

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MIG LEHİMLEME YÖNTEMİ İLE TRIP 800 ÇELİK
SACLARIN BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erman FERİK

Enstitü Anabilim Dalı : **METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Salim ASLANLAR**

Haziran 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MIG LEHİMLEME YÖNTEMİ İLE TRIP 800 ÇELİK
SACLARIN BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

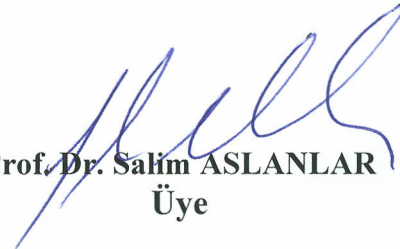
YÜKSEK LİSANS TEZİ

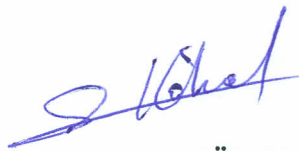
Erman FERİK

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 23 / 06 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Fehim FİNDİK
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Salim ASLANLAR
Üye


Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL
Üye

ÖNSÖZ

800 MPa mukavemete sahip TRIP 800 olarak adlandırılan üç fazlı çelikler otomobil endüstrisinde yeni geliştirilmiş bir çelik türü olup otomobil endüstrisinde hafiflik, yüksek mukavemet, şekillendirilebilirlik, güvenlik, iyi korozyon dayanımı gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır. Çinko ile kaplanmış TRIP 800 çelik sacının gaz altı ve nokta kaynaklarında ise yüksek sıcaklıklardan dolayı çinko buharlaşması ve distorsiyon ile karşı karşıya kalınmaktadır. MIG-lehimleme düşük ısı girdisi ile kaynağın yakın bölgesinde korozyon korumasını sağlayan Zn miktarının minimum miktarlarda yanmasını sağlar. Lehim sıcaklığının azalması ile daha az Zn buharlaşacak ve düzen malzemenin ilk durumu gibi olacaktır. Lehim ısı düşük olduğundan daha az çarpılma olur.

Otomotiv sektöründe kullanılan TRIP 800 çelik sacına MIG-lehimleme uygulanması ile ilgili çalışmaların yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında başta tez danışmanım Prof. Dr. Salim ASLANLAR' a, Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ' a, Yrd. Doç. Dr. Faruk VAROL' a, Arş. Gör. Murat ÇOLAK, Arş. Gör. Nuri Bora ERGİN ve Arş. Gör. Gülşah AKTAŞ' a, Uzman Fuat KAYIŞ' a, Ceyhun ADIYAMAN' a, ASİLÇELİK firması ve Hüseyin KEÇECİ beye, E-MARC Çelik firması ve çalışanı Taner beye teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezi, sadece bu çalışmam boyunca değil, tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi koruyuculuğumu üstlenen babam Turgut FERİK' e ve annem Halime FERİK' e ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK.....	5
2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelikler.....	6
2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Ahss Türleri.....	7
2.2.1. Mikro alaşımlanmış Yp ve Mc çelik saclar.....	7
2.2.2. Çift fazlı yüksek mukavemetli çelikler.....	8
2.2.3. Dönüşümle plastikliği artırılmış (TRIP) çelikler.....	8
2.2.4. Kompleks fazlı (CP) çelikler.....	9
2.2.5. Martenzitik (Mart) çelikler.....	9
2.2.6. Gelişen AHSS türleri.....	9
2.2.6.1. IF çelikleri (instertital-free).....	10
2.2.6.2. Yumuşak çelikler.....	10
2.2.6.3. Fırında sertleştirilebilen (BH) çelikleri.....	10
2.2.6.4. İotropik çelikler.....	11
2.2.6.5. Karbon-mangan (CM) çelikleri.....	11

BÖLÜM 3.

TRIP ÇELİKLERİ.....	12
3.1. Giriş.....	12
3.2. TRIP ve TRIP takviyeli çelikler.....	12
3.2.1. TRIP Çeliği Çeşitleri.....	12
3.3. Mikroyapı.....	13
3.4. TRIP Çeliklerinin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	14
3.4.1. TRIP Çeliklerinin Genel Özellikleri.....	14
3.4.2. Kullanım Alanları.....	15
3.5. TRIP Takviyeli Çeliklerin Mekanik Özellikleri.....	15
3.5.1. Şekillendirilebilirlik.....	16
3.5.2. Yorulma Dayanımı.....	17
3.6. TRIP Çeliklerinde Alaşım Elementleri ve Etkileri.....	18
3.6.1. Karbon.....	18
3.6.2. Mangan.....	19
3.6.3. Silisyum.....	19
3.6.4. Alüminyum.....	20
3.6.5. Niyobyum.....	21
3.7. TRIP Çeliklerinin Isıl İşlemi.....	21
3.8. TRIP Çeliklerinin Galvanizlenmesi.....	24

BÖLÜM 4.

LEHİMLEME.....	25
4.1. Lehimleme.....	25
4.2. Yumuşak Lehimleme.....	26
4.3. Sert Lehimleme.....	26
4.4. MIG Lehimleme.....	27
4.4.1. Birleşme.....	28
4.4.2. Donanım ve ilave tel.....	28
4.4.3. Makine ayarları.....	29
4.4.4. MIG lehimleme birleştirmesinde kullanılan teller.....	29
4.6.4.1. CuSi3.....	29

4.6.4.2. CuAl8.....	30
4.6.4.3. CuSn6.....	31
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	32
5.1. Genel.....	32
5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz.....	33
5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri.....	33
5.3.1. Numune hazırlama.....	34
5.3.2. MIG lehimleme işlemleri.....	34
5.4. Sertlik Ölçümleri ve Isı Girdileri.....	35
5.5. Mikroyapı.....	36
5.5.1. Mikroyapı incelemeleri.....	36
5.5.2. Makroyapı incelemeleri.....	37
5.5.3. Taramalı elektron mikroskobu.....	38
5.6. Çekme Deneyi.....	38
5.7. Eğme Deneyi.....	39
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	40
6.1. TRIP 800 Sacın MIG Lehimleme Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri	40
6.1.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	40
6.1.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	40
6.1.1.2. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	41
6.1.1.3. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	44
6.1.1.4. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	47
6.1.2. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi.....	49

6.1.2.1.	Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi.....	49
6.1.2.2.	Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi	52
6.1.2.3.	Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	54
6.1.2.4.	Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi.....	57
6.1.3.	Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	59
6.1.3.1.	Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi.....	59
6.1.3.2.	Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi.....	61
6.1.3.3.	Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	62
6.1.3.4.	Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi.....	63
6.1.4.	Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	64
6.1.4.1.	Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	64
6.1.4.2.	Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	67
6.1.4.3.	Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	69
6.1.4.4.	Lehim torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	72
6.2.	TRIP 800 Sacın MIG Lehimleme Yöntemi İle Bindirme Birleştirmeleri.....	74
6.2.1.	Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	74
6.2.1.1.	Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	74
6.2.1.2.	Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik	

özelliklerine etkisi.....	77
6.2.1.3. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	79
6.2.2. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi.....	81
6.2.2.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi.....	81
6.2.2.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	83
6.2.2.3. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi....	86
6.2.3. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	88
6.2.3.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi.....	88
6.2.3.2. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	89
6.2.3.3. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi.....	90
6.2.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	91
6.2.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	91
6.2.4.2. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	94
6.2.4.3. Lehim torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	96
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
7.1. Sonuçlar.....	99
7.2. Öneriler.....	108
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	115

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α	: Ferrit
γ	: Östenit
M	: Martenzit
P	: Perlit
B	: Beynit
C	: Karbon
σ	: Gerilme
σ_{φ}	: Çekme mukavemeti
e	: Parça kalınlığı
V	: İlerleme hızı
σ_A	: Akma mukavemeti
DP	: Dual phase
HSS	: High strength steel
UHSS	: Ultra high strength steel
LSS	: Low strength steel
IF	: Interstitial-free
CP	: Complex phase
TRIP	: Transformation induced plasticity
TWIP	: Twinning-induced plasticity steel

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

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	AHSS saclar, düşük mukavemetli saclar ve konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar (HSS) arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi.....	7
Şekil 3.1.	TRIP çeliğindeki mikroyapılar, TRIP çeliğindeki kalıntı östenitin EBSD haritası, TRIP etkisinin mekanizması.....	14
Şekil 3.2.	B-ayağı takviyesi, tampon traversi	15
Şekil 3.3	TRIP 690 ve TRIP 780 için şekillendirme sınır eğrileri.....	16
Şekil 3.4.	TRIP çelikleri için Wöhler/S-N eğrileri	17
Şekil 3.5.	TRIP çelikleri için düşük çevrimli yorulma veya E-N eğrileri.....	17
Şekil 3.6.	Alaşım elementleri etkisinin TTT' deki davranışı.....	18
Şekil 3.7.	TRIP çeliği ısıtılma işlemi ve TRIP çeliğinin soğuk haddeleme sıcaklık- zaman grafiği.....	22
Şekil 3.8.	TRIP çeliğinin sıcak haddeleme sıcaklık- zaman grafiği.....	22
Şekil 3.9.	Soğuk haddelenmiş TRIP çeliklerin işlemden geçirilmesi sırasında metalurjik özellikleri.....	23
Şekil 5.1.	TRIP 800 sacının numune ebatları.....	34
Şekil 5.2.	MIG-lehimleme işleminin yapıldığı makine ve sekatörü	35
Şekil 5.3.	Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar	35
Şekil 5.4.	Bindirme birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.....	36
Şekil 5.5.	Mikroyapı inceleme noktaları.....	37
Şekil 5.6.	Bindirme birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar.....	37
Şekil 5.7.	Alın altına birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar.....	38

Şekil 5.8.	Çekme deneyi numunesi boyutları.....	39
Şekil 5.9.	Eğme deneyi numune boyutları.....	39
Şekil 6.1.	Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	41
Şekil 6.2.	Farklı akım şiddetlerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.....	41
Şekil 6.3.	Farklı akım şiddetlerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	42
Şekil 6.4.	Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği.....	43
Şekil 6.5	Farklı lehim hızlarında lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.....	44
Şekil 6.6.	Farklı lehim hızlarında eğme kuvvetleri grafiği.....	44
Şekil 6.7.	Farklı lehim gaz debilerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	45
Şekil 6.8.	Farklı gaz debilerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası görüntüleri.....	46
Şekil 6.9.	Farklı lehim gaz debilerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	47
Şekil 6.10.	Farklı lehim torç açılarında çekme mukavemetleri grafiği.....	48
Şekil 6.11.	Farklı lehim torç açılarında lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası görüntüleri.....	48
Şekil 6.12.	Farklı lehim torç açılarında eğme kuvvetleri grafiği.....	49
Şekil 6.13.	Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.....	50
Şekil 6.14.	Farklı akım şiddetlerinde lehim ıslatma açısı grafiği.....	51
Şekil 6.15.	Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.....	51
Şekil 6.16.	Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği.....	52
Şekil 6.17.	Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri.....	52
Şekil 6.18.	Farklı lehim ilerleme hızlarında ıslatma açısı grafiği.....	53
Şekil 6.19.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.....	53
Şekil 6.20.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.....	54
Şekil 6.21.	Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.....	55
Şekil 6.22.	Farklı lehim gaz debilerinde ıslatma açısı grafiği.....	55
Şekil 6.23.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.....	56
Şekil 6.24.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği.....	56
Şekil 6.25.	Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.....	57
Şekil 6.26.	Farklı lehim torç açılarında ıslatma açısı grafiği.....	58
Şekil 6.27.	Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.....	58

Şekil 6.28.	Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.....	59
Şekil 6.29.	45A, 50A, 55A ve 60A lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.....	60
Şekil 6.30.	65A, 70A, 75A ve 80A lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.....	60
Şekil 6.31.	Farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik noktaları.....	62
Şekil 6.32.	Farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik noktaları.....	63
Şekil 6.33.	Farklı lehim torç açılarında mikrosertlik noktaları.....	64
Şekil 6.34.	Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği.....	65
Şekil 6.35.	70A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	65
Şekil 6.36.	Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	66
Şekil 6.37.	70A akım şiddetinde SEM görüntüsü.....	66
Şekil 6.38.	70A akım şiddetinde EDS analizi.....	67
Şekil 6.39.	Farklı lehim ilerleme hızlarında ısı girdisi grafiği.....	67
Şekil 6.40.	33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında mikroyapı görüntüleri.....	67
Şekil 6.41.	Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	68
Şekil 6.42.	33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında SEM görüntüsü.....	68
Şekil 6.43.	33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında EDS analizi.....	69
Şekil 6.44.	10 lt/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri.....	70
Şekil 6.45.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri	70
Şekil 6.46.	10 lt/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüsü.....	71
Şekil 6.47.	10 lt/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.....	71
Şekil 6.48.	80 ⁰ lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.....	72
Şekil 6.49.	Farklı torç açılarında lehim bölgesi ve ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	73
Şekil 6.50.	80 ⁰ torç açısında SEM görüntüleri.....	73
Şekil 6.51.	80 ⁰ torç açısında lehim ara bölge EDS analizi.....	74
Şekil 6.52.	Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	75
Şekil 6.53.	Farklı akım şiddetlerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.....	76
Şekil 6.54.	Farklı akım şiddetlerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	76

Şekil 6.55.	Farklı lehim gaz debilerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	78
Şekil 6.56.	Farklı gaz debilerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.....	78
Şekil 6.57.	Farklı lehim gaz debilerinde eğme kuvvetleri grafiği.....	79
Şekil 6.58.	Farklı lehim torç açılarında çekme mukavemetleri grafiği.....	80
Şekil 6.59.	Farklı torç açılarında lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.....	80
Şekil 6.60.	Farklı lehim torç açılarında eğme kuvvetleri grafiği.....	81
Şekil 6.61.	Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.....	82
Şekil 6.62.	Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.....	82
Şekil 6.63.	Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği.....	83
Şekil 6.64.	Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.....	84
Şekil 6.65.	8 lt/dk ve 10 lt/dk gaz debisinde ana malzemede oluşan ergime.....	84
Şekil 6.66.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.....	85
Şekil 6.67.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği.....	85
Şekil 6.68.	Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.....	86
Şekil 6.69.	Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.....	87
Şekil 6.70.	Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.....	87
Şekil 6.71.	50 A, 55 A, 60 A ve 65 A lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.....	88
Şekil 6.72.	70 A, 75 A ve 80 A lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.....	88
Şekil 6.73.	Farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik noktaları.....	89
Şekil 6.74.	Farklı lehim torç açılarında mikrosertlik noktaları.....	90
Şekil 6.75.	Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği.....	91
Şekil 6.76.	70A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	92
Şekil 6.77.	Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	92
Şekil 6.78.	70A akım şiddetinde SEM görüntüsü.....	93
Şekil 6.79.	70A akım şiddetinde EDS analizi.....	93
Şekil 6.80.	10 L/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri.....	94
Şekil 6.81.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri	95

Şekil 6.82.	10 L/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüsü.....	95
Şekil 6.83.	14 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.....	96
Şekil 6.84.	80 ⁰ lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.....	97
Şekil 6.85.	Farklı torç açılarında lehim bölgesi ve ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	97
Şekil 6.86	80 ⁰ torç açısında SEM görüntüsü.....	98

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	CuSi3 lehim metalinin bileşimi - %.....	29
Tablo 4.2.	CuA8 lehim metalinin bileşimi - %.....	30
Tablo 4.3.	CuSn6 lehim metalinin bileşimi - %.....	31
Tablo 5.1.	TRIP 800 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	33
Tablo 5.2.	TRIP 800 çeliğinin mekanik özellikleri.....	33
Tablo 5.3.	CuAl8 lehim telinin kimyasal bileşimi.....	34
Tablo 5.4.	CuAl8 lehim telinin mekanik özellikleri.....	34
Tablo 6.1.	Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	40
Tablo 6.2.	Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	43
Tablo 6.3.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	45
Tablo 6.4.	Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	47
Tablo 6.5.	Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	75
Tablo 6.6.	Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	77
Tablo 6.7.	Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	80

ÖZET

Anahtar kelimeler: TRIP 800 Çeliği, MIG Lehimleme, Çekme Mukavemeti

Son yıllarda araba montaj endüstrisi araba gövdelerinde düşük fiyat, iyi korozyon özellikleri ve mekanik özelliklerini birleştiren galvanizli TRIP 800 çelik sacları, özellikle otomotiv endüstrisinde korozyon dayanımının yanı sıra plastik gerinim altında yüzde uzamasının yüksek olması (yaklaşık %30) nedeniyle kullanılmaktadır. Araba montajlarında gaz metal ark kaynağı gibi geleneksel yöntemler kullanıldığında ana metal ve kaynaklanan bölge, çinkonun buharlaşmasıyla oksidasyona uğramaktadır. Çinkonun buharlaşma riskini azaltmak için, düşük ısı girdisi destekli yeni kaynak proseslerinde mesafe kat edilmeye başlandı. Bu çalışmaların sonuçlarının bir tanesi de, MIG kaynağının avantajları (yüksek damla geçişi, yüksek kaynak hızı ve otomasyona uygunluk) ile lehimlemenin (kaynaklanan malzemeyi ergitmeksizin ve mekanik özelliklerinde bir değişme olmaksızın) düşük ısı girdisini birleştiren, MIG lehimlemedir.

Bu çalışmada 1,5 mm kalınlığa sahip TRIP 800 çelik saclar MIG-lehimleme yöntemi kullanılarak bakır esaslı bir tel olan CuAl8 teli ile birleştirilmiştir. Numuneler iki farklı bağlantı biçimi olan bindirme ve alın bağlantılar olarak hazırlanmıştır. Lehimleme tatbikleri dört farklı parametrede, akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, ve torç açısı olarak incelenmiştir.

MIG-lehimlenmiş malzemelerin mukavemet özellikleri, eğme kuvveti ve bağlantı bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı tetkiklerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı ve torç açısının lehimlenen bağlantı bölgesi ve TRIP 800 çeliği arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır.

MIG BRAZING METHOD AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE UNIFICATION OF TRIP STEEL SHEETS

SUMMARY

Key Words: MIG- Brazing, TRIP800 Steel, Tensile Strength

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

In this study, TRIP 800 steel plates having 1,5 mm thickness were joined by copper-based CuAl8 wire in gas metal arc brazing technique. Specimens were prepared in two different joining forms as butt joint and overlap joint. Brazing operations were done with four different parameters, current intensities, travel speeds, shielding gas, and torch angles.

Tensile strength, bending force, microstructure of brazed materials, and their micro hardness distribution throughout joining were determined. In macro and microstructure examinations, stereo optical microscope, scanning electron microscope (SEM), SEM/energy dispersive spectroscopy was used. This study investigated effects of current intensities, travel speeds, shielding gas at flow rates and torch on microstructure and microhardness distribution of transition zone between TRIP 800 steel and brazed metal of joined material.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründe araç ağırlığının %55' ini çelik oluşturmaktadır [1]. Özellikle araçların karoseri tamamen çelik saclardan oluşturulur. Enerjiye olan taleplerin artması ve enerji kaynaklarının azlığı, otomobil üreticilerini daha ekonomik, yakıt tüketimi daha az olan taşıt üretmeye yöneltmiştir. Taşıtlarda yakıt tasarrufu, motor verimi artırılarak ve/veya taşıt ağırlığını azaltarak mümkün olabilir [2]. Bununla beraber şekillendirilebilme kabiliyeti ve şekillendirme sonrası dayanımlarının daha iyi olması nedeniyle yüksek mukavemetli çelik malzemeler özellikle otomotiv endüstrisinde taşıt ağırlığının azaltılmasını sağlamaktadır [3,4].

Yüksek mukavemetli çelik malzemelerle yapılan üretimlerde karşılaşılan zorluklardan biriside bu malzemelerin şekillendirilebilirliğidir. Genelde mühendislik malzemelerinde yüksek dayanım ve süneklik kombinasyonu en çok aranan özelliklerdir. Fakat, günümüzde teorik ve ampirik yaklaşımların büyük bir bölümü bize dayanım ve sünekliğin birbirleriyle ters bağımlı olduğunu göstermektedir. Buradaki zorluk, süneklikten taviz vermeden mukavemetin artırılmasıdır. Fırında sertleşebilen çelikler, çift fazlı çelikler ve TRIP çelikleri mukavemet-uzama çelişmesini kıran öncü çelik türlerindedir [5].

Otomotiv endüstrisindeki uygulamalar için aranan yüksek dayanım-uzama kombinasyonu sağlayan (800-1000 MPa aralığında yüksek dayanım - %30' dan fazla uzama) TRIP çelikleri son 10-15 yıldır araştırmacıların büyük ilgisini çekmektedir [6]. Deneysel çalışmalarda kullanılan 800 MPa çekme mukavemetine sahip TRIP 800 olarak adlandırılan bu üç fazlı çelik türü, otomobil endüstrisinde yeni geliştirilmiş bir çelik olup özellikle otomobil karoserinde hafiflik, yüksek mukavemet, güvenlik ve iyi korozyon dayanımı karakteristiği gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır.

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

Son yıllarda, yüksek korozyon dirençleri nedeniyle modern otomobillerde galvanizli çelik saclar kaplanmamış çelik sacların yerini almıştır. Deneylerde kullanılan TRIP 800 çinko ile kaplanmış yüksek mukavemetli bir çeliktir. Fakat çinko kaplanmış çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemlerinde bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Nokta direnç kaynağında elektrotun çabuk aşınması ve elektrot ömrünün kısa olması kaynak kalitesi açısından problem teşkil etmektedir[10]. Bununla beraber, kaplama uygulanmış yüksek mukavemetli çelikler için kaynak metali bölgesinde metal kayıpları, boşluk, gözenek ve porozite gibi süreksizliklerden dolayı kaynak mukavemetinde düşüşler gözlenir. Ayrıca kaynak yüzeyi kolayca korozyona uğrayabilir. Çinko ile kaplanmış çelik sacların gaz altı kaynaklarında ise yüksek sıcaklıklardan dolayı çinko buharlaşması ve distorsiyon ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda galvanizli ürünlerin kullanımındaki artış endüstriyi bu malzemenin kaynağı üzerine araştırmalar yapmaya yoğunlaştırmıştır. Yüksek verimlilik ile birlikte yüksek kaynak kalitesi gibi zorlukların üstesinden gelmek için endüstri yeni alternatif prosesler uygulamaktadır. Bu alternatiflerin arasında elektrik ark-lehimleme göze çarpmaktadır. Bu, malzemelerin birleştirilmesinde yeni bir kavram ve bugünlerde “MIG-Lehimleme” olarak kullanılmaktadır.

MIG-lehimleme geleneksel lehimleme yöntemlerinden farklı olarak ilave metalde kapiler hareketle bağlantıda birikmesi ya da dağılmasıdır. Bu yöntemde yalnızca

ilave metal erir, ana metalde bir ergime gerçekleşmez ve bağlantıya yakın bir bölgede ısılatma vasıtasıyla atomik bir difüzyon meydana gelir. Elektrik ark lehimlemede kullanılan kaynak donanımları MIG kaynağında kullanılanlar ile aynıdır. Kaynak teli biçimi, besleme ünitesinden beslenen ilave metal ve atmosfer koruma olarak MIG kaynağında kullanılan soy gazlardır. Elektrik ark lehimleme denilen bu yeni kavrama hem lehimleme hem de gaz altı kaynağına sahip karakteristiklerinden dolayı İngilizcede yaygın olarak kullanılan “MIG BRAZING” (MIG-Lehimleme) denilmiştir.

MIG-lehimleme düşük ısı girdisi ile kaynağın yakın bölgesinde korozyon korumasını sağlayan Zn miktarının minimum miktarlarda yanmasını sağlar. Genellikle MIG kaynağında elektrot telinin ergime sıcaklığı Zn (910°C) buharlaşma sıcaklığından daha yüksektir. Bu durum kaynak bölgesinde çinkonun buharlaşmasına sebep olur. MIG-lehimlemede ise lehim sıcaklığının azalması ile çelik sacda daha az çarpılma ve daha az Zn buharlaşacak ve düzen malzemenin ilk durumu gibi olacaktır. Guimaraes (2007) galvanizli çeliklerde çinko katmanının davranışını incelemiş ve galvaniz katmanının korumasında bir rolü olan Zn katmanının kaybında önemli bir azalma görmüştür [11]. Quintino (2006) galvanizli çelik sacların MIG lehimlemede koruyucu gazların etkisini incelemiş, farklı gaz korumalarda farklı ısı girdileri tespit etmiş ve buna bağlı olarak Zn kayıplarında değişimler olabileceğini söylemiştir [12]. Yu Zhi-shui (2006) galvanizlenmiş ince saclarda MIG lehimlemede bağlantının ara yüzeyinde oluşan bileşiklerin büyüme davranışlarını incelemiş ve ara yüzeylerde oluşan intermetalik bileşiklerini analiz etmiştir [13].

Bu çalışma otomotiv sektöründe kullanılan galvanizlenmiş TRIP 800 çelik saclarının MIG-lehimleme ile farklı akım şiddetleri, farklı lehim ilerleme hızları, farklı gaz debileri ve farklı torç açılarındaki birleştirilebilirliğini ve mekanik özelliklerini incelemektedir. Ayrıca farklı parametrelerde uygulanan lehim parçalarının mukavemet özellikleri incelenecektir.

Lehim kepini ve lehim kökünün yükseklikleri tespit edilerek farklı parametre değerlerinde ısı girdileri hesap edilerek en uygun parametre belirlenmeye çalışılacaktır. Belirlenen bu parametrelerle TRIP 800 galvanizlenmiş otomotiv

sacının diğer birleştirme yöntemlerine göre avantajlarının ispat edilmesi hedeflenmektedir.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK

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

Genel olarak, otomobil gövdesi metal sac parçalardan oluşmakta olup yaklaşık olarak toplam araç kütlesinin %25' ini meydana getirmektedir. Bu parçaların yeni nesil çelikler ile üretilmesi son zamanlarda büyük önem arz etmekte olup bu çelikler birim ağırlık için daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olmakta ve sac metal endüstrisindeki kullanımlarında çok hızlı bir artış görülmektedir [14,15].

Otomobillerde kullanılan sac parçalardaki kalınlık azaltılmasının araç ağırlığına olan etkisi bakımından malzemede sağlanan mukavemet artırımını ile daha ince kalınlıktaki parçaların kullanılması mümkün hale gelmektedir. Bu anlamda kalınlık azaltılması ile ağırlıkta yaklaşık %24' e varan bir kazanım elde etmek mümkün olmaktadır. Bu yeni nesil çeliklerin kullanımının artırılması için en uygun şekillendirme yönteminin belirlenmesi gerekmektedir [16].

Günümüzde gittikçe artan sürüş emniyeti gereksinimi, yakıt tasarrufu ve çevresel faktörlerden dolayı en azından araçların karasör kısmı hafifletmekte yani otomobillerde kullanılan sacların kalınlığı gittikçe azalmakta, ancak bununla birlikte,

bu sacların mukavemeti güvenlik gereksinimini karşılayabilmek için artmaktadır [17].

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

2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelikler

Otomotiv endüstrisinde kullanılan saclar yaygın olarak metalürjik dizaynlarına ve mukavemetlerine göre sınıflanırlar ve tanımlanırlar. Mukavemete göre yapılan sınıflandırmaya göre, Yüksek Mukavemet Çelikleri (HSS) çekme dayanımları 270-700 MPa olan çeliklerdir. Ultra-Yüksek Mukavemet Çelikleri (UHSS) çekme dayanımları 700 MPa'ın üstünde olan çeliklerdir [18].

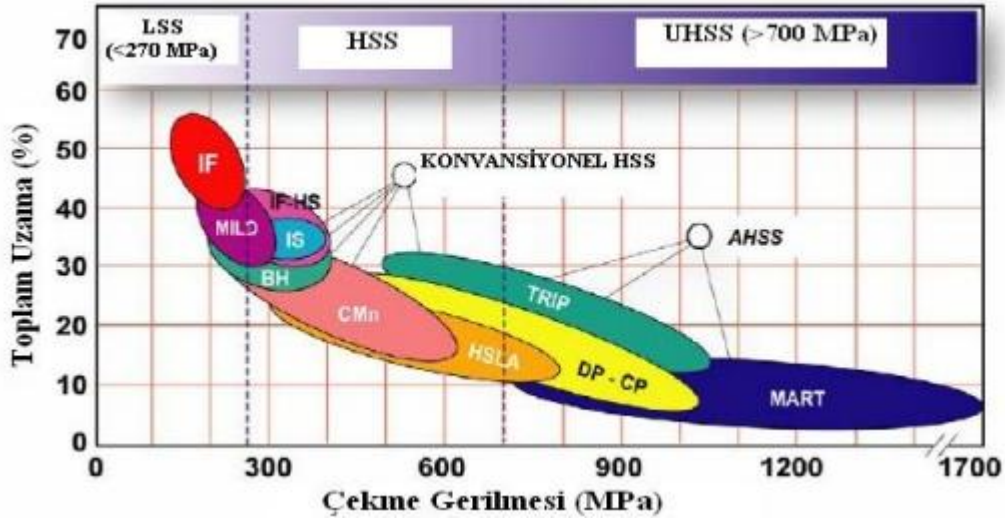
LSS, (Low Strength Steel) Düşük mukavemet çelikleri olup genellikle alaşımsız ve orta karbonlu çeliklerdir.

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

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

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

AHSS saclar ile diğer saclar arasındaki mukavemet ve % uzama oranları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. AHSS' in HSS ve UHSS çekme dayanım alanlarını kapladığı görülür. Genel olarak, AHSS ailesi benzer çekme dayanımlarındaki konvansiyonel HSS' den daha büyük toplam uzamaya sahiptir.



Şekil 2.1. AHSS saclar, düşük mukavemetli saclar ve konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar (HSS) arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi [19].

2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan AHSS Türleri

Konvansiyonel düşük ve yüksek mukavemetli çeliklerin (High Strength Steel -HSS) metalürjisi ve üretimi konvansiyonel çeliklere göre alışılmamış bazı özellikler içerir. Bütün AHSS'ler östenit veya östenit + ferrit fazından başlayarak kontrollü soğutmayla sıcak haddelenmiş ürünler için haddelene sırasında, kaplama veya tavlama yapılmış ürünler için tav fırınlarında- üretilirler [19].

2.2.1. Mikro alaşımlanmış YP ve MC çelik saclar

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

2.2.2. Çift fazlı yüksek mukavemetli çelikler

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

2.2.3. Dönüşümle plastikliği artırılmış (TRIP) çelikler

TRIP çeliklerinin mikroyapısı, birincil ferrit matrisi içerisine gömülmüş artık östenit şeklindedir. Artık östenitle beraber çeşitli miktarlarda martenzit ve beyrit gibi sert fazlar da görülür.

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

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

2.2.4. Kompleks fazlı (CP) çelikler

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

2.2.5. Martenzitik (Mart) çelikler

Martenzitik çelik elde etmek için, sıcak haddeleme ya da tavlama sırasında oluşan östenit, soğutma işlemi esnasında tamamıyla martenzite dönüştürülür [19]. Yapı ayrıca, şekillendirme işlemi sonrasında uygulanan ısıtma işlemiyle de elde edilebilir. Martenzitik çelikler 1700 MPa' a kadar çok yüksek çekme dayanımlarına çıkabilirler. Martenzitik çelikler çoğunlukla sünekliğin artırılması için su verme sonrası temper işlemine tabi tutulurlar. Sertleşebilirliğin artırılması ve martenzitin dayanımının artırılması için karbon ilavesi yapılabilir. Sertleşebilirliği arttırmak için ayrıca, mangan, silisyum, krom, molibden, bor, vanadyum ve nikel ilave edilir.

2.2.6. Gelişen AHSS türleri

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

2.2.6.1. IF çelikleri (Instertital-Free)

If (Instertital-Free) çelikleri mükemmel derin çekilebilirliğin gerektiği yerlerde yaygın olarak kullanılan bir çelik türüdür. IF çelikleri sıcak daldırma ile galvanizlemeye ya da sürekli tavlama hatlarında ekstra derin çekme sacların üretimine olanak sağlar. Bu çelikler arayer katı eriyiği oluşturan elementler olan düşük karbon ve azot içeriklerinden dolayı (örnek olarak $<0,0030$ %C ve $<0,0040$ %N) biçimlendirmeye en uygun olup, ayrıca düşük akma dayanımı ve kesit incelmeye karşı yüksek direnç gösterirler.

Karmaşık geometriye sahip şekillendirilmesi zor olan otomotiv gövde parçaları, derin çekmeye uygun kalite çeliklerin sahip olduğu akma mukavemet değerlerinin altındaki değerlere sahip çeliklerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmaların sonucunda son derece düşük miktarda arayer elementi içeren ve %50 gibi iyi bir uzama ve akma dayanıcı $13-15$ kg/mm² mükemmel derin çekilebilir soğuk haddelenmiş çelik olarak tanımlanan yumuşak IF çelikleri üretilmiştir. Otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan IF çelikleri 7111, 7114, 6224, 3010 olarak sıralanabilir.

2.2.6.2. Yumuşak çelikler

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

2.2.6.3. Fırında sertleştirilebilen (BH) çelikler

Fırında sertleştirilebilen çelikler ana ferritik mikroyapıdadır ve katı çökelti sertleştirilmesi ile sertleştirilirler. Bu çeliklerin belirleyici özellikleri kimyaları ve üretimidir. Çelik üretimi esnasında karbon çözültide tutulur, boya pişirme esnasında

karbonun çözültiden çıkması sağlanır. Bu sayede şekil verilmiş çeliğin akma dayanımı yükselir.

2.2.6.4. İzotropik çelikler

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

2.2.6.5. Karbon-mangan (CM) çelikleri

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

BÖLÜM 3. TRIP ÇELİKLERİ

3.1. Giriş

Son yıllarda çeşitli endüstriyel alanlarda ve özellikle otomotiv endüstrisinde spesifik karakterli çelik istekleri artmıştır. Yüksek dayanım, şekil verilebilme buna bağlı olarak çeliklerin sünekliğin artırılması isteği yeni nesil çeliklerin üretilmesini zorunlu kılmıştır. Ayrıca diğer çelik türlerine göre yüksek dayanımın daha düşük parça kalınlığıyla istenmesi de beraberinde yolcu güvenliği ve yakıt tasarrufunu getireceğinden önemlidir. TRIP (TRansformation Induced Plasticity) yani dönüşüm katkılı plastiklik çelikleri otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş yüksek mukavemetli (AHSS) çeliklerin üçüncü nesil üyesi olan bir türüdür.

3.2. TRIP ve TRIP Takviyeli Çelikler

İlk olarak Wasserman [21] demir-nikel çeliklerinde östenit-martenit faz dönüşümü sırasındaki plastisite artışını araştırmıştır. Dönüşüm katkılı süneklik ya da TRIP etkisi tek fazlı östenitik çeliklerde Zackay [22] tarafından daha detaylı olarak araştırılmıştır. TRIP çelikleri 1980 yılından beri akademi ve endüstri çevrelerinden ilgi görmektedir.

3.2.1. TRIP çeliği çeşitleri

TRIP çeliklerinin iki tipi vardır:

- 1- SUS304 östenitik çeliği gibi yüksek alaşımlı paslanmaz çelik (H TRIP)
- 2- Düşük alaşımlı ferritik-beynitik çelik (L-TRIP)

H-TRIP çelikleri oda sıcaklığında yararlı kararlı östenit oluşumuna yol açan önemli miktarda Ni, Cr ve/veya Mn içerir [23]. Bu östenitik çeliklerdeki çatlak veya çentiklerin yakınındaki küresel zorlanma ama aynı zamanda yerel zorlanma bir martenzitik dönüşüme sebep olabilir. TRIP etkisi dikkate değer ve çatlak yayılmasına karşı bir engel sunuyor olsa da, H-TRIP malzemesinin pahalı olması ve bu nedenle teknolojik önemi kısıtlı olduğunu akılda tutmak gerekir.

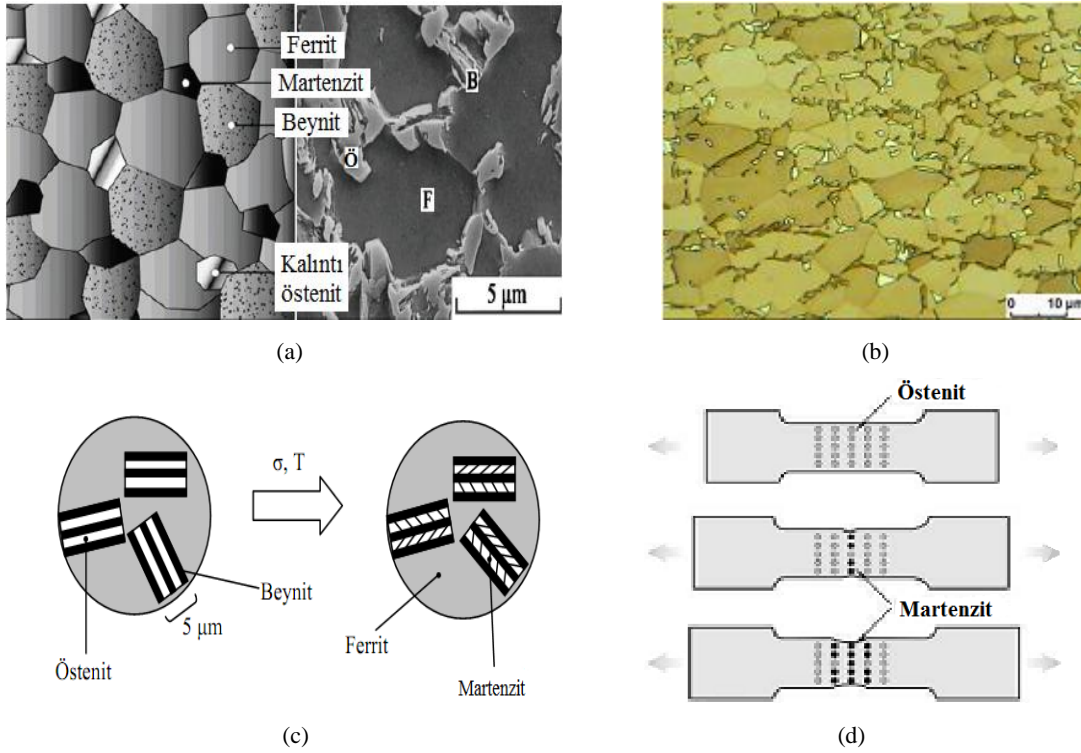
L-TRIP çelikleri, ferritik-martenzitik matris ile %10-15 kalıntı östenitten oluşur ve tane ana faz yapısının formunda inklüzyonlar halinde veya tane sınırlarında katmanlar haline bulunarak H-TRIP çeliklerine göre önemli ölçüde farklılık gösterir. Bu nispeten ucuz L-TRIP çeliklerinin işleme teknolojileri önemli ölçüde artmaktadır [24].

