

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

**IF ÇELİKLERİN MIG-BRAZING YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mehmet EKİCİ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr.Uğur ÖZSARAÇ

Haziran 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

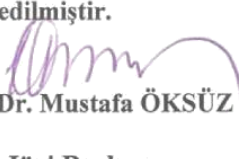
**IF ÇELİKLERİN MIG-BRAZING YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

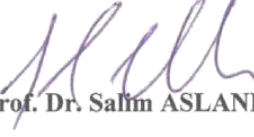
Mehmet EKİCİ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

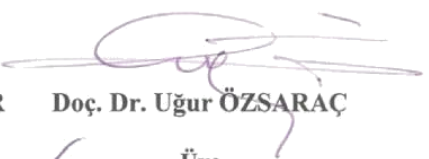
Bu tez .../ ... /2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ

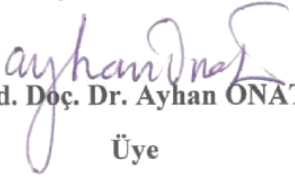
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Salim ASLANLAR

Üye


Doç. Dr. Uğur ÖZSARAC

Üye


Yrd. Doç. Dr. Ayhan ONAT

Üye


Yrd. Doç. Dr. Erdinç İLHAN

Üye

BEYAN

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

MEHMET EKİCİ

10.06.2016

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve doktora öğrenimim boyunca karşılaştığım zorlukları aşmamda büyük katkısı olan ve tecrübelerini benimle her zaman paylaşan sayın hocam Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a şükranlarımı sunarım. Tez çalışmam ve öğrenciliğim boyunca ilgi ve desteğini her zaman hissettiğim değerli hocalarım, Prof. Dr. Salim ASLANLAR, Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ ve Yrd. Dr. Erdal KARADENİZ'e de ayrıca teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmam haricinde de deneyimlerinden büyük feyz aldığım, tavsiyelerinden büyük fayda gördüğüm Öğr. Gör. Hakan İLAĞA hocama da ayrıca teşekkür ederim. Hayatımın her döneminde ve her koşulda beni destekleyen eşim Nuket EKİCİ'ye, anneme, babama ve abilerime hoşgörü ve destekleri için minnettarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLOLAR LİSTESİ.....	xxiii
ÖZET.....	xxv
SUMMARY.....	xxvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
.	
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK.....	8
2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelikler.....	10
BÖLÜM 3.	
IF ÇELİKLERİ.....	17
3.1. Giriş.....	17
3.2. IF Çelikleri Ve Çeşitleri.....	19
3.2.1. Derin çekme kalite (DDQ) ultra düşük karbonlu (ULC) IF çelikleri.....	19
3.2.2. Fırında sertleşebilen (bake hardenable - BH) çelikler.....	20
3.2.3. HSS (yüksek mukavemetli) IF çelikleri.....	21
3.2.4. Ekstra derin çekilebilen (EDDQ) IF çelikleri.....	23

3.2.5. Fosforlu IF çelikleri.....	25
3.3. Endüstriyel Uygulamalar Ve Mekanik Özellikleri.....	26
3.3.1. IF çeliklerinin endüstride kullanım oranları.....	26
3.3.2. IF çeliklerinin otomobillerde kullanım alanlarına örnekler.....	27
 BÖLÜM 4.	
LEHİMLEME.....	29
4.1. Lehimleme.....	29
4.2. Yumuşak Lehimleme.....	30
4.3. Sert Lehimleme.....	31
4.4. MIG Lehimleme.....	37
 BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
5.1. Genel.....	41
5.2. Kullanılan Malzemeler Ve Spektrometrik Analiz.....	42
5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri.....	43
5.3.1. Numune hazırlama.....	43
5.3.2. MIG lehimleme işlemleri.....	44
5.4. Sertlik Ölçümleri Ve Isı Girdileri.....	45
5.5. Karakterizasyon Çalışmaları.....	47
5.5.1. Mikroyapı incelemeleri.....	47
5.5.2. Makroyapı incelemeleri.....	47
5.5.3. Bilgisayarlı X-Ray tomografi.....	48
5.5.4. Taramalı elektron mikroskobu.....	49
5.5.5. X-Ray difraksiyon.....	50
5.6. Çekme Deneyi.....	50

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	52
6.1. IF Çeliklerinin MIG Lehimleme Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri.....	52
6.1.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	52
6.1.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	52
6.1.1.2. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	57
6.1.1.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	61
6.1.2. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	65
6.1.2.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi.....	65
6.1.2.2. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	68
6.1.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi.....	70
6.1.3. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi.....	72
6.1.3.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi.....	72
6.1.3.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	79
6.1.3.3. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi.....	85
6.1.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	90
6.1.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	90
6.1.4.2. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi	104

6.1.4.3. Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi	117
6.2. IF Çeliklerinin MIG Lehimleme Yöntemi İle Bindirme Birleştirmeleri.....	128
6.2.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	129
6.2.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	129
6.2.1.2. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi	132
6.2.1.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	135
6.2.2. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	138
6.2.2.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi.....	138
6.2.2.2. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi	141
6.2.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi.....	146
6.2.3. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi.....	149
6.2.3.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi.....	146
6.2.3.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	150
6.2.3.3. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi.....	154
6.2.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	158
6.2.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	158
6.2.4.2. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	169

6.2.4.3. Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	177
--	-----

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	186
7.1. Sonuçlar.....	186
7.2. Öneriler.....	197
KAYNAKLAR.....	198
ÖZGEÇMİŞ.....	205

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

r	: Anizotropi katsayısı
K	: Malzemenin mukavemet katsayısı
n	: Deformasyon pekleşme üsteli
□	: Östenit
M	: Martenzit
P	: Perlit
B	: Beynit
C	: Karbon
□	: Gerilme
□ _ç	: Çekme mukavemeti
e	: Parça kalınlığı
V	: İlerleme hızı
□ _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
YMK	: Yüzey merkezli kübik
SSD	: Sürekli soğuma diyagramı
TIG	: Tungsten inert gaz kaynağı

MIG	: Metal inert gaz kaynağı
MAG	: Metal aktif gaz kaynağı
ASTM	: American society for testing materials
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
d	: Lehim yüksekliği
□	: Lehim genişliği
w	: Kapiler bölge uzunluğu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bir otomobilde aranan özellikler	9
Şekil 2.2.	Otomobillerde kullanılan malzemeler ve kazalarda koruma oranı.	10
Şekil 2.3.	Düşük mukavemetli, konvansiyonel yüksek mukavemetli (HSS) ve ileri yüksek mukavemetli (AHSS) saclar arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi.....	11
Şekil 2.4.	2007 ve 2009 model otomobillerde farklı çeliklerin kullanımı.....	13
Şekil 2.5.	Otomobil imalatında dikkat edilen 5 önemli unsurun AHSS çeliği kullanımıyla değişimi	14
Şekil 2.6.	Otomobillerde gelişmiş çelik kullanılan bölgeler ve ağırlık düşüş oranları.....	15
Şekil 2.7.	2020 yılına kadar Kuzey Amerika’da araç ağırlığının değişimi.....	16
Şekil 3.1.	Fırında sertleşme işlemi görmüş çelik levhanın gerilme-deformasyon ilişkisi.....	20
Şekil 3.2.	Çeşitli sac çeliklerinin çekme mukavemeti ve anizotropi (rm) katsayısı arasındaki ilişki.....	22
Şekil 3.3.	Çeşitli sac çeliklerinin çekme mukavemeti ve anizotropi (rm) katsayısı arasındaki ilişki.....	22
Şekil 3.4.	Nb veya Ti ile stabilize edilmiş bir IF çeliğinde fosfor kuvvetlendirmesi	23
Şekil 3.5.	Yüksek mukavemetli EDDQ-IF çeliğinin proses şartları	25
Şekil 3.6.	IF çeliklerinin endüstride kullanım oranları	27

Şekil 4.1.	Yumuşak lehimlemede dayanımı arttırmak için mekanik kilitleme: (a) düz kilit dikiş ; (b) cıvatalı veya perçinli bağlantı; (c) bakır boru birleştirme, silindirik bindirme bağlantı ve (d) silindirik bindirme bağlantının çentiklenmesi	31
Şekil 4.2.	Kapiler basıncın boşlukla değişimi	32
Şekil 4.3.	Bağlantı açıklığının fonksiyonu olarak bağlantı dayanımı	32
Şekil 4.4.	Bağlantı açıklığının fonksiyonu olarak bağlantı dayanımı	33
Şekil 4.5.	Kapiler etkiyle ilave metalin boşluğu doldurması	34
Şekil 4.6.	(a) Konvansiyonel alın bağlantı ve alın bağlantısının sert lehimlemeye uydurulması, (b) eğik yüzeyli bağlantı, (c) kademeli alın bağlantı, (d) parçanın bağlantı bölgesindeki kesiti arttırılmış.	36
Şekil 4.7.	Dekapanın sıcaklık artışıyla davranışı	37
Şekil 4.8.	Lehimlemedeki erime sıcaklığının kaynağa göre değişimi	38
Şekil 4.9.	Darbeli ark yönteminde elektrodun erimesi	39
Şekil 4.10.	MIG-lehimleme kaynak makinesi üzerindeki tel sürme tertibatı	39
Şekil 5.1.	IF sacının numune ebatları	44
Şekil 5.2.	MIG-lehimleme işleminin yapıldığı makine ve sekator	45
Şekil 5.3.	Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar	45
Şekil 5.4.	Bindirme birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar	45
Şekil 5.5.	Vickers sertlik ölçüm cihazı	46
Şekil 5.6.	Mikroyapı alınan noktalar (a: alın birleştirme, b: bindirme birleştirme)	47
Şekil 5.7.	Bindirme birleştirme de lehim dikiş formu	48
Şekil 5.8.	Alın altına birleştirme lehim dikiş formu	48
Şekil 5.9.	Bilgisayar destekli X-Ray tomografi cihazı	49
Şekil 5.10.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı	49
Şekil 5.11.	X-Ray difraksiyon cihazı	50
Şekil 5.12.	Çekme deneyi numunesi boyutları	51
Şekil 6.1.	IF çeliklerin alın birleştirmedeki çekme deneyi sonrası fotoğrafları	53
Şekil 6.2.	Alın birleştirmedeki 7116 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde çekme ve akma dayanımları	53

Şekil 6.3. Alın birleştirmedeki 7116 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri.....	54
Şekil 6.4. Alın birleştirmedeki 1315 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde çekme ve akma dayanımları	55
Şekil 6.5. Alın birleştirmedeki 1315 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri.....	56
Şekil 6.6. Alın birleştirmedeki 7116 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme ve akma dayanımları	58
Şekil 6.7.. Alın birleştirmedeki 7116 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri.....	59
Şekil 6.8. Alın birleştirmedeki 1315 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme ve akma dayanımları.....	60
Şekil 6.9. Alın birleştirmedeki 1315 IF çelik sacının farklı gaz debilerindeki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri...	60
Şekil 6.10. Alın birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında çekme ve akma dayanımları.....	62
Şekil 6.11. Alın birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri.....	63
Şekil 6.12. Alın birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında çekme ve akma dayanımları.....	64
Şekil 6.13. Alın birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri.....	64
Şekil 6.14. Alın birleştirmedeki 7116 IF sacına farklı akım şiddeti uygulanarak mikrosertlik sonuçları.....	65
Şekil 6.15. Alın birleştirmedeki 1315 IF sacına farklı akım şiddeti uygulanarak mikrosertlik sonuçları.....	67
Şekil 6.16. Alın birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik sonuçları	68
Şekil 6.17. Alın birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik sonuçları	69
Şekil 6.18. Alın birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik sonuçları	70

Şekil 6.19.	Alın birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik sonuçları	71
Şekil 6.20.	Alın birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri	73
Şekil 6.21.	Alın birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.....	73
Şekil 6.22.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF saclarının lehim ergime genişliği	74
Şekil 6.23.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF saclarının lehim ıslatma açısı.....	75
Şekil 6.24.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF saclarının lehim dikiş yüksekliği.....	77
Şekil 6.25.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF saclarının lehim nüfuziyet derinliği	78
Şekil 6.26.	Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen 7116 IF sacının makro görüntüleri.....	79
Şekil 6.27.	Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen 1315 IF sacının makro görüntüleri	80
Şekil 6.28.	Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının lehim ergime genişliği.....	80
Şekil 6.29.	Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının lehim ıslatma açısı	82
Şekil 6.30.	Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının lehim dikiş yüksekliği.....	83
Şekil 6.31.	Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen IF çelik saclarının lehim nüfuziyet derinliği.....	84
Şekil 6.32.	Farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak birleştirilen 7116 IF sacının makro görüntüleri	85
Şekil 6.33.	Farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak birleştirilen 1315 IF sacının makro görüntüleri.....	85
Şekil 6.34.	Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF çelik saclarının lehim ergime genişliği	86

Şekil 6.35.	Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF çelik saclarının lehim ıslatma açısı.....	87
Şekil 6.36.	Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF çelik saclarının lehim dikiş yüksekliği	88
Şekil 6.37.	Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF çelik saclarının lehim nüfuziyet derinliği.....	89
Şekil 6.38.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde ısı girdileri grafiği..	90
Şekil 6.39.	Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının 60 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB- lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi.....	91
Şekil 6.40.	Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının 55 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	91
Şekil 6.41.	Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	92
Şekil 6.42.	Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	92
Şekil 6.43.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen IF çelik saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin daL /daT oranı....	93
Şekil 6.44.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri..	94
Şekil 6.45.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri...	95
Şekil 6.46.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen IF saclarının dendritlerinin tane yoğunluğu	95
Şekil 6.47.	Alın alına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 60 A akım şiddetindeki (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b-c: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, d: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi).....	97
Şekil 6.48.	Alın alına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 40 A	

	akım şiddetindeki (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim ara yüzeyi SEM-EDS analizi, c: Lehim ara yüzeyi SEM görüntüsü).....	98
Şekil 6.49.	Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde alın geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Alalaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	98
Şekil 6.50.	Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 60A akım şiddetlerindeki XRD analizi.....	100
Şekil 6.51.	Alın alına geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF çelik sacın 55 A akım şiddetindeki (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim bölgesi SEM görüntüsü, c: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, d: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi.....	101
Şekil 6.52.	Alın birleştirmedeki Farklı akım şiddetlerinde alın geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	102
Şekil 6.53.	Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 55 A akım şiddetlerindeki XRD analizi	104
Şekil 6.54.	Galvanizsiz 7116 IF sacının 12 lt/dk lehim gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	105
Şekil 6.55.	Galvanizli 1315 IF sacının 10 lt/dk lehim gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	106
Şekil 6.56.	Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı gaz debilerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	106
Şekil 6.57.	Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı gaz debilerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	107
Şekil 6.58.	Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin daL/daT oranı.....	107

Şekil 6.59.	Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri..	108
Şekil 6.60.	Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	109
Şekil 6.61.	Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının Cu dendritlerinin tane yoğunluğu.....	109
Şekil 6.62.	Alın alına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacın 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim bölgesi SEM görüntüsü, c: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, d: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi).....	110
Şekil 6.63.	Alın alına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 6 lt/dk gaz debisindeki (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim ara yüzeyi SEM-EDS analizi, c: Lehim ara yüzeyi SEM görüntüsü).....	111
Şekil 6.64.	Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	112
Şekil 6.65.	Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 12 lt/dk gaz debisindeki XRD analizi.....	113
Şekil 6.66.	Alın alına geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, c: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi).....	114
Şekil 6.67.	Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımı.....	115
Şekil 6.68.	Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 10 lt/dk gaz debisindeki XRD analizi	116
Şekil 6.69.	Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarındaki ısı girdisi grafiği.....	117

Şekil 6.70. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 24 cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	118
Şekil 6.71. Galvanizli 1315 IF sacının 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	118
Şekil 6.72. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	119
Şekil 6.73. Galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	119
Şekil 6.74. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin daL /daT oranı.....	120
Şekil 6.75. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri..	121
Şekil 6.76. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri...	121
Şekil 6.77. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF saclarının Cu-Al alaşımlı dendritlerinin tane yoğunluğu.....	121
Şekil 6.78. Alın altına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızında (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, c: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi).....	122
Şekil 6.79. Alın birleştirmedeki Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	123
Şekil 6.80. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızlarındaki XRD analizi.....	124

Şekil 6.81. Alın altına geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin (a: Bilgisayarlı x-ray tomografisi, b: lehim-ITAB bölgesi sem görüntüsü, c: lehim-ITAB bölgesi EDS analizi).....	125
Şekil 6.82. Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının difüzyon yüzdeleri.....	126
Şekil 6.83. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızlarındaki XRD analizi.....	128
Şekil 6.84. IF çeliklerin bindirme birleştirmedeki çekme testi sonrası fotoğrafları.....	129
Şekil 6.85. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmede çekme ve akma dayanımları grafiği.....	130
Şekil 6.86. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmedeki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği.....	130
Şekil 6.87. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmede çekme ve akma dayanımları grafiği.....	131
Şekil 6.88. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmedeki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği.....	131
Şekil 6.89. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme ve akma dayanımları grafiği.....	133
Şekil 6.90. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği.....	133
Şekil 6.91. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme ve akma dayanımları grafiği.....	134
Şekil 6.92. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği.....	134

Şekil 6.93.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme ve akma dayanımları grafiği...	136
Şekil 6.94.	Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekmedayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği.....	136
Şekil 6.95.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme ve akma dayanımları grafiği...	137
Şekil 6.96.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği.....	137
Şekil 6.97.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacına farklı akım şiddeti uygulanarak elde edilen mikrosertlik sonuçları.....	138
Şekil 6.98.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacına farklı akım şiddeti uygulanarak elde edilen mikrosertlik sonuçları.....	140
Şekil 6.99.	Bindirme birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik sonuçları.....	141
Şekil 6.100.	Bindirme birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik sonuçları.....	142
Şekil 6.101.	Bindirme birleştirmedeki 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik sonuçları.....	144
Şekil 6.102.	Bindirme birleştirmedeki 1315 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik sonuçları.....	145
Şekil 6.103.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde 7116 IF çelik sacının makro görüntüleri.....	146
Şekil 6.104.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde 1315 IF çelik sacının makro görüntüleri.....	147
Şekil 6.105.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF çelik saclarının lehim yüksekliği.....	147
Şekil 6.106.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF çelik saclarının lehim genişliği.....	148
Şekil 6.107.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF çelik saclarının kapiler bölge uzunluğu.....	149

Şekil 6.108.	Farklı gaz debilerinde bindirme birleştirmedeki 7116 IF çelik sacının makro görüntüleri.....	151
Şekil 6.109.	Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde 1315 IF çelik sacının makro görüntüleri.....	151
Şekil 6.110.	Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde IF çelik saclarının lehim yükseklikleri.....	151
Şekil 6.111.	Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde IF çelik saclarının lehim genişliği.....	152
Şekil 6.112.	Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde IF çelik saclarının kapiler bölgenin uzunlukları.....	153
Şekil 6.113.	Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında 7116 IF çelik sacının makro görüntüleri.....	154
Şekil 6.114.	Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında 1315 IF çelik sacının makro görüntüleri.....	154
Şekil 6.115.	Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında IF çelik saclarının lehim yükseklikleri.....	155
Şekil 6.116.	Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında IF çelik saclarının lehim genişliği.....	156
Şekil 6.117.	Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında IF çelik saclarının kapiler bölge uzunlukları.....	157
Şekil 6.118.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde ısı girdileri grafiği.....	158
Şekil 6.119.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 60 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB- lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	159
Şekil 6.120.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 60 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	159
Şekil 6.121.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	160

Şekil 6.122.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	160
Şekil 6.123.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin daL /daT oranı.....	161
Şekil 6.124.	Bindirme geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 55 A akım şiddetindeki SEM görüntüleri.....	163
Şekil 6.125.	Bindirme geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 55 A akım şiddetindeki EDS analizi.....	164
Şekil 6.126.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	164
Şekil 6.127.	Bindirme geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 70 A akım şiddetindeki SEM görüntüleri.....	166
Şekil 6.128.	Bindirme geometride birleştirilen galvanizsiz 1315 IF sacın 70 A akım şiddetindeki EDS analizi.....	166
Şekil 6.129.	Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	167
Şekil 6.130.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITABLEhim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)....	169
Şekil 6.131.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 12 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	170
Şekil 6.132.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	170
Şekil 6.133.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	171

Şekil 6.134.	Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin L/d oranı.....	171
Şekil 6.135.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak numunenin SEM görüntüleri.....	172
Şekil 6.136.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştiren numunenin EDS analizi.....	173
Şekil 6.137.	Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	173
Şekil 6.138.	Bindirme geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin SEM görüntüleri.....	174
Şekil 6.139.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 14 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analizi.....	175
Şekil 6.140.	Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	176
Şekil 6.141.	Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarındaki ısı girdisi grafiği.....	177
Şekil 6.142.	Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi).....	178
Şekil 6.143.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)	178
Şekil 6.144.	Bindirme birleştirmedeki Galvanizsiz 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri.....	179
Şekil 6.145.	Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki	

mikroyapı görüntüleri.....	179
Şekil 6.146. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin daL /daT oranı.....	180
Şekil 6.147. Bindirme geometride birleştirilen galvanizli 7116 IF çelik sacın 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin SEM görüntüleri.....	181
Şekil 6.148. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7716 IF sacının 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analizi.....	181
Şekil 6.149. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	182
Şekil 6.150. Bindirme geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF çelik sacın 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin SEM görüntüleri.....	183
Şekil 6.151. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analizi.....	184
Şekil 6.152. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımları.....	185

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Otomobillerde kullanılan çeşitli çelik kalitelerinin mekanik özellikleri.....	12
Tablo 2.2.	Otomobillerde kullanılan çelik sac malzemelerin tarihsel gelişimi.....	14
Tablo 3.1.	Galvanizlenmiş yüksek mukavemetli IF çeliğinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri	24
Tablo 3.2.	IF çeliklerinin otomobillerdeki kullanım örnekleri	28
Tablo 5.1.	Galvanizli ve galvanizsiz IF çeliğinin kimyasal bileşimi	42
Tablo 5.2.	IF çeliklerinin mekanik özellikleri.....	42
Tablo 5.3.	CuAl8 lehim telinin kimyasal bileşimi.....	43
Tablo 5.4.	CuAl8 lehim telinin mekanik özellikleri.....	43
Tablo 6.1.	Farklı akım şiddetlerinde alın birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri	53
Tablo 6.2.	Galvanizsiz 7116 IF çeliğinin farklı lehim gaz debilerinde alın birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri.....	57
Tablo 6.3.	Galvanizli 1315 IF çeliğinin farklı lehim gaz debilerinde alın birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri.....	58
Tablo 6.4.	Galvanizsiz 7116 IF sacı için alın birleştirmede farklı lehim hızlarında MIG-lehimleme parametreleri	62
Tablo 6.5.	Galvanizli 1315 IF sacı için alın birleştirmede farklı lehim hızlarında MIG-lehimleme parametreleri	62
Tablo 6.6.	Farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri	129
Tablo 6.7.	Farklı lehim gaz debilerinde bindirme birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri	132
Tablo 6.8.	Galvanizsiz 7116 IF çelik sacına farklı lehim ilerleme hızları	

	uygulanarak bindirme birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri.....	135
Tablo 6.9.	Galvanizli 1315 IF elik sacına farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak bindirme birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri.....	135

ÖZET

Anahtar kelimeler: IF Çeliği, MIG Lehimleme, Çekme Mukavemeti, Sertlik, SEM-EDS, X-Ray Tomografi, XRD

Otomotiv endüstrisinde iç ve dış panellerin üretiminde kullanılan arayer atomsuz (Interstitial-Free Steel) çelikler, çok az miktarlarda karbon ve azot içermeleri nedeniyle pres altında şekillendirmeye uygun çeliklerdir. Arayer atomsuz çeliklerde, şekillendirilebilme özelliğini olumsuz yönde etkileyen arayer atomlarının (C ve N), çelik üretim prosesi esnasında bileşimden kontrollü bir biçimde uzaklaştırılması Titanyum (Ti) ve/veya Niobyum (Nb) atomlarının C ve N atomları ile reaksiyona girerek çökelti fazları oluşturmaları ile olmaktadır. 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 0,9 mm kalınlığa sahip IF 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 üç farklı parametrede, akım şiddeti, lehim ilerleme hızı ve gaz basıncı olarak incelenmiştir.

MIG-lehimlenmiş malzemelerin mukavemet özellikleri, çekme mukavemeti 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 ve gaz basıncının lehimlenen bağlantı bölgesi ve IF çeliği arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır.

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

SUMMARY

Keywords: MIG- Brazing, IF Steel, Tensile Strength, SEM-EDS, Hardness, X-ray tomography, XRD

Interstitial free steels (if steels) are very suitable material for automotive industry and they are used for inner and outer body panel applications due to their high formability properties. They have extremely high formability characteristics under forming presses. Interstitials damages formability characteristics of steel. Elimination of interstitials (C and N) is achieved through careful control of the steelmaking process by the addition of titanium and/or niobium to react with carbon and nitrogen to form precipitates. 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, IF steel plates having 0,9 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 three different parameters, current intensities, travel speeds and shielding gas.

Tensile strength, 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 and shielding gas on microstructure and microhardness distribution of transition zone between IF steel and brazed metal of joined material.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyamızda son yıllarda görülen hızlı teknolojik gelişim ve rekabet, müşterilerin artan istek ve düşüncelerinin üst düzeyde karşılanmasını gerektirmektedir. Bu nedenden dolayı çelik şirketleri, kendilerini en son teknolojiyle üretim yapmaya zorlamaktadır ve hatta mecbur kalmaktadır. Bu son teknolojinin getirdiği ürünlerden biriside IF (Interstitial-Free) çeliklerdir. Düşük akma ve çekme dayanımları, yüksek yüzde uzamaları ve “r” değerleri ile özellikle otomobil ve beyaz eşya üreticilerinin gözdesi haline gelen bu çeliklerin üretimi için gerekli teknolojik donanım hayli pahalı olmaktadır.

Günümüzde özellikle enerji fiyatlarındaki artış üretim dallarında düşük maliyetli üretimin ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Bu olay otomotiv endüstrisini de etkilemiş ve taşıtlarda yakıt açısından yeni geliştirilen motor tasarımlarının yanında, hareket ettirilmesi gereken taşıt kütlelerinin azaltılmasının da önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Zira taşıt ağırlığı ile yakıt tüketimi arasında bağlantılı bir ilişki vardır. Taşıt ağırlığında yapılacak % 50’lik bir azalma, % 35 dolayında bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır [1].

Otomotiv endüstrisi için yeni çelik ürünler sunulduğunda çelik endüstrisinin elde etmeye çalıştığı hedefler bir malzeme olarak çeliğin, araç emniyetini arttırmak, prosesi basitleştirmek ve maliyeti düşürmektir. Bu işlemlerinde mümkün olduğu kadar en önemli hedef olan araç ağırlığını azaltma ile birlikte yaparak diğer malzemelere kıyasla rekabet edebilirliği arttırmayla ilgilidir. Çelik malzemelerde, normal çeliklerden orta ve yüksek mukavemetli çeliğe doğru bir eğilim vardır.

Bir otomobil üretiminde, taşıt ağırlığının yaklaşık % 74-78’i arasında çelik, % 14-18’i arasında polimer esaslı malzeme, % 3-5 arasında demir dışı metal ve alaşımları ile % 3-5 arasında dökme demir türü malzemeler kullanılır. Çelik malzemenin bu yüksek yüzdesini düşürebilmek amacıyla, özelliklerinin iyileştirilmesine ve yeni

malzemelerin kullanılmasına gerek vardır. Taşıtlarda yüksek mukavemetli çeliklerin yerine IF çeliklerin, kullanımı her geçen yıl artmaktadır [2].

IF çelikleri, düşük akma dayanımları ve yüksek “r” değerleri ile ekstra derin çekilebilme özelliği göstermekte ve çok karmaşık parçaların kolaylıkla üretilmesine olanak sağlamaktadır. IF çeliklerinde, çözültide mevcut C ve N miktarları vakumla gaz giderme ve Ti veya Ti+Nb ilavesiyle 20 ppm mertebelerine düşürülmüştür. Ti ve Nb ilaveleri sonucunda mevcut ara yer atomları TiC, TiN veya NbCN stabil bileşikleri şeklinde çözültiden ayrılmıştır. C ve N ara yer atomlarının ferrit çözültiden ayrılması, çeliğe yaşlanma özelliği göstermeyen üstün şekillendirilebilirlik kazandırmaktadır.

IF çelikleri genel olarak, yüksek derecede şekillendirilebilirliğin gerektiği yerlerde ihtiyaç duyulan çeliklerdir. Sürekli tavlama hatlarının kullanımının artması, sürekli tavlama hatlarının düşük karbon ve azot içeren çeliklerde ekonomik ve çok verimli fonksiyonları olması IF çeliklerinin üretiminde gelişmeye öncülük etmiştir. Böylece IF çelik üretiminin gelişimi, döküm ve çelik üretiminde optimizasyonu getirmiştir. Dünyada üretilen soğuk sacların en önemli kullanım alanları otomotiv ve beyaz eşya sektöründe görülmektedir. Son yıllarda otomotiv endüstrisinde artan yakıt fiyatları ve karoseri dizaynları üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırma çalışmalarında, otomobil karoserlerinin hafifletilmesi konusunda önemli adımlar atılmıştır. İyi şekillendirilebilen IF çelikleri, sürekli tavlama hatlarında üretilmektedir [3].

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 [4,5]. Otomobil yapılarındaki bağlantılar işletme sırasında, dinamik ve statik

zorlanmalara maruz kaldıkları için çoğu hasar ve çatlaklar, kaynaklar etrafında ve özellikle ısıнын tesiri altındaki bölgelerde (ITAB) meydana gelmektedir [6].

Son yıllarda, yüksek korozyon dirençleri nedeniyle modern otomobillerde galvanizli çelik saclar kaplanmamış çelik sacların yerini almıştır. 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 [7]. 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 kalmaktadır. 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 ingilizcede yaygın olarak kullanılan “MIGBRAZING” (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. Konuyla ilgili olarak literatür araştırması yapıldığında; Danut Iordachescu ve arkadaşları;

MIG-Brazing yöntemi ile ince çinko kaplı çelik plakaların birleştirilmesi için koruyucu gaz oranlarının ve lehimleme parametrelerinin metal transferi ve damla geometrileri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada SG1 (Ar + 1%O₂), SG2 (Ar + 2.5%CO₂), SG3 (Ar), SG4 (98%Ar + 2%H₂), SG5 (98%Ar + 2%N₂) ve SG6 (70%Ar + 30%He) farklı koruyucu gaz oranları kullanılmış ve ısı girdisi hesabı yapılmıştır. Sonuç olarak ısı girdisinin yüksek değerliklerini belirlemek için SG4

(98%Ar + 2%H₂) ve SG6(70%Ar + 30%He) kompozisyonlarında oluşturulan gaz karışımlarında çok iyi bir ark stabilitesinin sağlandığı gözlemlenmiştir. SG1 (Ar + 1%O₂) veya SG5 (98%Ar + 2%N₂) kompozisyonlarında oluşturulan gaz karışımlarında ise düşük ısı girdisi meydana geldiğinden dolayı çinko ile kaplı çelik plakalarda daha az çinkonun kaybolduğu gözlemlenmiştir [8]. Lı Rui-Feng ve arkadaşları; bakır esaslı teller ile galvanizli çeliklerin ark lehimlemesinde birleşme mukavemetini ve ara yüzey yapılarını incelemişlerdir. Bu çalışmada TIG Brazing için 40mm x 40mm x 2mm ve MIG Brazing için 80mm x 40mm x 2mm boyutlarında numuneler hazırlanmış ve CuSi₃ dolgu materyali kullanılarak birleştirme sağlamışlardır. Standartlara uygun şekilde çekme deneyi numuneleri hazırlanarak çekme deneyi ve mikrosertlik sonuçları elde etmişlerdir. Buna ilaveten malzemenin içyapısını incelemek için SEM ve EDS analizleri yapılarak incelemişlerdir. Sonuç olarak; çekme deneyi test sonuçlarına göre esas metal ve CuSi₃ dolgu materyalinin çekme mukavemetinden MIG ve TIG Brazing ile birleştirilen numunelerde daha iyi mukavemet değerleri elde edildiğini gözlemlenmiştir. X-ray analizi yapıldığında

Fe₅Si₃(Cu) intermetalik bir bileşik olduğu gözlemlenmiştir. Birleşme bölgesinde Fe₅Si₃(Cu) intermetalik bileşiğin oluşmasından dolayı daha yüksek mukavemet değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir [9]. C. Chovet ve S. Guiheux otomotiv parçaları için galvanizli yüksek mukavemetli çelikleri MIG ve TIG Brazing yöntemi ile birleştirmişlerdir. Birleştirilecek malzemeleri 1- 2 mm kalınlığında DP 600 ve TRİP 700 çelik malzeme olarak belirlemişlerdir. MIG-Brazing yöntemi için sabit

koruyucu gaz kullanılmış ve CuAlNi6, CuMn13Al7, CuAl8 ve Mecufil 214 olarak dört farklı dolgu materyali kullanılmıştır. TIG-Brazing yöntemi için sabit koruyucu gaz kullanılmış ve CuAlNi6, CuMn13Al7 ve CuAl8 olarak üç farklı dolgu materyalleri kullanılmıştır. MIG-Brazing yönteminde farklı dolgu materyalleri için yaklaşık 77 A ile 160 A aralığında kaynak akım şiddeti ayarlanmıştır. TIG-Brazing yönteminde ise farklı dolgu materyalleri için akım şiddetini 100A ve 200A olarak ayarlanmıştır. Uygun parametreler ayarlandıktan sonra malzemelerin birleştirmeden sonraki metalografik incelemeler yapılarak dolgu materyallerin malzemeler üzerindeki etkisi incelenmiştir. MIG ve TIG Brazing yöntemi uygulanarak birleştirilen DP 600 çeliğinden elde edilen mekanik sonuçlar incelendiğinde CuAl8 dolgu materyali kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme mukavemet sonuçları hem MIG-Brazing hem de TIG-Brazing yönteminde en iyi sonuçlar elde edilmiştir. MIG ve TIG Brazing yöntemi uygulanarak birleştirilen TRIP 700 çeliğinde elde edilen çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde esas metalin çekme mukavemetinden daha düşük değerlerde çıkmıştır. Sonuçlar bir işletmeci tarafından değerlendirildiğinde MIG ve TIG Brazing yöntemleri diğer birleştirme yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerin en büyük avantajı birleştirme esnasında çok az sıçrama meydana gelmektedir. Bu durum önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu çalışma gösteriyor ki, Brazing yöntemlerinde düşük ısı girdisinden dolayı özellikle galvanizli çeliklerde çinko kaplamanın buharlaşması söz konusu değildir. Böylece koruyucu tabakanın deformasyona uğramaması malzemenin mukavemetini de olumlu yönde etkilemektedir [10]. Luisa Quintino ve arkadaşları; otomotiv endüstrisi için ince galvanizli çeliklerin MIG-Brazing yöntemi ile birleştirilmesini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda SG1 (Ar + 1%O₂), SG2 (Ar + 2.5%CO₂), SG3 (Ar), SG4 (98%Ar + 2%H₂), SG5 (98%Ar + 2%N₂) ve SG6 (70%Ar + 30%He) farklı koruyucu gaz oranları kullanılarak, S1:0.97 cm/s ve S2:1.2 cm/s lehim tel ilerleme hızı ayarlanarak birleştirme sağlanmış ve malzemelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelenmiştir. Sonuç olarak; SG4 (%98 Ar + %2 H₂) ve SG6 (70%Ar + 30%He) gaz karışımları ile birleştirilen numunelerde çok iyi ıslatma kabiliyeti ve dikiş geometrisi sağlandığı gözlemlenmiştir. SG5 (98%Ar + 2%N₂) ve SG1 (Ar + 1%O₂) gaz karışımları ile düşük ısı girdisi sağlanarak birleştirilen numunelerde daha az çinko kaplamanın buharlaştığı gözlemlenmiş, ayrıca korozyon direncinin göz ardı edilmesi ile birlikte bu gaz karışımları iyi bir ark stabilitesi ve dikiş geometrisi sağladığı belirtilmektedir.

