

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DP800 ÇELİK SACLARIN CMT LEHİMLEME YÖNTEMİ
İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim ACAR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğretim Üyesi Faruk VAROL

Temmuz 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DP800 ÇELİK SAÇLARIN CMT LEHİMLEME YÖNTEMİ
İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim ACAR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 03/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı

Dr. Öğretim Üyesi
Faruk VAROL
Üye

Dr. Öğretim Üyesi
Ömer SAVAŞ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

İbrahim ACAR

03.07.2018

TEŞEKKÜR

Genellikle otomotiv sanayinde kullanılan DP800 elik sacına CMT-lehimleme uygulanması ile ilgili çalıŐmaların yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında baŐta tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Faruk VAROL'a, Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a, Öğr. Gör. Veli ŐIKŐIK'a ve Erman FERİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Lehimleme işlemleri yapılmış olan DP800 elik saclarının lazer kesiminde, Sakarya Demir ve Metal San. Tic. Firması ve Tolga SAVUR beye teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman bana desteklerini sunan anneme, babama ve çok değerli eşime minnettarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2017-50-01-010) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK.....	3
2.1. Otomotiv Sanayisinde Kullanılan AHSS Çelik Türleri.....	4
2.1.1. Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikler.....	5
2.1.2 Çift fazlı (DP) çelikler.....	6
2.1.3. İkizlemeyle plastikliği arttırılmış (TWIP) çelikler.....	8
2.1.4. Martenzitik (M/MS/Mart) çelikler	8
BÖLÜM 3.	
ÇİFT FAZLI (DP) ÇELİKLER.....	9
3.1. Çift Fazlı Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	10
BÖLÜM 4.	
LEHİMLEME.....	13
4.1. Lehimleme.....	13

4.2. Sert Lehimleme.....	14
4.3. Yumuşak Lehimleme.....	15
4.4. CMT-Lehimleme.....	15
4.4.1. CMT-Lehimleme çeşitleri.....	16
4.4.1.1. CMT Pulse.....	16
4.4.1.2. CMT Advanced.....	17
4.4.1.3. CMT Advanced Pulse.....	17
4.4.2. CMT-Lehimleme.....	18
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	19
5.1. Genel.....	19
5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz.....	19
5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri.....	20
5.3.1. Numune hazırlama.....	21
5.3.2. CMT-Lehimleme İşlemleri.....	21
5.3.3. Optik mikroskop ve sertlik taraması için numune hazırlama.....	22
5.4. Sertlik Ölçümleri Deneyi.....	22
5.5. Mikro ve Makroyapı İncelenme	22
5.5.1. Mikroyapı	22
5.5.2. Makroyapı	23
5.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	23
5.6. Çekme Deneyi.....	23
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	25
6.1. DP800 Galvanizli Çelik Sacın CMT Lehimleme Yöntemi ile Alın Birleştirmeleri.....	25
6.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının özelliklerine etkisi.....	25
6.1.1.1. Lehim akım şiddetlerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	25

6.1.1.2. Farklı lehim akım şiddetlerinin lehim geometrisine etkisi.....	26
6.1.1.3. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	29
6.1.1.4. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	30
6.1.2. Farklı lehim ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi.....	33
6.1.2.1. Farklı lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	33
6.1.2.2. Farklı lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi.....	35
6.1.2.3. Farklı lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi.....	37
6.1.2.4. Farklı lehim ilerleme hızının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	38
6.1.3. Farklı lehim gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi.....	41
6.1.3.1. Farklı lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	41
6.1.3.2. Farklı lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	42
6.1.3.3. Farklı lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	45
6.1.3.4. Farklı lehim gaz debisinin mikroyapı özelliklerine etkisi.....	45
6.1.4. Farklı lehim aralığının bağlantının özelliklerine etkisi.....	48
6.1.4.1. Farklı lehim aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	48
6.1.4.2. Farklı lehim aralığının lehim geometrisine etkisi...	49
6.1.4.3. Farklı lehim aralığının bağlantının sertliğine etkisi..	52
6.1.4.4. Farklı lehim aralığının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	53

6.1.5. Farklı lehim torç açısının bağlantının özelliklerine etkisi....	56
6.1.5.1. Farklı lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	59
6.1.5.2. Farklı lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi.	57
6.1.5.3. Farklı lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi.....	59
6.1.5.4. Farklı lehim torç açısının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	60
6.2. DP800 Galvanizli Çelik Sacın CMT Lehimleme Yöntemi ile Bindirme Birleştirmeleri.....	63
6.2.1. Farklı lehim akım şiddetinin bağlantının özelliklerine etkisi..	63
6.2.1.1. Farklı lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	63
6.2.1.2. Farklı lehim akım şiddetlerinin lehim geometrisine etkisi.....	64
6.2.1.3. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	66
6.2.1.4. Farklı lehim akım şiddetlerinin mikroyapı özelliklerine etkisi.....	67
6.2.2. Farklı lehim ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi..	70
6.2.2.1. Farklı lehim ilerleme hızlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	70
6.2.2.2. Farklı lehim ilerleme hızlarının lehim geometrisine etkisi.....	71
6.2.2.3. Farklı lehim ilerleme hızlarının bağlantının sertliğine etkisi.....	73
6.2.2.4. Farklı lehim ilerleme hızlarının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	74
6.2.3. Farklı gaz debilerinin bağlantının özelliklerine etkisi.....	77
6.2.3.1. Farklı gaz debilerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	77
6.2.3.2. Farklı gaz debilerinin lehim geometrisine etkisi.....	78

6.2.3.3. Farklı gaz debilerinin bağlantının sertliğine etkisi....	80
6.2.3.4. Farklı gaz debilerinin mikroyapı özelliklerine etkisi.	80
6.2.4. Farklı torç açılarının bağlantının özelliklerine etkisi.....	83
6.2.4.1. Farklı torç açıları bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	83
6.2.4.2. Farklı torç açıları lehim geometrisine etkisi.....	84
6.2.4.3. Farklı torç açıları bağlantının sertliğine etkisi....	86
6.2.4.4. Farklı torç açıları bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	87
6.2.5. Farklı lehim aralığının bağlantının özelliklerine etkisi.....	90
6.2.5.1. Farklı lehim aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	90
6.2.5.2. Farklı lehim aralığının lehim geometrisine etkisi....	91
6.2.5.3. Farklı lehim aralığının bağlantının sertliğine etkisi..	93
6.2.5.4. Farklı lehim aralığının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	94
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	97
7.1. Sonuçlar.....	97
7.2. Öneriler.....	105
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	109

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°	: Derece
A	: Amper
AHSS	: Advanced High Strength Steel
CMT	: Cold Metal Transfer
cm	: santimetre
DP	: Dual Phase
dk	: dakika
HSLA	: High Strength Low Alloy
HSS	: High Strength Steel
HV	: Vickers Sertlik
IF	: Interstitial-Free
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
lt	: Litre
MAG	: Metal Aktif Gaz
MIG	: Metal Inert Gaz
Mn	: Mangan
mm	: milimetre
TRIP	: Transformation Induced Plasticity
TWIP	: Twinning-Induced Plasticity
V	: Volt
YMDA	: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	GM firmasının öngörülerine göre çelik türlerinin kullanımı.....	4
Şekil 2.2.	Farklı noktalarda farklı çelik türlerinin kullanıldığı bir araca ait şasi resmi	5
Şekil 2.3.	TRIP çeliğinin mikroyapı görüntüsü.....	6
Şekil 2.4.	DP,TRIP ve HSLA çeliklerinin gerilme-şekil değişimi grafiği ...	6
Şekil 2.5.	DP çeliğine ait şematik mikroyapı resmi.....	7
Şekil 2.6.	DP ve HSLA çelikleri gerilme-şekil değişimi grafiği.....	7
Şekil 3.1.	Çift fazlı çelik mikroyapı görüntüsü.....	10
Şekil 3.2.	Çelik türleri ve gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	11
Şekil 3.3.	Soğuk haddelenmiş, sade karbonlu ve çift fazlı çeliğe ait mukavemet-şekil değişimi grafiği.....	11
Şekil 4.1.	CMT işlem adımları.....	16
Şekil 4.2.	CMT ve darbe döngüleri kombinasyonu.....	16
Şekil 4.3.	Negatif CMT ve pozitif CMT kombinasyonu.....	17
Şekil 4.4.	Negatif CMT ve darbe döngüleri kombinasyonu.....	17
Şekil 5.1.	Lehimleme işleme yapılacak parçaların boyutları.....	21
Şekil 5.2.	Alın ve bindirme birleştirmede alınacak olan mikroyapı görüntü bölgeleri.....	23
Şekil 5.3.	TS EN 895'e göre hazırlanmış çekme deney numunesi ölçüleri...	24
Şekil 6.1.	Farklı akım şiddetlerindeki çekme mukavemetleri grafiği.....	26
Şekil 6.2.	Farklı akım şiddetlerindeki makro görüntüler.....	27
Şekil 6.3.	Farklı akım şiddetlerindeki lehim ısılatma açısı grafiği.....	28
Şekil 6.4.	Farklı akım şiddetlerindeki lehim genişliği grafiği.....	28
Şekil 6.5.	Farklı akım şiddetlerindeki lehim yüksekliği grafiği.....	29
Şekil 6.6.	Farklı akım şiddetlerindeki mikro sertlik değerleri grafiği.....	29

Şekil 6.7.	60A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.....	30
Şekil 6.8.	Farklı akım şiddetinde birleştirilen numunelerin lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	31
Şekil 6.9.	60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin SEM görüntüleri..	32
Şekil 6.10.	60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin lehim bölgesi EDS analizi.....	33
Şekil 6.11.	Farklı lehim ilerleme hızlarındaki mukavemet değerleri grafiği...	35
Şekil 6.12.	Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüler.....	35
Şekil 6.13.	Farklı lehim ilerleme hızlarında ıslatma açısı grafiği.....	36
Şekil 6.14.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.....	36
Şekil 6.15.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.....	37
Şekil 6.16.	Farklı lehim ilerleme hızları mikro serlik noktaları.....	38
Şekil 6.17.	36cm/dk ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin mikroyapı görüntüleri.....	38
Şekil 6.18.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	39
Şekil 6.19.	20cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin SEM görüntüleri.....	40
Şekil 6.20.	20cm/dk ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin lehim bölgesi EDS analizi.....	41
Şekil 6.21.	Farklı gaz debisi ve çekme mukavemeti sonuçları grafiği.....	42
Şekil 6.22.	Farklı gaz debilerinde elde edilmiş makro görüntüler.....	43
Şekil 6.23.	Farklı gaz debisi lehim ıslatma açısı grafiği.....	43
Şekil 6.24.	Gaz debisi lehim genişliği grafiği.....	44
Şekil 6.25.	Farklı gaz debisi lehim yüksekliği grafiği.....	44
Şekil 6.26.	Farklı gaz debilerinde mikrosertlik değerleri.....	45
Şekil 6.27.	18lt/dk gaz debisinde birleştirilmiş numuneye ait mikroyapı görüntüleri.....	46
Şekil 6.28.	Farklı gaz debilerinde elde edilmiş lehim bölgeleri mikroyapı görüntüleri.....	47

Şekil 6.29.	14lt/dk debi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri.....	48
Şekil 6.30.	14lt/dk debi ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesinden alınan noktasal EDS analizi	48
Şekil 6.31.	Farklı lehim aralıklarında maksimum çekme mukavemeti grafiği	49
Şekil 6.32.	Farklı lehim aralıklarında birleştirilmiş numunelerin makroyapı görüntüleri.....	50
Şekil 6.33.	Farklı lehim aralıklarında ıslatma açısı grafiği.....	51
Şekil 6.34.	Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği.....	51
Şekil 6.35.	Farklı lehim aralıklarında lehim yüksekliği grafiği.....	52
Şekil 6.36.	Farklı lehim aralıklarında sertlik sonuçları grafiği.....	53
Şekil 6.37.	0,8mm lehim aralığında birleştirilmiş numuneye ait mikroyapı görüntüleri.....	53
Şekil 6.38.	Farklı lehim aralıklarındaki lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.	54
Şekil 6.39	0,5 mm lehim aralığı SEM görüntüleri.....	55
Şekil 6.40	0,5 mm aralığı lehim bölgesi EDS analizi.....	55
Şekil 6.41	Farklı torç açılarında elde edilen maksimum çekme mukavemetleri grafiği.....	56
Şekil 6.42.	Farklı torç açılarında makro görüntüleri.....	57
Şekil 6.43.	Farklı torç açılarında ıslatma açısı grafiği	58
Şekil 6.44.	Farklı torç açılarında lehim genişliği grafiği.....	58
Şekil 6.45	Farklı torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.....	59
Şekil 6.46	Farklı torç açılarında mikro sertlik noktaları	60
Şekil 6.47	50 ⁰ torç açısında mikroyapı görüntüleri.....	60
Şekil 6.48	Farklı torç açılarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	61
Şekil 6.49	60 ⁰ torç açısında elde edilen numunenin ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri.....	62
Şekil 6.50	60 ⁰ torç açısında elde edilen numunenin lehim bölgesi noktasal EDS analizi.....	62
Şekil 6.51.	Farklı akım şiddetlerinde maksimum çekme mukavemetleri.....	64
Şekil 6.52.	Farklı akım şiddetlerindeki makro görüntüler.....	64
Şekil 6.53	Farklı akım şiddeti lehim genişliği grafiği.....	65

Şekil 6.54.	Farklı akım şiddeti lehim yüksekliği grafiği.....	66
Şekil 6.55.	Farklı akım şiddetlerinde mikrosertlik değerleri.....	67
Şekil 6.56.	100A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	67
Şekil 6.57	Farklı akım şiddetlerinde ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	68
Şekil 6.58	80A akım şiddetinde ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri.....	69
Şekil 6.59	80A akım şiddetinde ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi...	70
Şekil 6.60	Farklı lehim ilerleme hızlarında çekme mukavemeti sonuçları....	71
Şekil 6.61	Farklı ilerleme hızlarında makro görüntüler.....	72
Şekil 6.62.	Lehim ilerleme hızı lehim genişliği grafiği.....	73
Şekil 6.63.	Lehim ilerleme hızı lehim yüksekliği grafiği.....	73
Şekil 6.64.	Farklı lehim ilerleme hızlarında mikro sertlik değerleri.....	74
Şekil 6.65.	31 cm/dk ilerleme hızında birleştirilmiş numuneye ait mikroyapı görüntüleri.....	74
Şekil 6.66.	Farklı lehim ilerleme hızlarında ara bölge mikroyapı görüntüleri.	75
Şekil 6.67.	31cm/dk ilerleme hızında ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri.....	76
Şekil 6.68.	31cm/dk ilerleme hızında lehim bölgesinden noktasal EDS analizi.....	76
Şekil 6.69	Farklı gaz debilerinde mukavemet sonuçları grafiği.....	78
Şekil 6.70.	Farklı gaz debilerinde makro görüntüler.....	78
Şekil 6.71.	Farklı gaz debileri lehim genişliği grafiği.....	79
Şekil 6.72.	Farklı gaz debileri lehim yüksekliği grafiği.....	79
Şekil 6.73.	Farklı gaz debilerinde mikro sertlik değerleri.....	80
Şekil 6.74.	10lt/dk gaz debisinde elde edilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri.....	81
Şekil 6.75.	Farklı gaz debilerinde ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	82
Şekil 6.76.	18lt/dk gaz debisinde ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri.....	82
Şekil 6.77.	18lt/dk gaz debisinde ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi...	83
Şekil 6.78	Farklı torç açısı maksimum çekme mukavemeti grafiği.....	84

Şekil 6.79.	Farklı torç açılarında elde edilmiş numenelere ait makro görüntüler.....	85
Şekil 6.80.	Farklı torç açısı lehim genişliği grafiği.....	85
Şekil 6.81.	Farklı torç açılarında lehim yükseklikleri.....	86
Şekil 6.82.	Farklı torç açılarında mikro sertlik değerleri.....	87
Şekil 6.83.	60 ⁰ torç açısında elde edilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	87
Şekil 6.84.	Farklı torç açılarında ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	88
Şekil 6.85.	80 ⁰ torç açısında ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri....	89
Şekil 6.86.	80 ⁰ torç açısında elde edilmiş numuneye ait lehim bölgesi noktasal EDS analizi.....	89
Şekil 6.87.	Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemeti sonuçları.....	91
Şekil 6.88.	Farklı lehim aralıklarında makro görüntüler.....	91
Şekil 6.89.	Farklı lehim aralığı lehim genişliği grafiği.....	92
Şekil 6.90.	Farklı lehim aralığı lehim yüksekliği grafiği.....	93
Şekil 6.91.	Farklı lehim aralıklarında mikro sertlik değerleri.....	94
Şekil 6.92.	1 mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri.....	94
Şekil 6.93.	Farklı lehim aralıklarında ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	95
Şekil 6.94.	1 mm lehim aralığında ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri.....	96
Şekil 6.95.	1 mm aralığında ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi.....	96

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1. DP 800 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	19
Tablo 5.2. DP 800 Mekanik özellikleri.....	20
Tablo 5.3. CuAl ₈ lehim telinin normları	20
Tablo 5.4. CuAl ₈ lehim telinin kimyasal bileşenleri	20
Tablo 5.5. CuAl ₈ lehim telin mekanik özellikleri.....	20
Tablo 6.1. Lehim parametreleri ve çekme mukavemeti sonuçları	25
Tablo 6.2. Farklı lehim ilerleme hızları parametreleri	34
Tablo 6.3. Farklı lehim gaz debilerindeki lehim parametreleri.....	42
Tablo 6.4. Farklı lehim aralıklarında birleştirilen numunelerin parametreleri.....	48
Tablo 6.5. Farklı torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özellikleri.....	56
Tablo 6.6. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri.....	63
Tablo 6.7. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim parametreleri.....	71
Tablo 6.8. Farklı gaz debilerinde lehim parametreleri.....	77
Tablo 6.9. Farklı torç açılarında lehim parametreleri.....	84
Tablo 6.10. Farklı lehim aralıklarında uygulanan lehim parametreleri.....	90

ÖZET

Anahtar kelimeler: CMT-lehimleme, Çift Fazlı (DP) Çelikler

Son yıllarda enerjiye olan talebin artması ve enerji kaynaklarının azalmasıyla üreticiler daha yüksek mukavemetli çelikleri kullanmaya başlamışlardır. Otomotiv sanayisinde malzeme seçiminde hafiflik, düşük yakıt sarfiyatı, güvenlik ve çevre kirliliği gibi kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Bu nedenle geliştirilmiş olan çift fazlı (DP) çelikleri otomotiv sektöründe çok kullanılmaktadır.

Çift fazlı (DP) çelikleri sünekliği sağlayan ferrit fazdan ve mukavemet arttırıcı etkisi bulunan martenzit fazdan oluşmaktadır. Akma dayanımı düşük çekme mukavemeti yüksek olduğundan dolayı kolay şekillendirilebilme özelliğine sahiptir. CMT-lehimleme yöntemi geleneksel kaynak yöntemlerine göre çok daha düşük ısı girdisi sunmasından dolayı bu yöntem tercih edilmiştir.

Bu çalışmada 1mm kalınlığında galvaniz kaplı DP800 çelik sacı CMT-lehimleme yöntemi ile CuAl8 ilave tel kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi alın ve bindirme yöntemleri ile yapılmıştır. CMT-lehimleme işlemi beş farklı parametrede tatbik edilmiştir. Bunlar akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, torç açısı ve lehim aralığıdır.

CMT-lehimleme işlemi yapılmış numunelerin mukavemet özellikleri ve bağlantı noktalarının sertlik değerleri ölçülmüştür. Makro ve mikroyapı incelemelerinde, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analizi (EDS) cihazı kullanılmıştır.

ANALYSIS AND INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND JOINABILITY OF DP800 STEELS IN CMT BRAZING METHOD

SUMMARY

Keywords: CMT-brazing, Dual phase (DP) steels

Manufactures have begun to use high strength steels with the increase in demand for energy in recent years and the reduction of energy. In the automotive industry, criteria such as lightness, low fuel consumption, safety and environmental pollution are considered. Dual phase (DP) steels developed for for this reason are widely used in the automotive industry.

Dual phase (DP) steels are composed of ferrite phase which provides ductility and martensite phase which is a strengthening effect. Its yield strength is low and its tensile strength is high. This method is preferred because the CMT-soldering method provides much lower heat input than conventional welding methods.

In this study, 1mm thick galvanized coated DP800 steel sheet was joined by using CMT-brazing method using CuAl8 additive wire. The joining process is done by using butt joint and overlap joint. The CMT-brazing process was applied to five different parameters. These are current intensity, travel speeds, shielding gas, torch angle and brazing gaps.

The strength properties of CMT-brazed specimens and the hardness values of the connection points were measured. Microscope, scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis were used in macro and microstructure investigations.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda enerjiye olan talebin artması ve enerji kaynaklarının azalmaya başlaması sebebiyle üreticiler daha ekonomik ve daha az yakıt tüketimine sahip araçlar üretmeye çaba göstermişlerdir [1]. Otomotiv sanayisinde malzeme seçiminde hafiflik, düşük yakıt sarfıyatı, güvenlik ve çevre kirliliği gibi kriterlerin yanı sıra şekillendirilebilirlik, kaynak edilebilirlik, tamir edilebilirlik ve kaplama işlemine uygunluk gibi kriterler de göz önünde bulundurulmaktadır. Son yıllarda, yüksek mukavemet değerine sahip, yakıt tasarrufu sağlayan, karbondioksit salınımı düşük yüksek mukavemetli çeliklere (AHSS, Advanced High Strength Steels) yönelme artmıştır. Otomotiv üreticileri daha kalın malzemeler yerine daha ince fakat daha yüksek mukavemet değerine sahip çelikler kullanmaya başlamışlardır. Böylelikle 2 mm kalınlığındaki parça yerine aynı mukavemet değerine sahip 1 mm kalınlığında parça kullanarak güvenlikten ödün vermeden hafiflik ve yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir [2,3].

Otomotiv sanayisinde kullanılan çelikler genel olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Birincisi mukavemet değeri 270 Mpa'ın altında olan IF çelikleri ve diğerleri gibi düşük mukavemet değerine sahip çelikler. İkincisi; mukavemet değerleri 270 Mpa ile 700 Mpa arasında değişen yüksek mukavemetli çelikler (HSS) ve üçüncüsü ise mukavemet değeri 700Mpa üzerinde olan ultra yüksek mukavemetli çelikler (AHSS)'dir [4].

Mukavemet değerlerine göre yüksek mukavemetli ve ultra yüksek mukavemetli çelikler arasında yer alan DP çelikleri üstün özelliklerini içyapı özelliklerinden almaktadırlar. Bir fazdan elde edilen üstün özellikten faydalanılırken, aynı fazın istenmeyen özellikleri başka bir faz yardımı ile kontrol altında tutulmaktadır. Malzemeye sertlik özelliği katan martenzit fazı gerekli olan dayanımı sağlarken,

sünekliği ise yumuşak faz olan ferrit fazı sağlamaktadır. Böylelikle her iki özelliğin de bir arada bulunması hem dayanımı hem de sünekliği yüksek olan bir malzeme elde edilmiştir [5]. Aynı akma değerine sahip diğer çeliklere nazaran DP eliklerinin kopma mukavemet değerlerinin yüksek olması, çarpışma performansının yüksekliği ve ağırlık azaltıcı etkilerinden dolayı otomotiv sektöründe geniş kullanım alanı bulmaktadır [6]. Tekerlek jantı, koltuk erevesi, tampon, kapı panelleri, şasi gibi presle şekillendirilen parçalar ve bazı bağlantı elemanlarının yapımında çift fazlı (DP) elikler kullanılmaktadır [7].

Otomobil üretimi esnasında 700'e yakın preslenmiş ve kesilmiş parça ve yaklaşık 400 adet talaş kaldırma işlemi ile elde edilmiş parça bulunmaktadır. Bu parçalar cıvata, perçin, kıvrırma, lehimleme, yapıştırma ve kaynak yöntemleri ile birbirlerine birleştirilmektedir. Yapılan kaynaklar toplamda; yaklaşık 5000 adet elektrik nokta direnç kaynağı, 30 metre kadar ark kaynağı, 1 metre elektron için kaynağı ve 15 adet sürtünme kaynağından oluşmaktadır. Üretimde kullanılan çeliklerin birleştirilebilmesi için otomasyona uyumlu kaynak yöntemleri tercih edilmektedir. Bu yöntemlerden en çok nokta direnç kaynağı ve gaz altı (MIG-MAG) kaynak yöntemleri kullanılmaktadır [8].

CMT (Cold Metal Transfer) lehimleme yöntemi Fronius şirketi tarafından geliştirilmiş bir MIG kaynak yöntemidir. CMT-lehimleme işlemi düşük enerji girişi, sıçrama olmaması ve son derece kararlı ark gibi özellikler sunmaktadır [9].

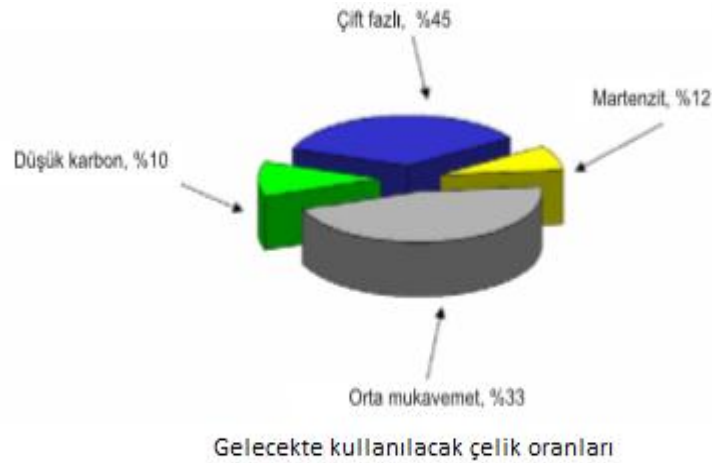
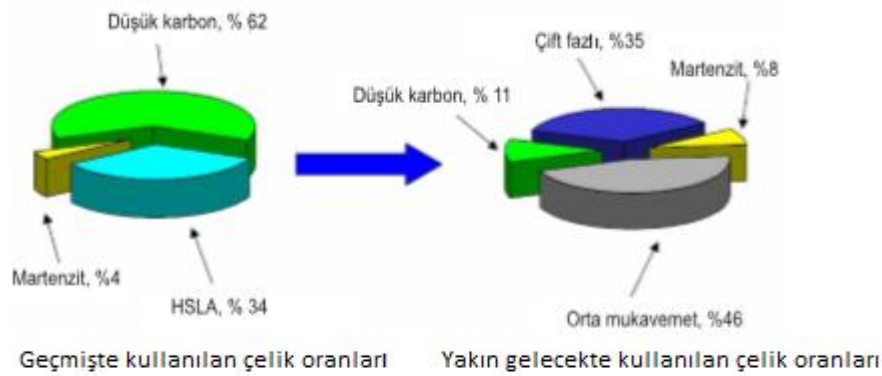
Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan galvaniz kaplı DP800 elik sacları CMT-lehimleme yöntemi ile alın ve bindirme birleştirme şeklinde farklı akım şiddetleri, farklı lehim ilerleme hızları, farklı gaz debileri, farklı torç açıları ve farklı birleştirme aralıklarında birleştirilerek mekanik özellikleri ve iç yapıları incelenecektir. Ayrıca lehim genişliği ve kep yükseklikleri tespit edilerek uygun parametreler belirlenmeye çalışılacaktır. Galvaniz kaplı DP800 elik sacının diğer birleştirme yöntemlerine göre üstünlükleri ispatlanmaya çalışılacaktır.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK

Otomotiv sektöründe çok kullanılan çelik malzemelerin hammaddesi olan demir, dünyada en çok bulunan elementlerden biridir. Ucuzluğu ve işlenmesindeki kolaylığından dolayı makine sanayi, taşımacılık, ve savunma sanayi gibi birçok sektörde çok kullanılmaktadır. Çelik malzemeler ile ilgili olarak yapılan araştırma geliştirme (AR-GE) çalışmaları neticesinde yeni kullanım alanlarında artışlar görülmektedir. Teknolojik gelişmeler ile beraber yeni nesil çelikler geliştirilmiştir. Bu yeni nesil çeliklerin hafif ve mukavemet değerlerinin yüksek olması önemli kazanım elde edilmesine neden olmuştur. Otomotiv sektöründe, yakıt tüketiminin düşürülebilmesi için geliştirilen yeni nesil çelikler, herhangi bir mukavemet kaybı olmadan parça kalınlıklarının azaltılması sonucu toplam araç ağırlığının azaltılmasını sağlamaktadır [10].

Araçlarda yakıt tüketimini azaltmak maksadıyla plastik, alüminyum, magnezyum gibi malzemelerin kullanımı artış göstermesine rağmen çelik üretim endüstrisindeki gelişmeler sayesinde çelik otomotiv sektörü için hala önem arz etmektedir. Araçların üretim konsepti açısından otomobillerden istenilen özelliklerin başında güvenlik, yakıt verimi, sürüş performansı, konfor ve maliyet gibi etkenler gelmektedir. Diğer taraftan bu unsurlarında yanı sıra egsoz emisyonunun düşük olması da önemli istenilen bir özelliktir [4,11].

Otomobil gövdesinin neredeyse %25'i metal sac parçalardan oluşmaktadır. Bu parçalar yeni nesil çelikler ile üretilmekte olup birim ağırlık bazında daha yüksek mukavemet değerine sahiptir. Bu nedenle yeni nesil çeliklerin kullanımı hızlı bir artış göstermektedir. Şekil 2.1.'de otomotiv endüstrisinde kullanılan bazı çelik türlerinin kullanım aralıkları verilmektedir.

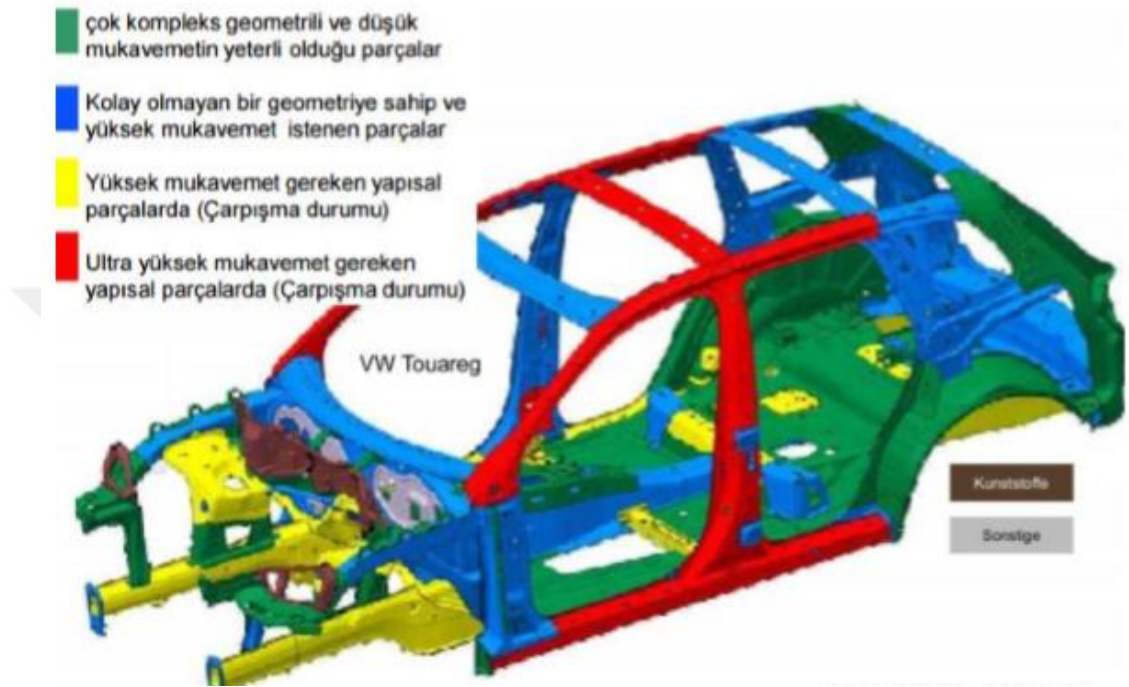


Şekil 2.1. GM firmasının öngörülerine göre çelik türlerinin kullanımı [10].

2.1. Otomotiv Sanayisinde Kullanılan AHSS Çelik Türleri

Yüksek dayanım ve şekillendirilebilme kabiliyetlerinden dolayı AHSS çelikleri tamamen otomotiv gövde, panel ve kaporta parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. Geliştirilen bu yeni nesil çelikler yerine geleneksel yüksek mukavemetli yada yumuşak çeliklerin kullanılmasında ortaya çıkan en büyük sorun dayanım ile şekillendirilebilme özelliklerinin uyumsuzluğudur. Mukavemet değeri çok yüksek veya sünekliği çok yüksek olan çeliklerin parça üretiminde önemli sorunlar ile karşılaşabilmektedir. Asıl istenilen hem mukavim hemde sünek bir malzemedir. Bu

sorunların aşılabilmesi için geliştirilmiş olan AHSS çelikleri daha dar kesitli malzeme kullanarak azalan ağırlığa karşılık olarak artan mekanik özellikleri neticesinde önemli bir malzeme konumuna gelmiştir [13]. Şekil 2.2.'de bir aracın şasisinde AHSS çeliğinin kullanıldığı farklı parçalar görülmektedir.

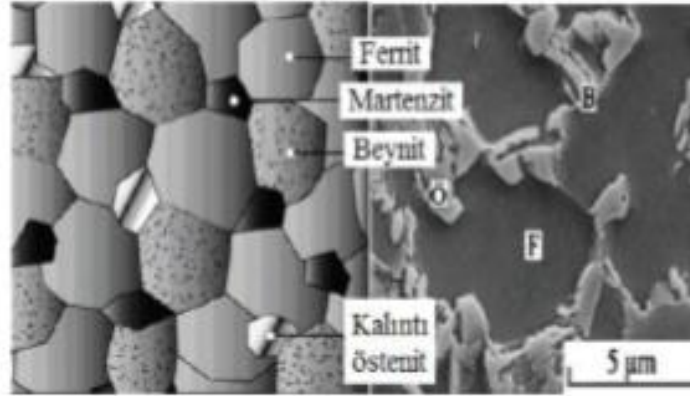


Şekil 2.2. Farklı noktalarda farklı çelik türlerinin kullanıldığı bir araca ait şasi resmi [5].

Resimde görüldüğü üzere bir araçta ilk çarpışmanın gerçekleşme ihtimali olan bölgeler AHSS çelikleri ile üretilmiştir. Bu AHSS çeliklerinin otomotiv endüstrisindeki yerini ve önemini göstermektedir.

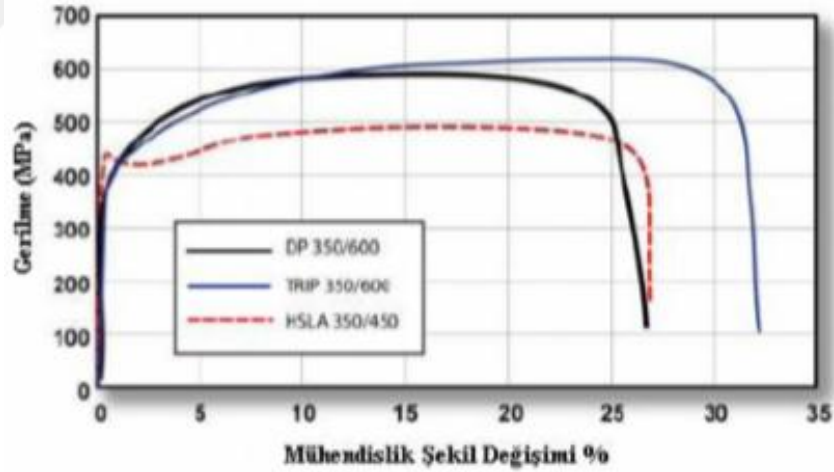
2.1.1. Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikler

TRIP çelikleri özellikle otomotiv sektörü için geliştirilmiş AHSS çeliklerindedir. Şekil 2.3.'de verilen mikroyapı özelliklerine bakılacak olursa, yumuşak ferrit matrisi içerisinde bulunan beynit ve kalıntı östenit tanelerinden oluşmaktadır. Bu kalıntı östenitler deformasyon esnasında martenzite dönüşebilmektedir. Böylece yüksek uzama değerlerinde mükemmel şekillendirilme özelliği gösterir. Yüksek darbe enerjisi absorbe edebilme ve uzun yorulma ömrü nedeniyle otomotiv sanayisinde kullanılmaktadır [13].



Şekil 2.3. TRIP çeliğinin mikroyapı görüntüsü [1]

Şekil 2.4.'de birbirine çok yakın çekme mukavemeti değerlerine sahip DP, TRIP ve HSLA çeliklerinin gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir. TRIP çeliğinin mukavemeti diğer çelikler ile aynı olmasına karşın, şekil değişim oranı çok daha yüksektir.



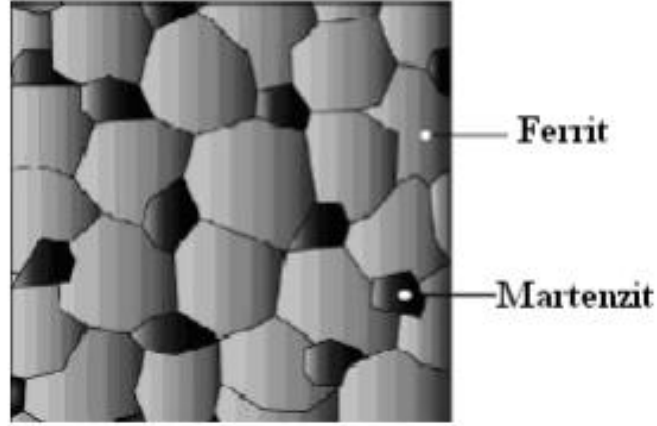
Şekil 2.4. DP,TRIP ve HSLA çeliklerinin gerilme-şekil değişimi grafiği [13]

2.1.2. Çift fazlı (DP) çelikler

Çift fazlı çelikler yumuşak ferrit matris içinde adacıklar şeklinde ortalama %10-30 civarında sert martenzit fazı içermektedir. Bu tür çeliklere çift fazlı çelikler denilmesinin sebebi ferrit ve martenzit fazlarından oluşmasından dolayıdır [14,15].

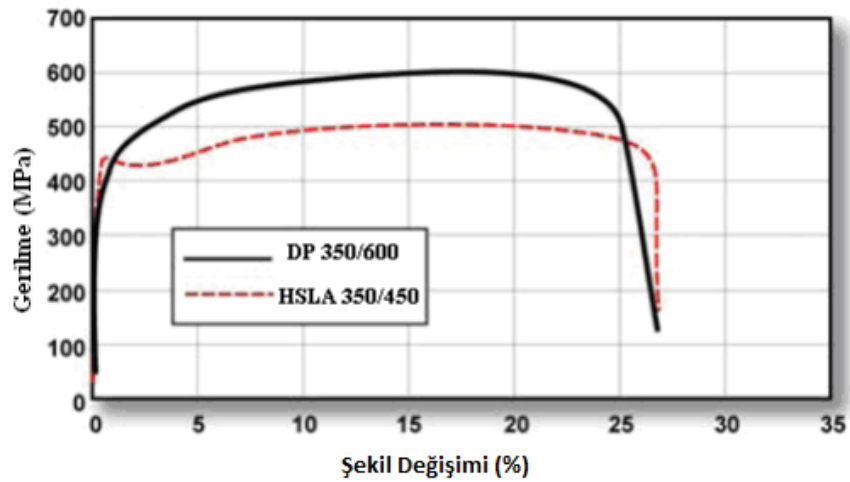
Dayanımın yükselmesi ile beraber sert olan ikincil martenzitik fazın hacim oranında artış olur. Şekil 2.5.'de verilen DP çeliğine ait şematik mikroyapı resminde ferrit yapı içerisinde martenzit adaları görülmektedir.