3.3. Mikroyapı

TRIP çeliğinin mikroyapısında yumuşak ferrit matris içinde, beynit ve karbonca zengin kalıntı östenit içerdiğinden üç fazın da belli oranlarda üstün mekanik özellikleri malzeme gelişimine katkı sağlamaktadır. TRIP çelikleri ferritik ana matris içinde dağılmış kalıntı östenit adacıkları ve beynit içeren bir mikroyapıya sahiptir [25]. TRIP çeliklerinde mikroyapı hacimce yaklaşık %50-60 ferrit (α), %25-40 beynit $\alpha_{(B)}$ ve %15 kalıntı östenitten (γ) oluşmaktadır [26]. Ferrit, çeliğe yüksek süneklik veren sünek matris fazıdır, beynit/martenzit çeliğe yüksek dayanım verir, kalıntı östenit ise TRIP etkisinin kaynağı ve TRIP çeliklerinin en önemli faz bileşenidir. TRIP çeliklerinin mekanik özellikleri mikroyapıda bulunan düşük miktardaki kalıntı östenit tarafından kontrol edilir. Plastik gerinim altında gerekli aktivasyon enerjisi sağlandığı zaman, yarı kararlı kalıntı östenitin martenzite dönüşmesinden dolayı TRIP çelikleri, yüksek dayanım ve süneklik kombinasyonuna sahiptir. Östenitin martenzite dönüşmesi aynı zamanda kalıcı sertleştirimin artmasına ve mikroskobik daralma başlamasında gecikmeye yol açar [27].

TRIP çeliklerindeki bu hakim deformasyon mekanizmaları, istifleme hata enerjisi ve östenit stabilitesini etkilediğinden kimyasal kompozisyon ve deformasyon sıcaklığı faktörleri tarafından kontrol edilir.. İstifleme hata enerjisi ve östenit stabilitesi artan

sıcaklıkla beraber artar [28]. Östenitin kararlılığını etkileyen önemli faktörlerden bazıları kimyasal kompozisyon, karbon zenginleştirme ve östenitin tane boyutu, etrafını saran matrisin stres durumu ve sıcaklıktır [29].



Şekil 3.1. (a) TRIP çeliğindeki mikroyapılar, (b) TRIP çeliğindeki kalıntı östenitin EBSD (Elektron Geri Yansıma Difraksiyonu) haritası, (c) ve (d) TRIP etkisinin mekanizması [6, 30].

3.4. TRIP Çeliklerinin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

3.4.1. TRIP çeliklerinin genel özellikleri

TRIP işlemi, malzemeye uygulanan deformasyon sonucu, östenitin martenzite dönüşümü sırasında deformasyon sertleşme katsayısının artmasıyla, homojen deformasyon bölgesinin genişletilmesidir. Çeliklerde östenit mukavemetle birlikte özellikle süneklik sağlar. Yüksek dayanım ve süneklik gösterdiği için özellikle otomobil endüstrisinin isteklerini karşılamaktadır.

Bu çelikler, yüksek pekleşme kapasitesine sahiptir. İyi gerilim dağıtımı ve iyi çekilebilirlik özelliği gösterirler. Gerilim sertleşmesinin bir sonucu olarak mamul parçanın, mekanik özellikleri, ve özellikle akma dayanımı ilk haline kıyasla daha

üstündür. Yüksek pekleşme kapasitesi ve yüksek mekanik dayanım bu çeliklere mükemmel enerji emme kapasitesi vermektedir. TRIP çeliklerinin ayrıca çarpma performansını daha da arttıran deformasyonu takip eden fırında sertleşme (BH) özelliği güçlüdür.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan TRIP takviyeli çeliklerin çekme dayanımları 700-900 Mpa, kopmadaki uzamaları ise % 15-35 aralığındadır. Bu çeliklerin dayanımlarını ve şekillendirilebilirliğini geliştirmek için son yıllarda birçok araştırma yapılmıştır. Son yapılan çalışmalarda dayanımı ve şekillendirilebilirliği arttırmada ferrit dayanımını arttırmak için kimyasal bileşimdeki mangan oranını arttırmak veya NbC gibi çökeltiler ilave etmek bir yoldur, fakat bu maliyeti artırır ve düşük alaşım elementi içeren TRIP çeliklerindeki %4 olan alaşım elementi miktarını aşar [31].

3.4.2. Kullanım alanları

Yüksek enerji emme kapasitesi ve yorulma dayanımının sonucu olarak, TRIP çelikleri özellikle boyuna kirişler, B-sütunu takviyeler, eşikleri ve tampon takviye gibi otomotiv yapısal ve güvenli parçalarının üretimi için uygundur.



Şekil 3.2. (a) B-ayağı takviyesi (elektro galvanizli TRIP780 1,2 mm), (b) tampon traversi (elektro galvanizli TRIP780 1,6 mm).

3.5. TRIP Takviyeli Çeliklerin Mekanik Özellikleri

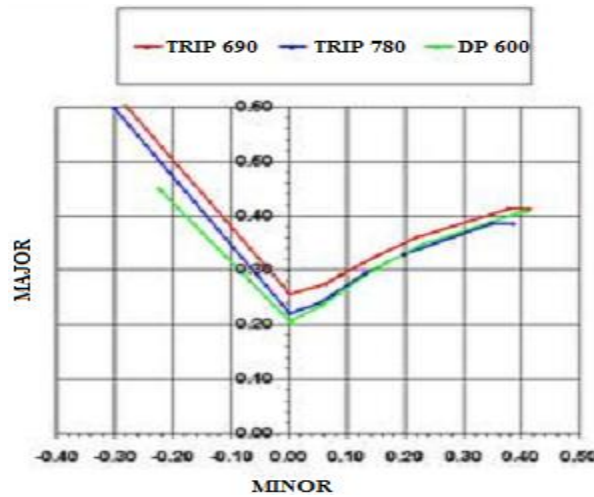
Daha önce de belirtildiği üzere TRIP çelikleri diğer benzer mukavemet değerlerine sahip çelikler ile kıyaslandığında yüksek şekillendirilebilme kabiliyeti ile bu çeliklere

üstünlük sağlamaktadır. İçyapıda beynitik dönüşüm esnasında dönüşmeden kalan kalıntı östenit malzemeye TRIP etkisi kazandırarak şekillendirilebilme kabiliyetine ciddi anlamda katkı sağlamaktadır ve TRIP takviyeli çelik içerisinde bulunan kalıntı östenit miktarı ne kadar artarsa elde edilecek olan şekillendirme de o kadar büyük olmaktadır.

Artan uzama oranları ile TRIP çeliğinin akma ve çekme dayanımı artar, fakat üniform uzama ve kopma uzaması azalır [32].

3.5.1 Şekillendirilebilirlik

Malzemelerin mukavemeti arttıkça şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin azaldığı bilinmektedir. Metalik sacların biçimlendirilmesi esnasında meydana gelebilecek çatlamları kontrol etmek amacıyla çizilen biçimlendirme sınır diyagramları yardımıyla çeşitli malzemelerin biçimlenebilme kabiliyetleri karşılaştırılabilir. Aşağıdaki şekilde TRIP690, TRIP780 ve DP600 çelikleri için şekillendirme sınır eğrileri görülmektedir. Şekillendirilebilirlikleri daha düşük dayanımlı çift fazlı DP600 çeliğine göre daha üstündür.

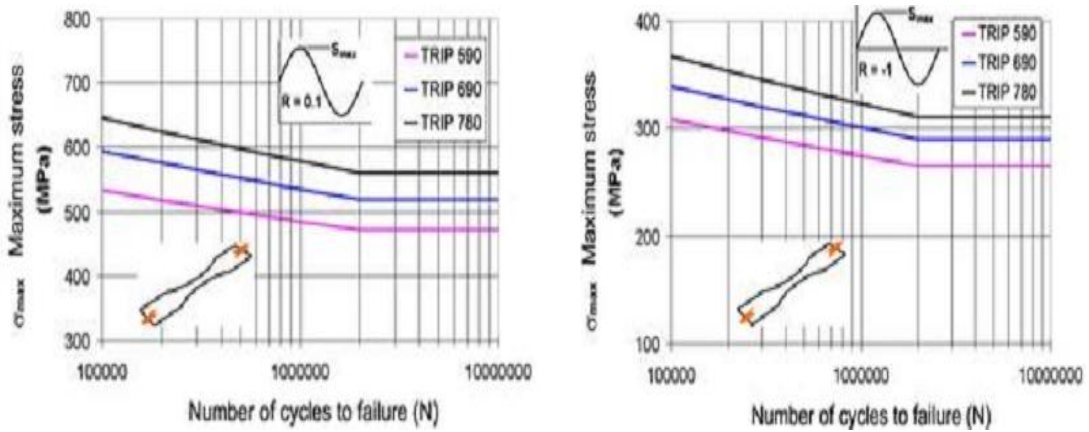


Şekil 3.3. TRIP 690 ve TRIP 780 için şekillendirme sınır eğrileri.

TRIP çeliklerinin sıcak deformasyonu germe şekillendirme uygulamaları için çok caziptir. Yüksek dayanımlı TRIP destekli çift fazlı sac çeliklerin sıcak germe-biçimlendirilebilirliği bir çok literatürde belirtilmiştir [33].

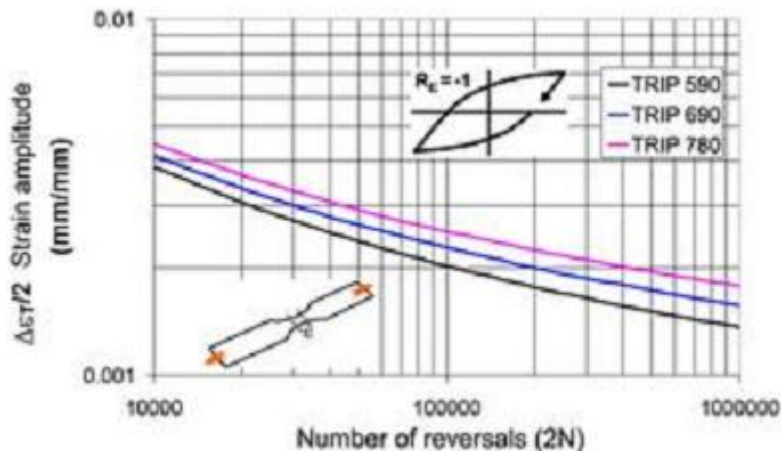
3.5.2. Yorulma dayanımı

Yüksek mekanik dayanımları nedeniyle, TRIP sınıfı çeliklerin geleneksel çeliklerden daha iyi yorulma dayanımları vardır. Aşağıdaki iki grafikte çeşitli TRIP sınıfları için Wöhler grafikleri gösterilmektedir. Kopmaya kadar olan maksimum stres eğrileri -döngü sayısı görülmektedir. İki yükleme oranına göre hesaplanılmıştır: gerilme basınç $R = -1$ ve gerilme-gerilme $R = 0.1$.



Şekil 3.4. TRIP çelikleri için Wöhler/S-N eğrileri.

Aşağıdaki şekilde aynı çelikler için düşük çevrimli yorulma veya E-N eğrileri gösterilmiştir. Gerilme genliği eğri çizgileri-tersine dönüş sayısı grafikte görülmektedir.(bir döngü iki tersine dönüşe karşılık gelir).

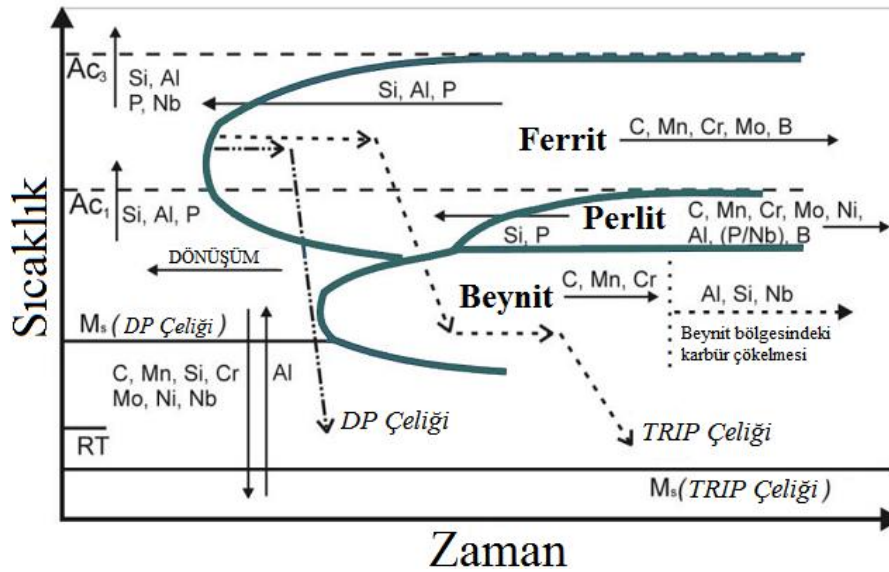


Şekil 3.5. TRIP çelikleri için düşük çevrimli yorulma veya E-N eğrileri [34].

3.6. TRIP Çeliklerinde Alaşım Elementleri ve Etkileri

TRIP çelikleri düşük alaşım elementi içeriğiyle karakterize edilirler. Örneğin mevcut 800 MPa TRIP çeliklerindeki toplam alaşım elementi oranı % 3,5' tur. TRIP çelikleri genelde eşsiz bir çok fazlı yapı elde etmek için çift fazlı çelik sınıflarından daha yüksek miktarda karbon ve silisyum ve/veya alüminyum içerirler [35]. TRIP çelikleri normal karbon-mangan çeliklerine göre bileşimce daha fazla silisyum içerirler, bu nedenle sıcak deformasyon sırasındaki dinamik ve statik yeniden kristalleşme davranışı etkilenir [36].

Geleneksel TRIP çeliklerinin bileşimi Matsumura tarafından C: %0.12-0.55, Mn: %0.20-2.5 ve Si: %0.40-1.8 olarak önerilmiştir [37]. Yüksek süneklik ve mukavemet elde etmek için son yirmi yılda 0.2–0.4% C, 1.0–2.5% Mn, ve 1.2–2.0% Si içeren TRIP çelikleri yaygın olarak çalışılmıştır [38]. Ancak geleneksel TRIP çeliklerinin kimyasal bileşimi C: % 0.1-0.4, Mn: % 1.5 ve Si: %1.5'dir [39]. Yani TRIP çelikleri için düşük alaşım C-Mn-Si çelikleridir denebilir.



Şekil 3.6. Alaşım elementleri etkisinin TTT diyagramındaki davranışı [40].

3.6.1. Karbon

Karbon içeriği, ana mikroyapısal bileşenlerin arasındaki dağılımının malzeme özelliklerine temel bir etkisi olduğundan dolayı TRIP çeliğinin bileşiminde önemli bir rol oynar. TRIP çeliklerinin geliştirilmesi sürecinde optimum şekillendirme

oranlarında en az 1 GPa mukavemet ve %18 uzama değerlerine ulaşılması üzerine odaklanılmıştır. Bu özelliklere ulaşmanın bir yolu karbon miktarının artırılmasıdır. Östenitin kararlılığını artırır ve böylece östenit ortam sıcaklığının altında (yaklaşık 15 °C–25°C) kalıntı olarak bulunabilir. Karbon içeriği, mevcut TRIP çeliklerinde kaynak kabiliyeti için % 0,20-0.25 veya daha az oranda tutulur. Karbon miktarının artması malzemenin kaynaklanabilirliğini düşürecektir. Bu yüzden, uygun kaynaklanabilirlik için karbon içeriğinin %0,25 ile sınırlandırılmalıdır. TRIP çeliklerinde kaynaklanabilirliğinde bozunma olmadan mekanik özelliklerin artırılması için bir diğer yaklaşım Ti, Nb, V gibi mikro alaşım elementlerinin eklenmesidir.

Karbon dışındaki alaşımlandırma elementlerinin malzemeye ilave edilme sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- İç yapıdaki kalıntı östenit miktarının optimize edilmesi
- Sementit çökmesinin kontrol edilmesi
- Ferrit fazının dayanımının artırılması
- Sertleşebilirliğin artırılması

3.6.2. Mangan

Mangan içeriği, TRIP çeliklerinde sertleşebilirlik için gereklidir. Mangan, bir östenit stabilizatörü olarak, sementitin çökmeye başlama sıcaklığı düşürür. Mangan ayrıca ferrit ve östenit içerisindeki karbon aktivite katsayısını azaltır ve ferrit içindeki karbon çözünürlüğünü artırır. Mangan, sementit içinde çözünür. Yüksek mangan içeriği, (% 2.5 civarı) mikroyapıda şeritlenme ve aşırı stabilize kalıntı östenite yol açtığı için elverişli değildir. Tipik TRIP çeliklerinde mangan oranı sertleşebilirlik için yaklaşık % 1,5 civarındadır.

3.6.3. Silisyum

Silisyum içeriği, önemli ölçüde ferrit ve östenitteki karbon aktivite katsayısını artırır ve ferritteki karbon çözünürlüğünü azaltır. Silisyum ayrıca sementitin belirli bir yaşlanma zamanında ferrit içinde çökmeye başlama sıcaklığını artırır. Silisyum

östemperleme aşamasında sementit oluşumunu engeller. Bu genellikle silisyumun sementit içinde son derece düşük bir çözünürlüğe sahip olması ile açıklanabilir. Beynitik dönüşüm denge diyagramı koşullarında gerçekleştiğinde, sementitten uzak silisyumun uzun menzilli difüzyonunun önemli bir rol oynayabileceği olası değildir. Silisyumun beynitik dönüşüm sırasında karbürlerin büyüme oranını etkilemesi beklenmemektedir. Silisyumun etkisi, sementitin çekirdeklenmesi üzerinde ve ferrit, östenit ve sementitin karbon aktivite katsayısında etkisi olduğu için sınırlandırılmalıdır. Bir sementit çekirdeğinin etrafındaki silisyum birikimi lokal olarak karbon aktivitesini arttırabilir ve çekirdeğe karbon difüzyonunu engelleyebilir. Endüstriyel bir açıdan bakıldığında, silisyumun beynitik dönüşümün kinetiğini büyük ölçüde azalttığını anlamak önemlidir; diğer ifadeyle soğuk haddelenmiş C-Mn-Si tipi TRIP çeliklerinin üretimi sadece uzun östemperleme bölümü olan uzun “aşırı yaşlanma” hatlarında gerçekleştirilebilir.

Silisyum oranı düşük ve hatta silisyum içermeyen kompozisyonlar önerilmiş olmasına rağmen, TRIP çeliklerindeki silisyumu tamamen bünyeden çıkarmamak ve en az % 0,3-0,8 oranında olması silisyum, östemperleme aşamasında en etkili sementit oluşumunu önüyor gibi görünmektedir. Bu nedenle sadece kısmi olarak %1 silisyumun %1 alüminyumla değiştirilmesi idealdir [41].

Yüksek silisyum içeriği sıcak haddelene sırasında yüzeye kolayca haddelenen çok sağlam bir oksit tabakasıyla sonuçlanabilir. Ayrıca asitle temizlenmesi zordur ve sıcak haddelenen çelikler için yetersiz yüzey özellikleri meydana getirir [42, 43].

3.6.4. Alüminyum

Alüminyum temel olarak TRIP çeliklerinin üretimi sırasında karbür çökmesini engellemek için ilave edilse de önemli ölçüde östenit fazının termodinamik kararlılığını etkileyebilir [44]. Galvanizleme sırasında yüzey kalitesi sorunlarını azaltmak amacıyla, sementit oluşumunun önlenmesi için silisyuma benzer fakat daha zayıf bir etkiye sahip ve buna ek olarak beynit formasyonu kinetiğini arttırdığı için yeni nesil TRIP çeliklerine silisyum yerine kısmen alüminyum ilave edilir. Diğer taraftan alüminyum katı çözültü sertleşmesi silisyumdan önemli ölçüde daha

düşüktür. Ayrıca yüksek alüminyum içeriği sürekli dökümde sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, aynı zamanda sementit oluşumunu inhibe eden ferrit üzerine güçlü bir katı çözültü sertleşmesi etkisi olduğundan fosfor ilave edilir [45]. Bununla birlikte bu elementin tane sınırında ayrılma eğilimi vardır [46].

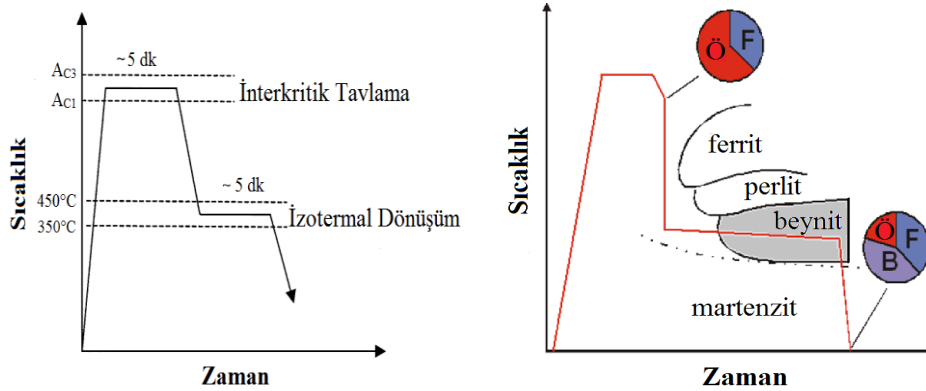
3.6.5. Niyobyum

Katı eriyikte çözülmüş Niyobyum(Nb) sıcak deformasyon sırasında yeniden kristalleşme sürecini ve soğuk haddelenmiş C-Mn-Si TRIP çeliklerinde östenitten ferrite dönüşümü geciktirir. Bununla birlikte sıcak deformasyon sırasında niyobyum, karbon ve azot gibi ara yer atomları ile birleşerek Nb(C,N) çökeltileri oluşturur. Bu yeniden kristalleşme ve tane büyümesini geciktirir ve çökelti sertleşmesine sebep olur. Ayrıca niyobyumun ferrit, östenit tane boyutuna ve beynit formasyonunun oluşumunu geciktirdiği rapor edilmiştir [26]. Martenzit oluşum sıcaklığını düşüren ve beynitik dönüşüm esnasında içyapıda karbid(SiC) oluşumunu geciktiren niyobyum elementi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak Niyobyumun tane sınırındaki hareketi ve element taşınımı TRIP etkisini etkilediği gözlenmiş buna ilave olarak ta malzemenin akma gerilmesini 50 MPa kadar artırırken çekme dayanımında herhangi bir etkisinin bulunmadığı da gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda soğuma altındaki östenitin dinamik dönüşümü (DTUA) yöntemiyle yapılan sıcak haddeme yönteminde niyobyum eklenmesiyle önceden çekme dayanımı 780 Mpa olan C-Mn-Al-Si TRIP çeliğinin çekme dayanımı 840 MPa olmuştur [47].

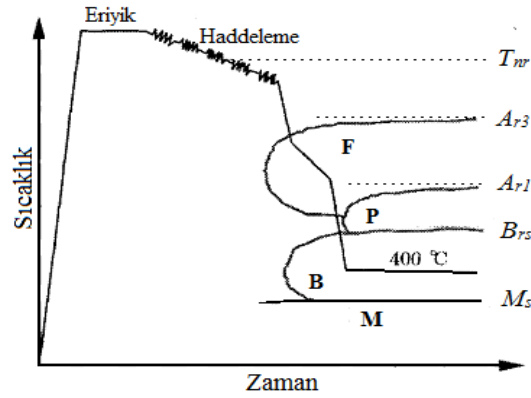
3.7. TRIP Çeliklerinin Isıl İşlemi

Soğuk haddelenmiş çelik levhalar durumundaki TRIP çok fazlı çeliklerinin mikroyapıları iki aşamalı ısıl işlem ile elde edilmektedir. Çift fazlı çelikler için ilk aşama, başlangıç mikroyapısının östenite dönüştüğü interkritik tavlama dır. Çift fazlı çeliklere direkt oda sıcaklığına kadar su verilirken, TRIP destekli ilk olarak ferrit ve östenit fazlarının stabil olduğu A_{C1} ve A_{C3} sıcaklıklarının arasında yani 780-880°C aralığında interkritik tavlama yapılır. İnterkritik tavlama esnasında en güçlü östenit stabilizatörlerinden biri olan karbon elementi ilk kez meydana östenit fazına yerleşir.

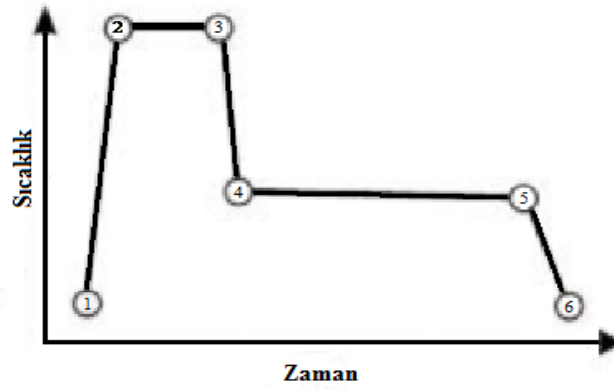
Fakat bu karbonca zenginleştirme kalıntı östenitin oda sıcaklığında kararlılığını sağlamak için yetersizdir. Sonuç olarak, beynitik dönüşüm sürecinde olan ikinci bir karbon zenginleşmesi beklenir. TRIP çeliklerine silisyum ve/veya alüminyum ilavesi ile sementit çökmesi son derece önlenir, böylece dönüşmemiş östenit yeterli karbon atomunu tutabilir [48]. İnterkritik tavlama sonrası TRIP çeliklerinin mikroyapısı neredeyse aynı oranda ferrit ve östenit içermekte olup, sıcak haddelenmiş TRIP çeliklerinin mikroyapısına göre ferrit tavlama öncesi mikroyapıda bulunmaktadır, soğutma sırasında oluşmamaktadır. İkinci aşama izotermal beynitik dönüşümdür (IBT). İnterkritik tavlama sonrası çelik hızlıca beynitik dönüşme sıcaklık aralığına kadar soğutulur (tipik olarak 350-450°C) ve bu sıcaklıkta yaklaşık beş dakika beklenir. Bu izotermal bekleme sırasında, (östenitin bir kısmının beynite dönüşmesi kalan östenitin oda sıcaklığında kararlı) östenit çoğunlukla beynite dönüşür, fakat bu arada geri kalan östenit oda sıcaklığına kadar su verildiğinde martenzit dönüşüm sıcaklığı (M_s) oda sıcaklığından düşük olduğu için martenzite dönüşmez, stabil kalır ve son mikroyapı hacimce %50-60 ferrit, %25-40 beynit, %5-15 kalıntı östenitten oluşmaktadır [49]. İzotermal beynitli dönüşüm (IBT) süresi ve sıcaklığı TRIP çeliklerinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.



Şekil 3.7. TRIP çeliği ısıl işlemi ve TRIP çeliğinin soğuk haddeme sıcaklık- zaman grafiği.



Şekil 3.8. TRIP çeliğinin sıcak haddeleme sıcaklık- zaman grafiği (T_{nr} yeniden kristalleşme sıcaklığı, A_{r3} , A_{r1} , B_{rs} ve M_s ise ferrit, perlit, beynit ve martenzit dönüşüm başlama sıcaklıkları) [50].



<u>Adımlar</u>	<u>Metalurjik özellikler</u>
1 → 2	Yeniden kristalleşme Sementitin çözünmesi
2 → 3	Element alaşımlanması ve karbon segregasyonu Tane büyümesi Karbonitrürlerin çökmesi Perlit ve ferlitin östenite dönüşümü
3 → 4	Östenitin ferrite dönüşümü Karbon segregasyonu
4 → 5	Östenitin beynite dönüşümü Karbon segregasyonu Sementitin olası çökmesi
5 → 6	Östenitin martenzite olası dönüşümü

Şekil 3.9. Soğuk haddelenmiş TRIP çeliklerin işlemden geçirilmesi sırasında metalurjik özellikleri.

TRIP çeliklerin üretim teknolojisi için iki farklı üretim yöntemi vardır. Birincisi sıcak haddeleme prosesidir. Çeliğe kontrollü haddeleme ve beynit dönüşüm

sıcaklığına kontrollü soğutmanın uygulandığı yöntemdir. Diğeri soğuk haddelenmiş ve sürekli tavlama ile üretim yöntemidir [51]. TRIP çelikleri genelde soğuk haddeleme ile üretilir. Eğer TRIP çeliklerini sıcak haddeleme ile üretmek mümkün olsa, TRIP çeliklerin üretim maliyetleri azaltılmış ve aynı zamanda enerji tasarrufu ve çevrenin korunması için faydalı olacaktır. TRIP çeliklerinin sıcak haddelenmesindeki zorluk sıcak haddeleme sonrası soğutma sürecinin nasıl düzgün kontrol edileceğidir [52]. TRIP çeliklerinin sıcak haddelemeyle geliştirilmesi konusunda birkaç çalışma olmuştur. Termomekanik kontrollü işlem (TCMP) bu yöntem bu çeliklerin özelliklerinin geliştirilmesi bir fırsat açabilir [53]. Bu yöntemle poligonal ferrit, granüler beynit ve daha büyük miktarda stabilize kalıntı östenit elde edilebilir [54].

3.8. TRIP Çeliklerinin Galvanizlenmesi

TRIP çeliklerinin geniş ölçüde ağırlığı düşük otomobil gövdelerinde kullanılmasının önündeki önemli problemlerden biri sıcak daldırma galvanizlemedeki düşük ıslanabilirliktir. Kütlece % 0,5' den daha yüksek silisyumun çeliğin bünyesinde bulunması çok kararlı ve dayanıklı bir Mn_2SiO_4 film tabakasının TRIP çeliklerinin yüzeyinde üretimin değişik safhalarında oluşmasına yol açar ve galvanizleme boyunca yüzeyin ıslanmasına mani olur [55].

BÖLÜM 4. LEHİMLEME

4.1. Lehimleme

Genel olarak iki ya da daha fazla malzemenin, uygun bir ilave metal kullanılarak, ilave metalin ergime sıcaklığının üzerinde; ancak ana metallerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta yapılan birleştirme işlemleri lehimleme olarak tanımlanır. Bu tanıma göre lehimleme, sadece ilave metallerin ergiyip katılmasıyla ana metaller arasındaki birleştirme bağının oluşturulduğu bir yöntemdir. Burada birleştirilen malzemelerin kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ergimesi söz konusu değildir [56, 57].

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

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

Lehimleme ile birleştirilecek parçaların kullanılacağı servis ortam sıcaklığı, dolgu metalinin ergime sıcaklığından düşük olmasına dikkat edilir. Sert ve yumuşak lehimleme elektronik, uzay ve havacılık endüstrilerinden günlük tesisat uygulamalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır [57].

4.2. Yumuşak Lehimleme

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

4.3. Sert Lehimleme

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

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

İlave dolgu metali, birleştirilecek parçaların yüzeyine ulaştığı için, kenarlarda gerilim azalması olacağından dolayı mekanik özellikler artar. Bu yöntemle genellikle darbe ve titreşimlere karşı dayanıklı bir birleştirme elde etmek mümkündür. Dolgu metali ile birleştirilecek parçalar arasında, reaksiyon sonucu gevrek metaller arası fazlar meydana gelebilir. Bu gevrek fazların miktarına bağlı olarak, birleştirme mukavemeti azalabilir [58]. Bu yöntemin en önemli avantajı benzer olmayan farklı özelliklerdeki malzemelerin birleştirilmesi yapılabilmektedir. Örneğin; metal ile seramiklerin sert lehimleme yöntemi ile birleştirilmesi, demir esaslı metaller ile demir dışı metallerin birleştirilmesi, paslanmaz çelik ile bakırın birleştirilmesi mümkündür. Buna ilaveten karmaşık geometrilerin, farklı kalınlıktaki parçaların, lehimle tekniği ile birleştirilmesi mümkündür. Sert lehimleme, ana metalin ergime sıcaklığından düşük bir sıcaklıkta gerçekleştirildiği için, ana metalin mevcut özelliklerini değiştirecek aşırı bir ısınma olmaz. Lehimleme işlemi sonucunda parça çarpılması büyük oranda değildir [59,60].

4.4. MIG Lehimleme

MIG lehimleme tamamen yüzeysel amaçlar dolgulu bağlantılar ve dikişler olarak yıllarca uygulandıktan sonra birleştirme çeşidi olan MIG kaynağının yerini almaktadır. MIG kaynağında kaynak boyunca oluşturulan ısıdan dolayı galvanizli çelikler korozyon korumasını sağlayan özelliklerini kaybetmektedir. Oysa kaynak uygulamalarında malzemenin korozyon özelliklerinin kaybolması istenmemektedir. MIG lehimleme düşük ısı girdisi ile kaynağın yakın bölgesinde korozyon korumasını sağlayan Zn miktarının minimum miktarlarda yanmasını sağlar [61].

Genellikle MIG kaynağı elektrot telinin ergime sıcaklığı Zn (910°C) buharlaşma sıcaklığından daha yüksektir. Bu durum kaynak bölgesinde çinkonun buharlaşmasına sebep olur. MIG lehimlemede ise kaynak sıcaklığının azalması ile daha az Zn buharlaşacak ve düzen malzemenin ilk durumu gibi olacaktır [62]. Bir sıcaklığı düzenlemek için buharlaşma miktarı belirlenir. Bu kaynak makinesi

üzerindeki MIG lehimleme programını kullanmak için önemlidir. Makine üzerinde koruyucu gaz, ilave tel, özel kaplama için bu dizayn edilmiştir. Galvanik korumaya ek olarak MIG lehimlemedeki düşük ısı ilişkisi çeliğin mukavemetinden de ödün vermemektedir. Diğer pek çok sayıdaki karakteristikler MIG lehimleme ile birleştirilmiştir. Avantajları şunlardır:

1. Kaynak sıçraması çok azdır. İlave malzeme kaynak havuzunu kısa sürede besler.
2. Kaynaklı bağlantının sonu çıkışı daha kolaydır.
3. Damla geçişi sakin ve yumuşaktır.
4. Kaynak ısısı düşük olduğundan daha az çarpılma olur.
5. Kaynak boyunca iyi sızdırmazlık
6. Kaynak damlasının veya metali bölgesinde katodik koruma özelliği [62,63-64].

4.4.1. Birleşme

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

4.4.2. Donanım ve ilave tel

MIG lehimleme bir MIG kaynak makinesi kullanarak uygulanabilir. MIG lehimleme dolgu teli özellikle çelik saclar için yaygın olan CuSi3 tavsiye edilir ya da bronz alaşımları CuAl8 ve CuSn6 telidir. Elektrot kalınlık tipi 0.8-1.1-6 mm kullanılabilir. Tavsiye edilen kaynak gazı % 100 Argon'dur [63]. Fakat ark stabilizesini korumak adına %18 CO₂-Argon karışımı kullanılabilir.

4.4.3. Makine ayarları

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

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

4.4.4. MIG lehimleme birleştirmesinde kullanılan teller

4.4.4.1. CuSi3

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

MIG lehimlemede kullanılan CuSi3 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen malzemeler; CuSi2 Mn, CuSi3 Mn, CuMn5, CuMn2, galvaniz kaplı çelikler, bakır-çinko(pirinç) alaşımları, bakır-mangan alaşımlarıdır.

Tablo 4.1. CuSi3 lehim metalinin bileşimi - %.

Cu	Si	Mn	Fe	Ni
Kalanı	3	1	<0,20	0,1

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

Akma Dayanımı(N/mm²): 130
 Çekme Dayanımı(N/mm²): 220
 Uzama (L₀=5 d₀) (%): 30
 Sertlik: 55 HB
 Ergime Sıcaklığı: 970-1025°C
 Genleşme (25 - 300°C) (106 /K): 18
 Isı İletimi (20°C' de) (W/mK): 38
 Elektrik İletkenliği [S*m/mm²]: 3,8-4

4.4.4.2. CuAl8

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

MIG lehimlemede kullanılan CuAl8 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen malzemeler; çelikler, CuAl5, CuAl8, G-CuAl8, Mn, CuAl5 As, CuZn20Al2.

Tablo 4.2. CuAl8 lehim metalinin bileşimi - %.

Cu	Al	Mn	Fe	Sn
Kalanı	8	<0,5	<0,5	0,5

MIG Lehimlemede kullanılan CuAl8 içerikli lehim telinin mekanik değerleri aşağıda verilmiştir.

Akma Dayanımı(N/mm²): 200
 Çekme Dayanımı(N/mm²): 430
 Uzama (L₀ = 5 d₀) (%): 40
 Sertlik: 100 HB
 Ergime Derecesi: 1030-1035°C
 Genleşme (25 - 300°C) (106 /K): 17
 Isı İletimi (20°C' de) (W/mK): 67

Elektrik İletkenliği [$S \cdot m/mm^2$]: 8

4.4.4.3. CuSn6

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

MIG lehimlemede kullanılan CuSn6 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen malzemeler; çelikler, CuSn2, CuSn4, CuSn6, CuSn8, CuSn6 Zn, G-CuSn2 ZnPb, G-CuSn5 ZnPb, GCuSn6 ZnNi.

Tablo 4.3. CuSn6 lehim metalinin bileşimi - %.

Cu	Pb	P	Fe	Sn
Kalanı	<0,02	<0,2	<0,1	6

MIG Lehimlemede kullanılan CuSn6 içerikli lehim telinin mekanik değerleri aşağıda verilmiştir.