SG1 (Ar + 1%O₂), SG4 (98%Ar + 2%H₂) ve SG6 (70%Ar + 30%He) kompozisyonlarında oluşturulan gaz karışımlarının iyi korozyon direnci gösterdiği gözlemlenmiştir. SG2 (Ar + 2.5%CO₂) kompozisyonunda oluşturulan gaz karışımında ise düşük ısı girdisi sağlanarak çalışıldığında malzemenin daha iyi korozyon direnci gösterdiği, birleştirme esnasında daha iyi ark stabilitesinin meydana geldiği ve HAZ bölgesinde daha az problemin olduğu belirtilmektedir [11]. Afrengel ve arkadaşları metalografik teknikler vasıtasıyla MIG-Brazing yöntemini incelemişlerdir. Çalışmalarında çinko kaplı düşük karbonlu çelik sacların MIG-Brazing yöntemi ile birleştirip metalografik özelliklerini incelemişlerdir. Birleştirmeden önce 0.65 mm kalınlığındaki çinko kaplı düşük karbonlu çelik malzemesinde yaklaşık 10 mikron kalınlığındaki çinko kaplamanın bulunduğu tespit edilmiş ve elektrik ark kaynak prosesleriyle yapılan uygulamalarda çinko kaplamanın yüksek ısıdan dolayı buharlaşarak kaybolduğu gözlemlenmiştir. Fakat MIG-Brazing yöntemi ile birleştirilen numunelerde düşük ısı girdisinden dolayı çinko kaplamanın önemsiz sayılacak derecede buharlaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca MIG-Brazing yöntemi ile birleştirilen numunelerin sertlik değerleri daha yüksek çıkmıştır. Kaynak metalinde ve iyi bir yüzey kalitesine sahip olan esas metalde birleştirme esnasında 3 mikron kalınlığında CuZn intermetalik bir bileşik oluşmuştur. Ayrıca lehim dikişinin sonlarına doğru yine aynı şekilde Cu₅Zn₈ intermetalik bir bileşik meydana gelmiştir ve bu bileşik çatlamanın oluşmasına sebep olmuştur [12].

Bu çalışma da, otomotiv sektöründe kullanılan galvanizsiz ve galvanizlenmiş IF çelik saclarının MIG-lehimleme ile farklı akım şiddetleri, farklı lehim ilerleme hızları ve farklı gaz debileri kullanılarak birleştirilebilirliğini araştırılacaktır. Ayrıca farklı parametrelerde uygulanan lehim parçalarının mukavemet özellikleri incelenecektir.

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

BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK

Türk Demir-Çelik endüstrisi ülke ekonomisine büyük katma değer sağlayan en önemli sektörlerden biridir. Demir ve çelik malzemelerin hammaddesi olan demir, dünyada en çok bulunan elementlerden biri olup çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. 2000’li yıllara kadar olan süreçte farklı krizlere maruz kalan Demir-Çelik endüstrisi 2001 yılından itibaren hızlı bir büyüme sürecine girmiştir [13,14]. Özellikle çelik malzemeler üzerine yapılan araştırma-geliştirme faaliyetleri neticesinde malzemelerin yeni alanlarda kullanımında önemli artışlar görülmektedir. Malzeme kullanan bütün endüstriyel alanlarda üreticiler, üstün özelliklere sahip hafif, dayanımı yüksek, şekillendirme kabiliyeti ve şekillendirme sonrası dayanımı iyi olan malzeme kullanmayı arzu ederler. Son yıllarda otomotiv endüstrisinde yolcu güvenliğini, sürüş emniyetini, yakıt tasarrufunu artırmak ve çevresel faktörlerden dolayı araçların karoser kısmı hafifletilmek istenmektedir [15-16-17].

Otomotiv endüstrisinde çelik haricindeki plastik, alüminyum, magnezyum vb. gibi malzemelerin kullanımı, araçlarda yakıt tüketimini düşürmek maksadıyla ağırlık azaltma kaygısından dolayı artış göstermesine rağmen, çelik endüstrisinde kaydedilen ilerlemeler sayesinde çelik; otomotiv sektörü için hala önemini korumaktadır [17,18]. Otomotiv endüstrisi için üretimde gelişmiş araç konsepti çerçevesinde en önemli unsurlar Şekil 2.1.’de verilmiştir [19].



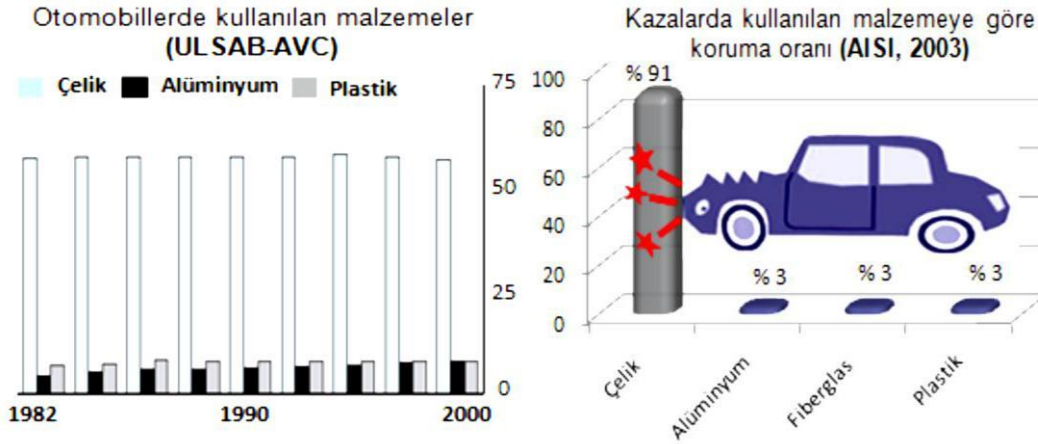
Şekil 2.1. Bir otomobilde aranan özellikler [19]

Grafikte görüldüğü gibi otomobilden istenen özellikler öncelikle güvenli oluşu, yakıt tüketimi, yakıt verimliliği ve ekonomikliğidir. Diğer taraftan bu temel üç unsurun sağlanmasının yanında CO₂ emisyonu önemli hale gelmiştir. Ayrıca konfor, otomobilin ağırlığı, sürüş performansı, maliyet/fiyat ilişkisi önem arz etmektedir. 2009 yılında Dünya Çelik Topluluğu CO₂ emisyonuna özellikle dikkat çekerek 5 kişi taşıyabilen taşıtlarda diğer kalite çelikler yerine gelişmiş yüksek mukavemetli çelik kullanımının artırılması halinde CO₂ emisyonunun % 6 oranında azalacağını rapor etmiştir. Yapılan çalışmalara göre ortalama bir araç yılda 22.000 km’de 4 ton CO₂ emisyonuna neden olmaktadır. Avrupa Komisyonunun 2009 raporuna göre ise yüksek hacme sahip B ve C segmenti araçların 2012’ye dek güçlü rekabet ve ağırlık azaltılması ile emisyonun 120 kg CO₂/km’ye düşürülmesini planlamaktadır [20].

ULSAB-AVC’nin bildirdiğine göre otomotiv endüstrinde çelik kullanım oranının geçen yıllarla birlikte azalmadığı görülmektedir. Bunun çeşitli nedenleri vardır.

Birincisi oluşacak kazalarda koruma oranının yüksekliği, ikincisi ise otomotiv çeliklerini geliştirme çabalarının istenilen sonuçları vermesidir. Birçok otomobil üreticisi daha hafif çelik kullanımını seçerek otomobili hafifletme yoluna gitmektedir [21]. Dünyada her 9 saniyede bir trafik kazasının olduğu düşünüldüğünde güvenlik ve kullanılan malzemeler önem arz etmektedir [22]. Amerikan Demir-Çelik Enstitüsünün 2003 yılında yayınladığı rapora göre; tasarımı çelik yapılarla yapılmış araçlarda can kaybının % 90 oranında azaltıldığı rapor edilmiştir [23]. Şekil 2.2.’de

yıllara göre kullanılan malzeme türlerinin oranları ve kazalarda korunma oranları verilmiştir.



Şekil 2.2. Otomobillerde kullanılan malzemeler ve kazalarda korunma oranı [23]

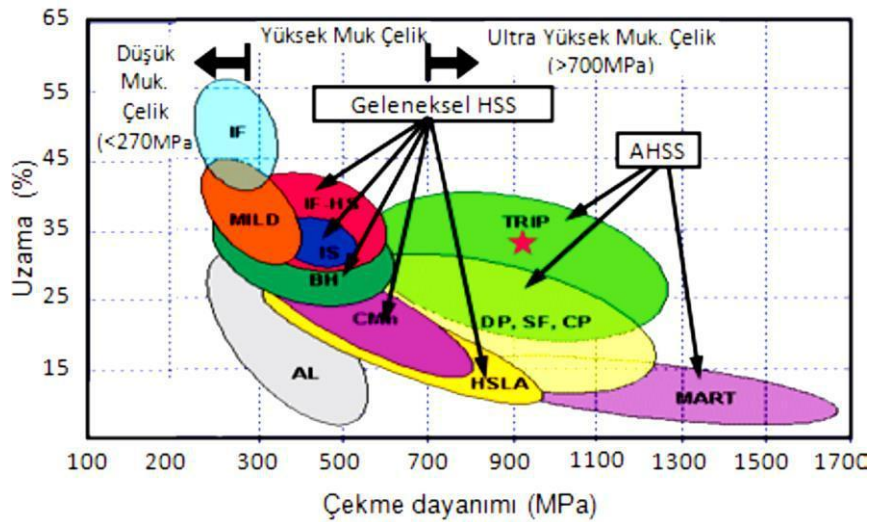
Alüminyum, plastik ve diğer malzemelerin ise % 3'tür. Bu nedenle çelik otomotiv endüstrisi için vazgeçilmez bir malzeme olmakta ve hala araç ağırlığının % 55'ini oluşturduğu rapor edilmektedir [23].

Yapılan diğer bir araştırmada ise güvenlik açısından malzemelerin maksimum dayanımının 600 MPa civarlarında olmasının can kaybını önemli ölçüde azalttığını bildirilmiştir. Örnek verilecek olursa Daimler Chrysler servis bilgilerine göre 2006 Jeep Grand Cherokee ve Commander araçların darbe performansını artırmak amacıyla DP600 (dual phase steel; çift-fazlı çelik) çeliğini kullanmışlardır [24].

2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelikler ve Saclar

Bu bölümde sac veya sac malzeme şeklinde geçen tüm tanımlar çelik malzeme olarak algılanmalıdır. Örnek olarak, İngilizcede "Dual Phase Steels" olarak geçen tanımın tam olarak Türkçe karşılığı "Çift Fazlı Çelikler" olsa da bu dokümanda "Çift Fazlı Saclar" olarak geçmektedir. Sac malzemelerin sınıflandırılmasında tüm dünyada kabul gören ve kullanılan bir sistem bulunmamaktadır, günümüzde yaygın olarak kullanılan metot, sac malzemelerin metalürjik özelliklerine göre yapılan sınıflandırma metodudur [25].

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 [26]. Her malzeme için karakteristik bir “gerilme-şekil değiştirme” ilişkisi vardır; bu eğri genellikle çekme deneyi ile saptanır ve malzemenin mekanik davranışı ile özellikleri hakkında çok önemli bilgiler içerir. Çekme deneyi, malzemenin statik veya yavaş uygulanan bir kuvvete karşı direncini ölçmek için yapılır. Otomotiv endüstrisinde farklı çelik türleri kullanılmaktadır. Şekil 2.3.'de otomobil yapımında kullanılan çeliklerin mukavemet ve % uzama oranları verilmiştir.



Şekil 2.3. Düşük mukavemetli, konvansiyonel yüksek mukavemetli (HSS) ve ileri yüksek mukavemetli (AHSS) saclar arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi [24,27,28]

Otomotiv çelikleri üç kısımda incelenebilmektedir. Birincisi yumuşak çelikler; IF çeliği ve diğerleri. İkincisi; HSS (High Strength Steel) çelikleri ve üçüncüsü ise AHSS (AHSS: Advanced High Strength Steel) çelikleridir. IF çelikleri çok az arayer atomu içeren çelikler, düşük akma mukavemetleri, yüksek uzama ve iyi derin çekilebilirlik özellikleri nedeniyle çok iyi biçimlenebilirlik özellikleri gösterirler ve otomotiv sanayinde sıklıkla kullanılırlar. Düşük çekme mukavemeti ve yüksek % uzama değerlerine sahip olup darbe absorbe özelliğine sahiptir. Yüksek

şekillendirilebilmeye sahip olan bu çelikler beyaz gövdede yüksek dayanıma ihtiyaç duyulmayan bölgelerde kullanılır [15-17]. İkinci tür HSS, konvansiyonel yüksek mukavemet çelikleri, genellikle karbon-mangan, fırında sertleştirilebilen izotropik, yüksek mukavemetli IF ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerdir. Üçüncü tür AHSS ise gelişmiş yüksek mukavemet çeliklerinin yeni türleri: Çift fazlı ve martensitik çelik saclardır. Çift fazlı çelikler, üretildikleri yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (YMDA) çeliklere göre oldukça iyi dayanım-süneklik ilişkisi göstermektedir. Bu çelikler üretildikleri YMDA ve karbon çelikleri ile kıyaslandığında pek çok şartlar için ideal olarak ifade edilebilecek özelliklere sahiptirler. Bunlar; düşük akma dayanımı, sürekli akma davranışı, yüksek pekleşme hızı, düzgün ve toplam uzama, yüksek yorulma dayanımı ve korozyon direnci gibi özelliklerdir [18-24].

Tablo 2.1.'de otomobillerde kullanılan çeliklerin mekanik özellikleri ve otomobilde kullanıldığı bölgeler verilmiştir.

Tablo 2.1. Otomobillerde kullanılan çeşitli çelik kalitelerinin mekanik özellikleri [39]

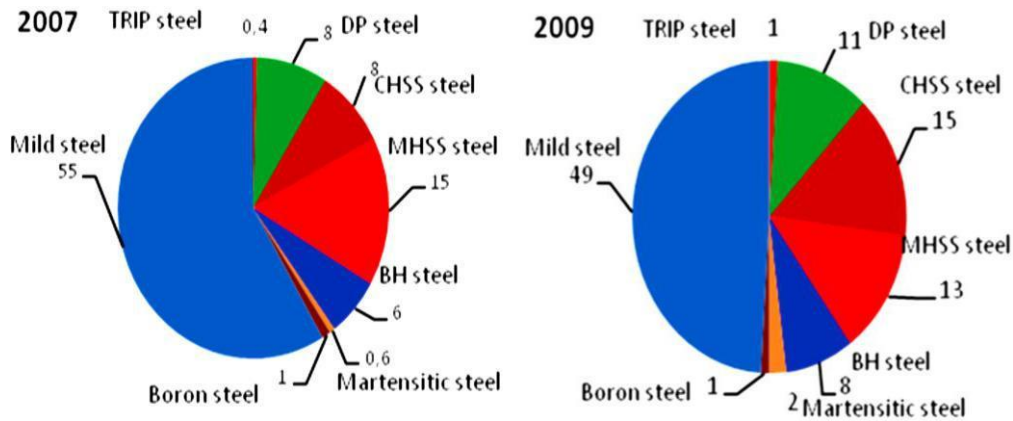
Kalite	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Toplam uzama, (%)	n- değeri	r- değeri	Uyg. Alan kodu
Mild	140	270	38-44	0.23	1.8	A,C,F
BH	260	370	29-34	0.13	1.6	B
IF	300	420	29-36	0.20	1.6	B
HSLA	350	450	23-27	0.22	1	A,B,S
DP	500	800	14-20	0.14	1	A,B,C,W
TRIP	450	800	26-32	0.24	0.9	A,B
Mart	950	1200	5-7	0.07	0.9	A,B

Uygulanan bölge kodu: A=Yardımcı parçalar, B=Gövde yapısı, C= Paneller, F=Yakıt tankı,
S=Süspansiyon/Şaşılar, W=Tekerlekler

Çekme deneyinde elde edilen yük - uzama eğrisi, gerçek şekil değişimi (σ - ϵ) eğrisine dönüştüğünde çoğu malzeme;

$$\sigma = K \cdot \varepsilon^n$$

biçiminde parabolik bir bağıntı gösterir. K ve n, malzeme sabitleri; K = Malzemenin mukavemet katsayısı, n = Deformasyon pekleşme üstelini gösterir. Yüksek yüzde uzama, düşük akma dayanımı/çekme dayanımı oranı, yüksek n değeri malzemenin iyi gerilebilirlikte olduğunu gösterir. Gerilebilirlik artan n değeri ile artar [40]. Levhanın incelmeye karşı gösterdiği direnç çekme deneyi yardımı ile ölçülmektedir. Bu deneyde belli bir uzamada (örnek; % 20) numunenin enine gösterdiği birim deformasyonun, kalınlıkta oluşan birim deformasyonuna oranı, R değeri bunun bir ölçüsüdür. İyi derin çekilebilir bir malzemede bu değer mümkün olduğu kadar yüksek yani sacın incelmeye karşı dirençli olması istenir [41]. İyi derin çekilebilirlik; kap duvarının sağlam (incelmeye karşı dayanıklı), yakanın ise mümkün olduğu kadar yumuşak olmasını gerektirir. Malzeme seçiminde bu önemli bir özelliktir. Otomotiv çelikleri dönemsel koşullar ve gelişen teknolojilerle birlikte değişim göstermiştir. Tablo 2.2.'de görüldüğü gibi otomobillerde kullanılan çelik sacların gelişimi her dönemin farklı ihtiyaçlarından etkilenmiştir. Şekil 2.4.'de Kuzey Amerika'da hafif araçların otomobil gövde, tavan (panel), tampon, süspansiyon, tekerlek, şasi gibi kısımlarında kullanılan çelikler verilmiştir.

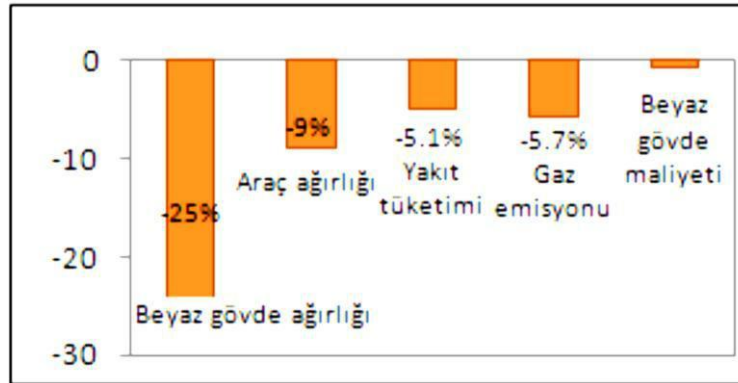


Şekil 2.4. 2007 ve 2009 model otomobillerde farklı çeliklerin kullanımı [42]

Tablo 2.2.Otomobillerde kullanılan çelik sac malzemelerin tarihsel gelişimi [18]

Yıl	1960	1970	1980	1990	2000
Otomobili etkileyen değişimler	Motorlu taşıtlara hızlı geçiş	Petrol krizi	Yüksek kalite	Yasal zorunluluklar (CAFE standart)	Kaza değeri
			Anti korozyon		CO ₂ sınırlaması
					Geri dönüşüm
Çekme mukavemeti (MPa)	300	Düşük akma muk. çelikler	IF çeliği	BH çeliği	Süper şekillendirilebilen çelikler
	400		C-Mn çeliği	Fosforlu yüksek muk. çelikler	Yüksek mukavemetli IF çelikleri
	600		Çökelmeyle sertleştirilmiş çelik	DP çeliği	TRIP çeliği
	800				TRIP çeliği
	>1000		1000 MPa ultra yüksek muk. çelikler		1500 MPa ultra yüksek muk. çelikler

Yukarıdaki tabloda belirtildiği gibi 2000 yıllara kadar otomobil saclarındaki gelişmeler gösterilmiştir. 2000 yıllarından sonra Dünya piyasasında yer bulmuş büyük otomotiv üreticileri ve Demir-Çelik üreticilerinin yapmış olduğu çalışmalar ele alınarak irdelenecektir. AISI'nın (Automotive Applications Council of AISI's Steel Market Development Institute, SMDI) çelik geliştirme enstitüsünün raporunda 2007 model taşıtla 2009 model taşıt arasında AHSS çeliklerinin kullanımının % 10'dan % 15'e çıkmış olduğu belirlenmiştir. AHSS çeliğinin kullanım oranının artışıyla birlikte toplam gövde ağırlığında 70 kg azalma olduğu bildirilmiştir, geleneksel çeliklerin yerine gelişmiş çelik kullanımıyla beyaz gövde, araç ağırlığı, yakıt tasarrufu, gaz emisyonu ve maliyetteki değişimi araştırmıştır [43].



Şekil 2.5. Otomobil imalatında dikkat edilen 5 önemli unsurun AHSS çeliği kullanımıyla değişimi [43]

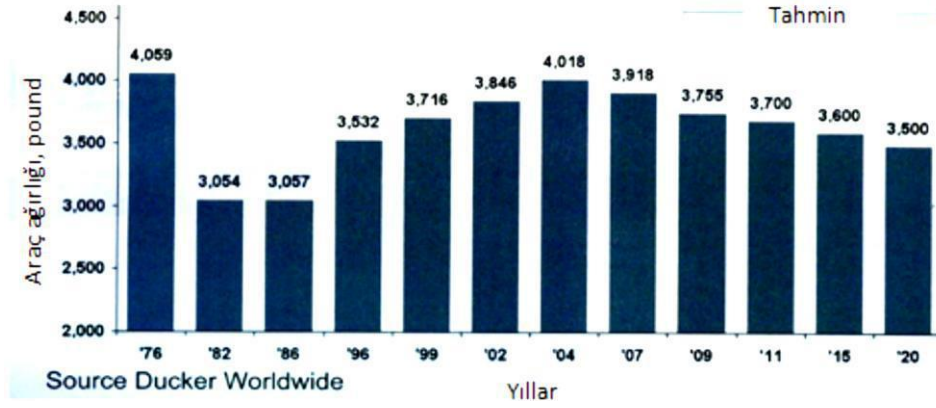
Corus 2008 (Tata group) raporunda otomobil ağırlığını AHSS çeliğinin kullanımını artırarak 60 kg azalttığını ve daha fazla AHSS çeliği kullanımı ile bu ağırlık tasarrufunun 100 kg'a çıkarılabileceğini ve CO₂ emisyonundan her bir aracın kullanımı boyunca 1 ton tasarruf sağlanacağı bildirilmiştir [44]. Dünyanın bir numaralı çelik üreticisi Arcelor Mittal ise 2008 yılı raporunda ultra-hafif yüksek mukavemet çeliklerinin kullanımı ile ağırlığın gaz silindirlerinde % 50, otomobil parçalarında % 40 azaldığını, bununla birlikte gaz emisyonunun da azaldığını bildirmiştir [45]. Arcelor Mittal gelişmiş çelikler üzerine çalışmaları yoğunlaştırarak geleneksel çeliklerin yerine kullanımını artırıp % 20 daha hafif araçlar üretilebileceğini rapor etmiştir [46].



Şekil 2.6. Otomobillerde gelişmiş çelik kullanılan bölgeler ve ağırlık düşüş oranları [45]

Bir başka çalışmada Arcelor Auto, otomobillerde gelişmiş çeliklerin kullanımı ile ağırlıktaki azalışın otomobilin bölgeleri arasında farklılık gösterdiğini rapor etmiştir [46,47]. Otomobilin bir bölgesinden örnek verilecek olursa; arka panel bölgesinde gelişmiş çelik kullanımı (TRIP, DP çeliği vb.) ile ağırlığın 22 kg'dan 17 kg'a düştüğü ve % 24 oranında ağırlıktan tasarruf sağlandığı bildirilmiştir. Ön panellerde ağırlıktan tasarrufun % 28'e çıktığı, arka ve ön kapıda ise ağırlıktaki düşüş oranının % 18 olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca Arcelor Mittal firması, 2007 itibarı ile son çalışmalarla geliştirilmiş olan TRIP 1200 ve DUAL 1200 çeliklerinin üretimine başladığını bildirmiştir [46]. Dünya genelinde üretilen BMW-6 (2009 model) otomobil serisinde gövde yapısı ve ana kısımları olmak üzere AHSS çeliği oranı % 32'ye çıkarılmıştır. Ortalamanın üstünde AHSS kullanan diğer yeni modeller ise

Chevrolet Traverse, Ford F-150, Chrysler Town and Country olmuştur [27]. Ayrıca Corus 2007 [47], raporunda Volvo S80, XC90, V50, S40, C70, C30 ve XC60 modellerinde ağırlıktan tasarrufun yanında yanıl yükler, darbeler göz önünde bulundurularak kapı çerçevelerinde ve beyaz gövdede gelişmiş yüksek mukavemetli çelik kullandığını rapor etmiştir. Şekil 2.7.'de Kuzey Amerika'da araç ağırlığının değişimi verilmiştir.



Şekil 2.7. 2020 yılına kadar Kuzey Amerika'da araç ağırlığının değişimi [21]

Ducker Worldwide'ın Kuzey Amerika'da araç ağırlığının değişimiyle ilgili yaptığı çalışmada 2004 yılına kadar artış sürecine giren araç ağırlığının 2020 yılına kadar düşürüleceğinin planladığını bildirmiştir [21].

BÖLÜM 3. IF (ARAYER ATOMSUZ) ÇELİKLERİ

3.1. Giriş

Otomotiv ve beyaz eşya sektörüne yönelik çelik üretiminde şekillendirebilirlik özelliği önemli bir parametredir. Arayer atomsuz (Interstitial-Free) çeliklerin geliştirilmesinde otomotiv ve beyaz eşya sektörünün bu talebi önemli yeniliklerin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. IF çelikleri yüksek şekillendirilebilirlik ve iyi mekanik özellikleri nedeni ile otomotiv ve beyaz eşya üreticilerinin en fazla kullandıkları malzeme haline gelmiştir. Ancak bu tür çeliklerin üretimi için gerekli teknolojik donanım ve uygulama pratikleri çok hassas teknolojiler gerektirmektedir[49].

Düşük akma ve çekme dayanımları, yüksek yüzde uzamaları ve r değerleri ile özellikle otomobil ve beyaz eşya üreticilerinin gözdesi haline gelen bu çeliklerin üretimi için gerekli teknolojik donanım hayli pahalı olmaktadır. Erdemir'in 2. Soğuk haddehanesinde üretilen bu çelikler, NKK şirketinden alınan know-how sayesinde üretilmektedir. IF çelikleri, düşük akma ve yüksek “ r ” değerleri ile ekstra derin çekilebilme özelliği göstermekte ve çok karmaşık parçaların kolaylıkla üretilmesine olanak sağlamaktadır [50]. IF çeliklerinin yüksek “ r ” değerleri ile yapılan çalışmalarda, genellikle en yüksek r değerleri Ti+Nb IF çeliklerinde elde edilmektedir [49]. Whilshynsky-Dresler ve arkadaşlarının da yaptığı çalışmada da Ti ilavesinin yanı sıra Nb ilavesinin r değerini artırıcı yönde etkisi olduğu belirtilmiştir [51]. Bunun muhtemel nedeni olarak Nb'un C atomunu bağlamada Ti'a göre daha etkili olması söylenebilir [52].

İyi şekillendirilebilen IF çelikleri, sürekli tavlama hattında üretilmektedir. Şu anda Erdemir’de sadece niobyumlu IF çelikleri üretilmektedir. Daha sonraki sürelerde titanyumlu IF çeliklerinin üretimine başlanması düşünülmektedir. Bu çeliklerin en yüksek ve en iyi üretimini yapan ise Tokyo’daki NKK şirkettir. Bu şirket hem çelik teknolojisini geliştirmekte hem de bu teknolojiyi diğer dünya ülkelerindeki çelik şirketlerine satmaktadır.

IF çeliklerinde, çözültide mevcut C ve N miktarları vakumla gaz giderme ve Ti veya Ti+Nb ilaveleriyle 20 ppm mertebelerine düşürülmüştür. Ti ve Nb ilaveleri sonucunda mevcut arayer atomları TiC, TiN veya NbCN stabil bileşikler şeklinde çözültiden ayrılması çeliğe yaşlanma özelliği göstermeyen üstün bir preste şekillendirilebilirlik kazandırmaktadır [50,52].

IF çelikleri arayer atomları açısından çok düşük değerlere sahip olduğundan yapay yaşlandırma ünitesine gerek duymazlar ve sıcak daldırma ile galvanizleme ya da sürekli tavlama hatlarında gereken hızlı ısıtma hızlarında da üretilebilme olanağı sunarlar. Ti ilk olarak bu çeliklerde çözülmüş karbon ve azotu TiC ya da TiN şeklinde bağlamak için kullanılmış daha sonra da bu amaçla Nb ve Nb+Ti da kullanılmıştır. IF çeliklerinin üretimi günümüzde de yalnızca soğuk ve sıcak saclar için değil aynı zamanda çinko kaplı çelik saclar, yüksek dayanımlı çelik saclar vb. değişik uygulamalarla artmaktadır [52,53].

NKK Prosesinin en önemli özelliklerinden olan su soğutma prosesi sırasında soğutma kontrolünde süneklik ve anti-aging arasında seçim yapılabilmesidir. Aynı zamanda çok yüksek çekme dayanımlı (150 kg/mm²) çeliklerden, yüksek derin çekilebilme kabiliyetli (35 kg/mm²) olan çeliklere kadar geniş yelpazede çelik ürünlerinin üretilmesine olanak verir.

NKK-CAL Prosesi, soğuk haddelenmiş düşük karbonlu ekstra derin çekme sacları ve yüksek dayanımlı çeliklerin ekonomik olarak üretilmesine yarayan su soğutma sistemini (WQ) kabul etmiş, geliştirmiş ve endüstrileştirmiş bir sürekli tavlama prosesidir. Bu yöntem sadece derin çekme kaliteli soğuk haddelenmiş çelik sacların imalatında değil, aynı zamanda konvansiyonel batch tavlama prosesi ile imal

edilemeyen yeni ürünlerin üretimine olanak sağlar. Bu yeni ürünlerin tipik örnekleri, otomobil endüstrisi tarafından talepleri gittikçe artan güvenliği arttıran ve yakıt tasarrufu sağlanması açısından oldukça hafif olan yüksek dayanımlı soğuk haddelenmiş çelik saclardır. Sonuçta iyi dayanım-süneklik kombinasyonuna, yüksek fırınlama sertleşmesine sahip ve oda sıcaklığında yaşlanma özelliğine karşı yüksek dayanımlı soğuk haddelenmiş dual fazlı çelik saclar geliştirilmiştir [49,53].

3.2. IF Çelikleri Ve Çeşitleri

Çok az arayer atomu içeren çelikler, düşük akma mukavemetleri, yüksek uzama ve iyi derin çekilebilirlik özellikleri nedeniyle çok iyi şekillenebilirlik özellikleri gösterirler. IF çelikleri vakum gaz giderme ekipmanları yardımıyla üretilirler. Karbonitrür oluşturu elementler ilavesi ile derin çekilebilirlik ve yaşlanmama özellikleri daha da geliştirilebilir. Bu amaçla katılan Niyobyumun etkisi, düzlemsel anizotropiyi geliştirme olayını azaltma yönündedir. Bunun nedeni, soğuk haddeleme işleminden daha önce, sıcak haddelenmiş yapının küçük tane boyutlu olmasıdır. Niyobyumun etkisini arttırmak amacıyla Titanyum ilavesi de yapılabilir [54].

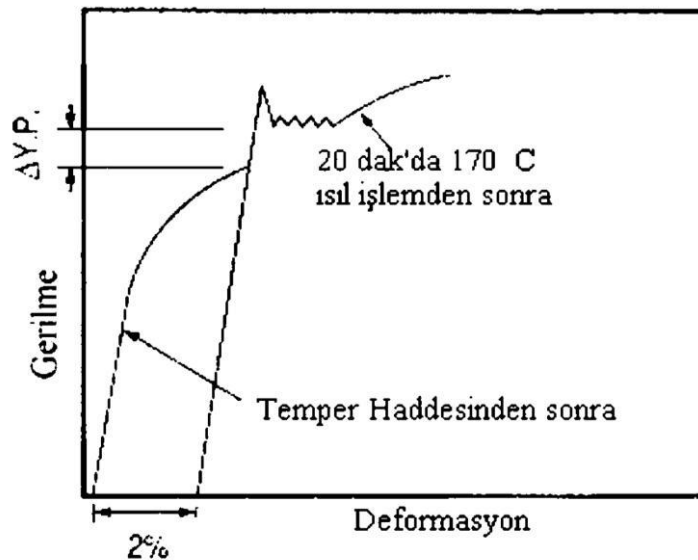
3.2.1. Derin çekme kalite (DDQ) ultra düşük karbonlu (ULC) IF çelikleri

IF çeliklerinin akma mukavemeti 150 MPa, çekme mukavemeti ise 300 MPa civarındadır. Günümüzde, IF çeliği alaşımı konseptine dayalı olarak mükemmel derin çekme ve gerdirmeye ile şekillendirme kabiliyetine sahip olan yeni ultra düşük karbonlu (ULC) yüksek mukavemetli çelik saclar üretilmektedir ve daha yüksek mukavemetli çelikler geliştirme aşamasındadır. Bu çelikler daima IF olmaya ihtiyaç duymazlar, bu yüzden ULC terimi daha doğrudur. Vakum altında gaz giderme prosesi, son zamanlarda levha ve çelik üreticileri tarafından ürünlerin süneklik ve mukavemetini arttırmak için kullanılmaktadır. Karbon oranı % 0,003'ten daha az oranlara kadar düşürülebilir. Dikkatli alaşım katma ve proseslerle, otomotiv endüstrisi için yeni çelikler keşfedilmiştir. Bu proses ilk olarak büyük kesitlerden ve dökümlerden hidrojeni kaldırmak için kullanılmıştır. Sonraları ise özel ve üniform kimyasal kontrolü ile daha temiz malzemeler imal edilmeye başlanmıştır [40]. Vakum altında gaz giderme prosesi ile yapılan malzemeler genellikle;

- Dövme kalıpları
- İşlenebilir çubuklar
- Büyük döküm kalıpları
- Borulardır

3.2.2. Fırında sertleşebilen (bake hardenable - BH) çelikler

Fırında sertleşebilen çelikler, otomotiv imalatçılarının preslerinde kolayca işlenebilen düşük mukavemetli ve optimum olarak şekil verilebilen bir çelik grubudur. Presleme sırasındaki deformasyon, şekil verme sırasında işlem sertleşmesi ile sertleşmeye yol açar. Vakumla gazı giderilmiş çelik malzemeler özel yaşlanma karakteristikleri olan ürünler verir. Bu otomotiv çelik sac ürünleri, fırında sertleşebilir çelikler olarak bilinirler. Otomotiv gövdesi parçaları haline damgalanmadan (mühürlenmeden) önce normal depolama sırasında yaşlanmaya dirençli olarak dizayn edilirler. Bununla beraber şekil vermede yaşlanmaya başlarlar ve boya pişirme fırınlarında ısıtıldıktan sonra malzeme tamamen yaşlanır. Orijinal çelik özelliklerine göre yaklaşık 34-70MPa'lık bir akma mukavemeti artışı olan nihai parçalar elde edilir. Bu gibi ürünler otomotiv imalatçılarının şekil verilebilirlikten feda edilmeden, artan ezilmeye dirençli parçalar tedarik etmelerine yardım eder.



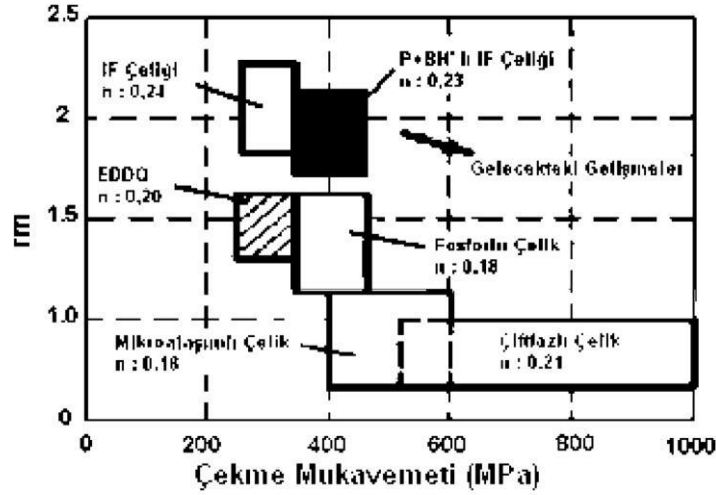
Şekil 3.1. Fırında sertleşme işlemi görmüş çelik levhanın gerilme-deformasyon ilişkisi [55]

Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi numunenin fırında sertleşebilirliği, ısıtmadan önceki % 2'lik deformasyondaki akma gerilmesi ile numunenin ısıtma işlem sonrası alt akma noktası arasındaki farktır. Yaşlanma direnci çekme çubuklarını kaynayan suya (100 °C) bir saat daldırarak ve daha sonra çubukları test ederek tespit edilir. Eğer akma noktası kaybolursa çelik, depolamada altı haftaya kadar kararlı olabilir.