Ferrit-Martenzit (DP)



Şekil 2.5. DP çeliğine ait şematik mikroyapı resmi [16]

DP çelikleri sertleştirilme ve mükemmel uzama kabiliyetinden dolayı aynı akma dayanımlarındaki diğer çeliklere nazaran daha fazla çekme dayanımına sahiptir. Şekil 2.6.'da DP çelikleri ile HSLA çelikleri gerilme-şekil değiştirme kıyaslaması grafik olarak verilmiştir [16].



Şekil 2.6. DP ve HSLA çelikleri gerilme-şekil değişimi grafiği [16]

2.1.3. İkizlenmeyle plastikliği arttırılmış (TWIP) çelikler

Bu tür çelikler yüksek mukavemet değeri (>800Mpa) ve yüksek şekillendirilebilme özelliğine sahiptir. TWIP çeliği kimyasal bileşiminde yüksek oranda Mangan (Mn) içeren östenit fazında bir çeliktir. Mukavemet değerinin yüksek olması ve şekillendirilebilir olması TWIP çeliklerinin otomotiv sektöründe kullanımı arttırmaktadır. Bu tür çeliklerin yüksek oranda geri esnemeleri en büyük dezavantajıdır [12, 17].

2.1.4. Martenzitik (M/MS/Mart) çelikler

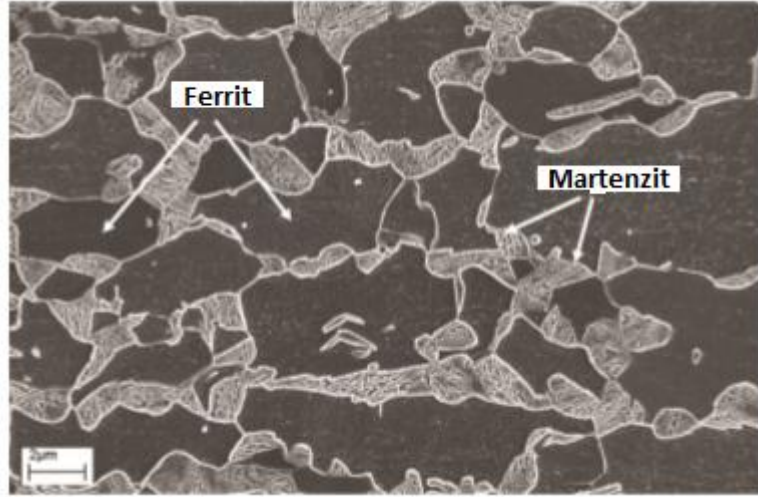
Martenzitik çelik elde edilebilmesi için sıcak haddeleme veya tavlama esnasında meydana gelen östenit yapı, su verme işlemi ile martenzite dönüştürülmüş olur. Martenzitik çelikler sünekliğin arttırılabilmesi su verme işleminden sonra temperleme işlemine tabi tutularak yüksek mukavemet değerlerinde bile şekillendirilebilme özelliği sağlanır. Martenzitik çeliklerde karbon oranı arttıkça çekme mukavemeti değeri de artmaktadır. Çekme dayanımları 1700 Mpa'a kadar çıkabilir. Mangan, molibden, silisyum, bor ve nikel ilave edilerek çeliğin sertliği arttırılabilir [12,18].

BÖLÜM 3. ÇİFT FAZLI (DP) ÇELİKLER

Araçlarda yakıt tüketiminin düşürülmesi ve çevre salınan zararlı gazların en aza indirilebilmesi için demir-çelik üreticilerinin yanısıra ülke yönetimleri de çift-fazlı çelikler ile ilgili yapılan çalışmalara destek vermişlerdir. Bu destekçi grupların başında Toyota, GM, Nippon steel, Arcelor-Mittal gibi çelik üreticileri gelmektedir. Bir çok çelik çeşidi geliştirilmiş olmasına rağmen dayanım-süneklik ve fiyat performans açısından en çok kullanılan çelik grubunun başında DP çelikleri gelmektedir. 1950'li yıllarda sade karbonlu çeliklerin yerine yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin kullanılması ile araç ağırlıklarında düşüş olması açısından önemli bir adım atılmıştır. Fakat şekillendirilme kabiliyetlerinin kötü olması dezavantaj oluşturmuştur. Bu tür çeliklerden üretilmiş olan çift fazlı çelikler yüksek dayanım-süneklik performansı dolayısıyla otomotiv endüstrisinde YMDA çeliklerinin yerini almıştır [19].

Çift fazlı çelikler yumuşak olan ferrit matris içerisinde %20-25 oranında sert olan martenzit fazdan oluşmaktadır. Çift fazlı çelikler interkritik bölgede (östenit+ferrit faz bölgesi) tavlama işlemi sonrasında uygun hızda soğutularak yeterli miktarda östenitin martenzit fazına dönüşümüyle elde edilmektedir. Kritik soğutma hızında var olan östenitin tamamı martenzit fazına dönüşerek yapı ferrit martenzit karışımı haline gelir [20].

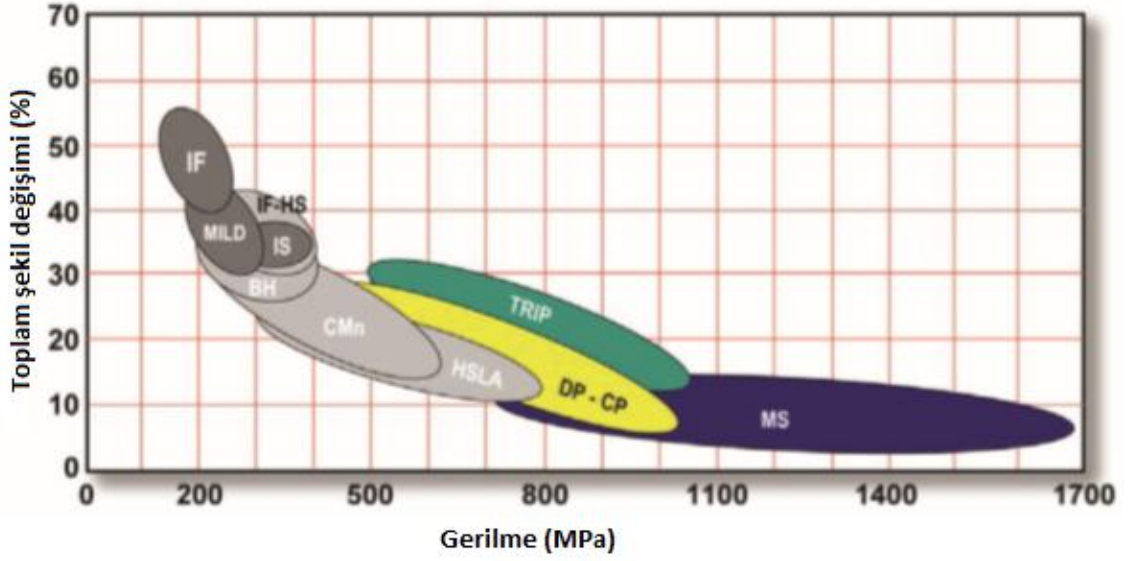
Çift fazlı çelik mikroyapısı Şekil 3.1.'de verilmiştir. Bu tür çelikler ferrit ve martenzit fazının bir arada bulundurmalarından dolayı hem yüksek mukavemet değerine hem de mükemmel sünekliğe sahiptirler. Yapıda bulunan ferrit fazı yüksek sünekliği sağlarken, martenzit fazı ise mukavemet ve sertlik değerini arttırmaktadır [8].



Şekil 3.1. Çift fazlı çelik mikroyapı görüntüsü

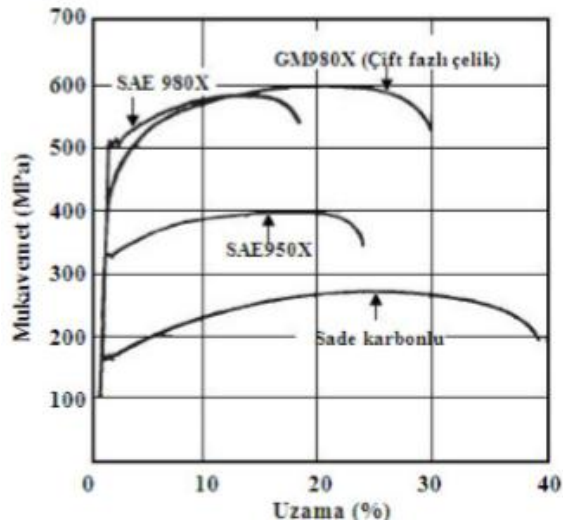
3.1. Çift Fazlı Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

İki fazlı çelikler veya DP çelikler terimi, iki fazdan oluşan yüksek mukavemetli çeliklerin bir sınıfını ifade eder; normalde bir ferrit matrisi ve dağılmış ikinci bir martensit fazından oluşmaktadır. DP çelikler 1970'lerde geliştirilmeye başlanmıştır. Bu gelişme, şekillendirilebilirliği azaltmadan veya maliyetleri artırmadan yeni yüksek dayanımlı çeliklere olan ihtiyaçtan kaynaklanmaktaydı. Özellikle otomotiv endüstrisi, üretim maliyetini etkilemeden kaynaklanabilirliği sağlamak için şekillendirilebilirliği, yorulma ve çarpışma direncini oluşturmak için yüksek gerilme mukavemeti, düşük alaşımlı muhteviyatı sağlamak için yüksek gerilme uzaması olan çelik kaliteleri talep etmiştir. Yıllar sonra, DP çeliklerine olan talep hala çok fazladır. Yüksek mukavemeti ve iyi şekillendirilebilirliği birleştirebilen ve böylece araçların ve diğer ürünlerin ağırlığını azaltan malzemeler, çevresel ve ekonomik avantaj sağlar. DP çelikleri diğer yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerle karşılaştırıldığında çekme dayanımının ve uzama katsayısının çok daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 3.2.'de çelik türleri ve gerilme-şekil değiştirme grafiği verilmiştir [21].



Şekil 3.2. Çelik türleri ve gerilme-şekil değiştirme grafiği [21]

Çift fazlı çelikte bulunan martenzit fazı malzemenin mukavemetini arttırdığı gibi, darbeli çalışma, çökme ve eğilme gibi karakterlerini de iyileştirir. Şekil 3.3.'de verilmiş grafiğe bakıldığında %0,2 lik uzamanın olduğu nokta plastik deformasyona başlandığı noktadır. Bu noktanın diğer sade karbonlu çeliklerden daha yukarıda olması şekil değiştirme kabiliyetinin daha iyi olduğunu gösterir. Şekillendirilmenin iyi olması, malzemenin elastik deformasyon bölgesinden ziyade plastik deformasyon bölgesinde uzamaya başlamasının ifadesidir [7].



Şekil 3.3. Soğuk haddelenmiş, sade karbonlu ve çift fazlı çeliğe ait mukavemet-şekil değiştirme grafiği [7]

Çift fazlı çelikte bulunan martenzit ve ferrit fazlarının sağladığı bazı avantajlar şunlardır;

- Sürekli akma davranışı
- Akma mukavemeti/çekme mukavemeti oranının düşük olması
- Pekleşme katsayısının optimum düzeyde olması
- Uzama değerlerinin yüksek ve orantılı olmasıdır.

Bu tür çelikler sürekli akma gösterebildikleri için şekillendirilme sonrası yüzeyler düzgündür. Ayrıca düşük akma mukavemeti sayesinde az bir kuvvet ile plastik deformasyonda şekillendirilebilir. Yüksek çekme dayanımı ise parçaların hasara uğramalarını geciktirir [7].

Düşük akma dayanımı, sürekli akma davranışı, yüksek pekleşme hızı, toplam ve orantılı uzama, yüksek yorulma dayanımı ve korozyon direnci özelliklerinden dolayı çift fazlı çeliklerin otomotiv endüstrisinde kullanımı oldukça yayındır [4,22].

Araçlarda kullanılan yardımcı parçalar, şasi, paneller ve tekerlek jantı gibi parçalar çift fazlı çeliklerin kullanımı ile araç ağırlığında yaklaşık %10 tasarruf sağlanmıştır. Böylelikle yakıt sarfiyatı azalmış ve araç daha ekonomik hale gelmiştir. Örneğin çift fazlı çeliklerden elde edilmiş tamponun ağırlığı, mukavemet ve darbelere karşı dirençte herhangi bir düşüş olmaksızın %25-30 oranında azaltılabilmektedir. Jantlarda ise bu oran %12'lerdedir [4,8].

BÖLÜM 4. LEHİMLEME

4.1. Lehimleme

İki veya daha fazla metalik malzemenin bir ilave metal kullanılarak ana metallerin ergimeden ilave metalin ergime sıcaklığının üzerinde herhangi bir sıcaklıkta birleştirilmesi işlemine “lehimleme” denilmektedir. Lehimleme işleminde temel amaç ana metallerin ergimemesi, sadece ilave metal olarak kullanılan malzemenin ergimesidir. Bu birleştirme özelliğinden dolayı kaynak işleminden ayrılmaktadır. Lehimleme işlemi aynı özelliklerdeki metal malzemelere uygulanabileceği gibi farklı özelliklere sahip metallerin birleştirilmesinde de kullanılmaktadır. Lehimleme işlemi özellikle iletkenlik ve sızdırmazlık istenilen yerlerde kullanılmaktadır.

Lehimleme işleminin diğer birleştirme yöntemi olan kaynaklı birleştirmeye göre bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz.

- Birleştirilecek malzemelerin kaynak edilebilirliklerinin düşük olması
- Farklı metal parçalarının birleştirilmesi
- Düşük ısı girdisinden dolayı ana malzemedeki çarpılma ve iç yapı değişikliğinin olmaması
- Birleştirilen yüzeyin temiz olması.

Lehimleme işleminin en büyük dezavantajı ise yüksek mukavemet sağlayamamasıdır.

Lehimleme işlemi 2' ye ayrılmaktadır. Eğer işlem 450 °C'nin altında bir sıcaklık değerinde gerçekleştiriliyorsa yumuşak lehimleme olarak isimlendirilmektedir. Yapılan işlem 450 °C'nin üzerinde olursa sert lehimleme olarak isimlendirilmiştir.

İki yöntemde temel olarak aynıdır. Belirgin fark ilave metalin ergime sıcaklığından dolayı meydana gelmektedir.

4.2. Sert lehimleme

Sert lehimleme bir ilave metalin 450 °C'nin üzerinde ergitildiği ve birleştirilecek yüzeylerin arasına kapiler etki ile dağıldığı lehimleme yöntemidir. Bu tür lehimlemede birleştirme sıcaklığı ana malzemenin ergime derecesinden düşük olacağı için ana malzemede ergime meydana gelmemektedir. Sadece ilave metal ergir. Eğer bağlantı uygun bir şekilde tasarlanıp sert lehimleme işlemi doğru bir şekilde uygulanabilirse, ilave metalin katılaşması ile lehimli birleştirmenin mukavemet değeri ana malzemenin mukavemet değerinden daha yüksek çıkabilmektedir. Bunun nedeni sert lehimleme işleminde iki malzeme arasındaki aralıkta ana malzeme ile ilave metalin arasında metalurjik bir bağ oluşumudur [23].

Sert lehimleme işleminin çok kullanılmasının nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Sert lehimleme ile birleştirilen parçaların dayanımı yüksektir.
- Birleşim yerleri darbe ve titreşimlere karşı dayanıklıdır.
- İşlemin uygulanması kolaydır.
- Otomasyona uygundur.
- Farklı ergime derecelerine sahip metaller birleştirilebilir (Örneğin çelik ve bakır).
- Birleştirme işlemi ana metalin ergime derecesinden düşük sıcaklıklarda gerçekleştirileceği için ana malzemede deformasyon meydana gelmez.
- Birleştirilmiş bölgenin estetik görüntüsü iyidir [24].

Lehimleme işlemi öncesinde birleşme yüzeylerinin temizliği çok önemlidir. Birleştirme esnasındaki ıslatma özelliğini iyileştirebilmek, kapiler etkiyi yükseltmek ve tüm ara yüzey boyunca bağlanmayı sağlayabilmek için parçaların yüzeyindeki oksit, yağ ve diğer istenmeyen maddelerin temizlenmesi gerekmektedir. Yüzey temizleme işlemi çözücü sıvılar ile, metal fırça ile veya kumlama tekniği ile yapılmaktadır. Ayrıca temizleme işleminden sonra ve lehimleme işlemi esnasında,

yüzey temizliğini korumak ve temas yüzeyleri arasındaki ıslatma özelliğini artırmak için dekapanlar kullanılmaktadır [23].

4.3. Yumuşak lehimleme

İlave metalin ergime sıcaklığının 450 °C'nin olduğu lehimleme işlemlerine yumuşak lehimleme adı verilmektedir. Diğer lehimleme işlemlerinde ana metaller arasındaki bağlantı, birleştirme işlemi yapılacak olan metallerin birleşme yüzeylerinin, ergimiş ilave metal tarafından ıslatılması ve ilave metalin katılaşana kadar soğutulmasıyla gerçekleşmektedir. Yumuşak lehimleme; kaynaklı birleştirmenin mümkün olmadığı yerlerde, kaynak ile birleştirilmesinin ekonomik ve pratik olmayan metallerin birleştirilmesinde, diğer birleştirme yöntemlerinin kullanılamayacağı kadar küçük parçaların birleştirilmesinde, soğutma sistemlerinde, elektrik-elektronik sektöründe ve motorlu araçlarda çok kullanılmaktadır [8].

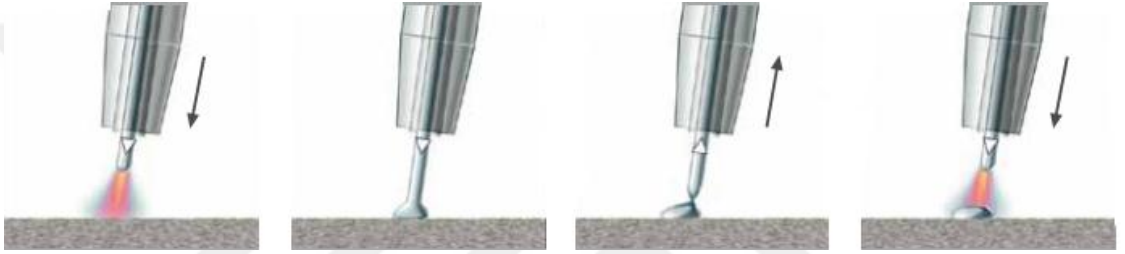
4.4. CMT-Lehimleme

CMT (Cold Metal Transfer) soğuk metal transferi, Fronius firması tarafından geliştirilen MIG/MAG prosesidir. Bu yöntemdeki amaç, ısı girdisini ve sıçramayı en aza indirmek. Böylece birleştirilen ana metaller daha az zarar görmektedir. Bu işlem kısa devre meydana geldiğinde telin mekanik olarak geri çekilmesi ile gerçekleşir. Telin geri çekilmesi ile, oluşan akım yükselmesi önlenir veya azaltılır. Bir damla metal, elektromanyetik sıkışma etkisi ile değil, mekanik geri çekme yoluyla aktarılmış olur. İşlem esnasında kontrollü damlacık transferinden dolayı sıçramanın olmadığı düşünülmektedir. Ana besleyici, telin sabit bir hızla beslenmesini sağlar ve geri çekme işlemi saniyede 90 kez yapılır [12].

CMT lehimleme işlemi kısa ark veya daha çok bu arkın sistematik devamsızlığına dayanmaktadır. İşlem esnasında “sıcak-soğuk-sıcak-soğuk” olarak değişen bir düzen ortaya çıkmaktadır. Bu “sıcak-soğuk” prosesi ark basıncını büyük oranda azaltmaktadır. CMT prosesini diğer benzer kısa ark proseslerinden farklı kılan üç

önemli kriter vardır: Tel hareketleri proses regülasyonu ile birleştirilir, ısı girdisi düşürülür ve metal transferi sıçrama olmadan gerçekleşir [25].

CMT-lehimlemenin işleyiş süreci yanma fazındaki arkın oluşturduğu kaynak banyosuna dolgu malzemesi daldırılır. Dolgu malzemesinin kaynak banyosuna daldırılması ile ark söner ve akım azalır. Tel geri doğru hareket ederek kısa devre esnasında damlacık oluşumuna yardımcı olur. Kısa devre akımı düşük seviyede tutulur. Telin hareket yönü tersine çevrilerek prosese yeniden başlanılır. Şekil 4.1.'de CMT işlem adımlarının şematik resmi verilmiştir [26].

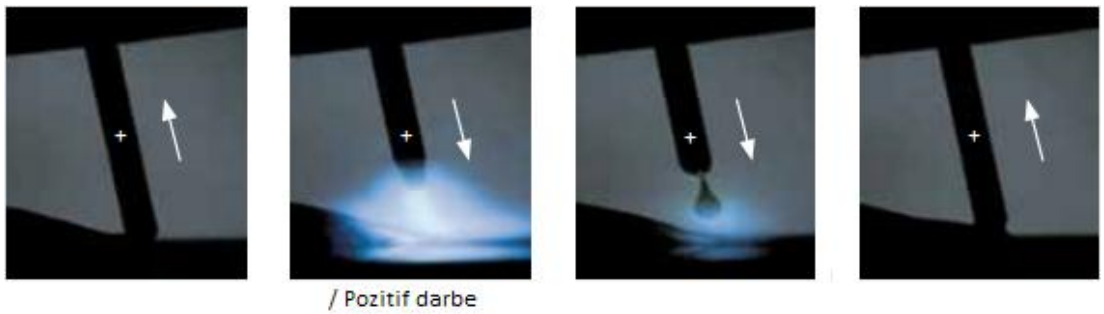


Şekil 4.1. CMT işlem adımları [26]

4.4.1. CMT-Lehimleme çeşitleri

4.4.1.1. CMT Pulse

Bu yöntemde bir darbe döngüsü CMT döngüsü ile birleştirilmiştir. Bu nedenle daha yüksek ısı verir. Hedeflenen ayarlanabilir değişken darbe ilavesi ile büyük güç aralığı ve esneklik sağlanmış olur. Şekil 4.2.'de CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon verilmiştir [26].

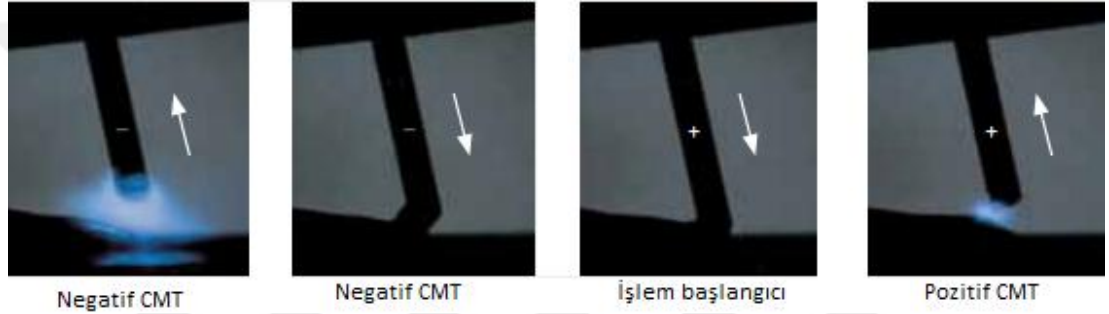


/ Pozitif darbe

Şekil 4.2. CMT ve darbe döngüleri kombinasyonu [26]

4.4.1.2. CMT Advanced

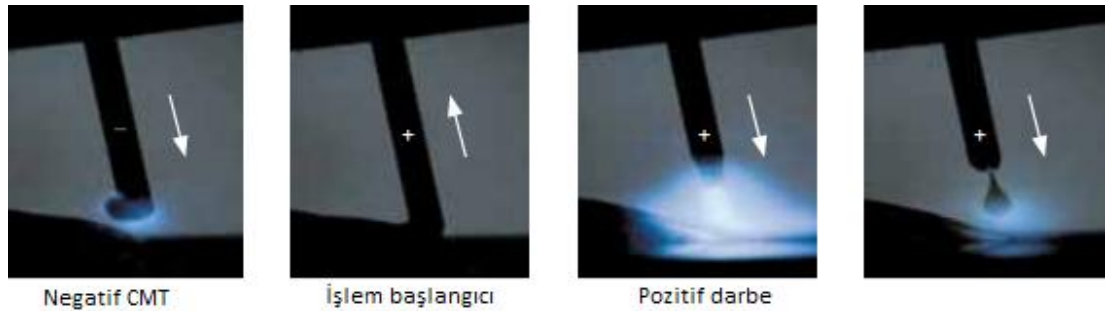
Bu lehimleme yönteminde CMT'den daha düşük sıcaklık elde edilmeye çalışılmıştır. Kaynak akımının polaritesi proses regülasyonuna entegre haldedir. Polarite değişimi kısa devre fazında gerçekleşmektedir. Böylece kanıtlanmış olan CMT işlem kararlılığı kısa devre fazında emniyete alınmış olur. Sonuç olarak hedeflenen ısı girdisine, çok yüksek boşluk doldurma kabiliyetine ve %60'a kadar erime gücüne ulaşılmıştır. Negatif CMT ve pozitif CMT kombinasyonu Şekil 4.3.'de verilmiştir [26].



Şekil 4.3. Negatif CMT ve pozitif CMT kombinasyonu [26]

4.4.1.3. CMT Advanced Pulse

Negatif kutuplu CMT döngüleri ve pozitif kutuplu darbe döngüleri kombinasyonu ile arkın kesin doğruluğu ve yüksek düzeyde ark hakimiyeti hedeflenmektedir. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon Şekil 4.4.'de verilmiştir [26].



Şekil 4.4. Negatif CMT ve darbe döngüleri kombinasyonu [26]

4.4.2. CMT-Lehimleme işleminin üstünlükleri

CMT-lehimleme işlemi bir MIG/MAG prosesi olarak geliştirildiği için diğer kaynak yöntemlerine göre üstünlüklerini şöyle sıralayabiliriz.

- Entegre tel hareketi; dijital proses regülasyonu bir kısa devre algılar ve teli saniyede 90 kere ileri geri hareket ettirerek damlacık geçişine yardımcı olur.
- Düşük ısı girdisi; işlem esnasında tel öne doğru hareket ederek kısa devreyi oluşturur. Kısa devre olduğu gibi tel geri çekilir. Yanma fazında ark çok kısa bir süre için ısı verir.
- Çapaksız birleştirme; telin geriye doğru hareketi, kısa devre sırasında damlacık transferine yardımcı olur. Kısa devre kontrol edilerek akım düşük seviyede tutulur. Böylece çapak sıçraması meydana gelmez.
- Kararlı ark; ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleşir. Ark, iş parçasının yüzey kalitesinden veya ilerleme hızından bağımsız olarak daima kararlı kalır.
- İnce malzemelerin birleştirilmesi; lehimleme esnasında ısı girdisinin düşük olması birleştirilecek parçaların kalınlıklarında ince olabilmesine imkan vermektedir. 0,3 mm kalınlıklardaki malzemelerde bu yöntem ile birleştirilebilir [12].

Yukarıda sayılan üstünlükler sayesinde CMT-lehimleme yöntemi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Gün geçtikçe kullanımı daha yaygın hale gelecektir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türlerinden çift fazlı çelik türlerinden olan DP 800 çelik sacının CMT-lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır. CMT-lehimleme yönteminde, DP 800 çelik sacının hangi akım şiddetinde, lehim ilerleme hızında, lehim aralığında, koruyucu gaz basıncı ve torç açısında birleştirilebileceğini belirlemek için her bir parametre kendi içinde incelenmiştir.

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

5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektral Analizi

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan çelik saclar, otomotiv sektöründe kullanılan 1 mm kalınlığında iki tarafı galvaniz kaplanmış DP 800 serisi çift fazlı saclardır. Yüksek mukavemet ve şekillendirilebilme kabiliyeti nedeniyle otomobil tekerleklerinde, yan panellerde, aks bağlantılarında ve güçlendirme parçaları gibi çarpışmaya maruz kalan kısımlarda [4], kullanılan DP 800 çeliğinin spektral analizi Tablo 5.1.' de verilmiştir.

Tablo 5.1. DP 800 çeliğinin kimyasal bileşimi

Fe	C	Si	Mn	P	S
%Kalan	%0,1028	%0,502	%2,32	%0,0156	%0,0023

DP 800 çeliğinin mekanik özellikleri Tablo 5.2.' de verilmiştir.

Tablo 5.2. DP 800 Mekanik özellikleri

Akma Gerilmesi (σ_{AK})	Maksimum Gerilme (σ_{max})	Uzama	Pekleşme üsteli (n)
477 Mpa	820 Mpa	%21	0,18

5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemi

DP 800 sac numunelerine 1 mm çapındaki CuAl₈ bakır alaşımlı lehim teli birleştirme işlemi yapılmıştır. CuAl₈ alüminyum bronz (bakır-alüminyum) lehimleme teli olup %8 alüminyum ihtiva eder. Metal metale aşınmaya karşı, deniz suyu ve asitler gibi korozif sıvılara maruz kalan parçalarda kullanılması önerilen lehimleme telinin normları Tablo 5.3.'de, kimyasal analizi Tablo 5.4.'de, ve mekanik özellikleri Tablo 5.5.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. CuAl₈ lehim telinin normları

TS EN 14640	S Cu 6100(CuAl ₈)
EN 14640	S Cu 6100(CuAl ₈)
AWS A 5.7	CuAl-Al

Tablo 5.4. CuAl₈ lehim telinin kimyasal bileşenleri

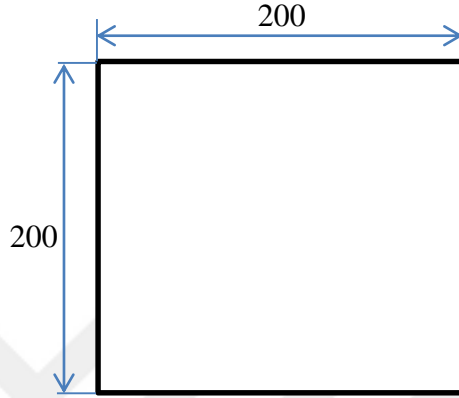
Cu	Al	Mn	Fe	Sn
Kalan	8	<0,5	<0,5	<0,5

Tablo 5.5. CuAl₈ lehim telin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm²)	200
Çekme Dayanımı (N/mm²)	430
Uzama (L₀=5d₀) (%)	40
Sertlik (HB)	100
Ergime Sıcaklığı	1030-1035°C

5.3.1. Numune Hazırlama

Lehimleme işlemi öncesi 1 mm kalınlığındaki DP 800 sac plakalar hadde yönleri belirlenerek, Şekil 5.1.'deki gibi 200x200 ölçülerinde giyotin makasla kesilerek parçaların yüzeyi aseton ile temizlenerek yağ ve kirlere arındırılmıştır.



Şekil 5.1. Lehimleme işleme yapılacak parçaların boyutları

5.3.2. CMT-lehimleme işlemleri

Lehimleme işlemleri akım kontrollü, 270 Amper kapasiteli CMT-lehimleme makinesiyle yapılmıştır. Çalışmanın hassasiyeti bakımından numunelerin hadde yönü dikkate alınarak, hadde yönüne dik olarak lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler hem bindirme birleştirme hem de alın altına birleştirme yapılmıştır. Lehimleme işlemi esnasında oluşabilecek çarpılmaların en aza indirilebilmesi için vidalı kalıp sistemi yapılmış, numuneler bu kalıba bağlanarak CMT-lehimleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Deneyisel çalışmalarda lehim ilerleme hızını ve torç açısını sabitlemek için kaynak robotu kullanılmıştır. Lehim uygulamaları farklı akım şiddetleri, farklı lehim ilerleme hızları, farklı torç açıları, farklı lehim aralıkları ve farklı gaz debilerinde uygulanmıştır.

5.3.3. Optik mikroskop ve sertlik taraması için numune hazırlama

CMT-lehimleme işlemi yapılmış numuneler mekanik olarak kesilmiş, metalografik incelemeleri yapılabilmesi amacı ile aşağıdaki işlemler sırası ile yapılmıştır.

- Kesilen numuneler bakalite alınmıştır.
- Numunelerin yüzeyleri sırasıyla 80, 120, 400, 800, 1000, 1200 ve 1500 numaralı zımpara kağıtları ile zımparalama işlemi yapılmıştır.
- Daha düzgün ve pürüzsüz bir yüzey elde edebilmek için 0,3µm alümina ile parlatılmıştır.
- Numunelerin mikro yapılarının görüntülenebilmesi için numunelerin parlatılmış yüzeyleri %3'lük Nital çözeltisi ile 5-6 sn sürede dağlanmıştır.

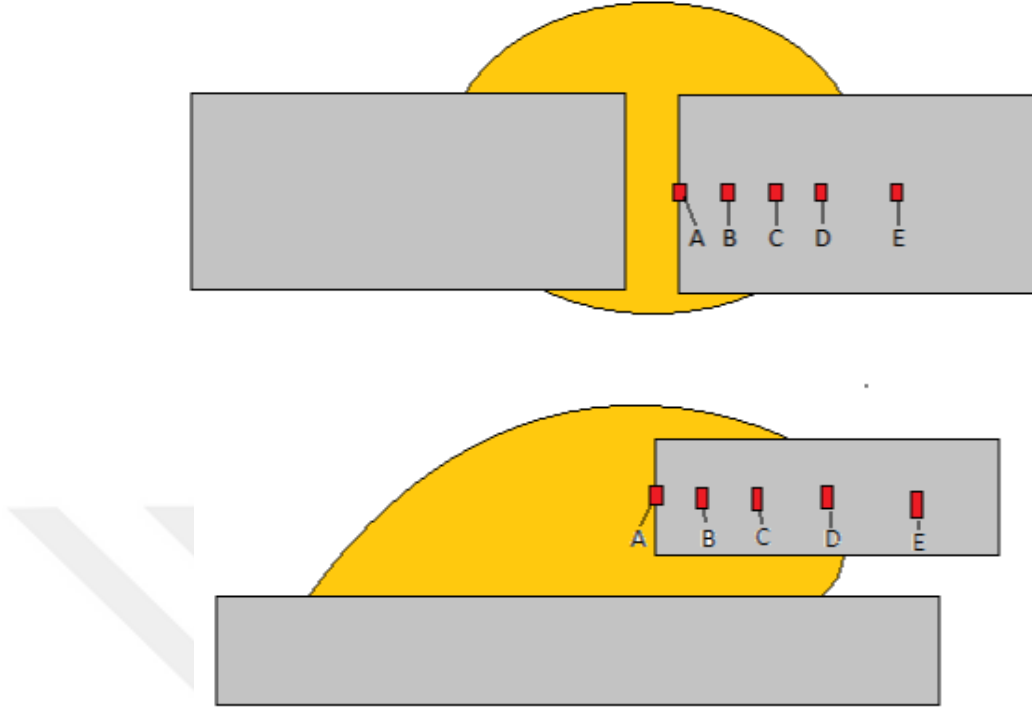
5.4. Sertlik Ölçümleri

Lehimleme işlemi yapılmış numunelerin mikro sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak laboratuvar ortamında yapılmıştır. Ölçümde 100 gr yük ve piramit batıcı uç kullanılmıştır. Ölçümlerde Wolpert-Wilson marka sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri, alın birleştirme ve bindirme birleştirmede lehim bölgesinden başlanmak üzere ana malzemenin sertlik değerine ulaşıncaya kadar 0,5 mm aralıklarla yapılmıştır.

5.5. Mikro ve Makroyapı İnceleme

5.5.1. Mikroyapı

Hazırlanmış olan numunelerin mikroyapı görüntüleri Nikon marka optik mikroskop cihazı ile çekilmiştir. Alınan mikroyapı görüntü bölgeleri Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Alın ve bindirme birleştirmede alınacak olan mikroyapı görüntü bölgeleri

5.5.2. Makroyapı

Lehimleme işlemi yapılmış numunelerin lehim dikiş genişliğinin, lehim dikiş yüksekliğinin ve ıslatma açılarının tespiti için mikroyapı incelenmesi yapılmıştır.

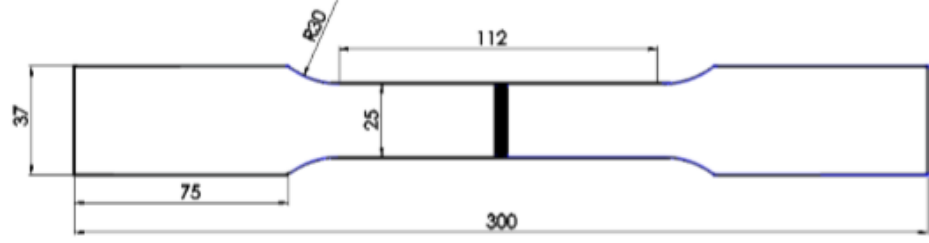
5.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

CMT-lehimleme yapılmış parçalardan hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskobunda ara bölge ve lehim bölgesinden SEM görüntüleri alınmıştır. Aynı bölgelerden EDS analizleri de alınmıştır. Bu işlemler için JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır.

5.6. Çekme Deneyi

Deney numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, 50 kN kapasiteli Shimadzu marka çekme cihazı ile çekme deneyleri yapılmıştır. Deneyler 20 mm/dk

çekme hızı ile yapılmıştır. Çekme deney numuneleri TS EN 895 standardına göre hazırlanmış olup numune ölçüleri Şekil 5.3.'de verilmiştir.



Şekil 5.3. TS EN 895'e göre hazırlanmış çekme deney numunesi ölçüleri



BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. DP800 Galvanizli Çelik Sacın CMT-Lehimleme Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri

6.1.1. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının özelliklerine etkisi

6.1.1.1. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

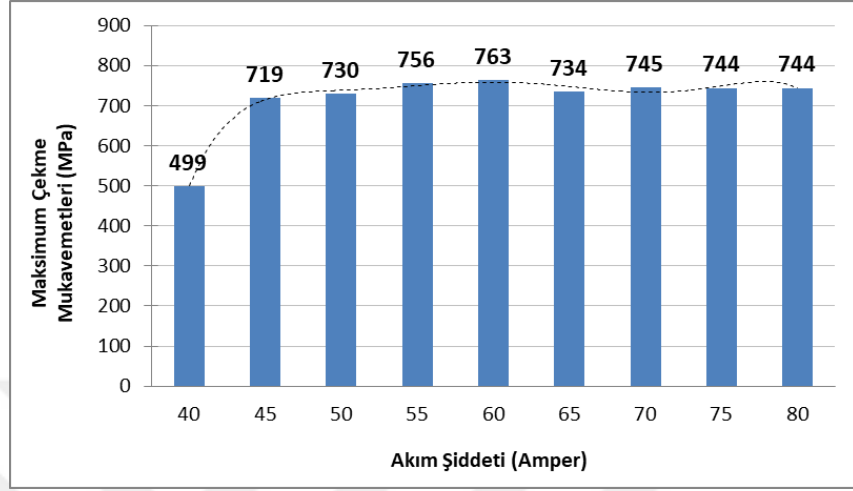
DP 800 çelik sacın CMT-lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılmış olan parametreler ve elde edilmiş olan çekme mukavemeti değerleri Tablo 6.1.'de verilmiştir. Deneyler 40 amperlik akım şiddeti ile başlanmış ve sacda ergimenin meydana gelmeye başladığı 85 amperlik akım şiddeti değerine kadar 5 amperlik artış ile yapılmıştır.

