlarında ısı girdisi grafiği

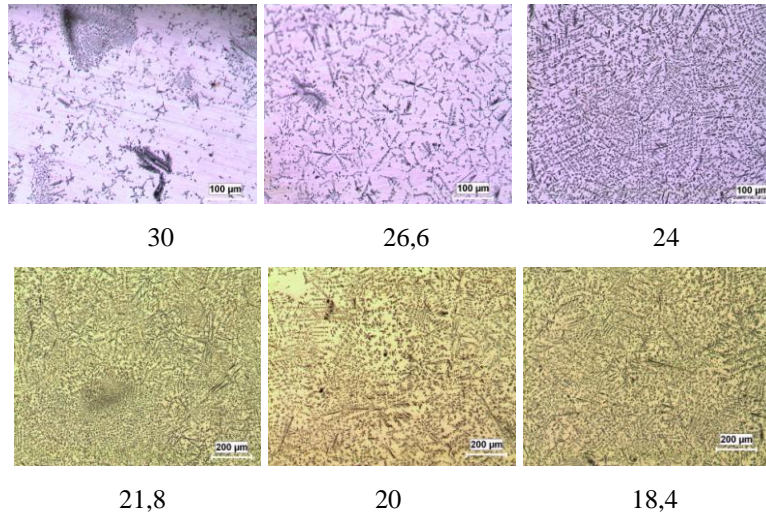
24 cm/dk lehim ilerleme hızında lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.124’de verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.

Farklı lehim ilerleme hızlarında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.125’de verilmiştir. Lehim ilerleme hızı arttıkça dendritlerin oluşumları azalmıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır. Fakat lehim ilerleme hızındaki azalma

burada dentrid oluşma miktarını arttırmıştır. Dentridlerin artması mikrosertlik değerlerini de arttırmaktadır.



şekil 6.124. 24 cm/dk lehim ilerleme hızında mikroyapı görüntüleri

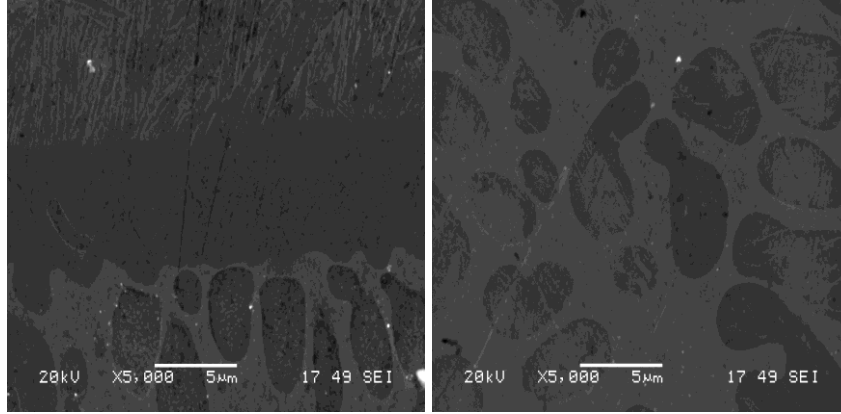


şekil 6.125. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

18,4 cm/dk lehim ilerleme hızı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri şekil 6.126'da verilmiştir. Lehimleme geręekleřirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme

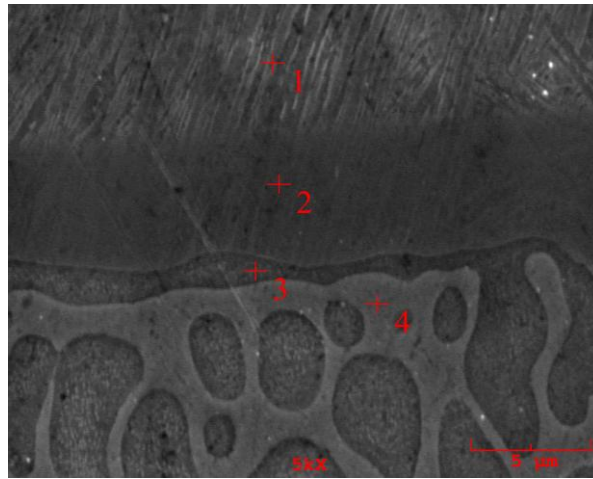


yüzeyinden CuAl8 bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dentridlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.126. 18,4 cm/dk lehim ilerleme hızında SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dentrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.127’de verilmiştir. Ana malzeme üzerinden (1,2), ara bölge (3) ve CuAl8 ilave teli bölgesinin içerinden (4) elementer analizler alınmıştır.



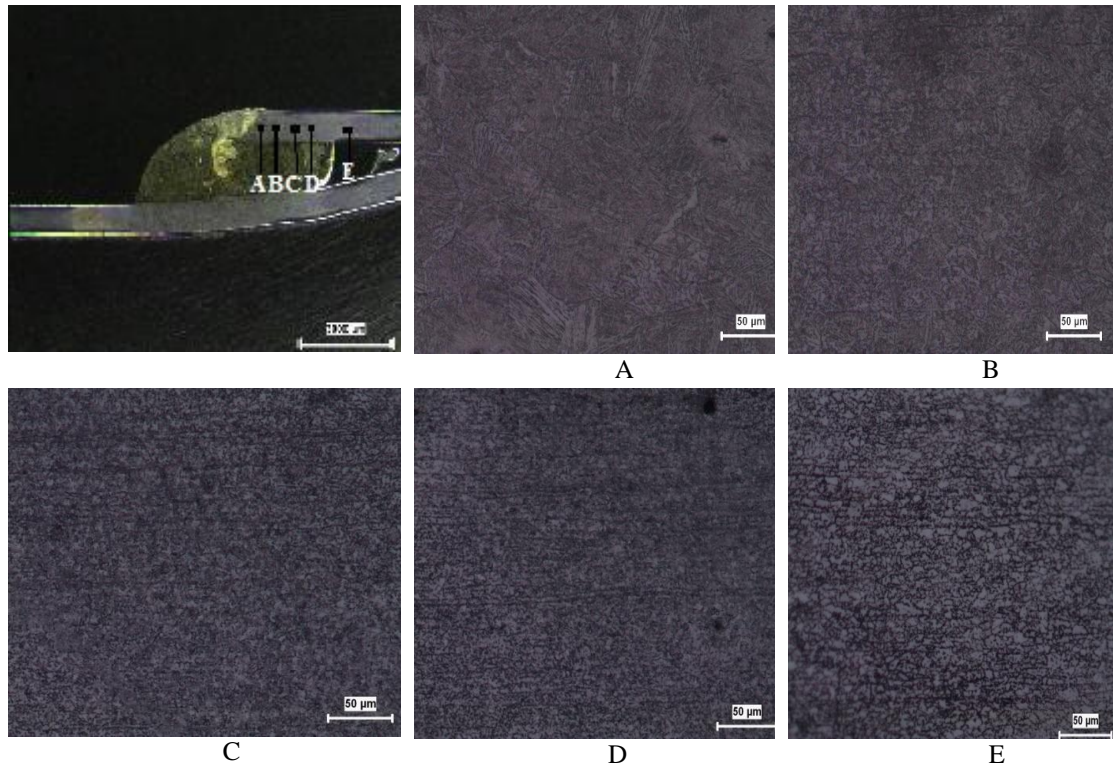
Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	0.545	0.657	0.215	0.989	92.819	1.990	0.795
2	2.738	0.557	0.461	0.328	84.96	8.106	0.315
3	4.617	0.335	0.643	0.510	79.800	9.599	0.667
4	5.613	0.097	0.362	0.826	9.937	79.356	0.107

Şekil 6.127. 18,4 cm/dk lehim gaz debisinde EDS analizi

#### 6.2.4.4. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

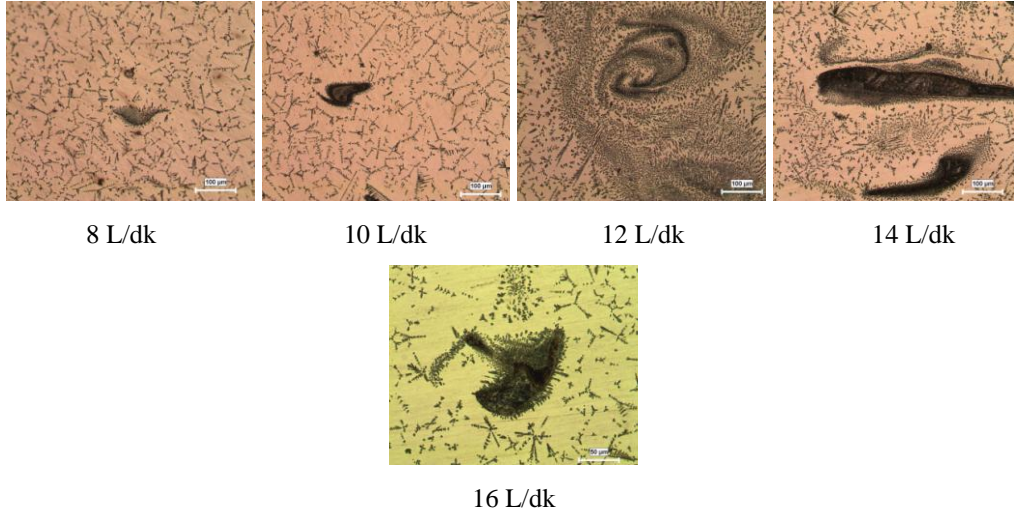
Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantının ısı girdileri 1399 J/cm olarak hesaplanmıştır.

14 L/dk lehim gaz debisinde lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.128’de verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



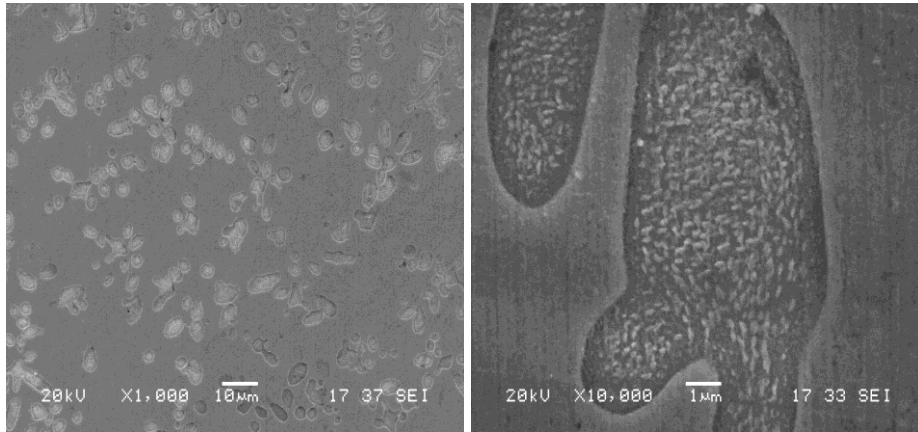
Şekil 6.128. 14 L/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri

Farklı lehim gaz debisinde CuAl18 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.129’da verilmiştir. Lehim gaz debisi arttıkça dendritlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A, lehim gerilimi 12,3V ve lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.