Bileşim ve tavlamadan sonra mevcut ara yerde çözünmüş elementlerin miktarının kontrolü fırında sertleşebilir çelik üretimi için kritiktir. Çözeltideki karbon ve azot, fırında sertleşebilirlik sağlayabilir fakat çözünmüş azot oda sıcaklığında demir içinde yüksek hareket etme yeteneğine sahiptir ve depolama sırasında erken yaşlanmaya sebep olacaktır. Bu yüzden bu çeliklerde bütün azotun genellikle alüminyum ile bağlanmış olması kritiktir. Karbon bu yüzden, fırında sertleşebilirliği kontrol etmede anahtar elementtir. Tavlamadan sonraki soğutma hızı, tavllanmış ürünlerdeki çözünmüş karbon seviyesini kontrol eder [56].

3.2.3. HSS (yüksek mukavemetli) IF çelikleri

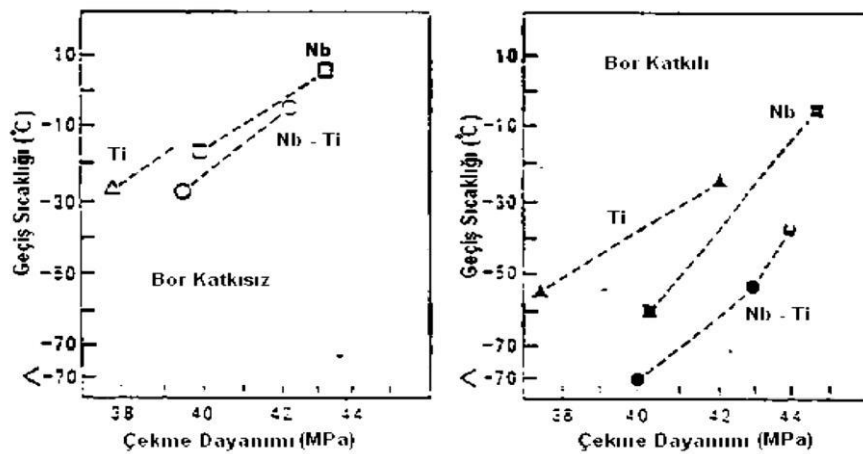
Yüksek mukavemetli çeliklerde “r” değerinin yüksek, akma noktasının da düşük olması istenir. Çünkü, malzeme presle şekillendirildiğinde kopmanın olmaması ve yüzeyin eğilmemesi gerekir. Şekil 3.2.'de çeşitli HSS çelikleri için “r” değeri ile çekme dayanımları arasındaki ilişki verilmektedir. Çift fazlı çelikler ve çökelme ile sertleştirilmiş çelikler dayanım açısından uygun olmakla birlikte r değeri 1-1.3 dolaylarında kalmaktadır. Bunun anlamı, bu çeliklerin otomobil dış sacı olarak kullanılmasını imkânsız hale getirmesidir.



Şekil 3.2. Çeşitli sac çeliklerinin çekme mukavemeti ve anizotropi (r_m) katsayısı arasındaki ilişki [55]

Fosfor ilave edilmiş çeliklerde “r” değeri 1.6 civarındadır, çamurluk gibi derin çekme özelliği isteyen uygulamalar dışında geniş çapta kullanılmaktadır. Fakat bükülmenin olmaması için çekme dayanımının 240 MPa olması gerekir, “r” değeri 2 olan IF - HSS çelikleri üretilebilmektedir, bunlar Ti ya da Ti ve Nb bazı IF çeliklerine P, Si, Mn ve Silikon eklenerek sertleştirilirler. Bu tip çeliklerde çekme dayanımı 400 MPa dolayındadır.

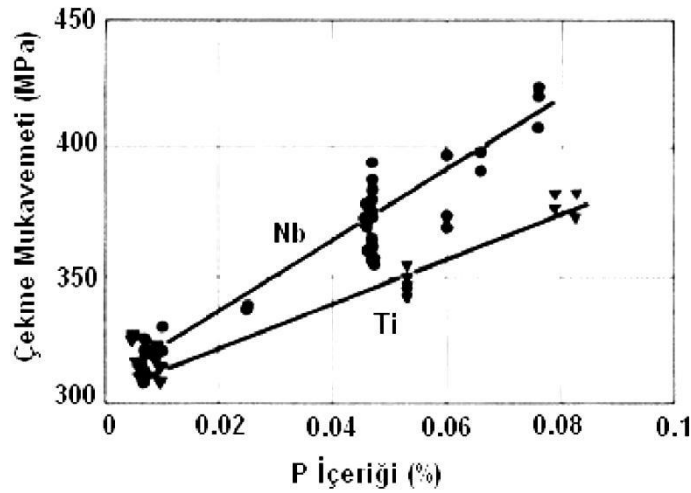
Erdemir’de üretilen farklı kalitelerdeki bazı soğuk haddelenmiş HSS çelik kalitelerinin mekanik özellikleri Şekil 3.3.’de verilmiştir.



Şekil 3.3. IF-HSS çeliklerinde çekme dayanımı ile geçiş sıcaklığı arasındaki ilişki [55]

3.2.4. Ekstra derin çekilebilen (EDDQ) IF çelikleri

Soğuk şekil verilebilirlik sadece yeniden kristalleşmiş malzeme ile mümkün olduğundan bu prosesin kinetiği karbonitrürlerin kalınlaşmasına bağlı olduğu için, karbonitrürler tarafından çökelme sertleştirmesinin uygulanma ihtimali EDDQ çeliklerinde mukavemeti arttırmak için kullanılamaz. Bu yüzden, mukavemet arttırma mekanizması olarak katı eriyik sertleştirmesi kullanılır. Bu şartlarda uygun elementler mangan ve silisyumdur ve bunlar çekme mukavemetini % 0.1 Mn, 4 MPa, % 0.1 Si, 10 MPa arttırır. Fosforun etkisi ise daha büyük seviyededir. Niyobyum ile stabilize edilmiş çeliklerde % 0.1 P çekme mukavemetini 100 MPa arttırır ve Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi titanyumlu çeliklerde bu etki biraz daha azdır. Titanyumlu çelikte daha düşük mukavemet arttırma mekanizması FeTiP fazının oluşumu, fosforun eriyik sertleştirmesi etkisini düşürmesi ile açıklanabilir [54].



Şekil 3.4. Nb veya Ti ile stabilize edilmiş bir IF çeliğinde fosfor kuvvetlendirmesi [54]

Fosforun negatif etkisi, tane sınırlarına yayılarak gevrekleşmeye yol açmasıdır. Yığın tavlama sonrasında, herhangi bir ekstra fosfor ilavesi olmaksızın IF çeliğinde böyle bir gevreklik oldukça önemli olabilir.

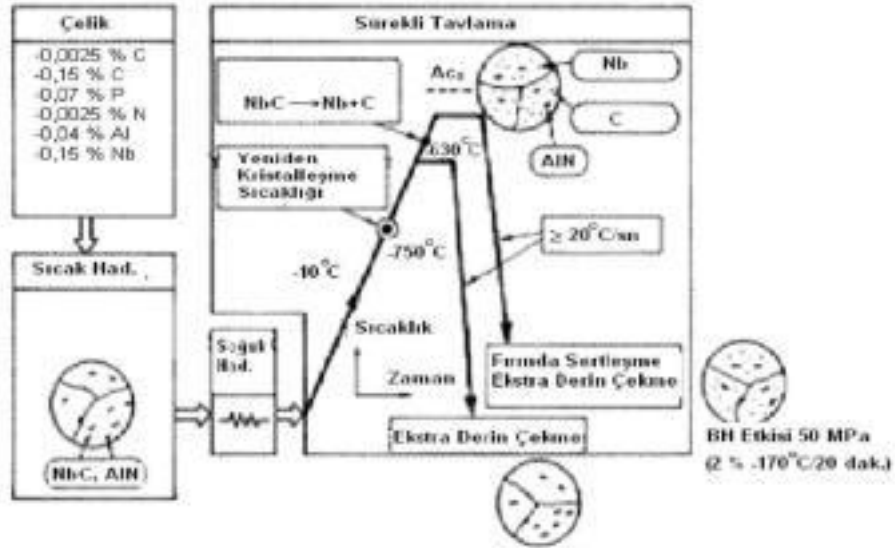
Yüksek mukavemetli EDDQ çeliklerinde tipik fosfor içeriği, kısa süreli tavlama çevrimi zamanında bile tane sınırı gevrekliğine yol açabilir. Bundan kaçınmak için, yüksek mukavemetli ULC çeliklerine bor ilavesi yaygın bir uygulama olmuştur. Aynı zamanda bir arayer elementi de olan Bor'un, fosforun tane sınırı segregasyonunu başarılı bir şekilde önlediği görülmektedir ve bu etki niyobyum ile alaşımlandığında

daha ince tane boyutu ile (daha fazla tane sınırı alanı) arttırılmaktadır. Böylece niyobyum, fosforun güçlendirici etkilerine ilaveten gevrekliği azaltmaya yardım eder. Galvanizleme veya galvanizleme ısıl işlemi yapılması durumunda çelik genellikle ana silisyum ilaveleri içermemelidir. Tablo 3.1.'de aynı zamanda bu çeliklerin yüksek düzlemsel izotropisini de gösteren, sıcak daldırma ile galvanizlenmiş yüksek mukavemetli bir IF çeliğinin karakteristik üretim verilerini göstermektedir [54].

Tablo 3.1. Galvanizlenmiş yüksek mukavemetli IF çeliğinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	Mekanik Özellikler
30 ppm C	Akma Mukavemeti 220 MPa Çekme Mukavemeti 390 MPa Uzama (%) % 37 r değeri 1,9 n değeri 0,21
30 ppm N	
% 0,35 Nb	
% 0,05 P	
% 0,03 Al	
% 0,0035 Nb	
% 0,02 Ti	
10 ppm B	

Çelik sacın fırında sertleşebilirliği otomotiv endüstrisi tarafından çok istenir çünkü bu durum sacın oldukça düşük kuvvetlerle preslenmesine müsaade eder ve nihai üründe yani presle şekillendirme ve boya pişirmeden sonra daha yüksek mukavemeti garanti eder. Fırın sertleştirme, dislokasyonları arayer atomları tarafından kilitleyen bir Cottrell etkisi gösterir ve bu yüzden çelik 5 ppm'nin altında olmayan belli bir miktar çözünmüş karbona ihtiyaç duyar. Şekil 3.5.'de yüksek mukavemetli bir EDDQ sacın fırın sertleştirmesinden dolayı 50 MPa civarında bir ekstra akma mukavemeti artışı elde etmek için gerekli proses rotasını şematik olarak göstermektedir [54].



Şekil 3.5. Yüksek mukavemetli EDDQ-IF çeliğinin proses şartları [56]

Alaşım dizaynı niyobyum ile karbon bağlanmasına dayalıdır ve soğuk haddelenmeden sonra sac IF statüsü sergiler. NbC oldukça düşük sıcaklıklarda yani ferrit bölgesinde oluşur. Böylece, sürekli tavlama prosesinde soğuk haddelenmiş sacın tamamen yeniden kristalleşmesi için gerekenden daha yüksek bir sıcaklık uygulanırsa kısmen çözünebilir. Bu çözünme işleminden sonraki hızlı soğutma, fırında sertleşebilirliğe yol açarak birkaç ppm karbonun çözeltide kalmasını sağlar [56].

3.2.5. Fosforlu IF çelikleri

Bu çelikler mukavemetlerini birincil olarak katı-eriyik sertleştirmesinden kazanırlar. NbC, $\text{Ti}_4\text{S}_2\text{C}_2$ ve FeTiP 'ün çökmesi de IF çeliklerinin dayanımını etkiler. Sonuç olarak, büyük miktarlarda fosfor veya mangan ekleme ihtiyacı olmaksızın mukavemeti arttırmak için çökmenin hassas kontrolü gereklidir. Mevcut bütün literatürün gözden geçirilmesi 150'nin üzerinde farklı IF çelik kalitesinin ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Fosfor şimdiye kadar katı eriyik sertleştirmesi için en etkili yeralan element olmasına rağmen, soğuk işlem gevrekliğine yol açması açısından zararlıdır. Bu nedenle fosfor ile katı-eriyik sertleşmesini arttırarak tane sınırlarına fosforun hareketini engellemek gerekmektedir.

Bu durum alaşım içeriği az olan mekanik özellikleri iyileştirilmiş fosforlu IF çeliklerinin üretilmesine yol açmıştır. Daha önce 220 MPa'lık bir akma mukavemeti elde etmek için kullanılan IF bileşimi şu anda farklılaştırılarak 260 MPa'lık bir akma dayanımı elde etmek için başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [56].

3.3. Endüstriyel Uygulamalar Ve Mekanik Özellikleri

3.3.1. IF çeliklerinin endüstride kullanım oranları

IF çeliklerinin mekanik özelliklerinin, kaynaklanabilirliklerinin, yüzey özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı çelik sac kullanan pek çok endüstrinin, kullandığı bir üründür. Otomobil, elektronik eşya ve beyaz eşya üreticileri IF çeliklerini kullanmaktadır. Üretilen IF çeliklerinin % 50'sini otomobil üreticileri, % 16'sını elektronik eşya üreticileri, % 7'sini beyaz eşya üreticileri ve kalan % 27'si ise çeşitli üretim amaçlarında kullanılmaktadır (Şekil 3.6.). Yüksek dayanımlı soğuk haddelenmiş IF çelikleri, otomobilin arka kaportasında, ön çamurlukta, kapılarda, kapı içindeki güvenlik barlarında, kaportalarda ve bunun gibi yüksek mukavemet gerektiren parçalarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. IF çeliklerinin endüstride kullanım oranları [56]

3.3.2. IF çeliklerinin otomobillerde kullanım alanlarına örnekler

Otomobil panellerinin dayanıklılığına karşı talep arttıkça derin çekilebilir çinko kaplı çelik kalitelerinin üretimi için IF çeliklerine olan talepte artmıştır. Otomobillerde ve ekstra derin çekme kalite çelik sacların üretiminde kullanılan elektro galvanizli ve sıcak daldırma galvanizli çelik saclardaki talebi karşılamak için şu anki IF çelikleri geliştirilmiştir. Yeni çeliklerin geliştirilmesine imkan verecek önerilerden bazıları, IF çeliklerine Ti ve Nb ilavesi ile oluşturulan kombinasyonlarla ilgilidir. Alışılmış IF çeliklerinin yerine Ti ya da Nb ilave edilmiş bu yeni tip IF çeliklerinin gelişimi otomotiv çelik saclarının gelişimine yol açmıştır. Sıcak daldırma metodu ile galvanizleme uygulanmış ürünler, otomobilleri korozyona karşı korumak için artan miktarlardaki üretimi gerçekleştirecektir. Müşteriler daha yüksek şekillenebilirliği ve daha iyi yüzey kalitesine sahip çelik sacları talep edeceklerdir ve bunun sonunda sürekli tavlama oranı artacaktır. Böylece IF çelikleri üretimi artacak ve bu trendi sağlamak için yeni üretim teknikleri ve yeni ürünler geliştirilecektir. Tablo 3.2.'de IF çeliklerin otomobillerdeki kullanım örnekleri görülmektedir.

Tablo 3.2. IF çeliklerinin otomobillerdeki kullanım örnekleri [56]

Çelik kalitesi	Uygulanan parça	Uygulanmayan Parça
Yumuşak (Derin çekme kalitesi)	Arka çamurluk, tavan	Tavan bölmesi, menteşeler, yakıt tankı
EDDQ (Ekstra derin çekme kalitesi)	Arka çamurluk, ön panel, dip destekler	Yan bağlantılar, kumanda göstergeler, quarter içi
Süper EDDQ (Süper ekstra derin çekme kalitesi)	Tavan ayakları, iskeletin dış yüzeyleri	Yakıt filtreleri

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. Diğer bir ifadeyle lehimleme, malzemelerin solidüs sıcaklıkları aşılmadan, birleştirmenin bir lehim alaşımının eritilmesiyle elde edilen sıvı fazla veya ara yüzeydeki difüzyonla oluşturulduğu bir termik yüzey birleştirme veya malzeme kaplama yöntemidir [61,62].

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 Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi 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 [64].

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 alan da kullanılmaktadır [62].

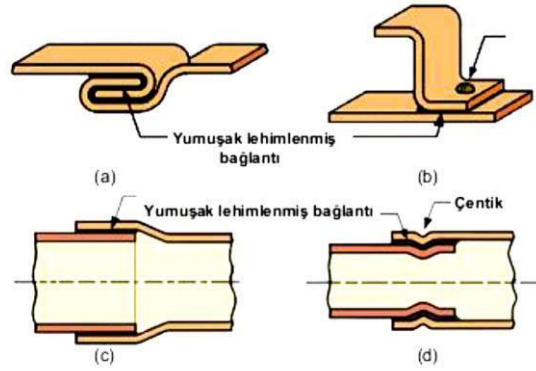
4.2. Yumuşak Lehimleme

Yumuşak lehimleme $T_m \leq 450^\circ\text{C}$ bir ilave metalin eritildiği ve birleştirilecek parçaların temas yüzeyleri arasına kapiler etkiyle dağıldığı birleştirme yöntemidir [63]. Eritme kaynağı yerine lehimleme kullanılması için; metallerin kaynak kabiliyetinin kötü olması, farklı metallerin birleştirilmesi, yoğun kaynak ısısının birleştirilen parçalara zarar verebilmesi, bağlantı geometrisinin kaynağa izin vermemesi, yüksek dayanım gerekli olmaması şartlarının bir ya da daha fazlasının bulunması gereklidir.

Yumuşak lehimlemede esas metaller erimez, ancak ilave metal, metalürjik bağ oluşturmak üzere esas metali ısıtır ve birleşme sağlanır. Yumuşak lehimlemede ilave metal yumuşak lehim olarak adlandırılır. Yumuşak lehimleme, sert lehimleme veya eritme kaynağına göre daha düşük enerji girdisine ihtiyaç duyması, değişik ısıtma yöntemlerinin kullanılabilmesi, bağlantıda iyi elektrik ve ısıl iletkenlik sağlaması ve tamiri, yeniden yapılmasının kolaylığı avantajlarına sahiptir. Ancak, mekanik yöntemlerle takviye edilmedikçe düşük bağlantı dayanımı sağlaması ve yüksek sıcaklıklarda bağlantının muhtemelen zayıflaması veya erimesi de yumuşak lehimlemenin dezavantajlarıdır [63].

Yumuşak lehim alaşımları genel olarak, her ikisi de düşük T_m 'ye sahip olan, kalay (Sn) ve kurşun (Pb) alaşımlarıdır. Kurşun zehirleyicidir ve çoğu yumuşak lehim alaşımındaki yüzdesi en aza indirilmiştir. Kalay ise yumuşak lehimleme sıcaklıklarında kimyasal olarak aktiftir ve başarılı bir bağlantı için ısıtmayı destekler. Bakır'ın yumuşak lehimlenmesinde, bakır ve kalay, bağlantıyı güçlendiren metaller arası bileşikler oluşturur. Gümüş ve antimon da bazen yumuşak lehim alaşımı olarak kullanılmaktadır.

Lehimleme işlemi sırasında metallerin ısıtılması, yüzeylerde oksit oluşumunu hızlandırır. Bu oksitler yok edilmelidir, aksi takdirde ilave metalin ana metalleri ıslatmasını ve bağlantıyı engelleyecektir. Lehimleme işlemi öncesi metal yüzeylerine uygulanan kimyasal bir bileşik olan dekapan kaplaması yüzeyleri havadan ve oksit oluşumundan koruyacaktır. Dekapan çözünerek ısıtma esnasında oluşan veya temizlenmemiş oksitleri absorbe eder. Yumuşak lehim dekapanları; yumuşak lehimleme sıcaklığında erime, oksit filmlerini sökme ve esas parça yüzeylerinden uzaklaştırma, ısıtma sırasında oksitlenmeyi engelleme, temas eden yüzeylerdeki ıslatmayı destekleme, işlem sırasında erimiş yumuşak lehim alaşımıyla kolayca yer değiştirme ve korozif, iletken olmayan artıklar bırakma görevlerini yerine getirirler.



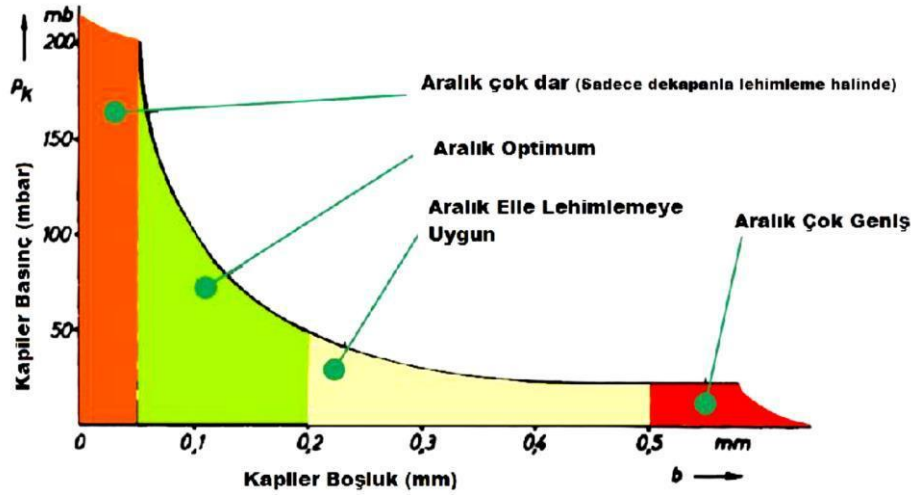
Şekil 4.1. Yumuşak lehimlemede dayanımı arttırmak için mekanik kilitleme: (a) düz kilit dikiş ; (b) cıvatalı veya perçinli bağlantı; (c) bakır boru birleştirme, silindirik bindirme bağlantı ve (d) silindirik bindirme bağlantısının çentiklenmesi [63]

4.3. Sert Lehimleme

Sert lehim, ergime derecesi (T_m) 450°C 'nin üzerinde ve ana metallerin ergime derecesinin altında olan bir ilave metalin eritildiği ve birleştirilecek parçaların temas eden yüzeyleri arasında kapiler etkiyle dağıldığı birleştirme yöntemidir [63].

Esas parçaların birleşecek yüzeyleri arasındaki açıklığın, erimiş dolgu metalinin akmasını engellemeyecek derecede geniş, ancak kapiler etkinin zayıflamasına neden olmayacak derecede de dar olması gerekir.

Dayanımın en yüksek değere ulaştığı bir açıklık değeri vardır. Bu açıklık, esas metale, ilave metale, bağlantı şekline ve işlem koşullarına bağlıdır. Tipik sert lehimleme açıklıkları 0,001 – 0,10 mm arasındadır [64].



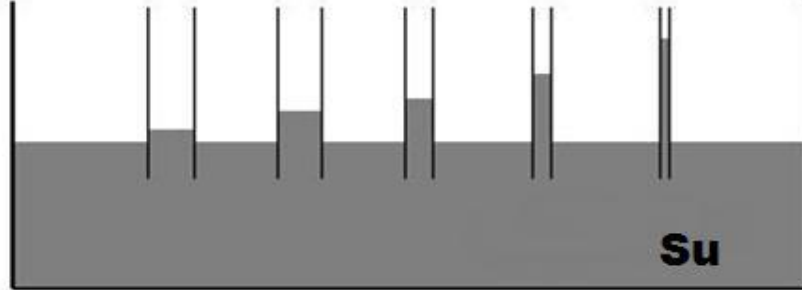
Şekil 4.2. Kapiler basıncın boşlukla değişimi [64]



Şekil 4.3. Bağlantı açıklığının fonksiyonu olarak bağlantı dayanımı

Kapiler etki ya da kapilerite ise kısaca; bir sıvı ile başka bir maddenin moleküler seviyedeki çekiminin, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden daha kuvvetli olması sonucunda meydana gelir. Bu etki sıvının dik bir yüzeye dokunduğu kısımda sıvı yüzeyinin menisküs denilen içbükey bir hal almasına sebep olur.

Kılcallığı gözlemlemek için en çok kullanılan deney düzeneği kılcal borulardır. Cam bir borunun, dikey vaziyette, su gibi bir sıvının içine batırılması sonucunda konkav bir menisküs oluşur. Yüzey gerilimi, sıvı kolonunu, yer çekimi ile moleküller arası kuvvetler dengeye gelene kadar yukarı çeker. Sıvı kolonunun ağırlığı borunun yarıçapının karesiyle, sıvı ve boru arasındaki temas uzaklığı borunun yarıçapıyla orantılı olduğundan dar bir boru sıvıyı geniş bir borudan daha yukarı taşır [64].



Şekil 4.4. Silindirik bir boruda çapın azalmasıyla kapileritenin değişimi

SI birim sistemi dikkate alınarak, sıvı kolonunun yüksekliği ‘h’ şu formülle bulunur [65].

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}$$

Burada:

- γ sıvı yüzey gerilimini (J/m^2 ya da N/m)
- θ temas açısını
- ρ sıvının yoğunluğunu (kg/m^3)
- g yer çekimi ivmesini (m/s^2)
- r tüpün yarıçapını (m), ifade eder.

Dikey aralıklar için;

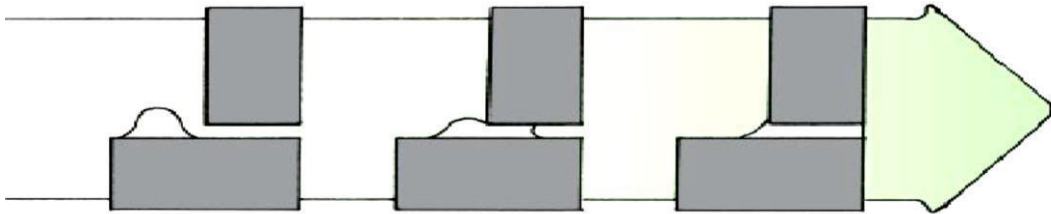
$$b = \frac{2H}{gl\rho}$$

formülü geçerlidir.

Burada;

- b aralık genişliği,
- l aralık uzunluğu, buna bindirme de denir,
- H sıvı lehimin yüzey gerilimi (dyn/cm)
- g yerçekimi ivmesi (cm/sn^2)
- p ergimiş lehimin yoğunluğu (gr/cm^2), ifade eder.

Buradan, l aralık uzunluğunun en büyük değeri için aralığın mümkün olduğu kadar dar tutulmasının gerektiği sonucu çıkmaktadır. Bununla birlikte lehim aralığının daraltılmasının da alt sınırı vardır. Önce bu konuda, daraltma işlemi ile ilgili işletme maliyeti söz konusudur. Ayrıca lehimin aralığı doldurması genellikle bir dekapan yardımıyla olduğundan, lehimin yüzey geriliminden az bir gerilime sahip dekapan, aralıkta bulunan oksit tabakasını çözmek zorundadır. Bu da, deneysel olarak belirlendiği gibi, iyi bir dekapanda 0.01 mm mertebesinde bir tabakayı gerektirir ki dekapan tabakası olarak bunun iki katını, yani en az 0.02 mm'yi gerektirir. Oksitleri çözmekle dekapanın kimyasal bileşimi değişir ve akmakta olan lehim tarafından artık eski kolaylığı ile önden sürülmez. Şöyle ki çok dar lehim aralıklarında, hapis kalan dekapan, lehim kusurlarına yol açar. Lehimin dekapansız olarak koruyucu gaz altında yapılması halinde bu hata ihtimali ortadan kalkmış olur. Bu takdirde lehim aralığı, dekapanlı lehimlemedekinden daha dar olabilir [66].



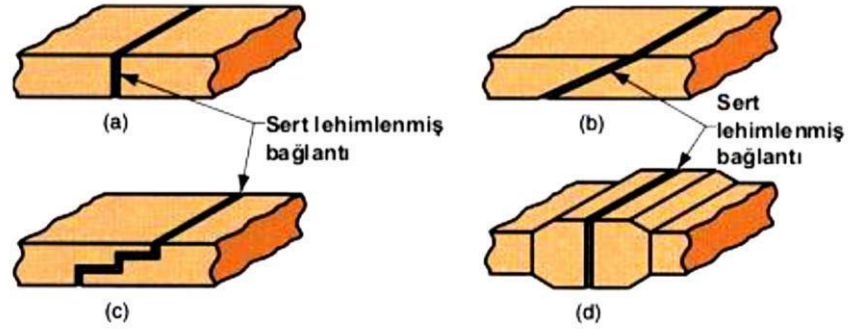
Şekil 4.5. Kapiler etkiyle ilave metalin boşluğu doldurması [66]

Sert lehimlemenin kaynağa göre üstünlükleri ise; farklı metaller dahil, herhangi bir metalin birleştirilebilmesi, yüksek imalat hızlarına izin veren, çabuk ve aynı özelliklere sahip şekilde gerçekleştirilebilmesi, çoklu bağlantıların aynı anda sert lehimlenebilmesi, genel olarak eritme kaynağına göre daha düşük ısı ve güç gerektirmesi, bağlantıya bitişik esas metaldeki ITAB'daki problemlerin daha az oluşu, kapiler etki erimiş metali bağlantının içine çektiğinden, çoğu kaynak yöntemiyle ulaşılamayan bağlantı bölgelerinin birleştirilebilmesi olarak söylenebilir.

Eğer bağlantı uygun şekilde tasarlanmış ve sert lehimleme işlemi uygun şekilde uygulanmışsa, katılaşmış bağlantı, kullanılan küçük parça aralıkları ve esas ile ilave metaller arasında oluşan metalürjik bağ sebebiyle, oluşturulduğu ilave metalin dayanımından daha dayanıklı olacaktır [67].

Sert lehimlemenin zayıflıkları ve sınırlamaları ise; bağlantı dayanımının kaynaklı bağlantıdan genellikle daha düşük olması, bağlantı dayanımının, esas metalinkinden daha düşük olma eğiliminde olması, yüksek servis sıcaklıklarının sert lehimli bağlantıyı zayıflatabilmesi ve muhtemel bir estetik zayıflık olarak, sert lehimli metalin renginin, esas metal parçaların rengiyle uyumlu olamayabilmesi şeklinde söylenebilir.

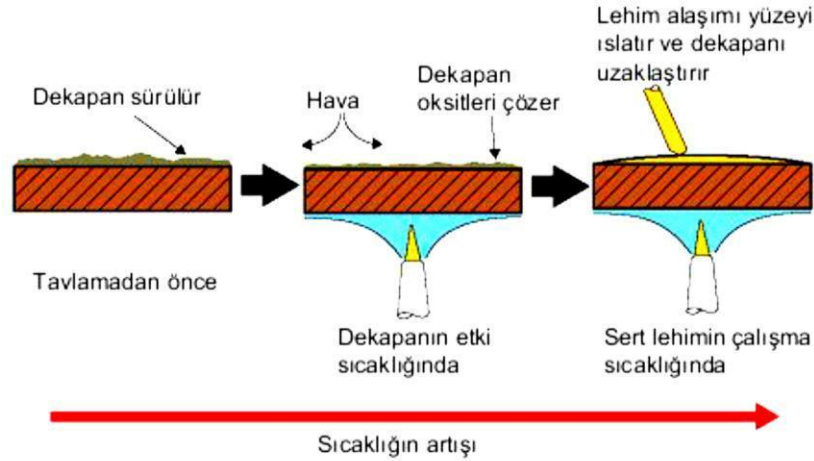
Sert lehimlemede bağlantı tipi olarak alın ve bindirme bağlantılar yaygındır, ancak geometri genellikle sert lehimlemeye uydurulur. Parçalar arasında geniş arayüzey sağladığından dolayı, bindirme bağlantılar en yaygın kullanılanlardır. Sert lehimlenmiş bir bağlantıda ilave metal, esas metale sadece uçlardan değil tüm yüzey boyunca birleşir.



Şekil 4.6. (a) Konvansiyonel alın bağlantı ve alın bağlantının sert lehimlemeye uydurulması, (b) eğik yüzeyli bağlantı, (c) kademeli alın bağlantı, (d) parçanın bağlantı bölgesindeki kesiti artırılmış

Sert lehim alaşımından beklenen özellikler ise; erime sıcaklığının esas metalinkinden oldukça düşük olması, iyi ıslatabilirlik için sıvı fazdayken yüzey geriliminin düşük olması, arayüzeye iyi nüfuziyet için yüksek akıcılık göstermesi, sert lehimli bağlantının uygulamada kullanıma yeterli dayanıma sahip bir bağlantı oluşturma kapasitesine sahip olması, esas metalle kimyasal veya fiziksel etkileşim göstermemesi (örneğin galvanik reaksiyon) olarak sayılabilir.

Sert lehim dekapanları, kaynaktakine benzer amaçla, çözünürler ve uzaklaştırılmadıklarında sert lehimleme işlemini engelleyen oksitlerle ve istenmeyen diğer yan ürünlerle birleşirler. Bu yüzden iyi bir dekapan, düşük erime sıcaklığına sahip olmalı, ıslatmayı arttırmalı, ilave metalle yer değiştirebilmesi için düşük viskoziteye sahip olmalı ve ilave metal katılaşınca kadar bağlantıyı koruyabilmelidir.



Şekil 4.7. Dekapanın sıcaklık artışıyla davranışı [67]

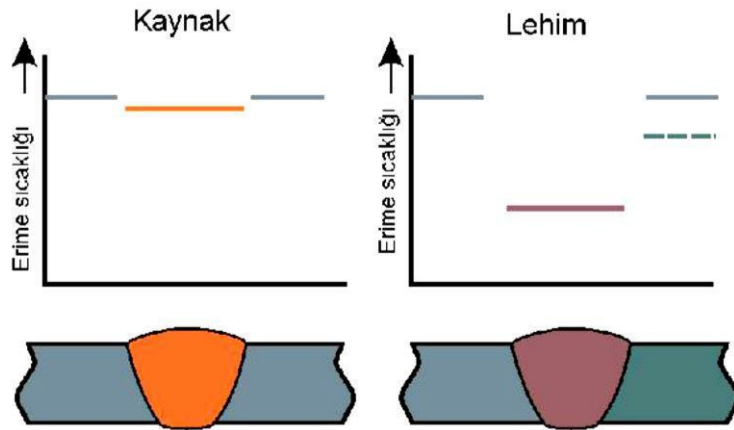
4.4. MIG Lehimleme

MIG-Lehimleme, sahip olduğu birçok avantajlar sayesinde sanayinin birçok dalında kullanım alanı bulmuştur. Klasik galvanizli sac işleme uygulamalarının yanında, günümüzde artık, yüksek alaşımlı ve düşük alaşımlı çelikler için bir dizi uygulamalarda da kullanılmaktadır [68].

MIG-Lehimleme süreci özel karakteristiğe sahip inverter tipi kaynak cihazlarına ihtiyaç duymaktadır. İlave metal olarak çoğunlukla CuSi3 , CuAl8 , CuSn6 gibi bakır alaşımları kullanılmaktadır [69]. Silisyum bronzlu (bakır-silisyum) MIG kaynak teli olarak da bilinen CuSi3 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen malzemeler; CuSi2 Mn , CuSi3 Mn , CuMn5 , CuMn2 , galvaniz kaplı çelikler, bakır-çinko(pirinç) alaşımları, bakır-mangan alaşımlarıdır. Alüminyum bronz (bakır-alüminyum) MIG kaynak teli olarak da bilinen CuAl8 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen malzemeler; çelikler, CuAl5 , CuAl8 , G-CuAl8 , Mn , CuAl5 As , CuZn20Al2 . Kalay bronz (fosfor-kalay) alaşımlı MIG kaynak teli olarak da bilinen CuSn6 içerikli lehim teli ile kaynak edilebilen malzemeler; çelikler, CuSn2 , CuSn4 , CuSn6 , CuSn8 , CuSn6 Zn , G-CuSn2 ZnPb , G-CuSn5 ZnPb , GCuSn6 ZnNi . Geleneksel gazaltı kaynak yönteminden farkını, başlıca ilave metal oluşturur.

İlave metalin düşük erime sıcaklığı sayesinde ($900-1100^{\circ}\text{C}$) ana metalin erime sıcaklığına ulaşılmadan (çelik için yaklaşık 1500°C) Şekil 4.8.'de ifade edildiği gibi birleştirme sağlanır [70]. Klasik lehimlemede kullanılan ve bazen de sorunlara neden olan dekapana MIG-lehimleme yönteminde ihtiyaç duyulmaz; Pozitif kutuplanmış tel elektrodun ucunda oluşan ark, yüzeyi aktif hale getirir. Saf Argon gazı MIG-lehimleme yönteminde en çok kullanılan koruyucu gazdır. %1 civarında CO_2 ve/veya O_2 içeren gaz karışımları, birçok uygulamada avantaj sağlamaktadır [71].