Tablo 6.1. Lehim parametreleri ve çekme mukavemeti sonuçları

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
40	1,6	10,0	12	Argon	24	0,5	499
45	2	10,3	12	Argon	24	0,5	719
50	2,3	10,3	12	Argon	24	0,5	730
55	2,6	10,4	12	Argon	24	0,5	756
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	763
65	3,3	10,5	12	Argon	24	0,5	734
70	3,6	10,8	12	Argon	24	0,5	745
75	3,9	11,1	12	Argon	24	0,5	744
80	4,6	11,6	12	Argon	24	0,5	744

Yapılan deneylerde optimum akım şiddeti değerinin bulunabilmesi için diğer bazı parametreler daha önce yapılmış olan deneyler baz alınarak sabit tutulmuştur [8,12].

Şekil 6.1.'de akım şiddetlerinin değişmesinin çekme mukavemetine etkisi gösterilmiştir.



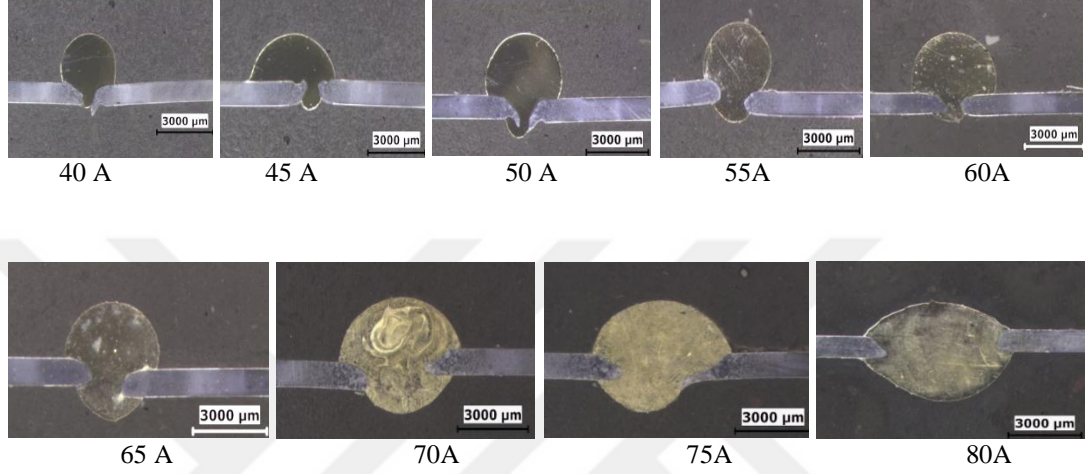
Şekil 6.1. Farklı akım şiddetlerindeki çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 6.1.'e bakıldığında akım şiddetlerinin değişimi çekme mukavemetini etkilediği görülmektedir. Maksimum çekme mukavemetinin elde edildiği 60A akım şiddetine kadar mukavemet artış göstermiş daha sonraki amper değerlerinde ise düşüş gözlenmiştir. 60 A akım şiddetinde 763 MPa çekme mukavemeti elde edilmiştir. Yapılan çekme deneylerinde 40, 45, 50 ve 55 A akım şiddetlerinde numuneler lehim bölgesinden kopmuştur. 60, 65, 70, 75 ve 80 A akım şiddetlerinde ise numuneler ITAB bölgelerinden kopmuştur.

6.1.1.2. Farklı lehim akım şiddetlerinin lehim geometrisine etkisi

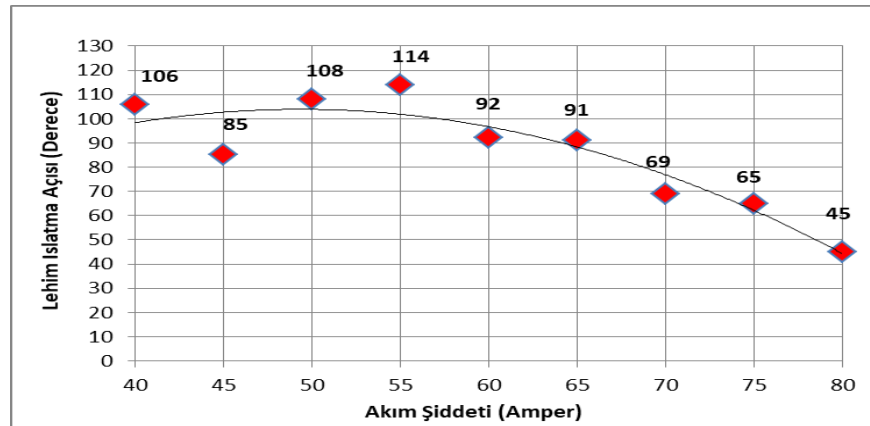
Farklı lehim akım şiddetlerinin lehim geometrisine etkisinin gözlemlenebilmesi için CMT-lehimleme işlemi yapılmış numunelerin makro fotoğrafları çekilmiştir. Bu fotoğraflardan lehim ısılatma açısı, lehim genişliği ve lehim yüksekliği değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.2.'de numunelerin farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri verilmiştir.

Şekil 6.2.'de verilen farklı akım şiddetlerindeki makro görüntülere baktığımızda 40 A'lık akım şiddetinde lehim ıslatma kabiliyetinin düşüklüğü ve nüfuziyetin yetersiz olduğu görülmektedir. 45 A'lık akım şiddetinden sonra nüfuziyetin iyileştiği ve lehim ıslatma kabiliyetinin arttığı gözlemlenmiştir. 75 ve 80 A'lık akım şiddetlerinde ise lehim köklerinde aşırı nüfuziyet gözlemlenmiştir.



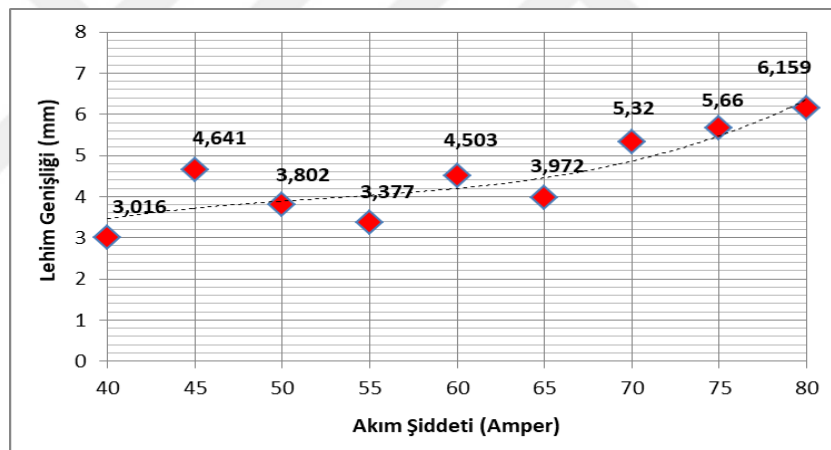
Şekil 6.2. Farklı akım şiddetlerindeki makro görüntüler

Farklı akım şiddetlerindeki lehim ıslatma açısı grafiği Şekil 6.3.'de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında, verilmiş olan eğim çizgisinden de anlaşılacağı üzere akım şiddetindeki artış ıslatma açısını azaltmaktadır. Islatma açısının mukavemet ile bağıntısına baktığımızda ise 40, 45, 50 ve 55A'lık akım şiddetlerinde numuneler lehim bölgesinden kopmuştur. 40A'lık akım şiddetinde neredeyse hiç birleşmenin olmadığı tespit edilmiştir. 55A'lık akım şiddetinde birleştirilmiş numune ile 60A'lık akım şiddetinde birleştirilmiş numunelerin arasında mukavemet değeri olarak fazla farkın olmadığı görülmüş fakat 55A'lık akım şiddetinde birleştirilmiş numune lehim bölgesinden kopmuştur. 60A'lık akım şiddetinden itibaren birleştirilmiş numunelerden elde edilen ıslatma açıları, mukavemet değerleri ve makro yapılar incelendiğinde kabul edilebilir değerler olduğu anlaşılmaktadır.



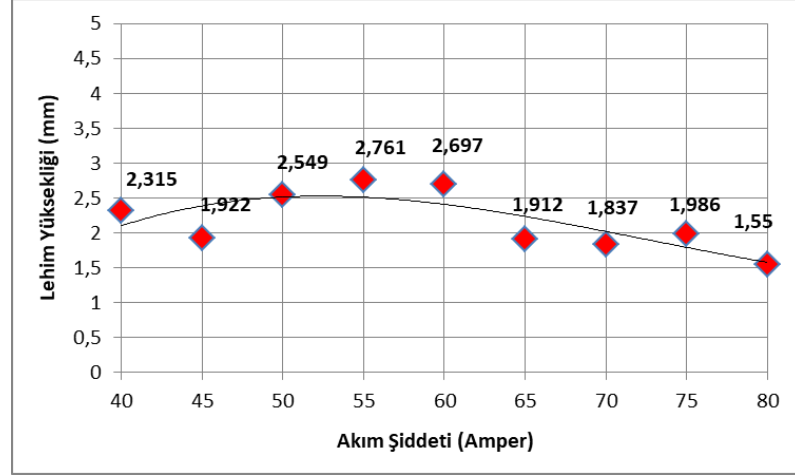
Şekil 6.3. Farklı akım şiddetlerindeki lehim ıslatma açısı grafiği

Şekil 6.4.'de farklı akım şiddetlerinde lehimleme işlemi yapılmış numunelerin lehim genişliği grafiği görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere, akım şiddetinin artması lehim kepi genişliğinde artmasına neden olmaktadır.



Şekil 6.4. Farklı akım şiddetlerindeki lehim genişliği grafiği

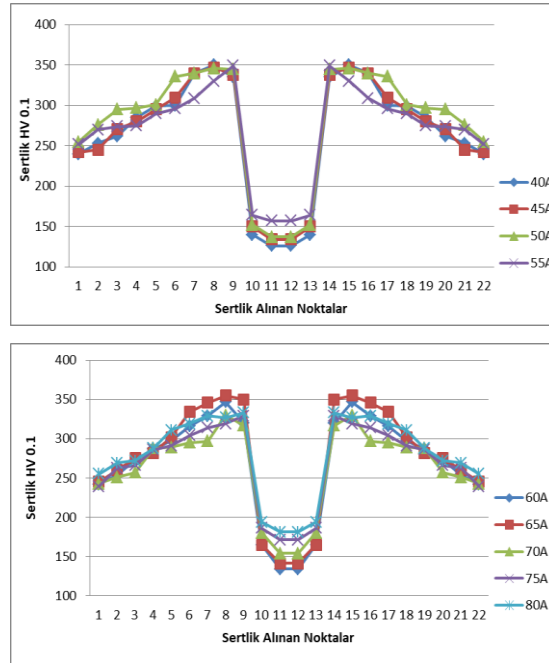
Şekil 6.5.'de verilen farklı akım şiddetlerindeki lehim yükseklikleri grafiği incelendiğinde, akım şiddetinin artması ile lehim yüksekliğinin giderek azaldığı görülmektedir. Akım şiddetinin artması ısı girdisini artırmakta, buda lehim telinin ıslatma özelliğini artırdığı için lehim kepi genişliğini artırdığı ve lehim yüksekliğini ise azalttığı düşünülmektedir.



Şekil 6.5. Farklı akım şiddetlerindeki lehim yüksekliği grafiği

6.1.1.3. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının sertliğine etkisi

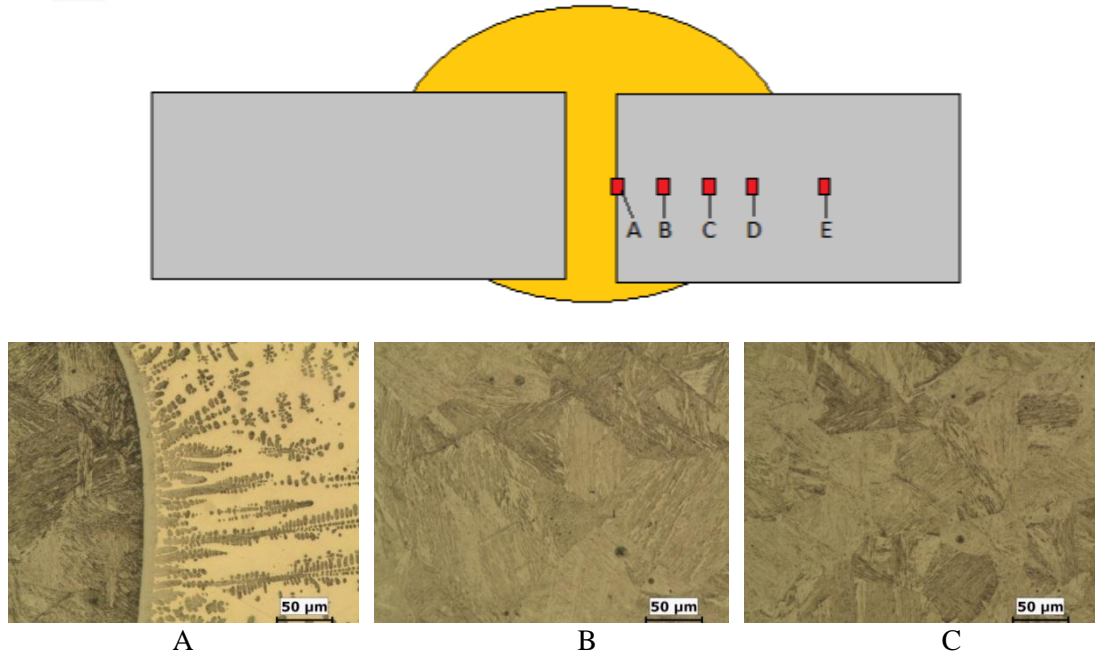
Farklı akım şiddetlerinde CMT-lehimleme işlemi yapılmış numunelerin mikro sertlik ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 6.6.'da verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzemedir.



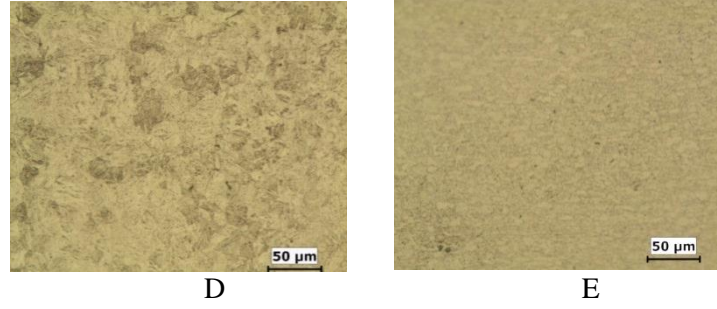
Şekil 6.6. Farklı akım şiddetlerindeki mikro sertlik değerleri grafiği

Bütün akım şiddetlerinde en düşük sertlik değeri lehim bölgesinde ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise 40A'lık akım şiddetinde elde edilen numunenin lehim bölgesinde olduğu görülmüş ve akım şiddeti arttıkça lehim bölgelerinin sertlik değerlerinde doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür. Bunun sebebinin ise ısı girdisinin artışı ile ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine difüzyonu ile dentrit oluşumu meydana gelmiştir. Bu dentrit oluşumları ise lehim bölgesinin sertliğini artırdığı düşünülmektedir. En yüksek sertlik değerleri ise ısı tesiri altındaki bölgelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler ana malzemeye doğru gidildikçe düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca akım şiddetinin artışı ile ısı tesiri altındaki bölgenin genişliği artmış ve kopma noktalarının lehim bölgesinden olan uzaklıkları giderek arttırmıştır. 60A'lık akım şiddetinde elde edilen numunenin kopma noktası lehim bölgesinden 7 mm uzakta iken, 70A'lık numunenin kopma noktası 8 mm ve 80A'lık numunenin kopma noktası ise 9 mm olarak ölçülmüştür.

6.1.1.4. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

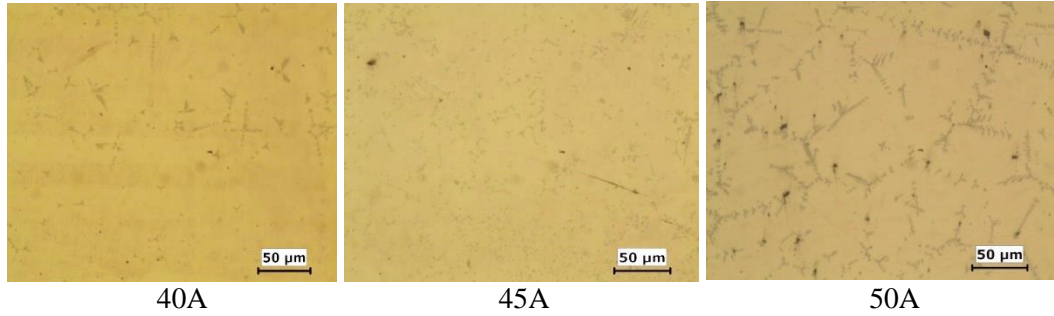


Şekil 6.7. 60A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri

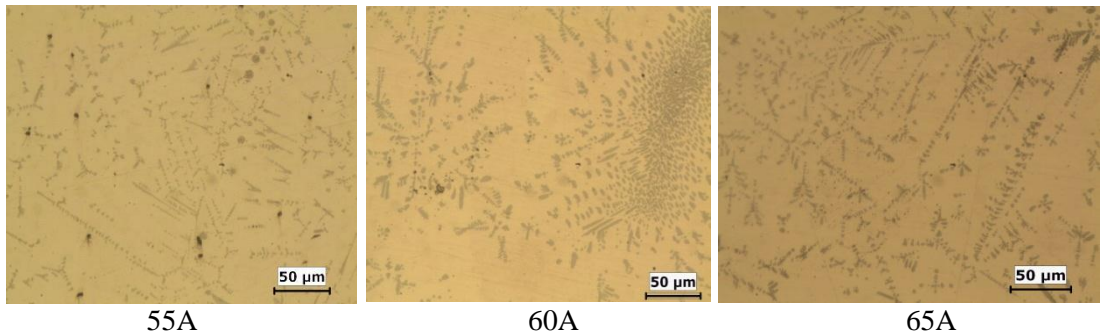


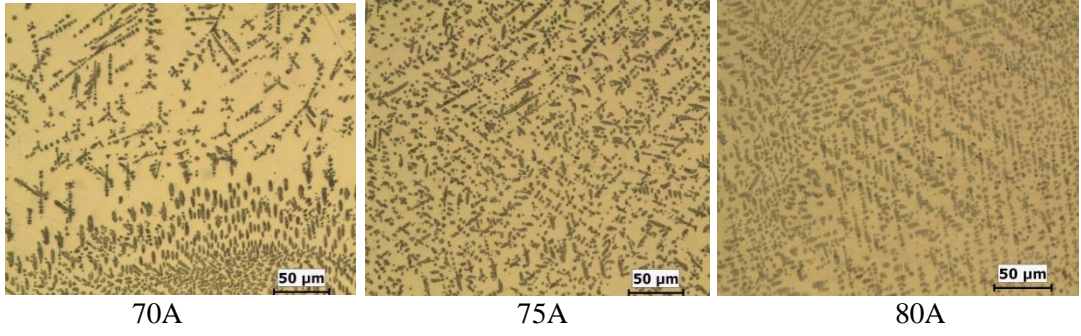
Şeki 6.7. (Devamı)

Şekil 6.7.'de 60A'lık akım şiddeti ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A bölgesi ara bölge B, C, ve D bölgeleri ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), E ise ana malzemenin görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntülerinden de anlaşılacağı üzere lehimleme işleminin gerçekleştirildiği bölgenin komşu bölgelerinde taneler daha büyük ve ana malzemeye gidildikçe tane boyutu küçülmüştür. Bununla beraber tane boyutunun büyük olduğu kısımlarda en yüksek sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun sebebinin ise ısı girdisinin en çok etkili olduğu alan olarak bu bölgenin olduğu anlaşılmaktadır. A bölgesinde lehimleme işlemi gerçekleştirilirken ana malzemeden lehim bölgesine geçiş yapan elementlerin oluşturduğu dentritler görülmektedir.



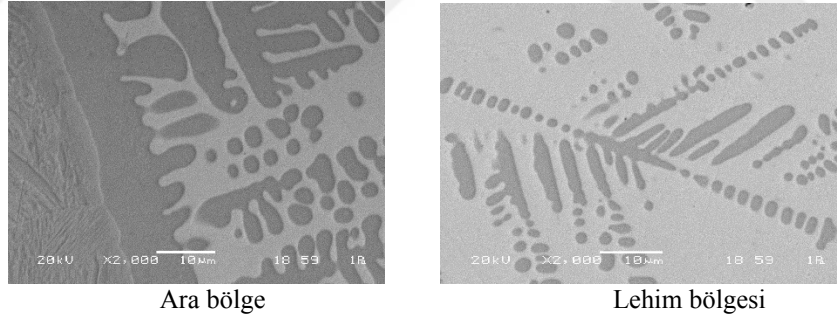
Şekil 6.8. Farklı akım şiddetinde birleştirilen numunelerin lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri





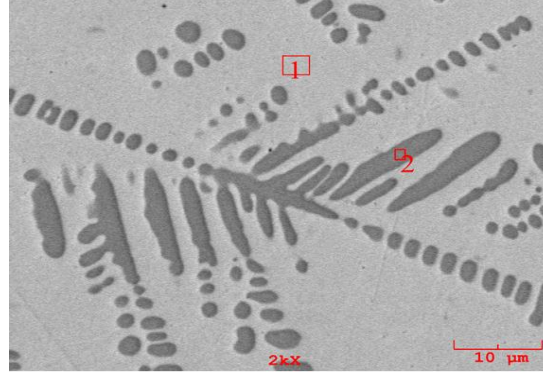
Şekil 6.8. (Devamı)

Şekil 6.8.'de verilen lehim bölgesi mikroyapı görüntülerine bakıldığında, dentrit oluşumunun 40A akım şiddetinde çok az olduğu görülmektedir. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi de artmış ve bu artış ise dentrit yoğunluğunu artırmıştır. Dentritlerin fazla oluşu ise lehim bölgesindeki sertliğide artırdığı görülmüştür. Şekil 6.9.'da 60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölge ve lehim bölgesinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Dentrit oluşumları ana malzeme elementlerinin lehim bölgesine doğru atomsal yayılım yolu ile oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.9. 60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin SEM görüntüleri

60A akım şiddeti ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesinde oluşan dentritin EDS analizi Şekil 6.10.'da verilmiştir.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	C	Al	Fe	Cu
1	-	8,679	5,016	86,304
2	0,591	8,936	75,514	14,959

Şekil 6.10. 60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin lehim bölgesi EDS analizi

6.1.2. Farklı lehim ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi

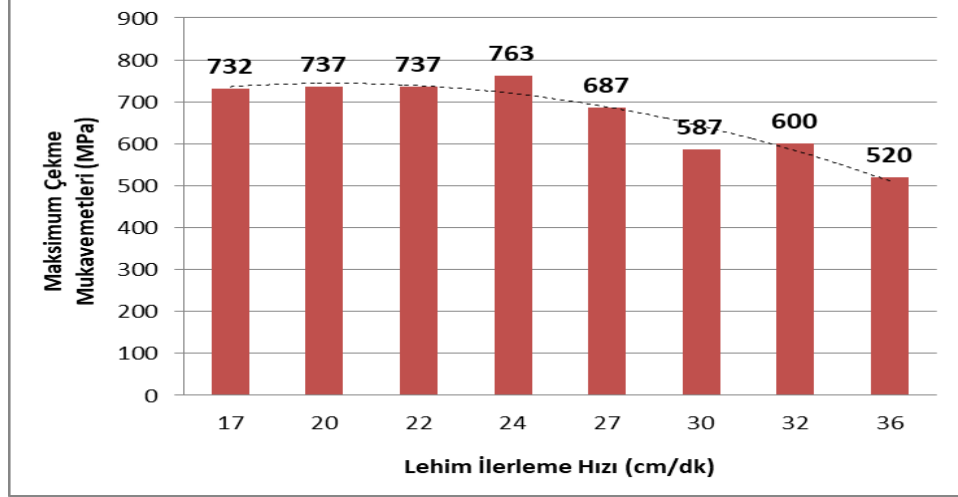
6.1.2.1. Farklı lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Galvaniz kaplı DP800 çelik sacının CMT-lehimleme ile birleştirilmesi işleminde optimum akım değeri 60A olarak belirlenmiştir. Gerilim değeri olarak ise 60A'e karşılık gelen 10,4V optimum gerilim olarak belirlenmiştir. Numunelere farklı lehim ilerleme hızları tatbik edilerek bağlantının mekanik özellikleri irdelenmiştir. Bu sonuçlara göre optimum ilerleme hızının belirlenmesi amaçlanmıştır. Tablo 6.2.'de lehim parametreleri verilmiştir.

Tablo 6.2. Farklı lehim ilerleme hızları parametreleri

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
60	2,9	10,4	12	Argon	17	0,5	732
60	2,9	10,4	12	Argon	20	0,5	737
60	2,9	10,4	12	Argon	22	0,5	737
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	763
60	2,9	10,4	12	Argon	27	0,5	687
60	2,9	10,4	12	Argon	30	0,5	587
60	2,9	10,4	12	Argon	32	0,5	600
60	2,9	10,4	12	Argon	36	0,5	520

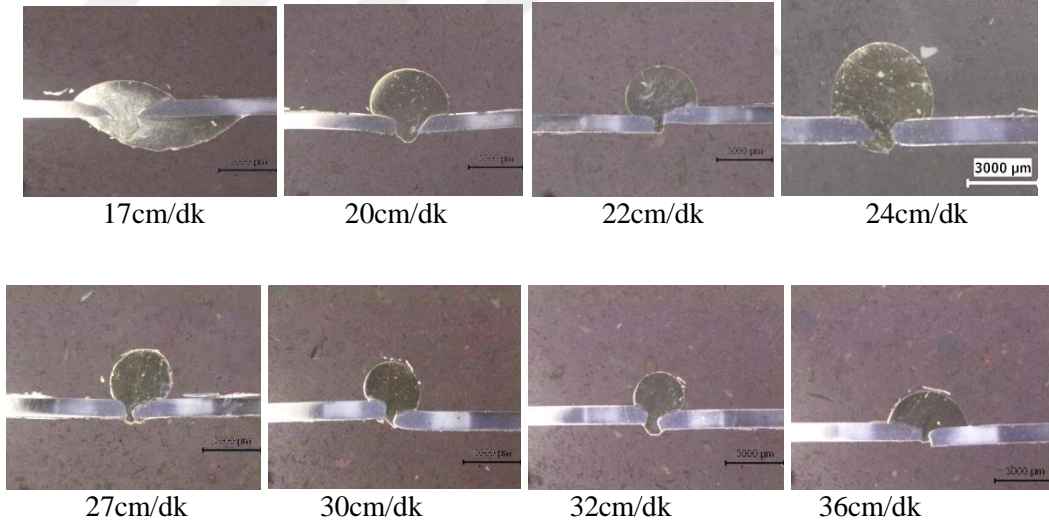
Farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen çekme mukavemeti sonuçları Şekil 6.11.'de verilmiştir. 30cm/dk, 32cm/dk ve 36cm/dk hızlarda birleştirme işlemi yapılan numuneler lehim bölgesinden kopmuştur. İlerleme hızının artması birleşme işlemi olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Diğer numuneler ITAB bölgesinden kopmuştur. İlerleme hızı azaldıkça ısı tesiri altında kalan bölgenin genişlediği gözle görülmüştür. Bunun sonucu olarak ise kopma noktaları 24cm/dk ilerleme hızında lehim bölgesinden 7 mm uzakta iken 17cm/dk ilerleme hızındaki numunenin kopma noktası lehim bölgesinden 10 mm uzakta olmuştur. İlerleme hızının az veya fazla olması mukavemeti etkilediği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre mukavemet değeri 17cm/dk ilerleme hızından 24cm/dk ilerleme hızına doğru artmış ve daha sonra tekrar azalmıştır. En yüksek mukavemet değeri 24cm/dk'lık ilerleme hızında elde edilmiştir.



Şekil 6.11. Farklı lehim ilerleme hızlarındaki mukavemet değerleri grafiği

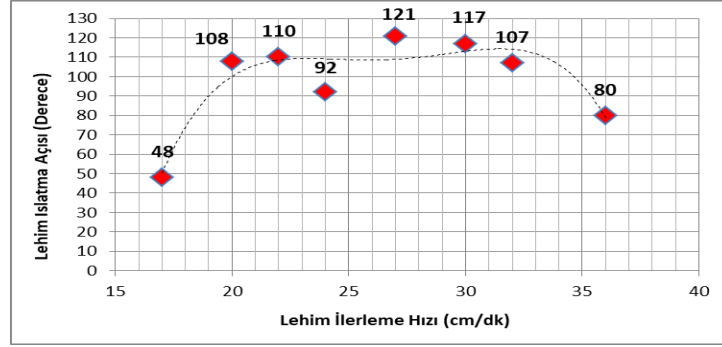
6.1.2.2. Farklı lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi

Farklı lehim ilerleme hızı parametrelerine göre lehimleme işlemi yapılmış numunelerin makro görüntüleri Şekil 6.12.'de verilmiştir.



Şekil 6.12. Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri

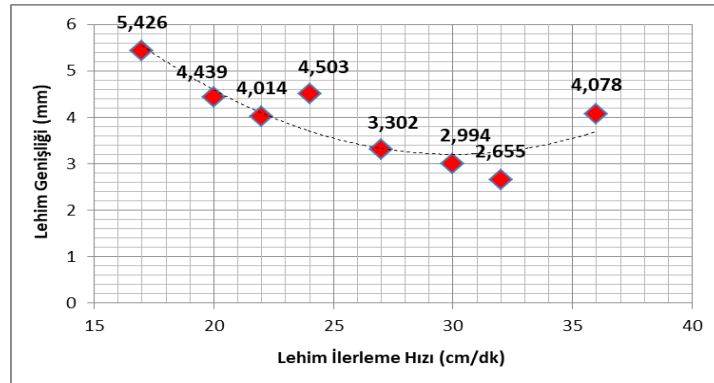
Şekil 6.12.'deki makro görüntüler incelendiğinde, 20cm/dk, 22cm/dk ve 24cm/dk ilerleme hızlarında lehim ıslatma kabiliyetinin diğer numunelere göre daha iyi olduğu görülmektedir. Nitekim en yüksek mukavemet değerleri de bu hızlarda elde edilmiştir.



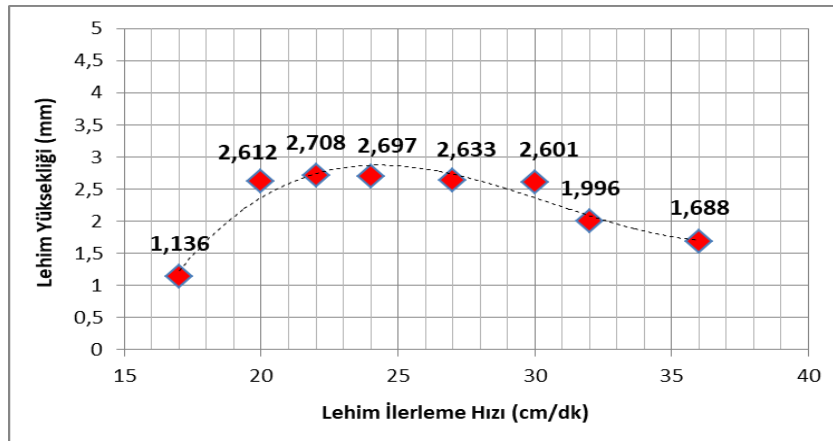
Şekil 6.13. Farklı lehim ilerleme hızlarında ıslatma açısı grafiği

Şekil 6.13.'deki farklı lehim ilerleme hızı ıslatma açısı grafiği incelendiğinde ideal ıslatma açısının 24cm/dk hızda elde edildiği tespit edilmiştir. ıslatma açısı ve çekme mukavemeti sonucu birlikte incelendiğinde 92⁰'lik lehim ıslatma açısının ideal olduğu görülmektedir.

Şekil 6.14.'de farklı lehim ilerleme hızı lehim genişliği grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde lehim ilerleme hızı arttıkça lehim kep genişliğinin azaldığı görülmektedir. En yüksek mukavemet değerlerinin elde edildiği sonuçlar ile kıyaslama yapıldığında, ideal lehim kep genişliğinin 4-5mm arasında olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6.14. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği

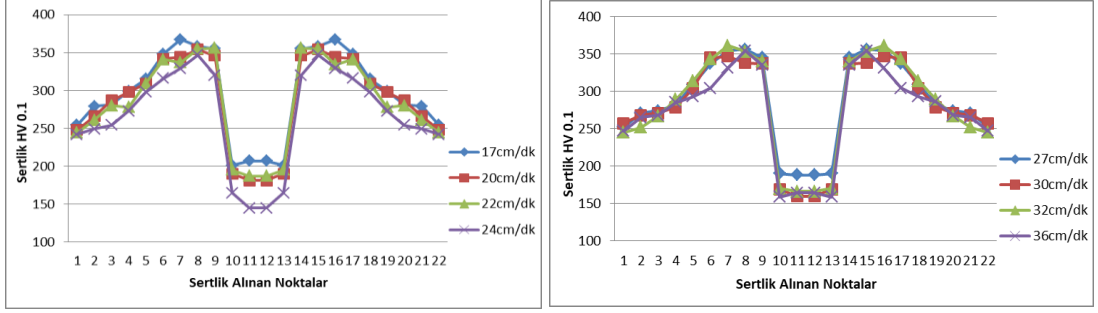


Şekil 6.15. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği

Lehim ilerleme hızı ile lehim yüksekliği arasındaki bağıntıyı gösteren grafik Şekil 6.15.'de verilmiştir. Lehim yüksekliği mukavemet değerleri ile beraber incelendiğinde ideal yüksekliğin 2,5-3mm arasında olabileceği düşünülmektedir.

6.1.2.3. Farklı lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi

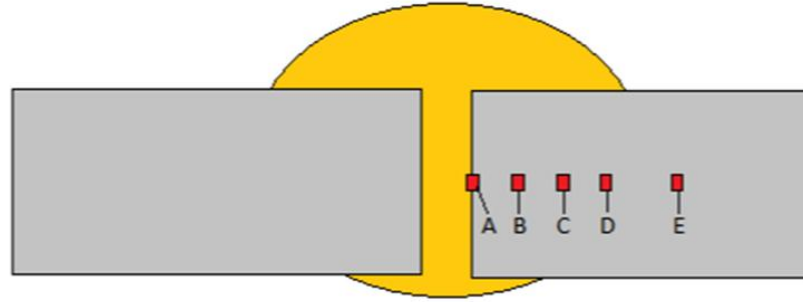
Şekil 6.16.'da farklı ilerleme hızlarından elde edilen numunelerin mikro sertlik değerleri verilmiştir. Mikro sertlik değerleri lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Sertlik değerlerinin en düşük olduğu bölgenin lehim bölgesi olduğu görülmektedir. İlerleme hızı arttıkça sertlik değeri düşmüştür. Bunun sebebinin ise düşük ilerleme hızlarında ısı girdisinin fazla olması ile ana malzemedan lehim bölgesine elementler geçiş yapmış ve buda sertlik değerini artırmıştır. ITAB bölgesindeki sertlik değerleri bakımından ise en yüksek 17cm/dk ilerleme hızında tespit edilmiştir. Ayrıca ilerleme hızının düşük olması ısı tesiri altında kalan bölgenin daha geniş olmasına neden olmuştur. Bu sonuç sertlik değerlerinede yansımıştır. Sertlik değerleri ITAB bölgesinde 330HV-370HV arasında değişkenlik göstererek en yüksek seviyeye ulaşmış ve ana malzemeye doğru gidildikçe düşüş göstermiştir.



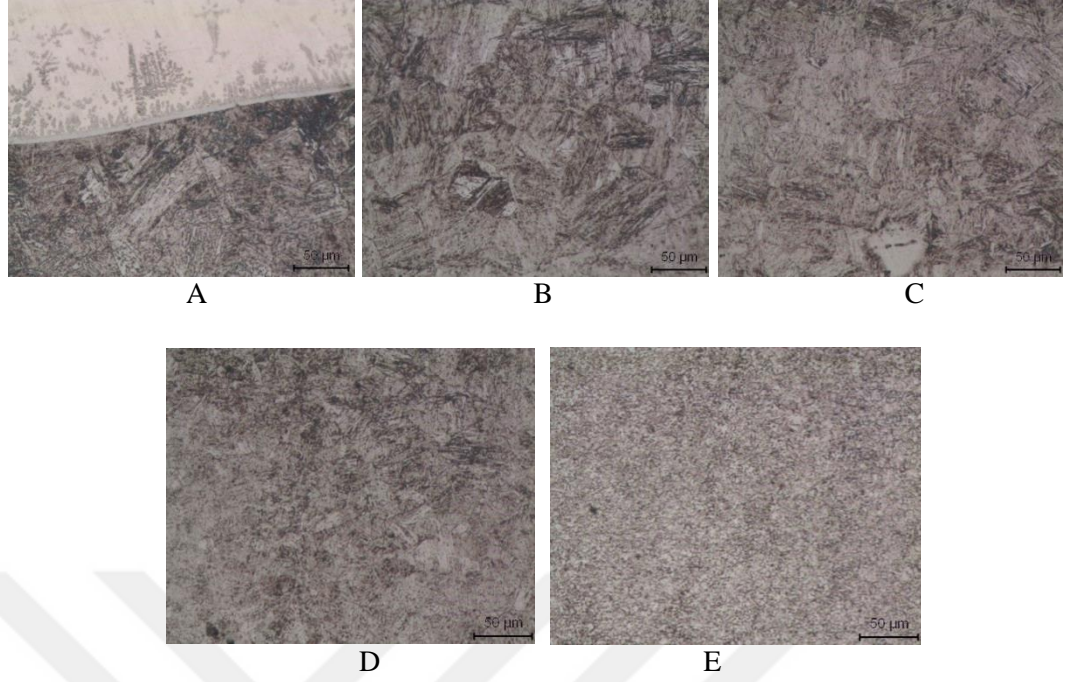
Şekil 6.16. Farklı lehim ilerleme hızları mikro sertlik noktaları

6.1.2.4. Farklı lehim ilerleme hızının mikroyapı özelliklerine etkisi

Mikroyapı görüntülerine bakıldığında A bölgesi ana malzemeden lehim bölgesine element geçişinin görüldüğü ara bölge B, C ve D bölgeleri ısı tesiri altında kalan bölgeler ve E bölgesinde ana malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6.17.'de 36cm/dk ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin her bölgesindeki mikroyapı görüntüleri görülmektedir. ITAB bölgesinde tane yapıları ana malzemeye göre çok daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ise ısı girdisinin en etkili olduğu noktaların bu bölgeler olmasından dolayıdır. Ana malzemeye gidildikçe tane boyutu küçülmüş ve mikro sertlik değerinin de küçüldüğü görülmüştür.