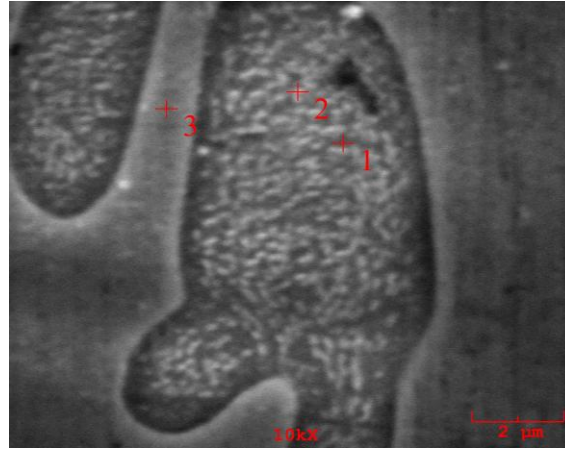
Şekil 6.129. Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

14 L/dk lehim gaz debisi, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.130'da verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.130. 14 L/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.131'de verilmiştir. Lehim bölgesinin içerisinde oluşan dendrit üzerinden (1,2) ve lehim bölgesinden (3) elementer analizler alınmıştır.



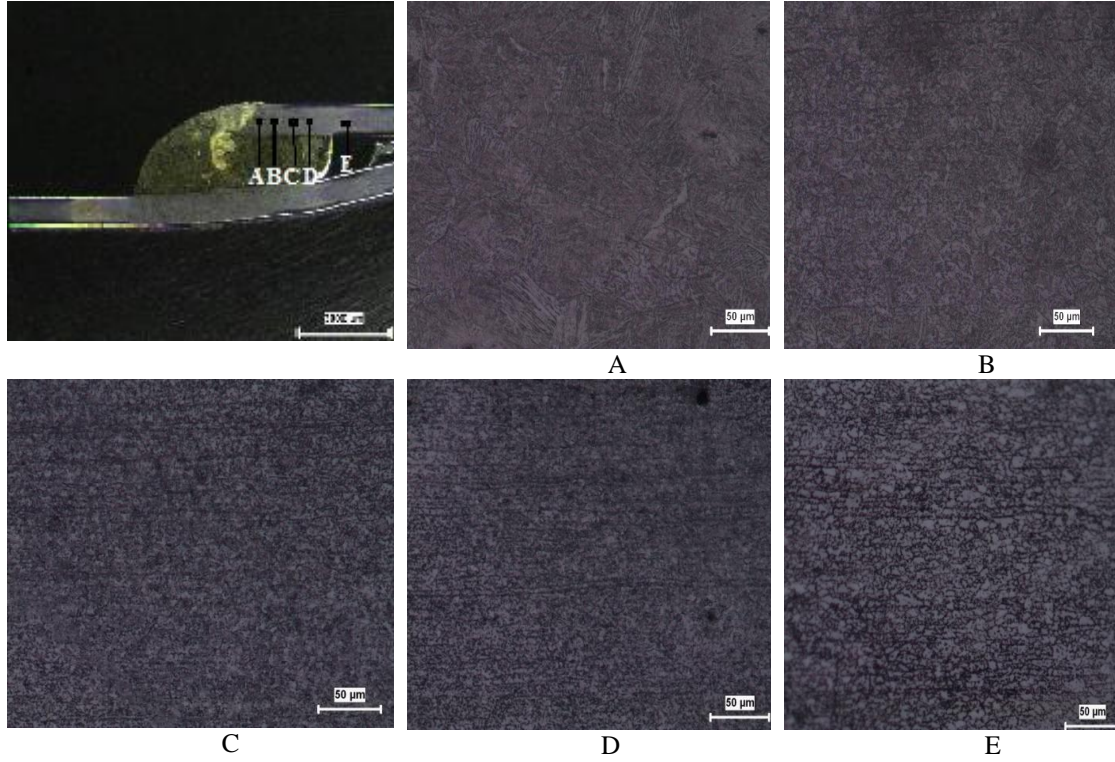
Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	7.043	-	-	-	81.091	11.866	-
2	6.874	-	-	-	81.785	11.341	-
3	9.084	-	-	-	10.691	80.226	-

Şekil 6.131. 14 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi

#### 6.2.4.5. Lehim torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

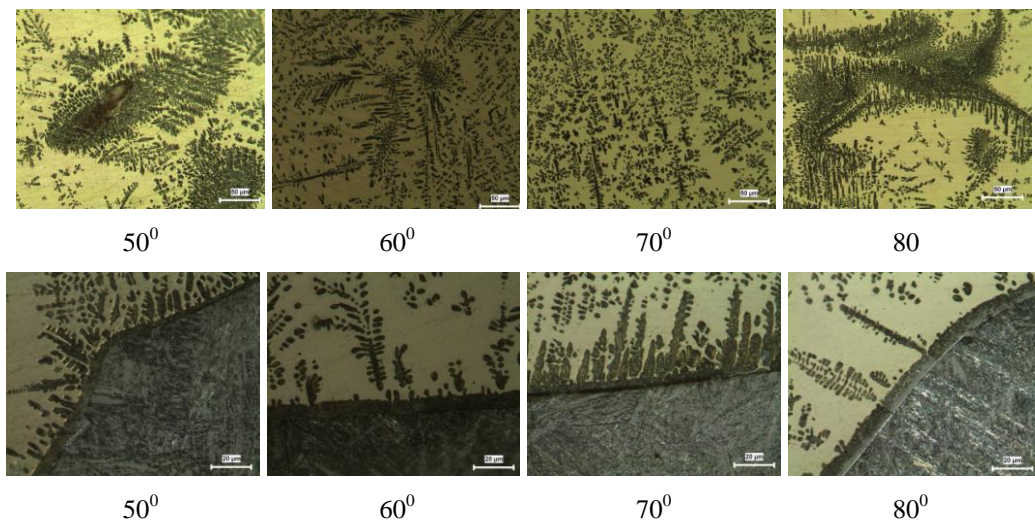
Farklı lehim torç açılarında elde edilen bağlantının ısı girdileri 1399 J/cm olarak hesaplanmıştır. Fakat torç açısı sertlik dağılımları incelendiğinde, sertlik değişimindeki farkların, açı değeri yükseldikçe ısı girdisi dağılımının değiştiği ve bu duruma bağlı olarak ısı girdisinin arttığı düşünülmektedir.

80<sup>0</sup> lehim torç açısında lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.132’de verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



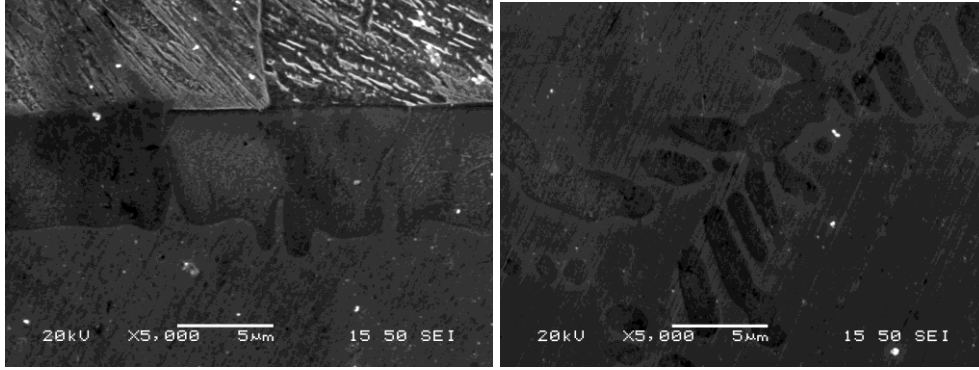
Şekil 6.132. 80<sup>0</sup> lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri

Farklı lehim torç açısında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.133’de verilmiştir. Lehim torç açısı arttıkça dendritlerin oluşumlarında yukarıda bahsettiğimiz ısı girdisi dağılım farkından dolayı en yoğun dendrit oluşumunun, 80<sup>0</sup> torç açısında olacağı düşünülmektedir.



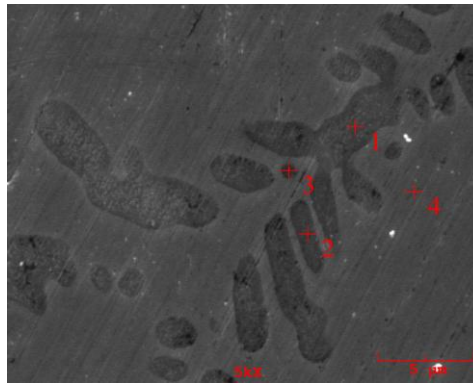
Şekil 6.133. Farklı torç açılarında lehim bölgesi ve ara bölge mikroyapı görüntüleri

80° lehim torç açısı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.134'de verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dentridlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımları yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.134. 80° torç açısında SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan ve ana malzemeden lehim bölgesine uzanan dentrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.135'de verilmiştir. Bakır bölgesinin içerisinde oluşan dentridler üzerinden (1,2,3), lehim bölgesinden (4) elementer analizler alınmıştır.