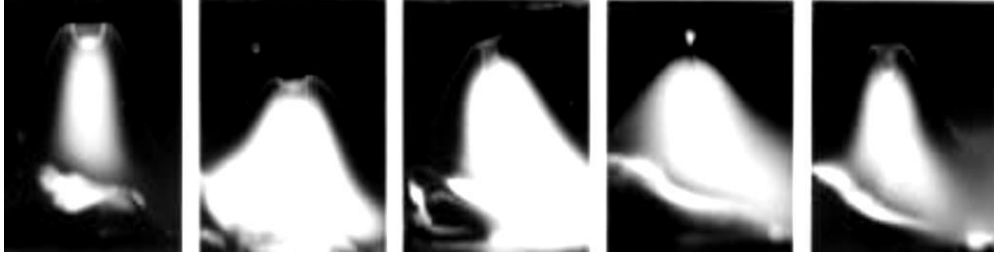
MIG-Lehimleme yönteminde uygulanan düşük proses sıcaklığı, çinkonun buharlaşma sıcaklığına çıkılmadığı için galvanizli sacların kaynağında görülen negatif sonuçların aksine uygulama üzerinde pozitif etkiye sahiptir [72].



Şekil 4.8. Lehimlemedeki erime sıcaklığının kaynağa göre değişimi

Geleneksel gazaltı kaynak yöntemlerinde, çinkonun buharlaşması sebebiyle ark son derece kararsız hale gelir ve ağır bir dumana sebep olur bununla birlikte işlem sırasında sıçrama ve gözenek oluşumu kaçınılmazdır [73]. MIG-lehimleme yönteminde esas metal erimediği gibi düşük ısı girdisi sayesinde çarpılma oluşması ihtimali son derece azalırken, işlem suresine bağlı olarak çok az miktarda çinko buharlaşabilir [74]. Yüzeydeki çinko tabakasının zarar görmemesinden dolayı lehim dikişleri de korozyona meyilli değildir. Yöntemin çok iyi boşluk doldurabilir olması da birçok faydalı sonuç elde etmeye olanak sağlar. MIG-lehimleme

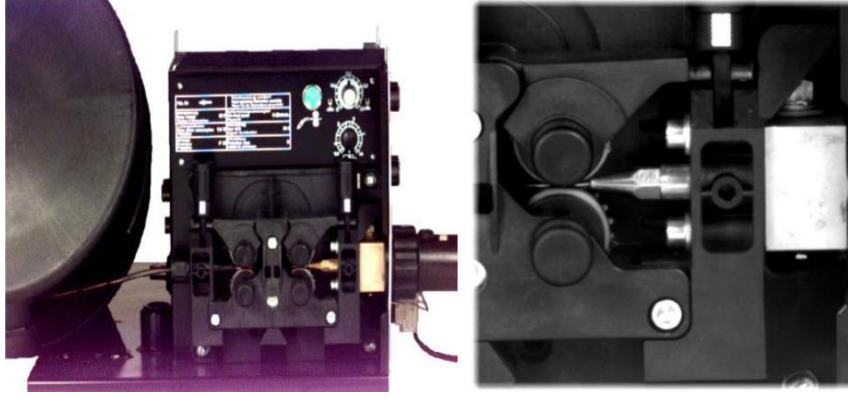
yöntemiyle geleneksel gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan alın, köşe, flanş, bindirme gibi bağlantı türlerinin hepsi kullanılabilir. Şekil 4.9.'da gösterildiği gibi darbeli ark yönteminde elektrodun erimesi, her darbede bir damlanın düşmesi şeklinde gerçekleşir [76].



Şekil 4.9. Darbeli ark yönteminde elektrodun erimesi

Malzeme herhangi bir kısa devre olmadan kaynak havuzuna aktarılır ve sonuç olarak neredeyse hiç ark sıçraması görülmez. İstikrarlı ve tekrarlanabilir birleştirmeler yapabilmek için dayanımlı, hassas ve kaliteli bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Bakır esaslı kaynak telleri için önceden programlanmış parametreler ile Inverter tipi kaynak makineleri kaynak operatörünün işini çok daha kolaylaştırır ve olağanüstü lehim sonuçları alınmasını sağlar. Darbeli arkın ortalama amperaj değerlerine bağlı olmakla birlikte, MIG-lehimleme yönteminde akım; 40 ile 130 A arasında değişmekte, lehimleme hızı ise 70 ile 100 cm/dk aralığında değişmektedir [75].

Bakır alaşımlı ilave teller genellikle 1.0 mm ve 1.2 mm çapında olurlar. Bu incelikte ve yumuşak tellerin torca beslenmesi için, tel sürme tertibatında parlak yüzeye sahip yarım daire kanallı dişli silindirlere ve dört adet de tahrik makarasına ihtiyaç vardır [77]. İlave metal olarak bakır alaşımlı tellere katılan tozların kimyasal bileşiminin yüzeyi ıslatma kabiliyetine olumlu etkisi bulunmaktadır [70].



Şekil 4.10. MIG-lehimleme kaynak makinesi üzerindeki tel sürme tertibatı

MIG-lehimleme yöntemi, birbirinden farklı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. MIG-lehimleme uygulamaları, otomobil sektöründe çok sayıda bulunabilir, büyük ölçekli üretim koşulları yanında, bu yenilikçi süreç hem manüel hem de tam otomatik konfigürasyon olarak havacılık ve uzay sanayi dahil birçok sektörde düşük ısı girdisi sayesinde galvanizli sacların yanında, CrNi ve alaşımsız çeliklerin birleştirilmesinde de kullanılmaktadır [68].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türlerinden, arayer atomsuz çelik olarak adlandırılan IF (interstitial free steel) saclarının MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olan MIG-lehimleme yönteminde, galvanizli ve galvanizsiz IF sacının hangi akım şiddetinde, koruyucu gaz basıncında ve lehimleme hızında birleştirilebileceğini belirlemek için her parametre kendi içinde incelenmiştir.

IF saclarına MIG-lehimleme yönteminin tatbiki sonucu lehim bağlantılarında galvanik koruma sağlanmaktadır. Otomotiv endüstrisinde her geçen gün yaygınlaşan MIG-lehimleme yöntemi, 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 numunelerin metalürjik özelliklerini yani mikroyapı, makroyapı, X-Ray tomografi, XRD ve SEM-EDS analizleri yapılması ve mekanik olarak sertlik ve çekme deneysel çalışmalarının nasıl yapıldığı ve hangi numunelerin kullanıldığı hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

5.2. Kullanılan Malzemeler Ve Spektrometrik Analiz

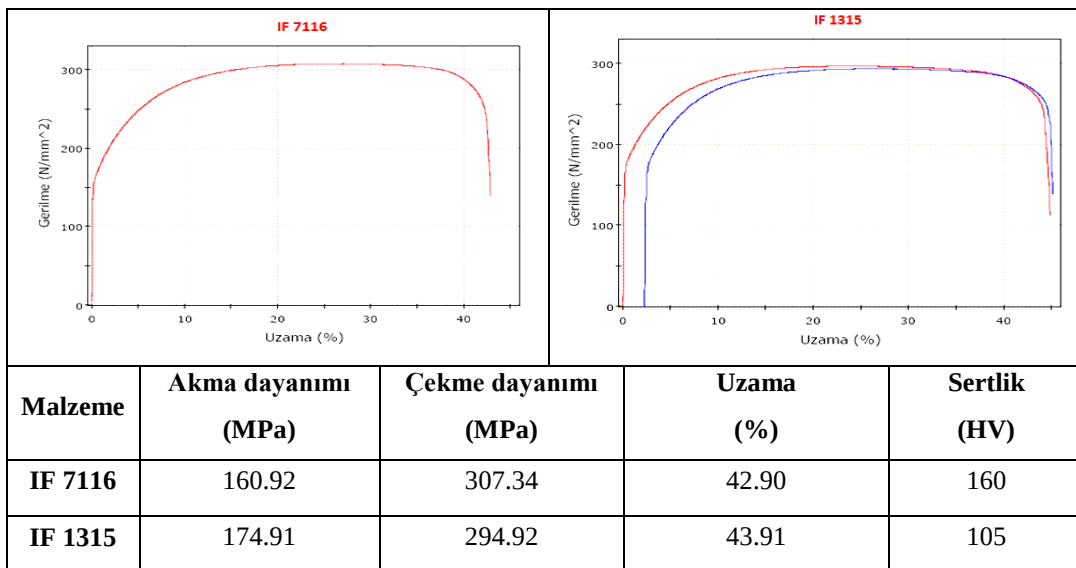
Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan saclar, otomotiv sektöründe kullanılan 0,9 mm kalınlığa sahip galvanizli 1315 IF çeliği ve galvanizsiz 7116 IF çelikleri tercih edilmiştir. Galvaniz tabakasının kalınlığı bir yüzeyde 11,4 micron olmak üzere iki yüzey için 22,8 micron'dur. Yüksek mukavemet ve şekillendirilme kabiliyeti nedeniyle tamamen otomobil parçaları için kullanılan IF çeliklerinin spektrometrik analizi Tablo 5.1.' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Galvanizli ve galvanizsiz IF çeliğinin kimyasal bileşimi

Malzeme	Elementler (ağ.%)					
	C	Si	Mn	P	S	Ti
IF 7116	0.02	0.25	0.25	0.02	0.02	0.30
IF 1315	0.12	0.50	0.60	0.10	0.04	0.30

Deneysel çalışmalarda kullanılan galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının çekme testi sonucunda çekme ve akma dayanımlarını ile % uzamasını tespit edebilmek için çekme testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. IF çeliklerinin mekanik özellikleri



5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri

IF numunelerine 1 mm çapındaki CuAl8 bakır alaşımlı MIG-lehimleme teliyle birleştirme işlemi uygulanmıştır. MIG-lehimleme teli CuAl8, alüminyum bronz (bakır-alüminyum esaslı) lehim teli olup % 8 alüminyum içerir. Bu tel metal metale aşınmaya, deniz suyu ve asitler gibi korozyon sıvılarına maruz kalan parçalarda kullanılır. Telin kimyasal kompozisyonu Tablo 5.3.'de verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada %100 argon koruyucu gaz olarak kullanılmıştır.

Tablo 5.3. Cu-Al8 lehim telinin kimyasal bileşimi

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

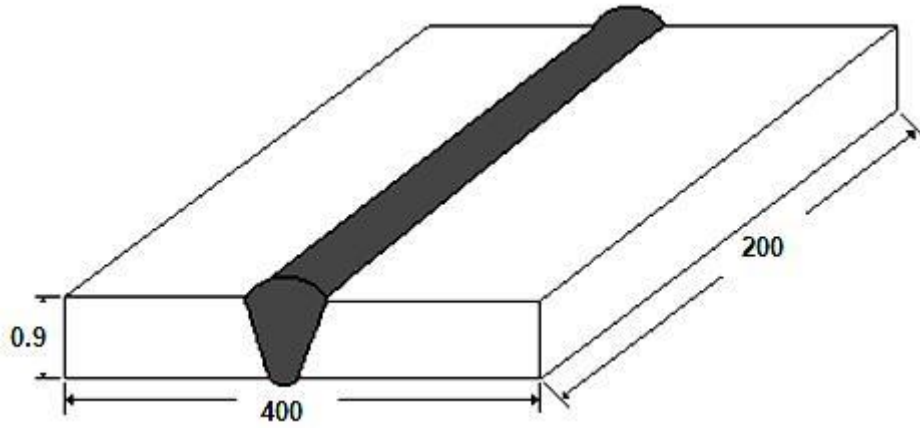
CuAl8 MIG kaynak teli TS EN 14640 normuna göre S Cu 6100 olarak kodlanmıştır. Telin mekanik özellikleri Tablo 5.4.'de verilmiştir:

Tablo 5.4. CuAl8 lehim telinin mekanik özellikleri

Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HB)	Ergime sıcaklığı (°C)
200	430	40	105	1030-1035

5.3.1. Numune hazırlama

MIG-lehimleme işlemi öncesi 0,9 mm kalınlığındaki IF sac plakalar hadde yönleri belirlenerek 200x200x0,9 mm ölçülerinde kesilerek yüzeyler aseton ile temizlenerek yağ ve kirlerden arındırılmıştır.



Şekil 5.1. IF sacının numune ebatları

5.3.2. MIG-lehimleme işlemleri

MIG-lehimleme işlemleri akım kontrollü, 300 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. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalarda lehimlenen sac plakalarında ilerleme hızını sabitleyebilmek için kaynak robotu kullanılmıştır. Lehimleme uygulamaları farklı akım şiddetlerinde, lehim gerilmelerinde ve lehim ilerleme hızlarında uygulanmıştır. Uygulamalarda kullanılan makine ve kaynak robotu ile ilgili fotoğraflar Şekil 5.2.'de görülmektedir.

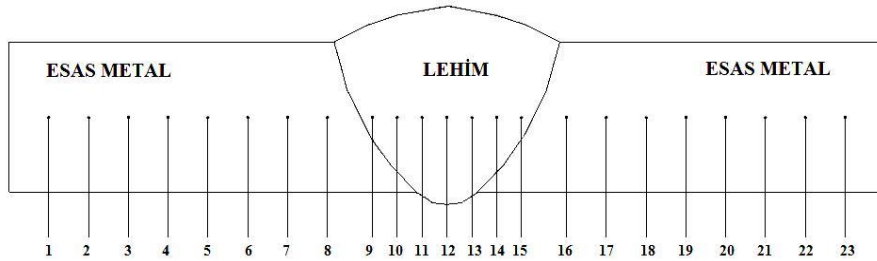




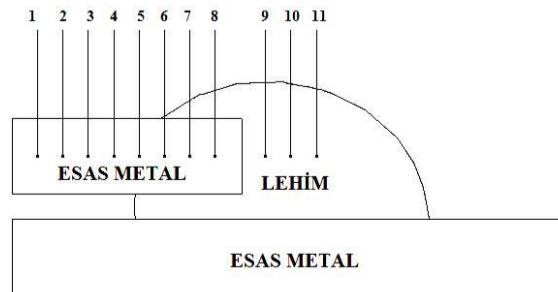
Şekil 5.2. MIG-lehimleme işleminin yapıldığı makine ve sekator

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 ve Şekil 5.5.'de gösterildiği gibi QNESS Q 10M otomatik vickers sertlik ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.5. Vickers sertlik ölçüm cihazı

Yapılan deneysel çalışmalarda MIG-lehimlenen IF 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 [10]. Her iki denklemde işlem yapıldıktan sonra ısı girdisi değerleri elde edilmiştir.

$$Isı\ Girdisi_{lineer} = \frac{(60 \times A \times V) \times \eta}{e} \quad (1.1)$$

- A = Akım şiddeti (Amper)
- V = Gerilim (Voltaj)
- η = Kaynak akım verim katsayısı (MIG için 0,7)
- (v) = İlerleme hızı (m/dk)

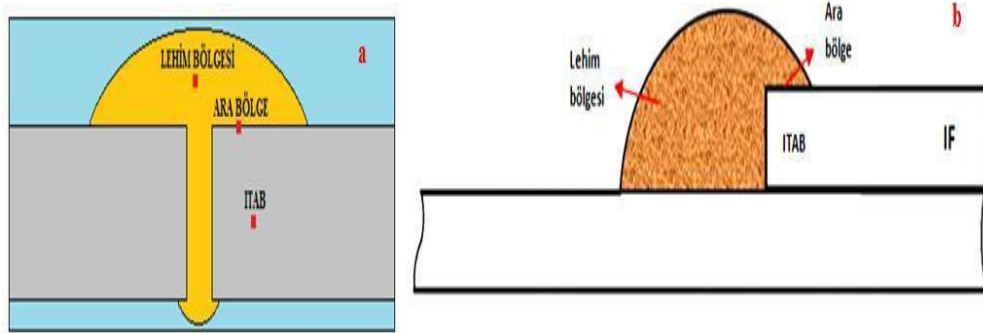
$$Isı\ Girdisi_{normalize} = \frac{Isı\ girdisi_{lineer}}{e} \quad (1.2)$$

- e = parça kalınlığı (mm)

5.5. Karakterizasyon Çalışmaları

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 meşlik zımparalar ile zımparalanmıştır. Zımparalama tamamlandıktan sonra her bir numune öncelikle 4 dakika 0.3 mikronluk elmas parlatıcı kullanılarak, ardından 3 dakika 0.1 mikronluk elmas parlatıcı kullanılarak ve son olarak 2 dakika koloidal silika parlatıcı kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatılan numunelerin mikro yapısını görebilmek için % 3'lük Nital çözeltisi ile 10-12 sn sürede dağlanmıştır. Hem düşük hem de yüksek büyütmelerde çalışılmıştır. Mikroyapı çalışmaları Nikon marka optik mikroskopta yapılmıştır. Mikroyapı alınan noktalar Şekil 5.6.'da verilmiştir.

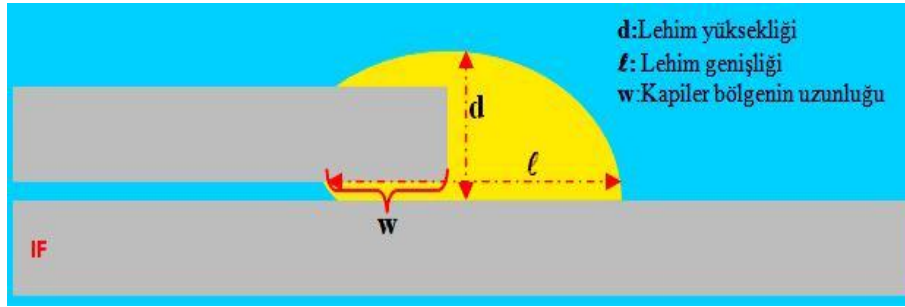


Şekil 5.6. Mikroyapı alınan noktalar (a: alın birleştirme, b: bindirme birleştirme)

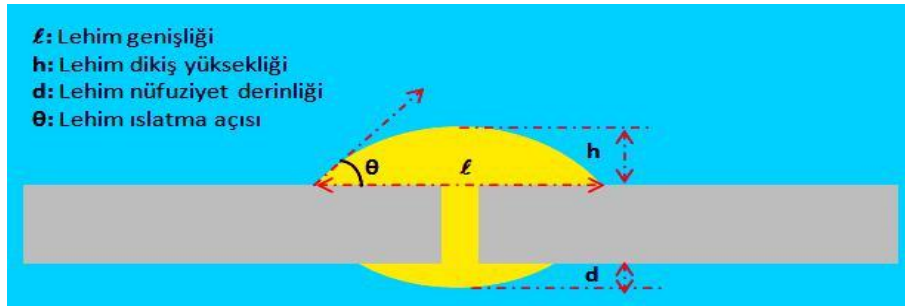
5.5.2. Makroyapı incelemeleri

MIG-Lehimleme yapılan numunelerin makroyapı incelemeleri, lehim birleştirmelerinin bindirme birleştirmelerde Hyundai assan otomotiv sanayi ticaret A.Ş.'nin kabul gören lehim dikiş formundaki kriterler ile karşılaştırılmıştır. Makro ölçümler Şekil 5.7.'de gösterildiği gibi lehim yüksekliği, lehim genişliği ve kapiler bölge uzunluğu ölçümleri yapılmıştır. Alın birleştirmelerde ise Şekil 5.8.'de

gösterildiği gibi lehim genişliği, lehim dikiş yüksekliği, lehim nüfuziyet derinliği ve lehim ısıtma açılarının ölçülmesi, optimum lehim parametrelerinin belirlenebilmesi için yapılmıştır.



Şekil 5.7. Bindirme birleştirme de lehim dikiş formu



Şekil 5.8. Alın altına birleştirme lehim dikiş formu

5.5.3. Bilgisayarlı X-ray tomografi

MIG-lehimleme yöntemi uygulanan parçalardan hazırlanan numunelerin dikiş yapısında herhangi bir süreksizlik oluşumunun meydana gelip gelmediğini belirlemek için Şekil 5.9.'da gösterildiği gibi XT H 225 ST marka X-Ray cihazında bilgisayar destekli X-Ray tomografileri çekilmiştir.



Şekil 5.9. Bilgisayar destekli X-Ray tomografi cihazı

5.5.4. 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 Şekil 5.10.'da gösterildiği gibi JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.10. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı

5.5.5. X-Ray Difraksiyon

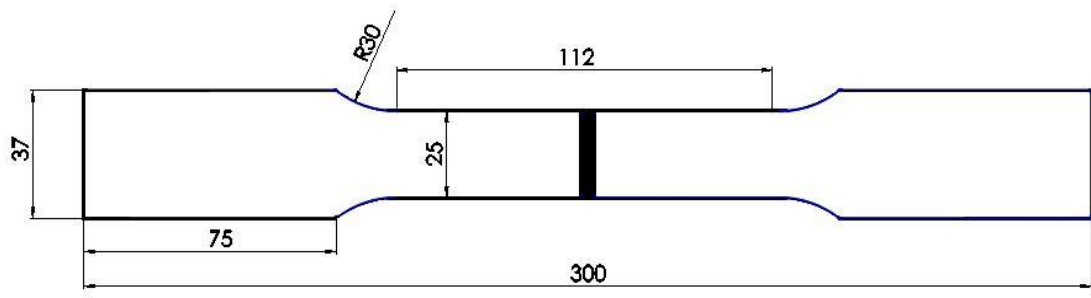
MIG-lehimleme yöntemi uygulanan parçalardan hazırlanan numunelerin dendritik katılması sonrası intermetalik bileşiklerin tespiti için Şekil 5.11.'de gösterildiği gibi Bruker D8 Advance cihazında XRD analizler yapılmıştır.



Şekil 5.11. X-Ray difraksiyon cihazı

5.6. Çekme Deneyi

MIG-lehimleme tatbiki gerçekleştirilen IF çeliğinin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme test numuneleri hadde yönüne paralel (0^0) olacak şekilde ayarlanmıştır. Çekme testleri 5 ton kapasiteli Shimadzu marka cihazla yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri EN 895 normu standardına göre hazırlanmıştır. Çekme deneylerinde kullanılan numune boyutları Şekil 5.12.'de verilmiştir. Çekme hızı 10 mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Deney sırasında, gerilme ve yüzde uzama değerleri bilgisayara numune çevresindeki problemler ile aktarılmıştır.



Şekil 5.12. Çekme deneyi numunesi boyutları

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, 0.9 mm kalınlığa sahip galvanizsiz 7116 IF çelik ve 22 µm galvaniz kaplamalı 1315 IF çelik saclarına hem alın geometride hem de bindirme geometride farklı akım şiddetlerinde, farklı gaz debilerinde ve farklı lehim ilerleme hızlarında MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirmeler yapılmıştır. Böylelikle akım şiddetinin, gaz basıncının ve lehim ilerleme hızının, birleştirmelerin mekanik ve metalografik özelliklerine etkileri deneysel olarak araştırılmış ve bulgular diğer çalışmalarla tartışılarak verilmiştir.

6.1. IF Çelik Saclarının MIG Lehimleme Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri

Bu bölümde, galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik saclarına MIG-lehimleme yöntemi ile alın birleştirmeler sağlanmıştır. IF çeliklerine akım şiddetinin, gaz basıncının ve lehim ilerleme hızlarının etkilerini araştırmak için, çekme deneyi, sertlik, makroyapı, mikroyapı, bilgisayarlı X-Ray tomografi, SEM-EDS analizi ve XRD analizleri yapılmış ve sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

6.1.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

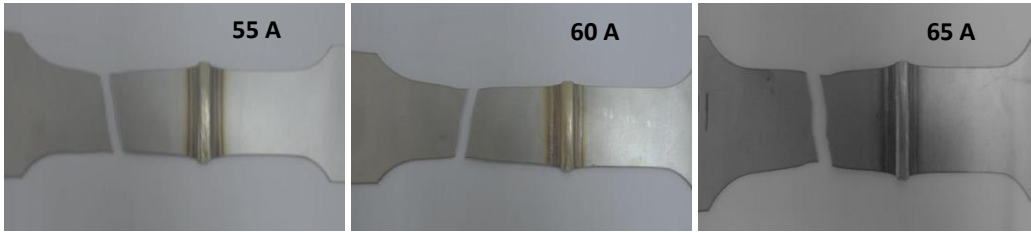
6.1.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının alın birleştirmede en uygun lehimleme parametrelerini belirlemek için Şekil 5.1’de gösterildiği gibi 200x200x0.9 mm boyutlarında hazırlanan numunelere farklı akım şiddetlerinde MIG-lehimleme yapılmıştır. Farklı akım şiddetlerinde birleştirme yapılırken 75 amper akım şiddeti uygulanan galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ve 70 amper akım şiddeti uygulanan galvanizli 1315 IF çelik sacında yüksek ısı girdisinden dolayı numunenin belirli bölgelerinde delinme meydana gelmiştir. IF saclarına uygulanan MIG-lehimleme parametreleri Tablo 6.1.’de gösterildiği gibidir.

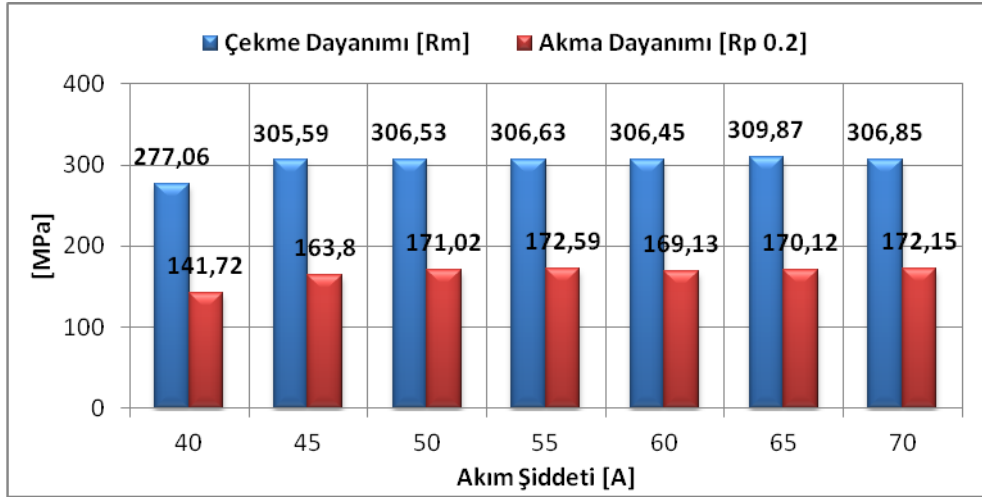
Tablo 6.1. Farklı akım şiddetlerinde alın birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
40	2.0	11.6	12	24	0.5
45	2.2	11.7	12	24	0.5
50	2.5	11.8	12	24	0.5
55	2.8	12	12	24	0.5
60	3.1	12.1	12	24	0.5
65	3.4	12.3	12	24	0.5
70	3.7	12.4	12	24	0.5
75	4.0	12.6	12	24	0.5

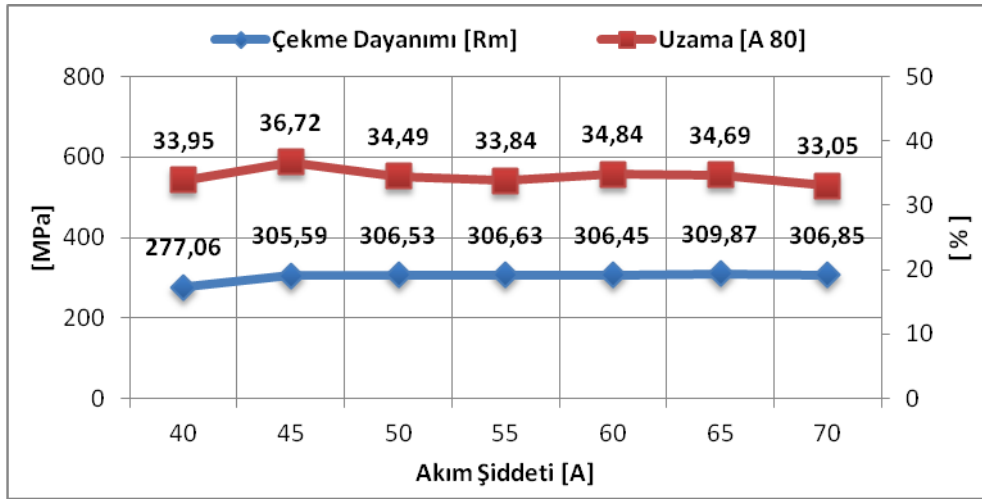
Şekil 6.1.'de farklı akım şiddetlerinde lehimlenen numunelerden hazırlanan çekme deneyi numunelerinin deney sonrası fotoğrafları görülmektedir. Çekme testi sonucunda bütün numuneler esas metal bölgesinden kopmuştur.



Şekil 6.1. IF çeliklerin alın birleştirmedeki çekme deneyi sonrası fotoğrafları



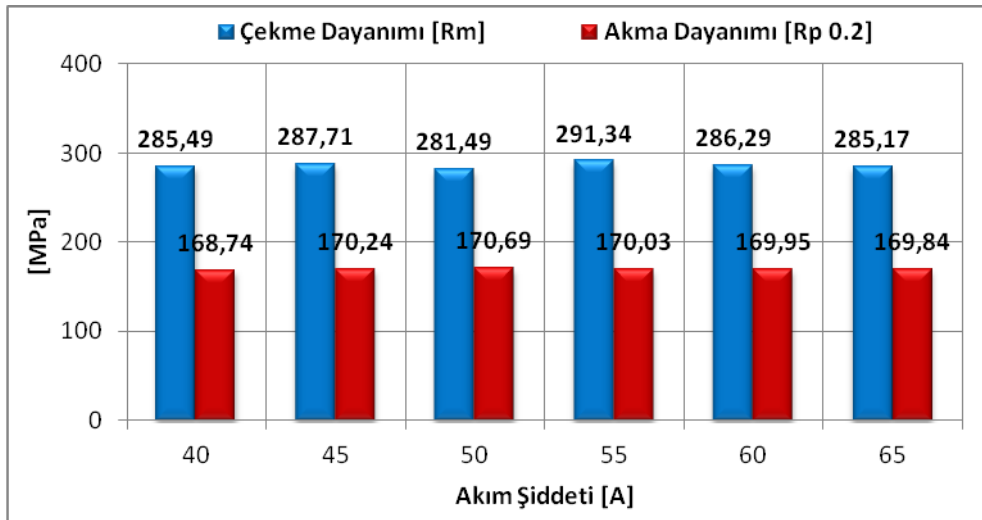
Şekil 6.2. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde çekme ve akma dayanımları



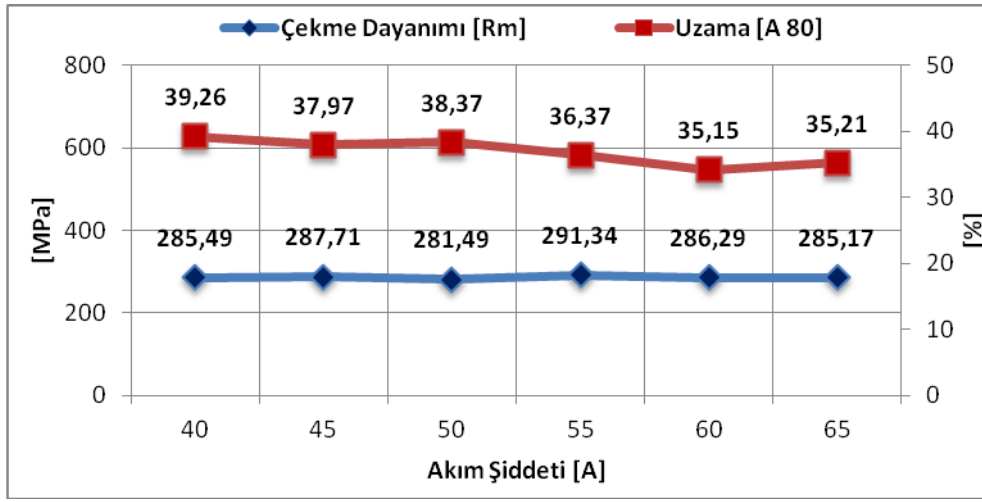
Şekil 6.3. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonrası bütün numunelerin yaklaşık lehim bölgesinden 30-35 mm uzaklıkta koptuğu tespit edilmiştir. Şekil 6.2.'de gösterildiği gibi galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 40 amper akım şiddetinde 277.06 MPa çekme dayanımı ile 141.72 MPa akma dayanımı gösteren numuneden sonra artan akım şiddetine bağlı olarak çekme dayanımı ve akma dayanımında fazla bir değişiklik olmamasına rağmen, grafiklerden de anlaşılacağı üzere numunelerin çekme dayanımının da ortalama 4 MPa, akma dayanımında ise 3 MPa artış söz konusudur. MIG-lehimleme uygulandıktan sonra, 40 amper akım şiddeti uygulanan numunenin ITAB bölgesindeki ferritik tane yapısı incelendiğinde diğer numunelere göre ortalama tane boyutundan %3 daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Hall Petch bağıntısına göre değerlendirdiğimizde; “D” (malzemenin ortalama tane boyutu) değerinin yüksek olması 40 amper akım şiddeti uygulanan numunede daha düşük akma dayanımı elde edilmesine sebep olmuştur. Ayrıca 40 amper akım şiddeti uygulanan numunenin SEM ve EDS analiz sonuçlarını incelediğimizde lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe, diğer akım şiddetlerinde birleştirilen numunelere göre, fosfor ve kalay alaşım elementlerinin difüzyonun daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Fosfor ve kalay alaşım elementlerinin de malzemenin çekme ve akma dayanımını olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin X-Ray tomografileri incelendiğinde 40 amper akım şiddeti uygulanan numunenin bazı bölgelerinde boşlukların olduğu ve lehim yüzeyinin daha dar olmasından dolayı

çekme ve akma dayanımının düşük çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir. En yüksek çekme dayanım değeri 65 amper akım şiddeti uygulanan numunede 309.87 MPa olarak kaydedilmiştir. En yüksek akma dayanımı ise 55 amper akım şiddeti uygulanan numunede 172.59 MPa olarak kaydedilmiştir. Genel olarak 40 amperden 65 amper akım şiddetine kadar çekme dayanımındaki artış % 11.8 civarındadır. Ayrıca farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çeliğinin çekme dayanımı ile % uzama arasındaki ilişkiyi incelediğimizde 45 amper akım şiddeti uygulanan numunede % 36.72 olarak kaydedilmiştir. 45 amper akım şiddetinden sonra artan akım şiddetine karşın kopmadaki uzama yüzdeleri arasında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 6.4. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde çekme ve akma dayanımları



Şekil 6.5. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri

Galvanizli 1315 IF çelik sacında farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonrası bütün numunelerin yaklaşık lehim bölgesinden 35-40 mm uzaklıkta koptuğu tespit edilmiştir. Şekil 6.4.'de gösterildiği gibi galvanizli 1315 IF sacında 40 amper akım şiddetinde 285.49 MPa çekme dayanımı ile 168.74 MPa akma dayanımı gösteren numuneden sonra, en yüksek çekme ve akma dayanım değerleri 55 amper akım şiddeti uygulanan numunede 291.34 MPa çekme dayanımı ve 170.03 MPa akma dayanımı olarak kaydedilmiştir. 55 amper akım şiddeti uygulanan numunenin SEM ve EDS analiz sonuçlarını incelediğimizde alüminyum ve bakır alaşım elementlerinin diğer akım şiddetlerinde birleştirilen numunelere göre lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru daha fazla difüzyona uğradığı tespit edilmiştir. 55 amper akım şiddetinden sonra akım şiddeti artarken çekme ve akma dayanımında azalma gözlemlenmiştir. Genel olarak 40 amperden 55 amper akım şiddetine kadar çekme dayanımındaki artış % 2 civarındadır, fakat 55 amper akım şiddetinden sonra çekme dayanımında % 2.1 civarında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 1315 IF çeliğinin çekme dayanımı ile % uzama arasındaki ilişkiyi incelediğimizde yaklaşık %35 - 40 arasında kopma uzamasına, 285 - 292 MPa arasında çekme dayanımına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6.5.'e bakıldığında 40 amper akım şiddeti uygulanan numunenin kopmadaki uzama yüzdesi 39.26 ile en yüksek değer, 60 amper akım şiddeti uygulanan numunenin 35.15 ile en düşük değer olarak kaydedilmiştir. 60 ve 65 amper akım şiddeti uygulanan numunelerin kopma uzamasındaki değerleri % 35 iken, çekme dayanım değerleri arasında 2 MPa gibi bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

Akma gerilmesi ile çekme gerilmesi arasındaki farkın en yüksek olduğu durumda, yani 55 amper akım şiddeti uygulanan numunede % 36.37'lik kopma uzaması elde edilmiştir.

Sonuç olarak 40 amperden 75 ampere kadar farklı akım şiddetleri uygulanarak birleştirilen numunelerin mekanik ve metalografik özellikleri incelendiğinde uygulanması gereken en ideal akım şiddeti galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için 60 amper, galvanizli 1315 IF çelik sacı için 55 amper olarak belirlenmiştir. Bu optimum değerlerin belirlenmesinde numunelerin mekanik özelliklerinin çok bir etkisi olmamıştır. Fakat numunelerin özellikle lehim geometrileri incelendiğinde 60 amper akım şiddeti uygulanan galvanizsiz 7116 IF sacı ve 55 amper akım şiddeti uygulanan galvanizli 1315 IF sacının lehim ısılatma açısı, lehim genişliği ve yükseklik değerleri en optimum değerler olarak kaydedilmiştir.