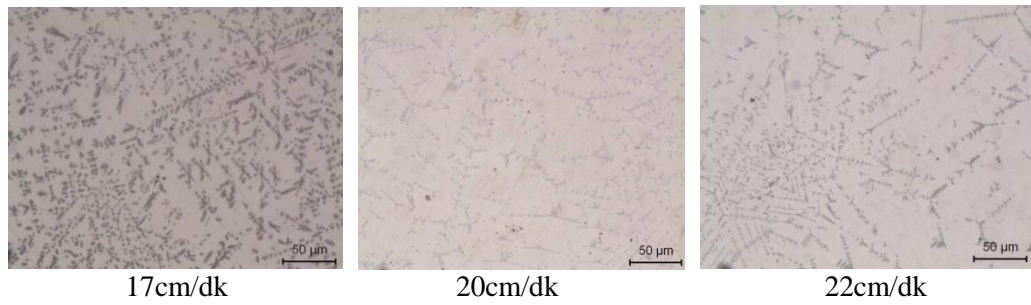


Şekil 6.17. 36cm/dk ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin mikroyapı görüntüleri

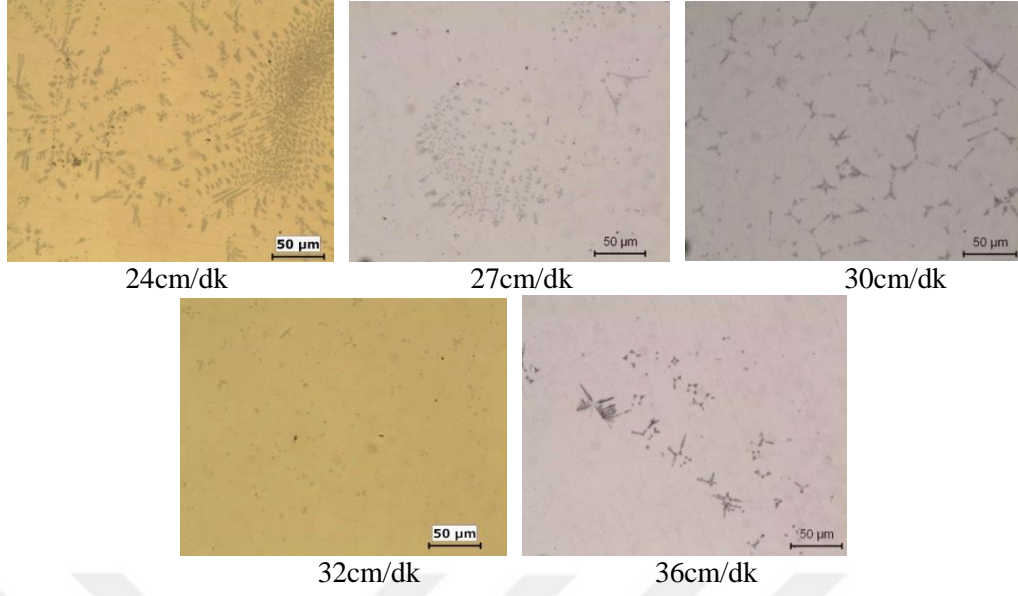


Şekil 6.17. (Devamı)

Şekil 6.18.'de farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilmiş numunelerin lehim bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. İlerleme hızının dentrit oluşumuna etki ettiği gözlemlenmiştir. İlerleme hızı az olan numunelerdeki dentrit yoğunluğunun sebebi ise; ısı girdisinin yüksek oluşudur. İlerlem hızı arttıkça lehim bölgesindeki dentrit oluşumlarının azaldığı görülmektedir.

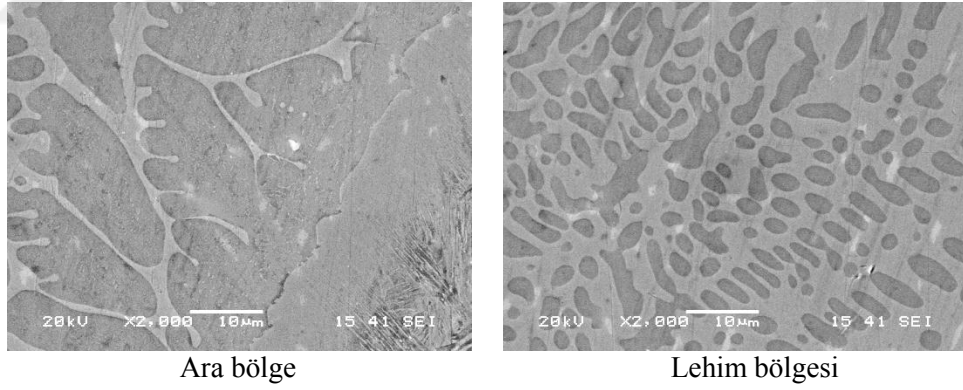


Şekil 6.18. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

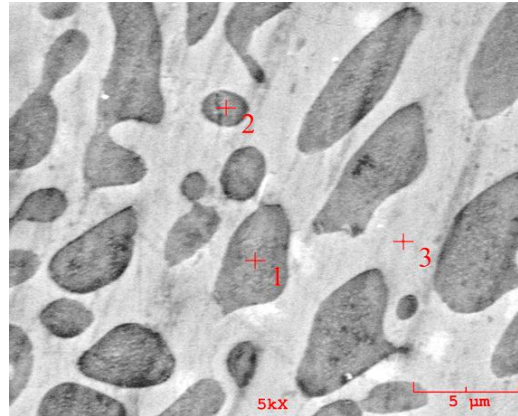


Şekil 6.18. (Devamı)

Ana malzemede elementlerin lehim bölgesine doğru atomsal yayılım yoluyla oluşturmuş olduğu dentritlerin SEM görüntüleri Şekil 6.19.'da , lehim bölgesinde oluşan dentritin EDS analiz sonucu ise Şekil 6.20.'de verilmiştir.



Şekil 6.19. 20cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin SEM görüntüleri



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
1	7,244	1,136	0,132	0,399	82,875	8,215
2	8,035	1,289	0,264	0,332	77,906	12,174
3	8,720	0,134	0,178	0,470	8,835	81,664

Şekil 6.20. 20cm/dk ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin lehim bölgesi EDS analizi

6.1.3. Farklı lehim gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi

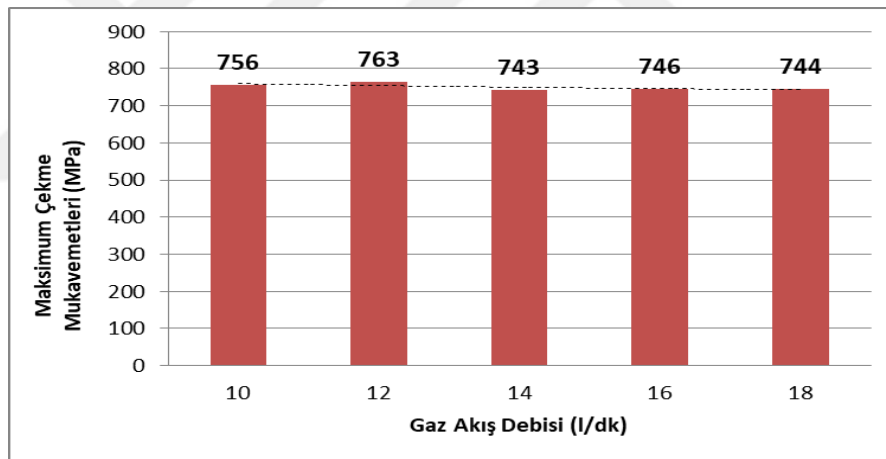
6.1.3.1. Farklı lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

DP800 çelik sacının CMT-lehimleme ile birleştirilebilmesi için optimum akım değeri 60A, gerilim değeri 10,4V ve lehim ilerleme hızı olarak ise 24cm/dk olarak belirlenmiştir. Lehimleme işlemi uygulamalarında optimum gaz debisinin belirlenmesi ve değişik gaz debilerinin mukavemete etkilerinin incelenmesi amacı ile 5 farklı gaz debisi sağlanarak lehimleme işlemleri yapılmıştır. Tablo 6.3.'de uygulanmış olan lehim parametreleri verilmektedir.

Tablo 6.3. Farklı lehim gaz debilerindeki lehim parametreleri

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
60	2,9	10,4	10	Argon	24	0,5	756
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	763
60	2,9	10,4	14	Argon	24	0,5	743
60	2,9	10,4	16	Argon	24	0,5	746
60	2,9	10,4	18	Argon	24	0,5	744

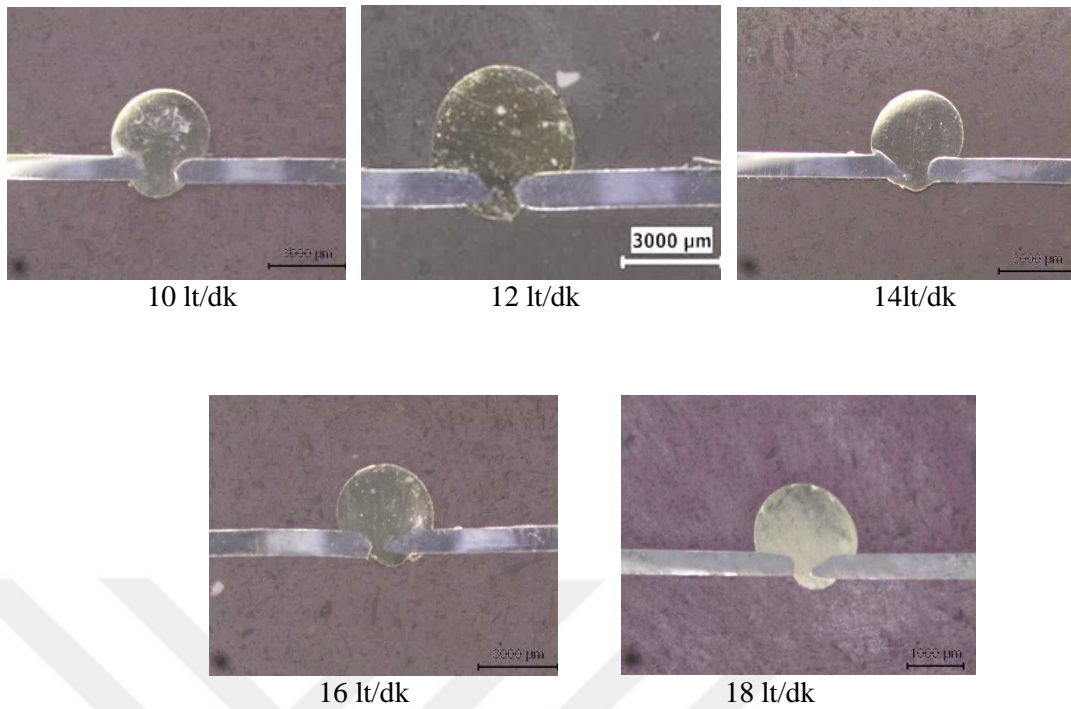
Şekil 6.21.'de farklı gaz debilerinde elde edilmiş olan maksimum çekme sonuçları grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde değerler arasında çok fazla farkın olmadığı gözlemlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti değeri 12lt/dk gaz debisinde elde edildiği görülmektedir. Deney numunelerin hepsi ITAB bölgesinden kopmuştur.



Şekil 6.21. Farklı gaz debisi ve çekme mukavemeti sonuçları grafiği

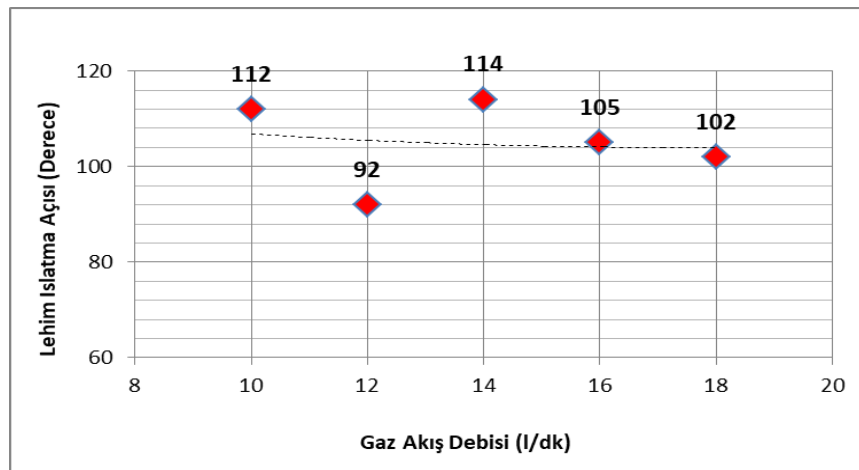
6.1.3.2. Farklı lehim gaz debisinin bağlantının lehim geometrisine etkisi

DP800 çelik sacının lehimleme işleminin verimli yapılabilmesi için uygun akım şiddeti 60A, gerilim 10,4V ve lehim ilerleme hızı ise 24cm/dk olarak belirlenmiş, en uygun gaz debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç ile farklı gaz debilerinde yapılan birleştirme işlemlerine ait numunelerin makro yapı görüntüleri Şekil 6.22.'de verilmiştir.



Şekil 6.22. Farklı gaz debilerinde elde edilmiş makro görüntüler

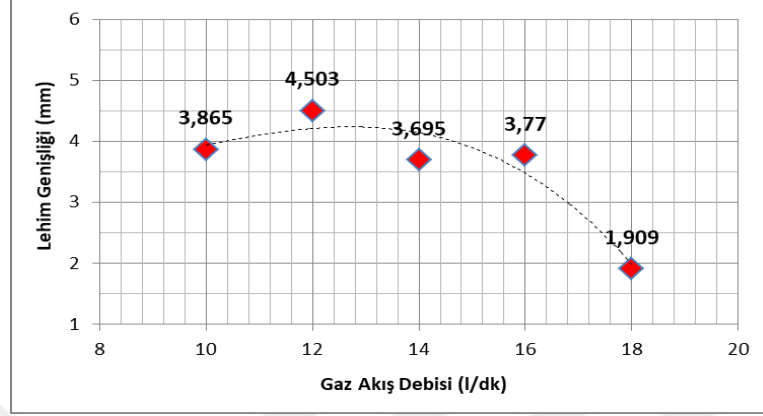
Makro görüntüler incelendiğinde tüm değerlerin ıslatabilirliğinin olduğu görülmektedir. Fakat çekme sonuları ile beraber değerlendirildiğinde en uygun gaz debisinin 12 lt/dk olduğu görülmektedir.



Şekil 6.23. Farklı gaz debisi lehim ıslatma açısı grafiği

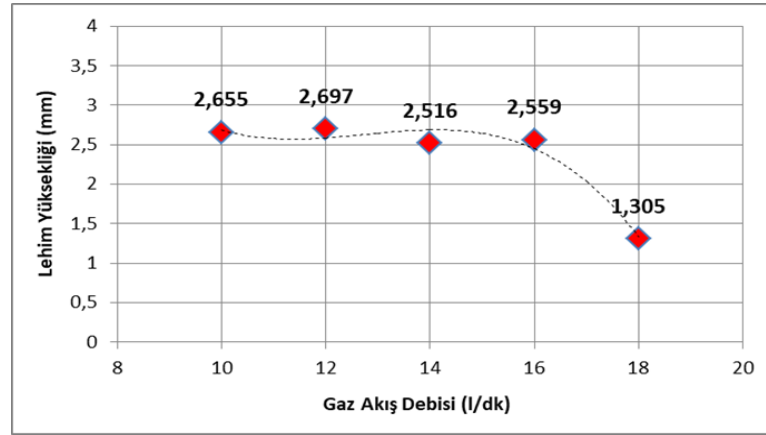
Şekil 6.23.'de farklı gaz debileri ıslatma açısı grafiği verilmiştir. Gaz debisinin artışı ile ıslatma açısının azaldığı görülmektedir. Mukavemet sonuçları ile beraber

incelenmesi durumunda optimum değer olan 12 lt/dk gaz debisi uygulanmış olan numuneden elde edilen ışlatma açısının uygun olduğu dşnlmektedir.



Şekil 6.24. Gaz debisi lehim genişliği grafiği

Şekil 6.24.'de farklı gaz debileri lehim genişliği grafiği verilmiştir. Lehim kep genişliğinin birbirine yakın değerlerde olabileceği görülmektedir. Fakat 12 lt/dk gaz debisine sahip numunenin çekme mukavemeti değeri en yüksek olduğu için lehim genişliğinin 4-5 mm arasında olabileceği dşnlmektedir.

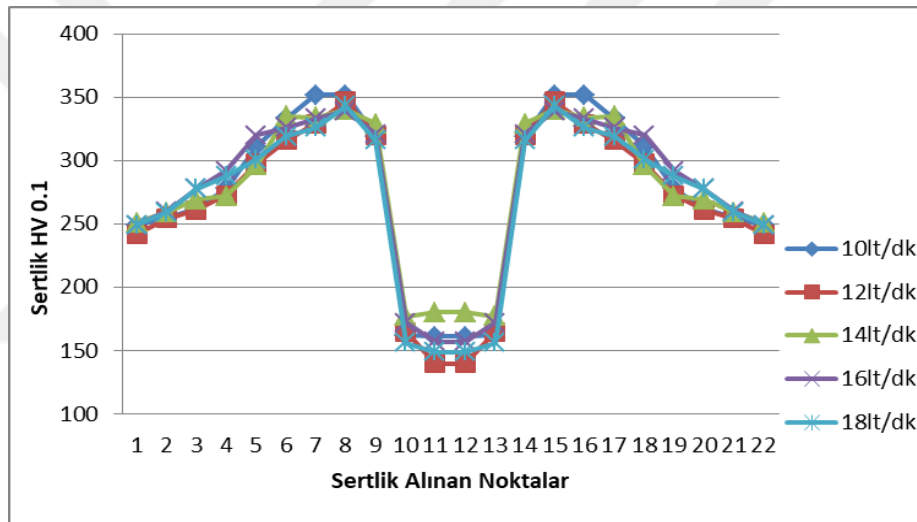


Şekil 6.25. Farklı gaz debisi lehim yüksekliği grafiği

Farklı gaz debileri ile lehim yüksekliği arasındaki bağıntı grafiği Şekil 6.25.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde lehim yüksekliğinin en fazla olduğu değer 12 lt/dk gaz debisinde ona en yakın ise 10 lt/dk gaz debisinde elde edilmiştir. Çekme sonuçlarında da bu yakınlık görülmektedir. En düşük lehim yüksekliği ise 18 lt/dk gaz debisinde olduğu görülmektedir.

6.1.3.3. Farklı lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

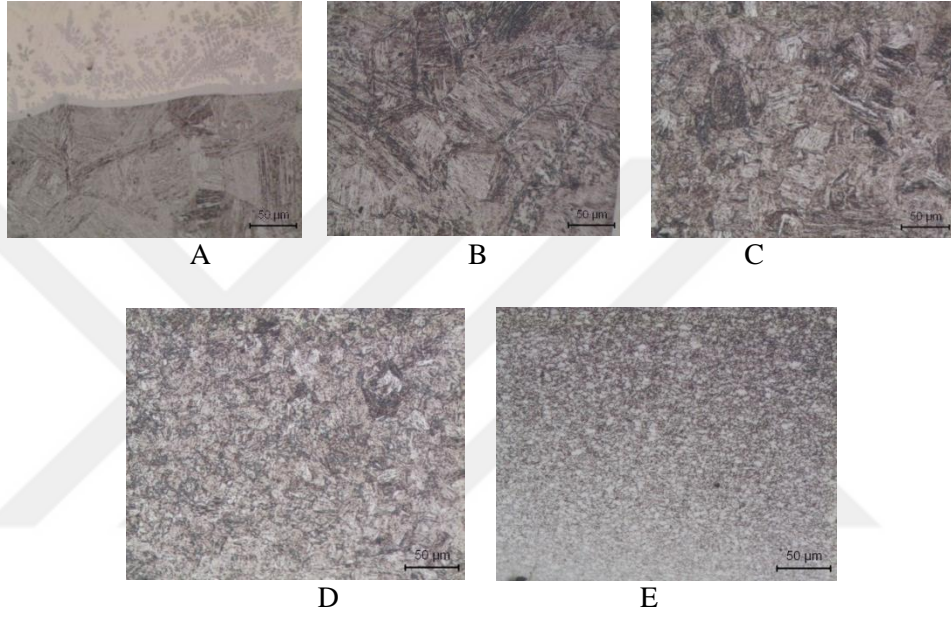
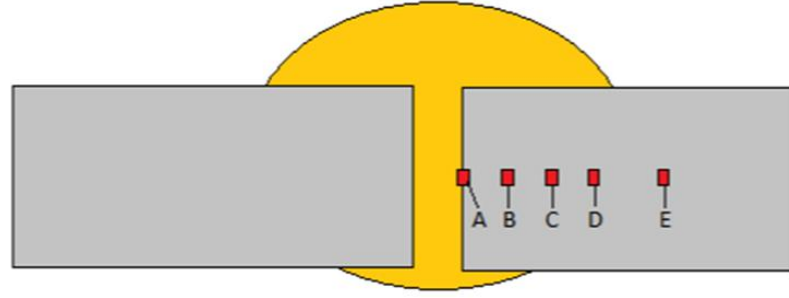
Farklı lehim gaz debilerinde lehimleme işlemi yapılmış olan numunelerin mikrosertlik sonuçları Şekil 6.26.'da verilmiştir. Ölçülen mikrosertlik dağılımları üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bunlar; lehim bölgesi, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzemedir. Sertlik değerinin en düşük olduğu bölge lehim bölgesidir. En yüksek olan bölge ise ısı tesiri altında kalan bölge olduğu görülmektedir. Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerleri karşılaştırıldığında; en düşük sertlik değerinin 16lt/dk ve 18lt/dk gaz debilerinde elde edildiği görülmektedir. En yüksek değer ise 14lt/dk gaz debisinde elde edilmiştir.



Şekil 6.26. Farklı gaz debilerinde mikrosertlik değerleri

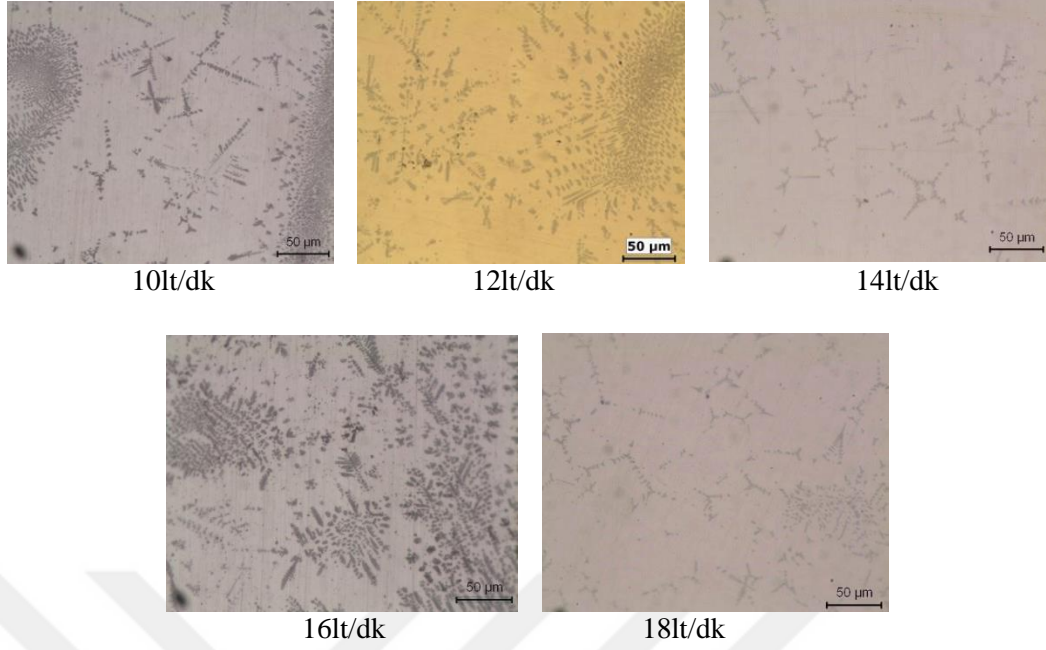
6.1.3.4. Farklı lehim gaz debisinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

Şekil 6.27.'de 18lt/dk gaz debisinde lehimleme işlemi gerçekleştirilmiş numunelerin ara bölge (A), ısı tesiri altında kalan gölge (B,C,D) ve ana malzemenin (E) alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Ara bölgede ana malzemenin lehim bölgesine geçiş yapan elementler görülmektedir. Isı girdisi nedeniyle ITAB bölgesinde ana malzemenin tane yapılarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Bu nedenle sertlik değerlerinin yüksek çıktığı anlaşılmaktadır.



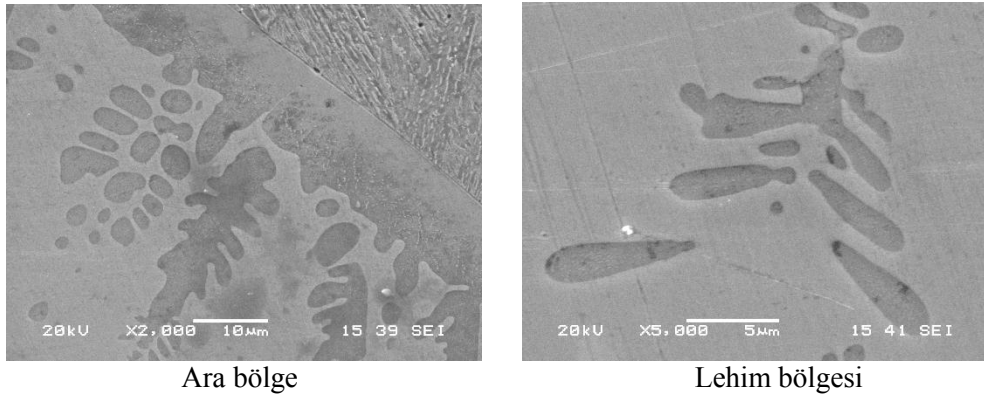
Şekil 6.27. 18lt/dk gaz debisinde birleştirilmiş numuneye ait mikroyapı görüntüleri

Şekil 6.28.'de farklı gaz debilerinde birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olan numunelerin lehim bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehim bölgelerinde oluşan dentrit yoğunluklarının yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Buda lehim bölgesinin sertlik değerlerinin birbirlerine yakın olma sebebini açıklamaktadır.

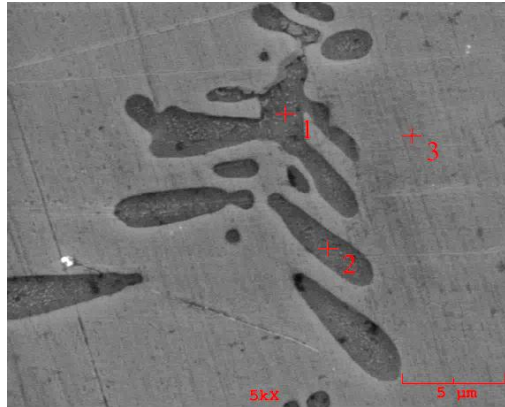


Şekil 6.28. Farklı gaz debilerinde elde edilmiş lehim bölgeleri mikroyapı görüntüleri

14lt/dk gaz debisinde birleştirilmiş numunenin ara bölge ve lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.29.'da verilmektedir. Dentrit oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine doğru atomyal yayılım ile olduğu grülmektedir. Ayrıca lehim bölgesinde oluşmuş olan dentritten ve lehim bölgesinden noktasal EDS analiz sonuçları alınmıştır. Bu sonuçlar Şekil 6.30.'da verilmiştir.



Şekil 6.29. 14lt/dk debi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)						
	C	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
1	0,986	9,222	1,277	0,140	0	77,832	10,542
2	0	9,451	1,331	0,215	0,249	74,750	14,004
3	4,361	10,518	0,208	0,132	0,300	2,337	82,143

Şekil 6.30. 14lt/dk debi ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesinden alınan noktasal EDS analizi

6.1.4. Farklı lehim aralığının bağlantının özelliklerine etkisi

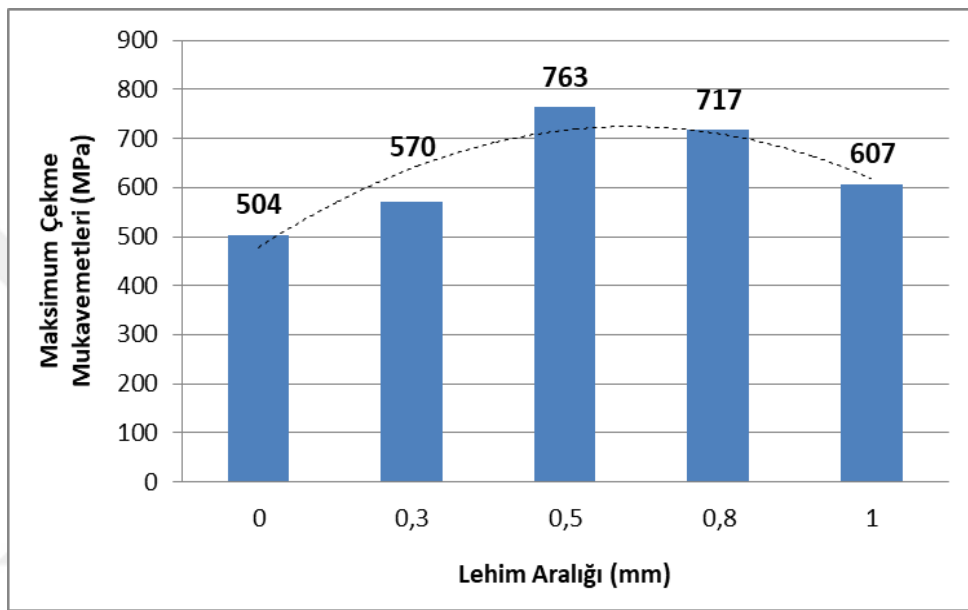
6.1.4.1. Farklı lehim aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

CMT-lehimleme işlemleri yapılırken optimum akım değeri olarak 60A, gerilim değeri 10,4V, lehim ilerleme hızı 24cm/dk ve gaz debisi ise 12lt/dk olarak belirlenmiştir. 1mm kalınlığındaki galvaniz kaplı DP800 çelik sacının farklı lehim aralıklarındaki çekme mukavemeti değerlerini incelemek amacı ile uygulanan parametreler Tablo 6.4.'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Farklı lehim aralıklarında birleştirilen numunelerin parametreleri

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0	504
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,3	570
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	763
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,8	717
60	2,9	10,4	12	Argon	24	1	607

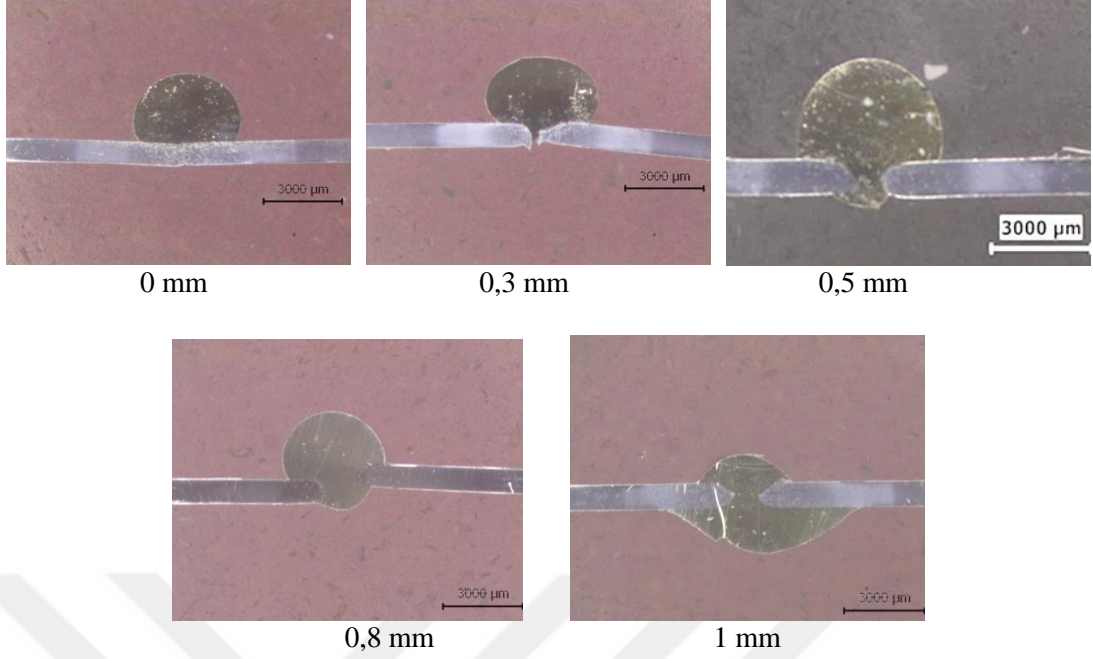
Farklı lehim aralıklarında birleştirilmiş olan numunelere ait maksimum çekme mukavemeti sonuçları Şekil 6.31.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, lehim aralığı 0 ve 0,3 olan numunelerde birleşmenin tam olmadığı bunun sonucu olarak ise mukavemet değerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Lehim aralığının fazla olması mukavemeti düşürmüş ve birleşme işlemi tam olamamıştır. En yüksek değer 0,5mm aralıkta elde edilmiştir.



Şekil 6.31. Farklı lehim aralıklarında maksimum çekme mukavemeti grafiği

6.1.4.2. Farklı lehim aralığının bağlantının geometrisine etkisi

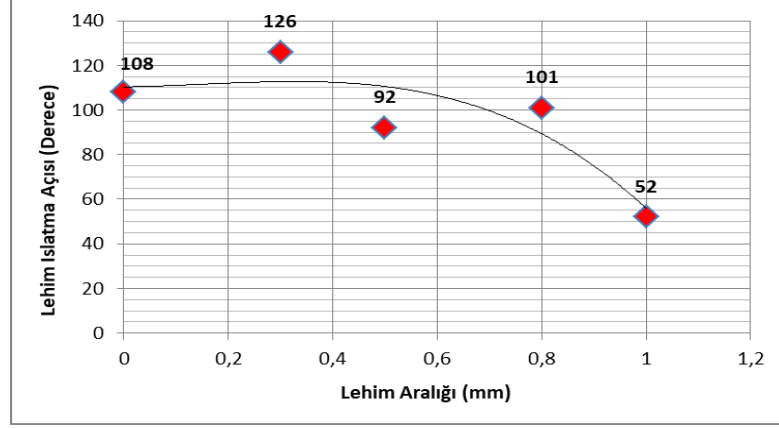
Akım şiddeti, lehim gaz debisi ve lehim ilerleme hızı belirlenen birleştime işleminin uygun lehim aralığı belirlenmesi amacı ile 5 farklı lehim aralığında birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu birleştirme işlemlerine ait numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.32.'de verilmektedir.



Şekil 6.32. Farklı lehim aralıklarında birleştirilmiş numunelerin makroyapı görüntüleri

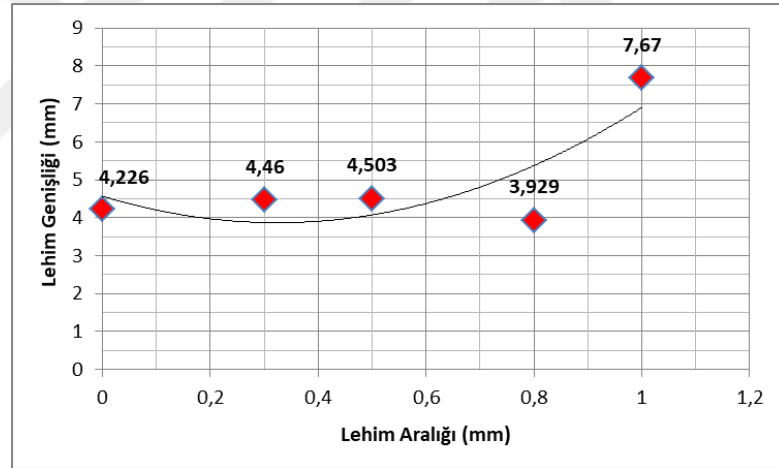
Makroyapı görüntüleri incelendiğinde 0 mm ve 0,3 mm aralıklarda lehim malzemesinin aralığa giremediği ve bundan dolayı birleşmenin tam olarak gerçekleşmediği görülmektedir. 1 mm aralıkta ise lehim malzemesi ana malzemenin alt tarafında birikmiş gerekli olan kep yüksekliğini oluşturamamıştır. Bu nedenle mukavemet sonucu da düşük çıkmıştır. Mukavemet sonuçları ile beraber incelendiğinde en ideal birleştirme aralığının 0,5 mm olduğu makro yapı görüntülerinden de anlaşılmaktadır.

Şekil 6.33.'de farklı lehim aralıklarında birleştirilmiş numunelere ait lehim ıslatma açıları grafiği verilmiştir.



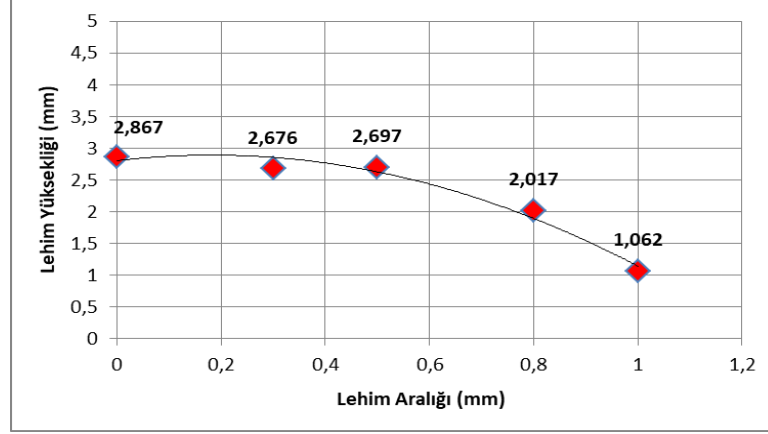
Şekil 6.33. Farklı lehim aralıklarında ıslatma açısı grafiği

Farklı lehim aralıklarında birleştirilmiş numunelerin lehim genişliği grafiği Şekil 6.34.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinden lehim genişliğinin 4 - 4,5mm arasında olabileceği görülmektedir.



Şekil 6.34. Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği

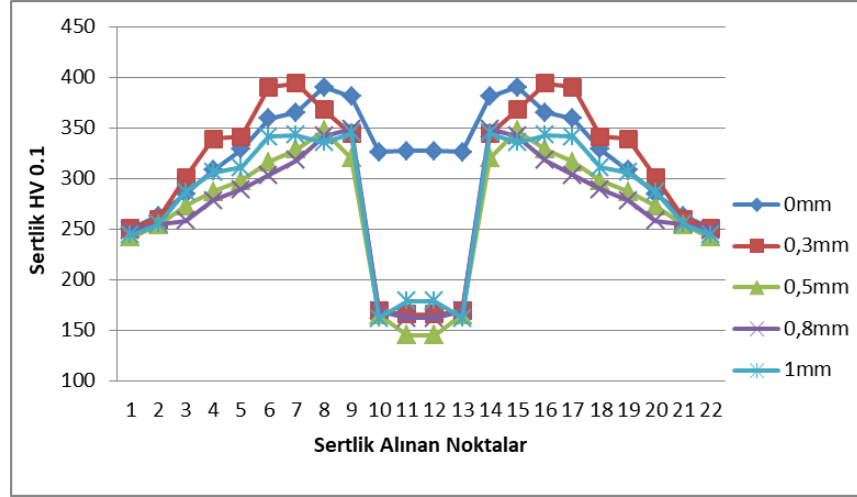
Şekil 6.35.'de verilen lehim aralığı lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde aralık artığının lehim yüksekliğini ters yönde etkilediği görülmektedir. Lehim yüksekliğinin en fazla olduğu 0 mm aralıkta lehim malzemesi lehim köküne nüfuz edemediği için ana malzeme üzerinde birikmiştir. Buda lehim yüksekliğini artırmıştır. 0,3 mm aralıkta ise yine lehim malzemesi gerektiği kadar lehim köküne nüfuz edememiştir.