Akma Dayanımı(N/mm^2): 270

Çekme Dayanımı(N/mm^2): 410

Uzama ($L_0 = 5 d_0$) (%): 30

Sertlik: 100 HB

Ergime Derecesi: 910-1040°C

Genleşme (25 - 300°C) (106 /K): 18,5

Isı İletimi (20°C' de) (W/mK): 75

Elektrik İletkenliği [$S \cdot m/mm^2$]: 9

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türlerinden, üç fazlı çelik olarak adlandırılan TRIP 800 sacının MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olan MIG-lehimleme yönteminde, TRIP 800 sacının hangi akım şiddetinde, koruyucu gaz basıncında, torç açısında, ve lehimleme hızında birleştirilebileceğini belirlemek için her parametre kendi içinde incelenmiştir.

TRIP 800 saclarına MIG-lehimleme yönteminin tatbiki sonucu lehim bağlantılarında galvanik koruma sağlanmaktadır. Diğer birleştirme türlerinde meydana gelen galvaniz tabakasının sıcaklık etkisiyle buharlaşıp ortamdan uzaklaşmasına karşı bir çözüm olarak görülmektedir. MIG-lehimleme uygulaması koruyucu gaz altında yapılan lehimleme olarak tanımlanabilir. Bu işlemde nispeten düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımlar kullanılarak birleşme bölgesine giren ısı girdisinin azaltılması, buna bağlı olarak lehim uygulanan bölgedeki çarpılmanın ve yüzeydeki galvaniz tabakasının lehim işlemi uygulanırken buharlaşmasının önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

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

5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan saclar, otomotiv sektöründe kullanılan çift taraflı galvaniz kaplamalı 1,5 mm kalınlığındaki TRIP serisi saclardır. Yüksek mukavemet ve şekillendirilme kabiliyeti nedeniyle tamamen otomobil parçaları için kullanılan TRIP 800 çeliğinin spektrometrik analizi Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1. TRIP 800 çeliğinin kimyasal bileşimi.

Elementler (ağ. %)									
TRIP 800 1,5 mm	C	P	Mo	Co	Ti	Sn	Si	S	Ni
	0,179	0,011	0,025	0,072	0,014	0,01	1,719	0,007	0,074
	Cu	V	Mg	Mn	Cr	Al	Nb	W	Fe
	0,097	0,013	0,001	1,691	0,065	0,027	0,053	0,04	95,902

TRIP 800 çeliğinin çekme ve sertlik testleri sonucu elde edilen mekanik özellikleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. TRIP 800 çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı(N/mm²):	525
Çekme Dayanımı(N/mm²):	883 (min 780)
Uzama (%):	36
Sertlik(HV):	227

5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri

TRIP 800 numunelerine 1mm çapındaki Cu-Al8 bakır alaşımlı MIG kaynak teliyle MIG-lehimleme işlemi uygulanmıştır. Çalışmada %100 argon koruyucu gaz olarak kullanılmıştır.

Cu-Al8, alüminyum bronz (bakır-alüminyum) MIG kaynak teli olup bakır %8 alüminyum ihtiva eder. Metal metale aşınmaya ve deniz suyu ve asitler gibi korozif sıvılara maruz kalan parçalarda kullanılır. Telin kimyasal kompozisyonu Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Cu-Al8 lehim telinin kimyasal bileşimi.

Elementler (ağ. %)					
CuAl8 teli	Al	Ni	Fe	Mn	Cu
	8	<0,5	<0,5	<0,5	kalan

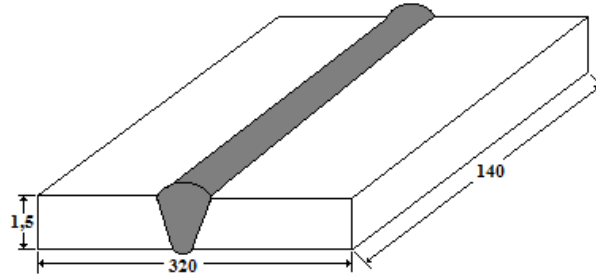
Cu-Al8 MIG kaynak teli TS EN 14640 normuna göre S Cu 6100 olarak kodlanmıştır. Telin mekanik özellikleri Tablo 5.4’de verilmiştir:

Tablo 5.4. CuAl8 lehim telinin mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı(N/mm²):	200
Çekme Dayanımı(N/mm²):	430
Uzama (L₀=5 do) (%):	40
Sertlik:	105 HV
Ergime Sıcaklığı:	1030-1035 °C

5.3.1. Numune Hazırlama

MIG-lehimleme işlemi öncesi 1,5 mm kalınlığındaki TRIP 800 sac plakalar hadde yönleri belirlenerek 160x140x1,5 mm ölçülerinde kesilerek aseton ile temizlenerek yağ ve kirlere arındırılmıştır.



Şekil 5.1. TRIP 800 sacının numune ebatları.

5.3.2. MIG lehimleme İşlemleri

MIG-lehimleme işlemleri akım kontrollü, 400 Amper kapasiteli bir MIG kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın hassasiyeti açısından bir kaynak sekatörü kullanılmıştır. Numunelerin hadde yönüne dikkat edilmiş, hadde yönüne 90 derece dik olarak lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirmeler alın altına ve bindirme birleştirme şeklinde uygulanmıştır. Numunelerde oluşabilecek çarpılmayı azaltmak için vidalı kalıp sistemi yapılmış, numuneler bu kalıba bağlanarak MIG-

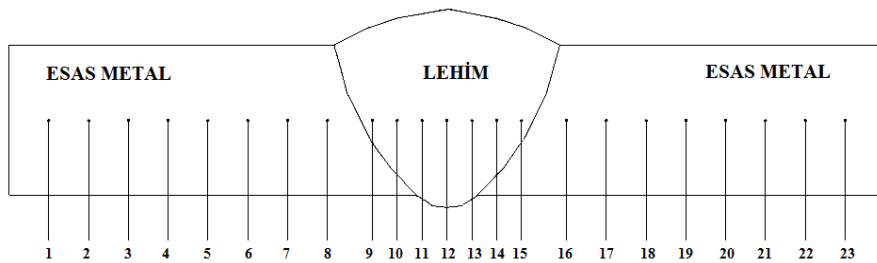
lehimleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. MIG-lehimleme işlemiyle ilgili fotoğraflar aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



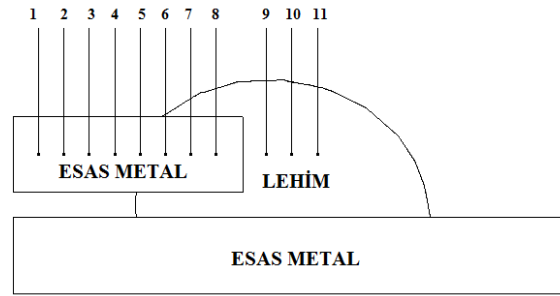
Şekil 5.2. MIG-lehimleme işleminin yapıldığı makine ve sekator.

5.4. Sertlik Ölçümleri ve Isı Girdileri

MIG-lehimleme işlemi uygulanan numunelerinin, esas metalden tamamen lehim uygulanmış bölgeye kadar değişik özellikler gösteren yerlerinden mikro sertlik ölçümleri alınmış ve bunlar grafik olarak gösterilmişlerdir. Ölçümler 0,5 mm aralıklarla alınmıştır. Sertlik ölçümleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterilen biçimde sıra-sertlik alımı şeklinde yapılmıştır.



Şekil 5.3. Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.



Şekil 5.4. Bindirme birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.

Laboratuvar ortamında yapılmış olan bütün mikro sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmış, 100 gr yük ve piramit batıcı uç kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Wolpert- Wilson marka cihaz ile yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda MIG-lehimlenen TRIP 800 sac parçalarının ısı girdisi hesaplarında kullanılan ısı girdisi formülleri aşağıda verilmiştir. Denklem 1.1. lineer ısı girdisi formülü, denklem 1.2 ise normalize ısı girdisi formülüdür [64]. Her iki denklemde işlem yapıldıktan sonra ısı girdisi değerleri elde edilmiştir.

$$\text{Isı Girdisi}_{\text{lineer}} = \frac{(60 \times A \times V) \times \eta}{\dot{I}.H.} \quad (1.1)$$

A = akım şiddeti (Amper), V = Gerilim (Voltaj), η = Kaynak akım verim katsayısı (MIG için 0,7), $\dot{I}.H.$ = İlerleme hızı (m/dk)

$$\text{Isı Girdisi}_{\text{normalize}} = \frac{\text{Isı girdisi}_{\text{lineer}}}{e} \quad (1.2)$$

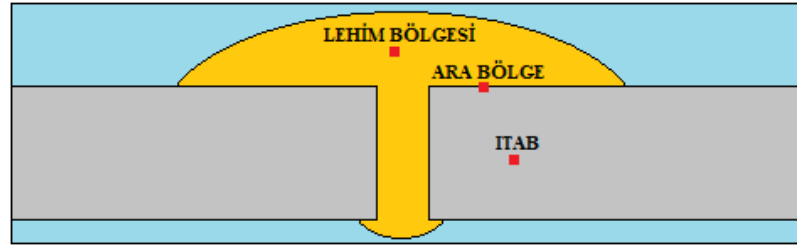
e = parça kalınlığı

5.5. Mikroyapı

5.5.1. Mikroyapı incelemeleri

MIG-Lehimleme yapılan lehimlenmiş numunelere optik mikroskopta mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Numuneler sırasıyla 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalarda zımparalandıktan sonra 0,3 μm (Al_2O_3) alümina solüsyonu ile parlatılmış daha sonra numuneler Marshall reaktifi dağılayıcısıyla (A: 5 mL sülfirik asit(konsantre), 8 gr oksalik asit, 100 mL su, B: %30 hidrojen peroksit çözeltisi. A ve B dağılamadan önce %50-%50 oranında karıştırılarak dağılayıcı

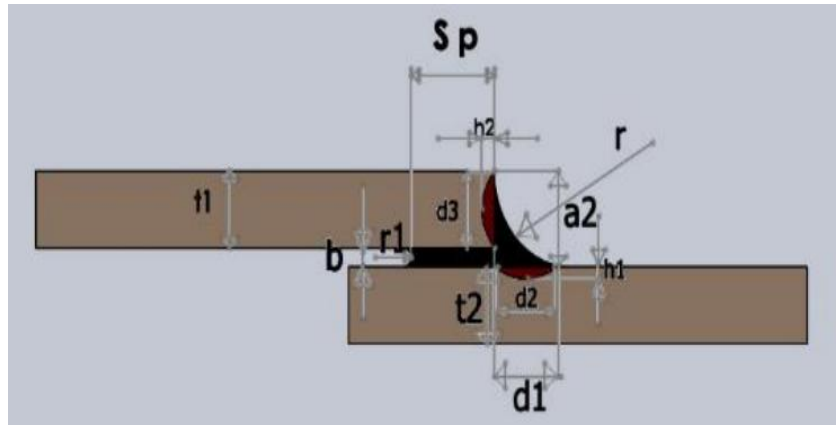
hazırlanır.) 3-4 sn dađlanmıřlardır. Hem dűřuk hem de yűksek bűyűtmelerde çalıřılmıřtır. Mikroyapı alıřmaları Nikon marka optik mikroskopta yapılmıřtır. Mikroyapı alınan noktalar řekil 5.6' da verilmiřtir.



Şekil 5.5. Mikroyapı inceleme noktaları.

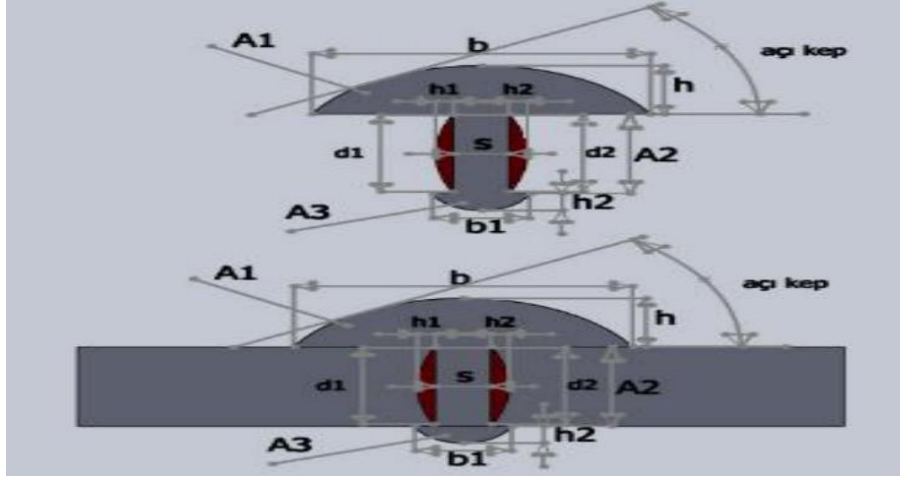
5.5.2. Makroyapı incelemeleri

MIG-Lehimleme yapılan numunelerin makroyapı incelemeleri, lehim birleştirmelerinin lehim dikiş genişliği, lehim dikiş yűksekliliđinin ve lehim ıslatma açılarının ۆlűlmesi, optimum lehim parametrelerinin belirlenebilmesi için yapılmıştır. Makroyapı fotoğraflarında ۆlűmlerin alındığı bۆlgeler şekil 5.7' de bindirme birleştirme için şekil 5.8' de alın altına birleştirme için verilmiştir.



Şekil 5.6. Bindirme birleřtirme numunelerinde ۆlűm alınan noktalar [65].

Bindirme birleřtirme numunelerinde lehim yűksekliliđi için a2 uzaklıđı, lehim geniřliđi için d1 uzaklıkları ۆlűlműřtir.



Şekil 5.7. Alın altına birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar [67].

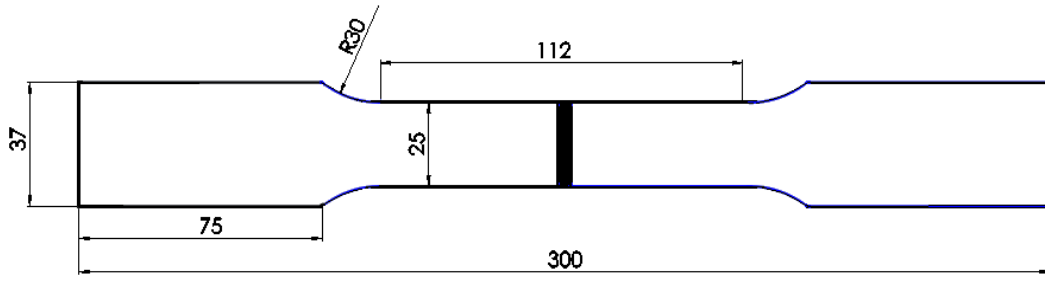
Alın altına birleştirme numunelerinde lehim yüksekliği için h uzaklığı, lehim genişliği için b uzaklığı, lehim ıslatma açısı için her içi taraftan açı kepi ölçüleri alınıp ortalamaları alınmıştır.

5.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

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

5.6. Çekme Deneyi

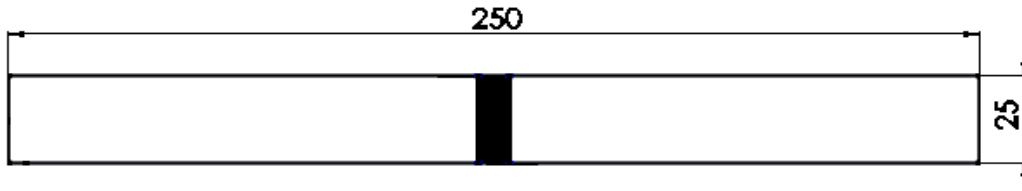
MIG-lehimleme tatbiki gerçekleştirilen TRIP 800 üç fazlı çeliğinin mekanik özelliklerini belirlemek için 5 ton kapasiteli Shimadzu marka cihazla çekme testleri yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri EN 895 normu standardına göre hazırlanmıştır. Çekme deneylerinde kullanılan numune boyutları Şekil 5.9' da verilmiştir. Çekme hızı 10 mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Deney sırasında, gerilme ve yüzde uzama değerleri bilgisayara numune çevresindeki problemler ile aktarılmıştır.



Şekil 5.8. Çekme deneyi numunesi boyutları.

5.7. Eğme Deneyi

MIG-lehimleme tatbiki gerçekleştirilen TRIP 800 üç fazlı çeliğinin mekanik özelliklerini belirlemek için 5 ton kapasiteli Shimadzu marka cihazla üç eksen eğme testleri lehim kepinden eğme olarak yapılmıştır. Eğme deneyi numuneleri EN 910 normu standardına göre hazırlanmıştır. Deney sırasında, gerilme ve yüzde uzama değerleri bilgisayara numune çevresindeki probalar ile aktarılmıştır. Numune boyutları Şekil 5.10' da verilmiştir.



Şekil 5.9. Eğme deneyi numune boyutları.

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. TRIP 800 Sacın MIG Lehimleme Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri

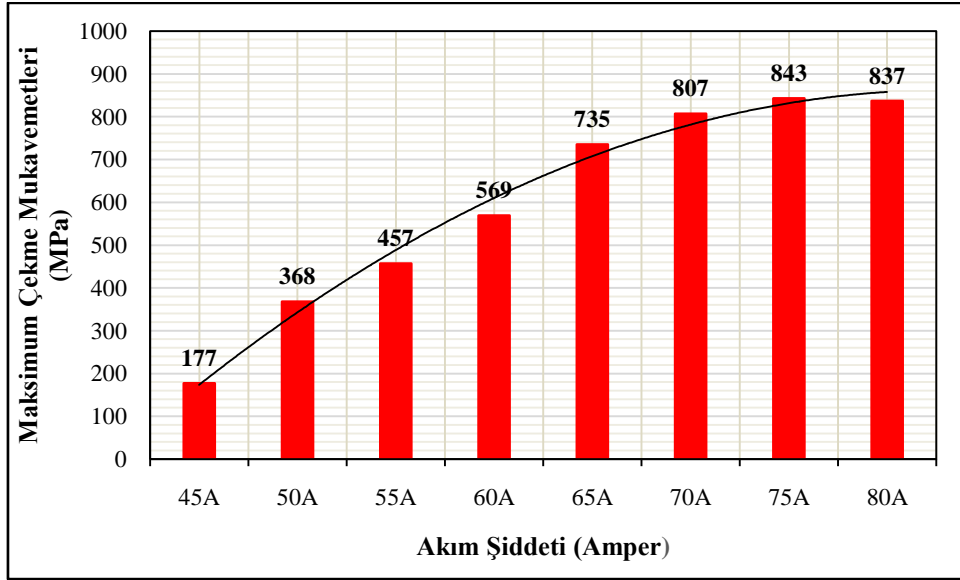
6.1.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

6.1.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 6.1' de, TRIP 800 galvanizli çeliği için uygulanan MIG-lehimleme parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti ve eğme kuvveti değerleri verilmiştir. Şekil 6.1' de ise farklı akım şiddetlerinde elde edilen maksimum çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.

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

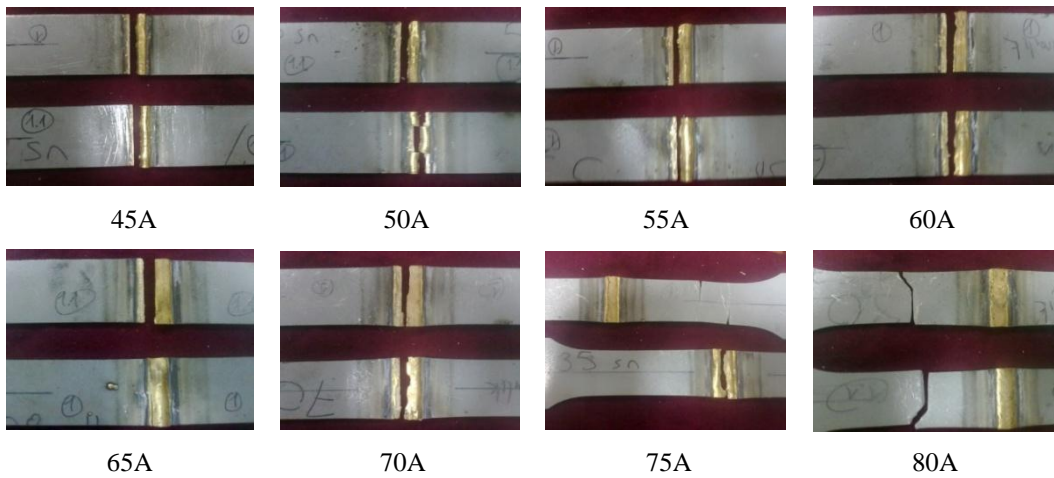
TRIP 800 MIG LEHİMLEME ALIN BİRLEŞTİRME							
Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (L/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Max. Eğme Kuvveti (N)
45	2,5	11,8	12	24	0,8	177	284
50	2,8	12	12	24	0,8	368	819
55	3,1	12,1	12	24	0,8	457	1000
60	3,4	12,3	12	24	0,8	569	1310
65	3,7	12,4	12	24	0,8	735	1390
70	4	12,6	12	24	0,8	807	1330
75	4,1	12,7	12	24	0,8	843	1470
80	4,1	12,7	12	24	0,8	837	1450



Şekil 6.1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.

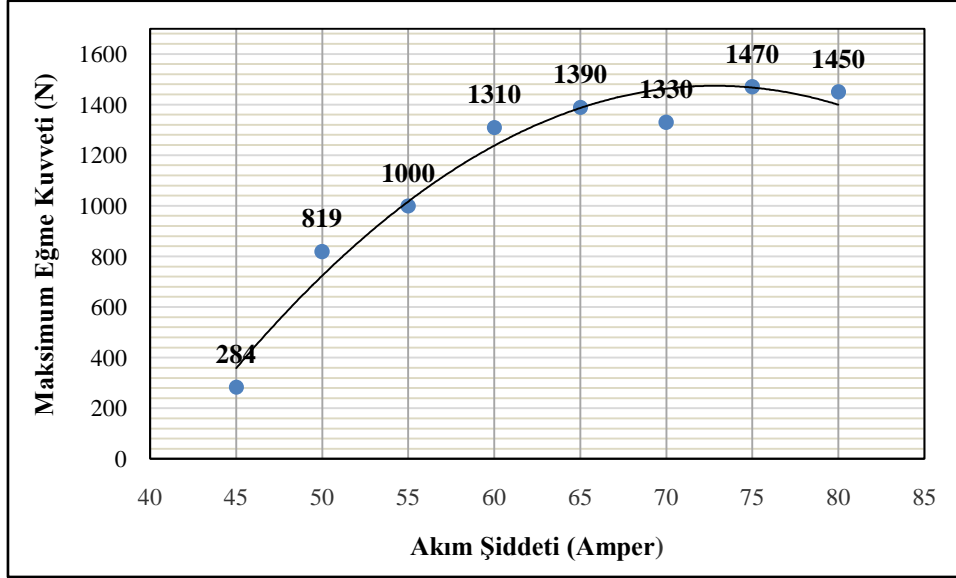
Şekil 6.1' de görüldüğü gibi artan akım şiddetine bağlı olarak çekme dayanımının arttığı gözlenmiştir. 45 amperde 177 MPa çekme mukavemeti elde edilirken 75 amperde 843 MPa çekme mukavemeti elde edilmiştir. Çekme mukavemetindeki bu artış yaklaşık %376 civarındadır. 80 amper akım şiddeti uygulandığında ise çekme mukavemetinin azaldığı belirlenmiştir.

Şekil 6.2' de farklı akım şiddetlerinde lehimlenen numunelerden hazırlanan çekme deneyi numunelerinin deney sonrası fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6.2. Farklı akım şiddetlerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.

Şekil 6.3' de farklı akım şiddetleri uygulanan TRIP 80 galvanizli çeliğinin maksimum eğilme kuvvetleri grafiği verilmiştir.



Şekil 6.3. Farklı akım şiddetlerinde eğme kuvvetleri grafiği.

Grafik incelendiğinde akım şiddeti arttıkça maksimum eğilme kuvvetinin 70 ve 80A akım şiddetleri harici arttığı gözlenmiştir.

6.1.1.2. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

TRIP 80 galvanizli çeliği için optimum akım şiddeti 80 amper olarak belirlenmiştir. MIG-lehimleme uygulamasında kullanılan kaynak makinesinde 80 amper akım şiddetine karşılık gelen lehim gerilimi 12,7 V olduğu için 12,7 V optimum lehim gerilimi olarak belirlenmiştir. Ayrıca Varol [66] da yaptığı çalışmada lehim geriliminin lehim bağlantısının mekanik özelliklerine etkisinin minimum düzeyde olduğunu gözlemlemiştir.

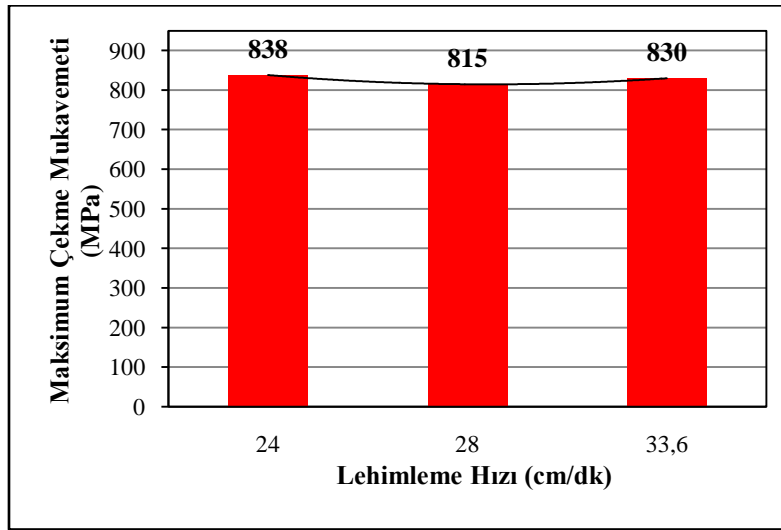
Yapılan lehimleme uygulamalarında optimum lehimleme hızı ve bu parametrenin bağlantının mekanik özelliklerine olan etkisini araştırmak amacıyla farklı lehim hızları denenerek sonuçlar gözlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 6.2' de TRIP 800 galvanizli çeliğinin farklı lehim gaz akış debilerinde lehim parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti ve eğme kuvveti değerleri verilmiştir.

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

TRIP 800 MIG-LEHİMLEME ALIN BİRLEŞTİRME							
Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (L/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Max. Eğme Kuvveti (N)
80	4,1	12,7	12	24	0,8	830	2454
80	4,1	12,7	12	28	0,8	697	2209
80	4,1	12,7	12	33,6	0,8	838	1450

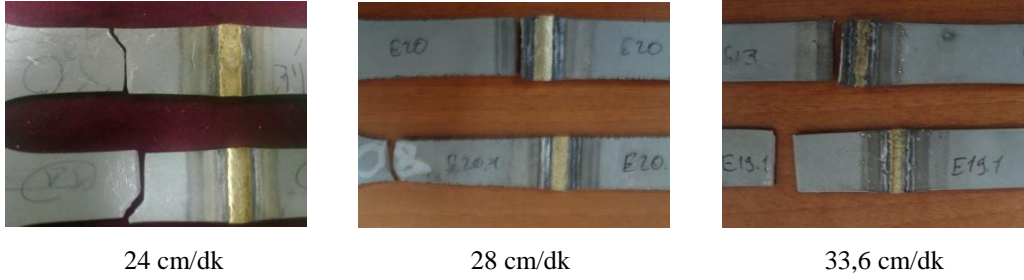
Şekil 6.4' de farklı lehimleme hızlarında çekme mukavemetleri grafiği görülmektedir.



Şekil 6.4. Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği.

Grafik incelendiğinde 24 cm/dk lehim hızında maksimum çekme mukavemeti değeri 838 MPa bulunmuştur. Maksimum çekme dayanım verileri incelendiğinde lehim hızı 24 cm/dk ' de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlendiği için optimum lehim hızı 24 cm/dk olarak belirlenmiştir.

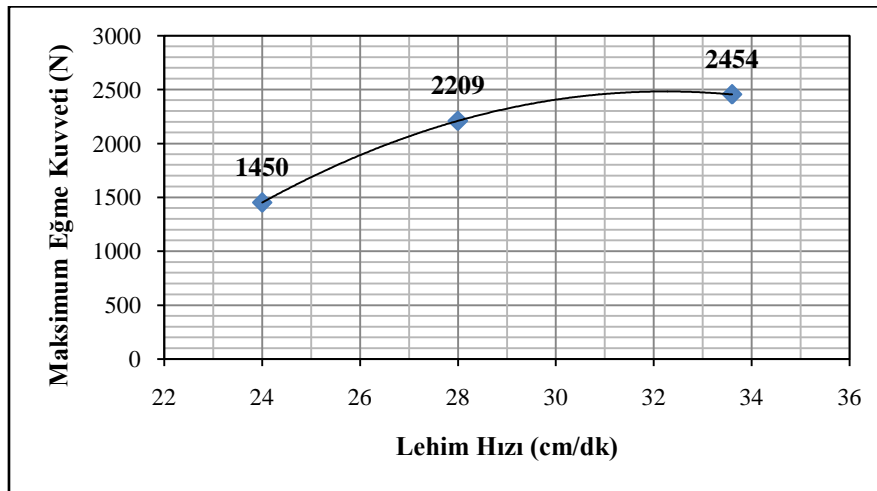
Şekil 6.5' de farklı lehim hızlarında lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6.5. Farklı lehim hızlarında lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.

Fotoğraflar incelendiğinde 24 cm/dk lehim ilerleme hızında numunelerin ana malzemeden koptuğu, 28 cm/dk ve 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızlarında birer numunenin ITAB 'dan birer numunenin ana metalden koptuğu gözlenmiştir. Bu nedenle lehim hızı olarak 24 cm/dk lehim hızı optimum değer olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.6' da farklı lehim hızlarında eğme kuvvetleri grafiği verilmiştir.



Şekil 6.6. Farklı lehim hızlarında eğme kuvvetleri grafiği.

Grafik incelendiğinde lehim ilerleme hızı arttıkça maksimum eğme kuvvetinin arttığı gözlenmiştir.

6.1.1.3. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

TRIP 800 galvanizli çeliği için optimum akım şiddeti 80A ve lehim gerilimi 12,7V, lehim hızı 24 cm/dk olarak belirlenmiştir. Yapılan lehimleme uygulamalarında optimum koruyucu gaz akış debisi ve bu parametrenin mukavemete ne şekilde etki ettiği farklı koruyucu gaz akış debileri denenerek sonuçlar gözlenmeye çalışılmıştır.

Gaz akış debisi argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz kaçaklarının oluşabileceği ihtimaline göz önünde bulundurularak, lehim torcunun ucundan gaz akış debileri ölçülerek lehimleme işlemlerinin tatbiki gerçekleştirilmiştir.

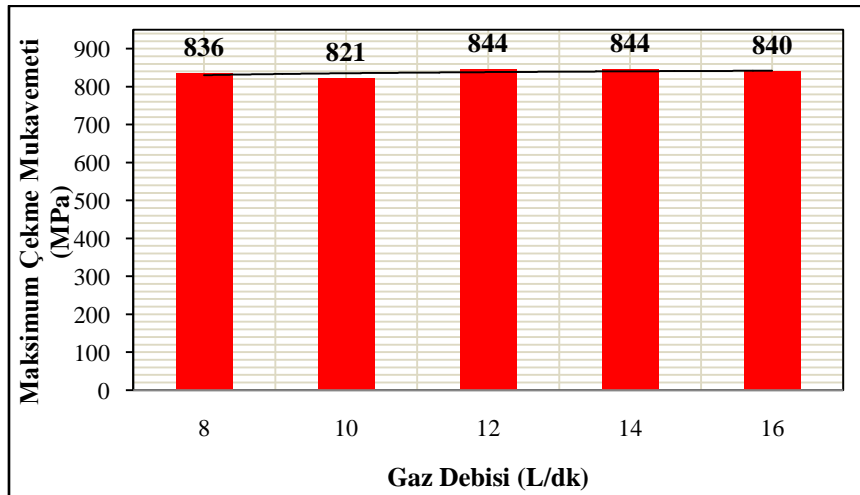
Tablo 6.3' de TRIP 800 galvanizli çeliğinin farklı lehim gaz akış debilerinde lehim parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti ve eğme kuvveti değerleri verilmiştir.

Tablo 6.3. Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.

TRIP 800 MIG LEHİMLEME ALIN BİRLEŞTİRME							
Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (L/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Max. Eğme Kuvveti (N)
80	4,1	12,7	8	24	0,8	836	2426,6
80	4,1	12,7	10	24	0,8	821	2750
80	4,1	12,7	12	24	0,8	844	2262,5
80	4,1	12,7	14	24	0,8	844	2884,4
80	4,1	12,7	16	24	0,8	840	2676,6

Farklı gaz debisi - maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehim gaz debisi değeri 12 L/dk ve 14 L/dk' da 844 MPa değeri ile en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.

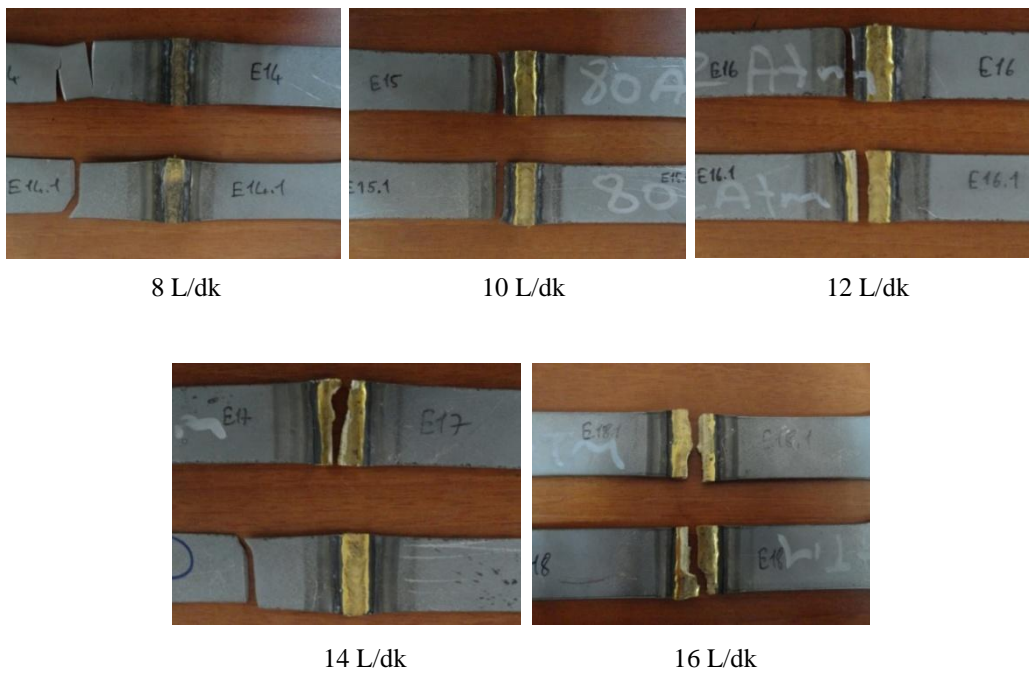
Şekil 6.7' de farklı gaz debilerinde maksimum çekme dayanımları grafiği görülmektedir.



Şekil 6.7. Farklı gaz debilerinde maksimum çekme mukavemetleri grafiği.

Grafik incelendiğindeki 12 L/dk ve 14 L/dk gaz debilerinde 844 MPa değeri ile en yüksek çekme mukavemeti gözlenmiş ve her iki parametre de bir numunenin ana malzemedan koptuğu görüldüğü için TRIP 800 galvanizli çeliğine MIG-lehimleme işleminde uygulanacak optimum koruyucu gaz debisinin 12 L/dk ve 14 L/dk olması gerektiği düşünülmektedir.

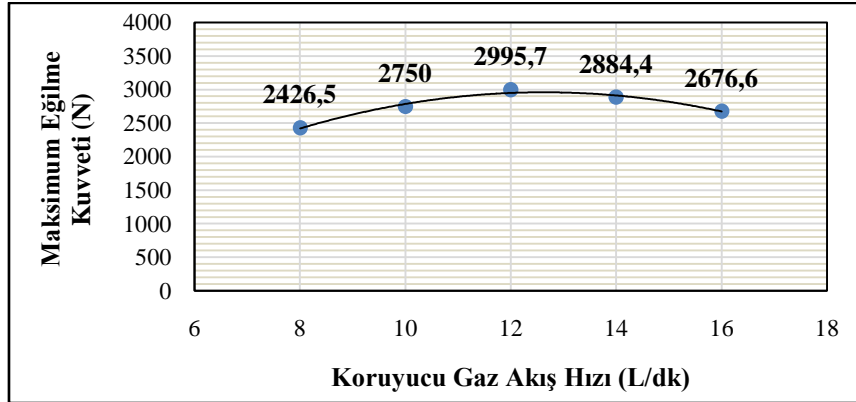
Şekil 6.8’ de farklı gaz debilerinde lehimlenen TRIP 800 numunelerden hazırlanan çekme deneyi numunelerinin deney sonrası fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6.8. Farklı gaz debilerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası görüntüleri.

Fotoğraflar incelendiğinde 8 ve 10 L/dk gaz debilerinde lehimlenen numunelerin ana metalden koptuğu, 12 ve 14 L/dk gaz debilerinde lehimlenen numunelerde; bir numunenin lehim bölgesinden, bir numunenin ana malzemedan koptuğu, 16 L/dk koruyucu gaz debisinde ise numunelerin lehim bölgesinden koptuğu görülmüştür.

Şekil 6.9’ da TRIP 800 galvanizli çeliğinin maksimum eğme kuvveti ile koruyucu gaz akış debisi grafiği verilmiştir.



Şekil 6.9. Farklı lehim gaz debilerinde maksimum eğme kuvvetleri grafiği.

Grafiği incelediğimizde maksimum eğme kuvvetinin 8 L/dk gaz debisinde 2426,6 N olduğu, 12 L/dk gaz debisinde 8 L/dk' ya göre % 23,4 artarak 2995,7 N olduğu gözlenmiştir. 8 L/dk gaz debisinde gaz debisinin uygun olmadığı, 12 L/dk gaz debisinin daha uygun olduğu gözlenmiştir.