6.1.1.2. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için Tablo 6.2.'de gösterildiği gibi 60 amper akım şiddeti, galvanizli 1315 IF çelik sacı içinde Tablo 6.3.'de gösterildiği gibi 55 amper akım şiddeti sabit tutularak 6 lt/dk ile 16 lt/dk gaz debilerinde birleştirmeler sağlanmıştır.

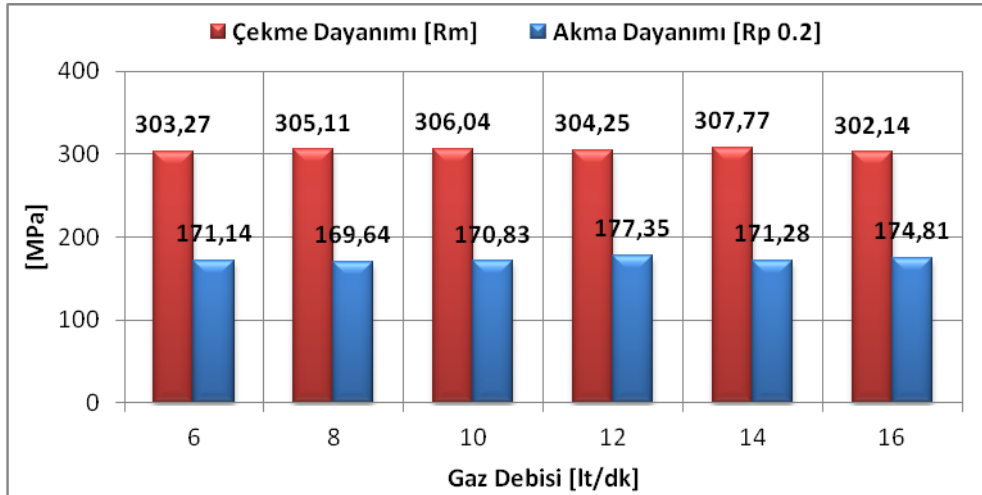
Tablo 6.2. Galvanizsiz 7116 IF çeliğinin farklı lehim gaz debilerinde alın birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
60	3.1	12.1	6	24	0.5
60	3.1	12.1	8	24	0.5
60	3.1	12.1	10	24	0.5
60	3.1	12.1	12	24	0.5
60	3.1	12.1	14	24	0.5
60	3.1	12.1	16	24	0.5

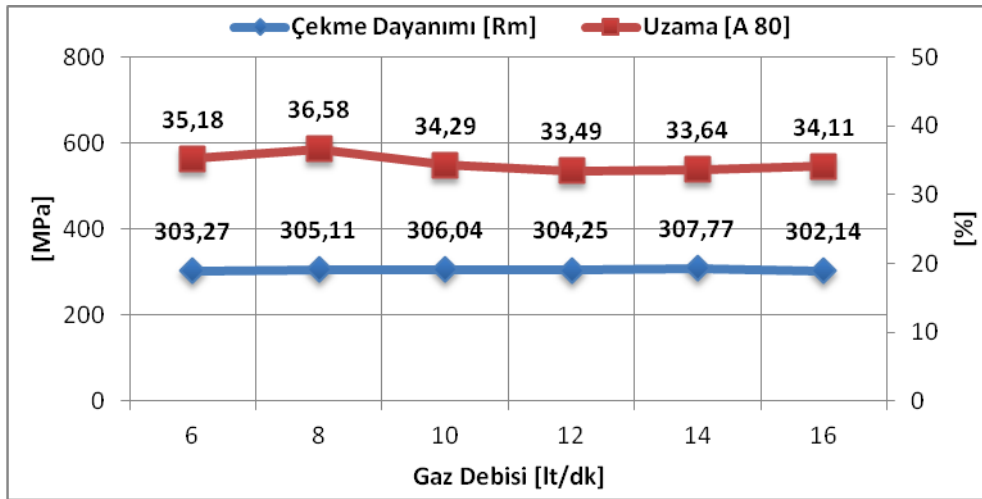
Tablo 6.3. Galvanizli 1315 IF çeliğinin farklı lehim gaz debilerinde alın birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
55	2.8	12	6	24	0.5
55	2.8	12	8	24	0.5
55	2.8	12	10	24	0.5
55	2.8	12	12	24	0.5
55	2.8	12	14	24	0.5
55	2.8	12	16	24	0.5

Şekil 6.6. ve 6.8.'de farklı gaz debilerinde maksimum çekme dayanımı ile akma dayanımı grafiği görülmektedir. Hem galvanizsiz 7116 IF çelik sac hem de 1315 IF çelik saclarında farklı gaz akış debisi uygulanarak lehimlenen bütün numunelerin çekme deneyinde numunelerin hepsinin lehim bölgesinden yaklaşık 35-40 mm uzaklıkta yani ana malzemeden koptuğu gözlemlenmiştir.



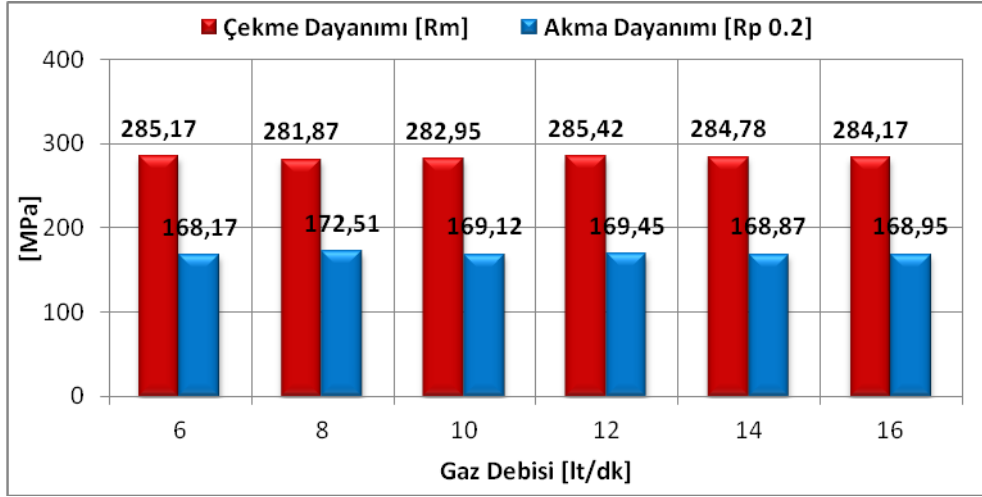
Şekil 6.6. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacın farklı gaz debilerinde çekme ve akma dayanımları



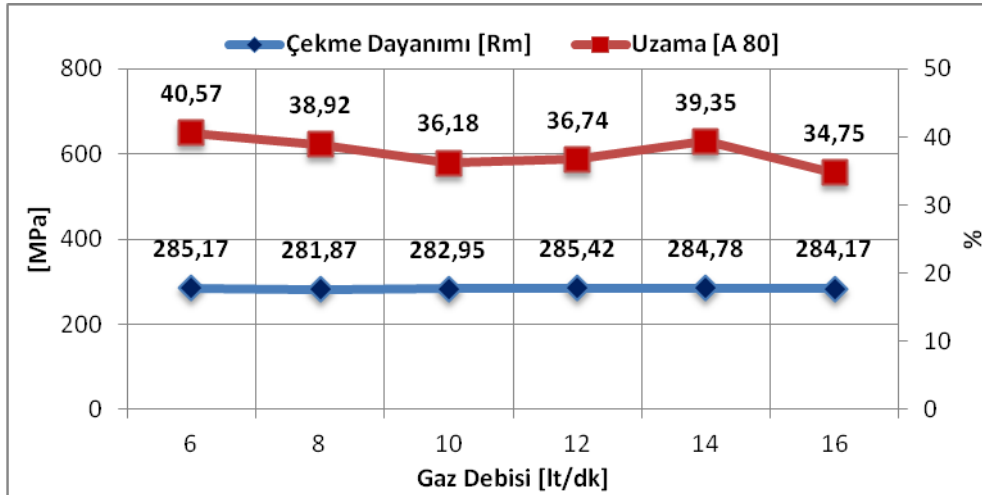
Şekil 6.7. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri

Şekil 6.6. ve 6.7.'de gösterildiği gibi galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede en düşük çekme dayanımı elde edilmiş ve çekme dayanımı 302.14 MPa olarak kaydedilmiştir. En yüksek çekme dayanımını ise 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 307.77 MPa olarak kaydedilmiştir. Genel olarak 6 lt/dk dan 10 lt/dk'a kadar gaz debisi uygulanan numunelerde çekme dayanımında artış olduğu görülmektedir. 10 lt/dk dan sonra %0.58'lik azalmanın meydana geldiği saptanmıştır. Farklı gaz debisi uygulanan numunelerin akma dayanımları incelendiğinde, farklı akım şiddeti uygulanan numunelerden daha yüksek akma dayanım değerleri elde edilmiştir. Örneğin 60 amper akım şiddeti ve 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde, lehimleme parametreleri aynı olmasına rağmen, farklı akım şiddetleri uygulanırken 169.13 MPa akma dayanımı elde edilmiş, farklı gaz debisi uygulanan numunede 177.35 MPa akma dayanımı elde edilmiştir. 60 amper akım şiddeti ve 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerin SEM ve EDS analiz sonuçlarını incelediğimizde esas metal bölgesinden lehim bölgesine doğru ilerledikçe 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede daha fazla silisyum alaşım elementi difüzyona uğradığı tespit edilmiştir. Bu durum numunelerin lehimleme parametreleri aynı olmasına rağmen 8 MPa akma dayanımında farkın oluşmasına neden olmuştur. Farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için, genel olarak 2 lt/dk gaz debisindeki değişimin, numunelerin çekme ve akma dayanımları üzerine etkisinin ortalama 2 MPa olduğunu ifade edebiliriz. Ayrıca farklı gaz debileri uygulanarak birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çeliğinin çekme dayanımı

ile % uzama arasındaki ilişkiyi incelediğimizde yaklaşık % 34 ile % 37 arasında kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. Genel olarak 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra % uzama değerlerinde artan akım şiddeti ile birlikte azalma meydana gelmiştir. En yüksek % uzama değeri 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede % 36.58 olarak kaydedilirken, 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede % 33.49 olarak en düşük % uzama değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.8. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme ve akma dayanımları



Şekil 6.9. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı gaz debilerindeki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri

Şekil 6.8. ve 6.9.'da gösterildiği gibi galvanizli 1315 IF sacında gaz debisinin artması sonucu, çekme dayanımında genel olarak azalma meydana gelmiştir. 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 285.17 MPa çekme dayanımı elde edilirken, 16 lt/dk gaz debisi

uygulanan numunede 284.17 MPa çekme dayanımı elde edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 285.42 MPa olarak kaydedilmiştir. Genel olarak gaz debisinin artması sonucu çekme dayanımındaki azalma, akma dayanımına yansımamıştır. En düşük çekme dayanımı gösteren 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 281.87 MPa iken, aynı numune 172.51 MPa en yüksek akma dayanımına sahiptir. Farklı gaz debisi uygulanan numunelerde kopmadaki uzama yüzdelere bakıldığında en düşük uzama yüzdesi 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede % 34.75 olarak kaydedilmiştir. En yüksek uzama yüzdesi ise 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede %40.57 olarak kaydedilmiştir. Genel olarak farklı gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunelerin ortalama % uzama değerleri 37.75 olarak hesaplanmıştır.

6.1.1.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

IF çelik saclarına farklı akım şiddeti ve farklı gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonuçlarını ve metalografik özellikleri incelenerek galvanizsiz 7116 IF sacı için 60 amper akım şiddeti ve 12 lt/dk gaz debisi, galvanizli 1315 IF sacı için ise 55 amper akım şiddeti ve 10 lt/dk gaz debisi en optimum değerler olarak belirlenmiştir. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisini incelemek üzere birleştirmeler hız sabitleyici olarak kullanılan kaynak robotu vasıtasıyla 20 cm/dk ile 31.3 cm/dk aralıklarında tatbik edilmiştir. Tablo 6.4. ve Tablo 6.5.'de farklı lehim ilerleme hızlarındaki lehimleme parametreleri gösterilmektedir.

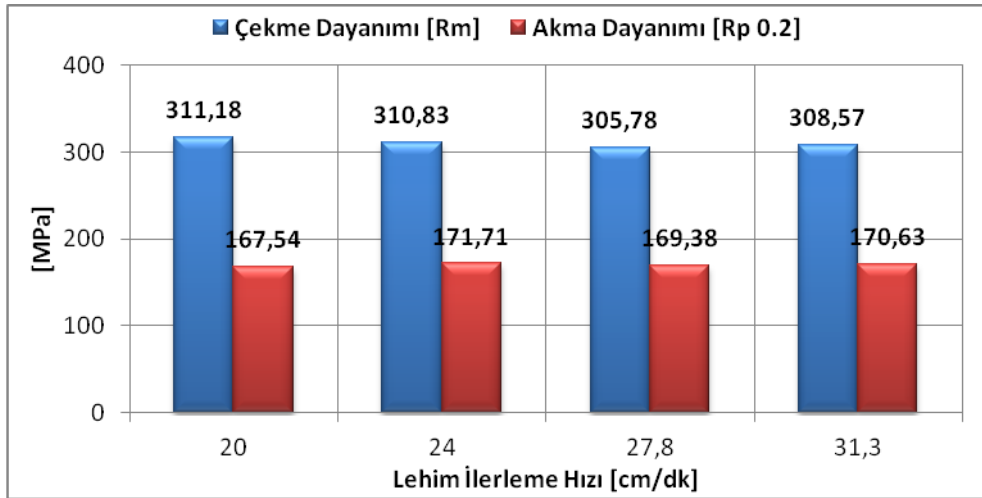
Tablo 6.4. Galvanizsiz 7116 IF sacı için alın birleştirmede farklı lehim hızlarında MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
60	3.1	12.1	12	31,3	0.5
60	3.1	12.1	12	27,8	0.5
60	3.1	12.1	12	24	0.5
60	3.1	12.1	12	20	0.5

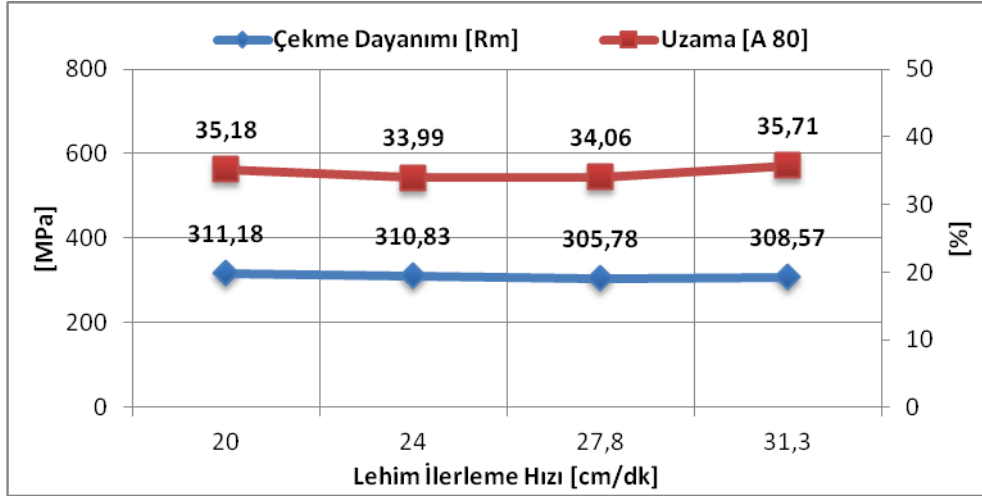
Tablo 6.5. Galvanizli 1315 IF sacı için alın birleştirmede farklı lehim hızlarında MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
55	2.8	12	10	27,8	0.5
55	2.8	12	10	24	0.5
55	2.8	12	10	20	0.5

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilmesinden sonra elde edilen çekme dayanımı ve akma dayanımı ile çekme dayanımı ve kopmadaki yüzde uzama değerleri Şekil 6.9. ve 6.10.'da gösterildiği gibidir.

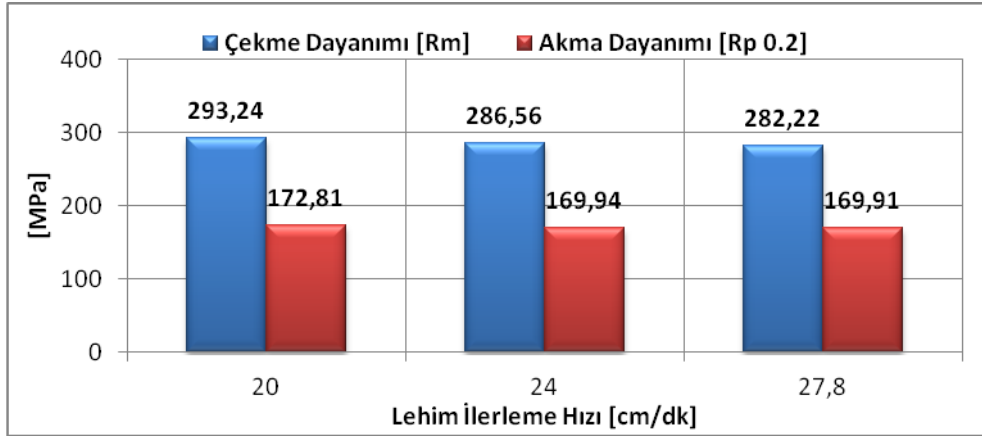


Şekil 6.10. Alın birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında çekme ve akma dayanımları

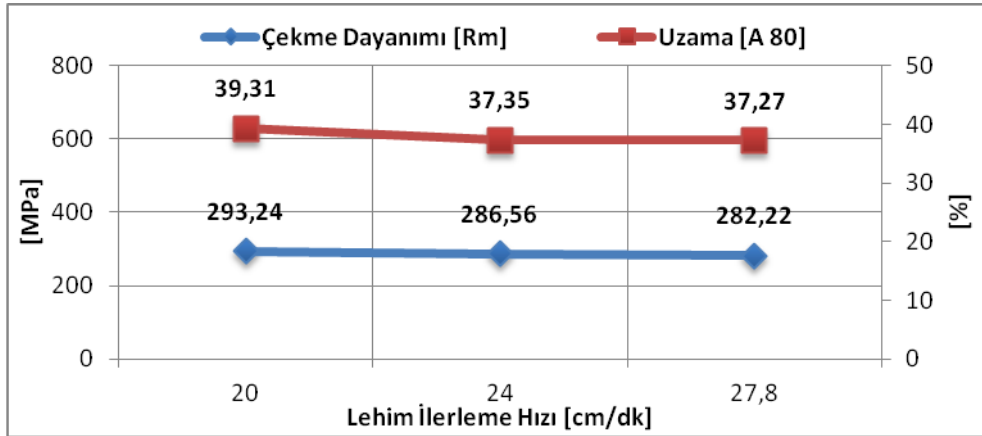


Şekil 6.11. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri

Şekil 6.10. ve 6.11.'da gösterildiği gibi galvanizsiz 7116 IF sacında 20 cm/dk lehim ilerleme hızı ayarlanarak birleştirilen numunede en yüksek çekme dayanımı 311.18 MPa olarak kaydedilmiştir. 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numuneye daha fazla ısı tesir etmesinden dolayı, EDS analiz sonuçlarına bakıldığında bakır alaşım elementinin daha fazla difüzyona uğradığı tespit edilmiştir. Ayrıca XRD sonuçlarında da belirtildiği gibi diğer ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerden farklı olarak 47.02 relatif şiddetlerinde meydana gelen $Al_{4.5}FeSi$ intermetalik bileşiğinin oluşması 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin çekme dayanımını artırdığı düşünülmektedir. Genel olarak lehim ilerleme hızının azalmasıyla birlikte çekme dayanımının azaldığı, akma dayanımlarının ise arttığı görülmüştür. Farklı ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin akma dayanımı ve % uzama değerliklerinde belirgin bir fark görülmektedir. Örneğin 24 cm/dk lehim ilerleme hızına sahip numunede 171.71 MPa akma dayanımı en yüksek değer olarak kaydedilirken, % uzama değeri 33.99 ile en düşük değeri göstermektedir. Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin en yüksek ile en düşük çekme dayanımları arasında yaklaşık 7 MPa, akma dayanımları arasında 4 MPa ve % uzama değerleri arasında % 2'lik değişim söz konusudur.



Şekil 6.12. Alın birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında çekme ve akma dayanımları



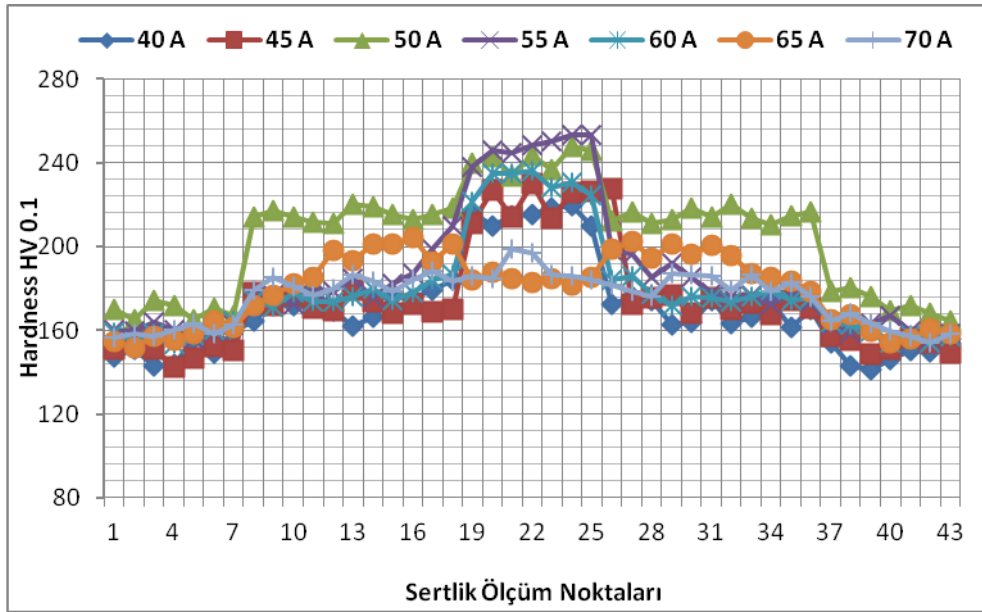
Şekil 6.13. Alın birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri

Şekil 6.12. ve 6.13.'de gösterildiği gibi galvanizli 1315 IF sacında 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numune 293.24 MPa çekme dayanımı ve 172.81 MPa akma dayanımı ile en yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. En düşük çekme ve akma dayanım değerleri ise sırasıyla 282.22 MPa ve 169.91 MPa olarak 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede kaydedilmiştir. Genel olarak lehim ilerleme hızının artmasıyla birlikte çekme ve akma dayanım değerlerinde artış meydana gelmiştir. Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin çekme dayanımı ile kopmadaki uzama yüzdesi arasındaki ilişkiyi incelediğimizde en yüksek uzama yüzdesi 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede %39.31 olarak, en düşük uzama yüzdesi ise 27.8 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede % 37.27 olarak kaydedilmiştir.

6.1.2. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi

6.1.2.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

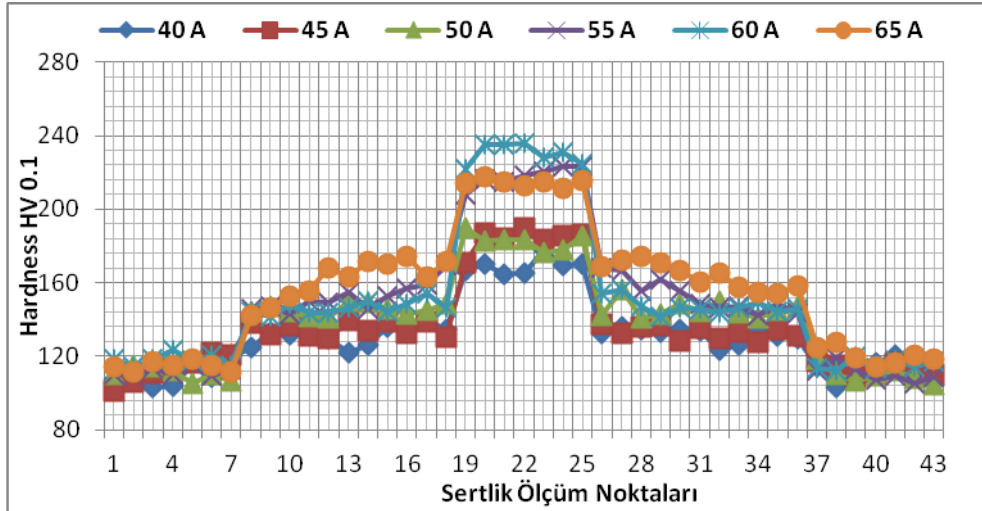
Farklı akım şiddetlerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.13. ve 6.14.'de gösterildiği gibidir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Sertlik alınan noktalar incelediğinde ana malzemeden lehim bölgesine doğru ilerledikçe sertlik değerlerinde artış görülmektedir.



Şekil 6.14. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacına farklı akım şiddeti uygulanarak mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.14.'de gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalin mikrosertlik değerleri ortalama 140 ile 165 HV olarak kaydedilmiştir. MIG-lehimleme operasyonu uygulanan numunelerin, esas metalden ısının tesiri altındaki bölgeye doğru ilerledikçe mikrosertlik değerlerinde artış görülmektedir. ITAB bölgesinde artan akım şiddetiyle birlikte bu değerler 170 ile 190 HV arasında değişiklik göstermektedir. ITAB bölgesinden lehim bölgesine doğru ilerledikçe mikrosertlik değerlerinde yine artış olmuştur. Lehim bölgesinin de HV mikrosertlik değeri 200 ile 240 arasında değiştiği görülmektedir. 40 ve 45 amper akım şiddeti uygulanan numunelerin ITAB ve lehim bölgesindeki mikrosertlik değerleri birbirine yakın

olarak kaydedilmiştir. Fakat 50, 55 ve 60 amper akım şiddeti uygulanan numunelerin ITAB bölgesinde, 40 ve 45 amper akım şiddeti uygulanan numunelere göre mikrosertlikteki değişim 10 HV artış olarak kaydedilmiştir. Özellikle 50 amper akım şiddeti uygulanan numunede Şekil 6.14.'de gösterildiği gibi ITAB bölgesinde en yüksek mikrosertlik değerlerine ulaşılmıştır. Bunun sebeplerinden birinin EDS analizi sonuçlarında da belirtildiği gibi 50 A akım şiddeti uygulanan numunede Si alaşım elementinin esas metal bölgesinden lehim bölgesine doğru ilerledikçe daha fazla difüzyona uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 60 amper akım şiddeti uygulanan numuneden sonra akım şiddetinin artması ITAB bölgesindeki mikrosertlik değerinde azalmaya sebep olmuştur. Yani 65 ve 70 amper akım şiddeti uygulanan numunelerin mikrosertlik değerleri 40 ve 45 amper akım şiddeti uygulanan numunelere benzemektedir. Farklı akım şiddetleri uygulanarak lehimlenen numunelerin lehim bölgesindeki mikrosertlik sonuçları incelendiğinde artan akım şiddeti ile birlikte 65 amper akım şiddeti uygulanan numuneye kadar genel olarak artış meydana gelmiştir. Fakat 65 ve 70 amper akım şiddeti uygulanarak birleştirilen numunelerin lehim bölgesindeki mikrosertlik değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Lehim bölgesinin sertlik sonuçları incelendiğinde stabil olarak değişimin olmaması, lehim bölgesinde oluşan dendritlerden kaynaklanmaktadır. Hem mikroyapı görüntülerinde hem de SEM fotoğraflarında da görüldüğü gibi dendritli bölge ile dendritli olmayan bölge arasında 30 HV'lık bir değişim söz konusudur. Lehim bölgesinin optik mikroskopta mikroyapısı incelenirken lehim bölgesinde oluşan dendrid yüzdelere bakılmıştır. Burada 50, 55 ve 60 amper akım şiddeti uygulanan numunelerin dendrid yüzdeleri diğer numunelere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum 50, 55 ve 60 amper akım şiddeti uygulanan numunelerin lehim bölgesindeki mikrosertlik sonuçlarının fazla çıkmasına sebep olmuştur.

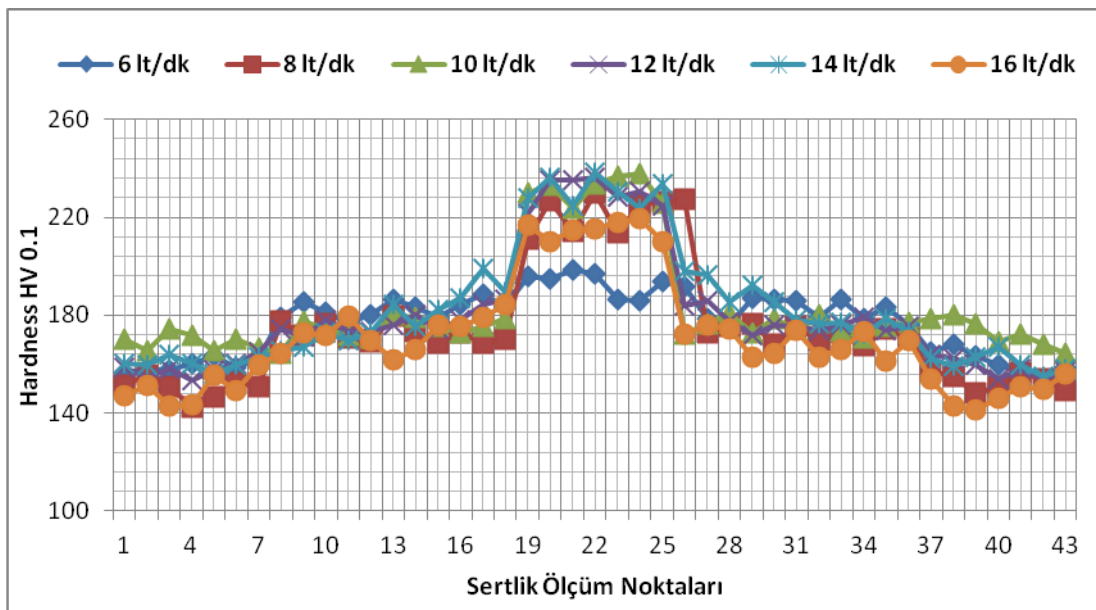


Şekil 6.15. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacına farklı akım şiddeti uygulanarak mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.15.'de gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalin mikrosertlik değerleri ortalama 100 ile 125 HV olarak kaydedilmiştir. MIG-lehimleme operasyonu uygulandıktan sonra ITAB bölgesinde oluşan mikrosertlik değerleri 140 ile 170 HV arasında değiştiği görülmüştür. Lehim bölgesindeki mikrosertlik değerleri ise 180 ile 240 HV olarak değişmiştir. Esas metalden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe artan akım şiddeti ile birlikte mikrosertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Özellikle 65 amper akım şiddeti uygulanan numunenin ITAB bölgesinde diğer numunelere nazaran 20 HV daha fazla artış olduğu görülmektedir. Bunun sebeplerinden birinin EDS analiz sonuçlarında da belirtildiği gibi esas metalden lehim bölgesine doğru ilerledikçe silisyum ve fosfor alaşım elementlerinin daha fazla difüze olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. ITAB bölgesinden lehim bölgesine doğru ilerledikçe artan akım şiddeti ile yine mikrosertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Lehim bölgesinde oluşan en yüksek mikrosertlik sonuçları 60 amper akım şiddeti uygulanan numunede kaydedilmiştir. Lehim bölgesinde 55 amper akım şiddeti uygulanan numuneden sonra yaklaşık 30 HV'lik sertlikte artış olmuştur. 55, 60 ve 65 amper akım şiddeti uygulanan numunelerin mikroyapı resimlerinden de görüldüğü üzere lehim bölgesindeki dendrit oluşumu daha fazla olduğundan dolayı sertlik sonuçlarına etki etmiştir. Ayrıca farklı akım şiddetleri uygulanarak birleştirilen numunelerin EDS analizi sonuçlarında da belirtildiği gibi 55, 60 ve 65 amper akım şiddeti uygulanan numunelerde mangan ve silisyum alaşım elementlerinin esas metal bölgesinden lehim bölgesine doğru ilerledikçe daha fazla difüzyonun gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

6.1.2.2. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

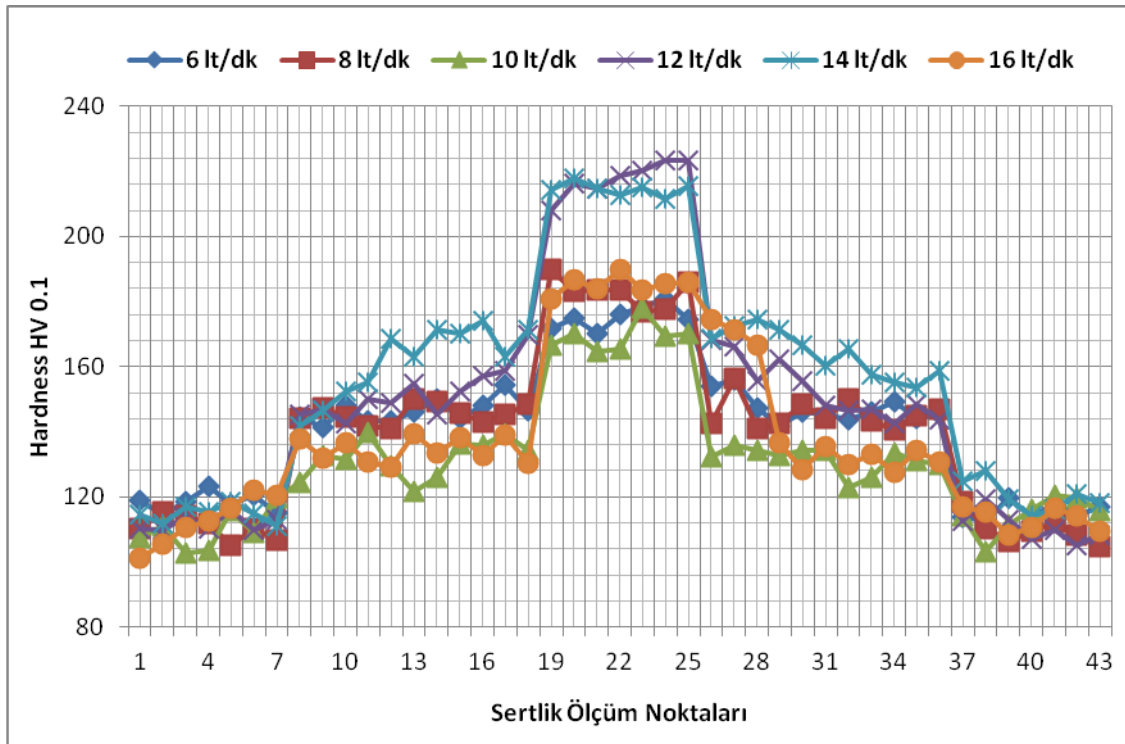
Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.15. ve 6.16.'da verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı gaz debilerinde sertliği en yüksek olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehim bölgesi, daha sonra ITAB ve esas metal bölgesidir. MIG lehimleme uygulaması alın birleştirmede galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için 60 amper akım şiddetinde, galvanizli 1315 IF çelik sacı için 55 amper akım şiddeti uygulanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.16. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.16.'de gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalden lehim bölgesine doğru ilerledikçe sertlik değerinde artış görülmüştür. 60 amper akım şiddeti ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanarak sadece farklı gaz debileri ayarlanarak birleştirilen numunelere uygulanan ısı girdisi aynı olduğundan dolayı esas metal, ısıнын tesiri altında kalan bölge ve lehim bölgesini kendi içinde değerlendirdiğimizde

gaz debisinin artması sertlik değerlerinde fazla bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Farklı gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunelerde, esas metalin ortalama sertlik değeri 155 HV olup, ısıнын tesiri altında kalan bölgede yani iri taneli bölgede 180 HV'e kadar çıkmıştır. Lehim bölgesinde ise CuAl8 lehim telinin lehimleme öncesi vickers sertliği 110 HV olmasına rağmen, lehimleme sonrası soğuma esnasında yeniden kristalleşmeden dolayı 220 HV'ye kadar çıkmıştır. Şekil 6.15.'de gösterilen grafikte en dikkat çeken numune 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin lehim bölgesinde diğer numunelere göre sertliğinde ortalama 30 HV'lik bir düşüş meydana gelmesidir. Bunun sebeplerinden birinin yetersiz gaz koruma sağlandığından dolayı ve yapılan EDS analizi sonuçlarda da görüldüğü üzere bazı bölgelerde karbon ve oksijen yüzdelерinin fazla çıkması belirli bölgelerde gevrekleşmeye sebep olduğu düşünülmektedir.