Şekil 6.35. Farklı lehim aralıklarında lehim yüksekliği grafiği

6.1.4.3. Farklı lehim aralığının bağlantının sertliğine etkisi

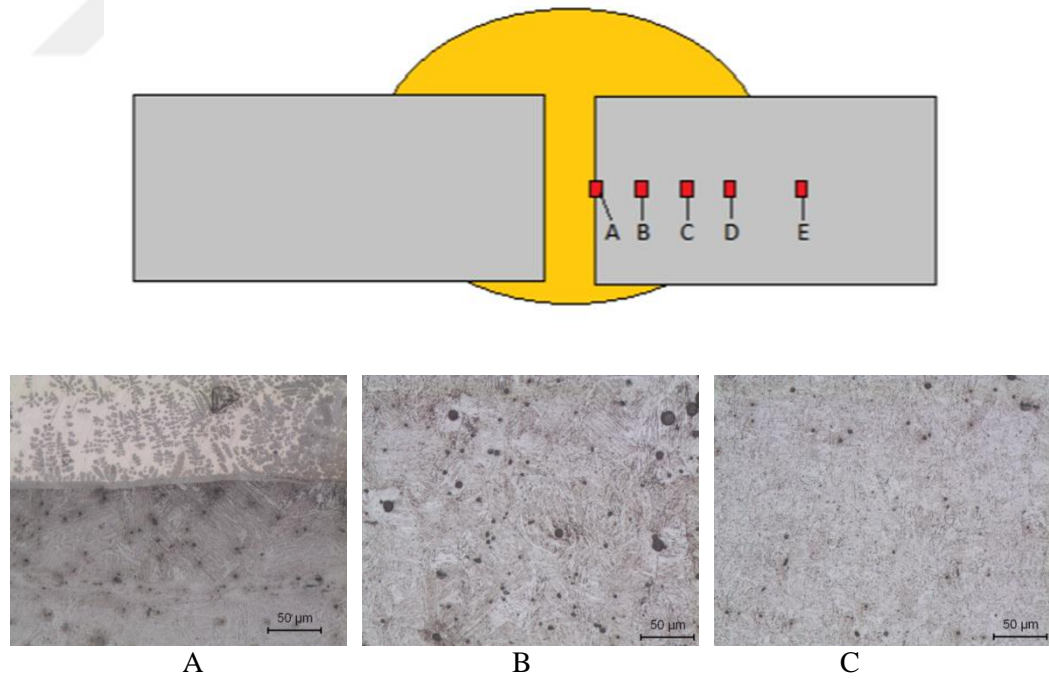
Şekil 6.36.'da farklı lehim aralıklarında birleştirilmiş olan numunelerin mikrosertlik sonuçları verilmiştir. Sertlik ölçümü lehim bölgesi, ITAB bölgesi ve ana mazleme olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Sertlik ölçümü yapılırken 0 mm aralıkta lehim bölgesi oluşmadığı için lehim bölgesinden sertlik alınamamıştır. 0,3 mm aralıkta birleştirilen numuneden ise 0,1 mm aralıklarla sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik değerinin en az olduğu bölge lehim bölgesi olmuştur. En yüksek sertlik değerleri ise ITAB bölgesinden elde edilmiş ve bu değer ana malzemeye doğru gidildikçe azalmıştır. 0 mm ve 0,3 mm aralıklarda birleştirilmiş numunelerin ITAB bölgelerinde diğer numunelerin aynı bölgelerinde elde edilen sertlik değerlerinden fazla olduğu görülmüştür. 0 mm ve 0,3 mm aralıklarında ITAB bölgelerinde 380HV- 400HV arasındadır. 0,3 mm aralığındaki numunenin ITAB bölgesinin diğer numunelerin ITAB bölge genişliğinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



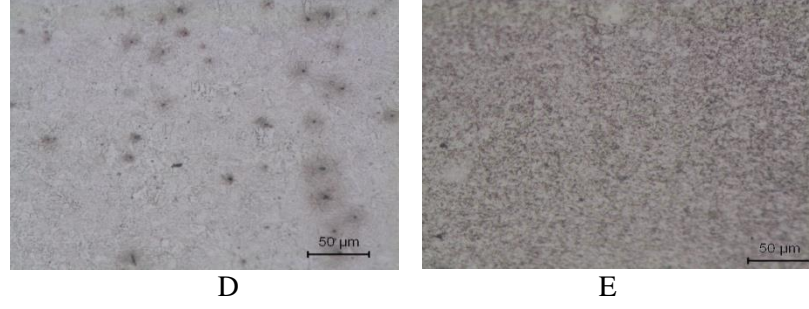
Şekil 6.36. Farklı lehim aralıklarında sertlik sonuçları grafiği

6.1.4.4. Farklı lehim aralığının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

0,8 mm lehim aralığında birleştirilmiş numunenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.37.'de verilmiştir.



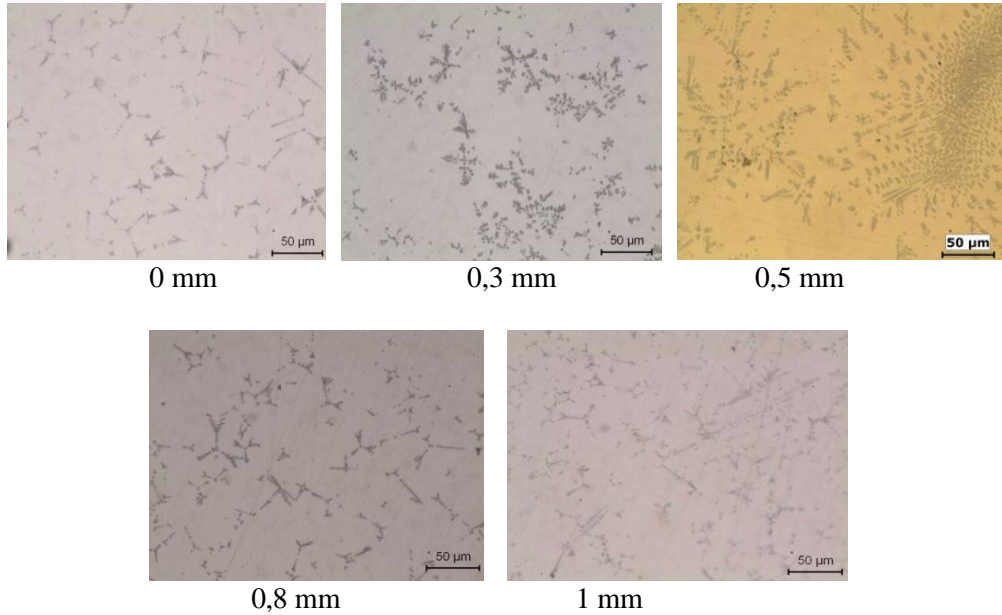
Şekil 6.37. 0,8mm lehim aralığında birleştirilmiş numuneye ait mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.37. (Devamı)

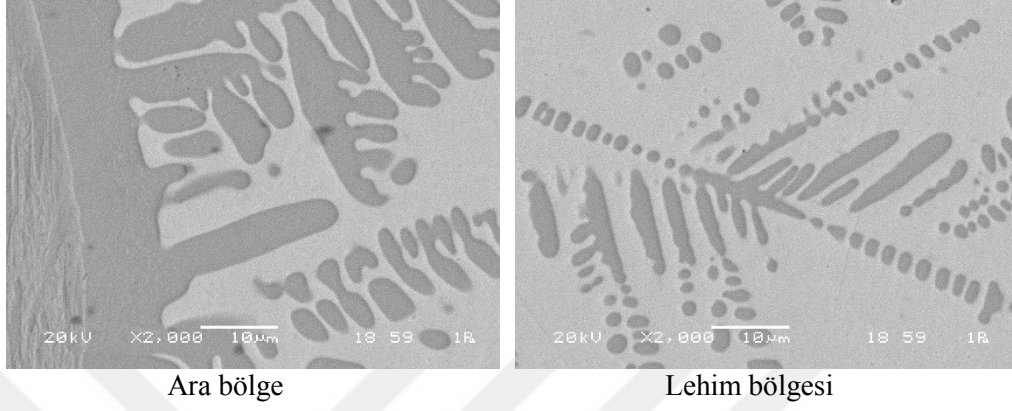
Mikroyapı görüntüleri 3 bölgeden oluşmaktadır. Bunlar ara bölge (A), ısı tesiri altında kalan bölge (B, C, D) ve ana malzemedir(E). ITAB bölgesinde ısı tesirinden dolayı tane büyüklüklerinin arttığı görülmektedir.

Farklı lehim aralıklarında CMT-lehimleme işlemi yapılmış numunelerin lehim bölgelerine ait mikroyapı görüntüleri Şekil 6.38.'de verilmiştir. 0 mm ve 0,3 mm aralıklarda dentrit oluşumları diğer birleştirmelere göre çok daha az olduğu görülmektedir. Buda birleştirmenin tam olmamasının nedenini açıklamaktadır.

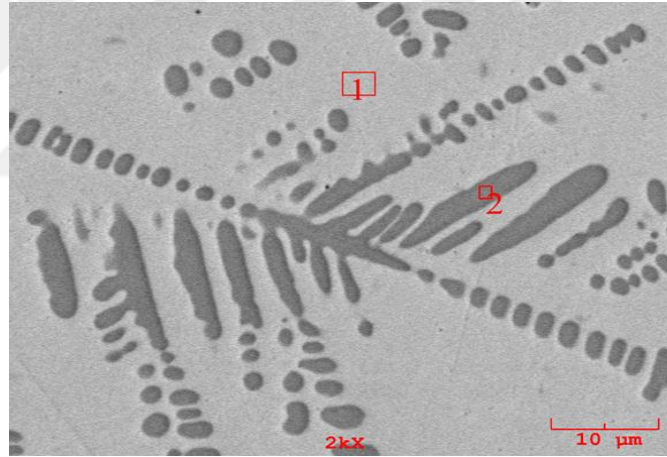


Şekil 6.38. Farklı lehim aralıklarındaki lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

0,5 mm lehim aralığında birleştirilmiş numuneye ait ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri Şekil 6.39.'da verilmektedir. Şekil 6.40.'da ise lehim bölgesinden alınmış olan noktasal EDS analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.39. 0,5 mm lehim aralığı SEM görüntüleri



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	C	Al	Fe	Cu
1	-	8,679	5,016	86,304
2	0,591	8,936	75,514	14,959

Şekil 6.40. 0,5 mm aralığı lehim bölgesi EDS analizi

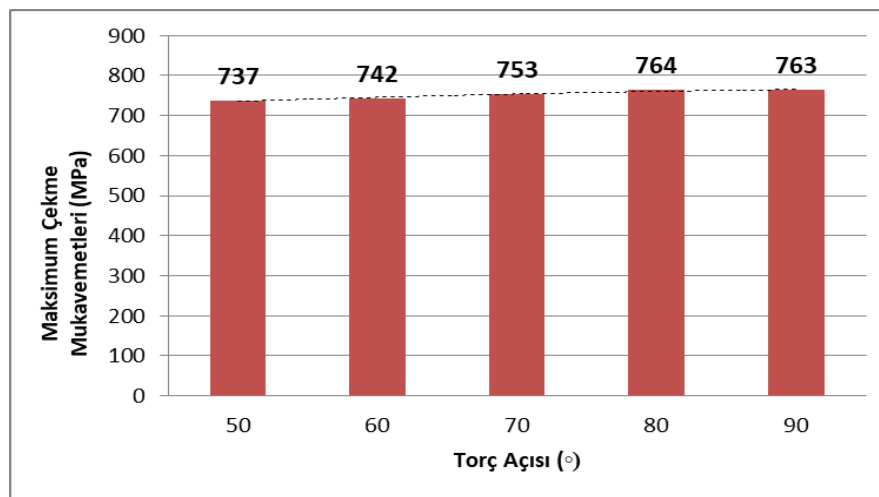
6.1.5. Farklı lehim torç açısının bağlantının özelliklerine etkisi

6.1.5.1. Farklı lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

DP800 çelik sacının lehimleme işleminin verimli yapılabilmesi için uygun akım şiddeti 60A, gerilim 10,4V, lehim ilerleme hızı 24cm/dk, gaz akış debisi 12lt/dk ve 0,5mm lehim aralığı olarak belirlenmiş, en uygun torç açısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç ile farklı torç açılarında yapılan birleştirme işlemlerine ait parametreler Tablo 6.5.'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Farklı torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özellikleri

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Torç Açısı (Derece)	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	50	737
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	60	742
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	70	753
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	80	764
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	90	763



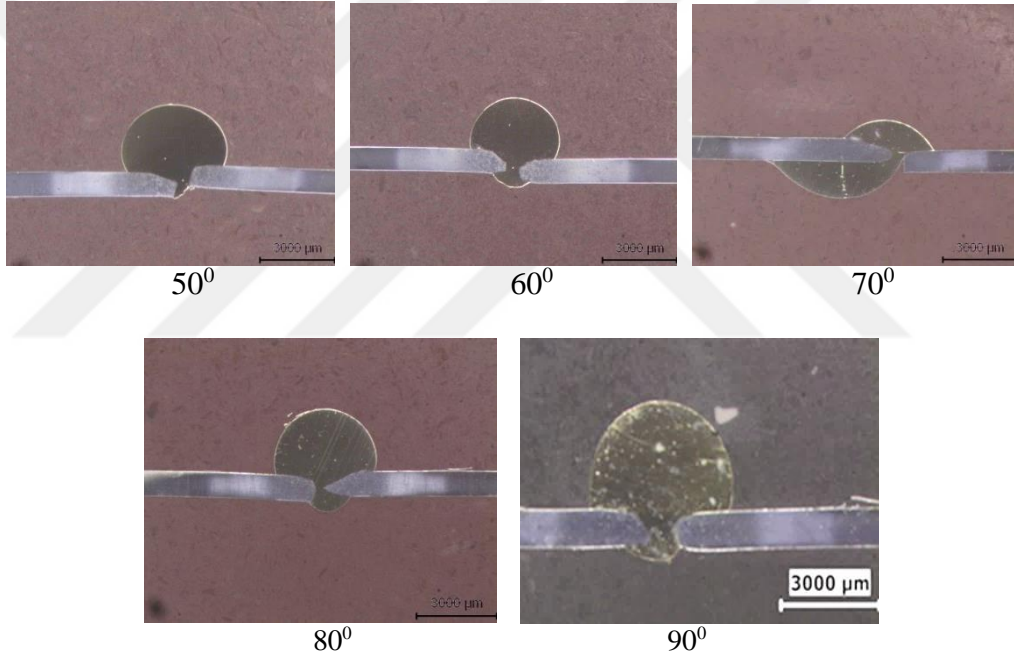
Şekil 6.41. Farklı torç açılarında elde edilen maksimum çekme mukavemetleri grafiği

Farklı torç açılarında birleştirilmiş numunelere ait maksimum çekme mukavemeti sonuçları Şekil 6.41.'de verilmektedir. Grafik incelendiğinde torç açısının az olması

mukavemeti olumsuz etkilediği görülmektedir. Torç açısı arttıkça mukavemette artış gözlenmiştir. Maksimum çekme mukavemeti 80° ve 90° lik torç açılarında elde edildiği görülmektedir. Maksimum çekme mukavemeti göz önüne alındığında ideal torç açısının 80° veya 90° seçebileceği düşünülmektedir.

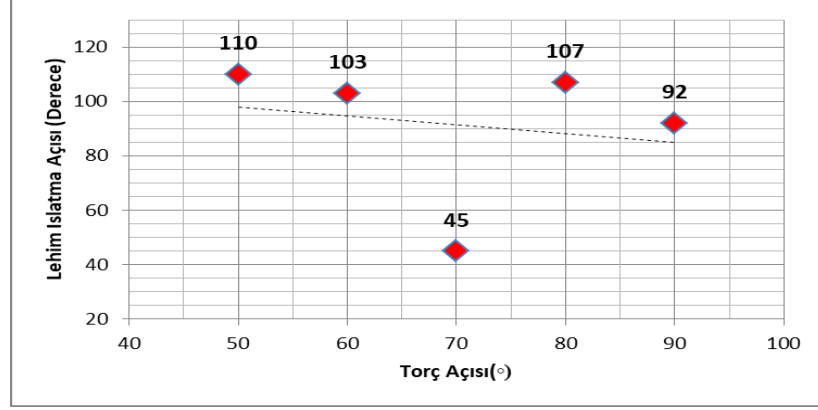
6.1.5.2. Farklı lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi

DP800 çelik sacının 60A akım şiddeti, 10,4V gerilim, 24cm/dk ilerleme hızı, 12lt/dk gaz debisi, 0,5 mm lehim aralığı ve farklı torç açılarında yapılmış olan birleştirmelere ait lehim geometrilerinin makro görüntüleri Şekil 6.42.'de verilmiştir.



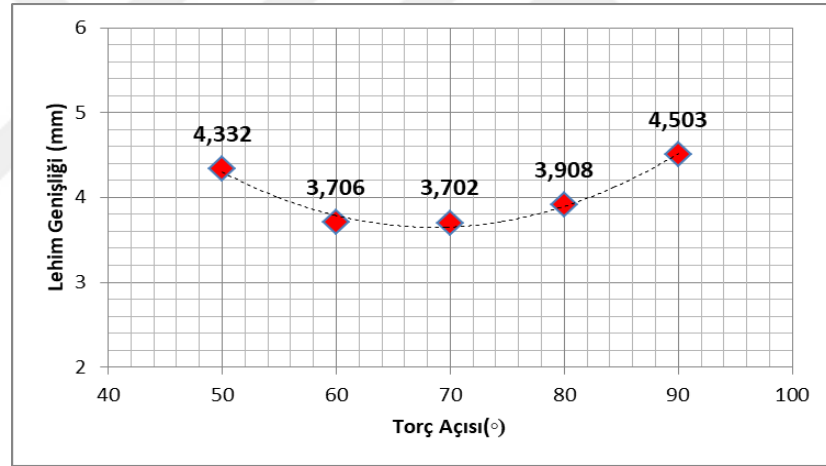
Şekil 6.42. Farklı torç açılarında makro görüntüleri

Makro görüntüler incelendiğinde 80° ve 90° torç açılarının hem nüfuziyet hem de ıslatabilirliği kabul edilebilir olduğu tespit edilmiştir. Makro görüntüler maksimum çekme mukavemetleri ile beraber değerlendirildiğinde 80° torç açısının optimum değer olduğu görülmektedir.



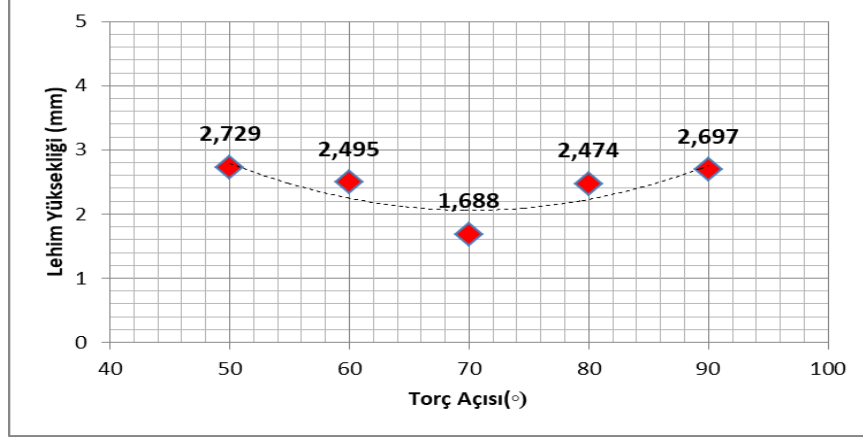
Şeki 6.43. Farklı torç açılarında ıslatma açısı grafiği

Farklı torç açılarında elde edilen ıslatma açıları grafiği Şekil 6.43.'de verilmiştir. En yüksek mukavemet değerine sahip torç açısı değerinde 107° lehim ıslatma açısı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.44. Farklı torç açılarında lehim genişliği grafiği

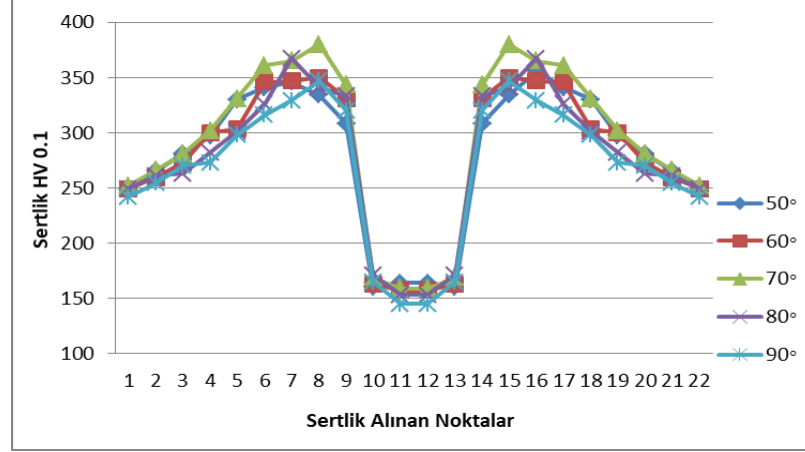
Farklı torç açılarında elde edilen numunelere ait lehim genişliği grafiği Şekil 6.44.'de ve lehim yüksekliği grafiği Şekil 6.45.'de verilmiştir. Lehim kep genişliğinin 4 - 4,5 mm arasında, lehim kep yüksekliğinin ise 2 - 3 mm arasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.45. Farklı torç açılarında lehim yüksekliği grafiği

6.1.5.3. Farklı lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi

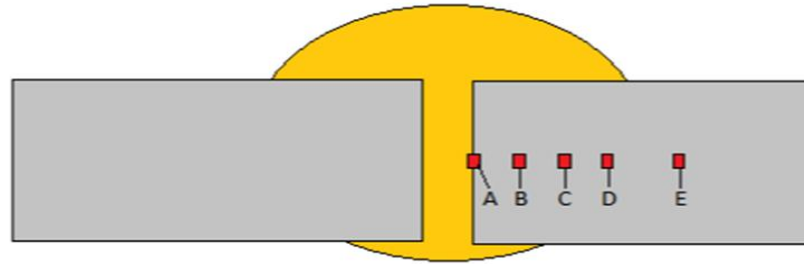
Farklı lehim torç açılarında lehimleme işlemi yapılmış olan numunelerin mikrosertlik sonuçları Şekil 6.46.'da verilmiştir. Ölçülen mikrosertlik dağılımları üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bunlar; lehim bölgesi, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzemedir. Sertlik değerinin en düşük olduğu bölge lehim bölgesidir. En yüksek olan bölge ise ısı tesiri altında kalan bölge olduğu görülmektedir. Bu sertlik değeri ITAB bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe düştüğü gözlemlenmiştir. Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerlerine bakıldığında 50⁰ torç açısında diğer açı değerlerine nazaran biraz daha fazla sertlik değeri ölçülmüştür. En düşük değer ise 90⁰ torç açısında ölçülmüştür. 50⁰, 60⁰ ve 70⁰ torç açılarında elde edilen numunelerin ITAB bölgelerindeki sertlik değerleri ise 80⁰ ve 90⁰ torç açılarında elde edilen numunelerin ITAB bölgelerindeki sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.



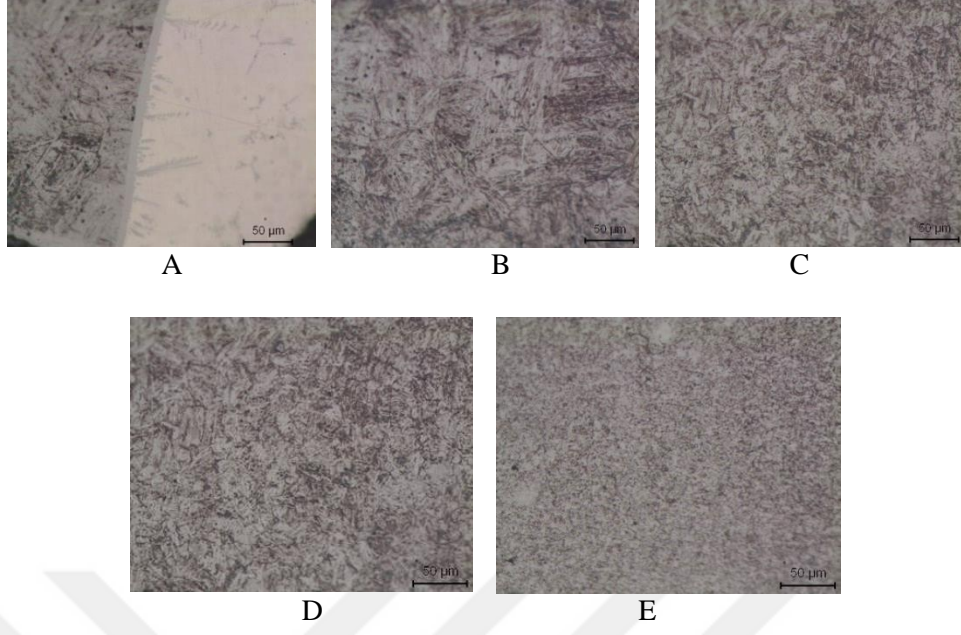
Şekil 6.46. Farklı torç açılarında mikro sertlik noktaları

6.1.5.4. Farklı lehim torç açısının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

Şekil 6.47.'de verilen 50^0 torç açısında elde edilen numuneye ait ara bölge (A), ısı tesiri altında kalan bölge (B, C, D) ve ana malzeme (E) bölgelerinden alınan mikroyapı görüntüleri verilmektedir. En yüksek sertlik değerlerinin B, C ve D bölgelerinde olduğu daha sonra ise azaldığı görülmüştür. Bu bölgelerin mikroyapı görüntülerine baktığımızda ise tane büyüklüklerinin bu bölgede fazla olduğu daha sonra ise tane büyüklüğünün düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda A bölgesinde ise ana malzemedan lehim bölgesine element geçişi gözlenmektedir. Bu geçiş yapan elementler dentritleri oluşturmaktadır.

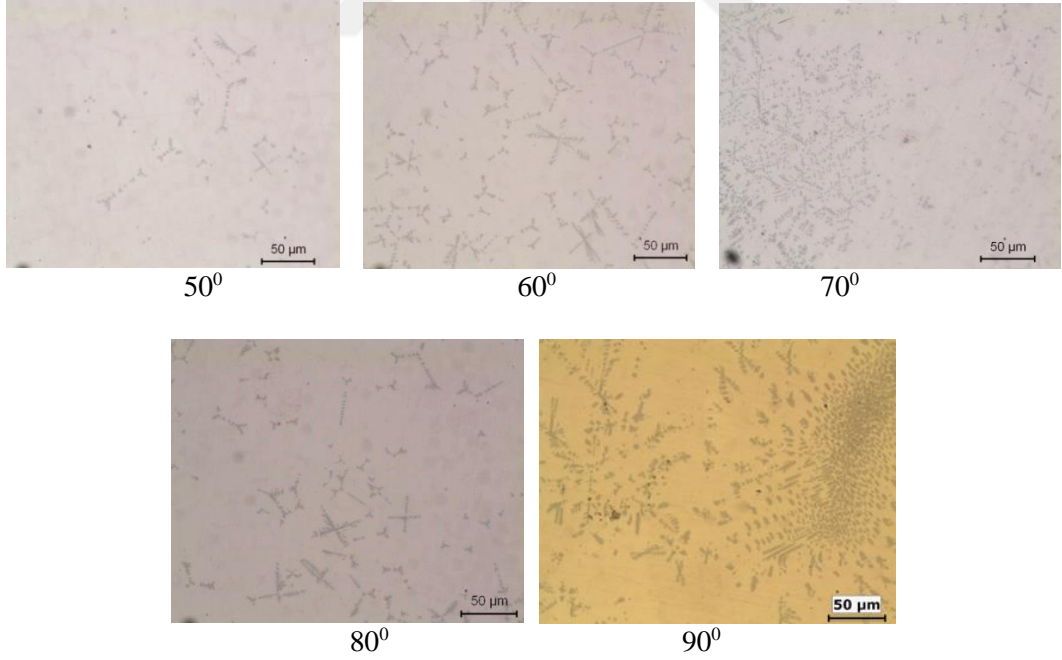


Şekil 6.47. 50^0 torç açısında mikroyapı görüntüleri



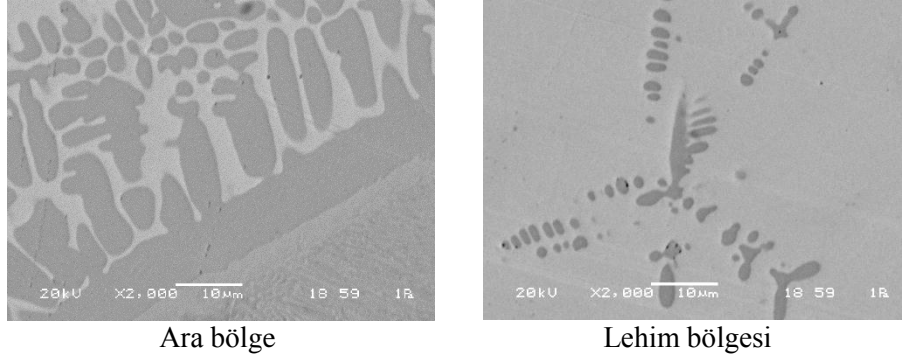
Şekil 6.47. (Devamı)

Farklı torç açılarında elde edilmiş olan numunelere ait lehim bölgelerinin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.48.'de verilmiştir.



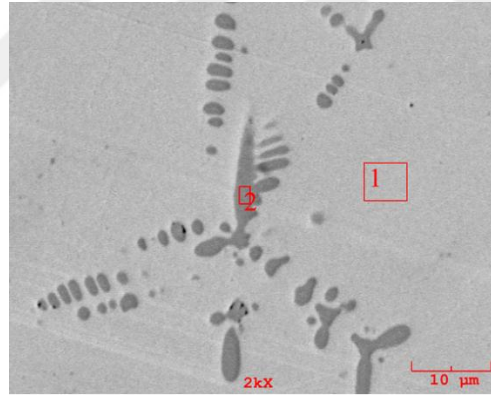
Şekil 6.48. Farklı torç açılarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

Dentrit oluşumlarının en az olduğu torç açısı 50° olduğu saptanmıştır. En düşük çekme mukavemetinin 50° torç açısında elde edilmiş olması dentritlerin az olmasının çekme mukavemeti sonuçlarını olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.



Şekil 6.49. 60° torç açısında elde edilen numunenin ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri

Şekil 6.49.'da 60° torç açısında elde edilen numunenin ara bölgesinde ısı girişi ile elementlerin lehim bölgesine doğru difüzyon ile geçişi görülmektedir. Bu geçiş sonrası lehim bölgesinde oluşan dentritlerden alınan noktasal EDS analiz sonucu Şekil 6.50.'de verilmiştir.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)						
	C	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
1	0	9,093	0	0,321	0,196	2,987	87,404
2	0,567	8,365	1,241	0,271	0,018	60,081	29,457

Şekil 6.50. 60° torç açısında elde edilen numunenin lehim bölgesi noktasal EDS analizi

6.2. DP800 Galvanizli Çelik Sacın CMT-Lehimleme Yöntemi İle Bindirme Birleştirmeleri

6.2.1. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının özelliklerine etkisi

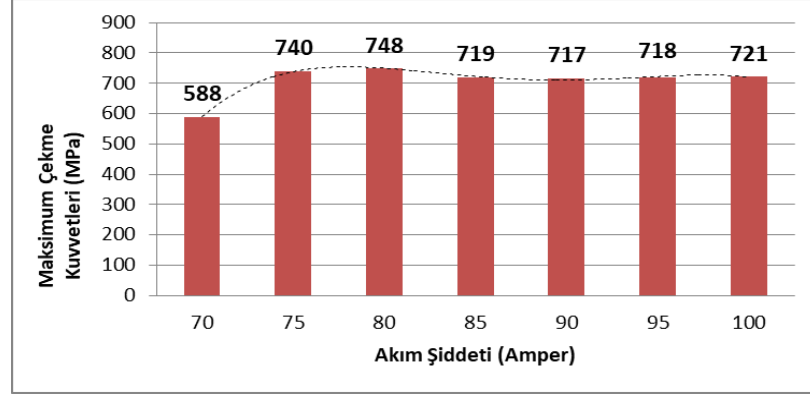
6.2.1.1. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

DP800 çelik sacının bindirme yöntemi ile birleştirilme işleminin en idel şekilde yapılabilmesi için farklı akım şiddetleri uygulanmış ve bu uygulamalar ile ilgili parametreler ve çekme mukavemet sonuçları Tablo 6.6.'da verilmiştir. Akım şiddeti belirlenirken 55A ile başlanmıştır. Fakat 55A, 60A ve 65A akım şiddetlerinde birleşme gerçekleşmediği için tabloda bu değerlere yer verilmemiştir. Aynı zamanda 100A sonrasında ise ana malzemede delinmeler başlamıştır. Optimum akım şiddeti belirlenirken 70A'den başlanarak 100A'e kadar farklı akım şiddetleri uygulanmıştır.

Tablo 6.6. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
70	3,6	10,8	12	Argon	24	0,5	588
75	3,9	11,1	12	Argon	24	0,5	740
80	4,3	11,5	12	Argon	24	0,5	748
85	4,6	11,6	12	Argon	24	0,5	719
90	4,9	11,8	12	Argon	24	0,5	717
95	5,3	12,1	12	Argon	24	0,5	718
100	5,6	12,5	12	Argon	24	0,5	721

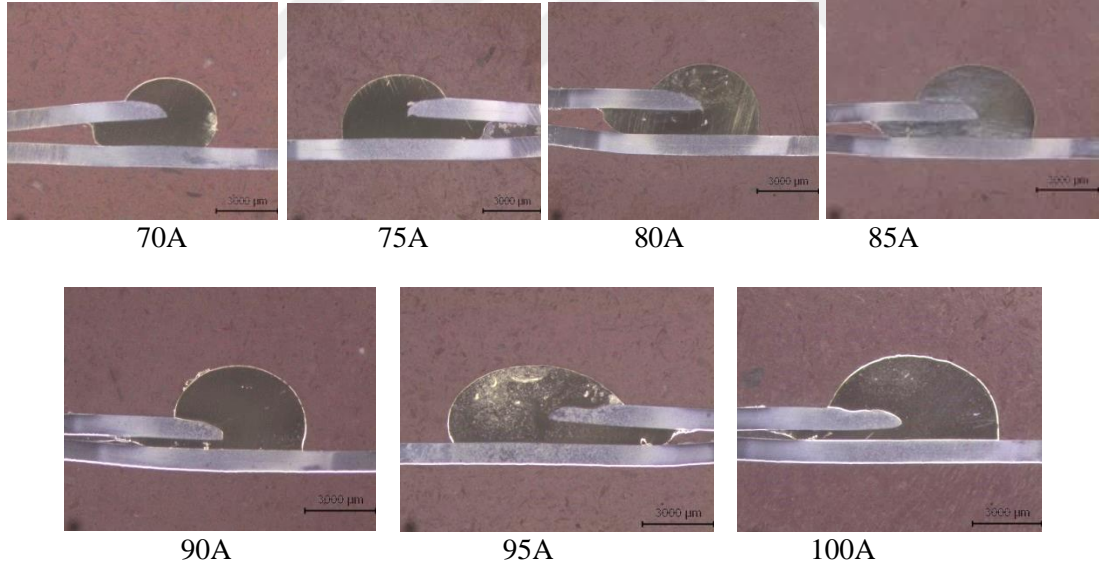
Şekil 6.51.'de farklı akım şiddetlerinde elde edilen numunelerin çekme mukavemeti sonuçları verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum çekme mukavemeti değerinde çok fazla farkın olmadığı görülmektedir. Fakat 80A akım şiddetinde en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşıldığı için optimum akım değeri olarak 80A kullanılabilir. Ayrıca akım şiddeti arttıkça mukavemet düşüşü gözlemlenmiştir.



Şekil 6.51. Farklı akım şiddetlerinde maksimum çekme mukavemetleri

6.2.1.2. Farklı lehim akım şiddetlerinin lehim geometrisine etkisi

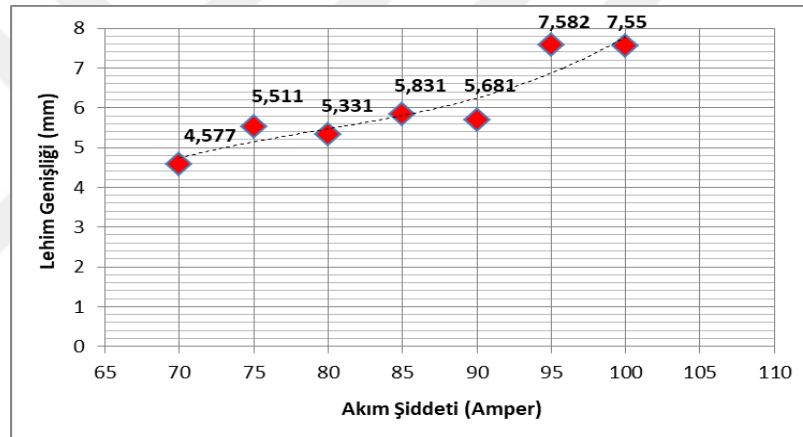
Farklı lehim akım şiddetlerinin lehim geometrisine etkilerini incelemek amacıyla farklı akım şiddetlerinde DP800 çelik sacı birleştirilmiş ve bu numunelerin makro çekimleri yapılmıştır. Numunelere ait makro görüntüler Şekil 6.52.'de verilmektedir.



Şekil 6.52. Farklı akım şiddetlerindeki makro görüntüler

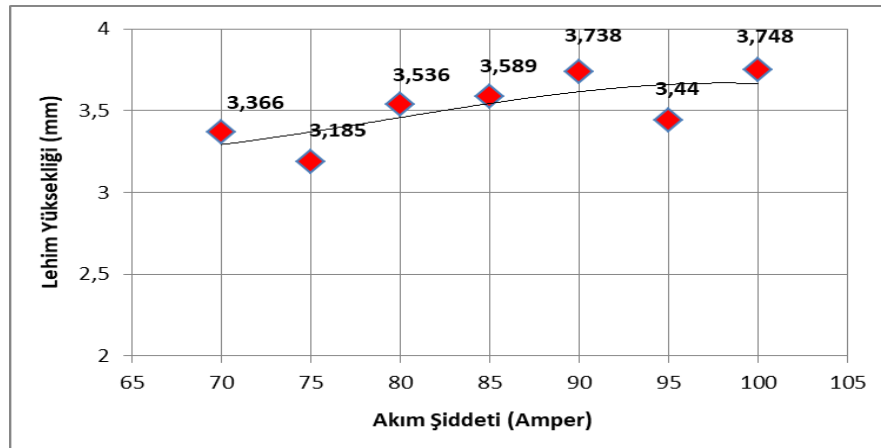
CMT-lehimleme işlemi gerçekleştirilmiş olan numunelerin makroyapı görüntüleri maksimum çekme mukavemeti sonuçları ile beraber değerlendirdiğimizde; 70A akım şiddetinde en düşük mukavemet sonucu alındığı görülmektedir. Aynı zamanda 70A şiddetinde numuneler lehim bölgesinden kopmuştur. Islatma kabiliyetininde diğer akım şiddetlerindeki numunelere göre daha az olduğu görülmektedir. 75A akım şiddetinde ıslatma kabiliyeti ısı girdisi ile beraber artış göstermiş ve mukavemette

bununla beraber artmıştır. Fakat 75A akım şiddetindeki nnumunelerin bazıları lehim bölgesinden kopmuştur. Buda 75A akım şiddeti değerinin kritik değer olduğunu göstermektedir. 80A akım şiddeti değerinde en yüksek mukavemet sonucuna ulaşılmıştır. Kopma noktası lehim ısı tesiri altında kalan bölgeden 9 mm uzakta gerçekleşmiştir. Islatma kabiliyetinin de iyi olduğu görülmektedir. Amper değeri arttıkça ısı girdisi yükselmiştir. Bunun sonucu olarak lehim malzemesi ana malzeme üzerinde daha fazla yayılmış ve ıslatabilirliği daha artmıştır. 85A, 90A, 95A ve 100A akım şiddetlerinde elde edilen numuneler lehim bölgelerinden 10-11 mm uzakta koptuğu görülmüştür. Isı girdisinin yüksek olması mukavemet sonucunu olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. DP800 çelik sacının bindirme işleminde optimum akım şiddeti değerinin 80A olduğu görülmektedir.