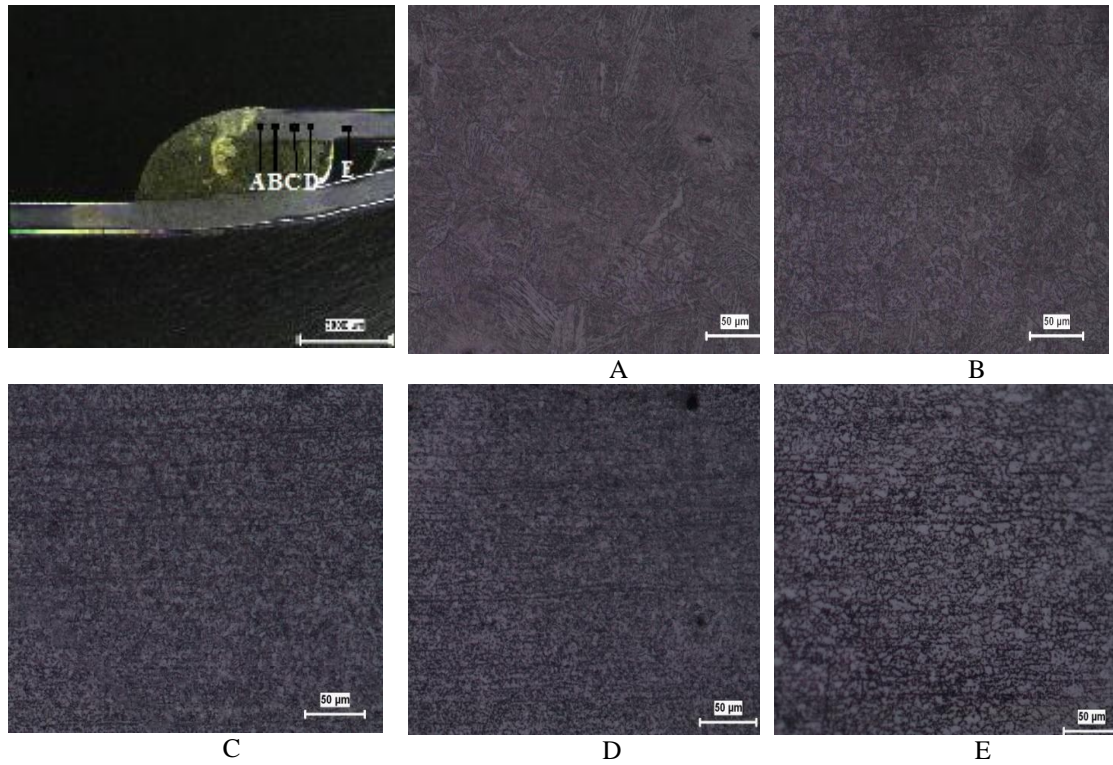
Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	9.343	0.640	0.376	0.332	74.143	11.197	0.739
2	8.317	0.628	0.461	-	71.278	16.314	-
3	9.412	0.780	-	-	36.625	50.209	0.274
4	8.696	0.335	0.143	0.304	5.503	78.789	0.546

Şekil 6.135. 80° torç açısında lehim bölgesi EDS analizi

#### 6.2.4.6. Lehim birleştirme aralığının ısı girdisi ve mikroyapı özelliklerine etkisi

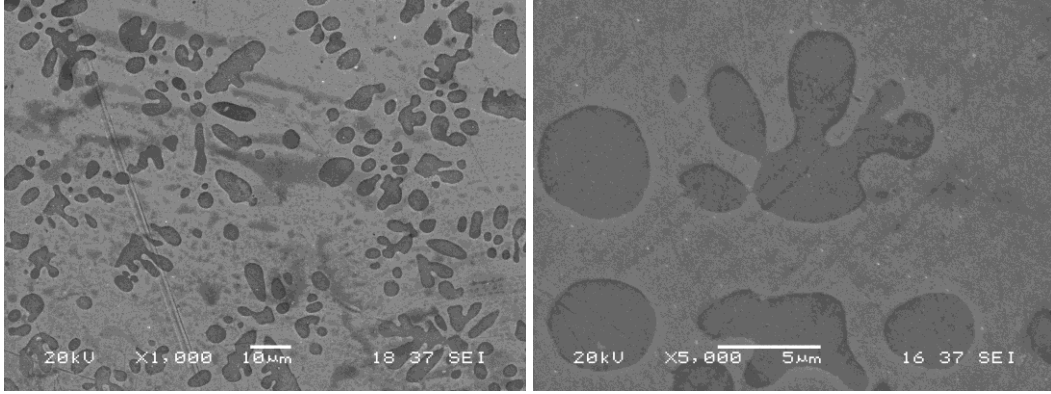
Farklı lehim aralıklarında lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri her lehim aralığı farkı için 1399 J/cm olarak hesaplanmaktadır.

0.5 mm lehim aralığında lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 6.136'da verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



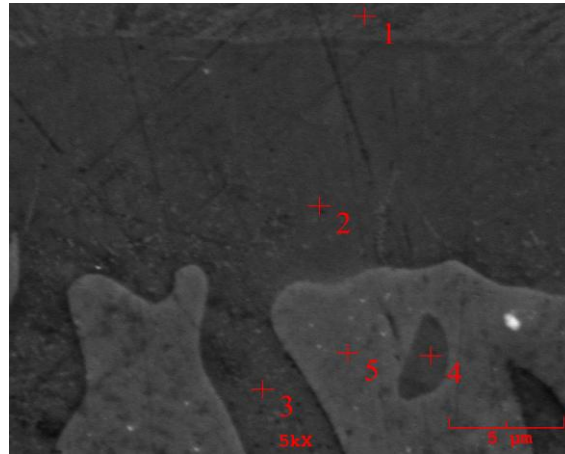
Şekil 6.136. 0.5mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri

0.5 mm lehim aralığı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.137'de verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.137. 0.5 mm lehim aralığı SEM görüntüsü

Atomal yayınma ile oluşan dendrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.138’de verilmiştir. Lehim bölgesinin içinde oluşan dendridlerden (3,4), ara bölgeden (2), ana malzemeden (1) ve lehim bölgesinden (5) elementer analizler alınmıştır.



Point	Element (wt %)						
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	-	-	-	1.892	98.108	-	-
2	6.548	-	-	0.709	85.244	7.499	-
3	7.393	-	-	0.303	81.285	11.019	-
4	7.991	0.745	-	0.485	26.655	64.124	-
5	8.090	-	-	-	6.518	85.391	-

Şekil 6.138. 0.5 mm lehim aralığı lehimlenmiş bölgenin EDS analizi



## BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1 Sonuçlar

Bu çalışmada 1mm kalınlığa sahip DP 600 çelik saclar MIG-lehimleme yöntemi kullanılarak bakır esaslı bir tel olan CuAl8 teli ile birleştirilmiştir. Numuneler iki farklı bağlantı biçimi olan bindirme ve alın bağlantılar olarak hazırlanmıştır. Lehimleme altı farklı parametrede, akım şiddeti, lehim gerilimi, lehim ilerleme hızı, gaz akış debisi, torç açısı ve lehimleme aralığı olarak uygulanmış ve incelenmiştir. MIG-lehimlenmiş malzemelerin mukavemet özellikleri, eğme kuvveti ve bağlantı bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı tetkiklerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada akım şiddeti, lehim gerilimi, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, torç açısı ve lehimleme aralıklarının, lehimlenen bağlantı bölgesi ve DP 600 çeliği arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır. Çalışmalarda kullanılan 1mm kalınlığa sahip DP 600 çelik ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkarılan öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. DP 600 galvanizli çeliğinin alın altına MIG-lehimlenmesinde, 90A akım şiddeti, 24 cm/dk ilerleme hızı 12,9V lehim geriliminde sacda ergime ve delinme görülmektedir. 40, 45, 50A akım şiddetlerinde, ısı girdisinin azalması sonucu oluşan yetersiz ıslatma ve ilave telde çok fazla sıçrama meydana gelmiştir. 55A akım şiddeti ilave telde meydana gelen sıçramanın azalması ve maksimum çekme mukavemetinin artışında kritik değer olmuştur.

DP 600 galvanizli çeliği 40, 45, 50A akım şiddetlerine kadar lehim bölgesinden, 55, 60, 65, 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetlerinde çekilen numuneler ana malzemedan kopmuştur. Kep ve kök eğme kuvvetlerinden anlaşılan, akım şiddeti arttıkça eğme kuvvetinin arttığı görülmektedir.

Oğuz [96] yeterli ısıtılabilirlik sağlamak için ıslatma açısı  $30^\circ$  den küçük olmalıdır. Çoğu kez de, yüksek sıcaklık sert lehimlemesi için açının çok daha küçük olacağını söylemiştir. 40, 45, 50 ve 55A akım şiddeti uygulanan bağlantıların lehim ıslatma açıları  $50^\circ$ 'nin üstündedir. Bu durum lehim geometrisi açısından bu akım şiddetlerinin uygun olmadığını gösterir. 60A akım şiddetinde ıslatma açısı  $40^\circ$  ile iyileşmeye başlamış, 80A akım şiddetine kadar  $22^\circ$ 'ye kadar düşerek ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmıştır. 85A akım şiddetinde ıslatmanın çok fazla olduğu lehim kökündeki aşırı nüfuziyetin makro görüntüsünden görülmüştür. Akım şiddeti arttıkça, ıslatma açısı ve lehim yüksekliği azalmakta lehim kepi genişliği artmaktadır.

40, 45, 50A akım şiddeti uygulanan bağlantıların lehim kepi genişliği 5 mm'nin altında, lehim yükseklikleri ise 2 mm'nin üstündedir. Lehim kepi genişliği 55A ve üzeri akım şiddetlerinde 5 mm ve üzerinde, lehim yükseklikleri ise 2 mm'nin altındadır. Bu durum mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde lehim kepi genişliğinin 5 mm ve üzerinde, lehim yüksekliğinin 2 mm ve altında olması gerektiği düşünülmektedir.

ITAB bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, 40, 45, 50, 55, 60, 65A akım şiddetinde ITAB mikrosertlik değerleri 350 HV'in altında 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetinde mikrosertlik değerleri 350 HV'in üstünde çıkmıştır. Akım şiddeti arttıkça mikrosertlik değeri artmıştır. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmış ve artan ısı girdisi ile ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dendrit oluşumu gerçekleşmektedir. Lehim bölgesindeki dendritler incelendiğinde dendritin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri 40 ve 45A mikroyapısında dentridlerin oluşumları çok azdır. 50A akım şiddetine dentridlerin oluşumu başlamıştır ve akım şiddeti arttıkça, ısı girdisi atmış ve dentridlerin oluşumları artmıştır. Dentridlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur. Akım şiddeti parametreleri ile ilgili tüm incelemeler tamamlandığında DP 600 galvanizli çeliğinin alın alına birleştirilmesinde uygulanacak en uygun akım şiddeti değerinin 65A olduğu düşünülmektedir.

2. DP 600 galvanizli çeliğinin alın alına MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim gerilimleri için maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde lehimlenen bütün numuneler ana malzemededen kopmuş olmasına rağmen lehim gerilimi değeri 12V'da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Eğme kuvvetleri incelendiğinde en yüksek eğme kuvveti 12V'da bulunmuştur.

10, 10.5, 11 ve 11.5V lehim gerilimi uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının  $40^0$ 'nin üzerinde olması lehim geometrisi açısından bu lehim gerilimlerinin uygun olmadığını gösterir. 12V lehim geriliminde ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 14V lehim gerilimine kadar ıslatmanın açısı  $26^0-40^0$  aralığında kabul edilebilirdir.