6.1.1.4. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

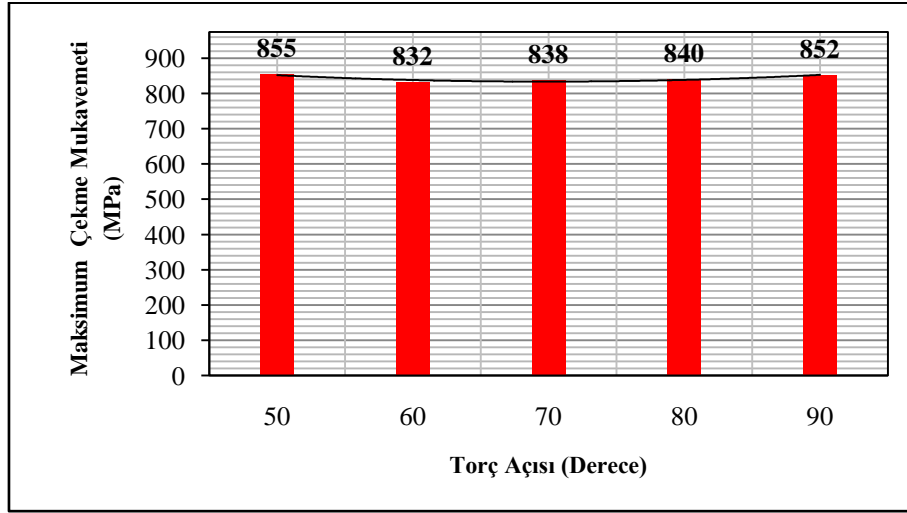
TRIP 800 galvanizli çeliğinin optimum akım şiddeti 80A ve lehim gerilimi 12,7V, lehim hızı 24 cm/dk ve gaz akış debisi 12 L/dk olarak belirlenmiştir. Optimum torç açısını ve torç açısının mekanik özelliklere olan etkisini belirlemek amacıyla çeşitli parametrelerde MIG-lehimleme uygulaması yapılmıştır.

Tablo 6.4' de TRIP 800 galvanizli çeliğinin farklı torç açılarında lehim parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti ve eğme kuvveti değerleri verilmiştir. MIG-lehimleme makinesinin torcu sektöre sabitleyici aparatlar vasıtası ile sabitlendikten sonra farklı torç açılarında lehim işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.4. Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.

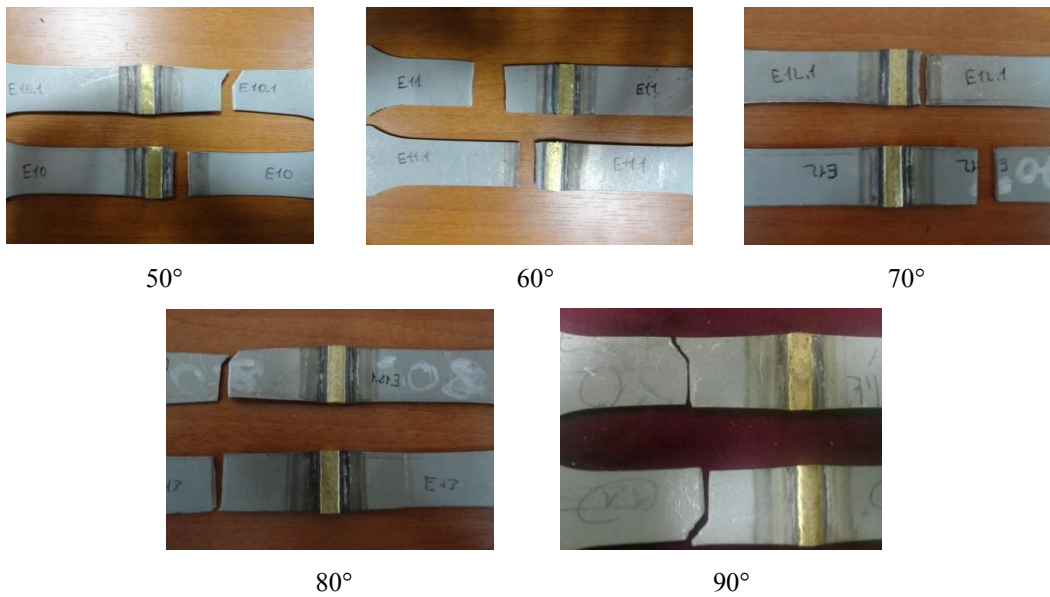
TRIP 800 MIG LEHİMLEME ALIN BİRLEŞTİRME							
Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (L/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)	Torç Açısı (Derece)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Max. Eğme Kuvveti (N)
80	12,7	12	24	0,8	50	853	2811
80	12,7	12	24	0,8	60	820	3178,1
80	12,7	12	24	0,8	70	823	3203,1
80	12,7	12	24	0,8	80	842	2537,5
80	12,7	12	24	0,8	90	837	1450

Şekil 6.10' da farklı lehim torç açılarında maksimum çekme mukavemeti değerleri görülmektedir.



Şekil 6.10. Farklı lehim torç açılarında maksimum çekme mukavemetleri grafiği.

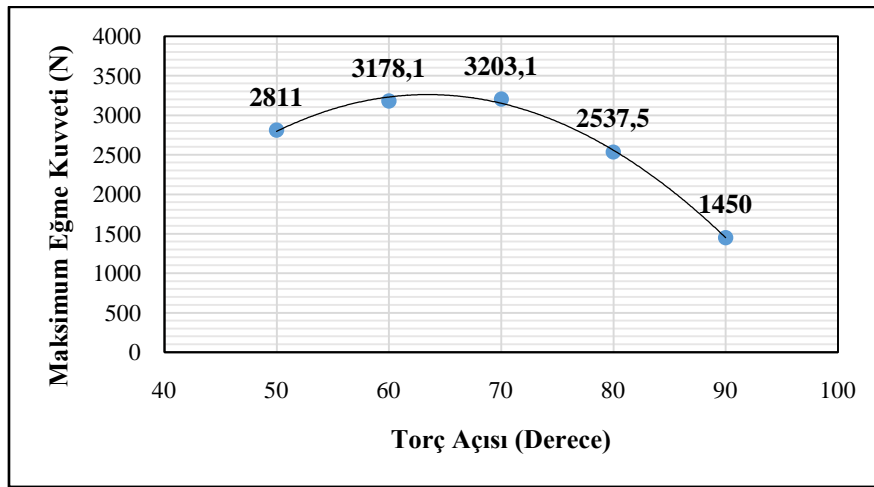
Bulunan maksimum çekme mukavemetleri incelendiğinde, lehim torç açısı değeri 50°' de 855 MPa ile en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. 60° torç açısında 820 MPa ile en düşük çekme mukavemeti değeri elde edilmiş, 50° torç açısına göre çekme mukavemeti değeri % 4 azalmıştır. Bulunan maksimum çekme dayanımı değerleri kıyaslandığında optimum lehim torç açısı değerinin 50° olması gerektiği düşünülmektedir.



Şekil 6.11. Farklı lehim torç açılarında lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası görüntüleri.

Şekil 6.11' de farklı lehim torç açılarında lehimlenen TRIP 800 numunelerden hazırlanan çekme deneyi numunelerinin deney sonrası fotoğrafları görülmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde lehimlenen bütün numunelerin ana malzemeden veya ITAB bölgesinden koptuğu görülmektedir.

Şekil 6.12' de TRIP 800 galvanizli çeliğinin maksimum eğme kuvveti ile farklı lehim torç açıları grafiği verilmiştir.



Şekil 6.12. Farklı lehim torç açılarında maksimum eğme kuvvetleri grafiği.

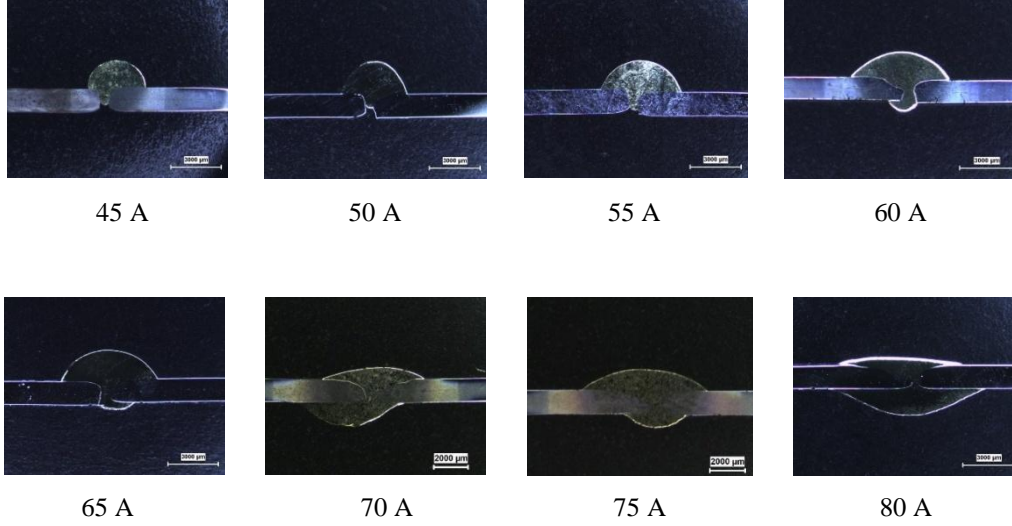
Grafik incelendiğinde torç açısı arttıkça 70° torç açısına kadar maksimum eğme kuvvetinin arttığı 70° torç açısından 90° torç açısına kadar ise azaldığı anlaşılmaktadır.

6.1.2. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi

6.1.2.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi

Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine olan etkisini araştırmak amacıyla farklı akım şiddetleri uygulanan TRIP 800 sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiş, makro ölçümler alınmış ve elde edilen veriler grafikler halinde aşağıda verilmiş, TRIP 800 sacı için en uygun lehim akım şiddeti belirlenmeye çalışılmıştır.

Şekil 6.13' de farklı akım şiddetlerinde MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri verilmiştir.

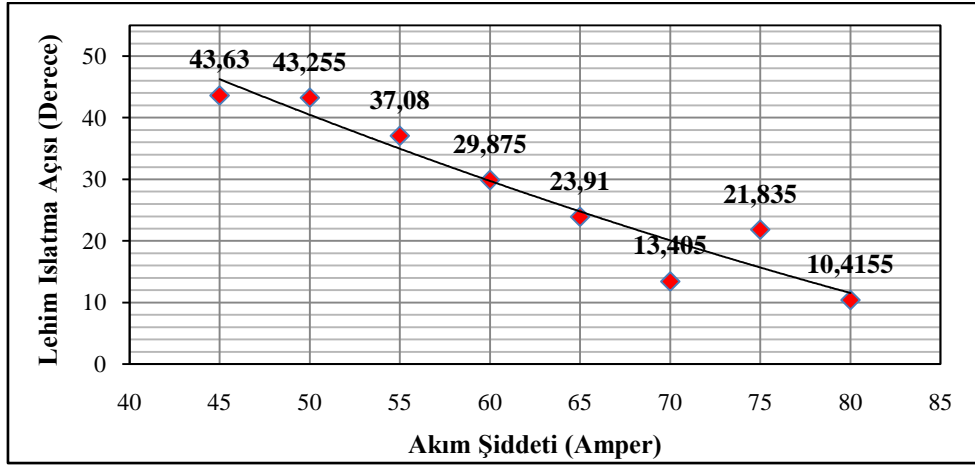


Şekil 6.13. Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.

Şekil 6.13' deki görüntüleri incelediğimizde 45, 50 ve 55A akım şiddetinde lehim ilave metalinin ana metalin en altına kadar inememiş, nüfuz edememiş olduğu gözlenmiştir. 60A akım şiddetinde ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 70A akım şiddetine kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır. 70, 75 ve 80A akım şiddetlerinde ıslatmanın çok fazla olduğu, akım şiddeti arttıkça lehim ilave metalinin ana metal üzerine daha fazla yayıldığı makro görüntülerde görülmektedir.

Farklı akım şiddetlerinde elde edilen TRIP 800 sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

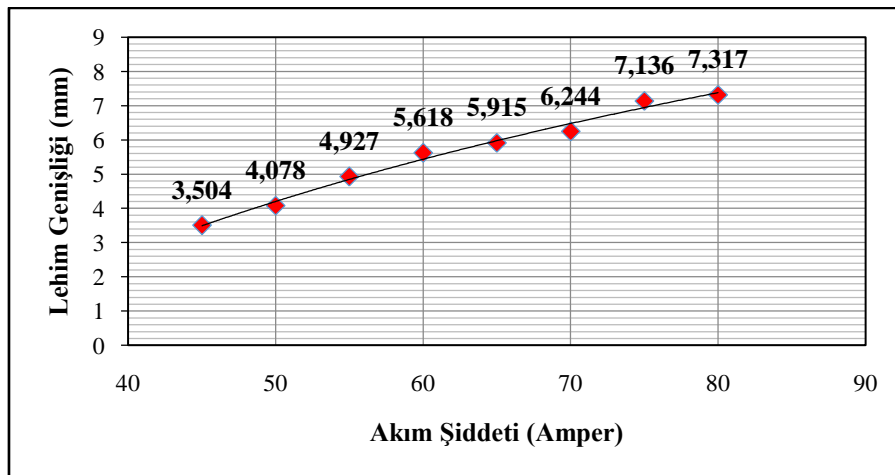
Şekil 6.14' de 45A akım şiddetinden başlayarak 80A akım şiddetine kadar MIG-lehimlenmiş TRIP 800 çeliğinin ıslatma açısı grafiği verilmektedir.



Şekil 6.14. Farklı akım şiddetlerinde lehim ıslatma açıları grafiği.

Grafikteki eğim çizgisinden anlaşıldığı üzere akım şiddeti arttıkça ıslatma açısı azalmaktadır. Buradaki ıslatma açısı akım şiddeti ilişkisini incelediğimizde 45, 50, ve 55A akım şiddetlerinde MIG-lehimleme ile birleştirilen TRIP 800 saclarının ıslatma açıları 30° den büyük olduğu için bu aralıkta kullanılan akım şiddetleri için ıslatma açısı değerlerinin uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer akım şiddetlerinde ıslatma açıları 30° veya 30° den küçük olduğu için ıslatma açısı verilerinin uygun olduğu görülmektedir. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmakta ve artan ısı girdisi ile bağıntılı olarak ıslatma açısının bu yüzden düştüğü düşünülmektedir [69].

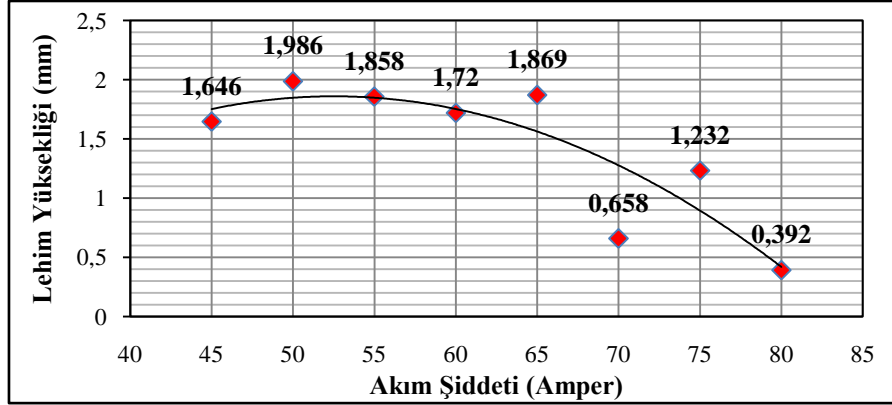
Şekil 6.15' de MIG-lehimlenmiş TRIP 800 çeliğinin değişen akım şiddetine bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği verilmektedir.



Şekil 6.15. Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.

Grafik incelendiğinde akım şiddeti arttıkça lehim kepi genişliğinin arttığı görülmüştür.

Şekil 6.16' da akım şiddeti ve lehim yüksekliği grafiği verilmiştir.



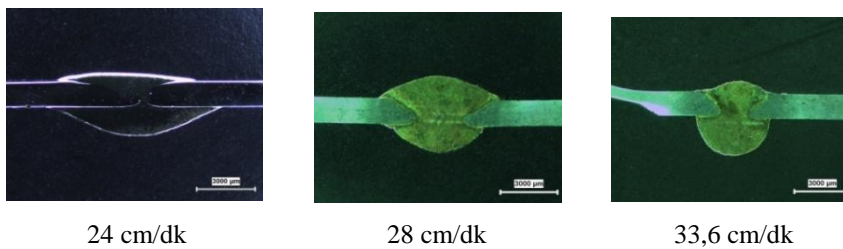
Şekil 6.16. Farklı akım şiddetlerinde lehim yükseklikleri grafiği.

Grafik incelendiğinde, lehim yüksekliği değerlerindeki azalmanın akım şiddetinin artması ile artan ısı girdisinin lehim telinin ısıtma özelliğini arttırdığı bu durumun da lehim kepi yüksekliğinin azalmasını sağladığı düşünülmektedir.

6.1.2.2. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi

Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine olan etkisini araştırmak amacıyla farklı lehim ilerleme hızları uygulanan TRIP 800 sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiş, makro ölçümler alınmış ve elde edilen veriler grafikler halinde aşağıda verilmiş, TRIP 800 sacı için en uygun lehim ilerleme hızı belirlenmeye çalışılmıştır.

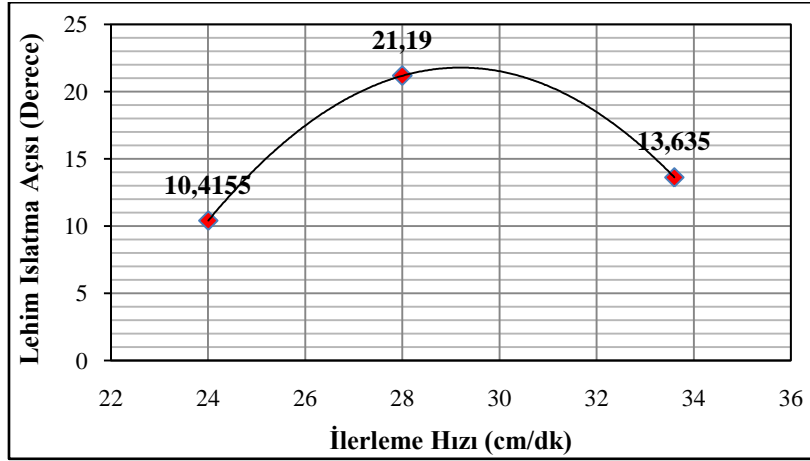
Şekil 6.17'de lehim ilerleme hızı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.17. Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri.

Tüm parametrelerde ıslatma kabiliyetinin iyi olduğu görülmekte fakat fazla miktarda ilave metal ana metalin altına geçmekte ve sakal oluşturmaktadır. 24 cm/dk lehim ilerleme hızı parametresinin en optimum olduğu düşünülmektedir.

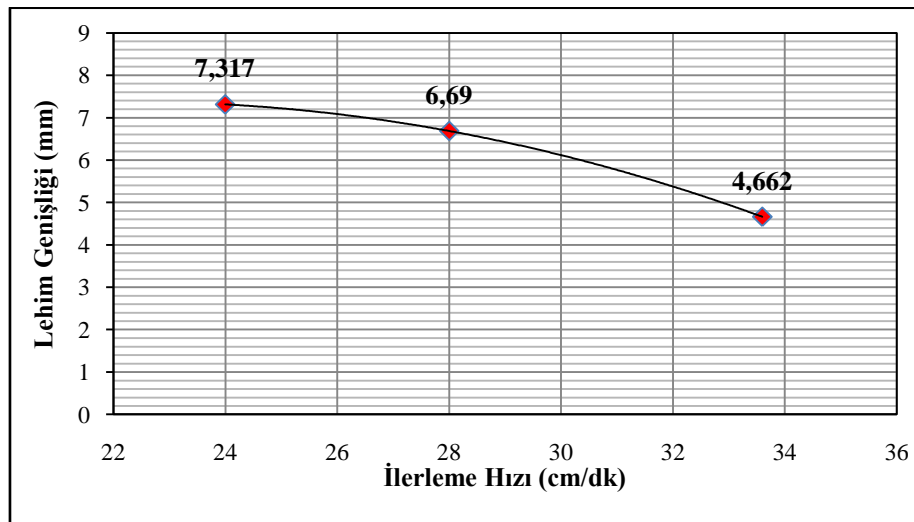
Şekil 6.18' de farklı lehim ilerleme hızlarında ıslatma açısı grafiği görülmektedir.



Şekil 6.18. Farklı lehim ilerleme hızlarında ıslatma açısı grafiği.

Grafik incelendiğinde ve tüm ıslatma açıları kıyaslandığında ıslatma açısı en düşük olan 24 cm/dk ilerleme hızı optimum lehim ilerleme hızı parametresi olarak düşünülmektedir.

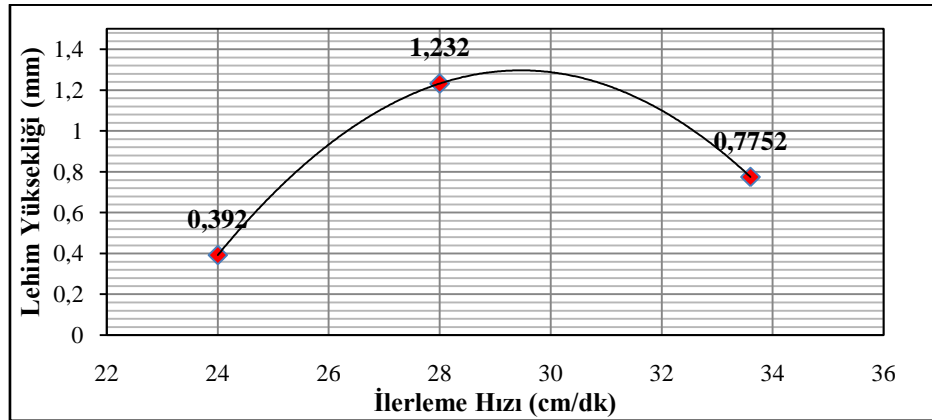
Şekil 6.19' da farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği görülmektedir.



Şekil 6.19. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.

Grafik incelendiğinde lehim ilerleme hızı arttıkça lehim genişliğinin azaldığı görülmektedir. Bunun lehim ilerleme hızı arttıkça lehim ilave metalinin ana metal arasındaki açıklıktan çok fazla nüfuz ederek ana metalin altına birikmesi ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.20' de farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği görülmektedir.

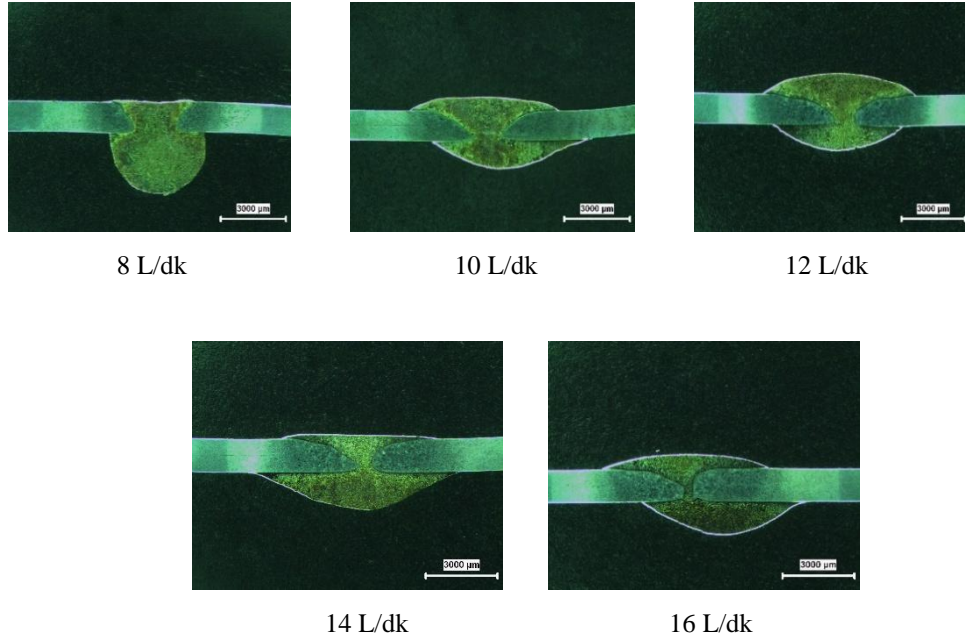


Şekil 6.20. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.

Grafik incelendiğinde 24 cm/dk lehim ilerleme hızında lehim yüksekliğinin 0,39 mm, 28 cm/dk lehim ilerleme hızında ise 24 cm/dk lehim ilerleme hızına göre % 215 artarak 1,23 mm olduğu gözlenmiştir. 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında lehim yüksekliğinde bir miktar düşüş görülmüştür.

6.1.2.3. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi

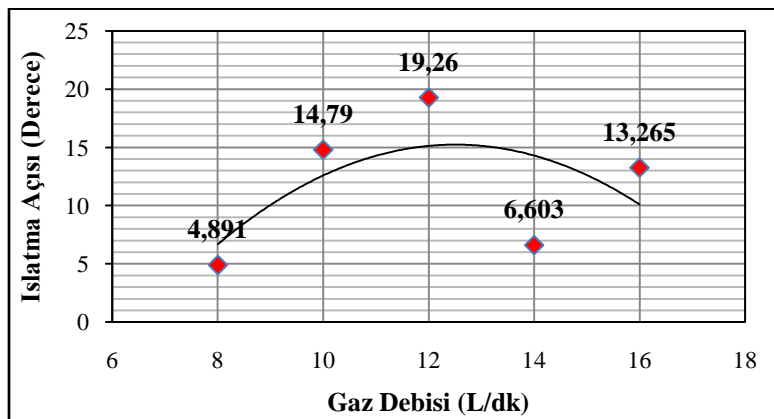
Akım şiddetleri ve lehim gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden TRIP 800 galvanizli saca en uygun akım şiddeti 80A, lehim gerilimi 12,7V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim gaz debisi parametreleri uygulanmış, TRIP 800 sacı için uygun lehim gaz debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 6.21' de lehim gaz debisi parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.21. Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.

Şekil 6.21' deki makroyapı fotoğrafları incelendiğinde 10 L/dk gaz debisinde ıslatma özelliklerinin iyileşmeye başlaması, 12 L/dk gaz debisinde ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır. 14 L/dk gaz debisinde ıslatma özellikleri kötüleşmeye başlamış, aşırı ilave metal nüfuziyeti olduğu gözlenmiştir. 16 L/dk gaz debisinde ise ıslatma özelliklerinin tekrar kabul edilebilir düzeyde olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır. Fakat bütün gaz debilerinde lehim kökündeki aşırı nüfuziyetin fazla olduğu makro görüntülerinden anlaşılmaktadır.

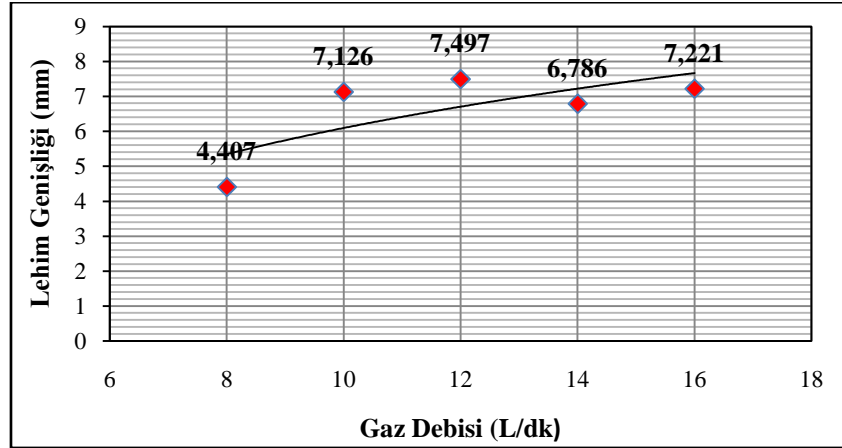
Şekil 6.22' de MIG-lehimlenmiş TRIP 800 çeliğinin değişen lehim gaz debisine bağlı olarak lehim kepi ıslatma açısı gaz debisi grafiği görülmektedir.



Şekil 6.22. Farklı lehim gaz debilerinde ıslatma açısı grafiği.

Grafik incelendiğinde bütün parametrelerde lehim ıslatma açılarının 30° den küçük olması bütün parametrelerin ıslatma özelliklerinin uygun olduğunu düşündürmektedir.

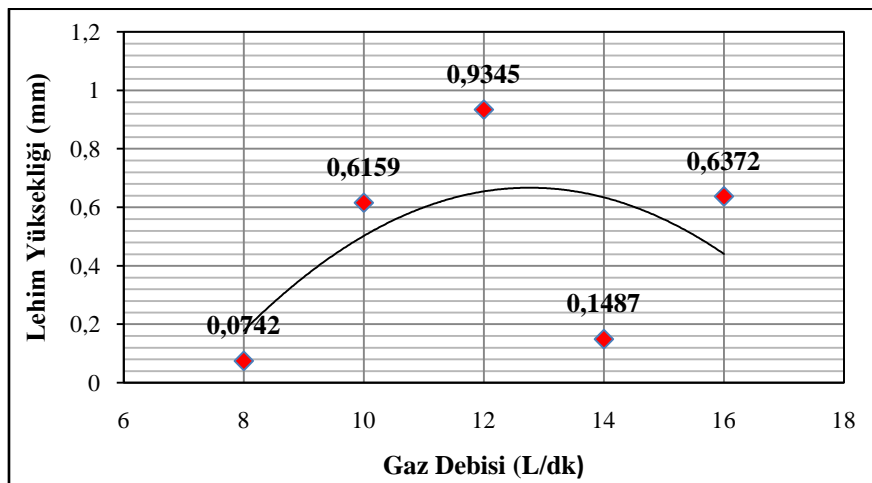
Şekil 6.23' de lehim gaz debisi lehim genişliği grafiği görülmektedir.



Şekil 6.23. Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.

Grafik incelendiğinde artan koruyucu gaz basıncıyla birlikte 8, 10 ve 12 L/dk gaz basıncında lehim yüksekliğinin arttığı sonra aniden 14 L/dk gaz basıncında azaldığı, 16 L/dk gaz basıncında tekrar arttığı görülmektedir. Lehim kökündeki aşırı nüfuziyetin varlığı Şekil 6.21' deki makro fotoğraflardan da anlaşılmaktadır.

Şekil 6.24' de farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği görülmektedir.



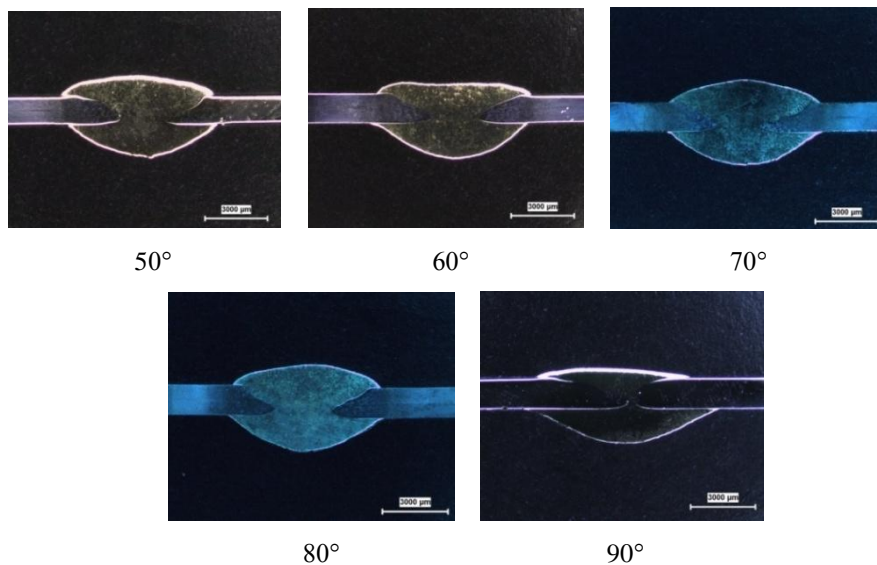
Şekil 6.24. Farklı lehim gaz debilerinde lehim yükseklikleri grafiği.

Grafik incelendiğinde, en fazla lehim yüksekliğinin 12 L/dk gaz debisinde, en düşük lehim yüksekliğinin ise 8 L/dk gaz debisinde olduğu görülmektedir. Yine lehim kökündeki aşırı nüfuziyetin mevcut olduğu Şekil 6.21' deki makro fotoğraflardan da anlaşılmaktadır. 12 L/dk' dan sonra lehim gaz debisinin artması ile lehim kepi üzerindeki basıncın arttığı lehim kepi üzerinde artan basınç etkisinin, ilave telin ıslatma açısını azalttığı ve lehim kep yüksekliğinin azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

6.1.2.4. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi

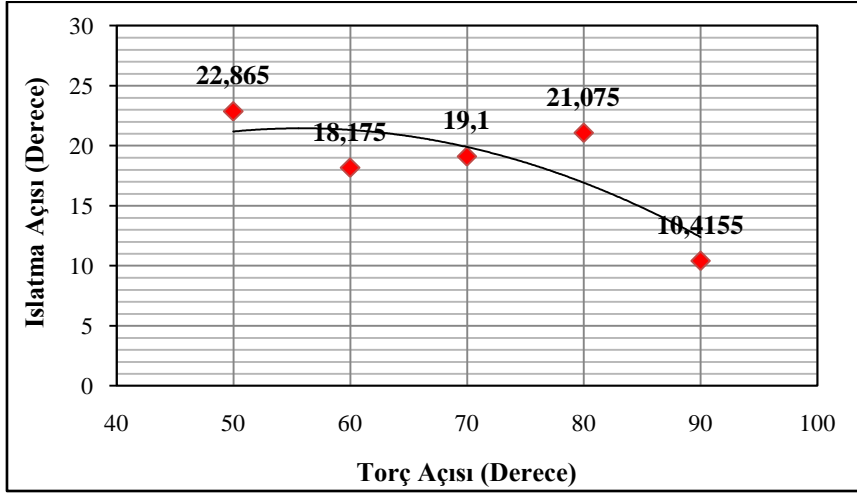
TRIP 800 saca en uygun akım şiddeti 80A, lehim gerilimi 12,7V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz debisi 12 L/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim torç açısı parametreleri uygulanarak, TRIP 800 saca en uygun lehim torç açısı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca lehimleme torç açısı farklarına göre lehim tatbikleri uygulanan TRIP 800 sac malzemelerin makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

Lehim torç açısı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.25' de verilmektedir.



Şekil 6.25. Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.

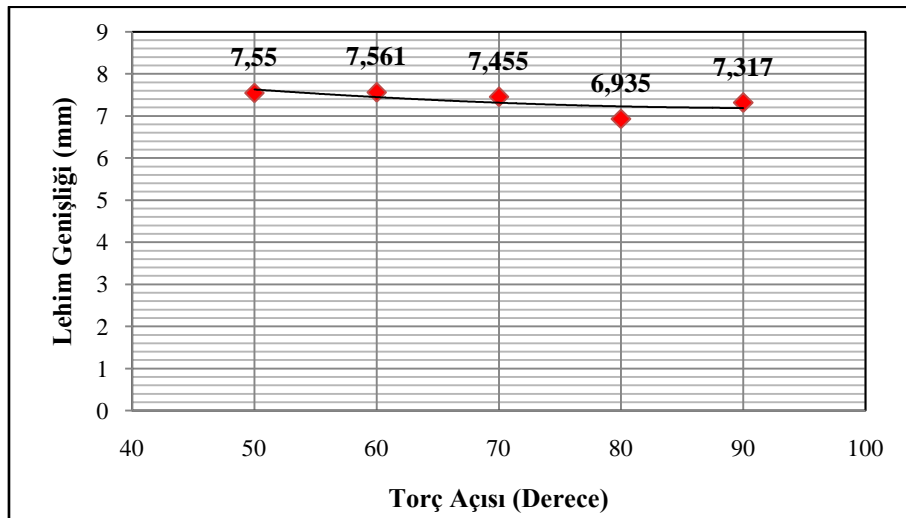
Şekil 6.25' deki makroyapı fotoğrafları incelendiğinde lehimlenen TRIP 800 çeliğinin farklı lehimleme torç açılarında tüm parametrelerde lehimlerin torç açıları lehim geometrilerinin benzerlik gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6.26. Farklı lehim torç açılarında ıslatma açısı grafiği.

Şekil 6.26' da MIG-lehimlenmiş TRIP 800 çeliğinin değişen lehim torç açılarına bağlı olarak lehim ıslatma açısı grafiği verilmektedir. 50°, 60°, 70°, 80° ve 90° torç açısı uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının 10° ile 25° arasında olduğu görülmektedir.

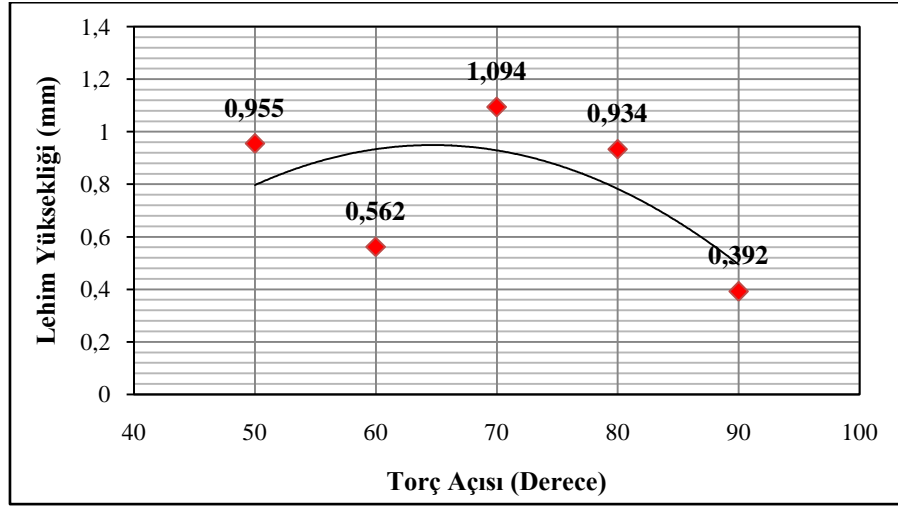
Şekil 6.27' de lehim torç açısı ve lehim genişliği grafiği verilmektedir.