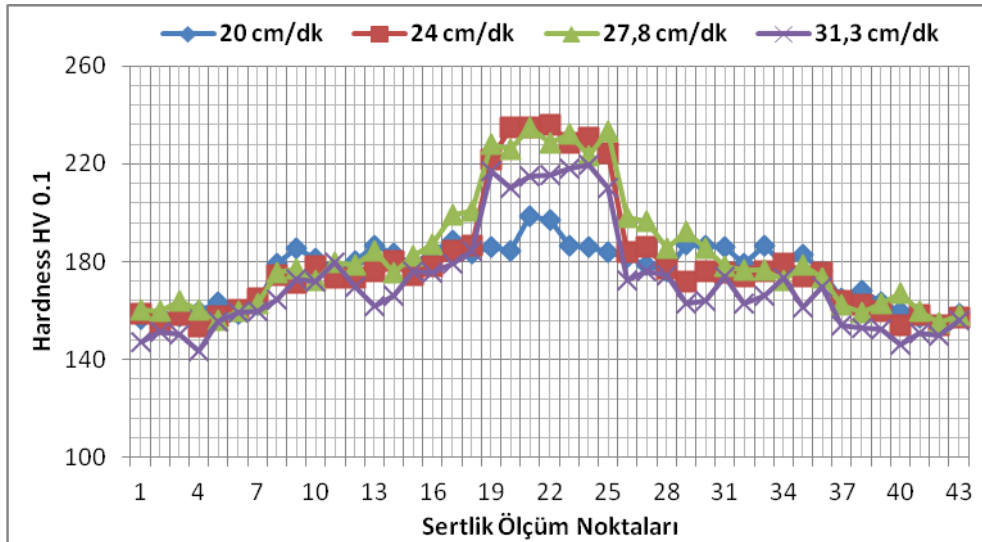
Şekil 6.17. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.17.'da gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalden lehim bölgesine doğru ilerledikçe sertlik değerinde artış görülmüştür. 55 amper akım şiddeti ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanarak sadece farklı gaz debileri ayarlanarak

birleştirilen numunelere uygulanan ısı girdisi aynı olmasına rağmen ITAB ve lehim bölgesinde 12 lt/dk ve 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde sertlik değerlerinin daha fazla çıktığı görülmüştür. Farklı gaz debisi uygulanan numunelerin ITAB bölgesinde en yüksek sertliğe 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede ortalama 170 HV olarak kaydedilmiş ve diğer numunelerden yaklaşık 20 HV daha fazla sertliğe ulaşılmıştır. 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin EDS analiz sonuçlarını incelediğimizde alüminyum ve bakır alaşım elementlerinin lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe daha fazla difüzyona uğradığı görülmektedir. Bu durumun ITAB bölgesinde sertliğin fazla çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

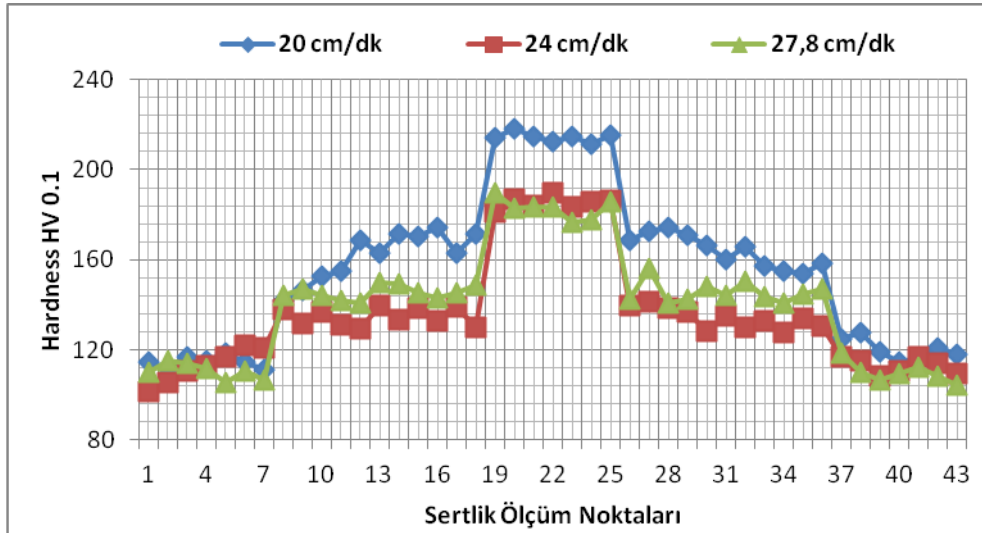
6.1.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.17. ve 6.18.'de farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve esas metal olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı lehim ilerleme hızlarında, mikrosertliği düşük olan nokta esas metal olarak belirlenmiş. Esas metalden lehim bölgesine doğru ilerledikçe mikrosertlikte artış olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.18. Alın birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.18.'deki grafik incelendiğinde artan lehim ilerleme hızı ile birlikte esas metal ve ITAB bölgesinde oluşan mikrosertlik değerlerinde fazla bir değişiklik olmamasına rağmen, lehim bölgesinde lehim ilerleme hızının artmasıyla birlikte numunelerin sertliklerinde azalma meydana gelmiştir. Esas metalin ortalama sertlik değeri 155 HV iken, ITAB bölgesinde ortalama 170 HV sertliğe ulaşılmıştır. Lehim bölgesinde ise 20 cm/dk ilerleme hızına sahip numunenin mikrosertlik değeri ortalama 190 HV olarak en düşük değer olarak kaydedilmiştir. Burada aynı 65 A ve 70 A akım şiddeti ile birleştirilen numunelerin sertlik değerliklerinde olduğu gibi, numuneleri etkileyen ısı girdisinin ve dendrit yüzdelерinin fazla olmasına rağmen sertlikte düşüş meydana gelmiştir. Bunun sebeplerinden birinin EDS analiz sonuçlarında da belirtildiği gibi lehimleme operasyonu sonucu, artan lehim ilerleme hızı ile birlikte mangan ve titanyum alaşım elementlerinin lehim bölgesinden esas metale doğru ilerledikçe daha fazla difüze olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Lehim bölgesinde en yüksek mikrosertlik ise 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede kaydedilmiştir.



Şekil 6.19. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik sonuçları

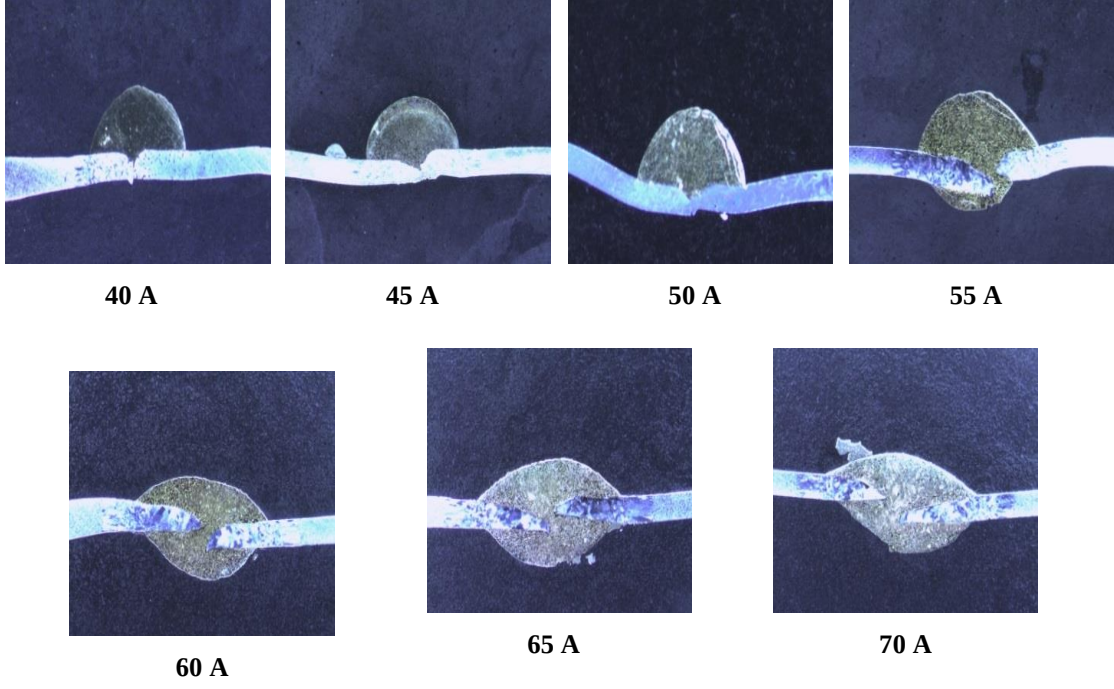
Şekil 6.19.'de gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalden lehim bölgesine doğru ilerledikçe sertlik değerinde artış görülmüştür. Lehim ilerleme hızının artması numunelerin özellikle ITAB ve lehim bölgelerinde artışa sebep olmuştur. ITAB bölgesinde en yüksek sertlik değerlikleri 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan

numunede ortalama 170 HV olarak kaydedilirken, en düşük sertlik 24 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede ortalama 135 HV olarak kaydedilmiştir. ITAB bölgesinde 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede sertliğin en düşük çıkmasının sebeplerinden birinin, EDS analiz sonuçlarında da belirtildiği gibi fosfor ve kükürt alaşım elementlerinin lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe daha fazla difüzyona uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine aynı şekilde ITAB bölgesinde 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede sertliğin en yüksek çıkmasının sebeplerinden birinin, lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe mangan ve titanyum alaşım elementlerinin daha fazla difüzyona uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Lehim bölgesinde ise 24 cm/dk ve 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunelerin sertlik değerlikleri birbirine yakın olup ortalama 190 HV olarak ölçülmüştür. Fakat 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede ortalama sertlik 215 HV olarak ölçülmüş ve ilerleme hızının artmasıyla birlikte ortalama sertlik değerinde 25 HV'lık artışın olduğu tespit edilmiştir.

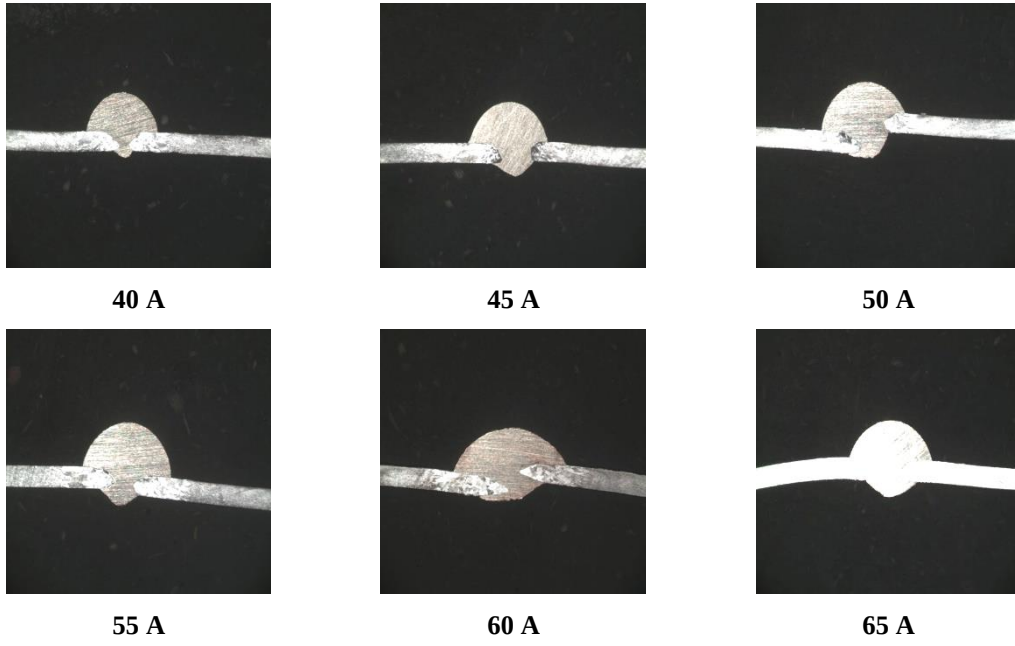
6.1.3. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi

6.1.3.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi

Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine olan etkisini araştırmak amacıyla farklı akım şiddetleri uygulanan IF çelik sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiştir. Farklı akım şiddetlerinde elde edilen IF çelik sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden Şekil 5.8'de gösterildiği gibi lehim ergime genişliği (w), lehim dikiş yüksekliği (h), lehim nüfuziyet derinliği (d) ve lehim ıslatma açısı (θ) grafikler üzerinde gösterilerek IF çelik sacları için en uygun lehim akım şiddeti belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 6.20.'de galvanizsiz 7116 IF çelik sacın, Şekil 6.21.'de ise galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı akım şiddetlerindeki makro görüntüleri gösterilmektedir.



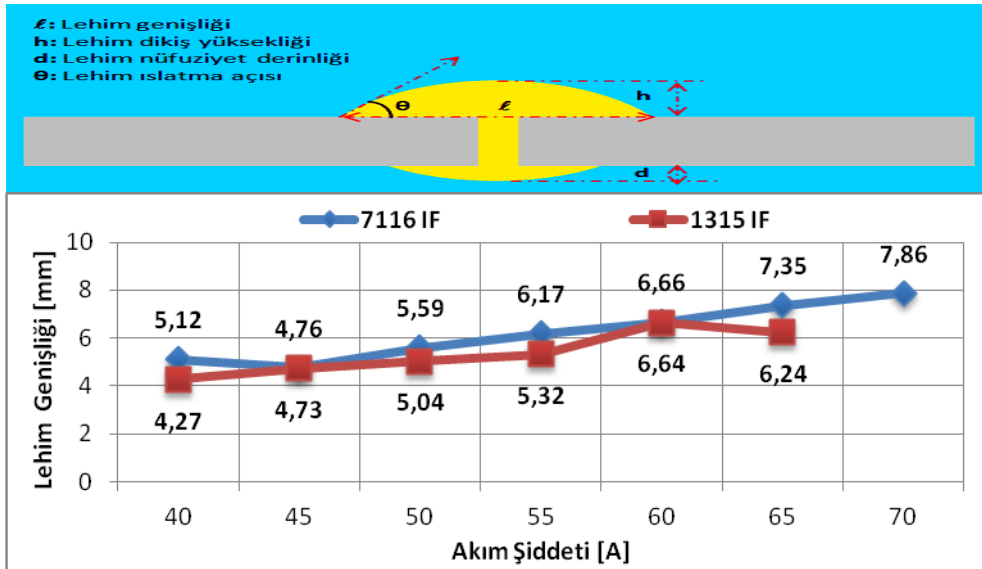
Şekil 6.20. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri



Şekil 6.21. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri

Şekil 6.20.'daki makro görüntüleri incelediğimizde galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 40, 45 ve 50 A akım şiddetlerinde 0.5 mm lehim aralığı bırakılarak birleştirilmesine

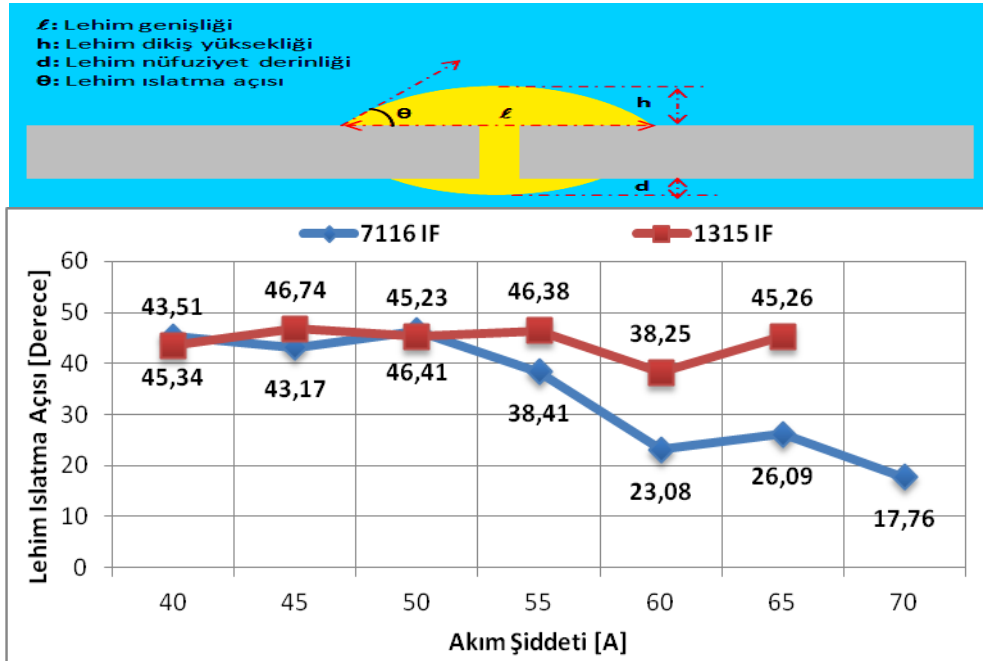
rağmen lehim nüfuziyet derinliği sağlanamamıştır. Fakat galvanizli 1315 IF çelik sacında bütün akım şiddetlerinde nüfuziyet derinliği sağlanmıştır.



Şekil 6.22. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF saclarının lehim ergime genişliği

Şekil 6.22.'deki grafik incelendiğinde hem 7116 IF hem de 1315 IF çelik saclarında lehim eğrime genişliğinin artan akım şiddetiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. 40 amper akım şiddetinden 70 amper akım şiddetine kadar 5 amper akım şiddeti aralıklarla MIG-lehimleme yapılarak birleştirilen ve malzemeye uygulanan ısı girdisi ortalama %12 artarken, ana malzemenin üzerine lehim telinin ergime genişliği yaklaşık %40 artmıştır. Denklem 1.1 ve 1.2 den anlaşılacağı üzere 5 amper akım şiddetinin malzeme üzerindeki ısı girdisini 70-80 J/cm etkilemektedir. Şekil 6.23.'de gösterildiği gibi 70-80 J/cm ısı girdisinin hem galvanizsiz 7116 IF çelik sacında hem de galvanizli 1315 IF sacında 0.4 – 0.5 mm lehim ergime genişliğine etkisi olduğunu söyleyebiliriz. Fakat numunelere uygulanan ısı girdileri aynı olmasına rağmen galvanizsiz 7116 IF çelik sacında daha yüksek eğrime genişlikleri elde edilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarında 45 A ve 60 A akım şiddeti uygulanan numunelerde lehim ergime genişlikleri birbirine çok yakın değerler olarak elde edilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında en düşük lehim ergime genişliği 45 amper akım şiddeti uygulanan numunede 4.76 mm, en yüksek lehim ergime genişliği ise 70 amper akım şiddeti uygulanan numunede 7.86 mm olarak kaydedilmiştir.

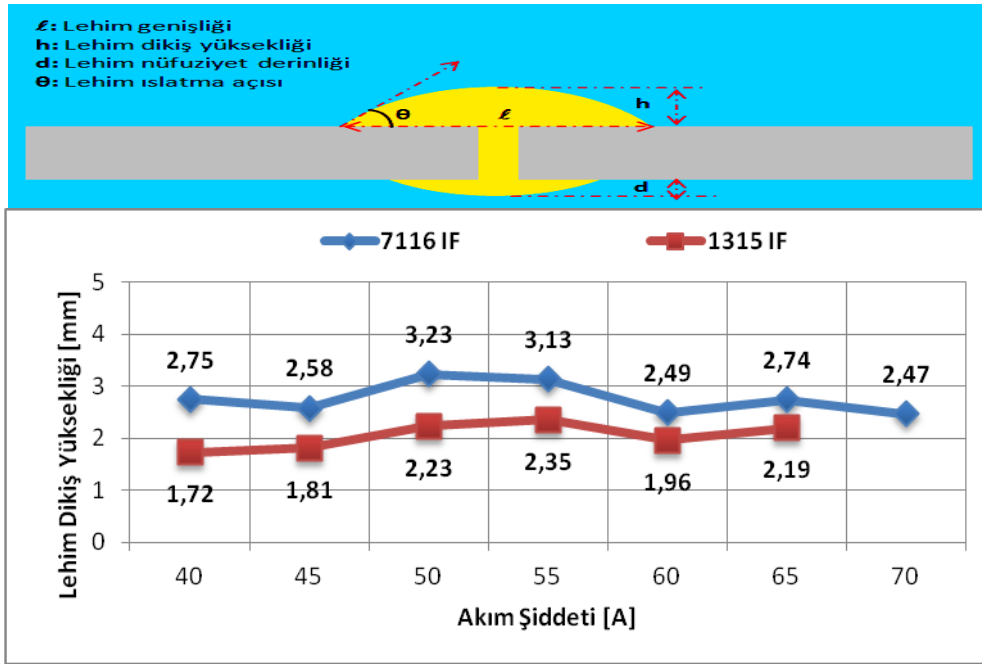
Ortalama lehim ergime genişliği hesaplandığında 6.22 mm olarak bulunmuş ve ortalama değere en yakın lehim ergime genişliği 55 amper akım şiddeti uygulanan numunede kaydedilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise en düşük eğrime genişliği 40 amper akım şiddeti uygulanan numunede 4.27 mm olarak kaydedilirken, en yüksek eğrime genişliği 65 amper akım şiddetinde 6.64 mm olarak kaydedilmiştir. Ortalama lehim ergime genişliği 5.37 mm olarak hesaplanmıştır. Ortalama değere en yakın 55 amper akım şiddetinde birleştirilen numunede 5.32 mm olarak sonuç alınmıştır. Genel olarak hem 7116 IF hem de 1315 IF çelik saclarında eğrime genişlikleri ortalama değerleri 55 amper akım şiddeti uygulanan numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 6.23. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF saclarının lehim ıslatma açısı

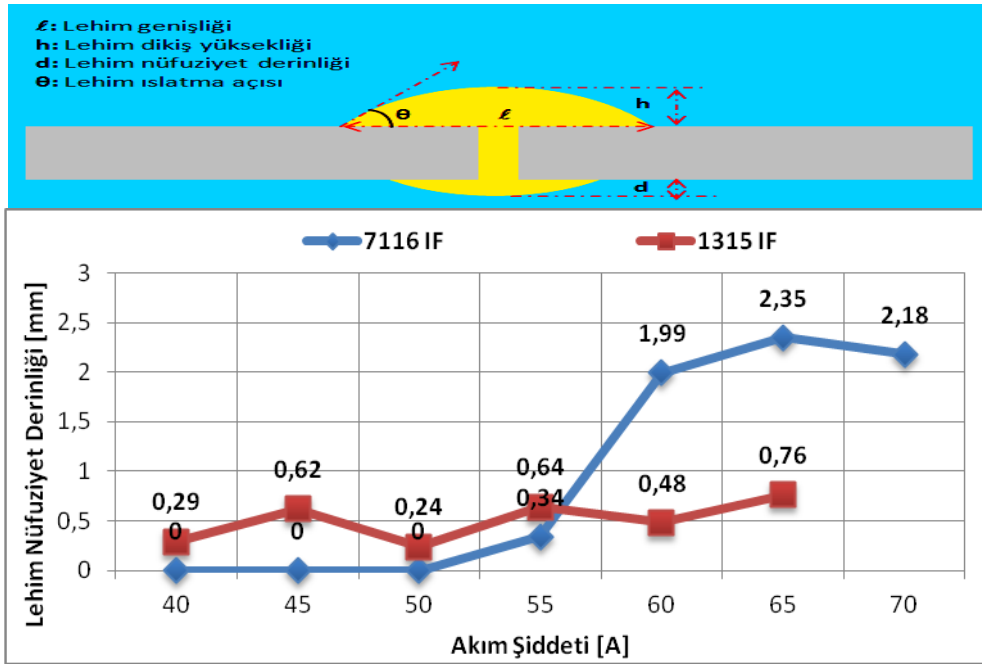
Lehim ıslatma açısı yada temas açısı ile ilgili literatür incelendiğinde karşımıza lehimleme prosesinde iyi bir birleşmenin sağlanabilmesi için yani kapiler etkinin iyi olabilmesi ergimiş dolgu malzemesinin bağlanacak metal yüzeyini iyi ıslatabilmesi ile sağlanabildiği çıkmaktadır. Ayrıca yeterli bir ıslatmanın sağlanabilmesi için temas açısının 30° den küçük olması gerekmektedir. Bu bilgilere dayanarak Şekil 6.23. incelendiğinde galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için 60, 65 ve 70 amper akım şiddeti uygulanan numunelerde yeterli ıslatmanın sağlandığını söyleyebiliriz. Fakat galvanizli 1315 IF çelik sacında bütün akım şiddetlerinde ıslatma açısının istenilen değerliklerde olmadığı görülmektedir.

Lehim ıslatma açısı grafiğindeki eğim çizgisinden anlaşıldığı üzere akım şiddeti arttıkça ıslatma açısı genel olarak azalmaktadır. Şekil 6.24.'de gösterildiği gibi galvanizsiz 7116 IF çelik sacının ıslatma açısı akım şiddeti ilişkisini incelediğimizde 40, 45 ve 50 amper akım şiddetlerinde ıslatma açılarının sırasıyla 45.34, 43.17 ve 46.41 derece olarak, ortalama değerlerinden yüksek çıkması lehim nüfuziyet derinliğinin sağlanamamasından yani dolgu materyalinin lehim dikiş yüksekliğinde yığılmaya sebep olmasından kaynaklanmaktadır. 55 amper akım şiddeti uygulanan numunede de 38.41 derece olarak değer elde edilmiş ve esasında istenilen bir ıslatma açısı elde edilememiştir. Fakat 60, 65 ve 70 amper akım şiddeti uygulanan numunelerin makro görüntüleri incelendiğinde ıslatma açısı değerleri sırasıyla 23.08, 26.09 ve 17.76 derece olarak kaydedilmiş ve bu numunelerin lehim nüfuziyet derinlikleri çok fazla olmasına rağmen literatürdeki bilgiyi desteklemektedir. 60 amper akım şiddeti uygulanan numune MIG-lehimleme yönteminin avantajlarından birisi olarak da kabul gören “düşük ısı girdisi ile birleşmelerin sağlanması” fikrine de dayanarak en ideal akım şiddeti olarak belirlenmiştir. MIG-lehimlenmiş galvanizli 1315 IF çelik sacında ise bütün akım şiddetlerinde istenilen ıslatma açısı değerlerine ulaşamamıştır. Ayrıca akım şiddetinin artmasının numunelerde lehim ıslatma açısı üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Burada en yüksek ıslatma açısı 55 amper akım şiddetinde 46.38 mm, en düşük akım şiddeti ise 60 amper akım şiddeti ile birleştirilen numunelerde kaydedilmiştir. Ortalama lehim ıslatma açısı değeri 44.22 derece olarak hesaplanmış ve en yakın değer 50 A akım şiddeti uygulanarak birleştirilen numunede 45.23 derece olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.24. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF saclarının lehim dikiş yüksekliği

Şekil 6.24.'de gösterildiği gibi MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çelik sac numunelerin lehim dikiş yüksekliği incelendiğinde artan akım şiddeti ile genel olarak lehim dikiş yüksekliğinin de arttığı görülmektedir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacın da 50 A akım şiddetinde lehim kep yüksekliği 3.23 mm olarak en yüksek değer elde edilmiştir. 50 A akım şiddetinden sonra akım şiddetinin artmasıyla birlikte lehim dikiş yüksekliğinde azalma meydana gelmiştir. 55 A akım şiddetinde 3.13 mm olan lehim dikiş yüksekliğinden sonra akım şiddetinin artmasıyla birlikte ortalama 0,57 mm yani % 19'luk azalma meydana gelmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise 55 A akım şiddetinde lehim kep yüksekliği 2.35 mm olarak en yüksek değer elde edilmiştir. 40 A akım şiddetinden 55 A akım şiddetine kadar akım şiddetinin artmasıyla birlikte lehim ergime genişliğinde yaklaşık 0.1 – 0.3 mm arasında çok az bir artış gözlenirken, 55 A akım şiddetinden sonra yaklaşık 0.5 mm yani %14 lük bir azalma meydana gelmiştir. Ortalama lehim ergime genişliği 2.04 mm olarak hesaplanmıştır. Ortalama değere en yakın değer 60 A akım şiddeti uygulanan numunede 1.96 mm olarak elde edilmiştir.



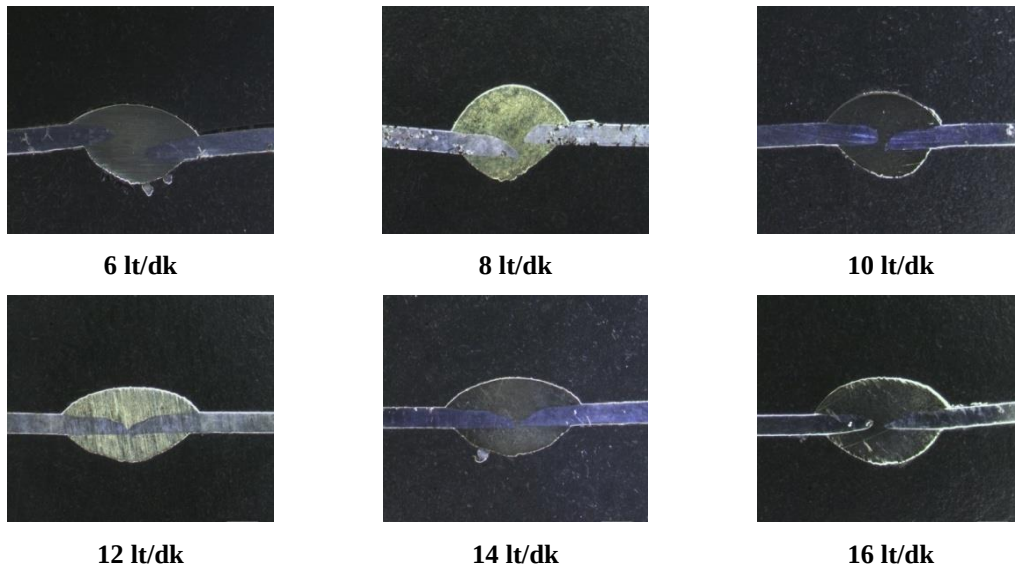
Şekil 6.25. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF saclarının lehim nüfuziyet derinliği

Şekil 6.25.'de gösterildiği gibi MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sac numunelerin lehim nüfuziyet derinliği incelendiğinde 40, 45 ve 50 A akım şiddetinde lehim nüfuziyet derinliği elde edilememiştir. Fakat galvanizli 1315 IF çelik sacının en düşük 40 A akım şiddeti uygulanarak birleştirilen numunede bile 0.29 mm'lik çok düşük olsa da nüfuziyet derinliği sağlanabilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 55 A akım şiddetinden sonra nüfuziyet derinliği yani kök koruma sağlanmaya başlamıştır. 55 A akım şiddeti uygulanan numunede 0.34 mm nüfuziyet derinliği elde edildikten sonra, artan akım şiddeti ile birlikte %586 lık bir artış görülmüş ve 60 A akım şiddeti uygulanan numunede nüfuziyet derinliği 1.99 mm olarak kaydedilmiştir. En yüksek nüfuziyet derinliği 65 A akım şiddetinde birleştirilen numunede gözlemlenmiştir. Fakat 65 amper akım şiddetinde nüfuziyet derinliği ile lehim dikiş yükseklik değerleri birbirine çok yakın olduğundan dolayı ideal birleşme olmadığına kanaat getirilmiştir. Farklı akım şiddetinde birleştirilen numunelerin lehim dikiş yüksekliği ile nüfuziyet derinliği oranları arasındaki ilişkiyi incelediğimizde 55 A akım şiddetinde yaklaşık 1/10'a, 60 A akım şiddetinde 7/10'a, 65 A akım şiddetinde 9/10'a ve 70 A akım şiddetinde 8/10'a denk geldiğini söyleyebiliriz. Galvanizli 1315 IF çelik sac numunelerde ise Şekil 6.24.'de gösterildiği gibi en yüksek nüfuziyet derinliği 65 amper akım şiddeti uygulanan

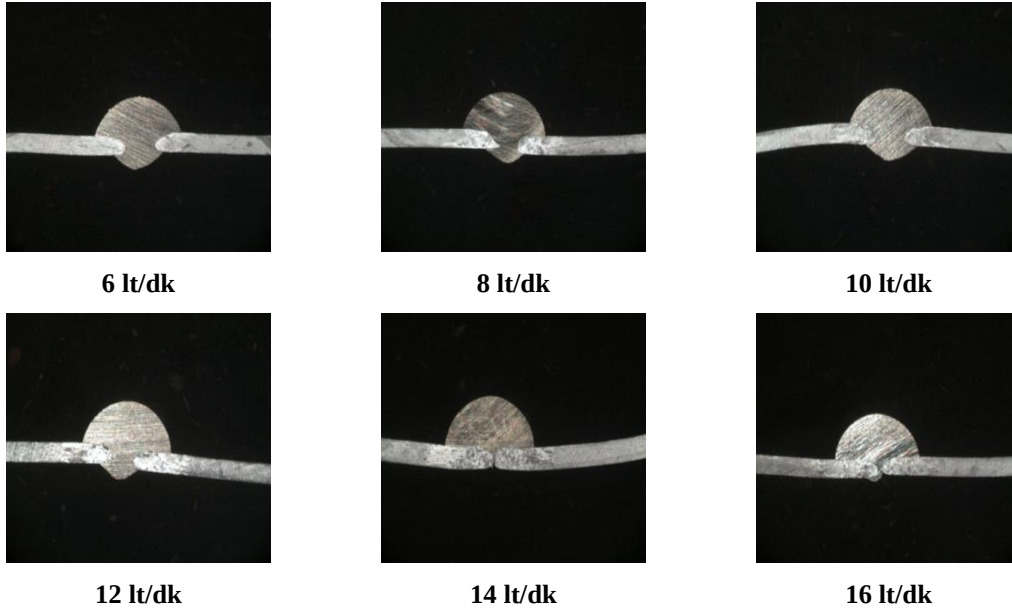
numunede 0.76 mm olarak kaydedilmiştir. En düşük lehim nüfuziyet derinliği ise 50 A akım şiddeti uygulanan numunede 0.24 mm olarak kaydedilmiştir. Ortalama nüfuziyet derinliği 0.5 mm olarak hesaplanmış ve bu değere en yakın sonuçlar 45 A ve 55 A akım şiddeti uygulanan numunelerde sırasıyla 0.62 mm ve 0.64 mm olarak elde edilmiştir.

6.1.3.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi

MIG-lehimleme yöntemi ile farklı lehim gaz debileri uygulanarak birleştirilen IF çelik saclarının makro fotoğrafları çekilmiştir. Bütün makro görüntülerde Şekil 5.8’de gösterildiği gibi lehim ergime genişliği (w), lehim dikiş yüksekliği (h), lehim nüfuziyet derinliği (d) ve lehim ıslatma açısı (θ) değerleri kaydedilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacının 60 A, galvanizli 1315 IF sacının ise 55 A akım şiddetinde farklı gaz debileri ayarlanarak MIG-lehimleme operasyonu uygulanarak birleştirilen numunelerin makro görüntüleri Şekil 6.25. ve 6.26.’de gösterildiği gibidir.