Lehim gerilimi arttıkça lehim kepi genişliği artmaktadır. Lehim genişliği 10, 10.5, 11V'da 4-5 mm iken, 11.5, 12, 12.5, 13, 13.5 ve 14V'da 5-6.5 mm olmuştur. Lehim kepi yüksekliği 10, 10.5, 11V'da 2 mm ve üzeri iken 11.5, 12, 12.5, 13, 13.5 ve 14V'da 1-2 mm aralığındadır. Bu durum mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde lehim kepi genişliğinin 5 mm ve üzerinde, lehim yüksekliğinin 2 mm ve altında olması gerektiği akım şiddeti parametrelerinde belirtilmiştir. Lehim gerilimi lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 12V'daki mukavemet değeri en yüksek mukavemet değeridir.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gerilimi arttıkça mikrosertlik değeri artmıştır. Lehim gerilimi arttıkça ısı girdisi artmış, bu sebeple ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dentrid oluşumundaki artış artmaktadır. Lehim geriliminin artışı da bu dentrid oluşma miktarını arttırmıştır. Dentridlerin artması mikrosertlik değerlerini de arttırmaktadır.

DP 600 galvanizli çeliğinin lehim gerilimi MIG-lehimleme makinesinde 65A'e karşılık 12,3V değeri olarak görülmektedir. Lehim gerilimi parametrelerinde en uygun değer 12V olarak görülmesi makine değerleri ile uygunluk göstermektedir. Bu yüzden 65A akım değeri için makinenin otomatik olarak verdiği 12,3V gerilim değerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

3. DP 600 galvanizli çeliğinin alın altına MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim hızları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numunelerin ana malzemedeki kopma noktası belirlenmiştir. Maksimum çekme mukavemeti kopma noktaları her parametre için ölçüldüğünde 34,28 cm/dk ile 20 cm/dk aralığındaki hızlarda lehimden ana malzemeye kopma mesafesi 4 mm olarak belirlendi. Lehim ilerleme hızı 18,4 cm/dk olan numune kopma mesafesi ise 5 mm olarak ölçülmüştür. Burada lehim hızı azaldıkça ısı girdisinin arttığı ve artan ısı girdisi ile ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında lehim hızı değeri 24 cm/dk da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Lehimleme hızı arttıkça ısı girdisi azalmaktadır. Isı girdisinin azalması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki daralma gözle muayene sonucunda görülmüştür. Kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde lehim ilerleme hızı arttıkça ısı girdisinin azalması sonucu maksimum eğme kuvvetinin azaldığı anlaşılmaktadır.

34.28 cm/dk ve 30cm/dk lehimleme hızı değerlerinde ıslatma açısı 40 ile 50° arasında olduğu görülmektedir. Lehimleme hızı arttığında ısı girdisi azalarak ıslatma açısı artmıştır. Bu durumdan yola çıkarak ıslatma açısı 30 ila 40°

aralığında olan 26.6, 24, 21.8, 20 ve 18,4 cm/dk değerleri arasının en uygun ıslatma açısı olduğu belirlenmektedir. Lehim ilerleme hızı değerlerinin mukavemet verilerine bakılarak ıslatma açılarının uygun olduğu söylenebilmektedir.

Lehim ilerleme hızı arttıkça lehim kepi genişliği azalmaktadır. Lehim genişliği 34.28 ve 30 cm/dk da 3-4 mm iken 26.6, 24, 21.8, 20 ve 18,4 cm/dk'da 5-8 mm olmuştur. Lehim kepi yüksekliği 1.5-2 mm aralığındadır. Lehimleme hızının artması sonucu ısı girdisi azaltmıştır. Lehimleme hızı azaldığında ise ana malzemeye tel yığılması artarak lehim kep yüksekliğinin artmasına sebep olmaktadır.

18.4 cm/dk, 20 cm/dk, 21.8 cm/dk, 24 cm/dk, 26 cm/dk, 30 cm/dk ve 34.28 cm/dk ilerleme hızlarındaki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları lehim ilerleme hızının azalması ile daha da artmaktadır. 34.28 cm/dk, 30 cm/dk, 26 cm/dk ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarının lehim bölgesi sertlik değerleri, ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmaktadır. 21.8 cm/dk, 20 cm/dk, 18.4 cm/dk lehim ilerleme hızında lehim bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden daha az olduğu sertlik noktalarından anlaşılmaktadır. 21.8 cm/dk, 20 cm/dk, 18.4 cm/dk lehim ilerleme hızında ITAB bölgesinin sertlik değeri sertlik sınırı uygun görülmeyen 350HV - 450HV mikrosertlik değerlerine ulaşmıştır. 34.28 cm/dk, 30 cm/dk, 26 cm/dk ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarının sertlikdeğerleri 350HV sertlik değerinin altında kaldığı için uygun lehim ilerleme hızları olduğu düşünülmektedir.

Farklı lehim ilerleme hızlarında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden lehim ilerleme hızı arttıkça dentridlerin oluşumlarının azaldığı anlaşılmaktadır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A olduğu için dentridler yoğunlaşmıştır. Fakat lehim ilerleme hızında azalma ana malzemedeki elementlerin atomsal yayımlarını artırarak dentrid oluşma miktarını daha da arttırmıştır. İncelenen lehim

ilerleme hızları parametrelerinde 24 cm/dk ilerleme hızının uygun olduğu düşünülmektedir.

4. DP 600 galvanizli çeliğinin alın altına MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim gaz akış debisi maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numuneler ana malzemedan kopmuştur. Lehim gaz akış debisi değeri 12 lt/dk ve 16 lt/dk da en yüksek çekme mukavemeti değerine sahiptir. Kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde lehim gaz debisi arttıkça maksimum eğme kuvvetinin arttığı fakat etkin bir artış olmadığı anlaşılmaktadır.

Lehimleme esnasında 8 lt/dk gaz debisinde ilave telde sıçrama olduğu görülmekte, 10 lt/dk gaz debisinde bu sıçramada yoğun bir azalma görülse de bu gaz debilerinin uygulamada yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. 12 lt/dk gaz debisinde ilave telde sıçramalar tamamen ortan kalkmış, 16 lt/dk ya kadar sıçrama görülmemiştir. 8, 10, 12, 14 ve 16 lt/dk gaz debisi uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının  $30^0$  ile  $40^0$  arasında olduğu görülmektedir. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti, lehim gerilimi ve lehimleme hızı parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermesi gaz debisi farklarının, ıslatma açısını etkin bir şekilde etkilemediği görülmektedir.

MIG-lehimlenmiş DP 600 çeliğinin değişen lehim gaz debisine bağlı olarak lehim gaz debisi arttıkça lehim kepi genişliği artmaktadır. Lehim gaz debisi 8 lt/dk da 5 mm iken 16 lt/dk da 6.5 mm olmuştur. Lehim gaz debisi lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 12 lt/dk' daki mukavemet değeri, en yüksek mukavemet değeri olmuştur. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 6 mm'dir. Lehim gaz debisi ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim gaz debisinin artması ile lehim kepi üzerindeki basınç artmıştır. Lehim kepi üzerinde artan basınç etkisi, ilave telin ıslatma açısını azaltmış ve lehim kep yüksekliğinin azalmasına sebep olmuştur.

ITAB bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gaz debisi 8 lt/dk, 10 lt/dk, 14 lt/dk ve 16 lt/dk'da mikrosertlik 350 HV sertlik değerinin üzerinde iken 12 lt/dk'da 350 HV ve altındadır. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Farklı lehim gaz debilerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden lehim gaz debisi arttıkça dentridlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Rangel [88], Guimaraes [10] ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda, düşük karbonlu galvanizli çeliklerin alın altına MIG-lehimlenmesinde 12 lt/dk gaz akış debisi kullanmıştır. Bu çalışmada en uygun gaz debisinin 12 lt/dk olduğu mukavemet sonuçlarından ortaya çıkması diğer çalışmalar ile örtüşmektedir.

5. DP 600 galvanizli çeliğinin alın altına MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim torç açılarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numuneler ana malzemeden kopmuştur. Buradaki verilere bakıldığında lehim torç açısı değeri  $90^0$  de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. DP 600 galvanizli çelik numunelerinde gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.

50, 60, 70, 80 ve  $90^0$  torç açısı uygulanan numunelerin makro görüntülerinde lehim ıslatma açısı  $30^0$  ile  $35^0$  arasındadır. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti, lehim gerilimi, lehimleme hızı ve lehim gaz debisi parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermektedir.

50, 60, 70, 80 ve  $90^0$  torç açısı uygulanan makro görüntülerinde lehim torç açısı arttıkça lehim kepi genişliği çok az oranda azalmaktadır. Lehim genişliği 6 – 7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir. Lehim torç açısı ve lehim yüksekliği 1,5-

2 mm aralığındadır. Lehim torç açısının artması lehim kep yüksekliğini düşürmektedir.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm ortalama mikrosertlik değerlerinde, lehim torç açısı  $50^0$  de 179HV mikrosertlik değeri,  $60^0$ ,  $70^0$  ve  $80^0$  de 183HV,  $90^0$  de 186 HV değerlerini almıştır. Buradaki aç değeri yükseldikçe ısı girdisinin ana malzemeye dikey konumda girmesiyle mikrosertlik değerinin arttığı görülmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik değerleri  $60^0$  ve  $70^0$  350 HV sertlik değerinde iken, diğer torç açılarında 400 HV'in üzerindedir. Bu durumda alın birleştirme  $60^0$  ya da  $70^0$  torç açılarının kullanılması önerilmektedir.

Farklı lehim torç açısında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden, lehim torç açısı arttıkça dentridlerin oluşumlarında artış gerçekleşecek, aç dikleştikçe ısı girdisi dağılım farkından dolayı en yoğun dentrid oluşumu,  $90^0$  torç açısında olacaktır. Farklı lehim torç açıları çalışmalarında alın birleştirmeler için mukavemet sonuçlarındaki değerlendirmelerde  $90^0$  en yüksek değeri vermektedir. Fakat sertlik sonuçları ile birlikte bir değerlendirme yapıldığında ise  $70^0$  torç açısının uygun olduğu görülmektedir.

6. DP 600 galvanizli çeliğinin alın altına MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim aralıkları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numunelerin ana malzemeden kopmuştur. Rangel [88] ve arkadaşları 0,65 mm kalınlığındaki sac numuneler için 0,8 mm kalınlığında tel ile alın birleştirmeler için 1mm den daha az aralık tercih etmişlerdir. Buradaki verilere bakıldığında lehim aralığı değeri 0,5 mm de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. Ayrıca 0,5 mm lehim aralığından sonraki aralıklarda delinme gerçekleştirilmiştir. Lehim aralığı arttıkça maksimum eğme kuvvetinin arttığı gözlenmiştir.