Şekil 6.27. Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.

Grafik incelendiğinde, tüm torç açısı değerlerinde torç açısı arttıkça lehim kepi genişliğinin torç açısı değerinin artmasıyla beraber azaldığı görülmektedir. Grafikteki lehim genişliklerinin 6 – 8 mm aralığında olduğu gözlenmiştir.

Şekil 6.28' de lehim torç açısı lehim yüksekliği grafiği görülmektedir.



Şekil 6.28. Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.

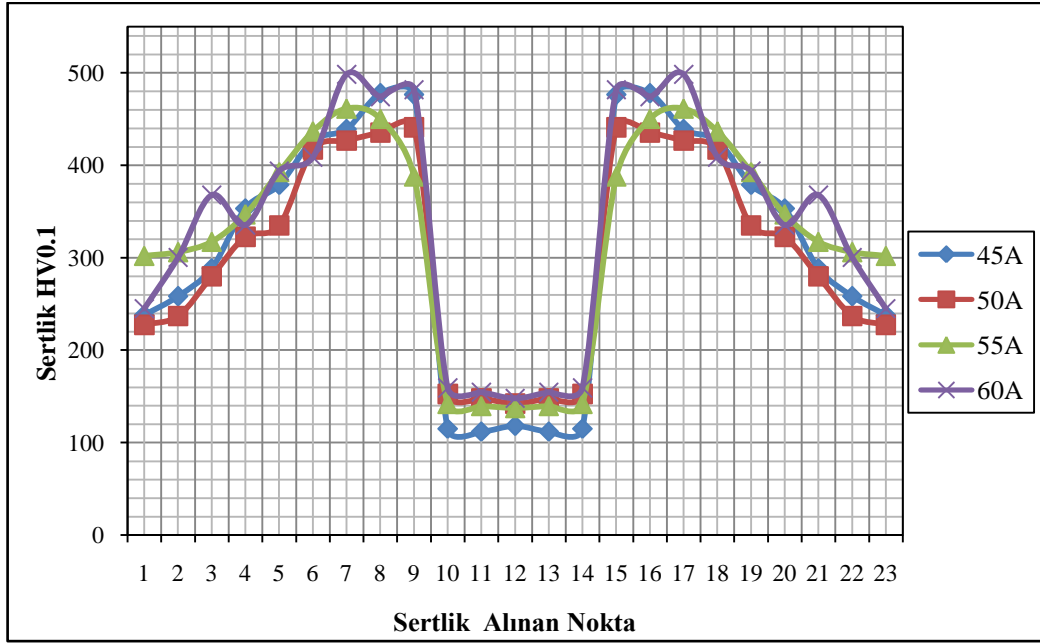
Grafik incelendiğinde lehim yüksekliğinin büyük oranda değişmesinin lehim ilave metalinin artan torç açısıyla lehim köküne aşırı miktarda nüfuziyeti ile olduğu düşünülmektedir.

Sonuçta; ıslatma açısı, lehim genişliği ve lehim yüksekliğinin lehim geometrisi üzerindeki etkilerinin çok fazla olmadığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

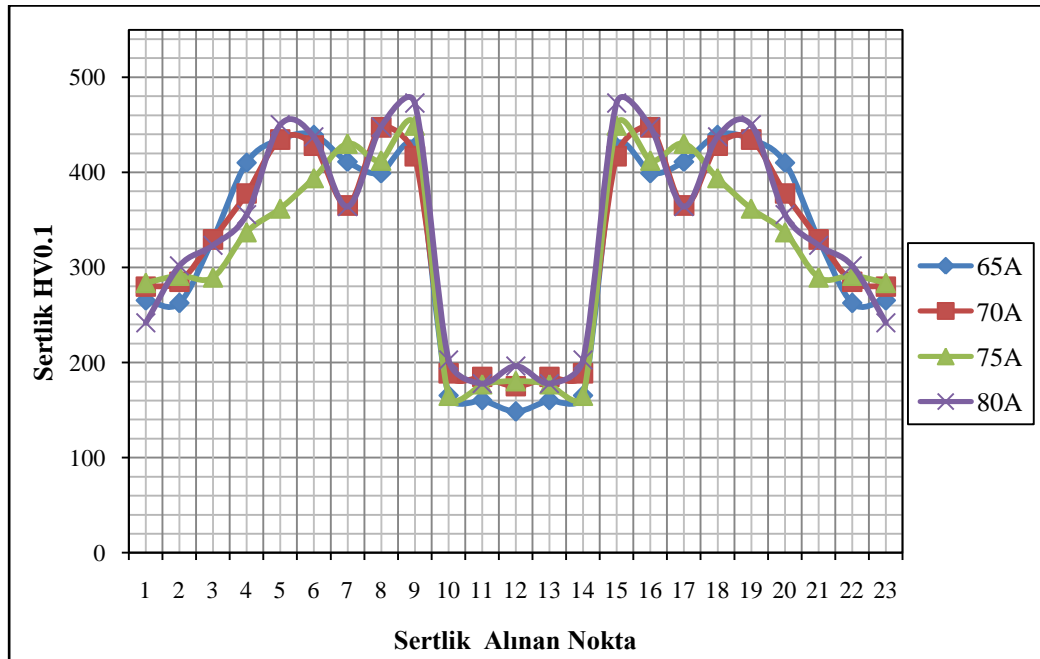
6.1.3. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi

6.1.3.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı akım şiddetlerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.29 ve Şekil 6.30' da verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



Şekil 6.29. 45A, 50A, 55A ve 60A lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.



Şekil 6.30. 65A, 70A, 75A ve 80A lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.

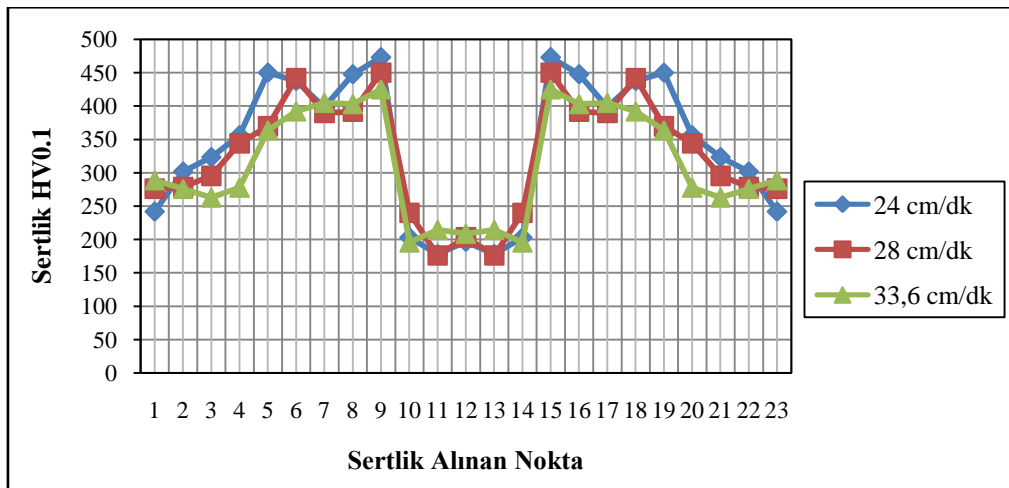
Şekil 6.29 ve Şekil 6.30' daki grafikleri incelediğimizde 55, 60, 65, 70, 75 ve 80A akım şiddetlerindeki sertlik bölgelerinde değişimler meydana geldiği gözlenmiştir. ITAB bölgesindeki sertlik değerleri akım şiddetinin artması ile daha da artmaktadır. Lehim bölgesi ise ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmaktadır. Tüm akım şiddetlerinde ana malzemenin sertlik değerlerinin lehim bölgesindeki sertlik değerlerinden daha fazla olduğu sertlik noktalarından anlaşılmaktadır. Bu nedenle tüm akım şiddetlerinde çekme deneyi yapılan malzemenin lehimden kopması

gerektiği sonucuna varılabilir. 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, ve 75A akım şiddetlerinde kopma lehim bölgesinden olmuştur. Fakat 80A akım şiddetinde malzeme ana malzemeden kopmuştur. Bunun 80A akım şiddetinde aşırı ilave dolgu metalinin kaynak bölgesine yığılması ile mukavemetin arttığı ve kopmanın bu yüzden ana metalden gerçekleştiği düşünülmektedir.

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

6.1.3.2. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.31' de farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı lehim ilerleme hızlarında, sertliği düşük olan nokta CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölgedir. Bu bölgeden ITAB bölgesine geçilen noktada mikrosertlik değerlerinde yüksek bir artış görülmekte ve ITAB bölgesinin bittiği noktalar boyunca azalarak ana malzemeye doğru ilerlemektedir.

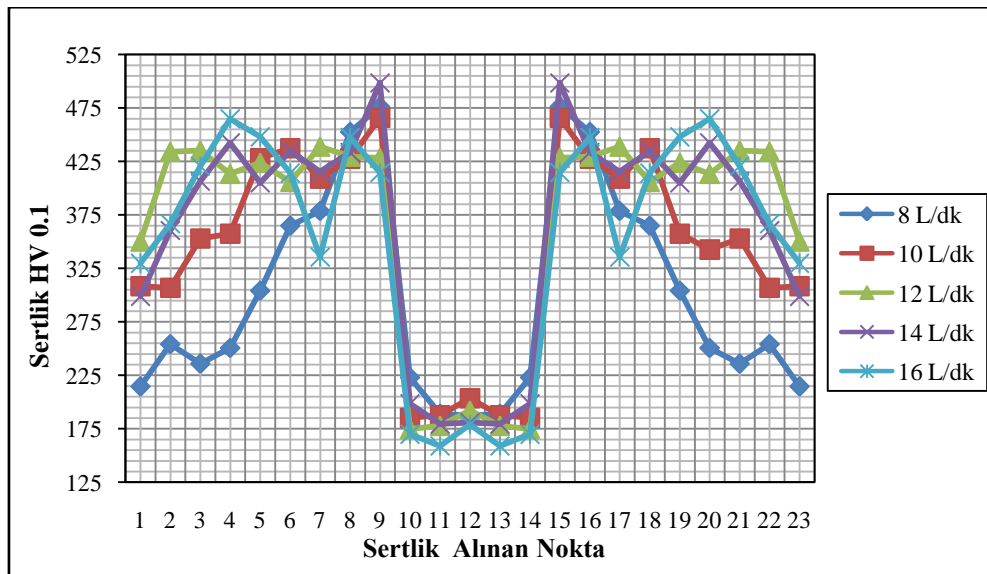


Şekil 6.31. Farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik noktaları.

Şekil 6.31' deki grafik incelendiğinde 24 cm/dk, 28 cm/dk ve 33,6 cm/dk ilerleme hızlarındaki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları lehim ilerleme hızının azalması ile daha da artmaktadır. 24 cm/dk, 28 cm/dk, 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında lehim bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden daha az olduğu sertlik noktalarından anlaşılmaktadır. 24 cm/dk, 28 cm/dk, 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında ITAB bölgesinin sertlik değeri 350HV - 475 HV mikrosertlik değerlerine ulaştığı görülmektedir. İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehimleme hızı azaldıkça mikrosertlik değeri artmıştır.

6.1.3.3. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.32' de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı gaz debilerinde sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



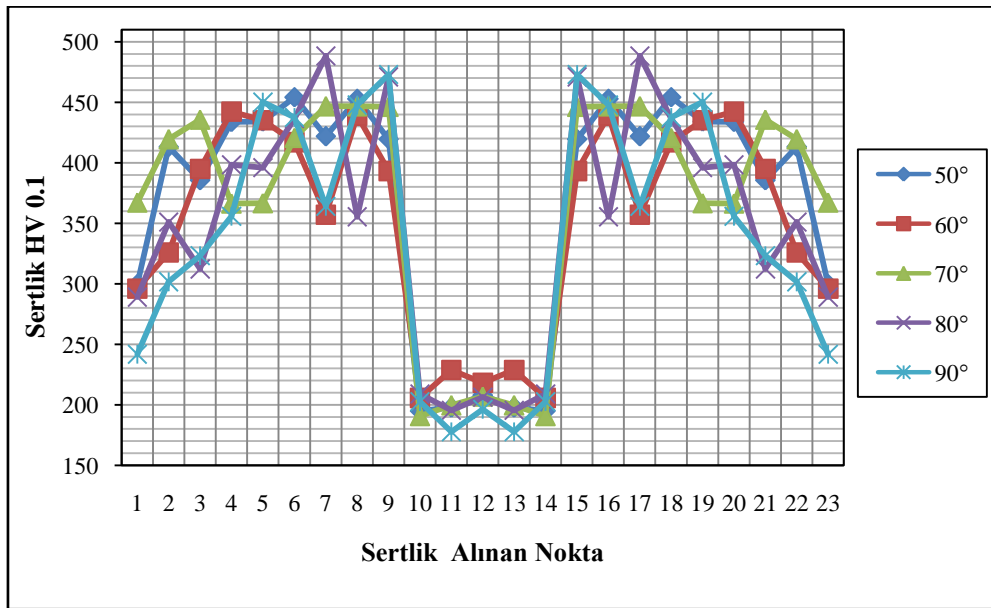
Şekil 6.32. Farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik noktaları.

Şekil 6.32' deki grafik incelendiğinde ilave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm

mikrosertlik değerlerinde, lehim gaz debisi 8 L/dk, 10 L/dk, 14 L/dk ve 16 L/dk'da mikrosertlik 425 HV sertlik değerinin üzerinde iken 12 L/dk'da 425 HV ve altındadır. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

6.1.3.4. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim torç açılarında elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.33' de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı torç açılarında sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



Şekil 6.33. Farklı lehim torç açılarında mikrosertlik noktaları.

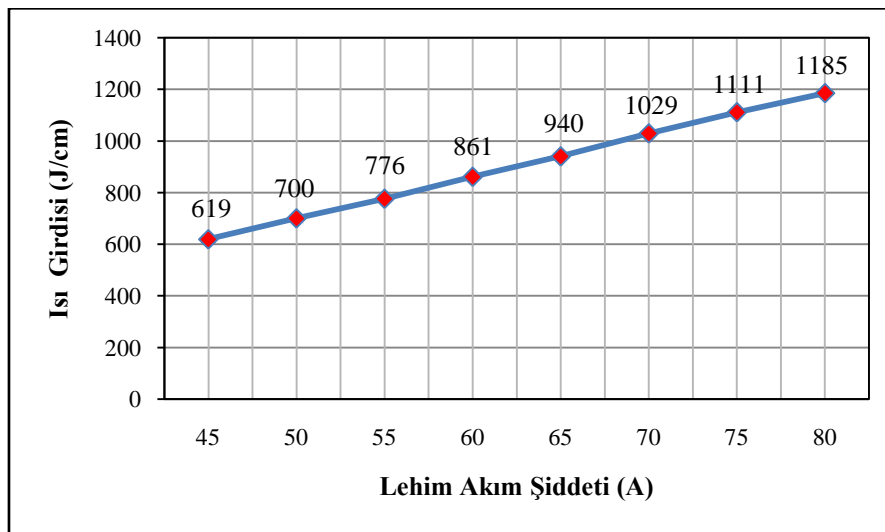
Grafik incelendiğinde ilave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm ortalama mikrosertlik değerlerinde, lehim torç açısı 50° de 197.5HV mikrosertlik değeri, 60° de 217.5 HV, 70° de 197.6 HV, 80° de 203.1 HV ve 90° de 191.5 HV değerlerini aldığı gözlenmiştir. Buradaki açı değeri yükseldikçe ısı girdisinin ana malzemeye dikey konumda girmesiyle mikrosertlik değerinin bazı değerlerde arttığı

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

6.1.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

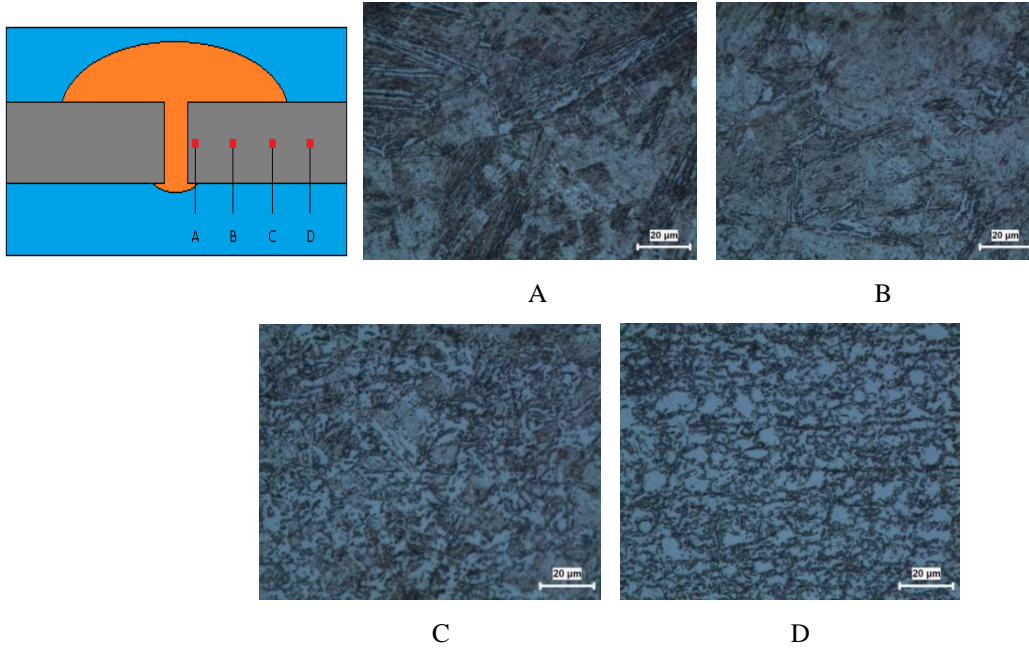
6.1.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim tatbikleri gerçekleştirilen TRIP 800 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği Şekil 6.34' de verilmektedir. Burada akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. Mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 70, 75 ve 80A akım şiddetinde ısı girdileri 1029, 1111 ve 1185 J/cm olmuştur.



Şekil 6.34. Farklı akım şiddetlerinde ısı girdileri grafiği.

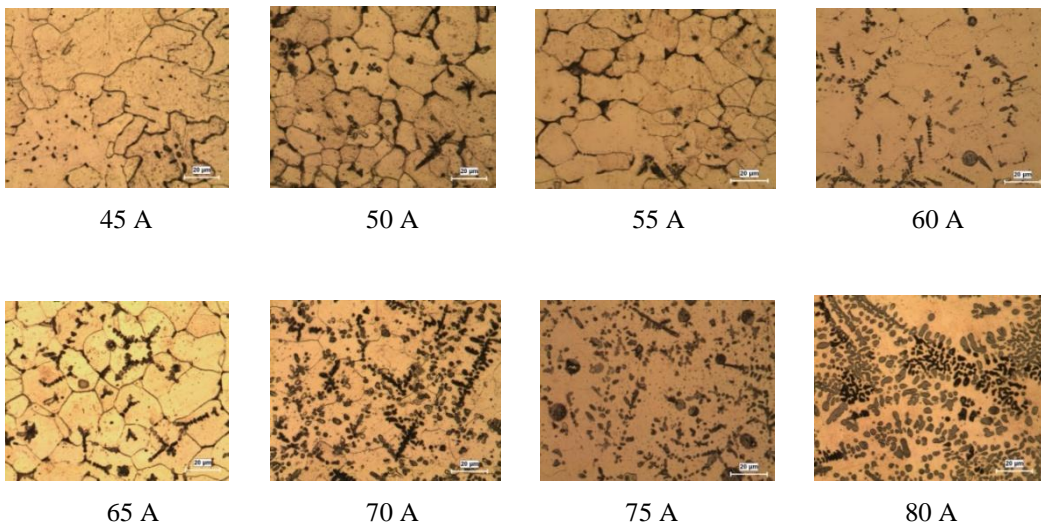
Şekil 6.35' de 70A akım şiddetinde lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. İlk olarak 70A akım şiddetinde lehimlenen numunelerde ana malzemenin mukavemet değeri olan 800 Mpa mukavemet elde edildiği için 70A akım şiddetinde lehimlenmiş numunenin mikroyapısı incelenmiştir. A bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, B ince taneli bölge, C bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve D bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.35. 70A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.35' deki mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB bölgesi olduğunu göstermektedir.

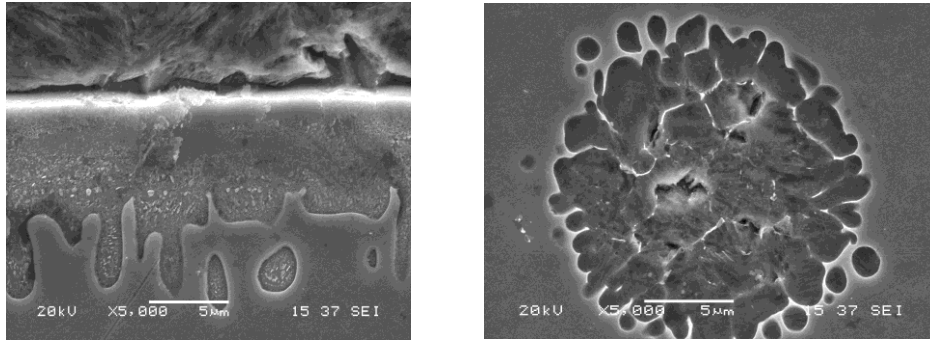
Farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl₁₈ ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.36' da verilmiştir.



Şekil 6.36. Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

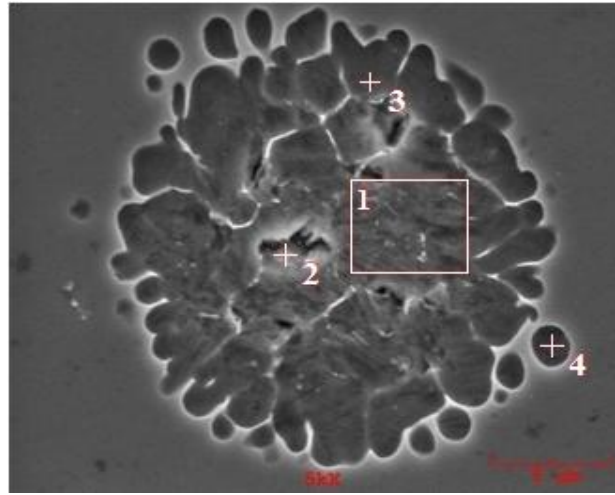
40 ve 45A mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü üzere dendritlerin oluşumları çok azdır. 50A akım şiddetinde dendritlerin oluşumu başlamıştır ve akım şiddeti arttıkça, ısı girdisi atmış ve dendritlerin oluşumları artmıştır.

70A akım şiddetinde lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.37' de verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.37. 70A akım şiddetinde SEM görüntüleri.

Atomal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.38' de verilmiştir.

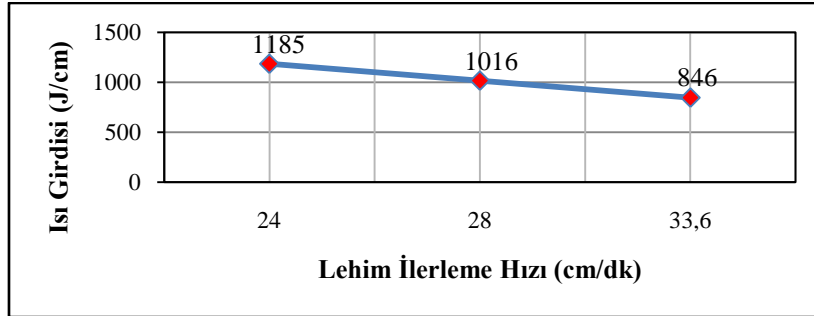


Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)				
	C	Al	Si	Fe	Cu
1	0	5,376	2.813	80.530	11.281
2	0	3.745	1.813	82.540	11.902
3	2.934	8.487	0	20.417	68.162
4	0	4.466	0	30.334	65.200

Şekil 6.38. 70A akım şiddetinde EDS analizi.

6.1.4.2. Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

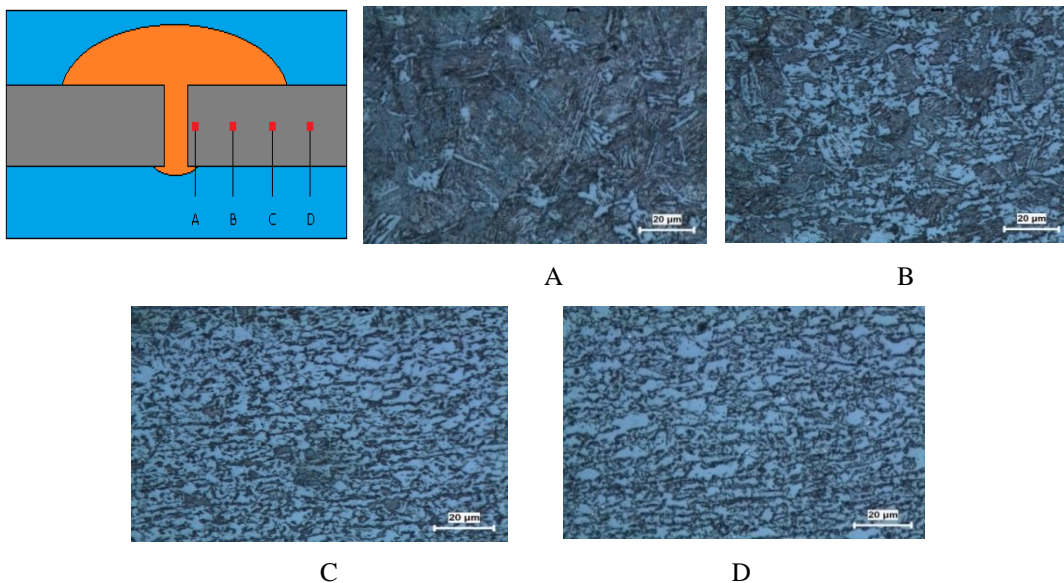
Şekil 6.39’ da farklı lehim ilerleme hızlarında lehim tatbikleri gerçekleştirilen TRIP 800 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği verilmektedir.



Şekil 6.39. Farklı lehim ilerleme hızlarında ısı girdisi grafiği.

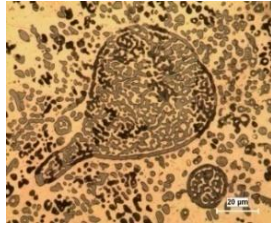
Grafikte lehim ilerleme hızı arttıkça ısı girdisinin azaldığı görülmektedir.

Şekil 6.40’ da farklı lehim ilerleme hızlarında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A ve B bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, C ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve E bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.

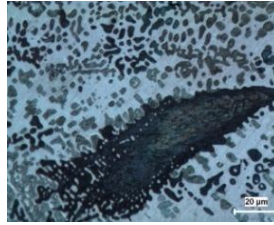


Şekil 6.40. 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında mikroyapı görüntüleri.

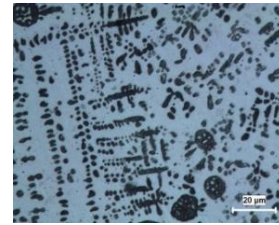
Şekil 6.41' de farklı lehim ilerleme hızlarında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



24 cm/dk



28 cm/dk

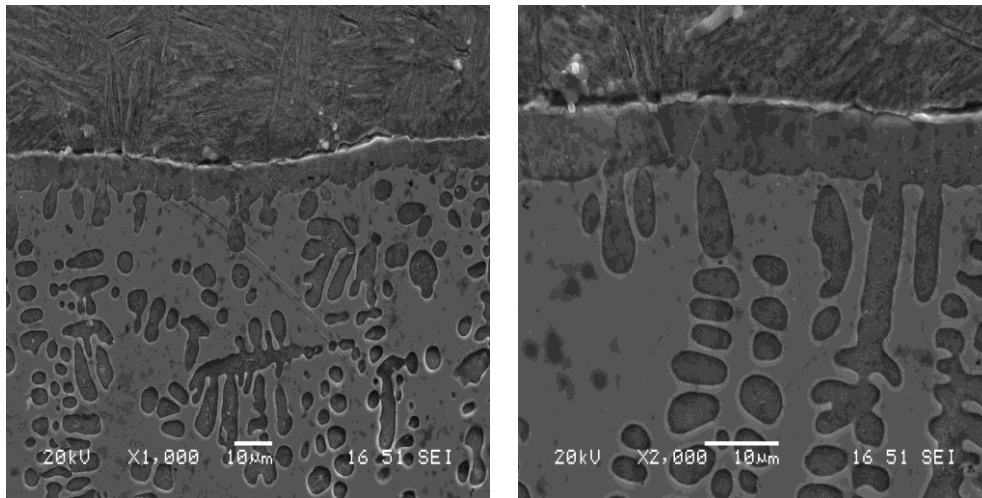


33,6 cm/dk

Şekil 6.41. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

Grafik incelendiğinde lehim ilerleme hızı arttıkça dendritlerin oluşumları azaldığı gözlenmiştir.

Şekil 6.42' de 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir.

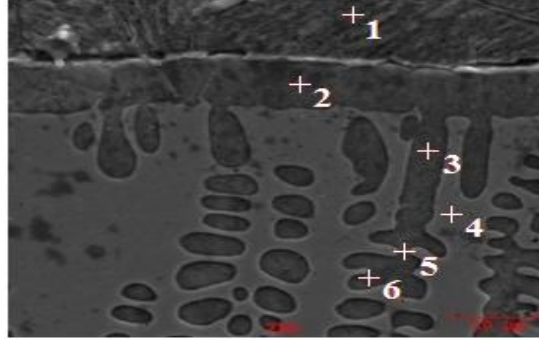


Şekil 6.42. 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında SEM görüntüleri.

Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden CuAl8 bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımları yoluyla oluşmuştur.

Şekil 6.43' de atomsal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri

verilmiştir. Lehim bölgesinin içinde oluşan ana metal bölgesinden (1), ana metal ve lehim bölgesinin birleştiği ara bölgeden (2), dendrit bölgesinden (3), lehim bölgesinden (4), dendrit ve lehim bölgesinin birleştiği bölgeden (5), dendrit bölgesinin uç kısmından (6) elementer analizler alınmıştır.

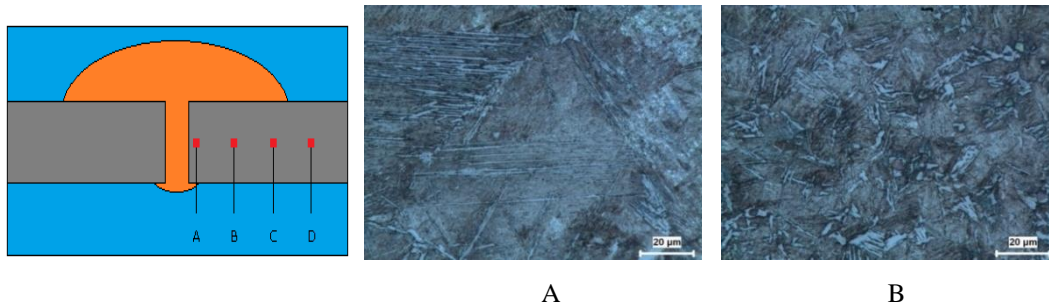


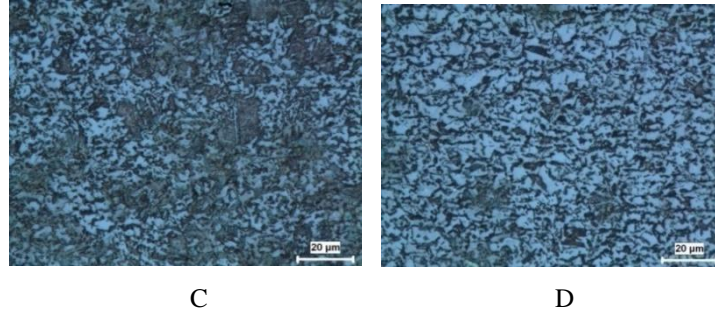
Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)						
	C	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
1	3,657	0	16,01	0	1,245	12,206	0
2	0	5,922	1,902	0,248	0,601	83,444	7,883
3	0	6,204	1,664	0	0,483	79,67	11,979
4	0	9,068	0	0	0,314	6,424	84,195
5	1,43	6,237	1,11	0	0,494	46,859	43,87
6	0	7,966	0	0	0	6,302	85,731

Şekil 6.43. 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızında EDS analizi.

6.1.4.3. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantının ısı girdileri teorik olarak 1185 J/cm olarak hesaplanmıştır.

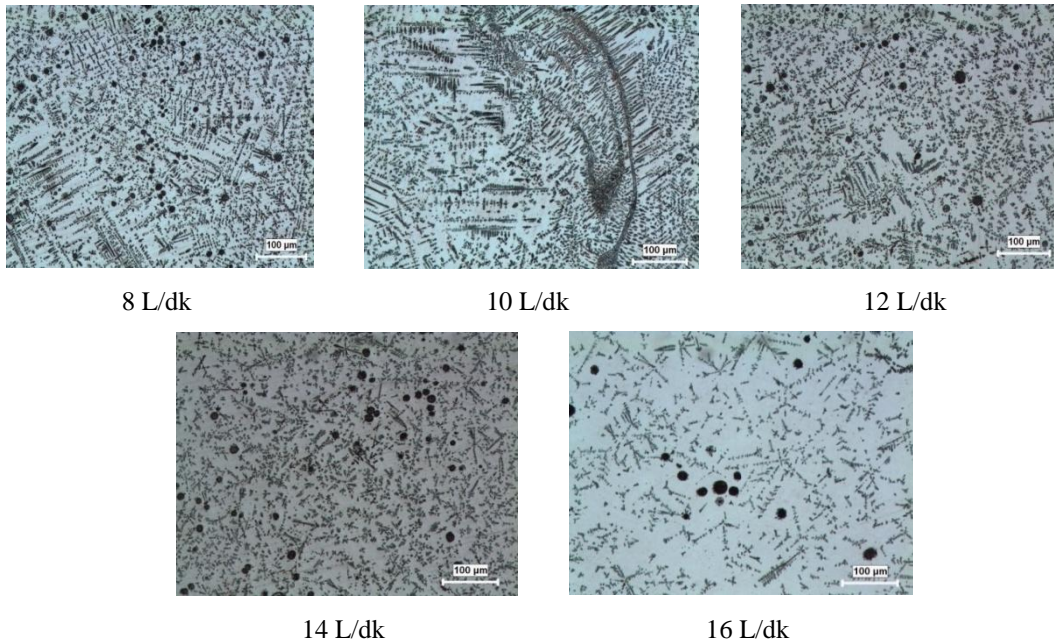




Şekil 6.44. 10 L/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.44' de 10 L/dk lehim gaz debisinde lehimlenmiş ana malzemenin, ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, B ince taneli bölge, C bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve D bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.

Şekil 6.45' de farklı lehim gaz debisinde CuAl8 ilave metali ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

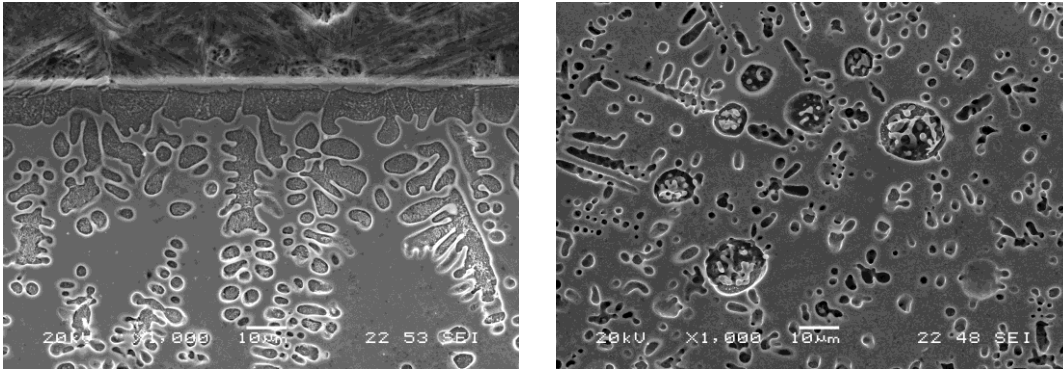


Şekil 6.45. Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

Lehim gaz debisi arttıkça dentridlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 80A, lehim

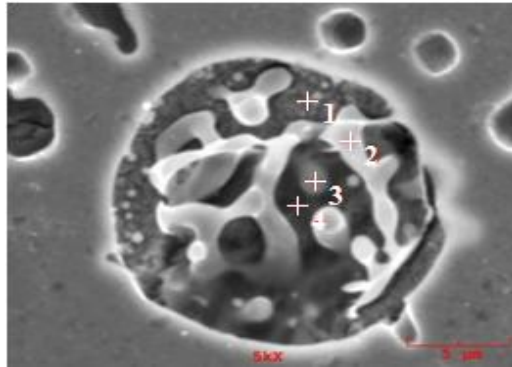
gerilimi 12,7 V ve lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.

Şekil 6.46' da 10 L/dk lehim gaz debisinde, lehim bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.46. 10 L/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüleri.

Şekil 6.47' de atomsal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri verilmiştir. Lehim bölgesinin içerisinde oluşan dendritler üzerinden elementer analizler alınmıştır.