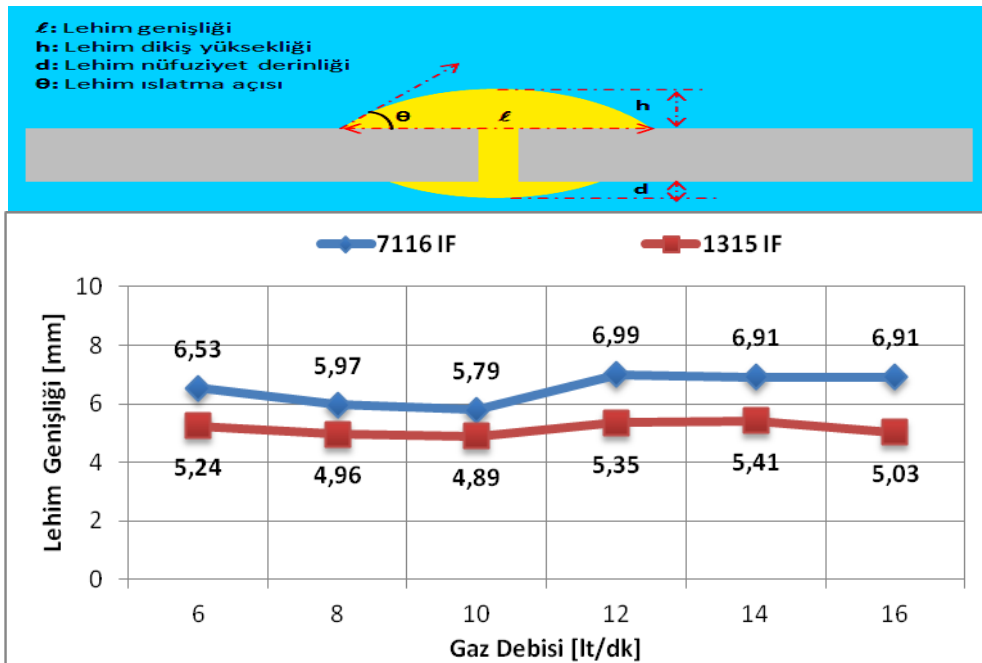


Şekil 6.26. Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının makro görüntüleri



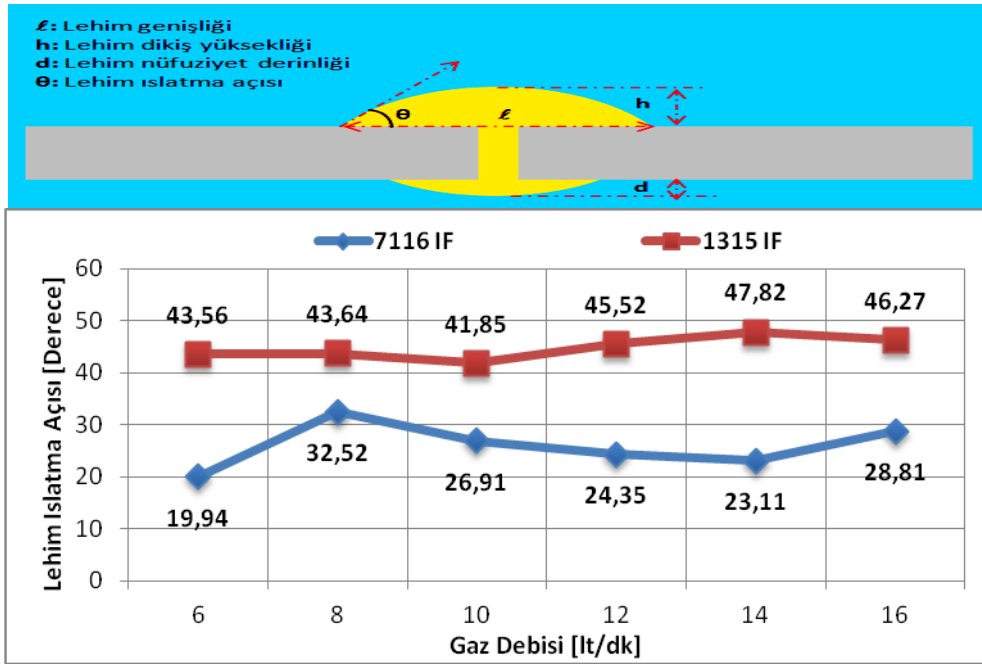
Şekil 6.27. Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen 1315 IF sacının makro görüntüleri

Şekil 6.26. ve 6.27.'da gösterildiği gibi galvanizsiz 7116 IF çelik sacında bütün birleştirmelerde yeterli nüfuziyet derinliğinin sağlandığı görülmektedir. Fakat galvanizli 1315 IF çelik sacında 14 lt/dk ve 16 lt/dk lehim gaz debisi uygulanan numunelerde nüfuziyet derinliğinin elde edilemediği görülmektedir.



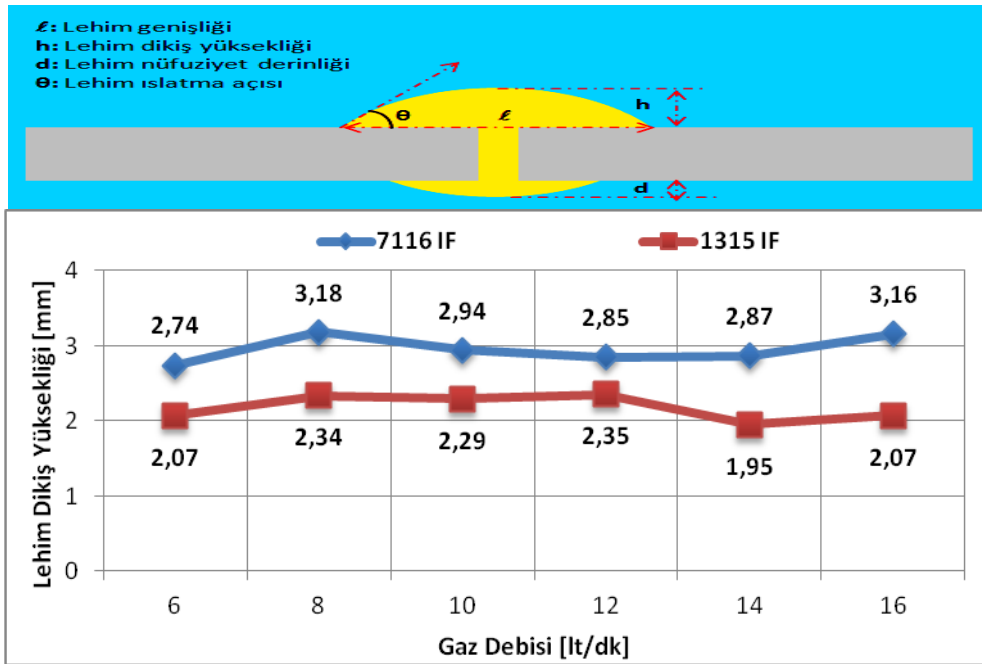
Şekil 6.28. Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının lehim ergime genişliği

Şekil 6.28.'de gösterilen grafik incelendiğinde genel olarak lehim eğrime genişliğinin artan lehim gaz debisi ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında en yüksek ergime genişliği 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 6.99 mm olarak elde edilmiştir. 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 6.53 mm ergime genişliği elde edilirken, 8 lt/dk ve 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneler de %10'luk bir azalma meydana gelmiş ve sırasıyla 5.97 mm ve 5.79 mm lehim ergime genişlikleri elde edilmiştir. 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra artan gaz debisi ile birlikte numunelerin ergime genişliğinde ortalama % 16'lık artış gözlemlenmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ortalama ergime genişliği 6.52 mm olarak hesaplanmış ve ortalama değere en yakın değerler 14 lt/dk ve 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde 6.91 mm olarak kaydedilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise en yüksek lehim ergime genişliği 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 5.41 mm olarak kaydedilmiştir. En düşük ergime genişliği ise 4.89 mm olarak 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede kaydedilmiştir. 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneye kadar ortalama %6'lık bir düşüş meydana gelirken, 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra ortalama %11'lik bir artış meydana gelmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ortalama ergime genişliği 5.15 mm olarak hesaplanmış ve ortalama değere en yakın ergime genişlikleri 10 lt/dk ve 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde sırasıyla 4.89 mm ve 5.35 mm olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.29. Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının lehim ıslatma açısı

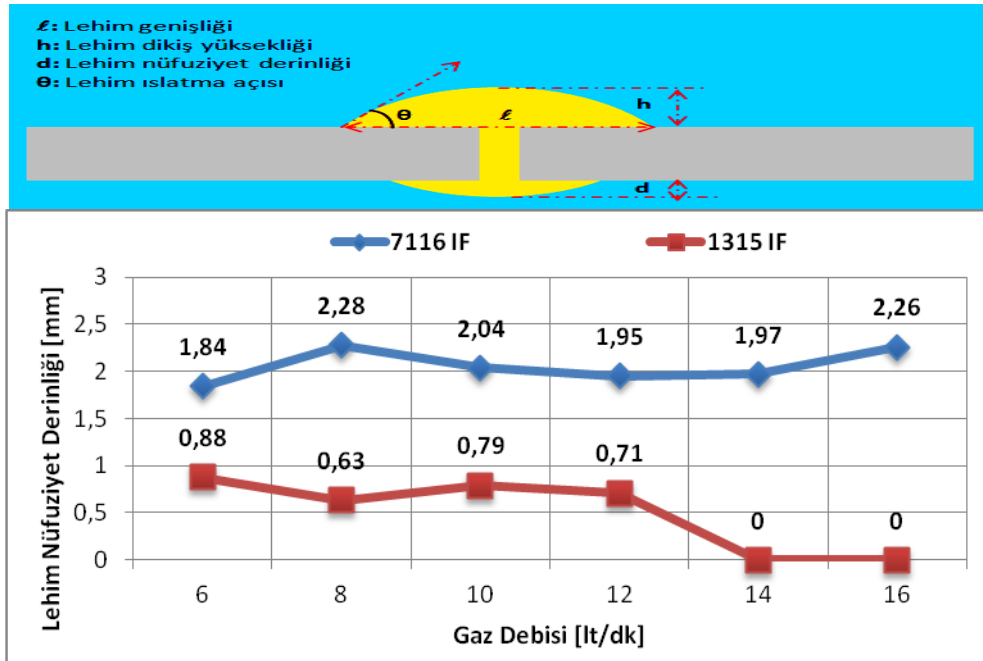
Şekil 6.29.'de gösterildiği gibi lehim ıslatma açısı değerleri artan lehim gaz basıncıyla birlikte fazla bir değişikliğe uğramamıştır. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı lehim gaz debilerinde birleştirilmesinde elde edilen lehim ıslatma açısı ya da temas açısı değerliklerinin stabil olarak değişmediği görülmektedir. Örneğin 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede ıslatma açısı 19.94 derece iken, 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 32.5 derece olarak en yüksek değer elde edilmiştir. 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra ortalama % 24'lük ıslatma açısında azalma meydana gelmiştir. Genel olarak farklı gaz debilerinde elde edilen ortalama ıslatma açısı değeri 25.9 derece olarak hesaplanmıştır. Ortalama ıslatma açısı değerine en yakın değerler 10 lt/dk ve 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde sırasıyla 26.91 ve 24.35 derece olarak elde edilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise en yüksek ıslatma açısı 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 47.82 derece olarak kaydedilmiş, en düşük ıslatma açısı değeri ise 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 41.85 derece olarak kaydedilmiştir. Ortalama ıslatma açısı değeri 44.77 derece olarak hesaplanmıştır. Ortalama ıslatma açısı değerine en yakın 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 45.52 derece olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.30. Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının lehim dikiş yüksekliği

Şekil 6.30.'da gösterildiği gibi farklı gaz debileri uygulanarak birleştirilen IF çelik saclarında lehim gaz debisinin artmasına rağmen lehim dikiş yüksekliklerinde çok az miktarda değişiklik meydana gelmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında en yüksek dikiş yüksekliği 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 3.18 mm, en düşük dikiş yüksekliği ise 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 2.74 mm olarak kaydedilmiştir. 12 lt/dk ve 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerin dikiş yükseklikleri yaklaşık aynı değerlikler elde edilmiştir. Fakat 14 lt/dk gaz debisi uygulandıktan sonra yani 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede dikiş yüksekliğinde yaklaşık %10'luk bir artış meydana gelmiş ve 3.16 mm olarak kaydedilmiştir. Ortalama lehim dikiş yüksekliği değeri 2.95 mm olarak hesaplanmış. Ortalama değere en yakın 14 lt/dk ve 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde sırasıyla 2.87 mm ve 3.16 mm olarak elde edilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise en yüksek lehim dikiş yüksekliği 12 lt/dk uygulanan numunede 2.35 mm, en düşük dikiş yüksekliği ise 6 lt/dk ve 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde 2.07 mm olarak elde edilmiştir. 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneye kadar dikiş yüksekliğinde yaklaşık % 13'lük bir artış meydana gelmiştir. Fakat 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede ise % 17'lik azalma söz konusudur. Ortalama lehim dikiş yüksekliği 2.17 mm olarak

hesaplanmıştır. Ortalama değere en yakın dikiş yüksekliği 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 2.29 mm olarak elde edilmiştir.



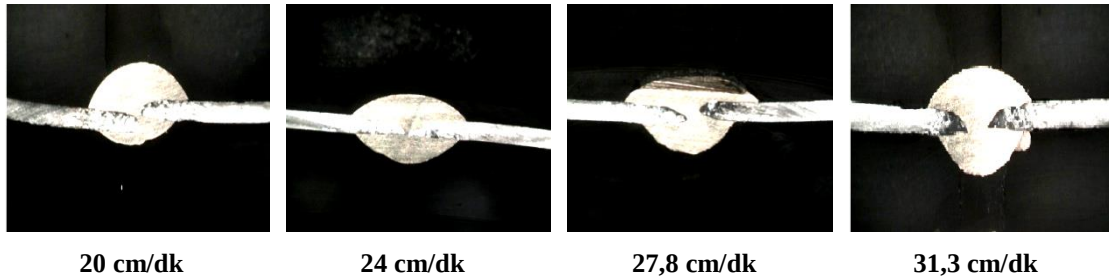
Şekil 6.31. Alın birleştirmedeki farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen IF çelik saclarının lehim nüfuziyet derinliği

Şekil 6.31.'da gösterildiği gibi hem galvanizsiz 7116 IF sacında hem de galvanizli 1315 IF çelik sacında artan gaz debisi ile birlikte numunelerin lehim nüfuziyet derinliklerinde fazla bir değişiklik olmamıştır. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında en yüksek nüfuziyet derinliği 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 2.28 mm, en düşük nüfuziyet derinliği ise 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 1.84 mm olarak elde edilmiştir. 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra yani 8 lt/dk uygulanan numunenin nüfuziyet derinliğinde % 24'lük artış gözlenirken, 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede %11 azalma meydana gelmiştir. 12 lt/dk ve 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerin nüfuziyet derinlikleri birbirine çok yakın olarak elde edilmiştir. Ortalama nüfuziyet derinliği 2.05 mm olarak hesaplanmış ve en yakın nüfuziyet derinliği 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 2.04 mm olarak elde edilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise 0.5 mm lehim aralığı bırakılmasına rağmen 14 lt/dk ve 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde lehim nüfuziyet derinliği sağlanamamıştır. En yüksek nüfuziyet derinliği 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 0.88 mm, en düşük nüfuziyet derinliği ise 8 lt/dk gaz debisi uygulanan

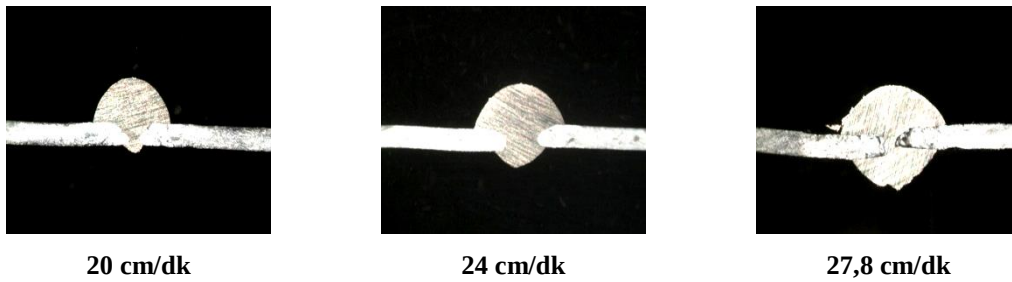
numunede 0.63 mm olarak elde edilmiştir. Ortalama lehim nüfuziyet derinliği 0.75 mm olarak hesaplanmıştır. Ortalama değere en yakın 10 lt/dk ve 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde sırasıyla 0.79 mm ve 0.71 mm olarak elde edilmiştir.

6.1.3.3. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi

MIG-lehimleme yöntemi ile farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak birleştirilen IF çelik saclarının makro fotoğrafları çekilmiştir. Bütün makro görüntülerde Şekil 5.8.'de gösterildiği gibi lehim ergime genişliği (w), lehim dikiş yüksekliği (h), lehim nüfuziyet derinliği (d) ve lehim ıslatma açısı (θ) değerleri kaydedilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının 60 A akım şiddeti ve 12 lt/dk lehim gaz debisi, galvanizli 1315 IF çelik sacının ise 55 A akım şiddeti ve 10 lt/dk lehim gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunelerin makro görüntüleri Şekil 6.31. ve 6.32.'de gösterildiği gibidir.

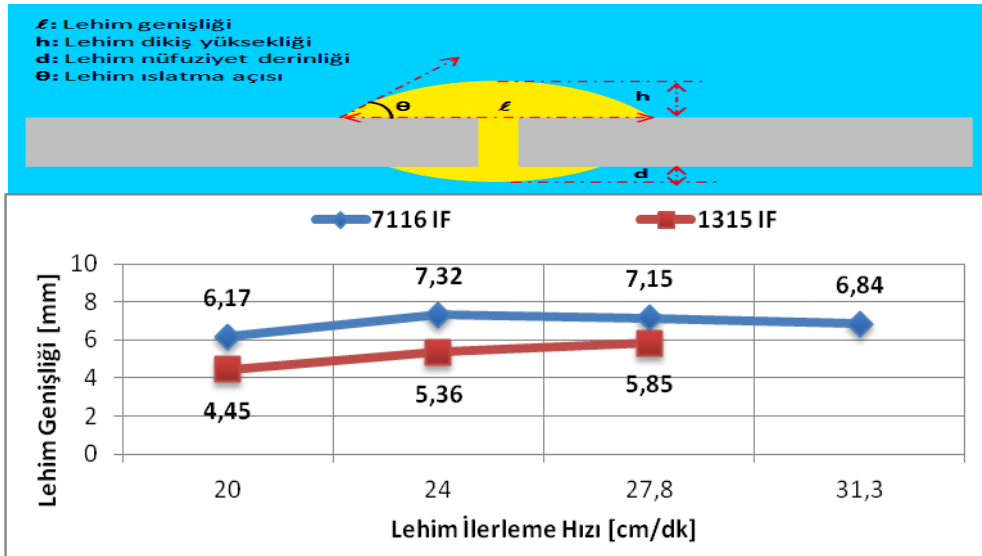


Şekil 6.32. Galvanizsiz 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak birleştirilen makro görüntüleri



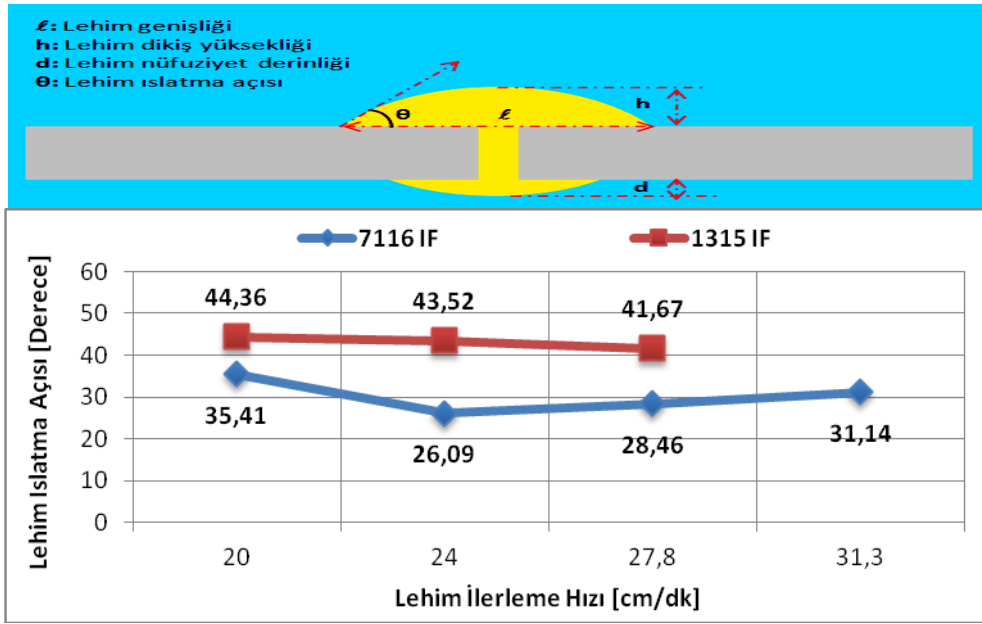
Şekil 6.33. Galvanizli 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak birleştirilen makro görüntüleri

Şekil 6.32. ve 6.33.'deki görüntüleri incelediğimizde hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çelik saclarında lehim ilerleme hızı azaldıkça lehim nüfuziyet derinliğinin arttığı görülmüştür.



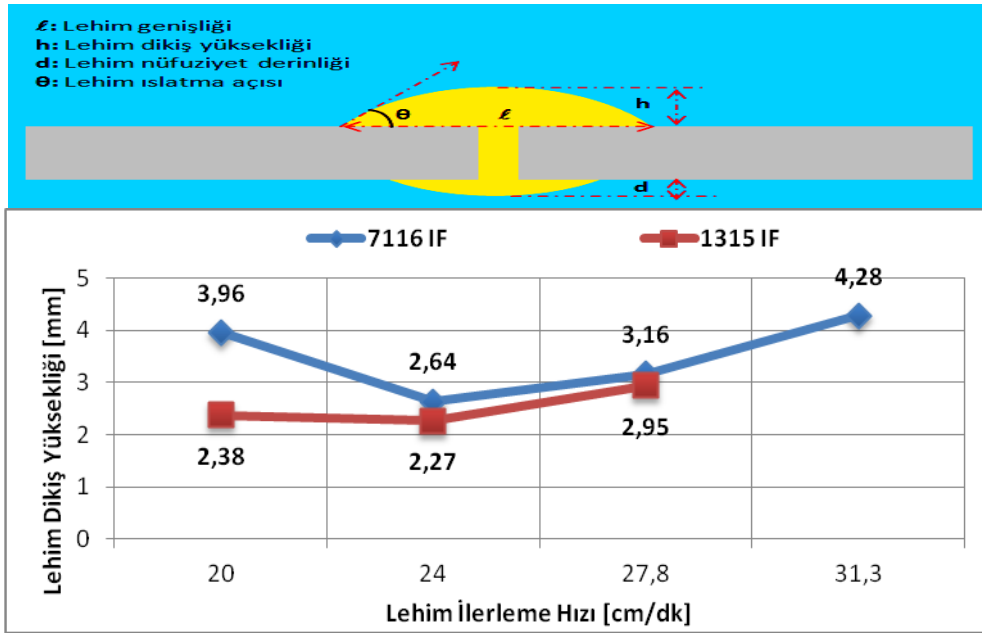
Şekil 6.34. Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF çelik saclarının lehim ergime genişliği

Şekil 6.34.'de gösterildiği gibi lehim ilerleme hızının azalması lehim ergime genişliğinde artışa sebep olmuştur. Hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çelik saclarında ilerleme hızının azalması numunelere etki eden ısı girdisinde azalmasına sebep olmuştur. Örneğin galvanizsiz 7116 IF çelik sacına 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanırken numuneye etki eden ısı girdisi 1412 J/cm iken ve elde edilen lehim ergime genişliği 7.32 mm olarak kaydedilmiş, ilerleme hızının 31.3 cm/dk olarak uygulanmasıyla birlikte numuneye etki eden ısı girdisi 1082 J/cm de elde edilen lehim ergime genişliği 6.84 mm olarak kaydedilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi numunelere uygulanan yaklaşık 350 J/cm ısı girdisinin lehim ergime genişliklerine 0.5 mm etkisinin olduğunu söyleyebiliriz. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının ortalama ergime genişliği 6.87 mm olarak hesaplanmıştır. Ortalama değere en yakın değer 31.3 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede 6.84 mm olarak kaydedilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise en yüksek ergime genişliği 27.8 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 5.85 mm olarak elde edilmiştir. En düşük ergime genişliği ise 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 4.45 mm olarak elde edilmiştir. Ortalama ergime genişliği ise 5.22 mm olarak hesaplanmış ve 24 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numune ortalama değere en yakın sonuç elde edilmiştir.



Şekil 6.35. Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF çelik saclarının lehim ıslatma açısı

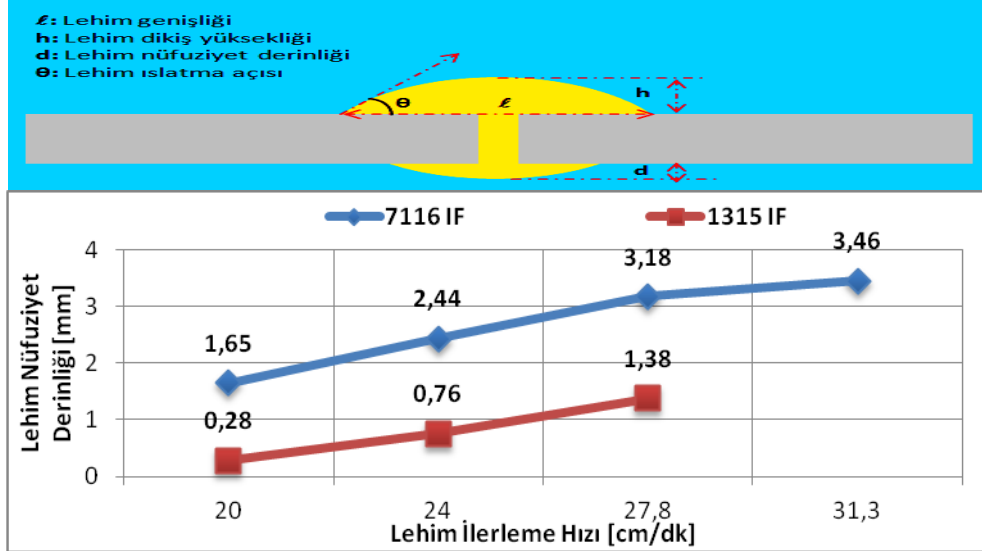
Şekil 6.35.'de gösterildiği gibi lehim ilerleme hızının lehim ıslatma açısı değerlerinde fazla bir etkisinin olmadığını söyleyebiliriz. Örneğin galvanizli 1315 IF çelik sacında 20 cm/dk ilerleme hızında 44.36 derece ıslatma açısı elde edilirken, 24 cm/dk lehim ilerleme hızında 43.52 derece ıslatma açısı değeri elde edilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi yaklaşık 4 cm/dk lehim ilerleme hızının azalması, ıslatma açısı değerlerine 0.5 - 1 derece arasında etkisinin olduğu görülmektedir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ise 24 cm/dk ilerleme hızında en düşük ıslatma açısı değerliği elde edilmiştir. Şekil 6.35.'deki grafiğe göre 24 cm/dk ilerleme hızından sonra lehim ilerleme hızının artması veya azalması ıslatma açısı değerlerinde artışa sebep olmuştur. Burada 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunenin ıslatma açısının 35.41 derece gibi ortalama ıslatma açısı değerinden çok fazla çıkması, bu numunede nüfuziyet derinliğinin çok az sağlanmasından dolayı ergimiş metalde yığılma meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ortalama ıslatma açısı değeri 30.27 derece olarak hesaplanmıştır. Ortalama değere en yakın sonuçlar 27.8 cm/dk ve 31.3 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede sırasıyla 28.46 mm ve 31.14 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.36. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF çelik saclarının lehim dikiş yüksekliği

Şekil 6.36.'de gösterildiği gibi lehim ilerleme hızının azalması lehim dikiş yüksekliğinde genellikle artışa sebep olmuştur. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında en yüksek lehim dikiş yüksekliği 31.3 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 4.28 mm olarak elde edilmiş, en düşük lehim dikiş yüksekliği ise 24 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 2.64 mm olarak elde edilmiştir. Lehim ilerleme hızının 24 cm/dk dan 20 cm/dk artırılmasıyla birlikte lehim dikiş yüksekliğinde % 50 artış görülmüş ve lehim dikiş yüksekliği 2.64 mm den 3.96 mm olarak ölçülmüştür. Bunun sebeplerinden birinin, 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede nüfuziyet derinliğinin tam olarak sağlanamamasından dolayı ergimiş metalin yüzeyde yığılmasıyla birlikte dikiş yüksekliğinde artışa sebep olmasından kaynaklanmaktadır. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise en yüksek lehim dikiş yüksekliği 27.8 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 2.95 mm, en düşük lehim dikiş yüksekliği ise 24 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 2.27 mm olarak ölçülmüştür. 20 cm/dk ve 24 cm/dk ilerleme hızlarında elde edilen lehim dikiş yüksekliklerinde fazla bir değişiklik görülmemektedir. Fakat 24 cm/dk ilerleme hızından 27.8 cm/dk ilerleme hızına geçişte lehim dikiş yüksekliğinde yaklaşık %30 artış meydana gelmiş ve lehim dikiş yüksekliği 2.95 mm olarak ölçülmüştür. Ortalama lehim dikiş yüksekliklerine baktığımızda galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için 3.51 mm olarak hesaplanmış ve en

yakın sonuç 27.8 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 3.16 mm, galvanizli 1315 IF çelik sacında ise 2.25 mm olarak hesaplanmış ve en yakın sonuç 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede 2.27 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.37. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF çelik saclarının lehim nüfuziyet derinliği

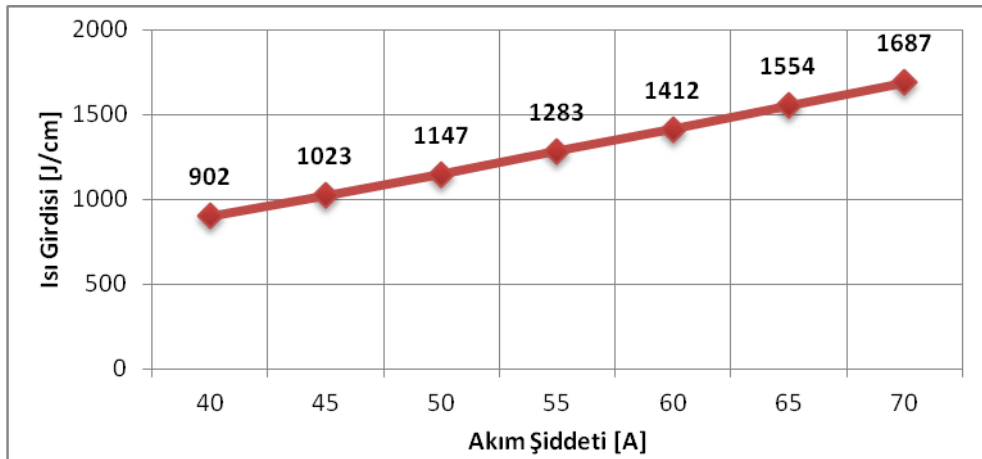
Şekil 6.37.'de gösterildiği gibi lehim ilerleme hızının azalmasıyla birlikte lehim nüfuziyet derinliklerinde artış meydana gelmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında en yüksek nüfuziyet derinliği 31.3 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 3.46 mm, en düşük nüfuziyet derinliği ise 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 1.65 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 3.35'de gösterildiği gibi galvanizsiz 7116 IF çelik sacının makro görüntüleri incelendiğinde 24 cm/dk, 27.8 cm/dk ve 31.3 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunelerin lehim dikiş yükseklikleri ile lehim nüfuziyet değerlikleri birbirine çok yakın olarak kaydedilmiştir. Örneğin 24 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunenin lehim dikiş yüksekliği 2.64 mm, lehim nüfuziyet derinliği ise 2.44 mm olarak ölçülmüştür. Farklı ilerleme hızların da birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacının, lehim nüfuziyet derinliği ve lehim dikiş yüksekliği oranlarını incelediğimizde 20 cm/dk ilerleme hızında 4/10, 24 cm/dk ilerleme hızında 9/10, 27.8 cm/dk ilerleme hızında 11/10 ve 31.3 cm/dk ilerleme hızında 8/10 olarak hesaplanmıştır. Buradan da görüldüğü gibi 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede lehim nüfuziyet derinliğinin, lehim dikiş yüksekliğinden fazla olduğu görülmektedir. Galvanizsiz 1315 IF çelik sacında ise 20 cm/dk ilerleme hızında 0.28 mm olarak ölçülen nüfuziyet derinliği en düşük değer olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ortalama nüfuziyet derinliği 0.80 olarak hesaplanmış ve en yakın sonuç 24 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 0.76 olarak elde edilmiştir.

6.1.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

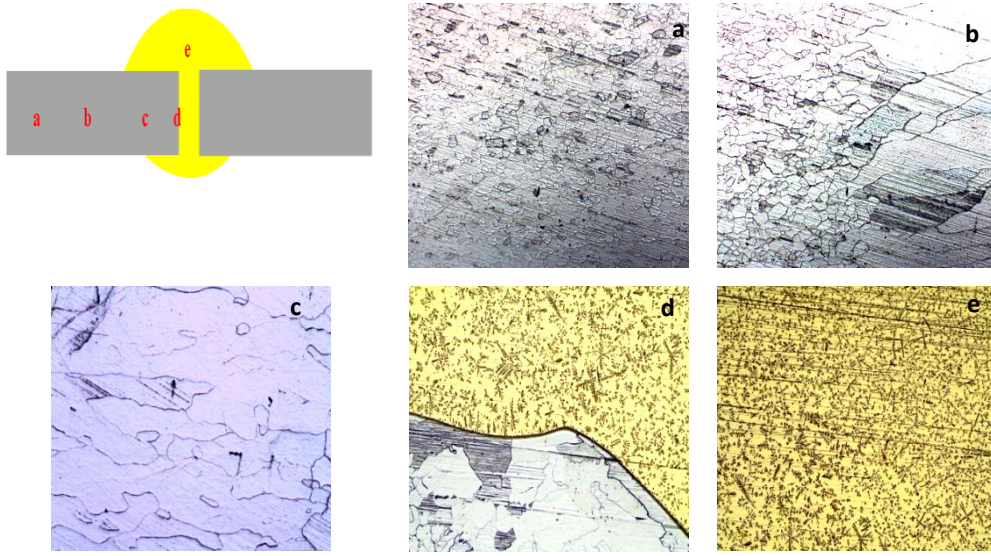
6.1.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim akım şiddetlerinde MIG-lehimleme operasyonu gerçekleştirilen IF çelik saclarının ısı girdileri grafiği Şekil 6.37.'de verilmektedir. Burada akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. Mukavemet ve metalografik değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 24 cm/dk lehim ilerleme hızı kullanılarak galvanizsiz 7116 IF sacı için 60 A akım şiddetinde ısı girdisi 1412 J/cm ve galvanizli 1315 IF sacı için 55 A akım şiddetinde ısı girdisi 1283 J/cm olmuştur.

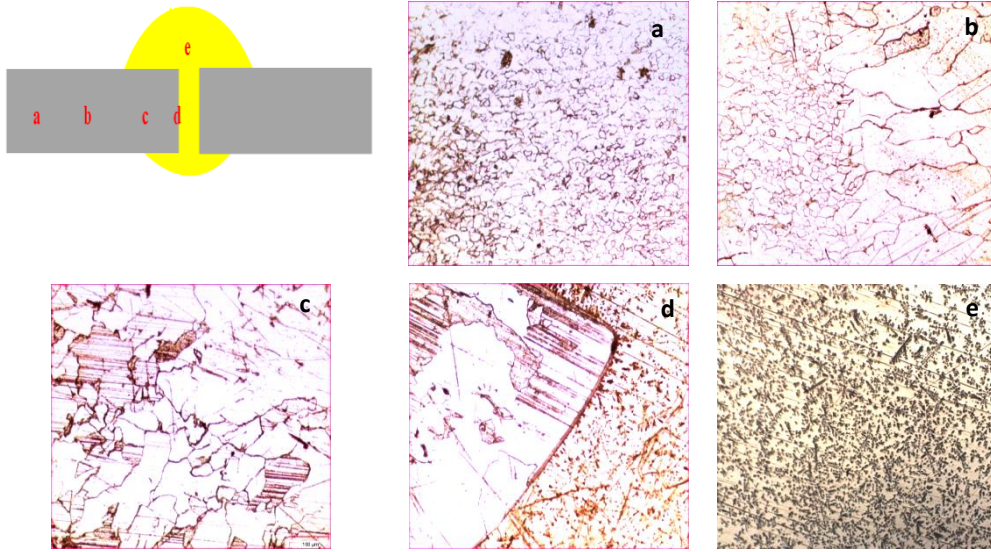


Şekil 6.38. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde ısı girdileri grafiği

MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen IF çelik saclarının mikroyapıları incelenirken Şekil 6.39. ve 6.40.'da gösterildiği gibi mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Burada 'a' bölgesi esas metal yani ince taneli bölge, 'b' bölgesi esas metal-ITAB geçiş bölgesi yani ince taneli bölgeden iri taneli bölgeye geçiş, 'c' bölgesi ITAB bölgesi yani iri taneli bölge, 'd' bölgesi ITAB- lehim bölgesine geçiş ve 'e' bölgesi lehim bölgesi olarak gösterilmiştir.