0, 0.3, 0.5 lehim aralığı uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının  $30-40^0$  arasındadır. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu,



akım şiddeti, lehim gerilimi, lehimleme hızı ve lehim gaz debisi parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermektedir.

Lehim aralığı arttıkça lehim kepi genişliği neredeyse aynı kalmaktadır. 0, 0.3, 0.5 aralıklarında lehim genişliği 6 – 7 mm'dir. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir. Lehimleme aralığı ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim aralığının artması lehim kep yüksekliğini düşürmektedir.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan 0 mm, 0.3 mm ve 0.5 mm lehim aralıklarında tüm numunelerin mikrosertlik değerleri kıyaslandığında 0 mm lehim aralığında mikrosertlik değerleri lehim bölgesinde diğer aralıklarından daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın 0.3 mm ve 0.5 mm lehim aralığındaki sertlik değerleri 0 mm lehim aralığındaki sertlik değerinden daha düşük sertlik elde edildiği tespit edilmiştir. Buda kabul edilen değer altındadır (350 HV) ve ITAB bölgesinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

7. 70A akım şiddeti parametresinde birleştirilen 1 mm kalınlığındaki DP 600 çelik sacının alın altına birleştirilmesi sonucunda, bağlantı bölgesinde ısı girdisi sebebi ile lehim kepinin bittiği noktadan itibaren Zn galvaniz kaplamanın, 2-3 mm uzunluğundaki yüzey bölgesinde azaldığı SEM görüntülerinden anlaşılmıştır. Galvanik koruma sağlayan Zn elementinin bulunmaması ve EDS sonuçlarında oksijenin varlığı, burada bir oksitlenme olduğunu göstermektedir.
8. MIG-lehimlenen DP 600 1 mm kalınlığındaki galvanizli çeliğinin alın birleştirme parametreleri değerlendirildiğinde, akım şiddeti 65A de 30<sup>0</sup> ile 40<sup>0</sup> ıslatma açısındadır. Mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, lehim kepi genişliğinin 5 mm ve üzerinde, lehim yüksekliğinin 2 mm ve altında olması gerekmektedir. Dahası sertlik değerlerinin 350 HV sertlik değerinin altında olması gerektiği anlaşılmıştır. Bu ölçütten yola çıkarak lehim gerilimi 12.3V, lehimleme hızı 24 cm/dk,

lehim gaz debisi 12 lt/dk, lehim aralığı 0.3 veya 0.5 mm'dir. Torç açısı alın birleştirmeler için mukavemet sonuçlarındaki değerlendirmelerde  $90^0$  en yüksek değeri vermektedir. Fakat sertlik sonuçları ile birlikte bir değerlendirme yapıldığında ise  $70^0$  torç açısının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

MIG-lehimlenen DP 600 1 mm kalınlığındaki galvanizli çeliğinin alın birleştirme parametrelerinde belirlenen optimum değerlerinde, maksimum çekme mukavemeti, ana malzemenin maksimum çekme mukavemeti değerleri ile mukayese edildiğinde mukavemet değerinde bir azalma olmamış aksine artış söz konusudur. Akma mukavemetinde de ana malzemenin akma mukavemetine göre % 5-10 gibi bir artış olmuştur. MIG-lehimlenen DP 600 sacın yüzde kopma uzaması % 6-7 olduğundan sünek kopma gerçekleşmiştir.

9. DP 600 galvanizli çeliğinin bindirme birleştirme MIG-lehimlenmesinde, 90A akım şiddeti, 24 cm/dk ilerleme hızı 12,9V lehim geriliminde sacda ergime ve delinme görülmektedir. Akım şiddetleri 40 amperden başlayarak 90 ampere kadar tatbik edilmiştir. 40, 45, 50A akım şiddetlerinde MIG-lehimleme tatbikinde ısı girdisinin azalması sonucu oluşan yetersiz ısıtma sebebi ile ilave telde çok fazla sıçrama meydana gelmiştir. İlave teldeki bu durum lehim görüntüsünde düzensizlikler olarak görülmüştür. 55 ve 60A akım şiddeti ilave telde meydana gelen sıçramanın azalması ve maksimum çekme mukavemetinin artışında kritik bölgeler olmuştur. DP 600 galvanizli çeliği 40, 45, 50, 55, 60A akım şiddetlerine kadar lehim bölgesinden, 65, 70, 75, 80, 85A akım şiddetlerinde çekilen numuneler ana malzemenin kopmuştur. Bu sebeple maksimum çekme mukavemetinde kritik mukavemet eşiği 60A olarak görülmektedir. 75A akım şiddetine kadar artan maksimum çekme mukavemeti, 80A de düşmüş ve 85A akım şiddetine kadar değişen mukavemet değerleri göstermiştir. Bunun sebebinin yükselen ısı girdisi olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple DP 600 galvanizli çeliğine uygulanacak en uygun optimum akım şiddeti değerinin 65-70A olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlağa rastlanılmamıştır. Lehim akım

şiddeti arttıkça ısı girdisinin artması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki genişleme gözle muayene sonucunda görülmüştür.

40, 45 ve 50A akım şiddetlerinde bindirme birleştirme lehim aralığına, lehim ilave telinin nüfuziyeti düşük olmaktadır. 55A akım şiddetinde ıslatma özellikleri iyileşerek, 80A akım şiddetine kadar ıslatma kabul edilebilir. 85A akım şiddetinde ıslatmanın çok fazla olduğu, lehimlenen ana malzemede ergimenin gerçekleştiği aşırı nüfuziyetten anlaşılmıştır. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmakta ve artan ısı girdisi ile bağıntılı olarak ilave metalin ıslatma özelliği artmaktadır.

40, 45, 50, 55 ve 60A de lehim genişliği 2–5 mm arasında kalarak yetersiz lehim genişliği ve ıslatma kabiliyetinden dolayı bağlantı lehim bölgesinden kopmuştur. Lehim genişliği 5 mm den sonra 65, 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetinde iyi mukavemet özellikleri göstermiştir. Akım şiddeti arttıkça lehim yüksekliği azalmaktadır.

40, 45, 50 ve 55A akım şiddetinde sertliği en düşük olan noktalar, CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir. 60, 65, 70, 75, 80 ve 85A akım şiddetlerindeki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları akım şiddetinin artması ile daha da artmaktadır. 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 ve 75A'ye kadar sertlik değeri 350 HV ve altında çıkarken, 80 ve 85A de ise 350 HV üzerindedir. Bu sebepten 80 ve 85A akım şiddetlerinin uygun olmadığı sertlik değerinden anlaşılmıştır. Lehim bölgesi difüzyonun artması ile ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmıştır. 80 ve 85A akım şiddetlerinde lehim bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

90A akım şiddetindeki ısı girdisi 2032 J/cm de ana malzeme delinmeye maruz kalmıştır. Mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 65 ve 70A akım şiddetinde ısı girdileri 1399 ve 1519 J/cm olmuştur. 40, 45 ve 50A mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü üzere dentridlerin

oluşumları çok azdır. 55A akım şiddetine dendritlerin oluşumu başlamıştır ve akım şiddeti arttıkça, ısı girdisi artmış ve dendritlerin oluşumları artmıştır. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.

10. DP 600 galvanizli çeliğinin bindirme birleştirme MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim gerilimleri için maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numuneler ana malzemedan kopmuş olmasına rağmen lehim gerilimi değeri 12V'da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Lehim gerilimi arttıkça ısı girdisinin artması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki genişleme gözle muayene sonucunda görülmüştür. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır. DP 600 galvanizli çeliğinin lehim gerilimi MIG-lehimleme makinesinde 65A'ye karşılık 12,3V değeri olarak görülmektedir. Lehim gerilimi parametrelerinde en uygun değer 12V olarak görülmesi makine değerleri ile uygunluk göstermektedir. Bu yüzden 65A akım değeri için makinenin otomatik olarak verdiği 12,3V gerilim değerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

10, 10.5, 11 ve 11.5V lehim gerilimi uygulanan makro görüntülerindeki lehim ilave telinin nüfuziyetinin düşük olduğu görülmektedir. 12V lehim geriliminde ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 14V lehim gerilimine kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır. Fakat 14V lehim geriliminde ıslatmanın çok fazla olduğu, lehimlenen numunelerde ergimenin ana malzemedde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Lehim genişliği 10V da 4-5 mm iken 14V da 6 mm olmuştur. Lehim gerilimi lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 12V'daki mukavemet değeri en yüksek mukavemet değeridir. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 5-6 mm aralığındadır. Lehim gerilimi ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim geriliminin artması sonucu ısı girdisi

artmıştır. Artan ısı girdisi, ilave telin ıslatma özelliğini arttırmış ve lehim kep yüksekliğinin azalmasına sebep olmuştur.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gerilimi arttıkça mikrosertlik değeri artmıştır. ITAB bölgesinde 10, 10.5, 11, 11.5, 12, 12.5, 13V lehim gerilimlerinde 350 HV ve altında çıkarken 13,5 ve 14V'da ise 350 HV ve üzerinde olduğu için 13,5 ve 14V'daki sertlik değerinin uygun olmadığı anlaşılmaktadır.

En yüksek lehim gerilimi 14V'da ısı girdisi 1593 J/cm olurken, mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 12V ve 12.5V lehim gerilimlerinde ısı girdileri 1308 ve 1365 J/cm olmuştur. Lehim gerilimi arttıkça dentridlerin oluşumları artmıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değerleri 65-70A olduğu için dentridler yoğunlaşmıştır. Fakat lehim geriliminin artışı da bu dentrid oluşma miktarını arttırmıştır.

11. Farklı lehim hızları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 30 cm/dk lehim hızı dışında lehimlenen bütün numuneler ana malzemedan kopmuştur. Lehim hızı değeri 24 cm/dk ve 26,6 cm/dk da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Farklı lehim hızlarında maksimum çekme mukavemeti kopma noktaları her parametre için ölçüldüğünde 30 cm/dk, 20 cm/dk ile 26,6 cm/dk aralığındaki hızlarda lehimden ana malzemeye kopma mesafesi 3 mm olarak belirlendi. Lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, 18,4 cm/dk ve 21,8 cm/dk olan numune kopma mesafesi ise 4 mm olarak ölçülmüştür. Burada lehim hızı azaldıkça ısı girdisinin arttığı ve artan ısı girdisi ile ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği görülmektedir. Farklı lehim ilerleme hızları uygulanan DP 600 galvanizli çeliğinin kep ve kök eğme kuvvetleri incelendiğinde, lehim ilerleme hızı arttıkça ısı girdisinin azalması sonucu maksimum eğme kuvvetinin azaldığı görülmüştür.