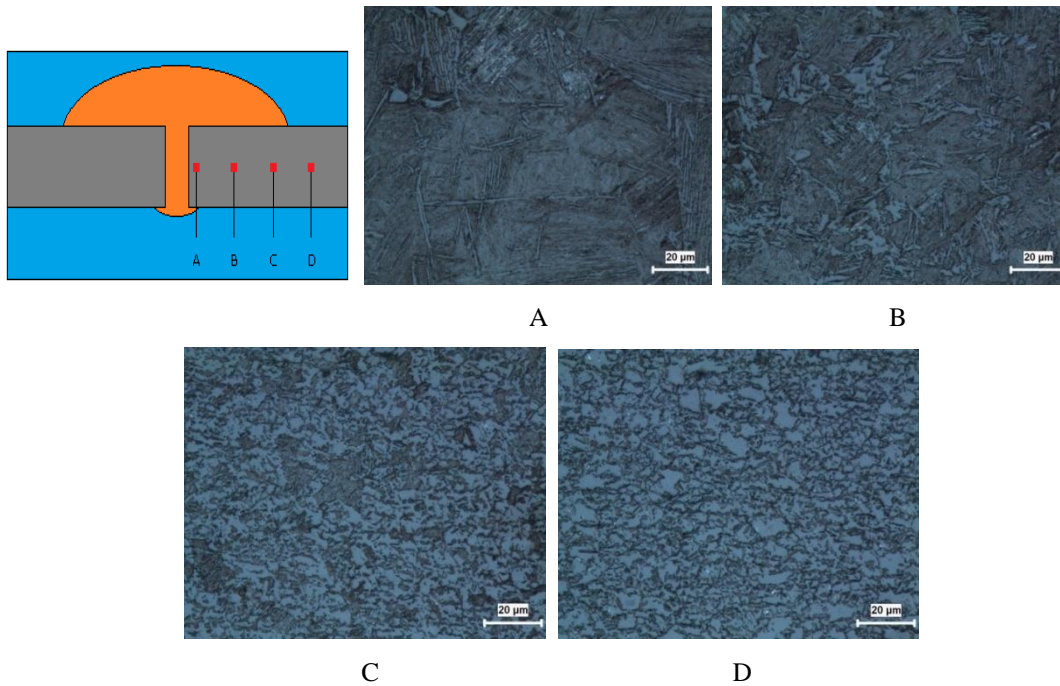


Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)				
	C	O	Al	Fe	Cu
1	0	0	1.860	62.999	35.141
2	4.608	0	9.082	10.496	75.815
3	0	2.131	3.197	14.532	80.140
4	1.956	0	2.187	47.959	47.899

Şekil 6.47. 10 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.

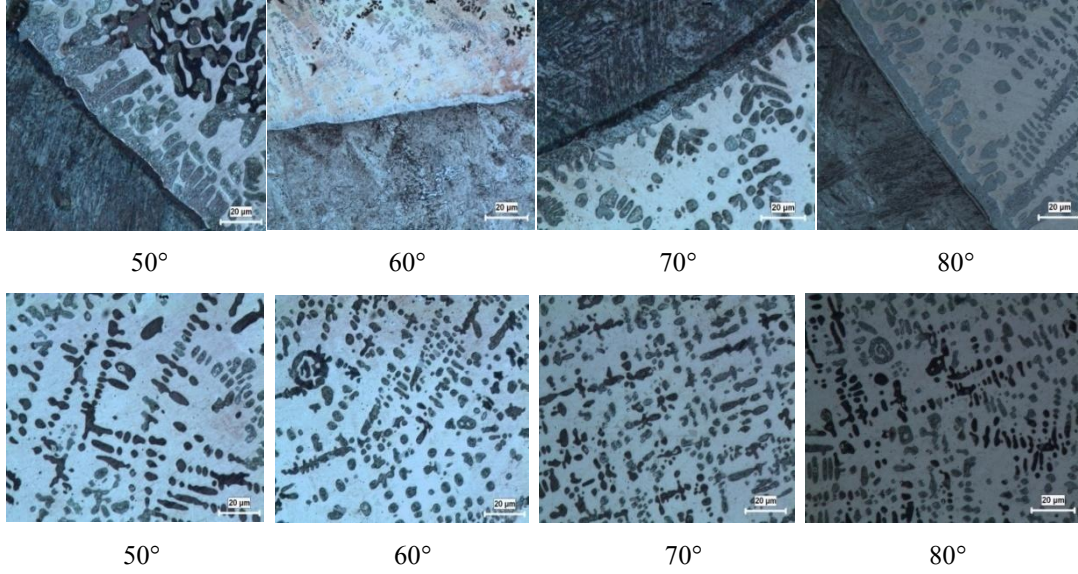
6.1.4.4. Lehim torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim torç açılarında elde edilen bağlantının ısı girdileri teorik olarak 1185 J/cm olarak hesaplanmıştır. Fakat sertlik dağılımları incelendiğinde, sertlik değişimlerinde farklarından açı değeri yükseldikçe ısı girdisi dağılımının değiştiği ve bu duruma bağlı olarak ısı girdisinin arttığı düşünülmektedir. Şekil 6.48’ de 80° lehim torç açısında lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, B ince taneli bölge, C bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve D bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.48. 80° lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.

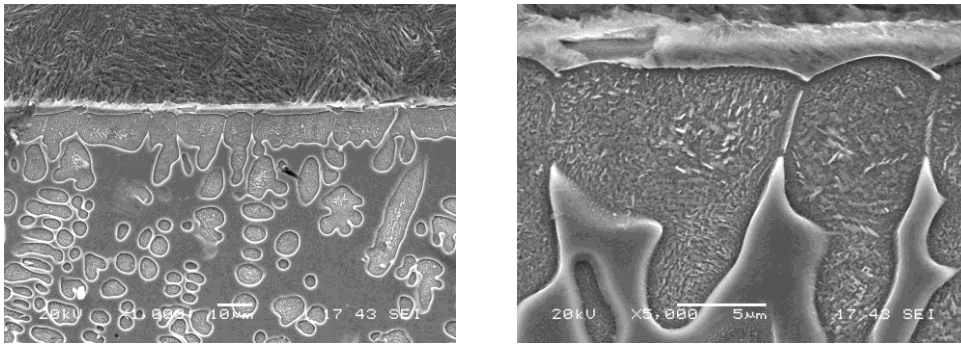
Farklı lehim torç açısında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.49’ da verilmiştir.



Şekil 6.49. Farklı torç açılarında lehim bölgesi ve ara bölge mikroyapı görüntüleri.

Lehim torç açısı arttıkça dendritlerin oluşumlarında yukarıda bahsettiğimiz ısı girdisi dağılım farkından dolayı en yoğun dendrit oluşumunun, 90° torç açısında olduğu diğer parametrelerden anlaşılmaktadır.

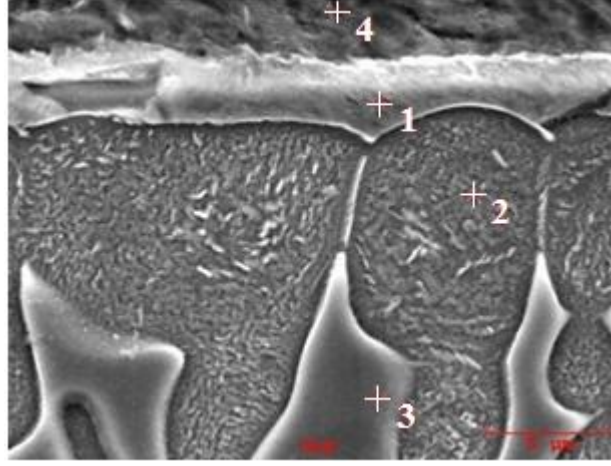
80° lehim torç açısı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.50' de verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden Cu bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemede elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımları yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.50. 80° torç açısında SEM görüntüleri.

Atomal yayınımları ile oluşan ve ana malzemeden lehim bölgesine uzanan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.51'de verilmiştir. Ana malzeme ile lehim bölgesinin birleştiği ara bölgeden (1), lehim bölgesinin içerisinde oluşan dendrit

üzerinden (2), lehim bölgesinden (3) ve ana malzemedan (4) elementer analizler alınmıştır.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Mn	Al	Si	Fe	Cu
1	0	0	3,382	2,287	83,005	11,326
2	0	0	5,837	1,852	77,323	14,988
3	0	0	11,782	0	6,293	81,925
4	5,178	1,106	0	2,488	91,228	0

Şekil 6.51. 80° torç açısında lehim ara bölge EDS analizi.

6.2. TRIP 800 Sacın MIG Lehimleme Yöntemi İle Bindirme Birleştirmeleri

6.2.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

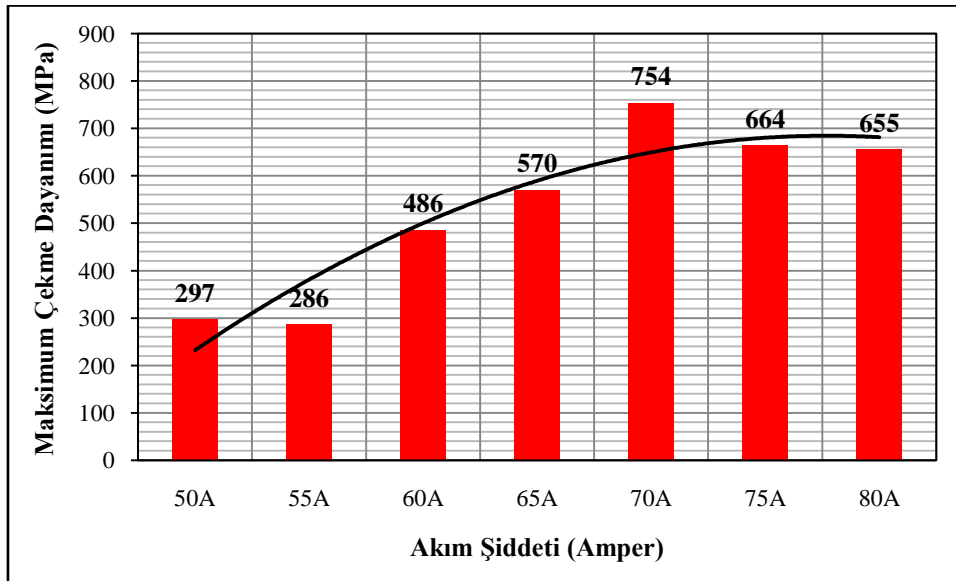
6.2.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 6.5' de, TRIP 800 galvanizli çelik için uygulanan bindirme birleştirme lehimleme parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti ve eğme kuvveti değerleri verilmiştir.

Tablo 6.5. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.

TRIP 800 MIG LEHİMLEME BİNDİRME BİRLEŞTİRME							
Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (L/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Max. Eğme Kuvveti (N)
50	2,5	11,8	12	24	0,8	297	265
55	2,8	12	12	24	0,8	286	235
60	3,1	12,1	12	24	0,8	486	199
65	3,4	12,3	12	24	0,8	570	273
70	3,7	12,4	12	24	0,8	754	162
75	4	12,6	12	24	0,8	664	281
80	4,1	12,7	12	24	0,8	655	275

Şekil 6.52' de farklı akım şiddetlerinde maksimum çekme dayanımı grafiği görülmektedir.

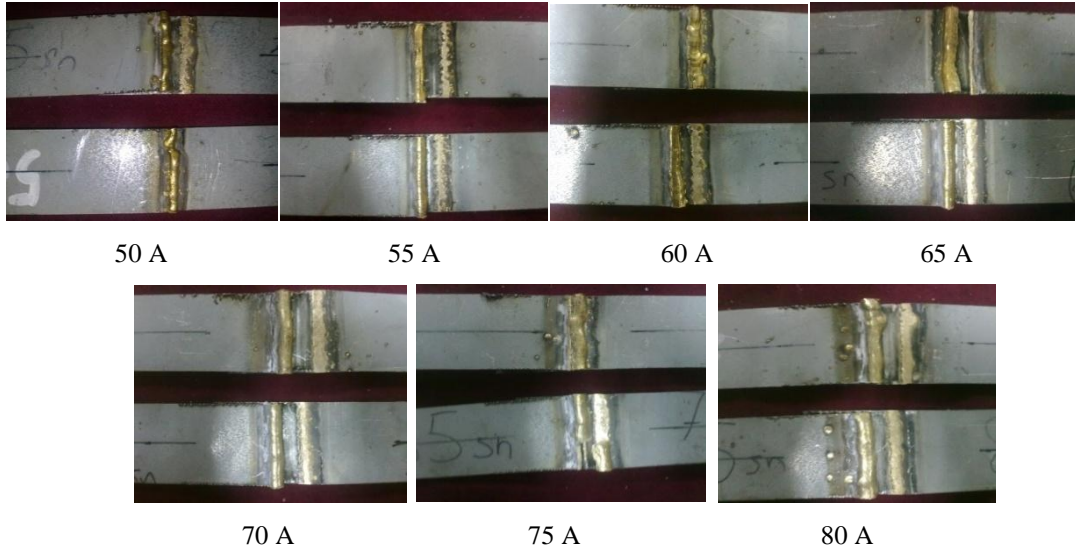


Şekil 6.52. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.

Grafik incelendiğinde artan akım şiddetine bağlı olarak çekme dayanımının 70 A akım şiddeti değerine kadar arttığı gözlenmiştir. 50 amperde 297 MPa maksimum çekme dayanımı elde edilirken 70 A akım şiddetinde 754 MPa çekme mukavemeti elde edilmiştir. Çekme mukavemetindeki bu artış yaklaşık % 153 civarındadır. Artan akım şiddetine bağlı olarak çekme dayanımının 70 A akım şiddeti değerine kadar artmasının sebebinin yükselen ısı girdisi olduğu düşünülmektedir. Maksimum çekme dayanımlarını kıyasladığımızda TRIP 800 galvanizli çeliğine bindirme birleştirmede

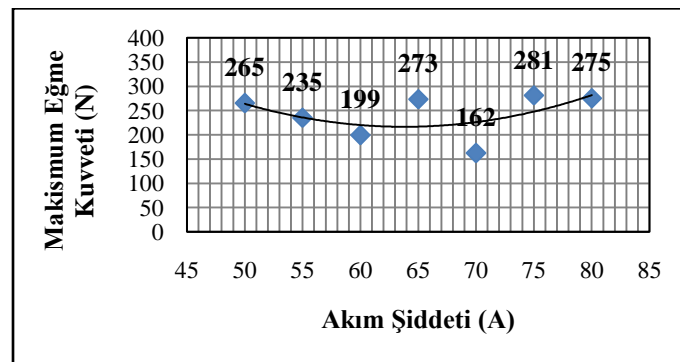
uygulanacak en uygun optimum akım şiddeti değerinin 70, 75 ve 80 A olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.53' de farklı akım şiddetlerinde lehimlenen numunelerden hazırlanan çekme deneyi numunelerinin deney sonrası fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6.53. Farklı akım şiddetlerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.

Kırılmış çekme deneyi numunelerinin fotoğrafları incelendiğinde 50, 55, 60, 65, 70, 75 ve 80A akım şiddetlerinde numunelerin lehim bölgesinden koptuğu fotoğraflardan görülmektedir. 50A akım şiddetinde MIG-lehimleme tatbikinde ısı girdisinin azalması sonucu oluşan yetersiz ısıtma sebebi ile ilave telde çok fazla sıçrama meydana gelmiştir. İlave teldeki bu durum lehim görüntüsünde düzensizlikler olarak görülmüştür.



Şekil 6.54. Farklı akım şiddetlerinde eğme kuvvetleri grafiği.

Şekil 6.54' de farklı akım şiddetlerinde maksimum eğme kuvvetleri grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde farklı akım şiddetleri uygulanan TRIP 80 galvanizli çeliğinin maksimum eğme kuvvetlerinin, akım şiddeti arttıkça 60 A akım şiddetine kadar azalmakta olduğu, 65, 75 ve 80 A akım şiddetlerinde ise 60 A akım şiddetindeki maksimum eğme kuvvetine kıyasla artış gösterdiği görülmektedir.

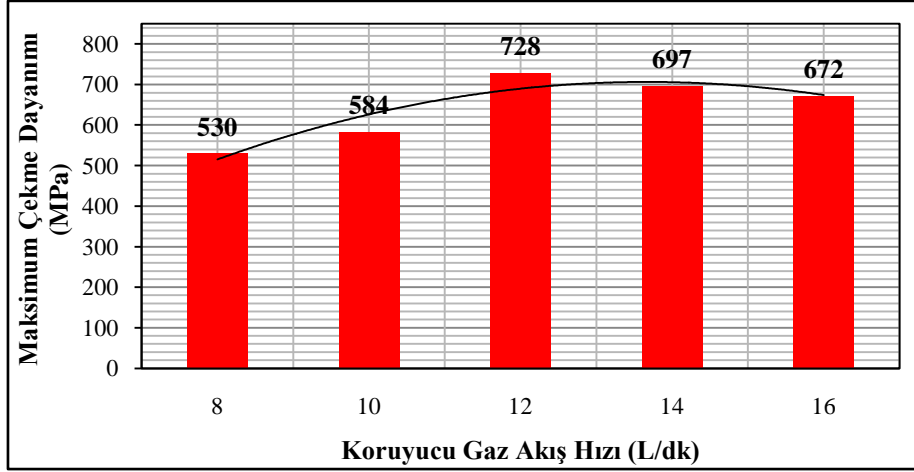
6.2.1.2. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 6.6' da TRIP 80 galvanizli çeliği için farklı koruyucu gaz debilerinde uygulanan MIG-lehimleme parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti ve eğme kuvveti değerleri verilmiştir. TRIP 80 galvanizli çeliği için MIG-lehimleme bindirme birleştime için optimum akım şiddeti 80 A, lehim gerilimi 12,7 V, lehim hızı 24 cm/dk olarak belirlenmiş, farklı koruyucu gaz debilerinde bağlantının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Gaz akış debisi argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz kaçaklarının oluşabileceği ihtimaline göz önünde bulundurularak lehim torcunun ucundan gaz akış debileri ölçülerek lehimleme işlemlerinin tatbiki gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.6. Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.

TRIP 80 MIG LEHİMLEME BİNDİRME BİRLEŞTİRME							
Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (L/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Max. Eğme Kuvveti (N)
80	4,1	12,7	8	24	0,8	530	1937,5
80	4,1	12,7	10	24	0,8	725	928,1
80	4,1	12,7	12	24	0,8	758	5669
80	4,1	12,7	14	24	0,8	697	4033
80	4,1	12,7	16	24	0,8	735	4750

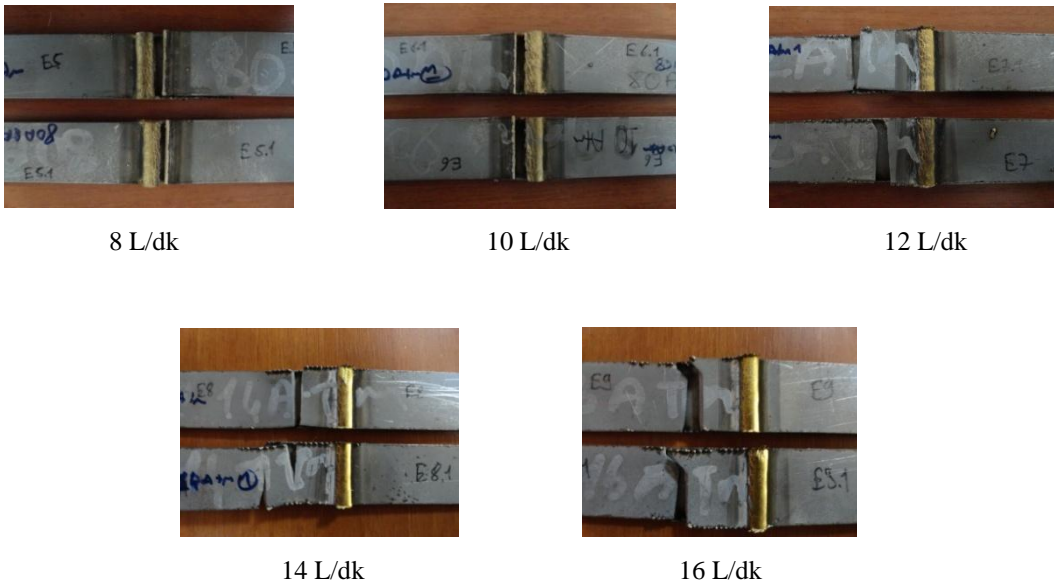
Şekil 6.55' de farklı lehim gaz akış debisi maksimum çekme makaslama mukavemeti grafiği verilmiştir.



Şekil 6.55. Farklı lehim gaz debilerinde çekme mukavemetleri grafiği.

Grafik incelendiğinde, maksimum çekme dayanımının 8 L/dk gaz debisinden 12 L/dk gaz debisine kadar artış gösterdiği daha sonra 14 ve 16 L/dk gaz debilerinde düşüş gösterdiği anlaşılmaktadır. 8 L/dk gaz debisi uygulanan çekme numunesindeki mukavemet değerinin 530 MPa, 12 L/dk gaz debisinde ise maksimum çekme dayanımı % 43 artış göstererek 728 MPa olmuştur. Buradaki verilere bakıldığında lehim gaz akış debisi değeri 12 L/dk' da en yüksek çekme mukavemeti değeri gözlenmiştir.

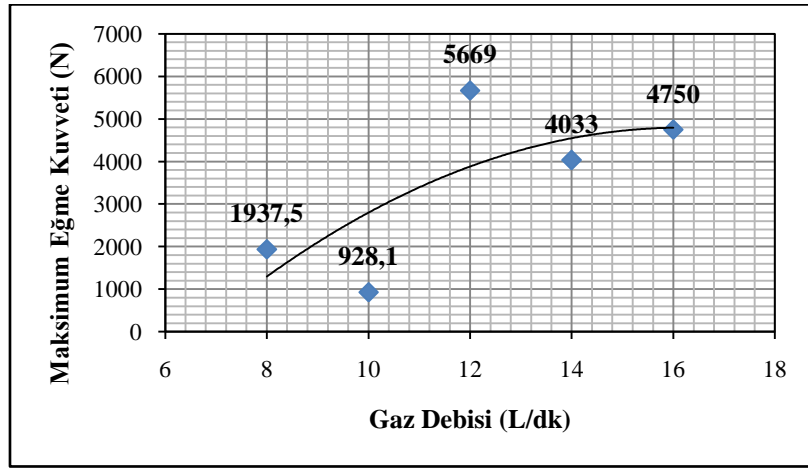
Şekil 6.56' da farklı gaz debilerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6.56. Farklı gaz debilerinde lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.

Fotoğraflar incelendiğinde 8 ve 10 L/dk gaz debilerinde numuneler lehim bölgesinden kopmuş, 12, 14 ve 16 L/dk gaz debilerinde ise numuneler ana malzemeden kopmuştur. 8 L/dk gaz debisi uygulanan TRIP 800 çelik sacının lehim tatbikleri esnasındaki sıçrama göz önünde bulundurularak bu gaz debisinin bindirme birleştirme için uygun olmadığı söylenebilir.

Şekil 6.57' de farklı lehim gaz debilerinde eğme kuvvetleri grafiği görülmektedir.



Şekil 6.57. Farklı lehim gaz debilerinde eğme kuvvetleri grafiği.

Grafik incelendiğinde en yüksek eğme kuvveti değerinin 12 L/dk gaz debisinde elde edildiği gözlenmiştir.

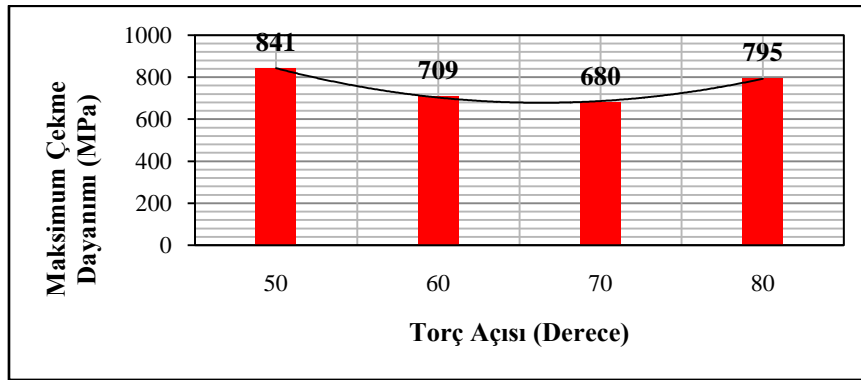
6.2.1.3. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

TRIP 800 galvanizli çeliği için optimum akım şiddeti 80A, lehim gerilimi 12,7V, lehim hızı 24 cm/dk, lehim gaz debisi 12 L/dk olarak belirlenmiş, farklı torç açısı değerlerinde bağlantının mekanik özellikleri araştırılmış optimum lehim torç açısı bulunmaya çalışılmıştır. Tablo 6.6' da TRIP 800 galvanizli çelik için uygulanan bindirme birleştirme lehimleme parametreleri ve elde edilen maksimum çekme mukavemeti ve maksimum eğme kuvveti değerleri verilmiştir.

Tablo 6.7. Farklı torç açılarında lehim parametreleri ve elde mekanik özelliklerine etkileri.

TRIP 800 MIG LEHİMLEME BİNDİRME BİRLEŞTİRME								
Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (L/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)	Torç Açısı (Derece)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Max. Eğme Kuvveti (N)
80	4,1	12,7	12	24	0,8	50	841	4058
80	4,1	12,7	12	24	0,8	60	709	4266
80	4,1	12,7	12	24	0,8	70	680	2042
80	4,1	12,7	12	24	0,8	80	795	3598

Şekil 6.58' de farklı torç açıları maksimum çekme dayanımları grafiği verilmiştir.



Şekil 6.58. Farklı lehim torç açılarındaki çekme mukavemetleri grafiği

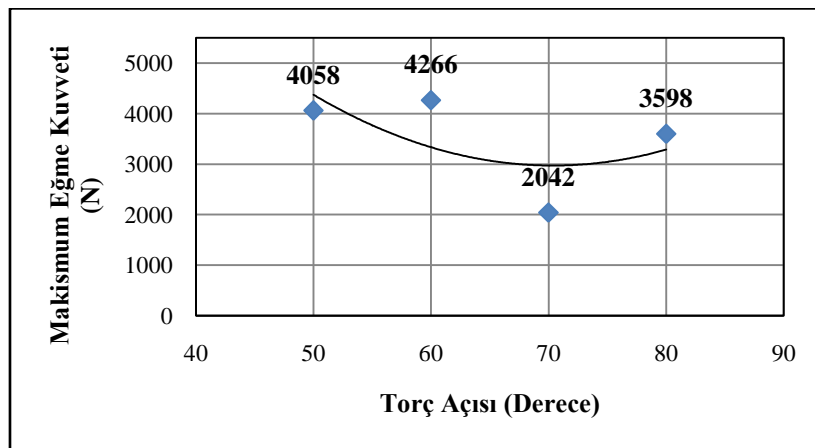
Grafik incelendiğinde, 70° torç açısında maksimum çekme dayanımının 680 MPa, 50° torç açısında maksimum çekme dayanımının 70° torç açısındaki maksimum çekme dayanımına göre % 23 artarak 841 MPa ile en yüksek değer olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle 50° torç açısının optimum torç açısı olması gerektiği düşünülmektedir.

Şekil 6.59' da farklı torç açılarındaki lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6.59. Farklı torç açılarındaki lehimlenmiş numunelerin çekme deneyi sonrası fotoğrafları.

50° torç açısında lehimlenen numuneler lehim bölgesinden, 60° torç açısında lehimlenen numunelerin biri lehimden diğeri ana malzemeden, 70° torç açısında lehimlenen numuneler ana malzemeden, 80° torç açısında lehimlenen numuneler ise lehim bölgesinden kopmuştur. 50° torç açısında maksimum çekme dayanımının diğer torç açılarında bulunan değerlere göre daha yüksek oluşu, 50° torç açısında daha yüksek ısı girdisinin olduğunu düşündürmektedir.



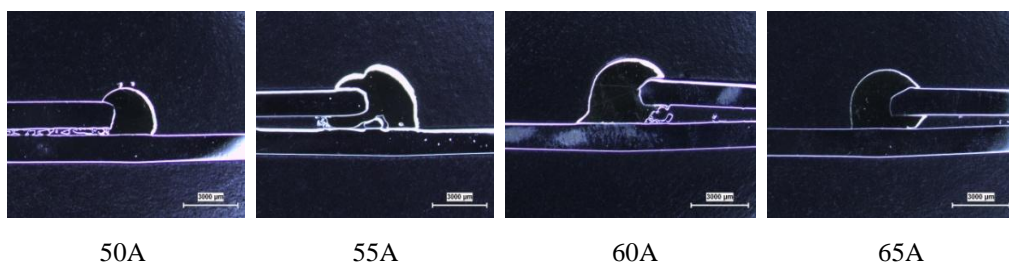
Şekil 6.60. Farklı torç açılarında maksimum eğme kuvvetleri grafiği.

Şekil 6.60' da farklı torç açılarında maksimum eğme kuvvetleri verilmiştir. Maksimum eğme kuvveti 50° torç açısında 4058 N dur.

6.2.2. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi

6.2.2.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi

Şekil 6.61' de akım şiddeti farklarına göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makro görüntüleri verilmiştir. 50, 55 ve 60A akım şiddeti uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma kabiliyetinin çok düşük olduğu görülmektedir.

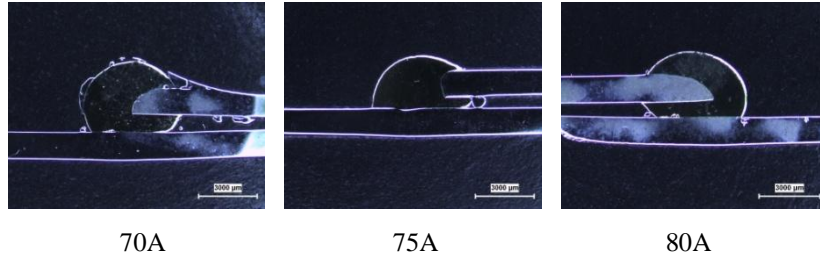


50A

55A

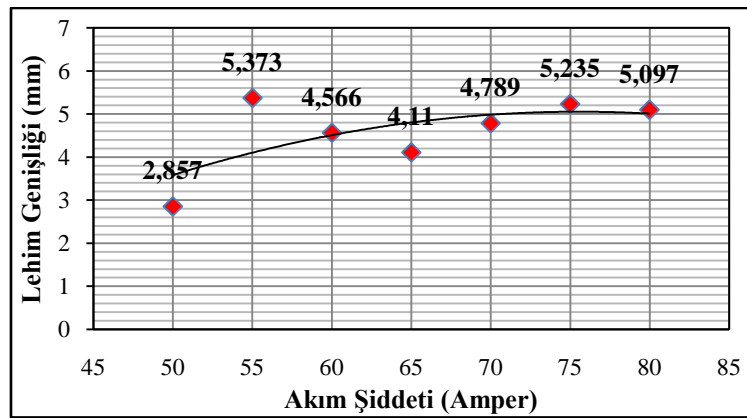
60A

65A



Şekil 6.61. Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.

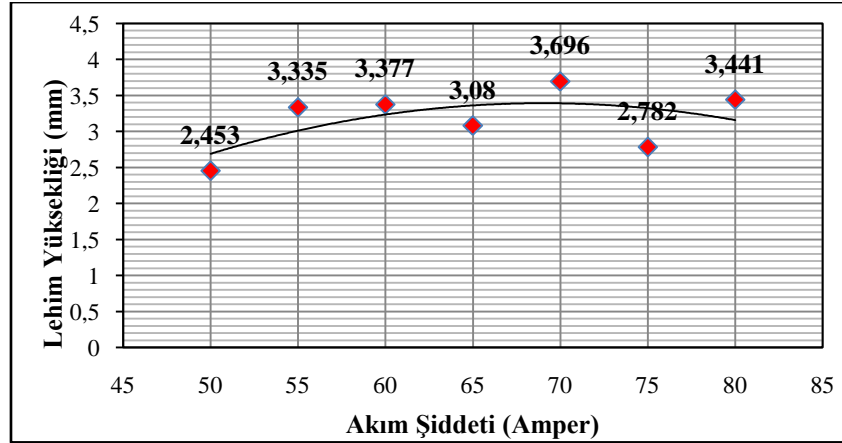
50, 55 ve 60 A akım şiddetlerinin makro görüntülerindeki bindirme birleştirme lehim aralığına lehim ilave telinin nüfuziyetinin düşük olduğu görülmektedir. 65 A akım şiddetinde ıslatma özellikleri iyileşmeye başlamış, 80 A akım şiddetine kadar ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmaktadır. Farklı akım şiddetlerinde elde edilen TRIP 800 sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden, akım şiddeti ve akım şiddetine bağlı olarak lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler üzerinde gösterilerek mukavemet ile olan bağlantıları incelenmiştir.



Şekil 6.62. Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.

Şekil 6.62' de MIG-lehimlenmiş TRIP 800 çeliğinin değişen akım şiddetine bağlı olarak lehim genişliği grafiği verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında akım şiddeti 55 A' den 65 A' e kadar azalma göstermiş, 65 A' den 80 A' e kadar lehim genişlikleri artış göstermiştir. Lehim genişliğinin 65 A akım şiddetinden sonra artış göstermesinin ıslatma özelliklerinin bu akım şiddetinden sonra iyileşmesine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.63' de akım şiddeti ve lehim yüksekliği grafiği verilmiştir.

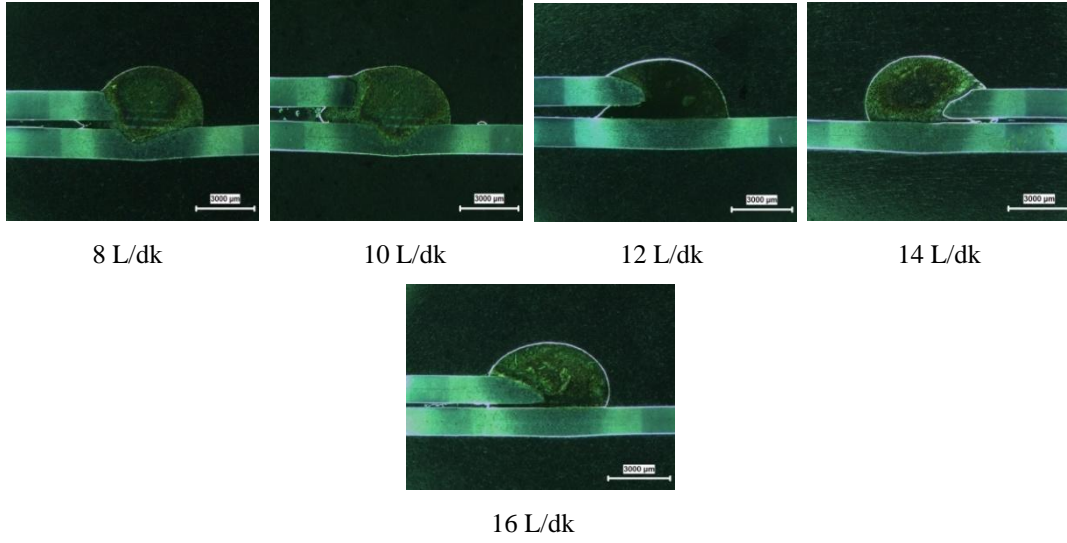


Şekil 6.63. Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği.

Grafik incelendiğinde, akım şiddeti arttıkça lehim yüksekliğinin 55 A değerinden 65 A değerine kadar düştüğü görülmektedir. 70 A değerinden artış gösteren lehim yüksekliği 75 A değerinde tekrar azalmış 80 A değerinde bir miktar artmıştır. 65 A akım şiddetine kadar yetersiz ısı girdisi ve buna bağlı ısıtmanın yetersiz olması nedeniyle lehim telinin ana metal arasında nüfuz edememesi, akım şiddetinin 70 A' e artması ile artan ısı girdisinin lehim telinin ısıtma özelliğini arttırması ve bu durumun lehim kep yüksekliğinin azalmasını sağlamasının lehim yüksekliğini arttırdığı, 75 A akım şiddetinde ısı girişinin artması ile ana malzemeye daha çok ilave metalin yayıldığı, 80 A akım şiddetinde ise ilave metalin artık ana malzeme içerisine daha çok nüfuz ettiği düşünülmektedir.

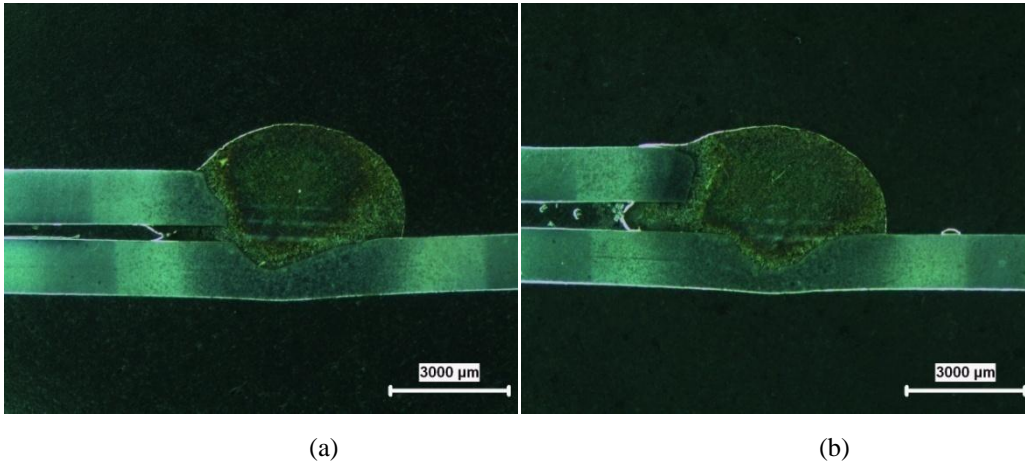
6.2.2.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetlerine göre belirlenen parametrelerden TRIP 800 saca en uygun akım şiddeti 80 A ve buna bağlı olarak lehim gerilimi 12,7 V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olarak belirlenerek bir diğer parametre olan lehim gaz debisi parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir. Lehim gaz debisi parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.64' de verilmektedir.



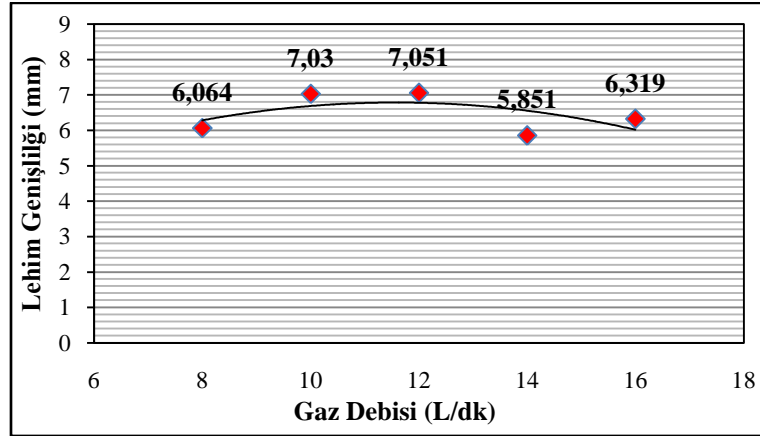
Şekil 6.64. Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.