Şekil 6.53. Farklı akım şiddeti lehim genişliği grafiği

Farklı lehim akım şiddetlerinde CMT-lehimleme işlemi yapılmış numunelere ait lehim kep genişliği grafiği Şekil 6.53.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, akım şiddetinin artması ısı girdisini artırdığı için lehim genişliğini arttırdığı görülmektedir. İdeal lehim kep genişliğinin 5 – 5,5 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.

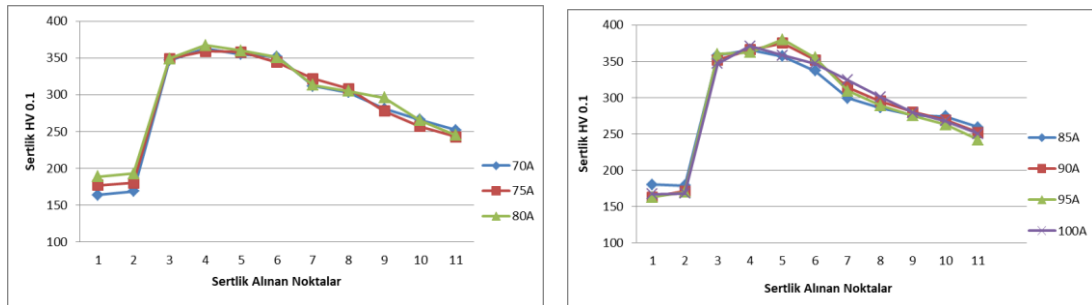


Şekil 6.54. Farklı akım şiddeti lehim yüksekliği grafiği

Şekil 6.54.'deki akım şiddeti lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde lehim yüksekliklerinin birbirine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. İdeal lehim yüksekliğinin 3,5 mm olabileceği düşünülmektedir.

6.2.1.3. Farklı lehim akım şiddetlerinin bağlantının sertliğine etkisi

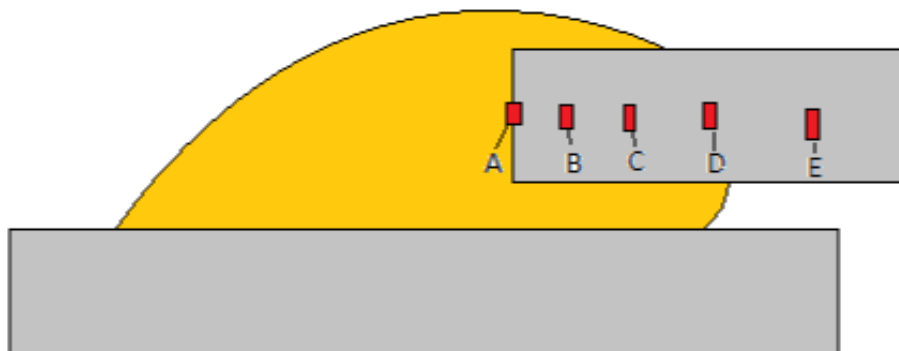
Farklı akım şiddetlerinde birleştirilmiş numunelerin mikro sertlik ölçümleri Şekil 6.55.'de verilmiştir. Mikro sertlik dağılımı lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Mikro sertlik değerleri lehim bölgesinden başlamak üzere 0,5mm aralıklar ile alınmıştır. En düşük sertlik değerinin lehim bölgelerinde olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değeri ise ITAB bölgelerinde ölçülmüş bu değer ana malzemeye doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. 70A ve 75A akım şiddeti değerlerinde ITAB bölgelerinde en fazla 360HV sertlik değerine ulaşılmıştır. 80A ve üzerindeki akım şiddetlerinde ise 380HV sertlik değerlerine ulaşılmıştır.



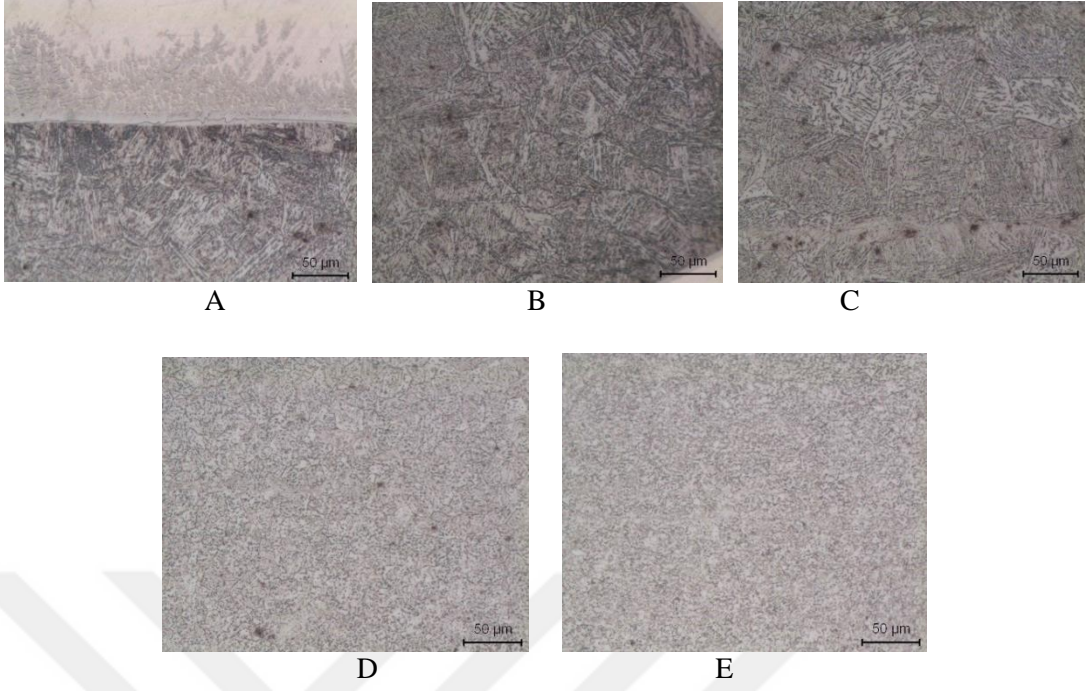
Şekil 6.55. Farklı akım şiddetlerinde mikrosertlik değerleri

6.2.1.4. Farklı lehim akım şiddetlerinin mikroyapı özelliklerine etkisi

Şekil 6.56.'da verilen 100A akım şiddetinde elde edilen numuneye ait ara bölge (A), ısı tesiri altında kalan bölge (B, C, D) ve ana malzeme (E) bölgelerinden alınan mikro yapı görüntüleri verilmektedir. En yüksek sertlik değerlerinin B, C ve D bölgelerinde olduğu daha sonra ise azaldığı görülmüştür. Bu bölgelerin mikroyapı görüntülerine baktığımızda ise tane büyüklüklerinin bu bölgede fazla olduğu daha sonra ise tane büyüklüğünün düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda A bölgesinde ise ana malzemeden lehim bölgesine element geçişi gözlenmektedir. Bu geçiş yapan elementler dentritleri oluşturmaktadır.

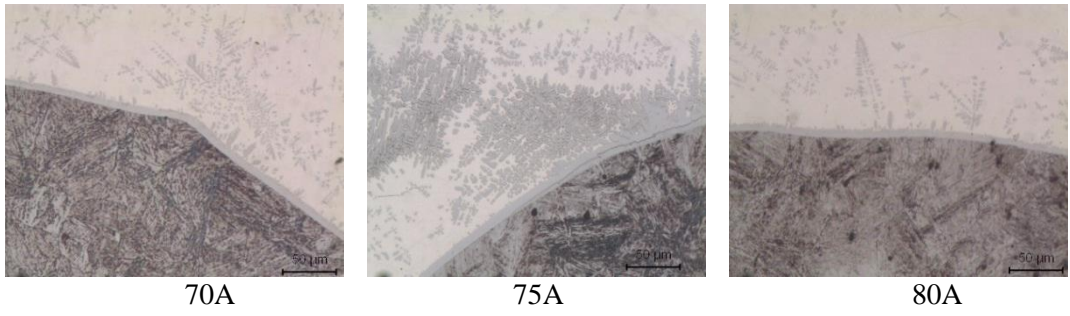


Şekil 6.56. 100A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri

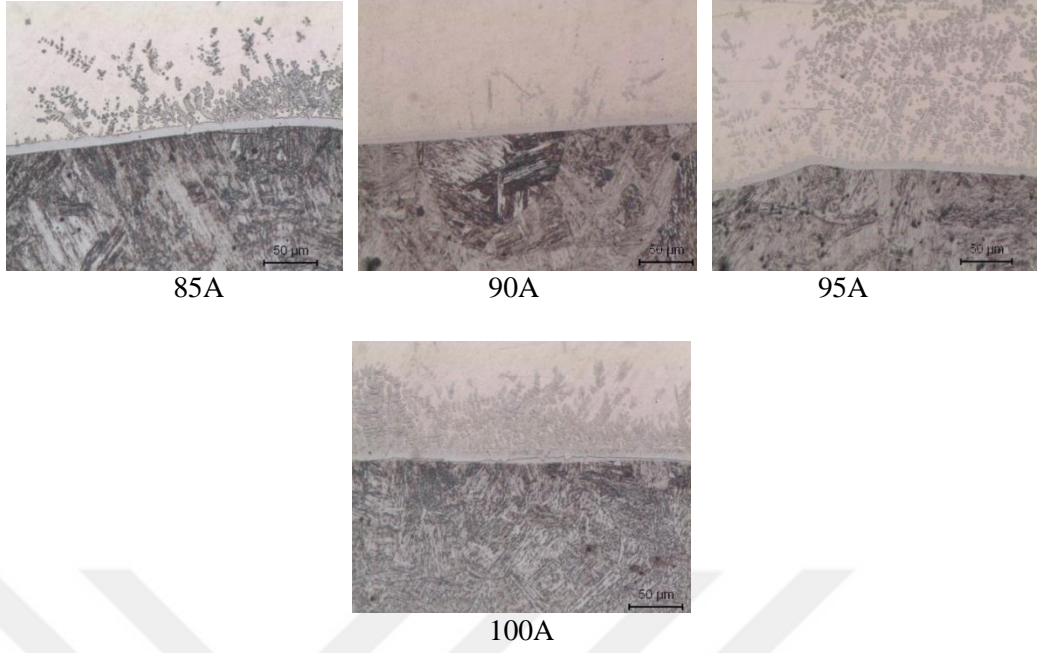


Şekil 6.56. (Devamı)

Şekil 6.57.'de farklı lehim akım şiddetlerinde birleştirilmiş numunelerin ara bölge mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimleme işlemi yapılan bölgede ana malzemeden lehim bölgesine doğru geçiş yapan elementler görülmektedir. Bütün akım değerlerinde geçiş sağlandığı görülmektedir. Bu element geçişlerinin sertliği ve mukavemet artışını etkilediği düşünülmektedir.

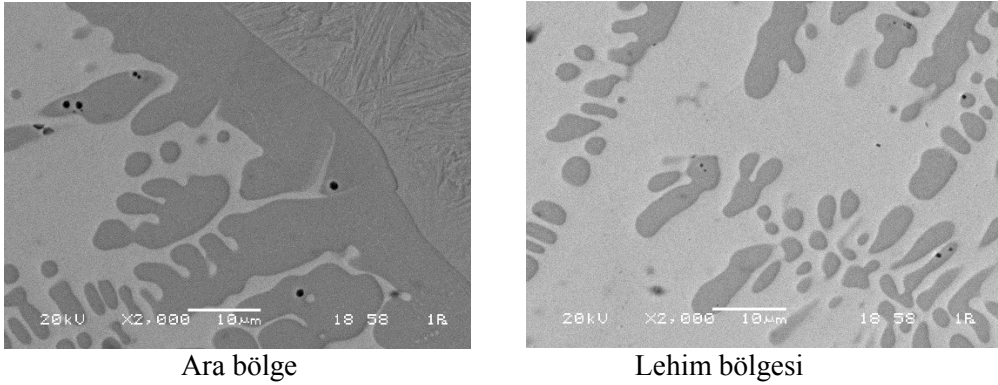


Şekil 6.57. Farklı akım şiddetlerinde ara bölge mikroyapı görüntüleri

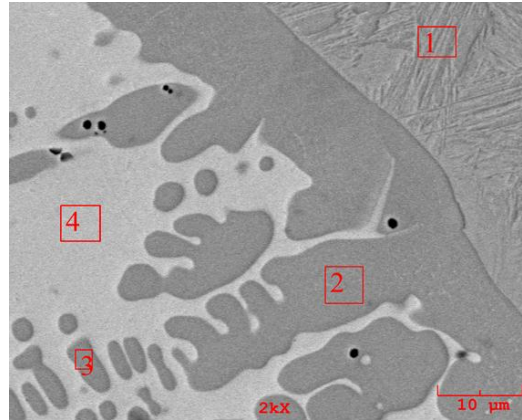


Şekil 6.57. (Devamı)

Şekil 6.58.'de 80A akım şiddetinde elde edilmiş olan numuneye ait ara bölge ve lehim bölgesinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Dendrit oluşumu ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımlı yoluyla oluştuğu görülmektedir. Şekil 6.59.'da ara bölgeden noktasal olarak alınan EDS analizleri verilmiştir.



Şekil 6.58. 80A akım şiddetinde ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Si	Mn	Fe	Al	Cu
1	0,182	1,402	1,476	96,940	0	0
2	0	1,433	0,399	80,778	6,991	10,399
3	0	1,275	0	77,157	8,326	13,242
4	0	0,224	0	5,813	10,230	82,461

Şekil 6.59. 80A akım şiddetinde ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi

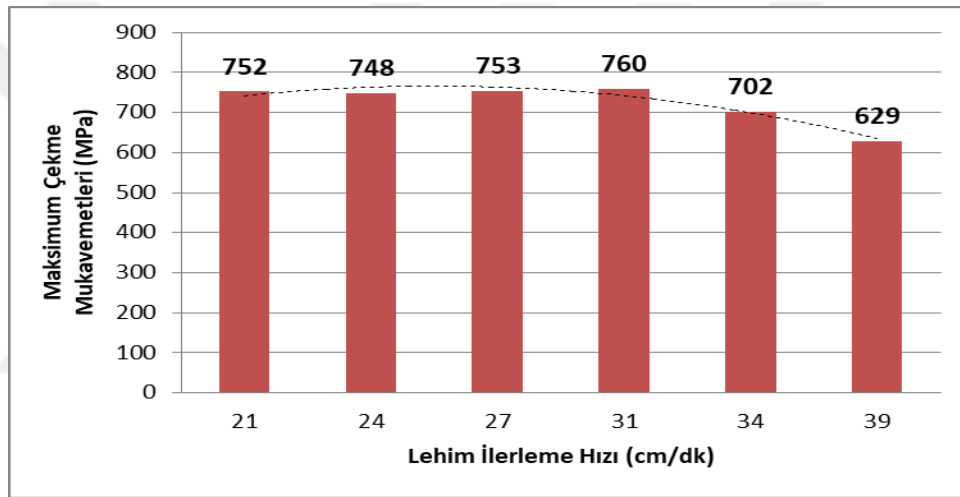
6.2.2. Farklı lehim ilerleme hızlarının bağlantının özelliklerine etkisi

6.2.2.1. Farklı lehim ilerleme hızlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

DP800 çeliğinin CMT-lehimleme ile birleştirme işleminde optimum değer olarak 80A akım şiddeti belirlenmiştir. Lehimleme makinasında bu akım şiddetine karşı gelen gerilim değeri 11,5V olduğu için optimum gerilim değeri olarak ise 11,5V belirlenmiştir. Farklı lehim ilerleme hızlarında mekanik özelliklerin tespiti amacıyla lehimleme işlemi farklı ilerleme hızlarında yapılmıştır. Bu parametrelere ait değerler Tablo 6.7.'de verilmiştir. Şekil 6.60.'da ise farklı ilerleme hızlarında elde edilmiş olan numunelere ait maksimum çekme mukavemeti sonuçları verilmektedir. Grafik incelendiğinde, ilerleme hızının az olması ve çok fazla olması mukavemeti olumsuz etkilediği görülmektedir. En yüksek çekme mukavemeti sonucu 760Mpa olarak 31cm/dk ilerleme hızında elde edilmiştir. 31cm/dk ilerleme hızına kadar olan numuneler çekme deneyi esnasında ITAB bölgelerinden kopmuş, diğer hızlara ait numuneler ise lehim bölgelerinden kopmuştur.

Tablo 6.7. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim parametreleri

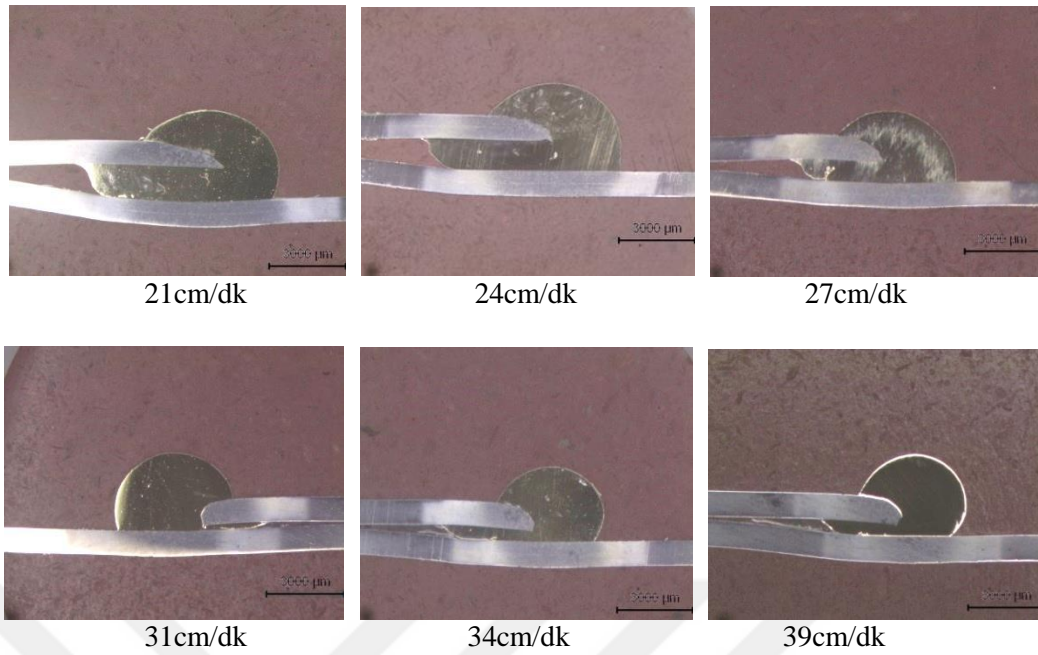
Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
80	4,3	11,5	12	Argon	21	0,5	752
80	4,3	11,5	12	Argon	24	0,5	748
80	4,3	11,5	12	Argon	27	0,5	753
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,5	760
80	4,3	11,5	12	Argon	34	0,5	702
80	4,3	11,5	12	Argon	39	0,5	629



Şekil 6.60. Farklı lehim ilerleme hızlarında çekme mukavemeti sonuçları

6.2.2.2. Farklı lehim ilerleme hızlarının lehim geometrisine etkisi

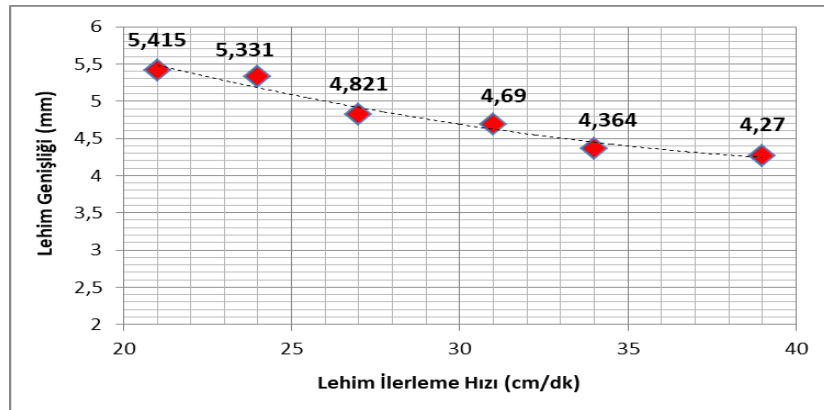
Farklı lehim ilerleme hızının lehim geometrisine olan etkisini incelemek amacıyla farklı hızlarda DP800 çelik sacı birleştirilmiştir. Bu birleştirilmeye ait makro görüntüler Şekil 6.61.'de verilmiştir.



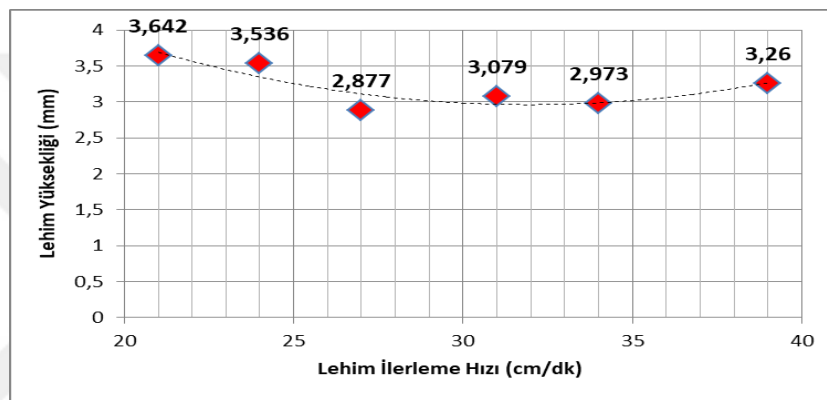
Şekil 6.61. Farklı ilerleme hızlarında makro görüntüler

Makro görüntüler incelendiğinde ilerleme hızlarının düşük olması lehim malzemesinin ana malzeme üzerinde daha fazla yayılmasına neden olduğu görülmektedir. Çekme mukavemeti sonuçları göz önünde bulundurulursa 31cm/dk ilerleme hızındaki lehim dağılımının daha uygun olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.62.'de farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde lehim ilerleme hızı azaldıkça ısı girdisinin etkisi ile lehim malzemesinin ana malzeme üzerine daha fazla yayıldığı görülmektedir. Çekme mukavemeti sonuçları ile beraber değerlendirildiğinde lehim genişliğinin 4,5 – 5,5 mm arasında olabileceği düşünülmektedir. Şekil 6.63.'de lehim ilerleme hızı lehim yüksekliği grafiği verilmiştir. Lehim yüksekliğinin 3 ile 4 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.



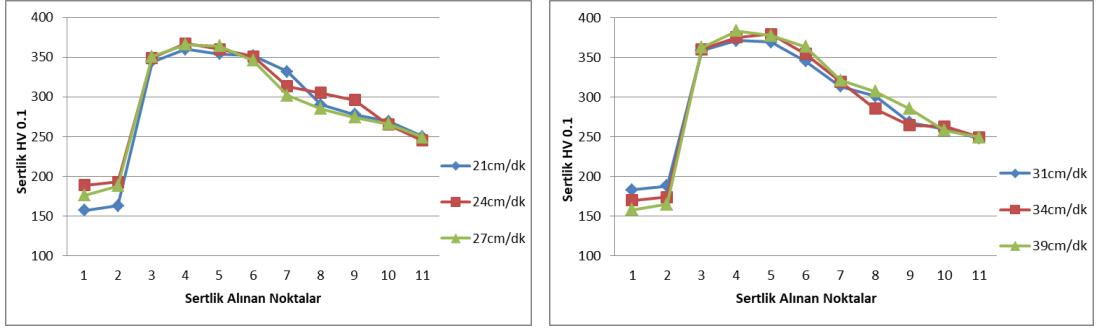
Şekil 6.62. Lehim ilerleme hızı lehim genişliği grafiği



Şekil 6.63. Lehim ilerleme hızı lehim yüksekliği grafiği

6.2.2.3. Farklı lehim ilerleme hızlarının bağlantının sertliğine etkisi

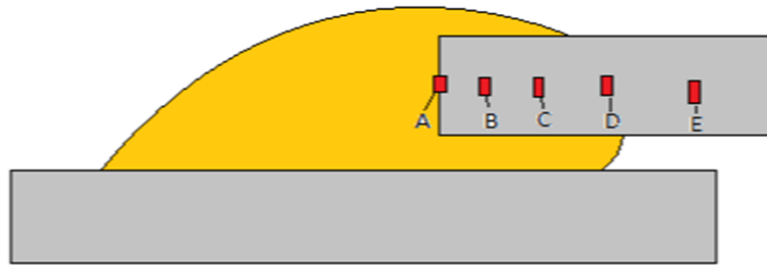
Farklı lehim ilerleme hızlarında lehimleme işlemi yapılmış olan numunelerin mikrosertlik sonuçları Şekil 6.64.'de verilmiştir. Ölçülen mikrosertlik dağılımları üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bunlar; lehim bölgesi, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzemedir. Sertlik değerinin en düşük olduğu bölge lehim bölgesidir. En yüksek olan bölge ise ısı tesiri altında kalan bölge olduğu görülmektedir. Bu sertlik değeri ITAB bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe düştüğü gözlemlenmiştir. Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerlerine bakıldığında 39cm/dk lehim ilerleme hızında diğer ilerleme hızlarına nazaran biraz daha düşük sertlik değeri ölçülmüştür. ITAB bölgelerine bakıldığında ise 31 cm/dk, 34 cm/dk ve 39 cm/dk ilerleme hızlarında 370HV-385HV arasında sertlik değerleri ölçülmüştür. 21 cm/dk, 24 cm/dk ve 27 cm/dk ilerleme hızlarında elde edilen numunelerin ise ITAB bölgeleri diğerlerinden daha geniş olduğu görülmüştür.



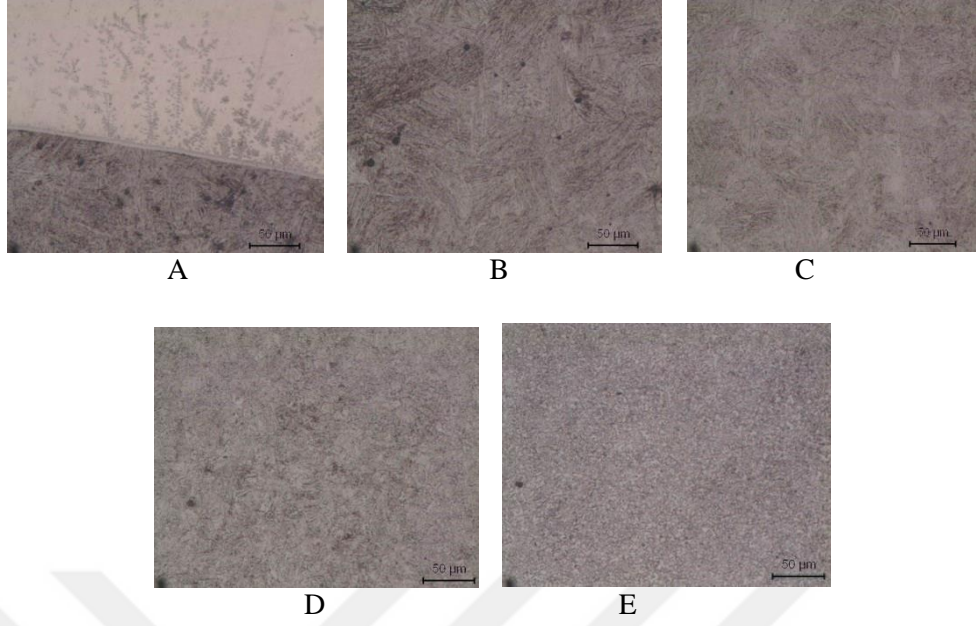
Şekil 6.64. Farklı lehim ilerleme hızlarında mikro sertlik değerleri

6.2.2.4. Farklı lehim ilerleme hızlarının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

Şekil 6.65.'de verilen 31 cm/dk ilerleme hızında elde edilen numuneye ait ara bölge (A), ısı tesiri altında kalan bölge (B, C, D) ve ana malzeme (E) bölgelerinden alınan mikro yapı görüntüleri verilmektedir. En yüksek sertlik değerlerinin B, C ve D bölgelerinde olduğu daha sonra ise azaldığı görülmüştür. Bu bölgelerin mikroyapı görüntülerine baktığımızda ise tane büyüklüklerinin bu bölgede fazla olduğu daha sonra ise tane büyüklüğünün düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda A bölgesinde ise ana malzemeden lehim bölgesine element geçişi gözlenmektedir. Bu geçiş yapan elementler dentritleri oluşturmaktadır.

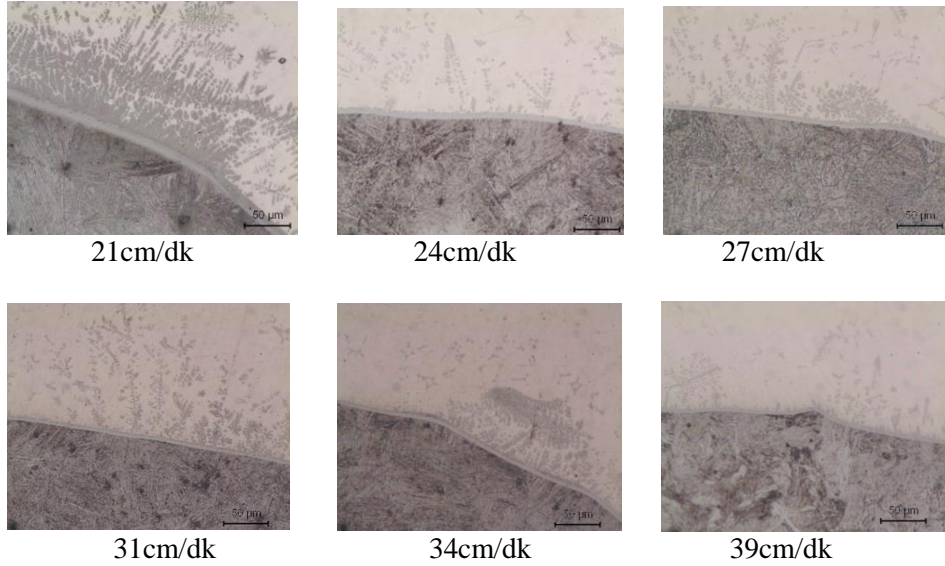


Şekil 6.65. 31 cm/dk ilerleme hızında birleştirilmiş numuneye ait mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.65. (Devamı)

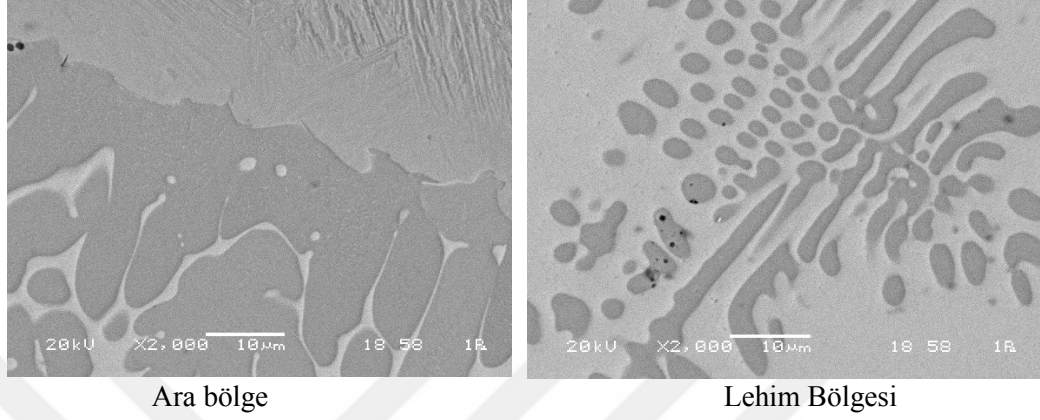
Şekil 6.66.'da farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilmiş numunelere ait ara bölge mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimleme işlemi esnasında ısı tesiri ile ana malzemedan lehim bölgesine doğru geçiş yapan elementler görülmektedir. Bu elementler lehim bölgesinde dentritleri oluşturmaktadır.



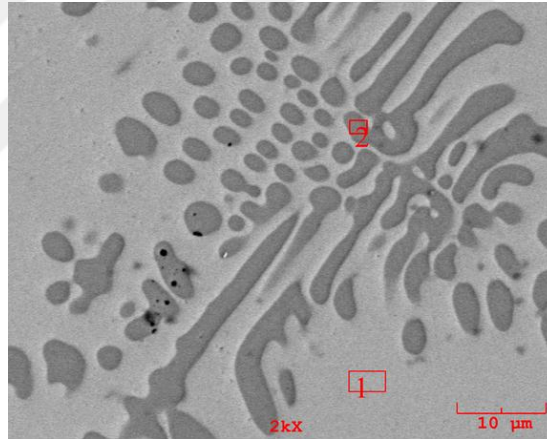
Şekil 6.66. Farklı lehim ilerleme hızlarında ara bölge mikroyapı görüntüleri

Şekil 6.67.'de 31cm/dk ilerleme hızında birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olan numuneye ait ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri verilmiştir. Dentrit

oluşumu ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluştuğu görülmektedir. Şekil 6.68.'de lehim bölgesinden noktasal olarak alınan EDS analizleri verilmiştir.



Şekil 6.67. 31cm/dk ilerleme hızında ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	Al	Si	Fe	Cu
1	9,622	0	2,816	87,562
2	8,677	1,142	66,862	23,319

Şekil 6.68. 31cm/dk ilerleme hızında lehim bölgesinden noktasal EDS analizi

6.2.3. Farklı gaz debilerinin bağlantının özelliklerine etkisi

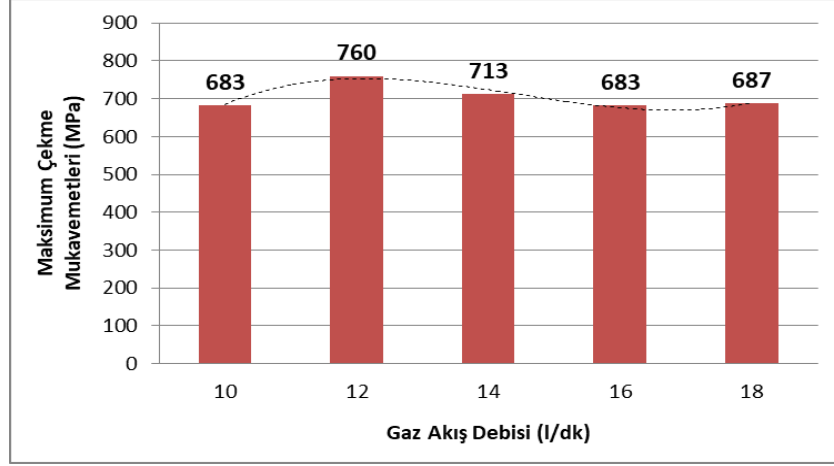
6.2.3.1. Farklı gaz debilerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

DP800 çelik sacının CMT-lehimleme ile birleştirilebilmesi için optimum akım değeri 80A, gerilim değeri 11,5V ve lehim ilerleme hızı olarak ise 31cm/dk olarak belirlenmiştir. Lehimleme işlemi uygulamalarında optimum gaz debisinin belirlenmesi ve değişik gaz debilerinin mukavemete etkilerinin incelenmesi amacı ile 5 farklı gaz debisi sağlanarak lehimleme işlemleri yapılmıştır. Tablo 6.8.'de uygulanmış olan lehim parametreleri verilmektedir.

Şekil 6.69.'da ise farklı farklı gaz debilerinde birleştirilmiş olan numunelere ait maksimum çekme mukavemeti sonuçları verilmektedir. Grafik incelendiğinde, en yüksek çekme mukavemeti 12lt/dk gaz debisinde elde edildiği görülmektedir. Ayrıca sadece 10lt/dk, 16lt/dk ve 18lt/dk gaz debilerinde elde edilen numuneler çekme deneyi sırasında lehim bölgesinden kopmuştur. Gaz debisinin az olması veya çok olması mukavemet sonucunu olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle optimum gaz debisinin 12lt/dk olduğu görülmektedir.

Tablo 6.8. Farklı gaz debilerinde lehim parametreleri

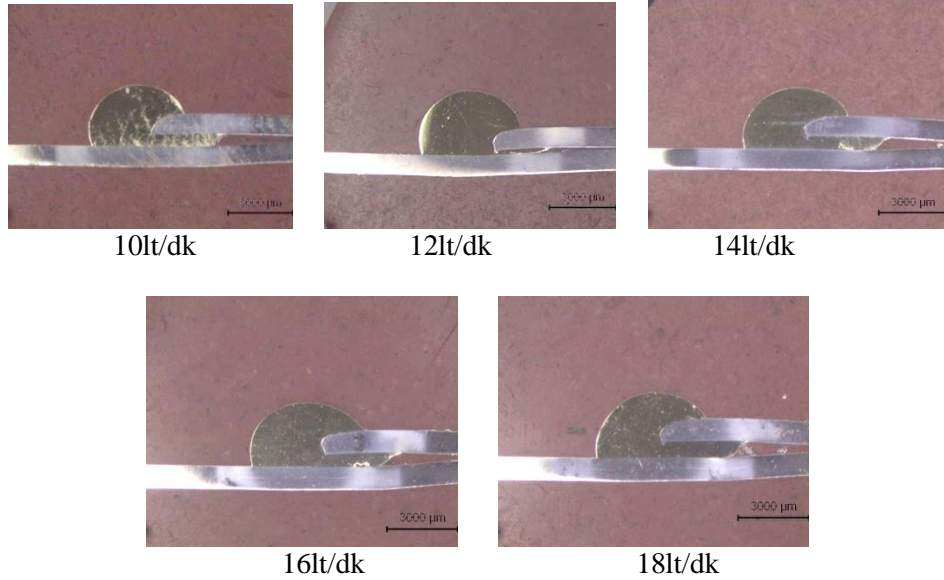
Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
80	4,3	11,5	10	Argon	31	0,5	683
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,5	760
80	4,3	11,5	14	Argon	31	0,5	713
80	4,3	11,5	16	Argon	31	0,5	683
80	4,3	11,5	18	Argon	31	0,5	687



Şekil 6.69. Farklı gaz debilerinde mukavemet sonuçları grafiği

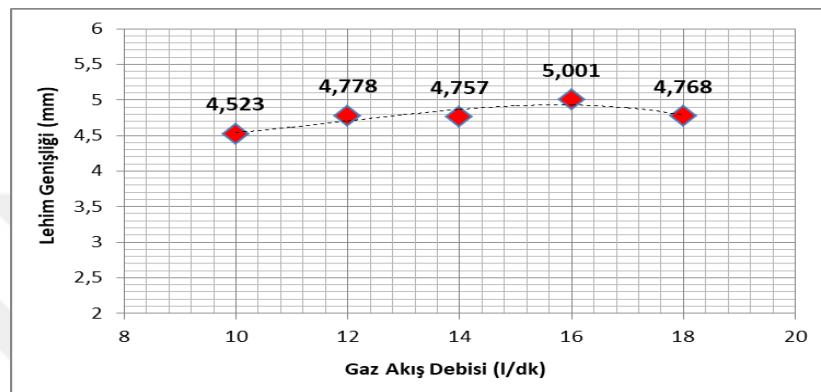
6.2.3.2. Farklı gaz debilerinin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddeti ve lehim ilerleme hızına göre belirlenen parametrelerden DP800 çelik sacının birleştirilebilmesi için en akım şiddeti 80A ve ilerleme hızı 31cm/dk olarak belirlenmiştir. Diğer parametre olan gaz debisinin etkisi incelenmek maksadı ile farklı gaz debileri uygulanarak lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin yapılmış olduğu numunelere ait makro görüntüler Şekil 6.70.'de verilmektedir.