Lehim ilerleme hızı parametrelerine göre 30 cm/dk lehimleme hızının ıslatma kabiliyeti çok düşüktür. 26 cm/dk lehim ilerleme hızında ıslatma özellikleri iyileşmiş, 18,4 cm/dk lehim ilerleme hızına kadar ıslatma kabul edilebilirdir.

Lehim ilerleme hızı arttıkça lehim genişliği azalmaktadır. Lehim genişliği 30 cm/dk ve 26,6 cm/dk da 4-5 mm iken 24 cm/dk ve 21,8 cm/dk da 6 mm, 20 cm/dk ve 18,4 cm/dk da 6-7 mm olmuştur. Lehimleme hızı lehim genişliği çekme makaslama mukavemet sonuçları değerlendirildiğinde 24 cm/dk'daki mukavemet değeri uygundur. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 6 mm aralığındadır. Lehim ilerleme hızı ve lehim yüksekliği ilişkisi incelendiğinde, lehimleme hızının artması sonucu ısı girdisi azaltmıştır. Lehimleme hızı azaldığında ise ana malzemeye tel yığılması artarak lehim kep yüksekliğinin artmasına sebep olmaktadır.

18.4 cm/dk, 20 cm/dk, 21.8 cm/dk, 24 cm/dk, 26,6 cm/dk, 30 cm/dk ve 34.28 cm/dk ilerleme hızlarında ITAB bölgesindeki sertlik noktaları lehim ilerleme hızının azalması ile daha da artmaktadır. Özellikle 18.4 cm/dk lehim ilerleme hızında sertlik değerinin 350 HV sertlik değerinin üzerine çıktığı görülmekte ve bu ilerleme hızının kullanılmaması önerilmektedir. Lehim bölgesi ise ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmaktadır ve lehim ilerleme hızının azalması ile lehim bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden daha fazla olmuştur.

En düşük lehim ilerleme hızında ısı girdisi 1825 J/cm olurken, mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 26.6 cm/dk ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarında ısı girdileri 1262 ve 1399 J/cm olmuştur. Lehim ilerleme hızı arttıkça dentridlerin oluşumları azalmıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A olduğu için dentridler yoğunlaşmıştır. Fakat lehim ilerleme hızındaki azalma burada dentrid oluşma miktarını arttırmıştır. Dentridlerin artması mikrosertlik değerlerini de arttırmaktadır.

12. DP 600 galvanizli çeliğinin bindirme bağlantılarında farklı lehim gaz akış debisi maksimum çekme makaslama mukavemeti değerleri incelendiğinde, 8 lt/dk gaz debisi uygulanan çekme numunesindeki mukavemet değerinin 428 MPa olduğu ve kopmanın lehim bölgesinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. 10 lt/dk için 615 MPa, 12 lt/dk için 609 MPa, 14 lt/dk için 604 MPa ve 16 lt/dk için 614 MPa çekme mukavemetine sahip lehimlenen bütün numunelerin ana

malzemeden koptuğu görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında lehim gaz akış debisi değeri 10 lt/dk, en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. Fakat 8 ve 10 lt/dk gaz debisi lehim tatbikleri esnasındaki sıçrama göz önünde bulundurularak bu gaz debilerinin uygun olmadığı söylenebilir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.

8, 10, 12, 14, 16 lt/dk lehim gaz debisi uygulanan makro görüntülerindeki lehim ilave telinin ıslatma özellikleri tüm gaz debisi parametreleri için uygundur. Fakat 8 lt/dk ve 10 lt/dk gaz debilerinin lehim tatbikleri sırasındaki sıçrama görüldüğünden bu parametrelerin uygun olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca 8 ve 10 lt/dk gaz debisinde makro görüntülerinde ısı girdisinin fazlalığından ana malzemede ergime gerçekleşmiştir.

Lehim gaz debisi arttıkça lehim kepi genişliği belli oranda artmaktadır. Bütün lehim genişlikleri 6-7 mm aralığında ve uygun görülmektedir. Lehim gaz debisi ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim gaz debisinin artması sonucu lehim kepindeki baskı artmıştır. Artan basınç etkisi, ilave telin ıslatma özelliğini arttırmış ve lehim kep yüksekliğinin azalmasına sebep olmuştur.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gaz debisi 8 lt/dk, 10 lt/dk, 12 lt/dk 14 lt/dk da ITAB bölgesinin mikrosertlik değerleri 350 HV ve altında çıkarken, 16 lt/dk gaz debisinde ITAB bölgesinin mikrosertlik değeri 396 HV çıkmıştır. Bu durumda 16 lt/dk gaz debisinin DP 600 çelik sacının MIG-lehimleme birleştirilmesinde uygunluğundan söz edilememektedir.

Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantının ısı girdileri 1399 J/cm olarak hesaplanmıştır. Farklı lehim gaz debisinde, CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden anlaşıldığı üzere lehim gaz debisi arttıkça dentridlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusunun olmadığı düşünülmektedir.

13. DP600 galvanizli çeliğinin bindirme bağlantılarında, farklı lehim torç açılarında maksimum çekme-makaslama mukavemeti değerleri incelendiğinde, 45<sup>0</sup> lehim torç açısında 635 MPa, 50<sup>0</sup> lehim torç açısında 622 MPa, 60<sup>0</sup> lehim torç açısında 627 MPa maksimum çekme mukavemeti değerlerine sahip olup, numuneler ana malzemedan kopmuştur. 70<sup>0</sup> lehim torç açısında 512 MPa, 80<sup>0</sup> lehim torç açısında 556 MPa olduğu ve lehim bölgesinde kopmuştur. Buradaki veriler değerlendirildiğinde lehim torç açısı değeri, 45<sup>0</sup> de en yüksek çekme-makaslama mukavemeti değeridir. Fakat 50<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> lehim torç açısı mukavemet değerleri de, optimum lehim torç açısı olarak düşünülebilir. Farklı lehim torç açılarında gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamış ve en yüksek eğme kuvvetine sahip torç açısı 45<sup>0</sup> olmuştur.

Buradaki ıslatma kabiliyetini incelediğimizde yetersiz ıslatma 70<sup>0</sup> ve 80<sup>0</sup> lehim torç açısındadır. 45<sup>0</sup>, 50<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> lehim torç açısında ıslatma özellikleri iyidir. Fakat 50<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> lehim torç açılarında makro görüntülerinden ısı girdisinin fazla olduğu, lehimlenen numunelerde ana malzemedde ergimenin meydana geldiği belirlenmiştir.

Lehim torç açısı arttıkça lehim kepi genişliği çok az oranda artmaktadır. Tüm torç açılarında lehim genişliği 6 - 7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir. Lehim yüksekliği incelendiğinde, lehim torç açısının artması lehim kepi yüksekliğini çok az oranda düşürmektedir. Torç açısının, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı anlaşılmaktadır.

Lehim torç açısı farklarının bindirme numunelerde sertlik üzerinde etkisinde, 45<sup>0</sup> de üste binen sac numunesinin ITAB bölgesinin genişliğini arttırmış açı değeri yükseldikçe aynı durum altta kalan numune için geçerli olmuştur. Tüm açı değerlerinde ITAB sertlik değerleri 350 HV'in altında çıkararak seçilen



akım şiddeti, ark gerilimi, lehimleme hızı ve gaz debisinin uygun olduğunu göstermiştir.

Farklı lehim torç açıları elde edilen bağlantının ısı girdileri 1399 J/cm olarak hesaplanmıştır. Fakat torç açısı sertlik dağılımları incelendiğinde, sertlik değişimlerindeki farklarından açı değeri yükseldikçe ısı girdisi dağılımının değiştiği ve bu duruma bağlı olarak ısı girdisinin arttığı düşünülmektedir. Lehim torç açısı arttıkça dentridlerin oluşumlarında ısı girdisi dağılım farkından dolayı en yoğun dentrid oluşumunun, 80° torç açısında olacağı düşünülmektedir.

14. DP600 galvanizli çeliğinin bindirme bağlantılarında, farklı lehim aralıklarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 0 mm lehim aralığında 626 MPa, 0.3 mm lehim aralığında 612 MPa, 0.5 mm lehim aralığında 645 MPa, 0.8 mm lehim aralığında 609 MPa, 1 mm lehim aralığında 590 MPa maksimum çekme-makaslama verileri elde edilmiştir. Buradaki verilere bakıldığında lehim aralığı değeri 0.5 mm de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. Çekme makaslama deneylerinde, 0, 0.3, 0.5 ve 0.8 mm aralıklarındaki numunelerin ana malzeme bölgesinde koptuğu gözlenirken, 1 mm lehim aralığındaki numunenin lehim bölgesinde koptuğu görülmektedir. 1 mm lehim aralığının uygun olmadığı elde edilen mukavemet değerlerinden tespit edilmiştir. MIG-lehimlenmiş DP 600 galvanizli çeliğinin bağlantı bölgesinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.

Farklı lehim torç açısı parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek mukavemet değerinin 0.5 mm lehim aralığında 645 MPa olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan lehim aralığı parametre çalışmalarında lehim geometrisinin uygunsuz oluşu 1 mm den fazla lehim aralığı kullanılmamasının gerekliliğini göstermiştir.

Lehimleme aralığına bağlı olarak lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim aralığının artması lehim kep yüksekliğini çok az oranda düşürmektedir.

Lehim aralığı arttıkça lehim kepi genişliği neredeyse aynı kalmaktadır. Grafikteki lehim genişliği 6–7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir. Lehim aralığının, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

Farklı lehim aralıklarındaki lehim tatbikleri gerçekleştirilen DP 600 galvanizli çeliğinin ısı girdileri her lehim aralığı farkı için 1399 J/cm'dir. İlave dolgu teli CuAl8 bölgesi ve ITAB'dan alınan 0 mm, 0.3 mm, 0.5 mm, 0.8 ve 1 mm lehim aralıklarındaki tüm numunelerin mikrosertlik değerleri kıyaslandığında 0 mm ve 1 mm lehim aralıklarındaki mikrosertlik değerleri 350 HV sertlik değerinin üzerinde olduğu bu aralıktaki parametrelerin DP 600 sacının bindirme birleştirilmesinde uygun olmadığı anlaşılmaktadır. 0.3 mm, 0.5 mm, 0.8 mm sertlik değerleri ise 350 HV sertlik değerinin altındadır.