8, 10, 12, 14, 16 L/dk lehim gaz debisi uygulanan makro görüntülerindeki lehim ilave telinin ıslatma özellikleri tüm gaz debisi parametreleri için uygun olduğu görülmektedir. Fakat 8 L/dk ve 10 L/dk gaz debilerinde makro görüntülerinden ısı girdisinin fazla olduğu, lehimlenen numunelerde, ana malzemede ergimenin gerçekleştiği belirlenmiştir. Ana malzemede meydana gelen ergime Şekil 6.65' de gösterilmektedir.



Şekil 6.65. 8 L/dk (a) ve 10 L/dk (b) gaz debisinde ana malzemede oluşan ergime.

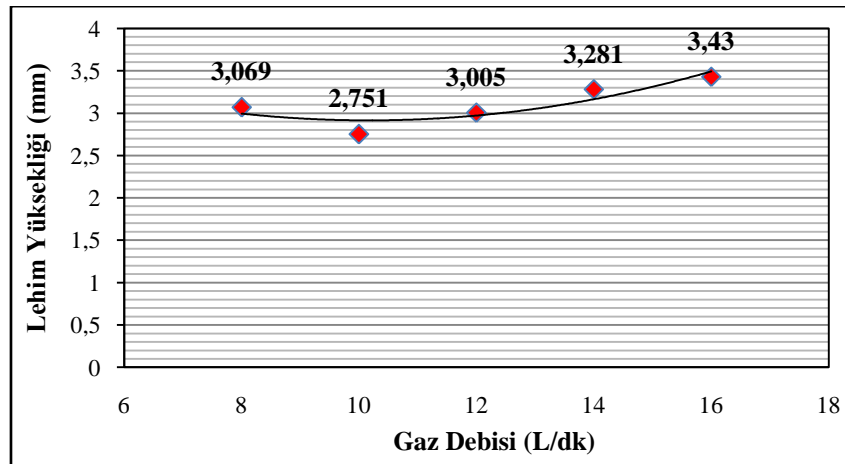
Şekil 6.66' da farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği görülmektedir.



Şekil 6.66. Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.

Grafik incelendiğinde 8 L/dk gaz debisinde lehim genişliğinin az olmasının Şekil 6.55' de görülen ana malzemede oluşan ergimenin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 12 L/dk gaz debisinde kadar artan lehim yüksekliğinin 12 L/dk değerinden sonra azalma gösterdiği görülmektedir. 14 L/dk gaz debisinde lehim ilave metalinin ana metal arasındaki boşluğa 16 L/dk kadar iyi nüfuz edememiş olmasının lehim genişliğine etki ettiği düşünülmektedir.

Şekil 6.67' de farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği görülmektedir.



Şekil 6.67. Farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği.

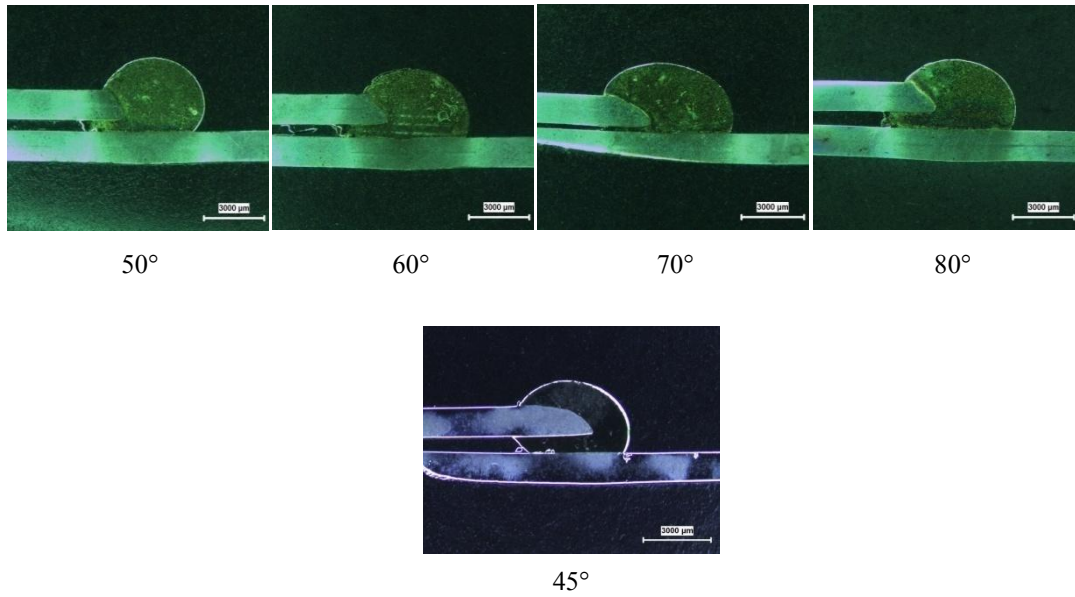
Grafik incelendiğinde 10 L/dk değerine kadar lehim yüksekliğinin azaldığı fakat 12 L/dk değerinden sonra lehim yüksekliğinin giderek arttığı şekilde görülmektedir. En düşük lehim yüksekliği olan 10 L/dk' da lehim yüksekliği 2,75 mm, en yüksek lehim yüksekliği olan 16 L/dk' da ise lehim yüksekliği değeri %24 artarak 3,43 mm

olmuştur. Lehim genişliği ve yüksekliği grafiklerinde TRIP 800 galvanizli sacı için MIG-lehimleme optimum gaz debisi parametresinin 12 L/dk olduğu düşünülmektedir.

6.2.2.3. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetlerine göre belirlenen parametrelerden TRIP 800 saca en uygun akım şiddeti 80 A ve buna bağlı olarak lehim gerilimi 12,7 V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz debisi 12 L/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim torç açısı parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.

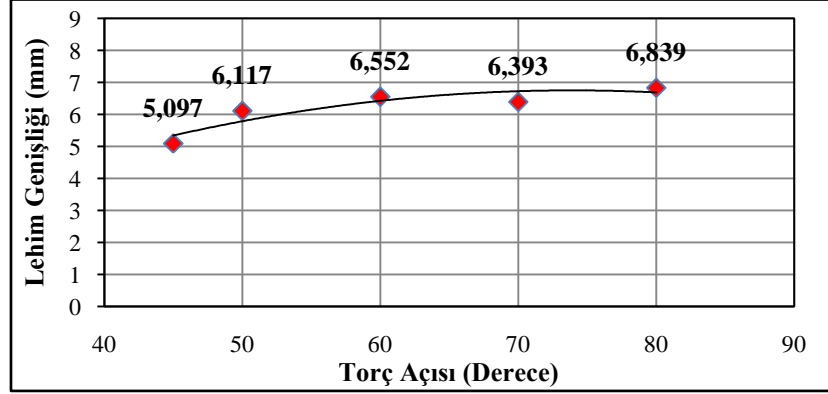
Şekil 6.68' de lehim torç açısı parametrelerine göre MIG-lehimlenmiş numunelerin makroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.68. Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.

Görüntüler incelendiğinde tüm parametrelerdeki lehimlerin benzerlik gösterdiği görülmektedir. 45°, 50°, 60°, 70°, 80° lehim torç açıları uygulanan makro görüntülerindeki lehim ilave telinin ıslatma özelliklerinin tüm torç açısı parametreleri için uygun olduğu görünmektedir.

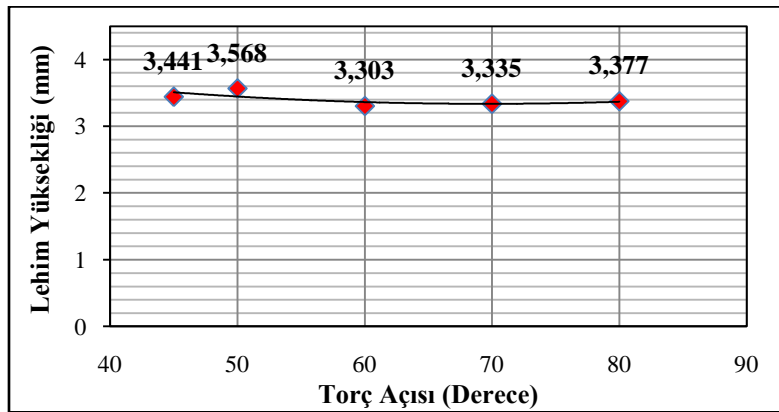
Şekil 6.69' da MIG-lehimlenmiş TRIP 800 çeliğinin değişen lehim torç açılarında bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği verilmektedir.



Şekil 6.69. Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.

Grafikteki eğim çizgisine bakıldığında lehim torç açısı arttıkça lehim kepi genişliği çok az oranda artmakta olduğu görülmektedir. Grafikteki lehim genişliği 5 - 7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir.

Şekil 6.70' de lehim torç açısı ve lehim yüksekliği grafiği verilmektedir.



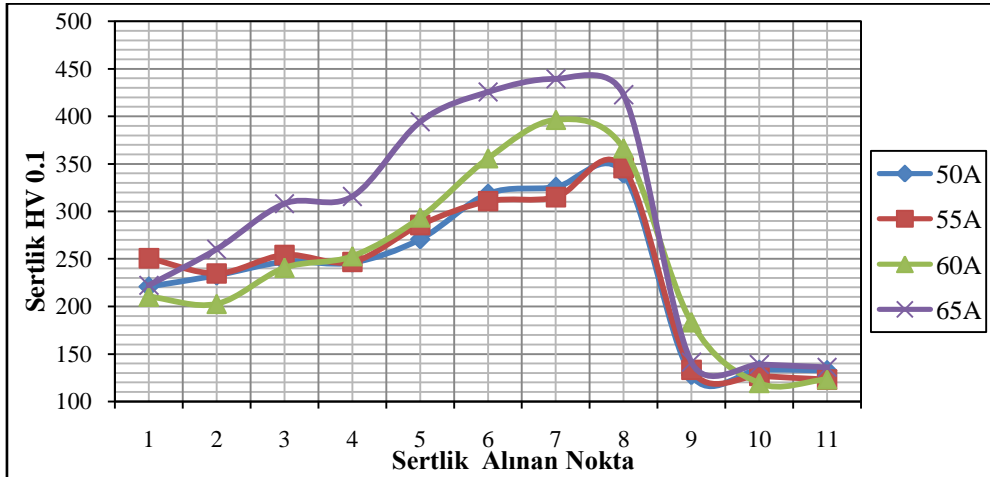
Şekil 6.70. Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.

Grafik incelendiğinde, lehim torç açısının artması lehim kepi yüksekliğini çok az oranda düşürmektedir. Torç açısının, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

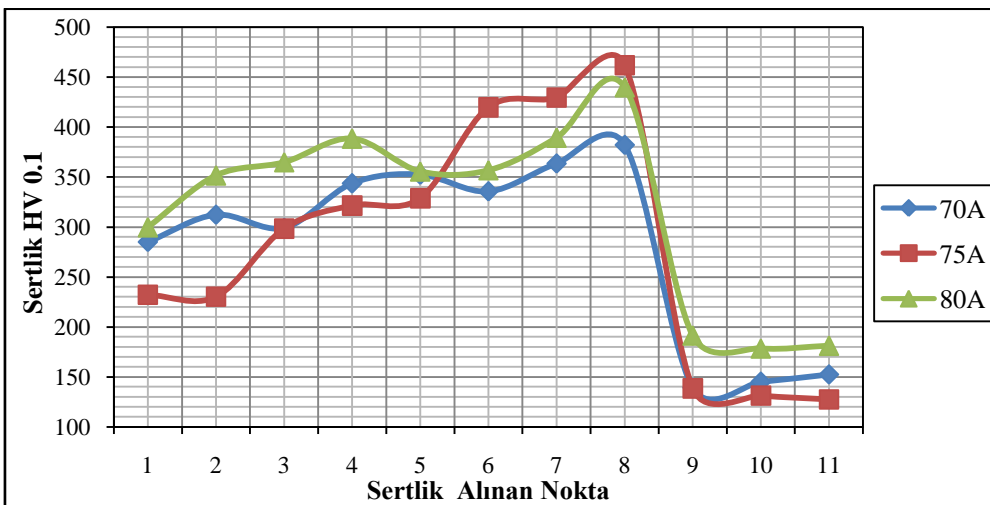
6.2.3. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi

6.2.3.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.71' de farklı akım şiddetlerinde MIG-lehimleme işlemleri uygulanan TRIP 800 galvanizli sacının mikrosertlik ölçümleri verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere 50 ve 55A akım şiddetinde sertliği en düşük olan noktalar, CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



Şekil 6.71. 50 A, 55 A, 60 A ve 65 A lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.



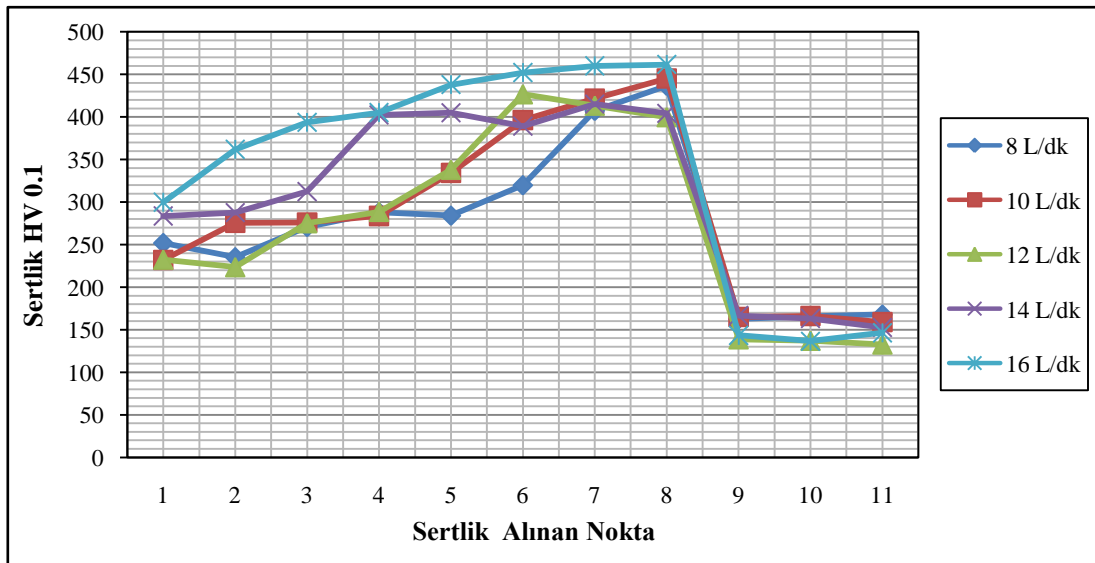
Şekil 6.72. 70 A, 75 A ve 80 A lehim akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.

Şekil 6.71 ve Şekil 6.72 incelendiğinde akım şiddetlerindeki sertlik bölgelerinde değişimler meydana geldiği görülmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik akım şiddetinin artması ile daha da artmaktadır. ITAB bölgesindeki 55 A akım şiddetinde 246,8 HV olan mikrosertlik değeri 80A akım şiddetinde 50 A akım şiddetindeki mikrosertlik değerine göre % 57 artarak 388,4 HV olmuştur.

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

6.2.3.2. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.73' de farklı lehim gaz debilerinde MIG-lehimleme işlemi uygulanan TRIP 800 galvanizli sacı mikrosertlik ölçümleri verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı gaz debilerinde sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.

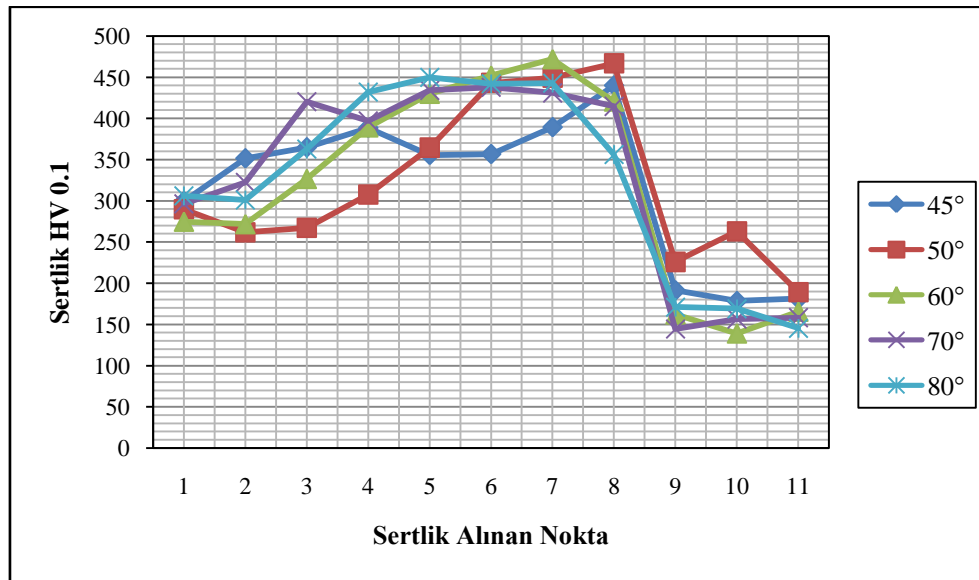


Şekil 6.73. Farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik noktaları.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gaz debisi 8 L/dk, 10 L/dk, 12 L/dk 14 L/dk' da ITAB bölgesinin mikrosertlik değerleri 338 HV ve altında çıkarken, 14 L/dk gaz debisinde ITAB bölgesinin mikrosertlik değeri 402 HV, 16 L/dk gaz debisinde ITAB bölgesinin mikrosertlik değeri 450 HV çıkmıştır. Bu durumda 16 L/dk gaz debisinin TRIP 800 çelik sacının MIG-lehimleme birleştirilmesinde uygunluğundan söz edilememektedir. Lehim bölgesindeki dendritler incelendiğinde dendritin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

6.2.3.3. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.74' de farklı lehim torç açılarında MIG-lehimleme işlemi uygulanan TRIP 800 galvanizli sacı mikrosertlik ölçümleri verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı torç açılarında sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir.



Şekil 6.74. Farklı lehim torç açılarında mikrosertlik noktaları.

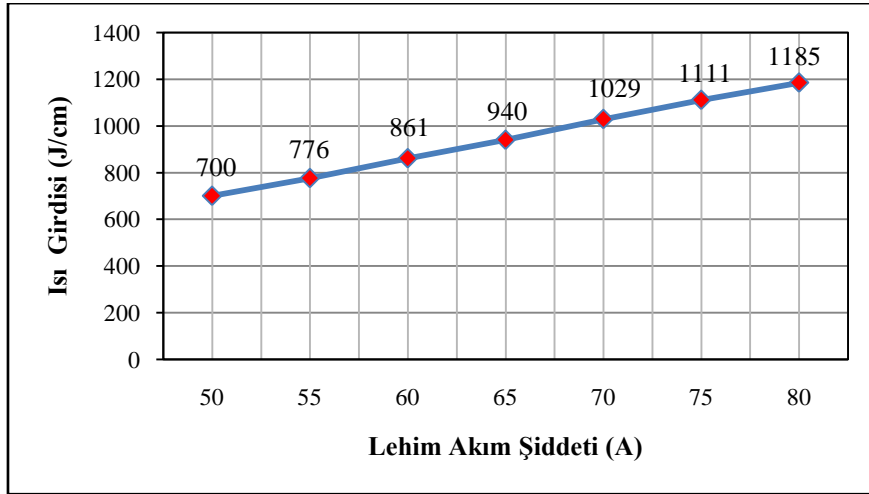
İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm ortalama mikrosertlik değerlerinde, lehim torç açısı 45°, 50°, 60°, 70° ve 80°' de 315 - 330 HV mikrosertlik değeri elde edilmiştir. Lehim torç açısı farklarının bindirme numunelerde sertlik üzerinde

etkisinde, 45° de üste binen sac numunesinin ITAB bölgesinin genişliğini arttırmış açı değeri yükseldikçe aynı durum altta kalan numune için geçerli olmuştur. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

6.2.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisi ve mikroyapı özelliklerine etkisi

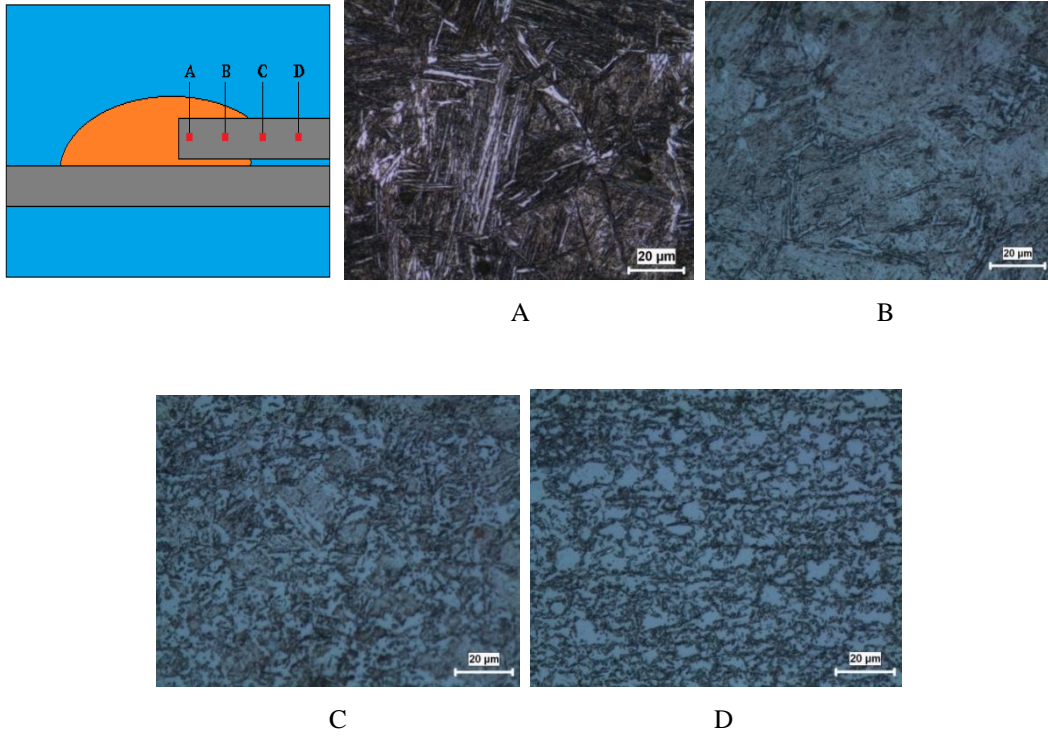
6.2.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Şekil 6.75’ de farklı lehim akım şiddetlerinde lehim tatbikleri gerçekleştirilen TRIP 800 galvanizli çeliğinin ısı girdileri grafiği verilmektedir. Burada akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. Mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler olan 70, 75 ve 80A akım şiddetinde ısı girdileri 1029, 1111 ve 1185 J/cm olmuştur.



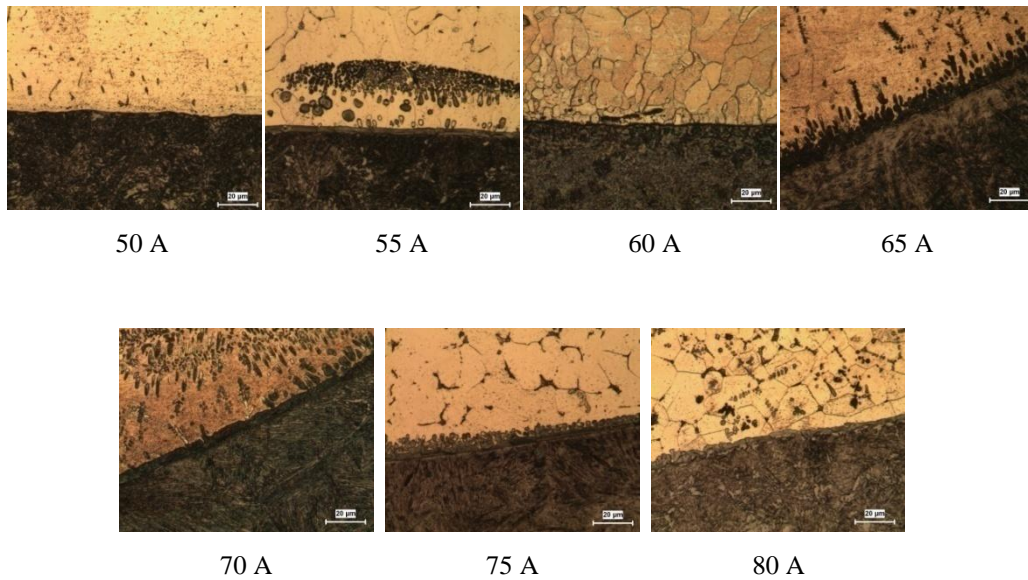
Şekil 6.75. Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği.

Şekil 6.76’ da 70 A akım şiddetinde lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB bölgesi olduğunu göstermektedir. A bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, B ince taneli bölge, C bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve D bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.76. 70A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.

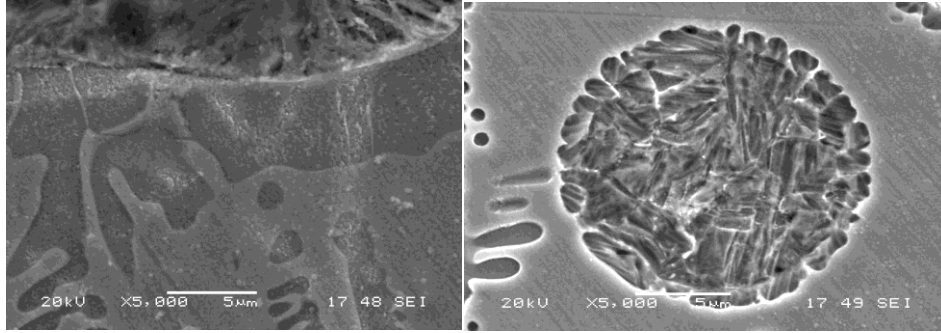
Şekil 6.77' de farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.77. Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

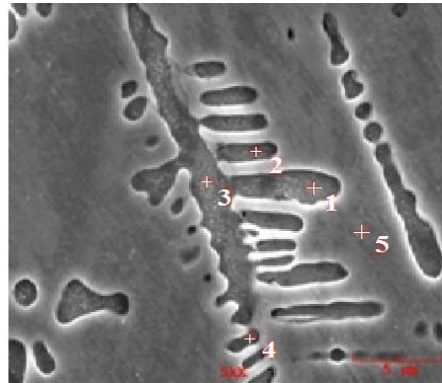
50, 55 ve 60 A mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü üzere dendritlerin oluşumları çok azdır. 65 A akım şiddetinde dendritlerin oluşumu başlamıştır ve akım şiddeti arttıkça, ısı girdisi artmış ve dendritlerin oluşumları artmıştır. Şekil 6.78' de 70 A

akım şiddetinde lehim bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomal yayınımla yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.78. 70 A akım şiddetinde SEM görüntüleri.

Atomal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 6.79'de verilmiştir. Lehim bölgesinin içerisinde oluşan dendrit üzerinden (1,2,3,4) ve lehim bölgesinden (5) elementer analizler alınmıştır.

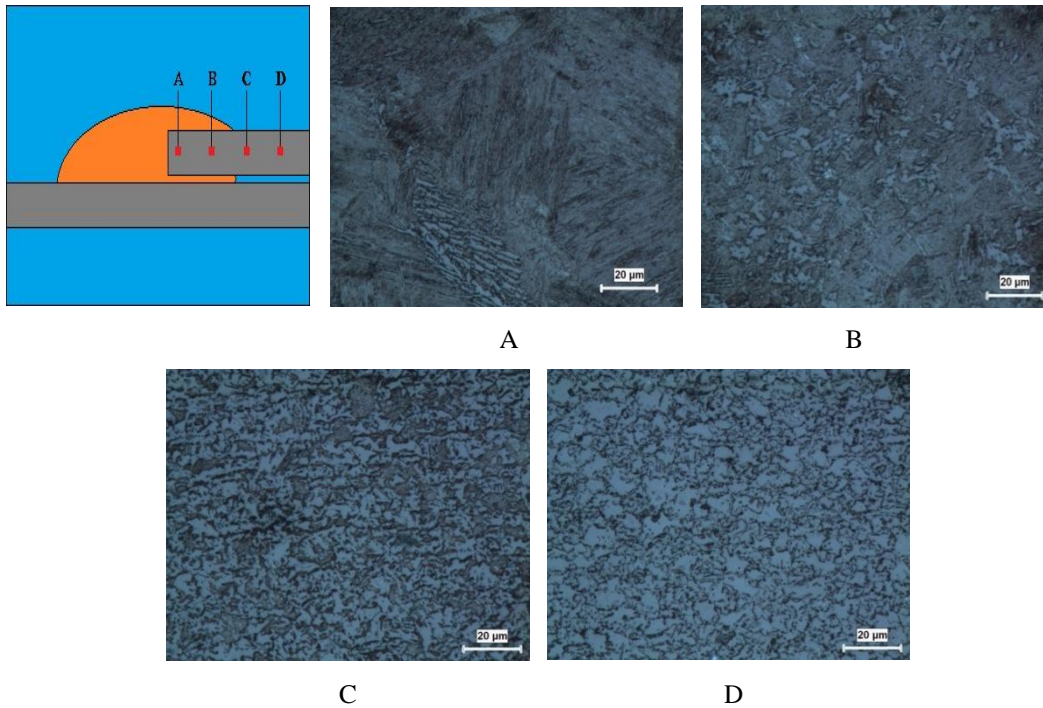


Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)				
	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	7,838	1,416	0,195	74,583	15,968
2	7,467	1,715	0	67,418	23,4
3	7,918	1,975	0	59,557	30,549
4	6,165	0	0	59,066	34,769
5	10,096	0	0	4,182	85,721

Şekil 6.79. 70A akım şiddetinde EDS analizi.

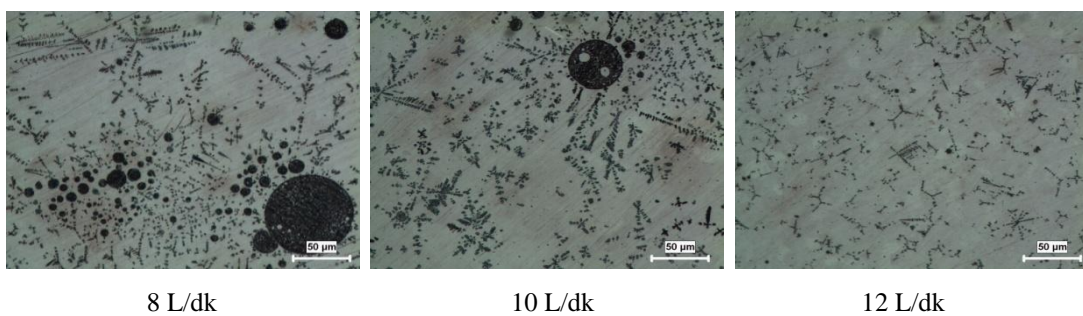
6.2.4.2. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

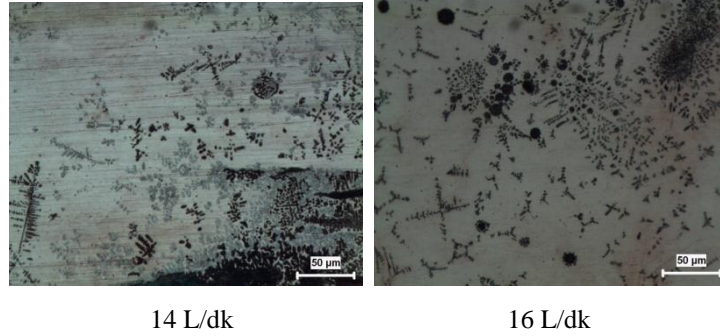
Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantının ısı girdileri 1185 J/cm olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.80' de 10 L/dk lehim gaz debisinde lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB bölgesi olduğunu göstermektedir. A bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, B ince taneli bölge, C bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve D bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.80. 10 L/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.81' de farklı lehim gaz debisinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

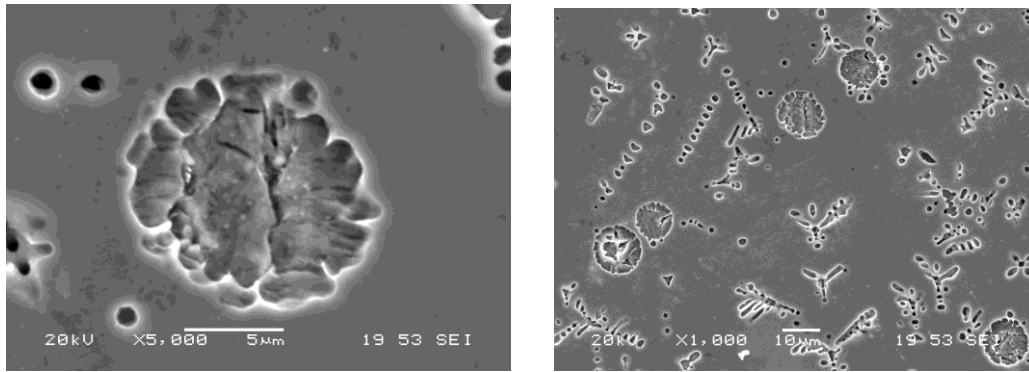




Şekil 6.81. Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

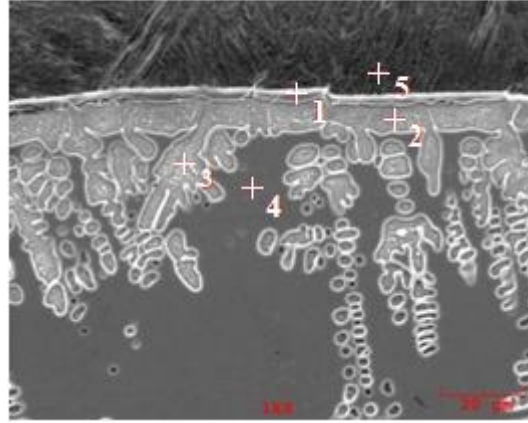
Lehim gaz debisi arttıkça dendritlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 80 A, lehim gerilimi 12,7 V ve lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.

Şekil 6.82' de 10 L/dk lehim gaz debisi, lehim bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.82. 10 L/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüleri.

Şekil 6.83' de atomsal yayınma ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri verilmiştir. Ana metal ile lehim bölgesi arasındaki ara bölgeden (1,2) Lehim bölgesinin içerisinde oluşan dendrit üzerinden (3), lehim bölgesinden (4) ve Ana metalden (5) elementer analizler alınmıştır.

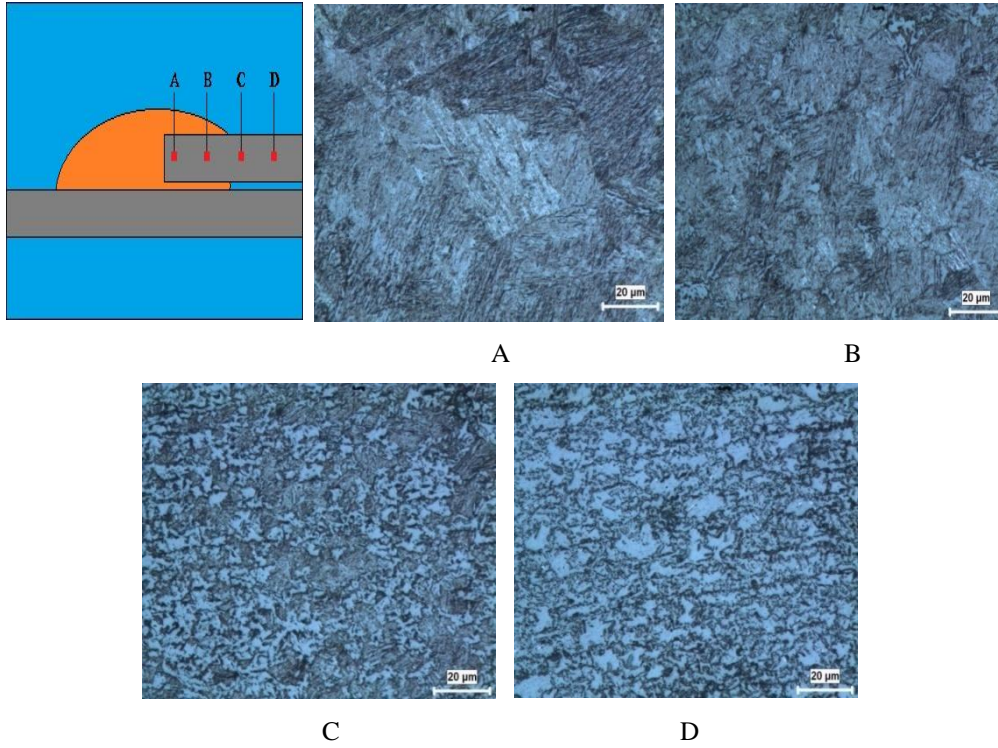


Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	2,113	3,176	2,58	0,033	85,387	6,71
2	0	6,304	1,897	0,136	69,024	22,639
3	0	7,111	1,806	0,231	67,922	22,929
4	0	9,062	0	0,217	6,479	84,242
5	6,295	0	2,188	1,042	90,476	0

Şekil 6.83. 14 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.