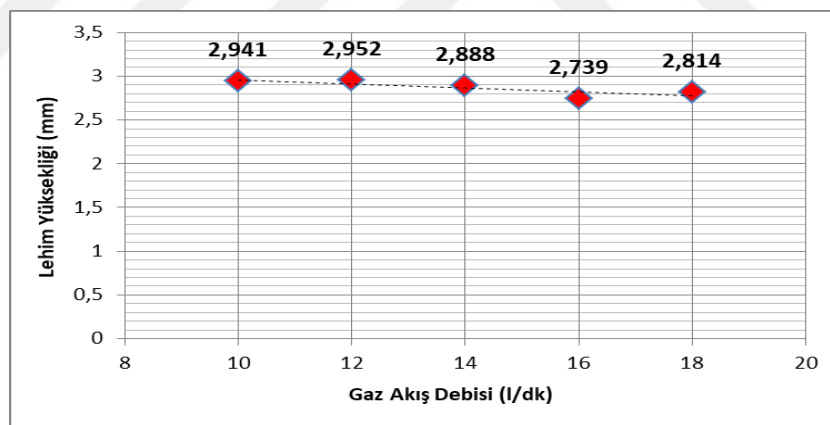


Şekil 6.70. Farklı gaz debilerinde makro görüntüler

Makro görüntüler incelendiğinde, gaz debilerinin değişmesi ıslatabilirlik ve nüfuziyet açısından kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Fakat çekme mukavemeti ve kopma noktaları ile beraber incelendiğinde ise sadece 12lt/dk gaz debisinde nüfuziyetin gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 6.71.'de gaz debilerinin lehim genişliğine etkilerini gösteren grafik verilmiştir. Lehim genişliğinin 4,5 – 5 mm arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 6.71. Farklı gaz debileri lehim genişliği grafiği

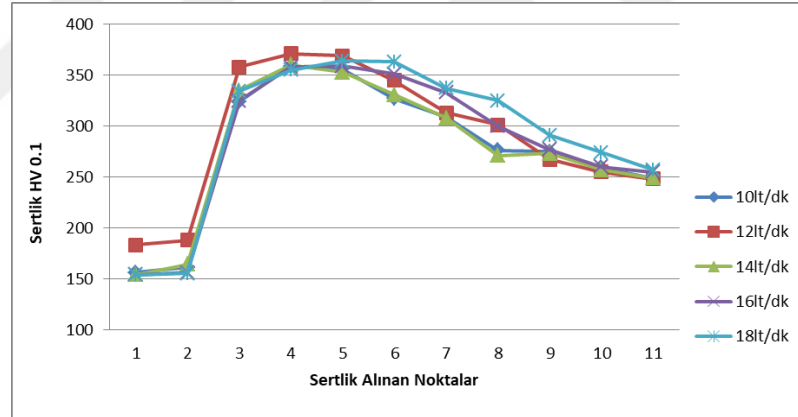


Şekil 6.72. Farklı gaz debileri lehim yüksekliği grafiği

Şekil 6.72.'de farklı gaz debilerinde elde edilen numunelerin lehim yükseklikleri verilmiştir. Gaz debilerinin değişmesi lehim yüksekliğine çok fazla etki etmediği görülmektedir. Lehim optimum değer olan 14lt/dk gaz debisi baz alındığında, lehim yüksekliğinin 3 mm civarında olması uygun görülmektedir.

6.2.3.3. Farklı gaz debilerinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı gaz debilerinde elde edilen numunelere ait mikro sertlik ölçüm sonuçları Şekil 6.73.'de verilmiştir. Ölçülen mikrosertlik dağılımları üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bunlar; lehim bölgesi, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzemedir. Sertlik değerinin en düşük olduğu bölge lehim bölgesidir. En yüksek olan bölge ise ısı tesiri altında kalan bölge olduğu görülmektedir. Bu sertlik değeri ITAB bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe düştüğü gözlemlenmiştir. Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerlerine bakıldığında, 12lt/dk gaz debisinde elde edilen numunenin lehim bölgesi sertlik değeri diğer numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer 4 numunenin lehim bölgesi sertlik değerleri birbirine çok yakın değerler olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda 12lt/dk gaz debisinde elde edilen numunenin ITAB bölgesinde ölçülen sertlik değeri 370HV olurken diğer numunelerde bu değer 360HV'yi geçmediği gözlemlenmiştir.



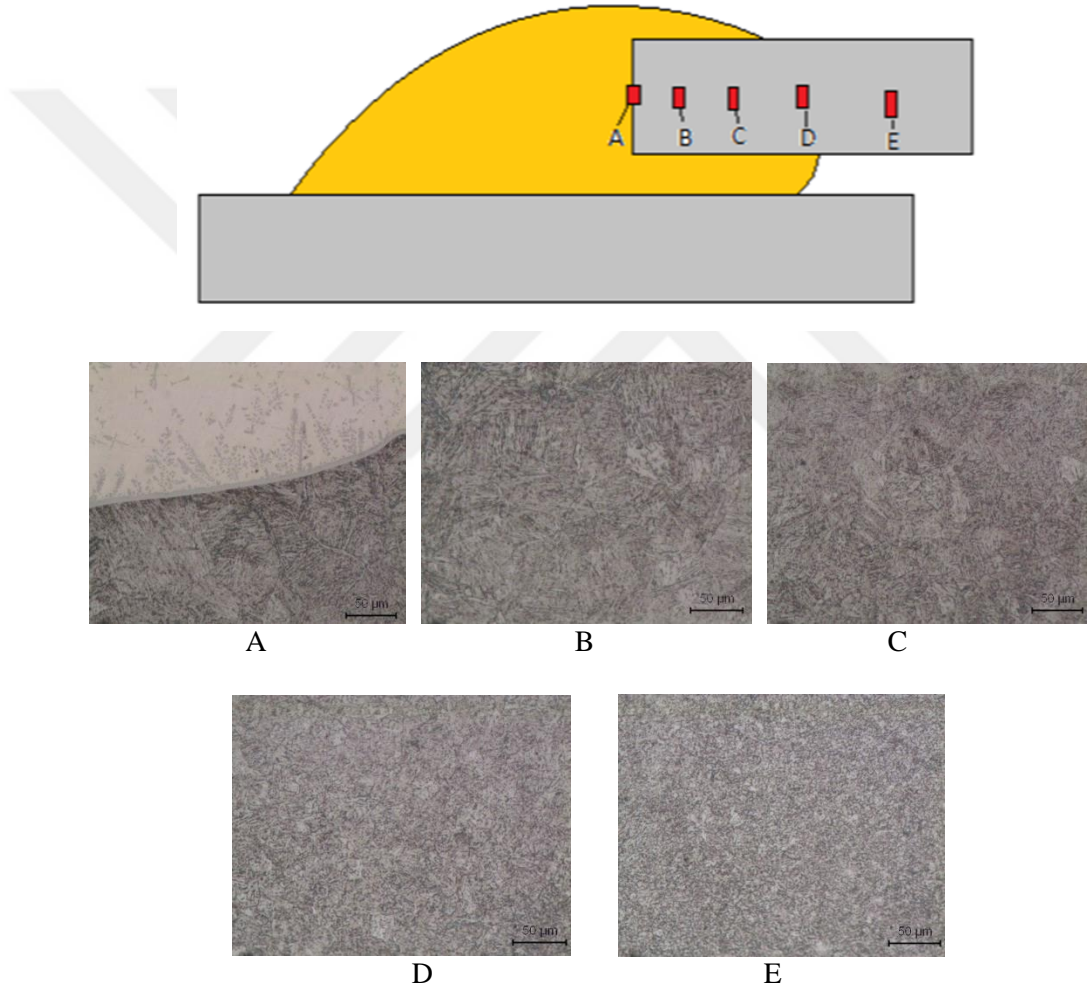
Şekil 6.73. Farklı gaz debilerinde mikro sertlik değerleri

6.2.3.4. Farklı gaz debilerinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

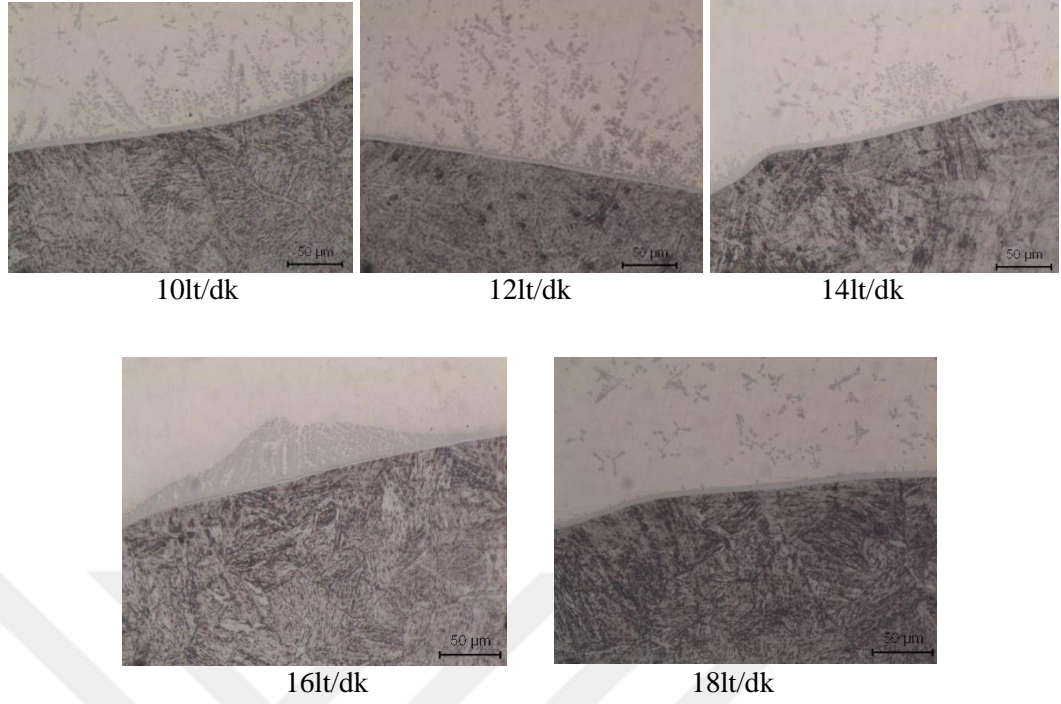
Şekil 6.74.'de verilen 10lt/dk gaz debisinde elde edilen numuneye ait ara bölge (A), ısı tesiri altında kalan bölge (B, C, D) ve ana malzeme (E) bölgelerinden alınan mikro yapı görüntüleri verilmektedir. En yüksek sertlik değerlerinin B, C ve D bölgelerinde olduğu daha sonra ise azaldığı görülmüştür. Bu bölgelerin mikroyapı görüntülerine baktığımızda ise tane büyüklüklerinin bu bölgede fazla olduğu daha sonra ise tane büyüklüğünün düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda A bölgesinde ise

ana malzemeden lehim bölgesine element geçişi gözlenmektedir. Bu geçişi yapan elementler dentritleri oluşturmaktadır.

Şekil 6.75.'de farklı gaz debilerinde birleştirilmiş numunelere ait ara bölge mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimleme işlemi esnasında ısı tesiri ile ana malzemeden lehim bölgesine doğru geçişi yapan elementler görülmektedir. Bu elementler lehim bölgesinde dentritleri oluşturmaktadır. Bütün gaz debi değerlerinde dentrit oluşumları gözlemlenmiştir.

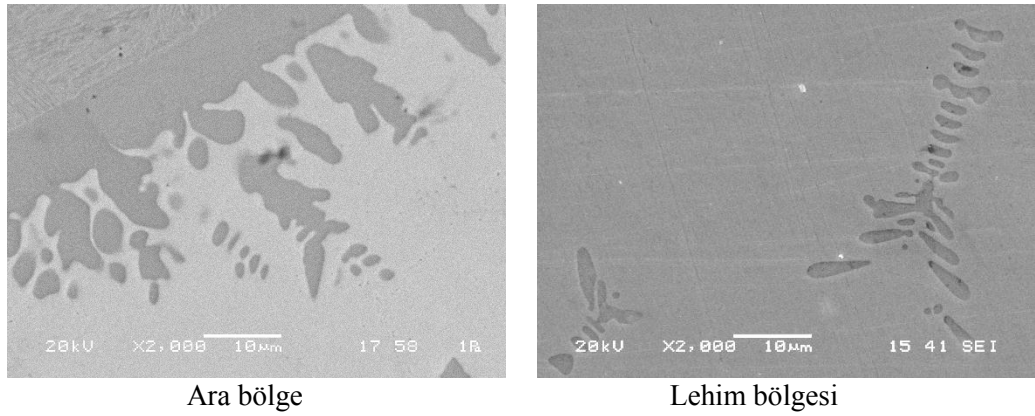


Şekil 6.74. 10lt/dk gaz debisinde elde edilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri

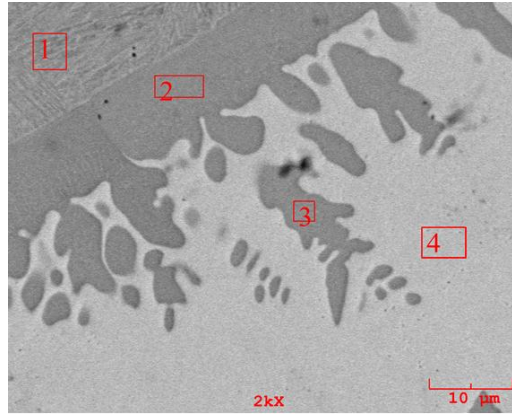


Şekil 6.75. Farklı gaz debilerinde ara bölge mikroyapı görüntüleri

Şekil 6.76.'da 18lt/dk gaz debisinde elde edilen numuneye ait ara bölge ve lehim bölgesinden alınan SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 6.77.'de ise ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi verilmiştir.



Şekil 6.76. 18lt/dk gaz debisinde ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)				
	Si	Mn	Fe	Al	Cu
1	1,537	1,982	96,482	0	0
2	1,997	0,566	85,122	4,680	7,641
3	1,101	0	75,646	9,097	14,156
4	0	0	3,119	9,899	86,981

Şekil 6.77. 18lt/dk gaz debisinde ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi

6.2.4. Farklı torç açılarının bağlantının özelliklerine etkisi

6.2.4.1. Farklı torç açılarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

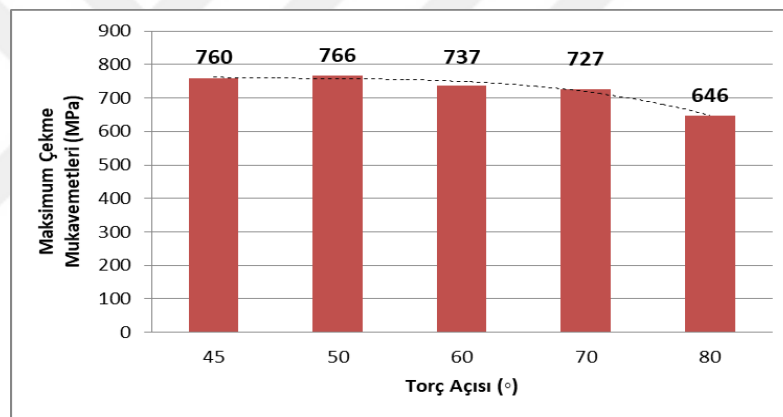
DP800 çelik sacının bindirme yöntemi ile lehimleme işleminin verimli yapılabilmesi için uygun akım şiddeti 80A, gerilim 11,5V, lehim ilerleme hızı 31cm/dk, gaz akış debisi 12lt/dk olarak belirlenmiş, en uygun torç açısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç ile farklı torç açılarında yapılan birleştirme işlemlerine ait parametreler Tablo 6.9.'da verilmiştir. CMT-lehimleme makinesinin torcu sekatöre sabitleyici aparatlar ile sabitlenmiş ve farklı torç açılarında birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6.78.'de farklı torç açılarında birleştirilmiş numunelere ait maksimum çekme mukavemeti sonuçları verilmiştir. 70⁰ ve 80⁰ torç açılarında birleşme tam olmamış numuneler lehim bölgelerinden kopmuştur. Diğer numuneler ise ITAB bölgelerinden 7 mm uzakta kopmuştur.

Tablo 6.9. Farklı torç açılarında lehim parametreleri

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Torç Açısı (Derece)	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,5	45	760
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,5	50	766
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,5	60	737
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,5	70	727
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,5	80	646

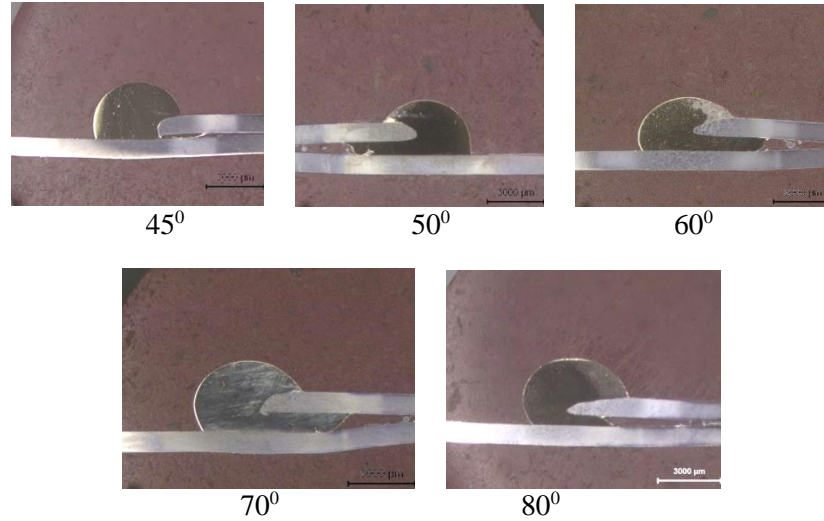
Torç açısı arttıkça maksimum çekme mukavemeti değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti değeri 50⁰ torç açısında elde edilmiştir. Optimum torç açısı olarak 50⁰ olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.78. Farklı torç açısı maksimum çekme mukavemeti grafiği

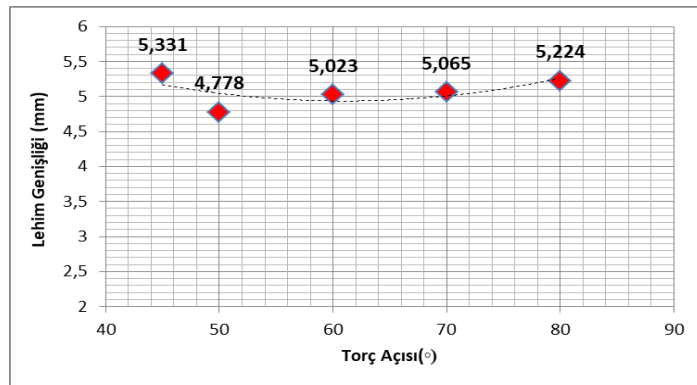
6.2.4.2. Farklı torç açılarının lehim geometrisine etkisi

Akım şiddeti, lehim ilerleme hızı ve gaz debisine göre belirlenen parametrelerden DP800 çelik sacının birleştirilebilmesi için en uygun akım şiddeti 80A, ilerleme hızı 31cm/dk ve 12lt/dk gaz debisi olarak belirlenmiştir. Diğer parametre olan torç açısının etkisini incelenmek maksadı ile farklı torç açıları uygulanarak lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin yapılmış olduğu numunelere ait makro görüntüler Şekil 6.79.'da verilmektedir.



Şekil 6.79. Farklı torç açılarında elde edilmiş numnelere ait makro görüntüler

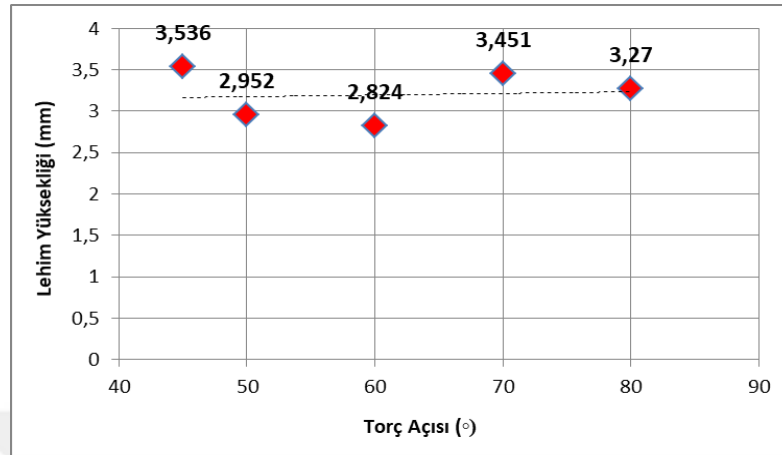
Makro görüntüler incelendiğinde 80° torç açısında lehim ıslatabilirliği hiç yoktur. Bu nedenle çekme deneyi esnasında lehim bölgesinden ayrılmış, birleşme gerçekleşmemiştir. Diğer torç açı değerlerinde lehim ıslatma özellikleri iyi görünmektedir. Fakat çekme mukavemeti sonuçları ile beraber değerlendirildiğinde, en iyi birleşmenin 50° torç açısında olduğu söylenebilir. Şekil 6.80.'de farklı torç açısı lehim genişliği grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde 50° torç açısında birleştirilmiş numune 5 mm genişliğin altında diğer numnelere ait birleştirmelerin lehim genişliği ise 5 mm'nin üstündedir. İdeal lehim genişliğinin 5 mm altında olabileceği söylenebilir. Fakat bu fark çok fazla olmadığı için farklı torç açı değerlerinin lehim genişliğine çok fazla etkisinin olmadığını söyleyebiliriz.



Şekil 6.80. Farklı torç açısı lehim genişliği grafiği

Şekil 6.81.'de farklı torç açılarında elde edilen numnelere ait birleştirmelerin lehim yükseklikleri verilmektedir. Torç açısının farklı olması lehim genişliğini çok fazla

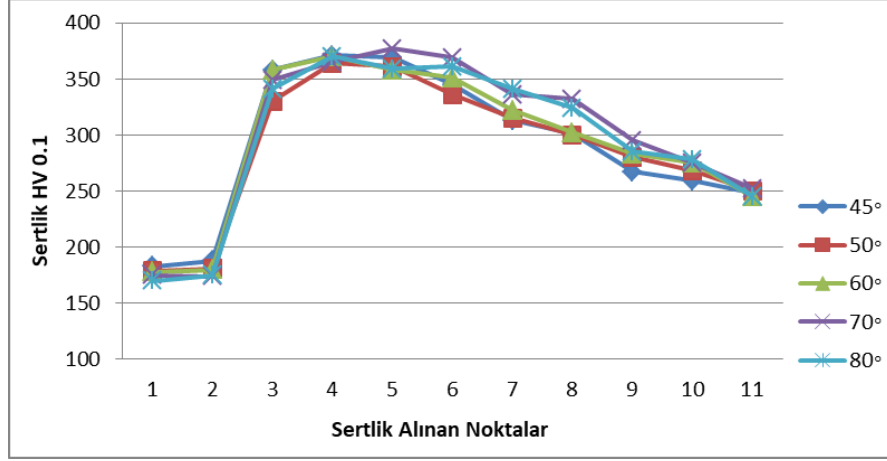
etkilemediği gibi lehim yüksekliğini de çok fazla etkilememiştir. Bu sonuç grafiklerden de anlaşılmaktadır.



Şekil 6.81. Farklı torç açılarında lehim yükseklikleri

6.2.4.3. Farklı torç açılarının bağlantının sertliğine etkisi

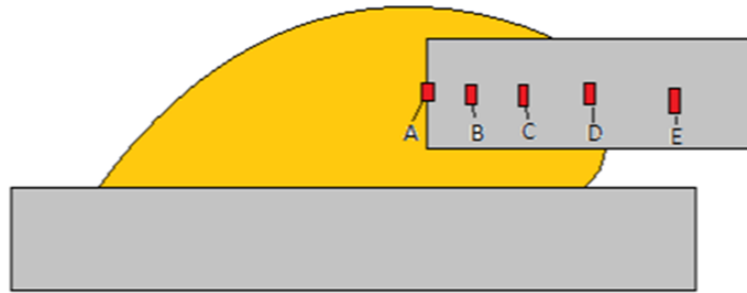
Farklı torç açısında elde edilen numunelere ait mikro sertlik ölçüm sonuçları Şekil 6.82'de verilmiştir. Ölçülen mikrosertlik dağılımları üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bunlar; lehim bölgesi, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzemedir. Sertlik değerinin en düşük olduğu bölge lehim bölgesidir. En yüksek olan bölge ise ısı tesiri altında kalan bölge olduğu görülmektedir. Bu sertlik değeri ITAB bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe düştüğü gözlemlenmiştir. Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerlerine bakıldığında, en düşük değer 80° torç açısında 175HV olarak elde edilmiştir. Fakat sertlik değerlerinin farkının çok az olduğu görülmüştür. En yüksek değer ise 45° torç açısında 188HV olarak ölçülmüştür. Isı tesiri altında kalan bölgelere bakıldığında ise, 60°, 70° ve 80° torç açılarında 370HV – 380HV arasında değiştiği gözlemlenmiştir. 45° ve 50° torç açılarında ise sertlik değeri 370HV'den daha az görülmüştür. 70° ve 80° torç açılarında birleştirilmiş numunelere ait ITAB bölgelerinin genişliği diğer numunelerden daha geniş olduğu sertlik değerlerinden de anlaşılmaktadır.



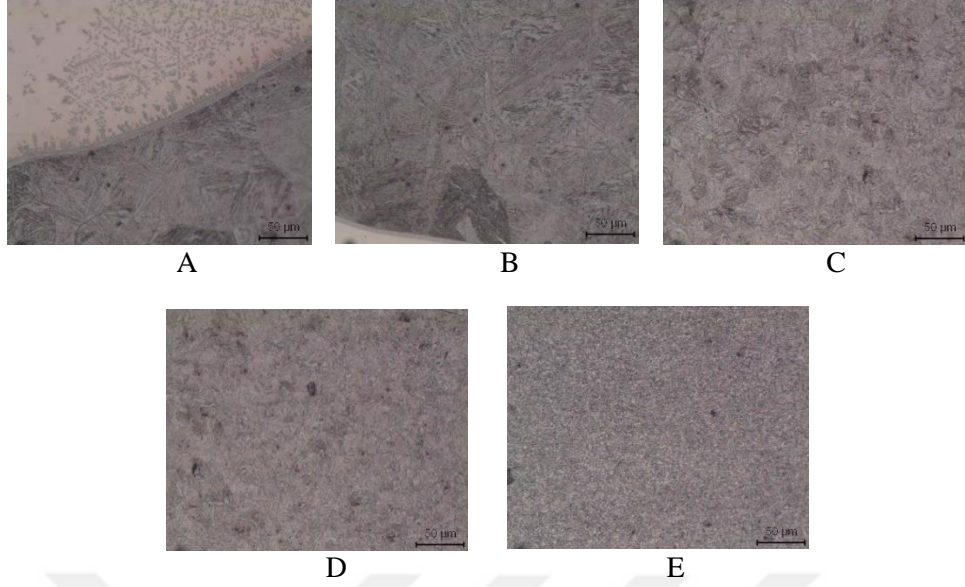
Şekil 6.82. Farklı torç açılarında mikro sertlik değerleri

6.2.4.4. Farklı torç açılarının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

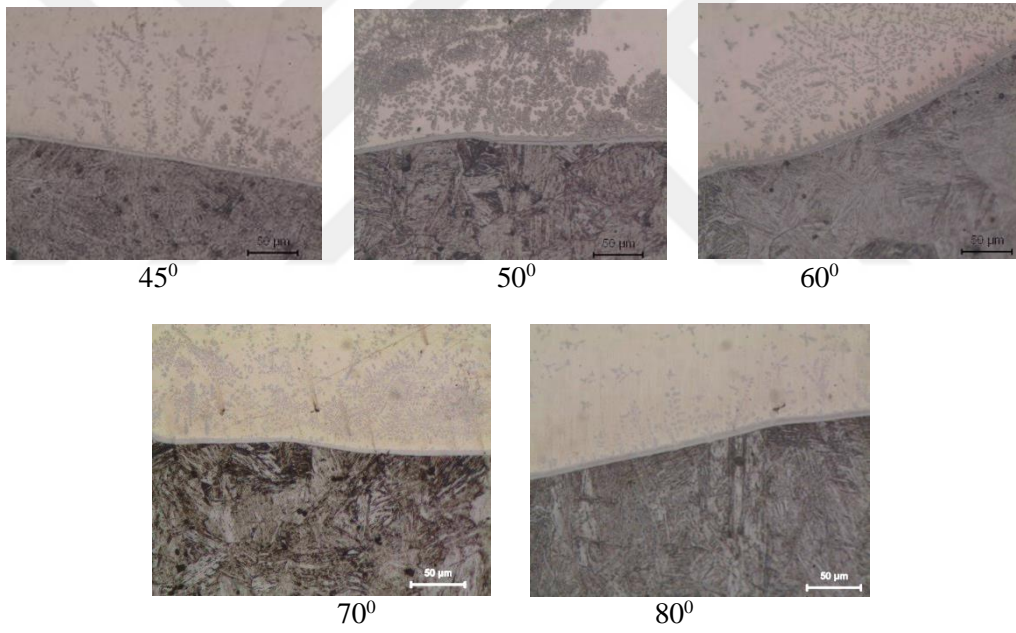
Şekil 6.83.'de verilen 60^0 torç açısında elde edilen numuneye ait ara bölge (A), ısı tesiri altında kalan bölge (B, C, D) ve ana malzeme (E) bölgelerinden alınan mikro yapı görüntüleri verilmektedir. En yüksek sertlik değerlerinin B, C ve D bölgelerinde olduğu daha sonra ise azaldığı görülmüştür. Bu bölgelerin mikroyapı görüntülerine baktığımızda ise tane büyüklüklerinin bu bölgede fazla olduğu daha sonra ise tane büyüklüğünün düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda A bölgesinde ise ana malzemeden lehim bölgesine element geçişi gözlenmektedir. Bu geçiş yapan elementler dentritleri oluşturmaktadır.



Şekil 6.83. 60^0 torç açısında elde edilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri



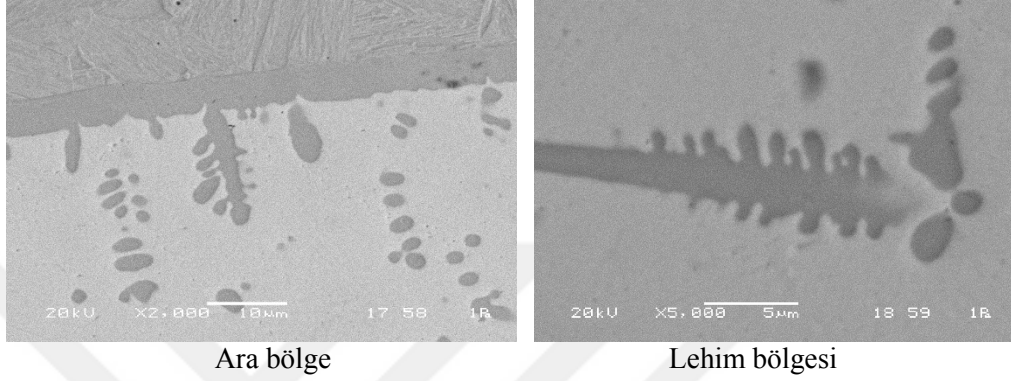
Şekil 6.83. (Devamı)



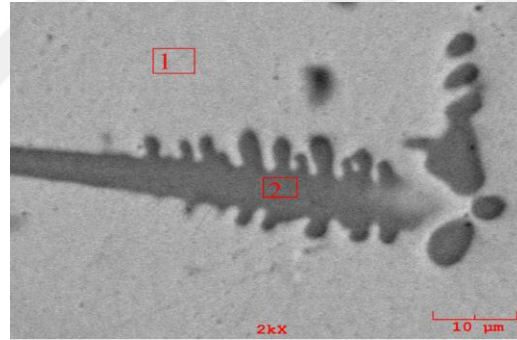
Şekil 6.84. Farklı torç açılarında ara bölge mikroyapı görüntüleri

Şekil 6.84.'de verilen farklı torç açı değerlerinde elde edilen numunelere ait ara bölge mikro yapılarına bakıldığında, lehimleme işlemi esnasında ana malzemeden lehim bölgesine element geçişinin en az olduğu torç açısı değerinin 80° olduğu görülmektedir. Bu sonuç lehim bölgesinin sertliğinin düşük olmasına, çekme mukavemetinin diğer numunelerden çok daha az olmasına ve çekme deneyi esnasında kopmanın lehim bölgesinden olmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Torç açısı arttıkça lehim bölgesinde oluşan dentrit yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 6.85.'de 80° torç açısında elde edilmiş olan numuneye ait ara bölge ve lehim bölgesinden alınmış SEM görüntüleri verilmiştir. Dentritlerin oluşumu ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine doğru atomsal yayılımı yoluyla oluştuğu görülmektedir. Şekil 6.86.'da ise lehim bölgesinden alınmış olan noktasal EDS analiz sonuçları verilmektedir.



Şekil 6.85. 80° torç açısında ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)				
	Si	Mn	Fe	Al	Cu
1	0	0,284	4,386	9,261	86,046
2	0,942	0,371	65,050	9,206	24,416

Şekil 6.86. 80° torç açısında elde edilmiş numuneye ait lehim bölgesi noktasal EDS analizi

6.2.5. Farklı lehim aralığının bağlantının özelliklerine etkisi

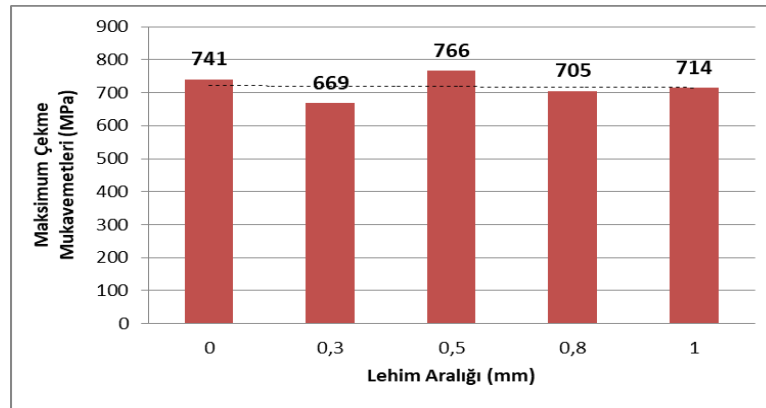
6.2.5.1. Farklı lehim aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

DP800 çelik sacının bindirme yöntemi ile lehimleme işleminin verimli yapılabilmesi için uygun akım şiddeti 80A, gerilim 11,5V, lehim ilerleme hızı 31cm/dk, gaz akış debisi 12lt/dk ve torç açısı 50^0 olarak belirlenmiş, en uygun lehim aralığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç ile farklı lehim aralıklarında yapılan birleştirme işlemlerine ait parametreler Tablo 6.10.'da verilmiştir.

Tablo 6.10. Farklı lehim aralıklarında uygulanan lehim parametreleri

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [l/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Torç Açısı (Derece)	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0	50	741
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,3	50	669
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,5	50	766
80	4,3	11,5	12	Argon	31	0,8	50	705
80	4,3	11,5	12	Argon	31	1	50	714

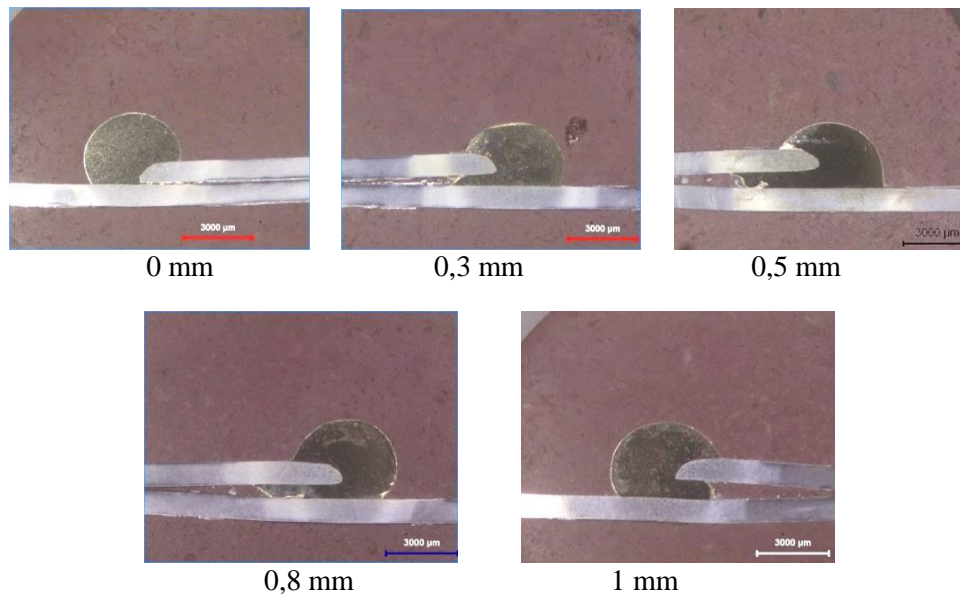
Şekil 6.87.'de farklı lehim aralıklarında birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olan numunelere ait çekme mukavemeti sonuçları verilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek değer 0,5 mm lehim aralığında 766Mpa olduğu görülmektedir. 0 mm ve 0,5 mm lehim aralıklarında numuneler ITAB bölgelerinden kopmuştur. Diğer lehim aralıklarında ise lehim bölgesinden kopmuştur. Birleşme istenildiği gibi gerçekleşmemiştir. 0 mm aralıktaki birleştirilen numunenin çekme mukavemeti 0,5 mm aralıktaki numuneye yakın çıkmıştır. Fakat en yüksek değer 0,5 mm aralıktaki olmasından dolayı optimum lehim aralığı olarak 0,5 mm olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.87. Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemeti sonuçları

6.2.5.2. Farklı lehim aralığının lehim geometrisine etkisi

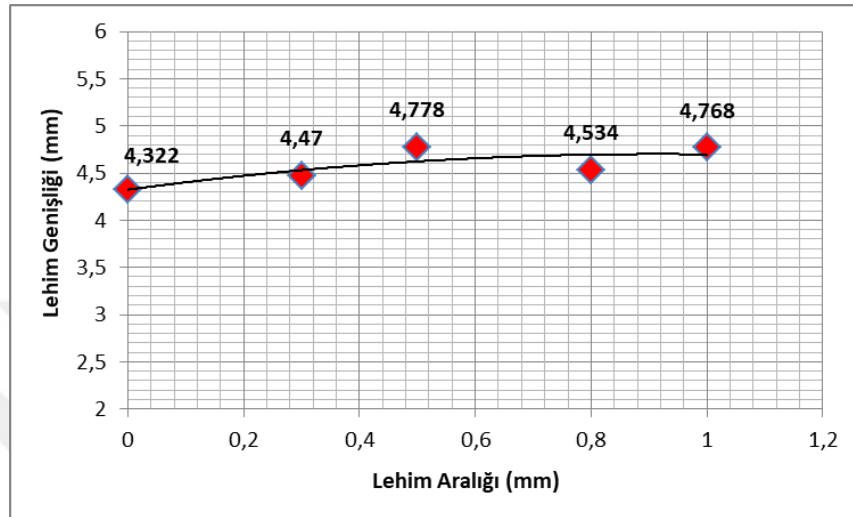
Akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz debisi ve torç açısına göre belirlenen parametrelerden DP800 çelik sacının birleştirilebilmesi için en uygun akım şiddeti 80A, ilerleme hızı 31cm/dk, 12lt/dk gaz debisi ve 50⁰ torç açısı olarak belirlenmiştir. Diğer parametre olan lehim aralığı etkisini incelemek maksadı ile farklı lehim aralıkları uygulanarak lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin yapılmış olduğu numunelere ait makro görüntüler Şekil 6.88.'de verilmektedir.