15. MIG-lehimlenen DP 600 1 mm kalınlığındaki galvanizli çeliğinin bindirme birleştirme parametreleri değerlendirildiğinde, akım şiddeti 65-70A de uygun görülmektedir. Mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, lehim kepi genişliğinin 5 mm ve üzerinde olması gerekmektedir. Sertlik değerlerinin 350 HV sertlik değerinin altında olması gerektiği anlaşılmıştır. Bu ölçütten yola çıkarak lehim gerilimi 12.3-12.4V, lehimleme hızı 24 cm/dk veya 26,6 cm/dk, lehim gaz debisi 12 lt/dk, lehim aralığı 0.5 mm'dir. Torç açısı bindirme birleştirmeler için mukavemet sonuçlarındaki değerlendirmelerde  $45^{\circ}$  en yüksek değeri vermektedir.

MIG-lehimlenen DP 600 1 mm kalınlığındaki galvanizli çeliğinin bindirme birleştirme parametrelerinde belirlenen optimum değerlerinde, maksimum çekme mukavemeti, ana malzemenin maksimum çekme mukavemeti değerleri ile mukayese edildiğinde mukavemet değerinde bir azalma olmamış aksine artış söz konusudur. Akma mukavemetinde de ana malzemenin akma mukavemetine göre % 5-10 gibi bir artış olmuştur. MIG-lehimlenen DP 600 sacın yüzde kopma uzaması % 7-8 olduğundan sünek kopma gerçekleşmiştir.

## 7.2. Öneriler

1. DP 600 galvanizli çeliğinin MIG-lehimlenmesi ile bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, soğuma süreleri ve sıcaklığa bağlı gerilim etkileri incelenebilir.
2. MIG-lehimlenen DP 600 galvanizli çeliğinin bağlantı bölgesinin korozyon ve yorulma davranışları incelenebilir.
3. DP 600 galvanizli çeliğinin MIG-lehimlenmesinde, ısı girdisine bağlı olarak bağlantı bölgesinde ve yakınında galvaniz tabakasının buharlaşma miktarları ve galvaniz kalınlığının birleştirme üzerindeki etkileri incelenebilir.
4. DP 600 galvanizli çeliğinin MIG-lehimlenmesinde, farklı kimyasal bileşime sahip ilave teller ve farklı gaz karışımları ile ilgili çalışmaların yapılması düşünülebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] ARIKAN, M., BAŞMAN, G. Otomotiv endüstrisi için yeni çelik ürünler ve özellikleri. I. Demir Çelik Sempozyumu Bildiriler, Cilt I. 2001; s. 350-356.
- [2] ÇİMENOĞLU, H., KAYALI, E.S. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çift fazlı çelikler. İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fak. Metalurji Mühendisliği Böl.1985; s. 7-14.
- [3] DEMİR, B. Ereğli D.Ç. fabrikalarında sürekli tavlama hatlarında çift fazlı çelik üretimi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. 2003; Ankara.
- [4] AISI, An investment in steel's future. AISI Market Development, 2002-2003 Gelişme Raporu, s. 56.
- [5] ZHANG, X.Q., CHEN, G.L., ZHANG, Y.S., BOHN, L., Characteristics of electrode wear in resistance spot welding dual-phase steels. Material and Design, Volume 29, Issue 1, 279-283, 2008.
- [6] MA, C., CHEN, D.L, BHOLE, S.D., BOUDREAU, G., LEE, A. BIRO, E., Microstructure and fracture characteristics of spot-welded DP600 steel. Material Science and Engineering: A, in-press.
- [7] ANIK, S., Kaynak Sempozyumu , İstanbul Tek. Üniv., 1997, İstanbul.
- [8] Erdemir Ürün Katoloğu, Ereğli Demir ve Çelik Fab.,T.A.Ş., 2000, İstanbul.
- [9] SATOH, T., ABE, H., NAKAOKA, T. and HAYATA, Y., The fatigue life of the spot welded joint under a repeated of R=-1. Welding in the World, 1996; Volume 37(1): 12-15.
- [10] GUIMARAES, A.S., MENDES, M.T., COSTA, H.R.M., DA SILVA MACHADO, J., KUROMOTO, N.K., An evaluation of the behavior of zinc layer on a galvanized sheet, joined by MIG brazing. Welding International, Volume 21(4): 271-278, 2007.

- [11] IORDACHESCU, D., QUINTINO, L., MIRANDA, R., PIMENTA, G., Influence of shielding gases and process parameters on metal transfer and bead shape in MIG brazed joints of the thin zinc coated steel plates. *Material and Design*, Volume 27, 381-390, 2006.
- [12] YU ZHI-SHUI, LI RUI-FENG, QI KAI, Growth behavior of interfacial compounds in galvanized steel joints with  $\text{CuSi}_3$  filler under arc brazing. *Trans. Nonferrous Met. Soc. Of China*, Volume 16, 1391-1392, 2006.
- [13] KLEINER, M., CHATTI, S., KLAUS, A., Metal forming techniques for lightweight construction, *J. Mater. Proc Technol.*, 2006, 177, pp. 2-7.
- [14] NEUGEBAUER, R., ALTAN, T., GEIGER, M., KLEINER, M., STERZING, A., Sheet metal forming at elevated temperatures, 2006, *Annals of the CIRP*, 55/2, pp. 793-816.
- [15] TOROS, S., ÖZTÜRK, F., Otomobillerde alüminyum-magnezyum alaşımlarının yeri ve şekillendirilebilme kabiliyetlerinin incelenmesi. TMMOB Makine Mühendisleri Odası IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Bursa, 2007.
- [16] ÖZTÜRK, F., TOROS, S., ESENER, E., UYSAL, E., Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi. *Mühendis ve Makine*, Cilt:50, Sayı: 596.
- [17] ANDERSON, D., Application and reparability of advanced high strength steels. American Iron and Steel Institute, 2008.
- [18] CARLSSON, B., Choice of tool materials for punching and forming of extra- and ultra high strength steel sheet. 3rd International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds, 2004, Bursa-Turkey.
- [19] TAKAHASHI, M., Development of high strength steels for automobiles. Nippon Steel Technical Report No. 88, 2006.
- [20] [www.worldautosteel.org](http://www.worldautosteel.org), Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines. International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, March 2005, Erişim Tarihi: 10.10.2011
- [21] SPEICH, G.R., Physical metallurgy of dual phase steels, fundamentals of dual-phase steels. ed. by; R.A. Kot, B.I. Bramfit, AIME, pp 3-45, 1981.
- [22] COŞKUN, M.H., Otomotiv endüstrisinde kullanılan IF 7114 ve DP 600 çelik sacların direnç nokta kaynağı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009.

- [23] RASHID, M.S., Relationship between steel microstructure and formability. Formable HSLA and Dual-Phase Steels, AIME, pp.1-29, 1977.
- [24] ABOUEI, V., SAGHAFIAN, H., KHEIRANDISH, S.H., RANJBA, K.H., A Study on the wear behavior of dual phase steels. J. Mater. Sci. Technol., Volume 23, No.1, pp.107-110, 2007.
- [25] DAVIES, R.G., Influence of martensite composition and content on the properties of dual phase steels. Met. Trans., Vol:18A, pp.671-679, 1978.
- [26] DAS, D., On the modification of martensite morphology in high martensite dual phase steels for the improvement of mechanical properties. Dastur School of Materials Science and Engineering, all at Bengal Engineering College (DU), Howrah, pp.84-92, 2003.
- [27] JIANG, Z., GUAN, Z., LIAN, J., Effects of microstructural variables on the deformation behavior of dual phase steel. Materials Science and Engineering A 55-64,1995.
- [28] MENG, Q., LI, J., WANG, J., ZHANG, Z., ZHANG, L., Effect of water quenching process on microstructure and tensile properties of low alloy cold rolled dual-phase steel. Material and Design, 2008.
- [29] SUN, S., PAUGH, M., Properties of thermo mechanically processed dual phase steels containing fibrous martensite. Department of Mechanical Engineering, University of Canterbury, pp. 298-308, 2002.
- [30] AVTAR, R., JHA, B.K., SEXANE, A., DWIVEDI, V.S., PATNAIK, B.B., BANERJEE, B., SRINIVASAN, S., An as hot rolled approach to production of molybdenum and chromium microalloyed dual phase steels. Transactions, ISIJ, V: 26, pp: 822-828, 1986.
- [31] COLDREN, A.P., AND ELDIS, T., Using CCT diagrams to optimize the composition of on as-rolled dual phase steels. Journal of Metals V:4, pp.41-48, March, 1980.
- [32] PRADHAN, R., Continuous annealing of the steel. ASTM Handbook, fifth printing, pp. 56-66, 1997.
- [33] BRAMFITT, B.L., BETLEHEM STEEL CORPORATION, AND ANIL, K., MOLLOY MANUFACTURING COMPANY, Annealing of steel, heat treating ASM Handbook, tenth edition, Volume:4, pp. 42-55, 1996.
- [34] KIM, N.J., THOMAS, G., Effects of morphology on the properties of a dual phase Fe/2Si/0.1 C/steel, Met. Trans. Volume: 12A, pp. 483-489, 1981.

- [35] LIEWELLYN, D.T., HILLIS, D.J., Dual phase steels. Ironmaking and Steelmaking Review, Volume: 23, pp.471-488, 1996.
- [36] BOLVADİN, H., TEKİN, E., Çift fazlı içyapı oluşturma işleminin yapı çeliklerine etkileri. 6. Metalurji Kongre ve Sergisi, Cilt: 1, s. 249-261, 1990.
- [37] ÇİMENOĞLU, H., Alaşım-sız dual-fazlı çeliklerde mikroyapı mekanik özellik ilişkileri. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1984.
- [38] DEMETRI, M.Y. Met. Trans. Pp. 1187-1196, 1981.
- [39] OKOMAMOTO, A., HAYASHI, Y., TAKASHI, M., SUGISAWA, S., Bake hardenable al-killed steel for automotive body panels. SAE Technical Paper Series, 820018, 1982.
- [40] NAKAOKA, K., ARAKI, K., KURUKARA, K., Strength ductility and aging properties of continuously annealed dual-phase high strength steel sheets, formable HSLA and dual-phase steels. ed. by: A.T. Davenport, Aime, p. 128-143, 1977.
- [41] DEMİRKOL, M., Mekanik Metalurji Ders Notları. İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 1991.
- [42] COLDREN, A.P., ELDIS, G.D., The Journal of Molybdenum Technology. P 2-5, 1980.
- [43] LLOYD, E. Sheet Metal Inclustrics, Aug.1980 p. 706-714.
- [44] THELNING, K.E., Çelik ve Isıl İşlemi, Bofors El Kitabı, Çeviren: Adnan Tekin, İ.T.Ü., 1984, İstanbul.
- [45] KIM, K.J. and LEE, C.G., Effects of martenzite morphology on dynamic torsional behavior in dual phase steels. Scripta Materialia, Vol:38, pp.27-32, 1998.
- [46] XLIE-LING, CAI, GARRENT, A.J., OWEN W.S., The development of some dual-phase steel structures from different starting microstructures. Met. Trans. A., Vol: 19A, pp.543-557, 1985.
- [47] MINDIVAN, H., BAYDOĞAN, M., Çeliklerin aşınma davranışına çift-fazlı ısıl işleminin etkisi. 9.Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, s.164-171, 2002.
- [48] BAYRAM, A., ULA, M., OĞUZ, A., Effects of microstructure and notches on the mechanical properties of dual-phase steels. Faculty of Engineering and Architecture, Uludağ University, pp.259-269, 1999.