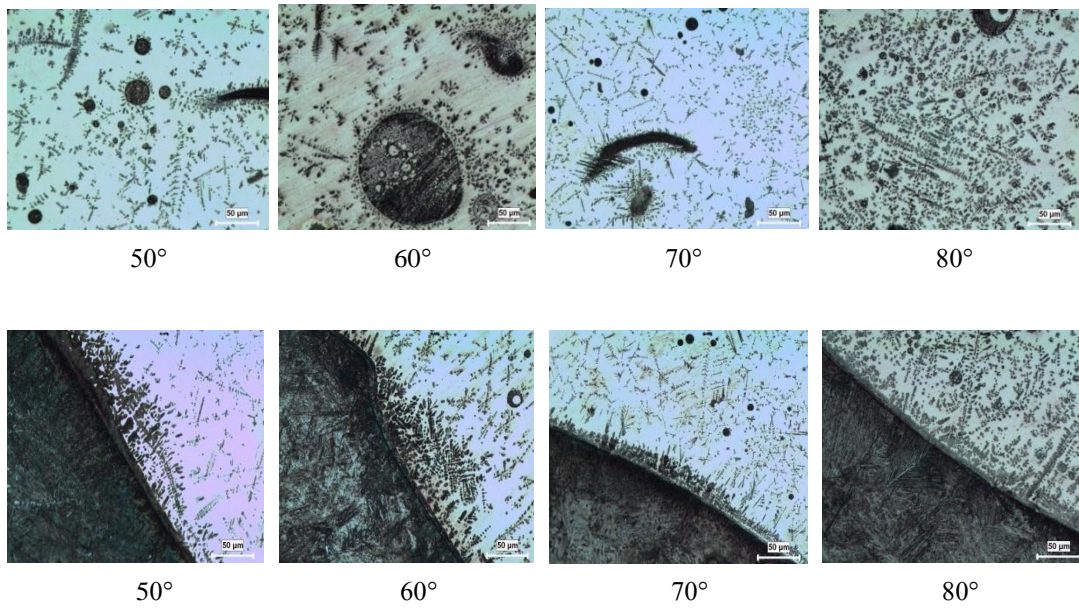
6.2.4.3. Lehim torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim torç açılarında elde edilen bağlantının ısı girdileri 1185 J/cm olarak hesaplanmıştır. Fakat torç açısı sertlik dağılımları incelendiğinde, sertlik değişimindeki farkların, açılı değeri yükseldikçe ısı girdisi dağılımının değiştiği ve bu duruma bağlı olarak ısı girdisinin arttığı düşünülmektedir. Şekil 6.84' de 80° lehim torç açısında lehimlenmiş ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapısındaki değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A bölgesi mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölge, B ince taneli bölge, C bölgesi kısmen dönüşmüş bölge ve D bölgesi esas metal olarak gösterilmiştir.



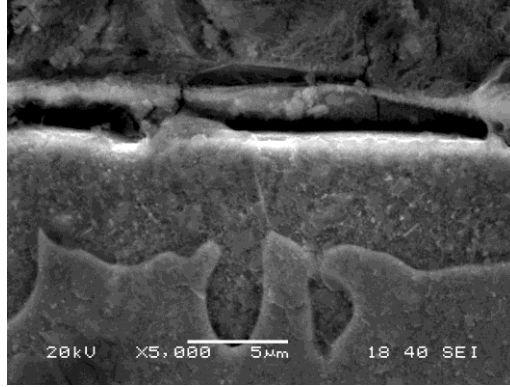
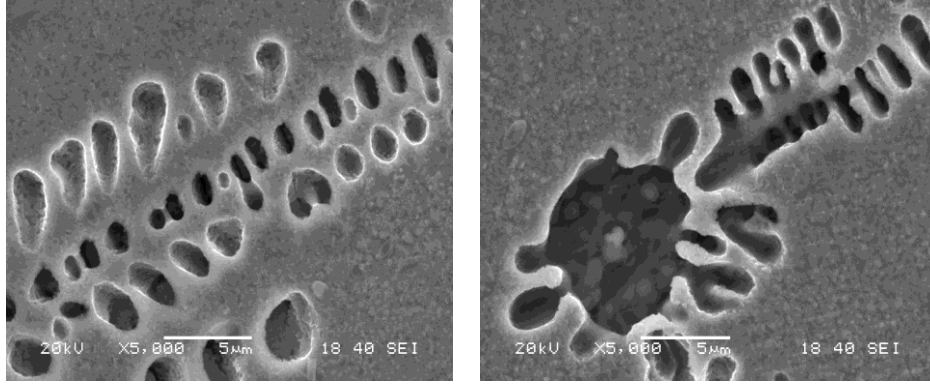
Şekil 6.84. 80° lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.85' de farklı lehim torç açısında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehim torç açısı arttıkça dendritlerin oluşumlarında yukarıda bahsettiğimiz ısı girdisi dağılım farkından dolayı yoğun dendrit oluşumunun olacağı düşünülmektedir.



Şekil 6.85. Farklı torç açılarında lehim bölgesi ve ara bölge mikroyapı görüntüleri

Şekil 6.86' da lehim torç açısı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dentridlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımları yoluyla oluşmuştur.



Şekil 6.86. 80° torç açısında SEM görüntüleri.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada 1,5 mm kalınlığa sahip TRIP 800 çelik saclar MIG-lehimleme yöntemi kullanılarak bakır esaslı bir tel olan CuAl8 teli ile birleştirilmiştir. Numuneler iki farklı bağlantı biçimi olan bindirme ve alın bağlantılar olarak hazırlanmıştır. MIG-lehimleme alın birleştirme için dört farklı parametrede, akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz akış debisi, torç açısı olarak, bindirme birleştirmede ise üç farklı parametrede, akım şiddeti, gaz akış debisi, torç açısı olarak uygulanmış ve incelenmiştir. MIG-lehimlenen malzemelerin mukavemet özellikleri, eğme kuvveti ve bağlantı bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı incelemelerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, torç açısı ve lehimlenen bağlantı bölgesi ve TRIP 800 çeliği arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır. Çalışmalarda kullanılan 1,5 mm kalınlığa sahip TRIP800 çeliği ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkarılan öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. TRIP 800 galvanizli çeliğinin alın altına MIG-lehimlenmesinde, 85A akım şiddeti, 24 cm/dk ilerleme hızında sacda ergime ve delinme görülmektedir. 45 ve 50 A akım şiddetlerinde, ısı girdisinin azalması sonucu oluşan yetersiz ısıtma ve ilave telde sıçrama meydana gelmiştir. 55 A akım şiddeti ilave telde meydana gelen sıçramanın azalması yönünde 65 A ise maksimum çekme mukavemetinin artışıyla kritik değer olmuştur.

TRIP 800 galvanizli çeliği 45, 50, 55, 60, 65 ve 70 A akım şiddetlerinde lehim bölgesinden, 75 A akım şiddetinde çekilen numunelerin bir tanesi lehim

bölgesinden diğeri ana malzemeden, 80 A akım şiddetinde çekilen numuneler ise ana malzemeden kopmuştur. Kep eğme kuvvetlerinden anlaşılan, akım şiddeti arttıkça eğme kuvvetinin arttığı görülmektedir.

Farklı kaynaklara göre yeterli ıslatabilirlik sağlamak için ıslatma açısı 30° den küçük olmalıdır. Çoğu kez de, yüksek sıcaklık sert lehimlemesi için açının çok daha küçük olacağı söylenmiştir [67]. 45 ve 50 A akım şiddeti uygulanan bağlantıların lehim ıslatma açıları 40° nin üstündedir. Bu durum lehim geometrisi açısından bu akım şiddetlerinin uygun olmadığını göstermektedir. 55 A akım şiddetinde $29,8^\circ$ ıslatma açısı ile iyileşmeye başlamış, 80 A akım şiddetine kadar $10,4^\circ$ ye kadar düşerek ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmıştır. 80 A akım şiddetinde ıslatmanın çok fazla olduğu lehim kökündeki aşırı nüfuziyetin makro görüntüsünden görülmüştür. Akım şiddeti arttıkça, ıslatma açısı ve lehim yüksekliği azalmakta lehim kepi genişliği artmaktadır.

45, 50, 55 A akım şiddeti uygulanan bağlantıların lehim kepi genişliği 5 mm' nin altında, lehim yükseklikleri ise 2 mm' nin altındadır. Lehim kepi genişliği 60 A ve üzeri akım şiddetlerinde 5 mm üzerinde, lehim yükseklikleri ise 2 mm' nin altındadır. Bu durum mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde lehim kepi genişliğinin 5 mm ve üzerinde, lehim yüksekliğinin 2 mm ve altında olması gerektiği düşünülmektedir.

Farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metali ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde 45, 50 ve 55 A mikroyapısında dentridlerin oluşumları çok azdır. 60 A akım şiddetinde dentridlerin oluşumu başlamıştır ve akım şiddeti arttıkça, ısı girdisi artmış ve dentridlerin oluşumları artmıştır. Dentridlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımları yoluyla oluşmuştur. Akım şiddeti parametreleri ile ilgili tüm incelemeler tamamlandığında TRIP 800 galvanizli çeliğinin alın altına birleştirilmesinde uygulanacak en uygun akım şiddeti değerinin 80A olduğu düşünülmektedir.

2. TRIP 800 galvanizli çeliğinin alın altına MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim hızları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numunelerin ana malzemeden koptuğu belirlenmiştir.

Lehim hızı azaldıkça ısı girdisinin arttığı ve artan ısı girdisi ile ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında lehim hızı değeri 24 cm/dk' da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşmıştır. Lehimleme hızı arttıkça ısı girdisi azalmaktadır. Isı girdisinin azalması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki daralma gözle muayene sonucunda görülmüştür. Kep eğme kuvvetleri incelendiğinde lehim ilerleme hızı arttıkça ısı girdisinin azalması sonucu maksimum eğme kuvvetinin arttığı anlaşılmaktadır.

Tüm lehimleme hızı değerlerinde ıslatma açılarının 10° ile 25° arasında olduğu görülmektedir. Lehim ilerleme hızı değerlerinin mukavemet verilerine bakılarak ıslatma açılarının uygun olduğu söylenebilmektedir.

Lehim ilerleme hızı arttıkça lehim kepi genişliği azalmaktadır. Lehim kepi genişliği 24 cm/dk lehim hızında 7-8 mm iken, 28 cm/dk' da 6-7 mm, 33,6 cm/dk lehim hızında ise 4-5 mm olmuştur. Lehimleme hızının artması sonucu ısı girdisi azaltmıştır. Lehimleme hızı azaldığında ise ana malzemeye tel yığılması artarak lehim kep yüksekliğinin artmasına sebep olmaktadır.

24cm/dk, 28cm/dk ve 33,6 cm/dk lehim ilerleme hızlarındaki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. İncelenen lehim ilerleme hızları parametrelerinde ITAB bölgelerinde 24 cm/dk ilerleme hızında 473 HV, 28 cm/dk da 450 HV ve 33,6 cm/dk da 425 HV olduğu görülmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları lehim ilerleme hızının azalması ile daha da artmaktadır.

Farklı lehim ilerleme hızlarında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden lehim ilerleme hızı arttıkça dentridlerin oluşumlarının azaldığı anlaşılmaktadır. Burada belirlenen optimum akım

şiddeti değeri 80A olduğu için dentridler yoğunlaşmıştır. Fakat lehim ilerleme hızında azalma ana malzemedeki elementlerin atomsal yayınmalarını artırarak dentrid oluşma miktarını daha da arttırmıştır.

3. TRIP 800 galvanizli çeliğinin alın altına MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim gaz akış debisi maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 8, 10, 12 ve 14 L/dk gaz debisi ile lehimlenen bütün numuneler ana malzemedan kopmuş, 16 L/dk gaz debisi ile lehimlenen bütün numuneler lehimden kopmuştur. Lehim gaz akış debisi değeri 12 L/dk ve 14 L/dk da en yüksek çekme mukavemeti değerine sahiptir. Kep eğme kuvveti, 12 L/dk da en yüksek değeri göstermektedir.

8, 10, 12, 14 ve 16 L/dk gaz debisi uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının 5° ila 20° arasında olduğu görülmektedir. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti ve lehimleme hızı parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermesi gaz debisi farklarının, ıslatma açısını etkin bir şekilde etkilemediği görülmektedir.

MIG-lehimlenmiş TRIP 800 çeliğinin değişen lehim gaz debisine bağlı olarak lehim gaz debisi arttıkça lehim kepi genişliği 12 L/dk gaz debisine kadar artmaktadır. Lehim gaz debisi 8 lt/dk da 4,5 mm iken 12 lt/dk da 7,5 mm olmuştur. Lehim gaz debisi lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 12 lt/dk' daki mukavemet değeri, en yüksek mukavemet değeri olmuştur. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 7,5 mm' dir. Lehim gaz debisi ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim gaz debisinin artması ile lehim kepi üzerindeki basınç artmış, lehim yüksekliği 12 L/dk gaz debisine kadar artış göstermiştir.

ITAB bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, lehim gaz debisi 8, 10, 12, 14 ve 16 L/dk da mikrosertlik 425 HV sertlik değerinin üzerindedir. Lehim bölgesindeki dentridler incelendiğinde dentridin olduğu noktaların mikrosertlik değerinin bakır bölgesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Farklı lehim gaz debilerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden lehim gaz debisi arttıkça dentridlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Guimaraes [11] ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda, düşük karbonlu galvanizli çeliklerin alın alına MIG-lehimlenmesinde 12 L/dk gaz akış debisi kullanmıştır. Bu çalışmada en uygun gaz debisinin 12 L/dk olduğu mukavemet sonuçlarından ortaya çıkması diğer çalışmalar ile örtüşmektedir.

4. TRIP 800 galvanizli çeliğinin alın alına MIG-lehimlenmesinde, farklı lehim torç açıları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehim torç açısı değeri 90° de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. TRIP 800 galvanizli çelik numunelerinde gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.
5. 50, 60, 70, 80 ve 90° torç açısı uygulanan numunelerin makro görüntülerinde lehim ıslatma açısı 10° ile 25° arasındadır. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti, lehimleme hızı ve lehim gaz debisi parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermektedir. Lehim torç açıları lehim yüksekliği 0,4-1 mm aralığındadır. Lehim torç açısının artması lehim kep yüksekliğini düşürmektedir.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm ortalama mikrosertlik değerlerinde, lehim torç açısı yükseldikçe ısı girdisinin ana malzemeye dikey konumda girmesiyle mikrosertlik değerinin arttığı görülmektedir.

Farklı lehim torç açısında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden, lehim torç açısı arttıkça dentridlerin oluşumlarında artış gerçekleşecek, açı dikleştikçe ısı girdisi dağılım farkından dolayı en yoğun dentrid oluşumu, 90° de torç açısında olacaktır.

6. MIG-lehimlenen TRIP 800 1,5 mm kalınlığındaki galvanizli çeliğinin alın birleştirme parametreleri değerlendirildiğinde, akım şiddeti 80A' da 10° ile 15° ıslatma açısıdır. Mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde,

lehim kepi genişliğinin 7 mm ve üzerinde, lehim yüksekliğinin 2 mm ve altında olması gerekmektedir. Bu ölçütten yola çıkarak lehimleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz debisi 12 L/dk' dır. Torç açısı alın birleştirmeler için mukavemet sonuçlarındaki değerlendirmelerde 90° en yüksek değeri vermektedir.

MIG-lehimlenen TRIP 800 1,5 mm kalınlığındaki galvanizli çeliğinin alın birleştirme parametrelerinde belirlenen optimum değerlerinde, maksimum çekme mukavemeti, ana malzemenin maksimum çekme mukavemeti değerleri ile mukayese edildiğinde mukavemet değerinde bir azalma olmamış aksine artış söz konusudur. Akma mukavemetinde de ana malzemenin akma mukavemetine göre % 2-5 gibi bir artış olmuştur.

7. TRIP 800 galvanizli çeliğinin bindirme birleştirme MIG-lehimlenmesinde, 85A akım şiddeti, 24 cm/dk ilerleme hızında sacda ergime ve delinme görülmektedir. Akım şiddetleri 50 amperden başlayarak 80 ampere kadar tatbik edilmiştir. 50 ve 55A akım şiddetlerinde MIG-lehimleme tatbikinde ısı girdisinin azalması sonucu oluşan yetersiz ıslatma sebebi ile ilave telde çok fazla sıçrama meydana gelmiştir. İlave teldeki bu durum lehim görüntüsünde düzensizlikler olarak görülmüştür. 60A akım şiddeti ilave telde meydana gelen sıçramanın azalması ve maksimum çekme mukavemetinin artışında kritik bölge olmuştur. TRIP 800 galvanizli çeliği 50, 55, 60, 65, 70, 75 ve 80A akım şiddetlerinde çekilen numuneler lehim bölgesinden kopmuştur. 75A akım şiddetine kadar artan maksimum çekme mukavemeti, 80A' de düşmüştür. Bunun sebebinin yükselen ısı girdisi olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple TRIP 800 galvanizli çeliğine bindirme birleştirmede uygulanacak en uygun optimum akım şiddeti değerinin 70, 75 A olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş TRIP 800 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır. Lehim akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin artması sonucu ısı tesiri altında kalan bölgedeki genişleme gözle muayene sonucunda görülmüştür. 65A akım şiddetinde ıslatma özellikleri iyileşerek, 70, 75, 80A akım şiddetine kadar ıslatma kabul edilebilirdir. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmakta ve artan ısı girdisi ile bağıntılı olarak ilave metalin ıslatma özelliği artmaktadır.

50, 55, 60 ve 65A' de lehim genişliği 2–4 mm arasında kalarak yetersiz lehim genişliği ve ıslatma kabiliyetinden dolayı bağlantı lehim bölgesinden kopmuştur. Lehim genişliği 4 mm' den sonra 70, 75 ve 80A akım şiddetinde iyi mukavemet özellikleri göstermiştir. Akım şiddeti arttıkça lehim yüksekliği azalmaktadır.

50, 55, 60 ve 65A akım şiddetinde sertliği en düşük olan noktalar, CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ana malzeme ve sertliğin en yüksek olduğu ITAB bölgesidir. 70, 75 ve 80A akım şiddetlerindeki sertlik bölgelerinde değişimler meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları akım şiddetinin artması ile daha da artmaktadır.

50, 55, 60A akım şiddetinde lehim bölgesinde ortalama sertlik değeri 140 HV' nin altında çıkarken, 65, 70, 75 ve 80A akım şiddetinde ise ortalama sertlik değeri 140 HV' nin üzerindedir. Lehim bölgesi difüzyonun artması ile ana malzemenin sertlik değerlerine ulaşmıştır.

85A akım şiddetindeki ısı girdisi 1269 J/cm'de ana malzeme delinmeye maruz kalmıştır. Bu nedenle 85A akım şiddeti uygulanmamıştır. Mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değer olan 75A akım şiddetinde ısı girdisi 1111 J/cm olmuştur. 50, 55A' de mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü üzere dentridlerin oluşumları çok azdır. 60A akım şiddetinde dentridlerin oluşumu başlamıştır ve akım şiddeti arttıkça, ısı girdisi artmış ve dentridlerin oluşumları artmıştır. Dentridlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.

8. TRIP 800 galvanizli çeliğinin bindirme bağlantılarında farklı lehim gaz akış debisi maksimum çekme makaslama mukavemeti değerleri incelendiğinde, 8 L/dk gaz debisi uygulanan çekme numunesindeki mukavemet değerinin 530 MPa, 10 L/dk için 725 MPa ve kopmanın lehim bölgesinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. 12 L/dk için 728 MPa, 14 L/dk için 697 MPa, 16 L/dk için 672 MPa çekme mukavemetine sahip lehimlenen bütün numunelerin ana

malzemeden koptuğu görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında lehim gaz akış debisi değeri 12 L/dk, en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. Fakat 8-10 L/dk gaz debisi lehim tatbikleri esnasındaki sıçrama göz önünde bulundurularak bu gaz debilerinin uygun olmadığı söylenebilir. Gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG lehimlenmiş TRIP 800 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlığa rastlanılmamıştır.

8, 10, 12, 14, 16 L/dk lehim gaz debisi uygulanan makro görüntülerindeki lehim ilave telinin ıslatma özellikleri 8 L/dk ve 10 L/dk gaz debisinin makro görüntülerinde ısı girdisinin fazlalığından ana malzemede ergime gerçekleşmiş olduğundan bu parametrelerin uygun olmadığı belirlenmiştir. 12, 14 ve 16 L/dk gaz debilerinde ise böyle bir durum görülmediği için bu parametrelerin uygun olduğu belirlenmiştir.

Lehim gaz debisi arttıkça lehim kepi genişliği belli oranda artmaktadır. Bütün lehim genişlikleri 5-7 mm aralığında ve uygun görülmektedir. Lehim gaz debisi ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, lehim gaz debisinin artması sonucu lehim kepindeki basınç artmıştır. Artan basınç etkisi, ilave telin ıslatma özelliğini arttırmış ve lehim kep yüksekliğinin azalmasına sebep olmuştur.

İlave dolgu teli CuAl8 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, 8 L/dk, 10 L/dk, 12 L/dk 14 L/dk ve 16 L/dk' da gaz debisi arttıkça lehim bölgesinin mikrosertlik değerleri artmıştır.

Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantıların ısı girdileri 80A akım şiddetinde 1185 J/cm olarak hesaplanmıştır. Farklı lehim gaz debilerinde, lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden anlaşıldığı üzere lehim gaz debisi arttıkça dentridlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusunun olmadığı düşünülmektedir.

9. TRIP 800 galvanizli çeliğinin bindirme bağlantılarında, farklı lehim torç açılarındaki maksimum çekme-makaslama mukavemeti değerleri incelendiğinde, 50° lehim torç açısında 841 MPa en yüksek çekme-makaslama mukavemeti

değeridir. Farklı lehim torç açılarındaki gerçekleştirilen eğme testlerinin tüm sonuçlarında MIG-lehimlenmiş TRIP 800 galvanizli çeliğinde herhangi bir çatlakla rastlanılmamıştır.

Lehim torç açısı arttıkça lehim kepi genişliği çok az oranda artmaktadır. Tüm torç açılarındaki lehim genişliği 5-7 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer parametrelerdeki optimum değerlerle uygunluk göstermektedir. Lehim yüksekliği incelendiğinde, lehim torç açısının artması lehim kepi yüksekliğini çok az oranda düşürmektedir. Torç açısının, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı anlaşılmaktadır.

Lehim torç açısı farklarının bindirme numunelerinde sertlik üzerinde etkisinde, 45° de üste binen sac numunesinin ITAB bölgesinin genişliğini arttırmış açı değeri yükseldikçe aynı durum altta kalan numune için geçerli olmuştur. Tüm açı değerlerinde ITAB sertlik değerlerinin 390-450 HV arasında olduğu gözlemlenmiş, bu da seçilen akım şiddeti, lehimleme hızı ve gaz debisinin uygun olduğunu göstermiştir.

Farklı lehim torç açılarındaki elde edilen bağlantının ısı girdileri 80A akım şiddetinde 1185 J/cm olarak hesaplanmıştır.

MIG-lehimlenen TRIP 800 1,5 mm kalınlığındaki galvanizli çeliğinin bindirme birleştirme parametreleri değerlendirildiğinde, 70 ve 75A akım şiddeti uygun görülmektedir. Mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, lehim kepi genişliğinin 4 mm ve üzerinde olması gerekmektedir. Bu ölçütten yola çıkarak lehimleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz debisi 12 L/dk'dır. Torç açısı bindirme birleştirmeler için mukavemet sonuçlarındaki değerlendirmelerde 50° en yüksek değeri vermektedir.

7.2. Öneriler

1. TRIP 800 galvanizli çeliğinin MIG-lehimlenmesi ile bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, soğuma süreleri ve sıcaklığa bağlı gerilim etkileri incelenebilir.
2. MIG-lehimlenen TRIP 800 galvanizli çeliğinin bağlantı bölgesinin korozyon ve yorulma davranışları incelenebilir.
3. TRIP 800 galvanizli çeliğinin MIG-lehimlenmesinde, ısı girdisine bağlı olarak bağlantı bölgesinde ve yakınında galvaniz tabakasının buharlaşma miktarları ve galvaniz kalınlığının birleştirme üzerindeki etkileri incelenebilir.
4. TRIP 800 galvanizli çeliğinin MIG-lehimlenmesinde, farklı kimyasal bileşime sahip ilave teller ve farklı gaz karışımları ile ilgili çalışmaların yapılması düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] AISI, An investment in steel's future. AISI Market Development, 2002-2003 Gelişme Raporu, s.56, 2003.
- [2] ARIKAN, M., BAĞMAN, G. Otomotiv endüstrisi için yeni çelik ürünler ve özellikleri. I. Demir Çelik Sempozyumu Bildiriler, Cilt I., s.350-356, 2001.
- [3] ÇİMENOĞLU, H., KAYALI, E.S. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çift fazlı çelikler, İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fak. Metalurji Mühendisliği Böl., s. 7-14, 1985.
- [4] DEMİR, B., Ereğli D.Ç. fabrikalarında sürekli tavlama hatlarında çift fazlı çelik üretimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Ankara, 2003.
- [5] TAŞYIKAN, Y., TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen TRIP 450/800 ve çift-fazlı çeliklerin mekanik ve mikroyapı özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Karabük, 2013.
- [6] ÖZER, A., Çeliklere uygulanan TRIP işlemiyle mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, Tübav Bilim Dergisi, Cilt:2, Sayı:3, s.291-301, 2009.
- [7] ANIK, S., Kaynak Sempozyumu , İstanbul Tek. Üniv., İstanbul, 1997.
- [8] Erdemir Ürün Katoloğu, Ereğli Demir ve Çelik Fab., T.A.Ş., İstanbul, 2000.
- [9] SATOH, T., ABE, H., NAKAOKA, T., HAYATA, Y., The fatigue life of the spot welded joint under a repeated of $R=-1$, Welding in the World, Sayı 37(1): s.12-15, 1996.
- [10] ZHANG, X.Q., CHEN, G.L., ZHANG, Y.S., BOHN, L., Characteristics of electrode wear in resistance spot welding dual-phase steels. Material and Design, Sayı 29, Issue 1, s.279-283, 2008.
- [11] GUIMARAES, A.S., MENDES, M.T., COSTA, H.R.M., DA SILVA MACHADO, J., KUROMOTO, N.K., An evaluation of the behavior of zinc layer on a galvanized sheet, joined by MIG brazing. Welding International, Sayı 21(4): s.271-278, 2007.

- [12] IORDACHESCU, D., QINTINO, L., MIRANDA, R., PIMENTA, G., Influence of shielding gases and process parameters on metal transfer and bead shape in MIG brazed joints of the thin zinc coated steel plates, *Material and Design*, Sayı 27, s.381-390, 2006.
- [13] YU Z.S., LI R.F., QI K., Growth behavior of interfacial compounds in galvanized steel joints with CuSi_3 filler under arc brazing, *Trans. Nonferrous Met. Soc. Of China*, Sayı 16, s.1391-1392, 2006.
- [14] KLEİNER, M., CHATTİ, S., KLAUS, A., Metal forming techniques for lightweight construction, *J. Mater. Proc Technol.*, 177, s.2-7, 2006.
- [15] NEUGEBAUER, R., ALTAN, T., GEİGER, M., KLEİNER, M., STERZİNG, A., Sheet metal forming at elevated temperatures, *Annals of the CIRP*, 55/2, s.793-816, 2006.
- [16] ANDERSON, D., Application and reparability of advanced high strength steels. American Iron and Steel Institute, 2008.
- [17] CARLSSON, B., Choice of tool materials for punching and forming of extra- and ultra high strength steel sheet, 3rd International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds, Bursa-Turkey, 2004.
- [18] TAKAHASHI, M., Development of high strength steels for automobiles, Nippon Steel Technical Report No. 88, 2006.
- [19] www.worldautosteel.org, Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines, International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, March 2005, Erişim Tarihi: 25.05.2014.
- [20] SPEICH, G.R., Physical metallurgy of dual phase steels, fundamentals of dual-phase steels. ed. by; R.A. Kot, B.I. Bramfit, AIME, s.3-45., 1981.
- [21] WASSERMANN G. Untersuchungen an einer Eisen-Nickel Legierung ber die Verformbarkeit Whrend der a-c Umwandlung. *Archiv Eisenhttenwesen*, 10(7):321-5, 1939.
- [22] ZACKAY V.F., PARKER E.R., FAHR D., BUSH R. The enhancement of ductility in high-strength steels. *Trans Am. Soc. Met.*, 60:252, 1967.
- [23] RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ J.A., PESCI R., RUSINEK A., ARIAS A., ZAERA R., PEDROCHE D.A., Thermo-mechanical behaviour of TRIP 1000 steel sheets subjected to low velocity perforation by conical projectiles at different temperatures, *International Journal of Solids and Structures*, 47, s.1268-1284, 2010.

- [24] FISCHER F.D., REISNER G., WERNER E., TANAKA K., CAILLETAUDD G., ANTRETTETTER T., A new view on transformation induced plasticity (TRIP), *International Journal of Plasticity*, 16, s.723-748, 2000.
- [25] GIRAULT E., JACQUES P., RATCHEV P., VAN HUMBEECK J., VERLINDEN B., AERNOUDT E., Study of the temperature dependence of the bainitic transformation rate in a multiphase TRIP-assisted steel, *Materials Science and Engineering A*, 273 – 275, s.471 – 474, 1999.
- [26] GÜVEN G., İkizlenme Yoluyla Plastisite Kazanan (Twinning Induced Plasticity (TWIP) Steel) Yüksek Mukavemetli Yassı Çeliklerin Üretimi ve Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2012.
- [27] VAN SLYCKEN J., VERLEYSSEN P., DEGRIECK J., BOUQUEREL J., DE COOMAN B.C., Dynamic response of aluminium containing TRIP steel and its constituent phases, *Materials Science and Engineering A*, 460–461, s.516–524, 2007.
- [28] LINDEROV M., SEGEL C., WEIDNER A., BIERMANN H., VINOGRADOV A., Deformation mechanisms in austenitic TRIP/TWIP steels at room and elevated temperature investigated by acoustic emission and scanning electron microscopy, *Materials Science & Engineering A*, 597, s.183–193, 2014.
- [29] SHAN T.K., LI S.H., ZHANG W.G., XU Z.G., Prediction of martensitic transformation and deformation behavior in the TRIP steel sheet forming, *Materials and Design*, 29, s.1810–1816, 2008.
- [30] KUZIAK R., KAWALLA R., WAENGLER S., Advanced high strength steels for automotive industry, *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, Vol. VIII, No. 2, 2008.
- [31] ZHU R., LI S., KARAMAN I., ARROYAVE R., NIENDORF T., MAIER H.J., Multi-phase microstructure design of a low-alloy TRIP-assisted steel through a combined computational and experimental methodology, *Acta Materialia* 60, s.3022–3033, 2012.
- [32] HE Z., HE Y., LING Y., WU Q., GAO Y., LI L., Effect of strain rate on deformation behavior of TRIP steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 212, s.2141– 2147, 2012.
- [33] YONG T., ZHUANG L., Effects of warm deformation on mechanical properties of TRIP aided Fe-C-Mn-Si multiphase steel, *Journal of Iron And Steel Research, International*, 19(6), s.47-52, 2012.

- [34] TOROS S., TRIP 800 çeliğinin şekillendirme kabiliyetinin incelenmesi ve modellenmesi, Doktora Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2013.
- [35] OLIVER, S., JONES, T.B., FOURLARIS G., “Dual phase versus TRIP strip steels: microstructural changes as a consequence of quasi-static and dynamic tensile testing”, *Materials Characterization*, 58, s.390–400, 2006.
- [36] ZHI Y., LIU X., YU H., Cellular automaton simulation of hot deformation of TRIP steel, *Computational Materials Science*, 81, s.104–112, 2014.
- [37] MATSUMA O., SAKUMA Y., TAKEUCHI H., Trip in its kinetic aspects in austempered 0.4 C–1.5 Si 0.8 Mn steel. *Scripta Metall. Mater.* ,21, 1206–301, 1987.
- [38] KIM S.J., LEE C.G., LEE T.H., OH C.S., Effect of Cu, Cr and Ni on mechanical properties of 0.15 wt.% C TRIP-aided cold rolled steels, *Scripta Materialia*, 48, s.539–544, 2003.
- [39] ZHANG M., LI L., FU R.Y., KRIZAN D., COOMAN D.C., Continuous cooling transformation diagrams and properties of micro-alloyed TRIP steels, *Mat. Sci. Eng. A – Struct.*, 438–440, 296–9, 2006.
- [40] LIS A.K., GAJDA B., Modelling of the DP and TRIP micro structure in the CMnAlSi automotive steel, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Volume 15, Issue 1-2, March-April 2006.
- [41] DE COOMAN B.C., Structure–properties relationship in TRIP steels containing carbide-free bainite, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 8, s.285–303, 2004.
- [42] XIAO-YING H., YUN-BO X., YAN-FENG Z., DI W., Microstructure and mechanical properties of hot rolled low silicon trip steel containing phosphorus and vanadium, *Journal of Iron And Steel Research, International*, 18(11), s.40-45, 2011.
- [43] HAUSMANN K., KRIZAN D., SPIRADEK-HAHN K., PICHLER A., WERNER E., The influence of Nb on transformation behavior and mechanical properties of TRIP-assisted bainitic–ferritic sheet steels, *Materials Science & Engineering A*, 588, s.142–150, 2013.
- [44] VAN SLYCKEN J. , VERLEYSEN P., DEGRIECK J., BOUQUEREL J., DE COOMAN B.C., Dynamic response of aluminium containing TRIP steel and its constituent phases, *Materials Science and Engineering A*, 460–461, s.516–524, 2007.

- [45] ZAEFFERER S., OHLERT J., BLECK W., A study of microstructure, transformation mechanisms and correlation between microstructure and mechanical properties of a low alloyed TRIP steel, *Acta Materialia*, 52, 2765–2778, 2004.
- [46] LIN L., DE COOMAN B.C., REN-DONG L., VLEUGELS J., MEI Z., WEN S., Design of TRIP steel with high welding and galvanizing performance in light of thermodynamics and kinetics, *Journal of Iron And Steel Research, International*, 14(6), s.37-41, 2007.
- [47] FENG Q., LI L., YANG W., SUN Z., Effect of Nb on the stability of retained austenite in hot-rolled TRIP steels based on dynamic transformation, *Materials Science & Engineering A*, kabul edildi, 2014.
- [48] FU B., YANG W.Y., LI L. F., SUN Z.Q., Effect of bainitic transformation temperature on the mechanical behavior of cold-rolled TRIP steels studied with in-situ high-energy X-ray diffraction, *Materials Science & Engineering A*, kabul edildi, 2014.
- [49] XIAOYAN L., Weldability of dual phase steel and TRIP (transformation-induced-plasticity) steel, *Yüksek Lisans Tezi*, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 2005.
- [50] LÍ-JUAN Z., DÍ W., XIAN-RNING Z., Modeling of austenite decomposition in low Si-Mn TRIP steel during cooling, *Journal of Iron And Steel Research, International*, 15(6), s.68-71, 2008.
- [51] ZI-LIU X., QING-WU C., HAI-TAO J., Heredity characteristic from hot rolled microstructure to annealed microstructure in high strength TRIP steels, *Journal of Iron And Steel Research, International.*, 17(10), s.38-44, 2010.
- [52] ZI-CHENG Z., FU-XIAN Z., YAN-MEI L., Effect of thermomechanical control processing on microstructure and mechanical properties of Fe-0.2 C-1.44Si-1.32Mn hot rolled TRIP steel, *Journal of Iron And Steel Research, International*, 17(7), s.44-50, 2010.
- [53] DI W., ZHUANG L., HUI-SHENG L., Effect of controlled cooling after hot rolling on mechanical properties of hot rolled TRIP steel, *Journal of Iron And Steel Research, International*, 15(2), s.65-70, 2008.
- [54] DAN W.J., LI S.H., ZHANG W.G., LIN Z.Q., The effect of strain-induced martensitic transformation on mechanical properties of TRIP steel, *Materials and Design*, 29, s.604–612, 2008.
- [55] BHATTACHARYYA T., SINGH S.B., BHATTACHARYYA S., RAY R.K., BLECK W., BHATTACHARJEE D., An assessment on coatability of transformation induced plasticity (TRIP)-aided steel, *Surface & Coatings Technology*, 235, s.226–234, 2013.

- [56] KARAVOLIS, M., JHA, S., FORSTER, J., V6 ASM Handbook: Welding, Brazing, and Soldering, D.L. OLSON, T.A. SIEWERT, S. LIU, AND G.R. EDWARDS, eds., ASM International, Materials Park, OH, 1993.
- [57] KAYA, Ö., Lehimleme tekniğinde otomasyon ve işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [58] UZUN, H., Sert lehimleme teknikleri, Sakarya Üniversitesi.
- [59] RANGEL, A.F., MATLAKHOVA L.A., DA ROCHA PARANHOS, R.P., MAT LAKHOV, A.N., Evaluation of MIG-brazing welded joint by means of metallographic techniques, *Welding International*, 20(11), s.889–893, 2006.
- [60] IORDACHESCU, D., QINTINO, L., MIRANDA, R., PIMENTA, G., MIG brazing of galvanized thin sheet joints for automotive industry, *Materials and Manufacturing Processes*, 21, s.63–73, 2006.
- [61] DILTNEY, U., ULRICO, K., GMA-Brazing of galvanized and alloyed steels, Welding Institute, Aachen University, Germany, IIW Doc. XII-1630-00, 2000.
- [62] ROHDE, H., KATIC, J., PASCHOLD, R., (ESAB GgmbH, Solingen), ESAB pulsed gas-shielded metal arc brazing of surface-coated sheets. *Svetsaren* 3, s.20-23, 2000.
- [63] KERSCHE, A., TRUBE, S., (Linde AG) Shielding gases for gas-shielded metal arc brazing, Special edition, No. 50/02, In: Lecture at Thin Sheet Metal Conference, SLV Munich on 28 March 2000.
- [64] CHOVET, C., GUIHEUX, S., Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra high strength steels for automotive applications, International Conference Super High Strength Steels, organized by AIM, Roma, 2-4-nov. 2005.
- [65] ASLANLAR, S., Ders Notları, Sakarya Üniversitesi
- [66] Faruk Varol, MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [67] OĞUZ, B., <http://www.oerlikon.com.tr> Oerikon Yayını, Kapiler Yükselmenin Esasları, 1988, Erişim Tarihi: 25.05.2013.

ÖZGEÇMİŞ

Erman FERİK 1987 yılında Bursa' da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa' nın Yıldırım ilçesinde Şerif Artış ilköğretim okulunda tamamladı. 2005 yılında Bursa Süleyman Çelebi Lisesi' nden mezun oldu. 2007-2011 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi' nde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde, 2013 yılında ise İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı, halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.