Şekil 6.88. Farklı lehim aralıklarında makro görüntüler

Makro görüntüler incelendiğinde, lehim ıslatma kabiliyetinin 0 mm hariç diğerlerinde kabul edilebilir şekilde olabileceği görülmektedir. 0 mm aralıkta ise ana malzemeler arasına lehim malzemesi giriş yapamadığı için ıslatma olamamıştır.

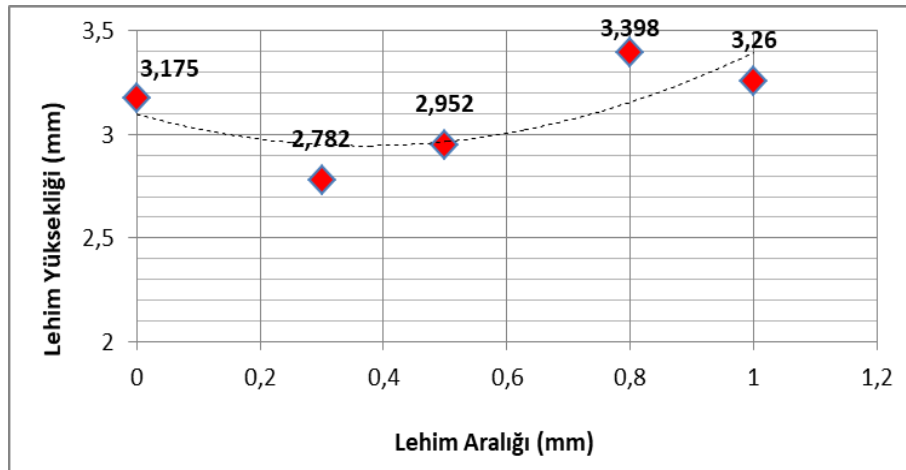
Fakat lehim aralıkları mukavemet sonuçları ile beraber değerlendirildiğinde, en uygun ıslatma ve nüfuziyetin 0,5 mm lehim aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca 0,3 mm, 0,8 mm ve 1 mm lehim aralıklarındaki numuneler çekme deneyi esnasında lehim bölgelerinden kopmuş, birleşme gerçekleşmemiştir.



Şekil 6.89. Farklı lehim aralığı lehim genişliği grafiği

Şekil 6.89.'da verilen farklı lehim aralığı lehim genişliği grafiği incelendiğinde lehim aralığının lehim genişliğine çok fazla etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Lehim genişliğinin 4 – 5 mm aralığında olması gerektiği düşünülmektedir.

Şekil 6.90.'da lehim aralığı lehim yüksekliği grafiği verilmiştir. Lehim aralığı değişiminin lehim yüksekliğine çok fazla etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Lehim yüksekliğinin 3 – 4 mm arasında değiştiği görülmüştür.

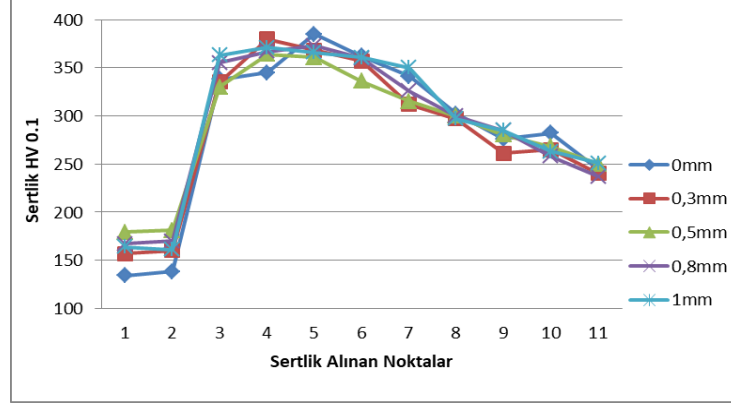


Şekil 6.90. Farklı lehim aralığı lehim yüksekliği grafiği

6.2.5.3. Farklı lehim aralığının bağlantının sertliğine etkisi

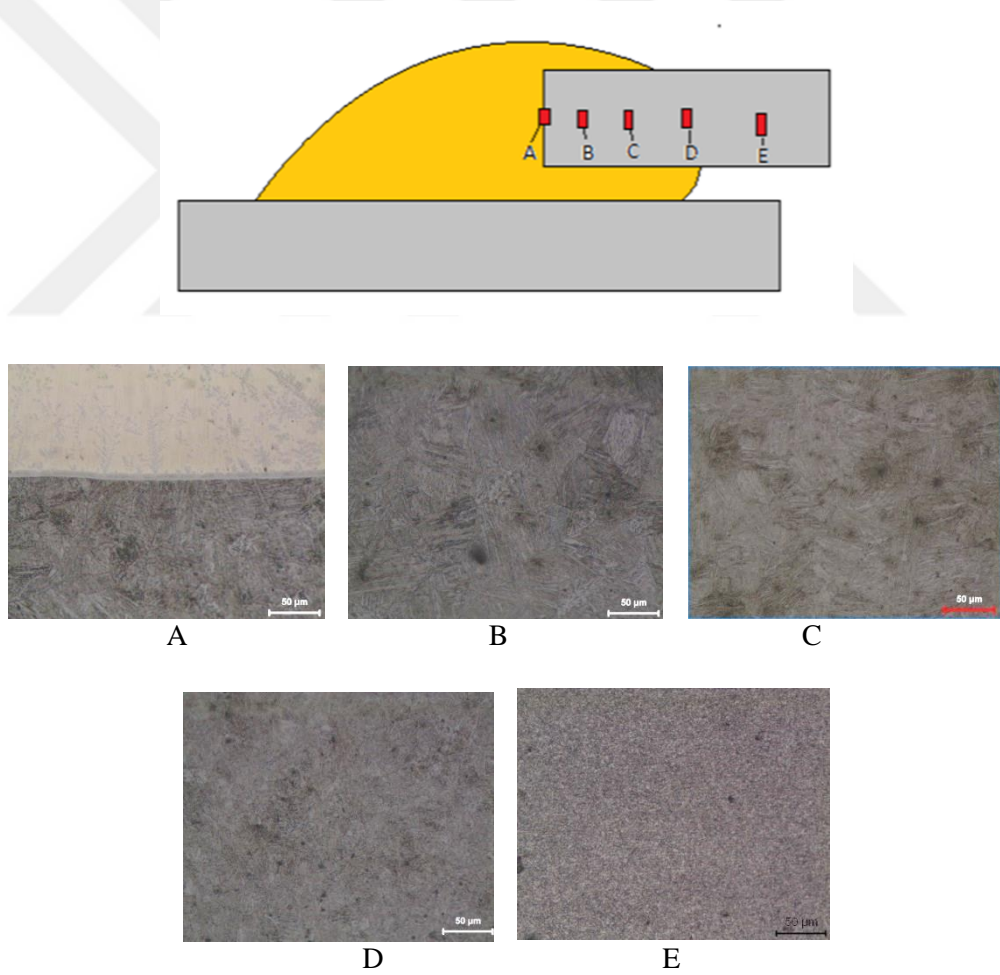
Farklı lehim aralıklarında elde edilen numunelere ait mikro sertlik ölçüm sonuçları Şekil 6.91.'de verilmiştir. Ölçülen mikrosertlik dağılımları üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bunlar; lehim bölgesi, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzemedir. Sertlik değerinin en düşük olduğu bölge lehim bölgesidir. En yüksek olan bölge ise ısı tesiri altında kalan bölge olduğu görülmektedir. Bu sertlik değeri ITAB bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe düştüğü gözlemlenmiştir.

Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerlerine bakıldığında, en düşük değerin 0 mm lehim aralığında 140HV olarak elde edilmiştir. Diğer lehim aralıklarında ise bu değer 160HV ile 180HV arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Aynı zamanda 0 mm ve 0,3 mm lehim malzemesinin yayılmaması ve ısı tesirinin direk ana malzemeye doğru olmasından dolayı bu aralıklara ait ITAB bölgelerinin sertlik değerleri diğer lehim aralıklarında elde edilen sertlik değerlerinden daha yüksek ve ITAB bölgesi genişliği daha fazla olduğu görülmüştür. Bu lehim aralıklarındaki en yüksek sertlik değerleri 360HV-385HV arasında değişmektedir. Diğer lehim aralıklarında ise en yüksek sertlik değeri 350HV-370HV arasında ölçülmüştür.



Şekil 6.91. Farklı lehim aralıklarında mikro sertlik değerleri

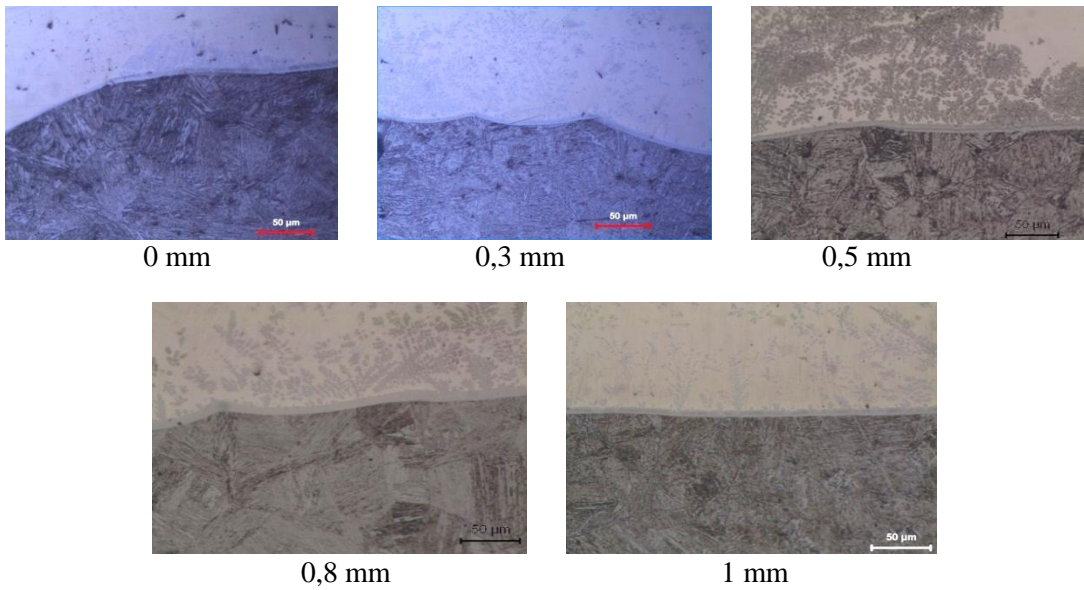
6.2.5.4. Farklı lehim aralığının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi



Şekil 6.92. 1 mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri

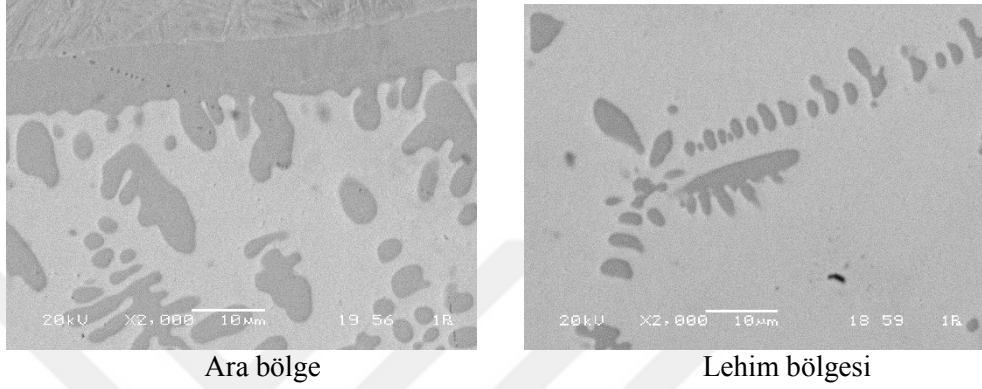
Şekil 6.92.'de verilen 1 mm lehim aralığında elde edilen numuneye ait ara bölge (A), ısı tesiri altında kalan bölge (B, C, D) ve ana malzeme (E) bölgelerinden alınan mikro yapı görüntüleri verilmektedir. En yüksek sertlik değerlerinin B, C ve D bölgelerinde olduğu daha sonra ise azaldığı görülmüştür. Bu bölgelerin mikroyapı görüntülerine baktığımızda ise tane büyüklüklerinin bu bölgede fazla olduğu daha sonra ise tane büyüklüğünün düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda A bölgesinde ise ana malzemedan lehim bölgesine element geçişi gözlenmektedir. Bu geçiş yapan elementler dentritleri oluşturmaktadır.

Şekil 6.93.'de verilen farklı lehim aralıklarında elde edilen numunelere ait ara bölge mikro yapılarına bakıldığında, lehimleme işlemi esnasında ana malzemedan lehim bölgesine element geçişinin en az olduğu lehim aralığı değerinin 0 mm olduğu görülmektedir. 0 mm lehim aralığının lehim bölgesinin en düşük mikro sertlik değerine sahip olmasının nedenin dentrit oluşumlarının çok az olmasıdır. Ayrıca diğer lehim aralıklarında element geçişleri gözlemlenmiş 0,8 ve 1 mm aralıklarda 0,3 mm ve 0,5 mm aralıklara sahip numunelerden daha az element geçişi olduğu görülmektedir. Ara bölge mikroyapı görüntüleri çekme mukavemeti sonuçları ve kopma noktalarında göre değerlendirildiğinde, ana malzemedan lehim bölgesine element geçiş yoğunluğu, lehim bölgesindeki dentrit yoğunluğu, kopma noktasının ITAB bölgesinde gerçekleşmesi ve çekme mukavemeti en yüksek oluşu nedeniyle optimum lehim aralığının 0,5 mm olduğu söylenebilir.

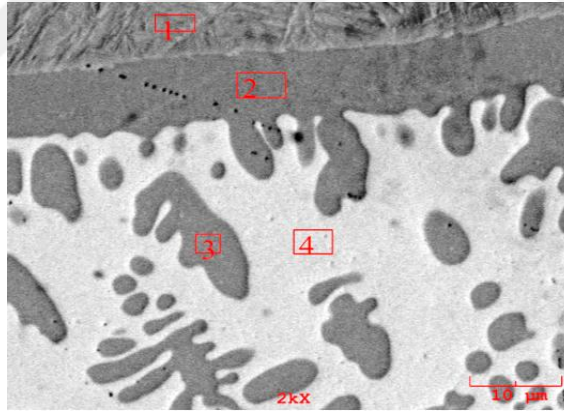


Şekil 6.93. Farklı lehim aralıklarında ara bölge mikroyapı görüntüleri

Şekil 6.94.'de 1 mm lehim aralığında birleştirilmiş olan numuneye ait ara bölge ve lehim bölgesinden alınmış SEM görüntüleri verilmiştir. Dentritlerin oluşumu ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine doğru atomsal yayılımı yoluyla oluştuğu görülmektedir. Şekil 6.95.'de ise ara bölgeden alınmış olan noktasal EDS analiz sonuçları verilmektedir.



Şekil 6.94. 1 mm lehim aralığında ara bölge ve lehim bölgesi SEM görüntüleri



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Si	Mn	Fe	Al	Cu
1	3,687	1,630	1,230	93,221	0	0
2	2,492	1,465	0,398	82,034	4,292	9,304
3	0,079	1,064	0,397	77,995	6,731	13,648
4	0,979	0	0,416	5,348	8,682	84,333

Şekil 6.95. 1 mm aralığında ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada 1 mm kalınlığında galvaniz kaplı DP800 çelik sac numuneleri CMT-lehimleme işlemi ile CuAl8 ilave tel kullanılarak iki farklı bağlantı şeklinde birleştirilmiştir. Bu bağlantı şekilleri alın birleştirme ve bindirme birleştirme yöntemleridir. Belirli ölçülerde hazırlanmış olan DP800 çelik sacları alın ve bindirme birleştirme yöntemleri için 5 farklı parametrede birleştirilmiştir. Bu parametreler akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz debisi, torç açısı ve lehim aralıkları olarak uygulanmıştır. Her bir parametre için farklı değerlerde CMT-lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler çekme deneyinde mukavemet özellikleri incelenmiş, bağlantı bölgelerinin mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Lehim bölgelerinin ve ısı tesiri altında kalan bölgelerin mikro ve makro görüntüleri alınmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal elemen analizi (EDS) kullanılarak bağlantı noktaları analiz edilmiştir. DP800 çelik sacının alın birleştirme ve bindirme birleştirme yöntemleri için en uygun parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. DP800 çelik sacının farklı akım şiddetlerinde CMT-lehimleme yöntemi ile alın birleştirilmesinde en yüksek çekme mukavemeti değeri 60A akım şiddetinde elde edilmiştir. Daha sonraki akım şiddetlerinde ise mukavemet değeri düşüş göstermiştir. 40A, 45A, 50A ve 55A akım şiddetlerinde çekme deneyi esnasında numuneler lehim bölgelerinden kopmuştur. Diğer numuneler ise ITAB bölgelerinden kopmuştur.

40 A'lık akım şiddetinde lehim ıslatma kabiliyetinin düşüklüğü ve nüfuziyetin yetersiz olduğu görülmüştür. 45 A'lık akım şiddetinden sonra nüfuziyetin iyileştiği ve lehim ıslatma kabiliyetinin arttığı gözlemlenmiştir. 75 ve 80 A'lık akım şiddetlerinde ise lehim köklerinde aşırı nüfuziyet gözlemlenmiştir.

Akım şiddeti değeri arttıkça ısı tesirinin arttığı ve lehim ıslatma açısının azaldığı görülmektedir. Lehim ıslatma açısının çekme mukavemeti sonuçları ile beraber değerlendirildiğinde 90^0 civarı olmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Artan akım şiddeti değeri ile lehim genişliğinde arttığı görülmektedir. Akım şiddeti arttıkça ısı gırdısı artmış ve lehim malzemesinin yayılımını kolaylaştırmıştır. Aynı zamanda artan ısı tesiri ile 75A ve 80A akım şiddetlerindeki numunelerin ana malzemelerinin lehim köklerinde bir miktar ergimenin olduğu görülmüştür. Birleşmenin gerçekleştiği numuneler göz önüne alındığında, lehim genişliğinin 4 mm'nin üzerinde, lehim yüksekliğinin ise 3 mm'nin altında olduğu görülmüştür.

40A ile 55A arasındaki akım şiddeti değerlerinde lehim bölgelerinin sertlik değerleri daha yüksek olan akım şiddetindeki numunelere ait lehim bölge sertlik değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Akım şiddeti arttıkça lehim bölgesinde dentrit oluşumu artmıştır. Buda mikro sertlik değerini etkilemiştir. Aynı zamanda akım şiddetinin artışı ITAB bölge genişliğini artırmıştır. Bunun sonucu olarak ise kopma noktaları 60A akım şiddetinde lehim bölgesinden 7 mm uzakta iken 70A akım şiddetinde 8 mm, 80A akım şiddetinde ise bu mesafe 9 mm olarak ölçülmüştür.

Mikroyapı incelemesinde ara bölge, ITAB bölgesi ve ana malzemenin görüntülere bakıldığında, ana malzemenin tane boyutunun ısı etkisi ile büyüdüğü görülmektedir. Aynı zamanda ana malzemenin lehim bölgesine geçiş yapan elementler ve bu elementlerin oluşturmuş olduğu dentritler

görülmektedir. Akım şiddeti arttıkça lehim bölgesindeki dentrit yoğunluğuda artmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda DP800 çelik sacının CMT-lehimleme işlemi için en uygun akım değerinin 60A olduğu düşünülmektedir.

2. Farklı ilerleme hızlarında birleştirilmiş numunelere ait çekme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında, 24cm/dk ilerleme hızına kadar mukavemet artışı görülmüş daha sonraki hızlarda ise gittikçe mukavemet düşmüştür. En yüksek çekme mukavemeti sonucu 24cm/dk ilerleme hızında elde edilmiştir. 30cm/dk, 32cm/dk ve 36cm/dk ilerleme hızlarında birleştirilmiş numuneler lehim bölgelerinden kopmuştur. Diğer numuneler ise ITABbölgelerinden kopmuştur.

İlerleme hızı azaldıkça ısı tesiri artmış, bunun sonucu olarak ise numunelerin ITAB bölgesi genişliği artmıştır. 24cm/dk ilerleme hızındaki numune lehim bölgesinden 7 mm uzakta kopmuş, 17cm/dk ilerleme hızındaki numune ise lehim bölgesinden 10 mm uzakta kopmuştur.

20cm/dk, 22cm/dk ve 24cm/dk ilerleme hızlarında lehim ıslatma kabiliyetinin diğer numunelere göre daha iyi olduğu görülmektedir. Nitekim en yüksek mukavemet değerleri de bu hızlarda elde edilmiştir. Islatma açısının en ideal değer en yüksek mukavemetin elde edildiği 24 cm/dk ilerleme hızında elde edilen 92° olduğu düşünülmektedir.

İlerleme hızı azaldıkça lehim kep genişliği artmış lehim yüksekliği ise çok fazla değişim göstermemiştir. Lehim kep genişliğinin 4,5-5mm arasında, lehim kep yüksekliğinin ise 2,5-3mm arasında olmasının uygun olduğu düşünülmektedir.

Lehim ilerleme hızının en düşük olduğu numunelerin lehim bölgelerinde ve ITAB bölgelerinde ısı girdisinin fazla olmasından dolayı mikro sertlik değeri çok daha yüksek olmuştur. En yüksek sertlik değeri 17cm/dk ilerleme hızında ölçülmüştür.

Mikroyapı görüntülerine bakıldığında, ITAB bölgesindeki tane boyutunun ana malzemeye doğru gidildikçe küçüldüğü görülmüştür. Isı etkisi ile ara bölge ve ITAB bölgelerindeki tane boyutları çok büyüktür. İlerleme hızının az olduğu numunelerin lehim bölgelerinde dentrit yoğunluğunun çok fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu yoğunluk hızın artması ile ısı tesirinin düştüğü numunelerde ise daha azdır. Yapılan incelemeler sonucunda DP800 çelik sacının 60A akım şiddetinde CMT-lehimleme işlemi için en uygun ilerleme hızının 24cm/dk olduğu düşünülmektedir.

3. DP800 çelik sacı farklı gaz debilerinde birleştirilmiş ve bu birleştirme sonucunda en yüksek mukavemet değerinin 12lt/dk gaz debisinde 763MPa elde edildiği görülmüştür. Mukavemet sonuçları birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. Bütün numuneler ITAB bölgesinden kopmuştur. Gaz debi değişkeninin bağlantının mukavemetine çok fazla etki etmediği gözlemlenmiştir.

Makroyapı görüntülerinde bütün numunelerin lehim ıslatma kabiliyetinin uygun olduğu anlaşılmaktadır. Lehim açısı en düşük 12lt/dk gaz debisindeki numuneye ait 92° dir. 10lt/dk ve 12lt/dk gaz debilerindeki numunelerin lehim genişliği ve lehim yüksekliği birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Çekme mukavemet sonuçlarına bakıldığında da bu yakınlık görülmektedir.

Numunelere ait sertlik değerlerin en düşük olduğu bölge lehim bölgesi en yüksek bölge ise ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. 14lt/dk gaz debisine ait numunenin lehim bölgesi diğer numunelerin lehim bölgelerine göre sertlik değeri biraz daha yüksek çıkmıştır. Ara bölge, ITAB bölgesi ve ana malzemeden alınan mikroyapı görüntülerine bakıldığında tane boyutunun ITAB bölgesinden ana malzemeye doğru küçüldüğü görülmüştür. Her bir numuneye ait lehim bölgesinin dentrit yoğunlukları benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan incelemeler neticesinde DP800 çelik sacının 60A akım şiddeti ve 24cm/dk ilerleme hızında CMT-lehimleme işlemi için en uygun gaz debisinin 12lt/dk olduğu anlaşılmaktadır.

4. Farklı lehim aralıkları ile birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiş numuneler bakıldığında en düşük çekmem mukavemetinin 0 mm lehim aralığında gerçekleştiği görülmektedir. En yüksek değer ise 0,5 mm lehim aralığında gerçekleşmiştir. 0 mm ve 0,3 mm lehim aralıklarında birleşme tam olmamış, numuneler lehim bölgelerinden kopmuştur.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, 0 mm ve 0,3mm lehim aralıklarında lehim malzemesi lehim köküne tam nüfuz edemediği görülmüştür. 1 mm lehim aralığında ise, lehim teli ana malzemenin alt tarafında birikmiş ve nüfuziyet tam sağlanamamıştır.

Lehim aralığının artmasının lehim yüksekliğini ve lehim açısını azaltıcı etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Lehim genişliğinin 4 - 4,5 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.

0 mm ve 0,3 mm aralıklarda birleştirilmiş numunelerin ITAB bölgelerinde diğer numunelerin aynı bölgelerinde elde edilen sertlik değerlerinden fazla olduğu görülmüştür. 0 mm ve 0,3 mm aralıklarında ITAB bölgelerinde 380HV- 400HV arasındadır. 0,3 mm aralığındaki numunenin ITAB bölgesinin diğer numunelerin ITAB bölge genişliğinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 1 mm lehim aralığında birleştirilmiş numuneye ait lehim bölgesinin sertlik değeri diğer numunelerin lehim bölgelerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Lehim bölgelerinden alınan mikroyapılar incelendiğinde, 0 mm ve 0,3 mm lehim aralığında diğer lehim aralıklarına göre dentrit yoğunluğunun daha az olduğu anlaşılmıştır. Optimum lehim aralığının 0,5 mm olacağı anlaşılmaktadır.

5. Farklı torç açılarında birleştirilmiş numunelerden elde edilen mukavemet sonuçları incelendiğinde, torç açısının artışının mukavemeti artırdığı görülmektedir. En yüksek mukavemet değerleri 80^0 ve 90^0 torç açılarında 764Mpa ve 763Mpa olarak ölçülmüştür.

Makro görüntüler incelendiğinde 80^0 ve 90^0 torç açılarının hem nüfuziyet hem de ıslatabilirliği kabul edilebilir olduğu tespit edilmiştir. Çekme mukavemeti ile beraber değerlendirildiğinde optimum değer 80^0 olduğu anlaşılmaktadır. Lehim genişliğinin 4 – 4,5 mm arasında, lehim yüksekliğinin ise 2,5 – 3 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.

Lehim bölgesi mikroyapı görüntülerinde 50^0 torç açısında birleştirilmiş numunenin lehim bölgesinde oluşan dentrit yoğunluğu diğer numunelerden daha az olduğu görülmüştür. Buda çekme mukavemetinin en düşük olmasının sebebini açıklamıştır. Farklı torç açılarında birleştirilmiş numunelerin incelenmesi sonucunda optimum torç açısı 80^0 olarak tespit edilmiştir.

6. Elde edilen verilerin incelenmesi sonucunda galvaniz kaplı DP800 çelik sacının alın birleştirme yöntemi ile CMT-lehimleme işleminde optimum akım şiddeti 60A, ilerleme hızı 24cm/dk, gaz debisi 12lt/dk, lehim aralığı 0,5 mm ve torç açısı 80^0 olarak tespit edilmiştir.
7. DP800 çelik sacının bindirme birleştirme yöntemi farklı akım şiddetlerinde birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. 55A, 60A ve 65A akım şiddetlerinde birleşme gerçekleşmemiştir. 100A akım şiddetinden sonra ise ana malzemede delinmeler meydana gelmiştir. Çekme mukavemeti en yüksek akım şiddeti değeri 80A'de 748Mpa olarak elde edilmiştir.

Çekme deneyi esnasında 70A akım şiddetinde birleştirilen numuneler lehim bölgesinden kopmuştur. 75A akım şiddetinden birleştirilmiş numunelerin ise bazıları lehim bölgesinden bazıları ise ITAB bölgesinden kopmuştur. Diğer numunelerin hepsi ITAB bölgelerinden kopmuştur.

75A akım şiddeti değerinden sonra ısı girdisinin artışı ile lehim ıslatma kabiliyetinin ve lehim genişliğinin artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmış ve yüksek akım değerlerinde numunelerin ITAB bölgelerindeki sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

8. Lehim ilerleme hızı bağlantının mukavemetini etkilediği görülmüştür. İlerleme hızının fazla olması ve az olması mukavemet düşürücü etki oluşturmuştur. En yüksek mukavemet değeri 760Mpa olarak 31cm/dk ilerleme hızında tespit edilmiştir. Ayrıca ilerleme hızının düşük olması lehim genişliğini arttırmıştır.

39cm/dk ilerleme hızındaki numuneye ait lehim bölgesinin diğer numunelerin lehim bölgelerine göre daha düşük sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür. 31cm/dk, 34cm/dk ve 39cm/dk ilerleme hızlarında ise ITAB bölgelerinde 370HV-385HV arasında sertlik değeri ölçülmüştür. 21cm/dk, 24cm/dk ve 27cm/dk ilerleme hızlarında birleştirilmiş numunelerin ITAB bölgelerinin genişliği diğer numunelerden daha fazla olduğu görülmüştür.

9. Farklı gaz debilerinde birleştirilmiş numunelerden çekme mukavemeti en yüksek 760Mpa ile 12lt/dk gaz debisinde olduğu görülmüştür. Lehim ıslatma kabiliyetleri, lehim genişlikleri ve lehim yükseklikleri birbirine yakın olmasına rağmen çekme sonuçlarından 12lt/dk gaz debisinde daha iyi bir nüfuziyetin gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerleri incelendiğinde, 12lt/dk gaz debisinde ele edilen numunenin lehim bölgesi sertlik değeri diğer numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer 4 numunenin lehim bölgesi sertlik değerleri birbirine çok yakın değerler olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda 12lt/dk gaz debisinde elde edilen numunenin ITAB bölgesinde ölçülen sertlik değeri 370HV olurken diğer numunelerde bu değer 360HV'yi geçmediği gözlemlenmiştir.

10. Torç açısı arttıkça maksimum çekme mukavemeti değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti değeri 766 Mpa olarak 50° torç açısında elde edilmiştir. 70° ve 80° torç açılarında birleşme tam olmamıştır. Numuneler lehim bölgelerinden kopmuştur. Diğer numuneler ise ITAB bölgelerinden 7 mm uzakta kopmuştur. Optimum torç açısı olarak 50° olduğu düşünülmektedir.

Lehim genişliği sadece 50° torç açısında 5 mm'nin altında ölçülmüştür. Diğer numunelerde ise bu değer 5 mm'nin üstündedir. Ayrıca lehim yükseklikleri birbirlerine çok yakın değerler elde edilmiştir.

Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerlerine bakıldığında, en düşük değer 80° torç açısında 175HV olarak elde edilmiştir. Fakat sertlik değerlerinin farkının çok az olduğu görülmüştür. En yüksek değer ise 45° torç açısında 188HV olarak ölçülmüştür. Isı tesiri altında kalan bölgelere bakıldığında ise, 60°, 70° ve 80° torç açılarında 370HV – 380HV arasında değiştiği gözlemlenmiştir. 45° ve 50° torç açılarında ise sertlik değeri 370HV'den daha az görülmüştür. 70° ve 80° torç açılarında birleştirilmiş numunelere ait ITAB bölgelerinin genişliği diğer numunelerden daha geniş olduğu sertlik değerlerinden de anlaşılmaktadır.

11. Farklı lehim aralıklarında birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olan numunelerden 0,5 mm lehim aralığındaki numunenin çekme mukavemeti 766 Mpa olarak en yüksek değere sahiptir. 0 mm ve 0,5 mm lehim aralıklarında numuneler ITAB bölgesinden kopmuştur. Diğer lehim aralıklarında ise lehim bölgesinden koptuğu görülmüştür. 0 mm aralıkta birleştirilen numunenin çekme mukavemeti 0,5 mm aralıktaki numuneye yakın çıkmıştır. Fakat en yüksek değer 0,5 mm aralıkta olmasından dolayı optimum lehim aralığı olarak 0,5 mm seçilmesi uygun görülmüştür.

Lehim aralığının değişmesinin lehim yüksekliği ve lehim genişliğine çok fazla etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Lehim genişliğinin 4 – 5 mm arasında, lehim yüksekliğinin ise 3 – 4 mm arasında değiştiği görülmektedir.

Lehim bölgelerinden alınan sertlik değerlerinde en düşük değer 0 mm lehim aralığında 140HV olarak ölçülmüştür. Diğer lehim aralıklarında bu değer 160HV-180HV arasında değiştiği gözlemlenmiştir. 0 mm ve 0,3 mm lehim aralıklarında lehim malzemesinin yayılamaması ve ısı tesirinin direk ana malzemeye etki etmesinden dolayı bu aralıklara ait ITAB bölgelerinin sertlik değerleri diğer lehim aralıklarında elde edilen sertlik değerlerinden daha yüksek ve ITAB bölgesi genişliği daha fazla olduğu görülmüştür. Bu lehim aralıklarındaki ITAB bölge sertlik değerleri 360HV-385HV arasında değişmektedir. Diğer lehim aralıklarında ise en yüksek sertlik değeri 350HV-370HV arasında ölçülmüştür.

12. DP800 çelik sacının farklı parametrelerde CMT-lehimleme işlemlerinin sonuçları incelendiğinde, optimum akım şiddeti 80A, ilerleme hızı 31cm/dk, gaz debisi 12lt/dk, torç açısı 50° ve lehim aralığı 0,5 mm olarak belirlenmiştir.

7.2. Öneriler

1. Galvaniz kaplı DP800 çelik sacı birleştirme esnasında ısı girdisine bağlı olarak galvaniz buharlaşma oranları hesaplanabilir.
2. DP800 çelik sacı birleştirilme işleminden sonra bağlantı noktasının yorulma davranışı ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
3. DP800 çelik sacı CMT-lehimleme işleminde farklı ilave tel ve gaz karışımları kullanılarak birleşme özellikleri incelenebilir.
4. DP800 çelik sacı farklı parametrelerde birleştirilirken ana malzemede meydana gelene sıcaklık dağılımı belirlenerek mikro sertliğe etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ferik, E., TRIP 800 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağındamekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [2] Kılıç, S., Öztürk, F., Ticari TWIP900 ve DP600 yüksek mukavemetli çeliklerin otomotiv endüstrisindeki performanslarının karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 31, Sayı3, s. 567-578, 2016.
- [3] Farabi, N., Chen, D.L., Zhou, Y., Microstructure and mechanical properties of laser welded dissimilar DP600/DP980 dual-phase steel joints, Journal of Alloys and Compounds, 509, s,982-989, 2011.
- [4] Hayat, F., TRIP çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 25, No 4, s.701-712, 2010.
- [5] Şen, M., Yıldırım, E., Çebi, H., Özdemir, C., Çift fazlı çeliklerden üretilen otomotiv sac parçalarının dizaynında geri esnemeyi optimize edebilmek için sac kalınlığına bağlı olarak büküm radyüslerinin belirlenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:12, No:2, s.75-95, 2015.
- [6] Wang, J., Yang, L., Sun, M., Liu, T., Li, H., A study of the softening mechanisms of laser-welded DP1000 steel butt joints, Materials and Design, 97, s. 118-125, 2016.
- [7] Ulu, S., Çift fazlı çelikler, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:6, No:3, s. 100-113, 2009.
- [8] Varol, F., MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

- [9] Wang, P., Hu, S., Shen, J., Liang, Y., Characterization the contribution and limitation of the characteristic processing parameters in cold metal transfer deposition of an Alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 245, s.122-133, 2017.
- [10] Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, Emrah., Otomotiv endüstrisindeki yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi, *Mühendis ve Makina*, Cilt:50, Sayı:596, 2009.
- [11] Varol, F., Ferik, E., Ozrasac, U., Aslanlar, S., Influence of curent intensity and heat input in Metal Inert Gas-brazed joints of TRIP 800 thin zinc coated steel plates, *Materials and Design*, 52, s.1099-1105, 2013.
- [12] Gül, Ü., 1200M çeliğinin (CMT) kaynak yöntemi birleştirilmesinde mekanik ve metalurjik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [13] Otomotiv Endüstrisi ve Çelik: Yeni Nesil Çelikler, Tübitak MAM Malzeme Enstitüsü, s.43-73, 2008.
- [14] Wang, J., Yang, L., Sun, M., Liu, T., Li, H., Effect of energy input on the microsytructure and properties of butt jointns in DP1000 steel laser weldind, *Materials and Design*, 90, s.642-649, 2016.
- [15] Ayday, A., Yeni malzemeler ve üretim yöntemleri ders notları, Sakarya Üniversitesi.
- [16] http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf, Erişim Tarihi: 01.02.2018.
- [17] <http://www.makinatek.com.tr/arsiv/yazi/161-otomotiv-endüstrisinde-twip-çeliklerin-gelecegi>, Erişim Tarihi: 10.11.2017.
- [18] <https://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/martensitic-ms-steel/>, Erişim Tarihi: 21.10.2017.
- [19] Demir, B., Erdoğan, M., Ticari, geliştirilmiş çift-fazlı çelik üretimi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt: 3(2), s. 74-91, 2014.
- [20] Samalçı, E., Kabakçı, F., Çift fazlı çeliğin çekme özelliklerine mikroyapının etkisi, *Gazi Üniv.Müh.Fak.Der.*, Cilt: 26, No: 2, s.263-272, 2011.

- [21] Granbom, Y., Structure and mechanical properties of dual phase steels an experimental and theoretical analysis, Doctoral thesis, Royal Institute of Technology School of Industrial Engineering and Management Materials Science and Engineering Division of Mechanical Metallurgy, 2010.
- [22] Varol, F., Ozsarac, U., Aslanlar, S., Onat, A., Ekici, M., Ferik, E., Influence intensity and heat input in MIG-Brazed joints of DP 600 thin zinc coated steel plates, Acta Physica Polonica A, Vol.127, No:4, 2015.
- [23] Yurdakul, M., İç, Y. T., Modern imalatın prensipleri. İçinde: Sert Lehimleme, Yumuşak Lehimleme ve Yapıştırma. 4. Baskı, Nobel Yayınları, s.738-747, 2016.
- [24] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP Metal Teknolojisi, Lehimleme, Ankara, s. 35-44, 2011.
- [25] <https://malzemebilimi.net/cmt-soguk-metal-transferi-kaynagi.html>, Erişim Tarihi: 15.11.2017
- [26] http://www3.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-03792BE3-CE174961/fronius_uk/TR_leaflet_CMT_113_www_snapshot.pdf, Erişim Tarihi: 05.09.2017.

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim ACAR 01.12.1985 yılında Erzurum'da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Bursa'da tamamladı. 2003 yılında Mehmet Kemal Coşkunöz Anadolu Teknik Lisesi'ni bitirdi. 2003-2008 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.