- [49] SPEICH, G.R., Dual phase steels, heat treating, ASM Handbook, Fifth Printing, pp.424-429, 1997.
- [50] KIM, I. S. AND LEE, J. S., Effect of intercritical annealing treatment on the fracture toughness of sa106 gr. c piping steel. 7th International Conference on Nuclear Engineering, Tokyo, pp.1-9,1999.
- [51] ERDOĞAN, M., ŞEKER, U., Sabit martenzit hacim oranında farklı martenzit parçacık boyutuna sahip çift fazlı çeliklerin işlenmesinde kullanılan kesici uç radyusunda aşınma ve sıvama oluşma eğiliminin yüzey pürüzlüğü üzerine etkisi. 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, s.1147-1157, 2000.
- [52] THOMAS, G., KOO, J. Y., Developments in strong, ductile duplex ferritic-martenzitic steels formable HSLA and dual-phase steels. Ed. By. Davenport A.T., AIME, pp.183-201,1977.
- [53] NAM W.J., BAE C.M., Microstructural evolution and its relation to mechanical properties in a drawn dual-phase steel. Journal Of Materials Science 34, pp.5661-5667, 1999.
- [54] SUDHAKAR, K.V., DWARAKADASA, E.S., A study on fatigue crack growth in dual phase martenzitic steel in air environment. Academy Of Science, Vol:23, Indian, pp.193-199, 2000.
- [55] TAYANÇ, M., TOKTAŞ, A., Dual-faz edilen 3936 kalite erdemir özel jant çeliğinin mikroyapı-mekanik özellik ilişkisinin araştırılması. 1.Demir Sempozyumu ve Sergisi Bil.Kitabı-2 s.715-718.
- [56] RAO, B.V.N., RASHID, M.S., Direct observation of deformation-induced retained austenite transformation in a vanadium-containing dual-phase steel. Previously Published In Metallography, pp.435-452, 1983.
- [57] HILLIS, D.J., LLWELLYN, D.T., EVANS, P.J., Rapid annealing of dual phase steels. Iron and Teel Making, vol: 25, No: 1 pp:47-54, 1998.
- [58] ASM Metals Handbook Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance Alloys, 10<sup>th</sup> Edition, Vol. 1.,1996.
- [59] MARDER, A.R., Factors affecting the ductility of dual-phase alloys, formable hsla and dual-phase steels. ed. by: Davenport A.T. , AIME, p.87-89, 1977.
- [60] GIORDANO, L., MUTTEAZZI, P., TIZIANI, A., ZAMBON, A., Retained austenite variation in dual-phase steel after mechanical stressing and heat treatment. Mat. Sci. and Eng., A/31, pp. 215-4, 1991.
- [61] TAMURA, I., TOMATA, Y. , AKAO, A. , .On the strength and ductility of two phase iron alloys. Transactions of ISIJ, 13, p. 283-296, 1973.



- [62] IZAR, N., Çelik seçimi ve sertleşebilme, M.M.O. Yayın No: 58., 1971.
- [63] MOULD, P.R., SKENA C.C., Structure and properties of cold rolled ferrite phase martensite (dual-phase) steels sheets, formable HSLA and dual-steels. Ed. By. A.T. Davenport, AIME, pp. 183-203, 1977.
- [64] DIETER, G.E., Mechanical Metallurgy, SI Edition, Mc Graw-Hill, Singapore, 1988.
- [65] BERNARD, S.J., SMITH, G.D.W., SARIKAYA, M., Carbon atom distribution in a dual phase steel an atom probe study. Scripta Metal, p.35-46., 1981.
- [66] DAVIES, R.G., On the ductility of two-phase steels, formable hsla and dual phase steels. ed.by: Davenport A.T., AIME, p. 25-39., 1977.
- [67] SPEICH, G.R., MILLER, R.L., Mechanical properties of ferrite martensite dual-phase steels. ed. by: R.A. Kot, J.W.Morris, AIME, p.145-181, 1979.
- [68] BALLIGER, N.K., GLADMAN, T., Work hardening of dual-phase steels. Met.Sci., vol.15, p. 95-108, 1981.
- [69] PIPLANI, R.K. , RAGHAVAN, G., Microstructure and its correlation with properties in dual-phase steels. Steel India, vol.4, p. 1-21, 1981.
- [70] RIGSBEE, J.W., VAN DER AREND, D.J., Laboratory studies of microstructures and structure property relationship in dual-phase hsla steels, formable HSLA and dual-phase steels. Ed.By: A.T. Davenport, Aime, s:56-86. , 1977.
- [71] ONINK, M., ZIJP, J., BODIN, A., High-strength steels for automotive applications. 41stMWSP Conf. Proc., ISS, Vol. 37, pp. 61-66, 1999.
- [72] TOMITA, Y., Effect of morphology of second-phase martensite on tensile properties of fe-0.1c dual-phase steels. Journal of Mater. Sci., 25, p. 5179-5184, 1990.
- [73] RAMOS, L.F., MATLOCK, D.K., KRAUSS, G., On the deformation behavior of dual-phase steels. Met. Trans., 10 A, p.259-261, 1979.
- [74] PARUZ, H., The strain hardening behavior of dual-phase steel. Mat. Sci. And Eng. , A132, p.67-74, 1989.
- [75] CRIBB, W.R., RIGSBEE, J.M., Work hardening behavior and its relationship to the microstructure and mechanical properties of dual phase steels. ed. by: R.A. Kot And J.W. Morris, Aime, s. 91-117, 1979.

- [76] ÜLER, E., Alaşimsız çelik saclarda çift fazlı mikroyapı oluşturulması. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [77] HAYAMI, S., FURUKAVA, T., Mikro Alloying 75, Proc. of on Int. Symp. On High Strength Low Alloy Steels Held in Washington, D.C. in 1975, Union Carbide Corporation, 39 th floor, 270 Park Avenue, New York, NY., p.311-321, 1977.
- [78] MATSUOKA, T., YAMOMORI, K., Metallurgical aspects of cold rolled high strength steel sheets. Met.Trans., 6(A), 1613-1622, 1975.
- [79] ASAMURA, S., Automotive HSLA Steels Produced by Nippon Steels, Paper Presented at Vanitec Dual-Phase Steels Seminars at Berlin, 1978.
- [80] YUKLER, A.İ., Alaşimsız dual fazlı çeliklerin mekanik ve nokta kaynağı özellikleri, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası., 1983.
- [81] KARAVOLIS, M., JHA, S., FORSTER, J., V6 ASM Handbook: Welding, Brazing, and Soldering, D.L. Olson, T.A. Siewert, S. Liu, and G.R. Edqards, eds., ASM International, Materials Park, OH, 1993.
- [82] KAYA, Ö., Lehimleme tekniğinde otomasyon ve işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [83] UZUN, H., Sert lehimleme teknikleri, Sakarya Üniversitesi.
- [84] DEGARMO, E. P., BLACK, J. T., KOHSER, R. A., Materials and processes in manufacturing ninth edition, John Wiley&Sons, U.S.A.2003.
- [85] ASLANLAR, S., Galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında uygun hasar modunun tespiti. Doktora Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [86] BARGEL, H.J., SCHUZE, G., Werkstoffkunde, Çev: GÜLEÇ, Ş., ARAN, A., Tübitak Yayını 1985.
- [87] CALLISTER, W. D. JR., Materials and Engineering, John Wiley and Sons, Canada, 1985.
- [88] RANGEL, A.F., MATLAKHOVA L.A., DA ROCHA PARANHOS, R. P., MAT LAKHOV, A.N., Evaluation of MIG-brazing welded joint by means of metallographic techniques. Welding International 2006 20 (11) 889-893.
- [89] IORDACHESCU, D., QUINTINO, L., MIRANDA, R., PIMENTA, G., MIG brazing of galvanized thin sheet joints for automotive industry. Materials and Manufacturing Processes, 21: 63-73, 2006.

- [90] DILTNEY, U., ULRICO, K., GMA-Brazing of galvanized and alloyed steels. Welding Institute, Aachen University, Germany, 2000, IIW Doc. XII-1630-00.
- [91] ROHDE, H., KATIC, J., PASCHOLD, R., (ESAB GgmbH, Solingen), ESAB pulsed gas-shielded metal arc brazing of surface-coated sheets. Svetsaren 2000; 3:20-23.
- [92] KERSCHE, A., TRUBE, S., (Linde AG) Shielding gases for gas-shielded metal arc brazing. In: Lecture at Thin Sheet Metal Conference, SLV Munich on 28 March 2000, Special edition, No. 50/02.
- [93] <http://www.gedik kaynak.com.tr/Urun/280/r4al/>, Ürün Katoloğu, Erişim Tarihi: 03.01.2013
- [94] CHOVET, C., GUIHEUX, S., Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra high strength steels for automotive applications. International Conference Super High Strength Steels, organized by AIM, Roma 2-4-nov. 2005.
- [95] ASLANLAR, S., Ders Notları, Sakarya Üniversitesi
- [96] OĞUZ, B., <http://www.oerlikon.com.tr> Oerikon Yayını, Kapiler Yükselmenin Esasları, 1988., Erişim Tarihi: 03.01.2013

## ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Balıkesir/GÖNEN' de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gönen'de tamamladı. 1997 yılında BAÜ Makine Bölümünde bir yıl eğitimine devam ettikten sonra kaydını aldı. 1998 yılında girdiği SAÜ Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünden 2002 yılında mezun oldu. 2002 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2006 yılında eğitimini tamamladı. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi bölümünde Doktora eğitimine başladı halen burada eğitimine devam etmektedir.