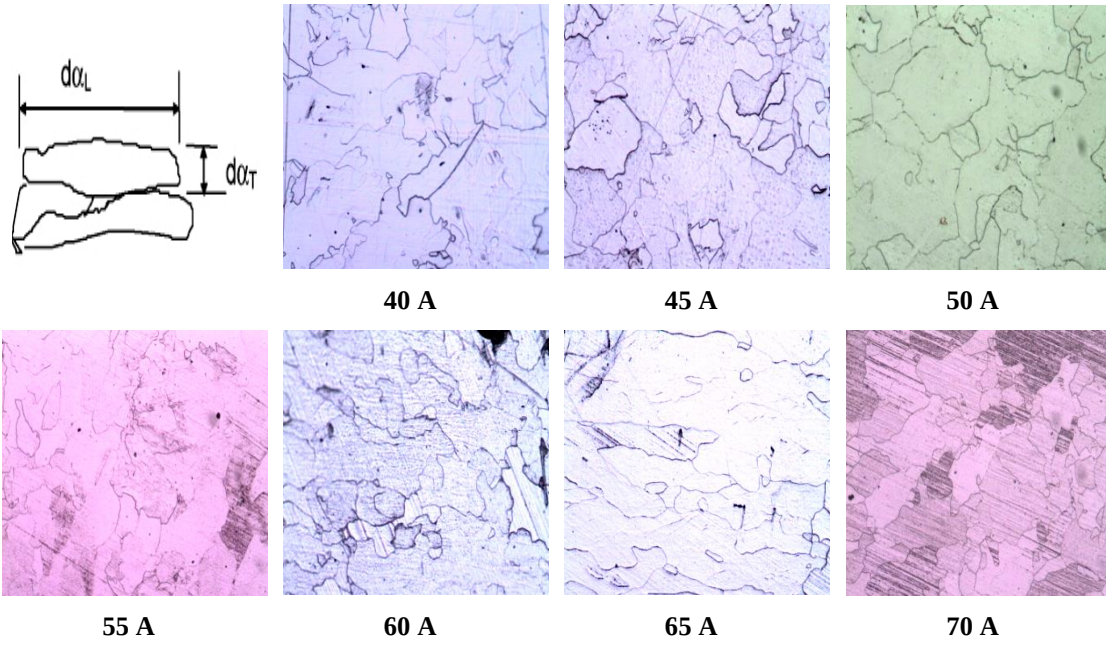


Şekil 6.39. Alın birleştirmedeki Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının 60 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

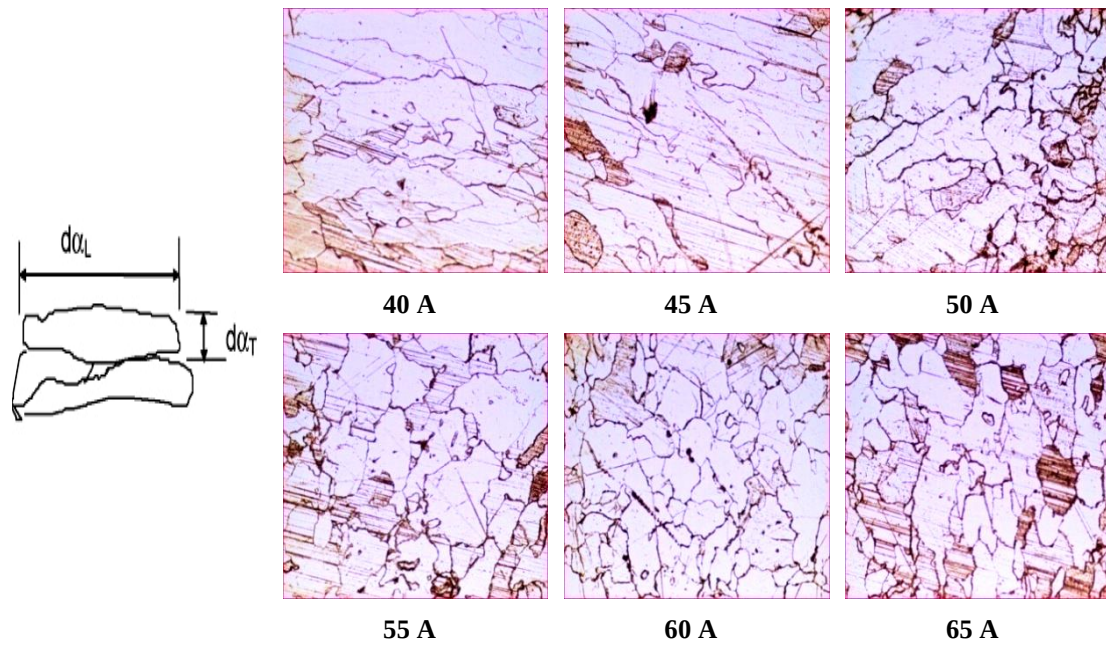


Şekil 6.40. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının 55 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

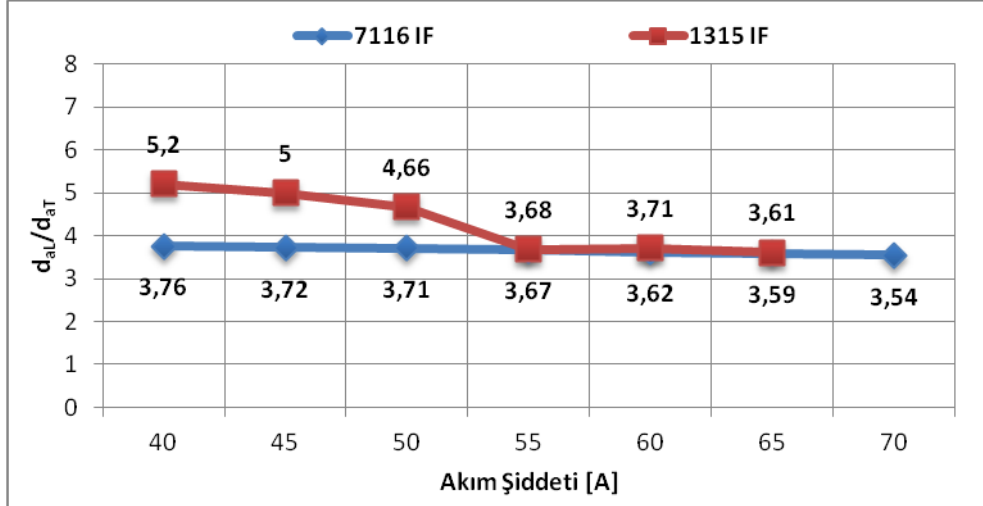
Mikroyapılar incelenirken artan akım şiddetiyle birlikte IF çeliklerine etki eden ısı girdisinin Şekil 6.41. ve 6.42.'de gösterildiği gibi, ITAB bölgesinde ferrit tane boyutlarının enine (d_{aT}) ve boyuna (d_{aL}) oranları ve lehim bölgesindeki dendritlerinin yoğunluğu incelenmiştir.



Şekil 6.41. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri



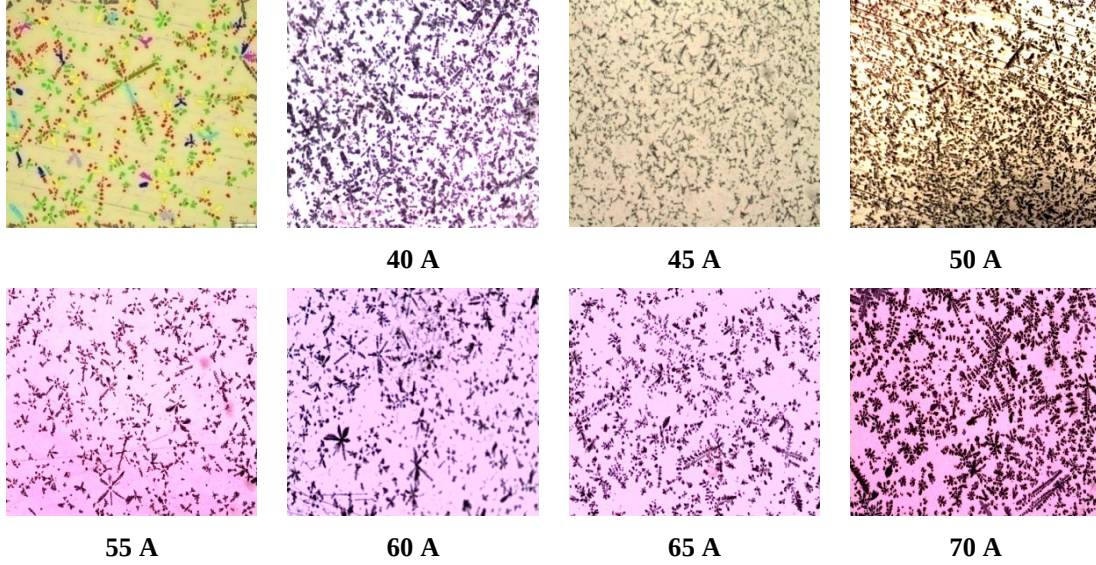
Şekil 6.42. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri



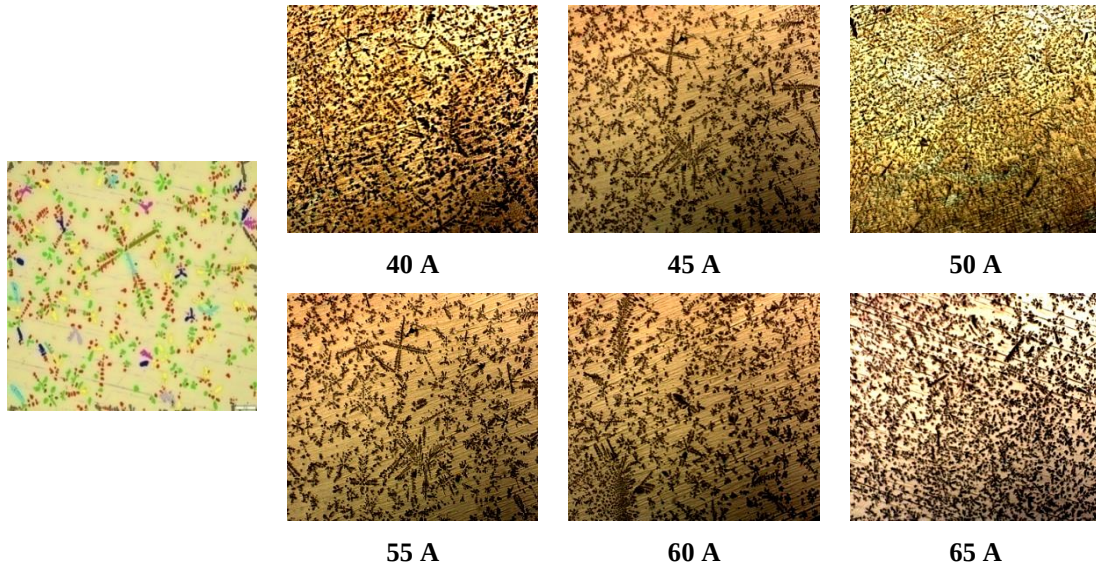
Şekil 6.43. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen IF çelik saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin d_{aL}/d_{aT} oranı

Şekil 6.41. ve 6.42.'deki mikroyapı görüntüleri ve Şekil 6.43.'deki grafik incelendiğinde artan akım şiddeti ile birlikte ısı girdisi artmakta ve malzemelerin üzerine uygulanan ısıdan dolayı ITAB bölgesinde tanelerin boylarının (d_{aL}) enine (d_{aT}) oranı azalmaktadır. Yani malzemelere uygulanan ısı girdisi oranı arttıkça ITAB bölgesinde daha ince taneli bir yapı gözlemlenmiştir. Galvanizli 1315 IF ve galvanizsiz 7116 IF çelik saclarında 55 amper akım şiddetinde yani 1283 J/cm ısı girdisi uygulanarak birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki tanelerin d_{aL}/d_{aT} oranları birbirine çok yakın değerler olarak kaydedilmiştir. 40 amper akım şiddetinde galvanizli 1315 IF çelik sacındaki numunenin boyu (d_{aL}) 650 μm , eni (d_{aT}) 125 μm olarak ölçülmüş ve d_{aL}/d_{aT} oranı 5.2 olarak en yüksek değeri vermiştir. 1315 IF çelik sacında 1283 J/cm ısı girdisinden sonra yani 55 amper akım şiddeti uygulanan numuneden sonra artan ısı girdisi ile birlikte numunelerin d_{aL}/d_{aT} oranlarında fazla bir değişiklik olmamıştır. Galvanizli 1315 IF sacında ısı girdisinin artmasıyla birlikte ITAB bölgesinde meydana gelen lamel görünümlü tanelerin yerini daha küresel taneli yapıların aldığı görülmüştür. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının d_{aL}/d_{aT} oranlarındaki değişim çok küçük katsayılarla değişiklik göstermiştir. 7116 IF çelik sacında en yüksek d_{aL}/d_{aT} oranı 40 amper akım şiddeti 902 J/cm ısı girdisi uygulanan numunede 3.76 olarak kaydedilmiştir. En düşük d_{aL}/d_{aT} oranı ise 70 amper akım şiddeti 1687 J/cm ısı girdisi uygulanan numunede 3.54 olarak kaydedilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının, galvanizli 1315 IF çelik sacına göre ITAB bölgesinde daha ince ve küresel bir tane yapısına sahip olduğu görülmüştür.

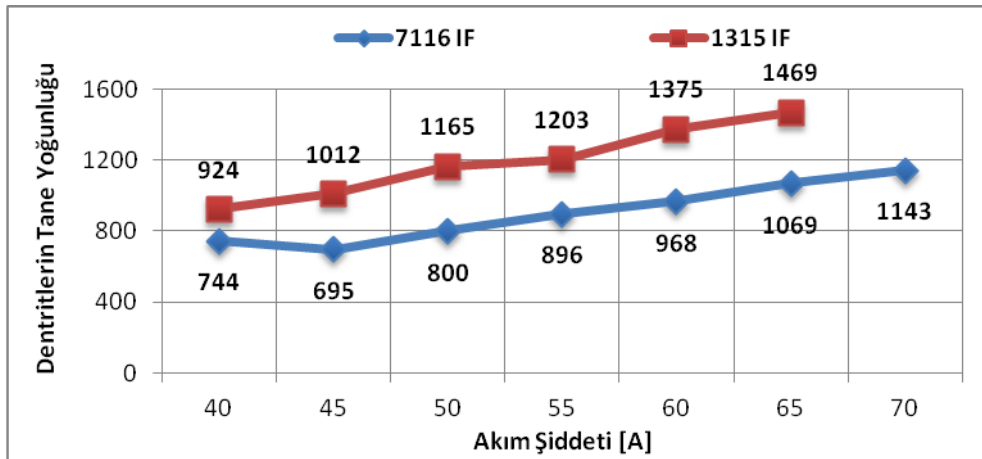
Galvanizsiz 7116 IF çelik saclarına farklı akım şiddetleri uygulanmasından dolayı numunelere farklı ısı girdileri etkilemiş ve Şekil 6.44. ve 6.45.'de gösterildiği gibi lehim bölgesinde oluşan siyah dendritik yapılar meydana gelmiştir. Hem SEM-EDS analizi hem de XRD analizi sonuçlarına göre bu siyah dendritik yapıların Cu-Al alaşımlı dendritik yapılar olduğu tespit edilmiştir. Mikroyapılar incelenirken Cu-Al alaşımlı dendritik yapıların yoğunlukları incelenmiştir.



Şekil 6.44. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.45. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

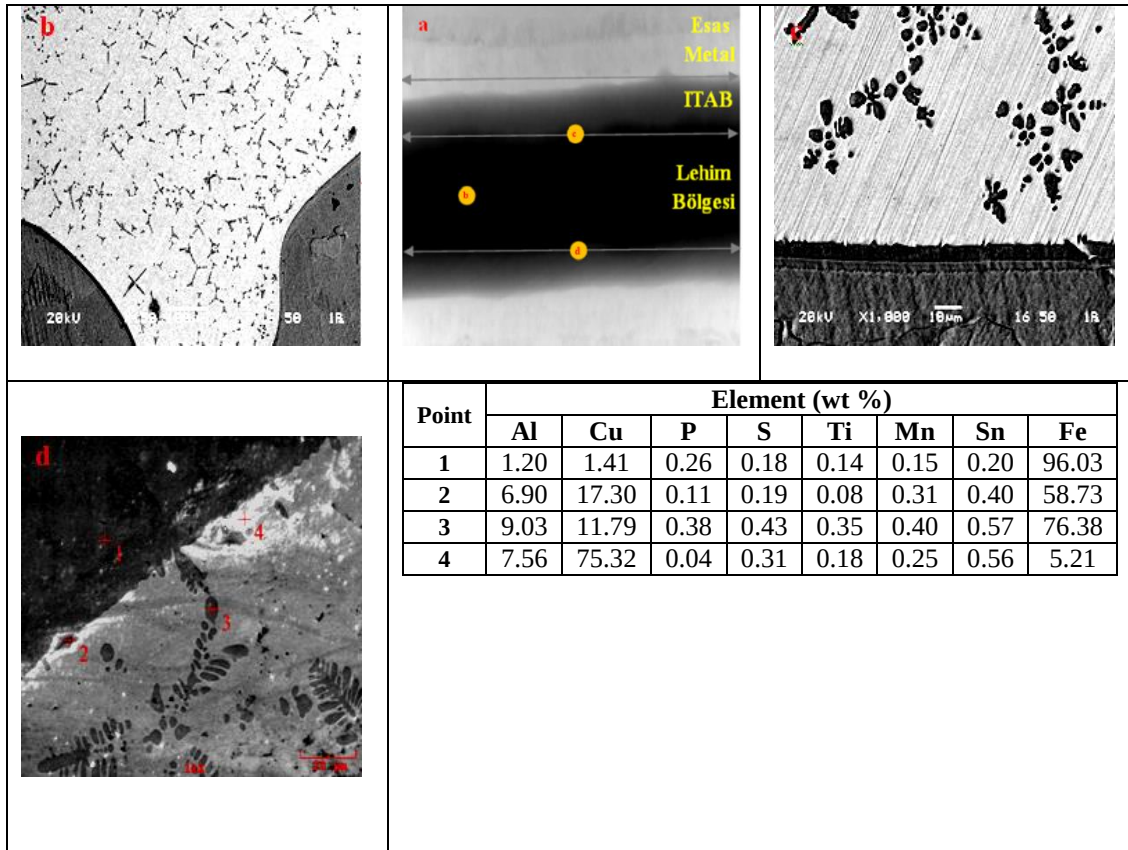


Şekil 6.46. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen IF saclarının dendritlerinin tane yoğunluğu

Galvanizli 1315 IF ve galvanizsiz 7116 IF çelik saclarının lehim bölgesindeki Cu-Al alaşımlı dendritlerinin yoğunluğu incelenirken her bir renk çeşidi için 20 μm oranları artırılarak ölçümler alınmıştır. Burada kırmızı renkle gösterilen en küçük boyutlardaki (0-20 μm) ve buz mavisi rengi ise en yüksek boyutlardaki (80-100 μm) Cu-Al alaşımlı dendritlerini göstermektedir. Şekil 6.46. incelendiğinde artan ısı girdisi ile birlikte Cu-Al alaşımlı dendritlerinin yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Burada galvanizli 1315 IF sacında artan ısı girdisi ile Cu-Al alaşımlı dendritlerinin yoğunluğunun, galvanizsiz 7116 IF çelik sacından daha fazla olduğu görülmektedir. Örneğin 1283 J/cm de meydana gelen Cu-Al alaşımlı dendritlerinin yoğunluğu, galvanizli 1315 IF çelik sacında 1203 tane partikül sayımı yapılmışken, galvanizsiz

7116 IF sacında 896 tane partikül sayımı yapılmıştır. Fakat burada 1315 IF sacında büyük bir yoğunluğu 0-20 μm arasındaki partiküller oluştururken, yani sayısal olarak 696 adet partikül oluştururken, galvanizsiz 7116 IF sacındaki partikül sayısı 485 adet olarak hesaplanmıştır. Burada 1283 J/cm ısı girdisi uygulanarak birleştirilen 7116 IF sacındaki Cu-Al alaşımlı dendritlerinin yoğunlunun düşük çıkmasının sebebi daha büyük oranlardaki partiküllerin meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak galvanizsiz 7116 IF çelik saclarındaki Cu-Al alaşımlı dendritleri daha iri taneli partiküllere sahip olduğu tespit edilmiştir.

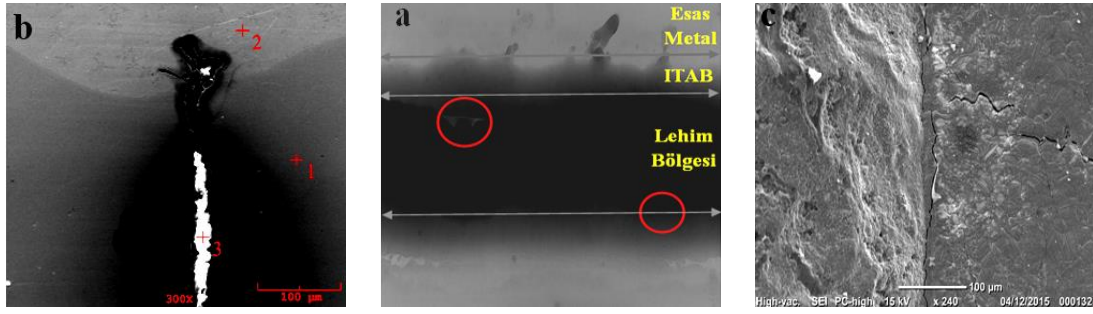
60 A akım şiddeti 1412 J/cm ısı girdisi uygulanarak MIG-lehimleme operasyonu uygulanan galvanizsiz 7116 IF çelik sac numunenin bilgisayarlı X-Ray tomografisi, SEM görüntüleri ve EDS analiz sonuçları Şekil 6.47.'da verilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik saclarının CuAl8 lehim teli kullanılarak MIG-lehimlenmesi işleminde, birleştirilecek metaller ile ilave metal arasındaki metalürjik bağın oluşumu, difüzyon adını verdiğimiz atomların transferi ile gerçekleşmiştir. Bu bağın güçlü olabilmesi için transferi kolaylaştıracak ve birleşim bölgesinde istenmeyen unsurları lehimleme yapılmadan önce esas metalin yüzeyi aseton ile tamamen temizlenerek giderilmeye çalışılmıştır. Birleştirme ara yüzey metalinde oluşan tane yapısının ise birbiri içerisine girmiş ince dendritik tanelerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.47. Alın altına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 60 A akım şiddetindeki (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b-c: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, d: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi)

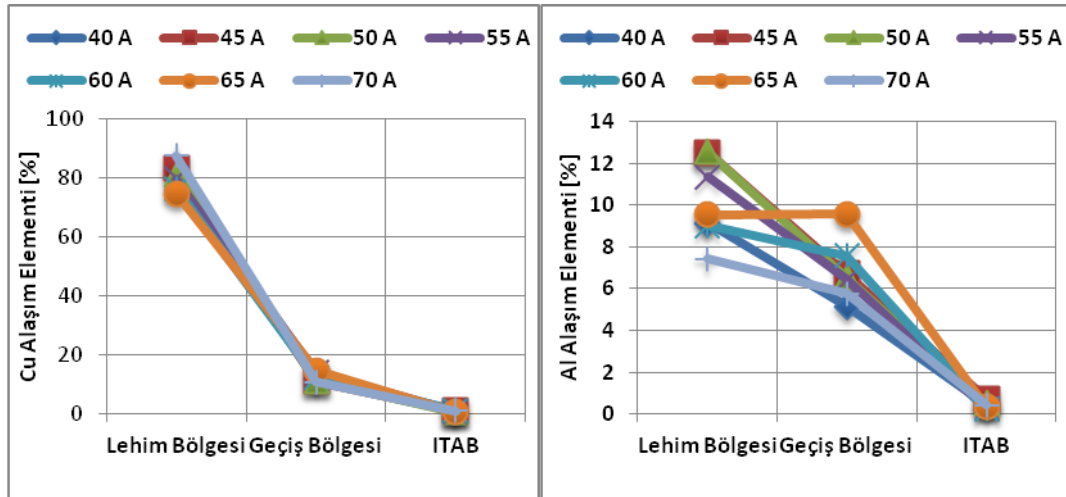
Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölgede esas metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir. 2 numaralı bölge lehim ara yüzeyini göstermekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini ifade etmektedir. 3 numaralı bölgede ise bakır ve alüminyumca zengin dendrit yapısı görülmektedir. 4 numaralı bölgede ise lehim telinin spektro analiz değerlerinin özelliklerini içeren yapı görülmektedir.

Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik saclarının CuAl8 lehim teli kullanılarak MIG-lehimleme sonrası malzemelerin içyapısında boşluklar veya yoğunluk dağılımındaki farklılıkların görüntülenmesi için, bütün numunelere bilgisayarlı X-Ray tomografileri çekilmiştir. X-Ray tomografi incelemesi sonrası 55 A akım şiddeti uygulanan numuneye kadar Şekil 6.48. (a)'de gösterildiği gibi lehim ara yüzeyine yakın bölgelerde boşlukların meydana geldiği tespit edilmiştir. Lehim bölgesinde ve lehim ara yüzeyinde kapsamlı olarak yapılan SEM incelemesinde Şekil 6.48. (b-c)'de gösterildiği gibi yırtıkların ve yabancı partiküllere rastlanmıştır. Yabancı partikül olarak nitelendirdiğimiz yapının EDS analizi yapıldığında karbon ve oksijen elementlerine sahip bir madde olduğu tespit edilmiştir.



Point	Element (wt %)									
	C	O	Al	P	S	Ti	Mn	Fe	Cu	Sn
1	-	-	0.563	0.463	0.244	0.013	0.259	97.763	0.634	0.061
2	-	-	11.025	0.366	0.070	0.143	0.009	4.602	83.000	0.369
3	49.096	41.852	0.094	0.241	0.258	0.167	0.630	3.129	0.708	0.825

Şekil 6.48. Alın alına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 40 A akım şiddetindeki (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim ara yüzeyi SEM-EDS analizi, c: Lehim ara yüzeyi SEM görüntüsü)

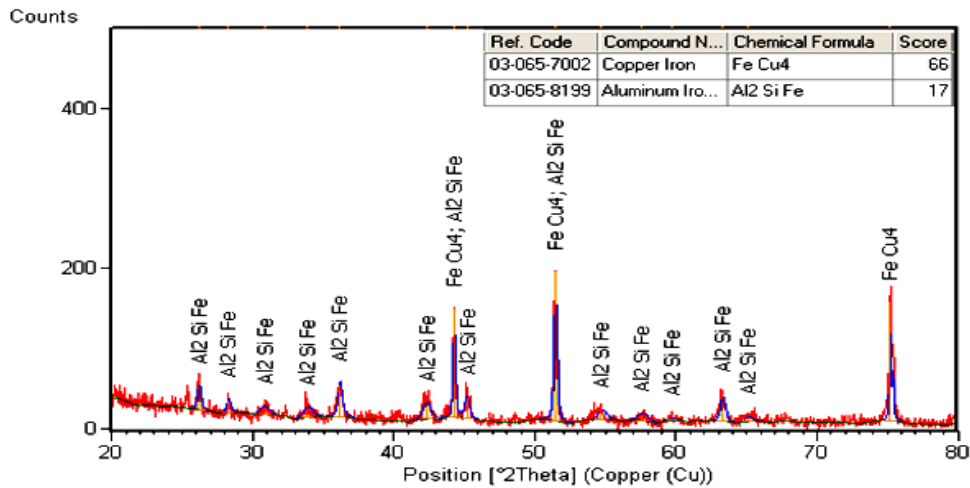


Şekil 6.49. Alın birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde alın geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizsiz 7116 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 20 µm mesafede bakır ve alüminyum alaşım elementlerinin difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 85 Cu elementi içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe %10 civarında Cu alaşım elementinin difüze olduğu tespit edilmiştir. Akım şiddetinin artması Cu alaşım elementinin difüzyonunda artışa sebep olmuştur. Geçiş bölgesinde Cu alaşım

elementinin en yüksek difüzyonu 65 A akım şiddeti içeren numunede %14 olarak gerçekleşmiştir. Geçiş bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe Cu alaşım elementinin difüzyonunun artan akım şiddeti ile birlikte yine arttığı görülmektedir. Al alaşım elementinin artan akım şiddeti ile birlikte Cu alaşım elementine göre daha az difüze olduğu tespit edilmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 10.5 civarında alüminyum içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe ortalama % 5 civarında Al alaşım elementinin difüzyona uğradığı tespit edilmiştir. Artan akım şiddeti ile birlikte Al alaşım elementinin difüzyonunda genel olarak düşüş olduğu görülmektedir. Geçiş bölgesindeki en yüksek difüzyonun Cu alaşım elementinde olduğu gibi 65 A akım şiddetinde birleştirilen numunede kaydedilmiştir. Genel olarak Cu ve Al alaşım elementlerine ilaveten, mangan, titanyum ve demir oranlarının da bölgelere göre dağılımlarına bakıldığında mangan ve titanyum oranlarının CuAl8 lehim teli tarafına doğru gidildikçe arttığı, demir oranının ise tam aksine azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere birleşme şeklinin atomsal difüzyon şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu elementlerin konsantrasyonlarındaki artma ve azalma; sertlikteki değişimin temel kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir.

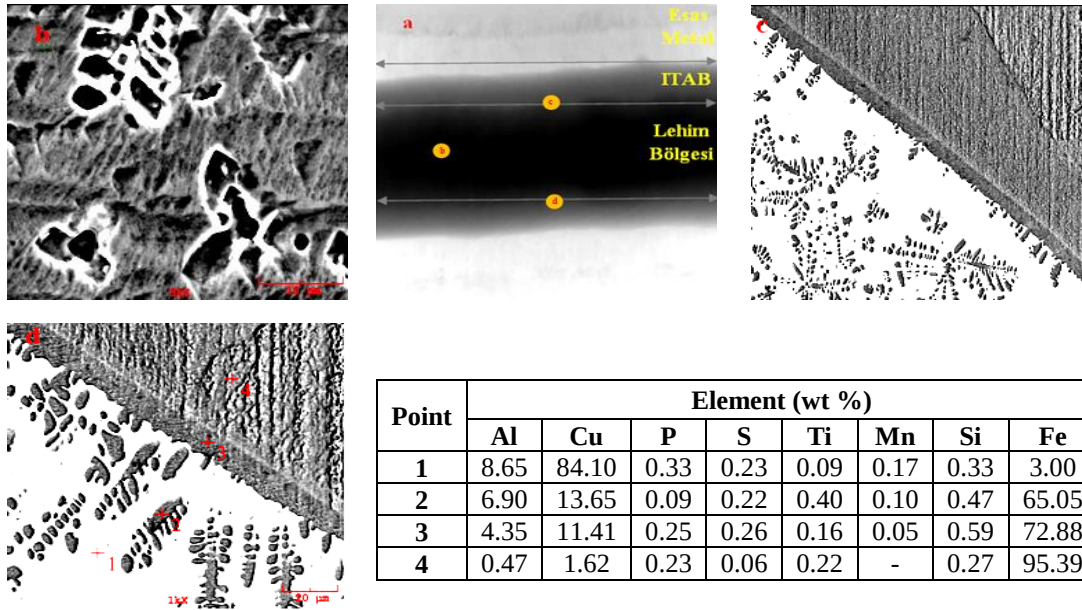
X-ray tüp; Cu LFF olan XRD cihazında 40 mA ve 45 kV şartları altında, 2θ $20^0 - 80^0$ arasında galvanizsiz 7116 IF sacının 60 A akım şiddetindeki XRD analiz sonucu ait grafikler Şekil 6.50.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.50. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 60 A akım şiddetlerindeki XRD analizi

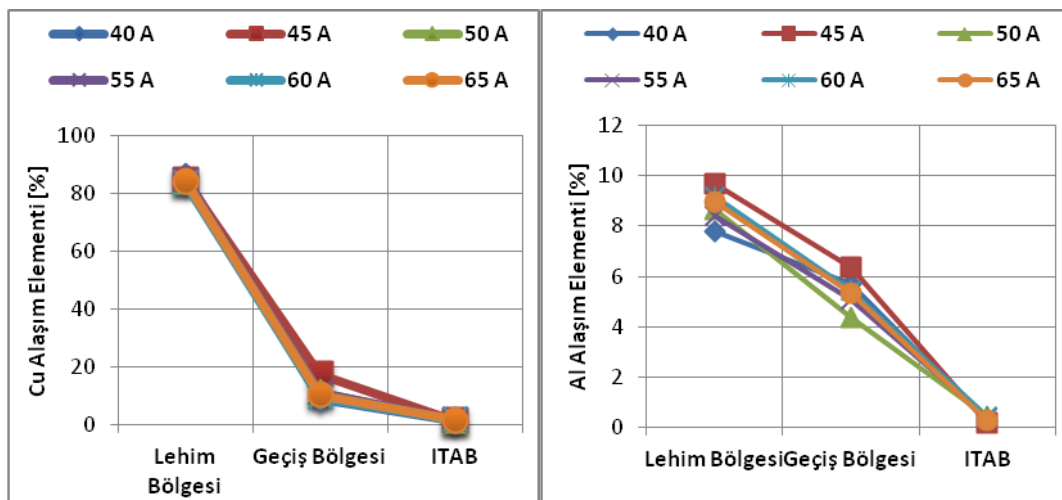
Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı akım şiddetlerinde MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinden sonra elde edilen XRD analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak Al_2SiFe ve FeCu_4 intermetalik bileşikler gözlemlenmiştir. A. Gavrilovic ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$ amorf faz yapısına sahip bileşiğin ilk kristalleşmesi sırasında 600°C 'de FeCu_4 intermetalik bileşiğinin oluştuğunu ve malzemenin mekanik özelliklerini artırdığı gözlemlenmiştir [79]. Ayrıca, FeCu_4 intermetalik bileşiğin yeniden kristalleşmesi sonrası kübik kristal yapıya sahip olduğu ve kafes parametresinin [$\text{\AA}$] a: 3.618 tespit etmişlerdir. Honore Kamguo Kamga yapmış olduğu araştırmada Al-Cu-Fe faz sisteminde $\text{Al}_6(\text{CuFe})$ bileşiğinin yeniden katılaşması sonrasında $\text{Al}_{23}\text{CuFe}_4$ and $\alpha(\text{FeCu})$ intermetalik bileşiklerin oluştuğunu gözlemlenmiştir ve malzemenin yapısının daha kararlı hale geldiğini tespit etmişlerdir [80]. Bu çalışmada da CuAl_8 lehim alaşımının yeniden kristalleşmesi sonucu ortaya çıkan intermetalik bileşiklerinin, özellikle malzemenin sertliğinde etkileri açıkça görülmektedir. Çünkü lehim alaşımının sertliği 110 HV, esas metalin sertliği 160 HV olmasına rağmen, özellikle lehim-ITAB geçiş bölgesinde yani lehim ara yüzeyinde ortalama 195 HV sertlik elde edilmiştir.

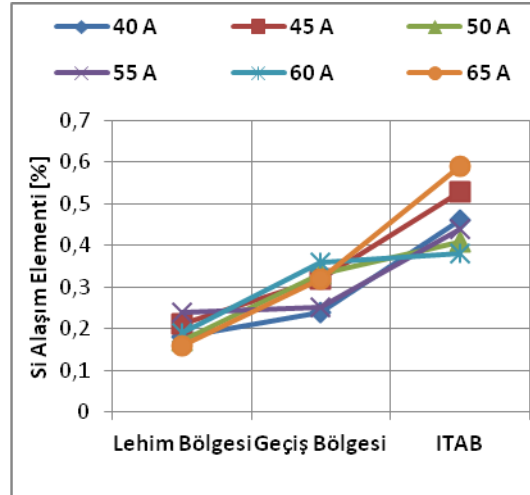
55 A akım şiddeti 1283 J/cm ısı girdisi uygulanarak MIG-lehimleme operasyonu uygulanan galvanizli 1315 IF çelik sac numunenin bilgisayarlı X-Ray tomografisi, SEM görüntüleri ve lehim teli olarak kullanılan CuAl_8 alaşımdan düşük karbonlu galvanizli 1315 IF çelik yapıya gerçekleşen difüzyonu belirlemek için yapılan EDS analiz ölçümleri Şekil 6.51.'de verilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik saclarının CuAl_8 lehim teli kullanılarak MIG-lehimlenmesi işleminde, galvanizsiz 7116 IF çeliğinde olduğu gibi esas metal ile ilave metal arasındaki metalürjik bağın oluşumu atomların transferi ile gerçekleşmiştir. Birleştirme ara yüzey metalinde oluşan tane yapısının ise birbiri içerisine girmiş ince dendritik tanelerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.51. Alın altına geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 55 A akım şiddetindeki (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim bölgesi SEM görüntüsü, c: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, d: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi)

Galvanizli 1315 IF çelik sacının EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölgede CuAl8 lehim telinin kimyasal kompozisyonunu içerdiği bölgedir. 2 numaralı bölge bakır ve alüminyumca zengin dendritik yapının oluştuğu bölgedir. 3 numaralı bölge lehim ara yüzeyini ifade etmektedir ve bakır ve alüminyum elementlerinin esas metal yönüne doğru atomsal transferleri gerçekleşmiştir. 4 numaralı bölge ise esas metal olarak ifade ettiğimiz bölgedir ve galvanizli 1315 IF çelik sacının spektro analiz sonuçlarına yakın değerler kaydedilmiştir.



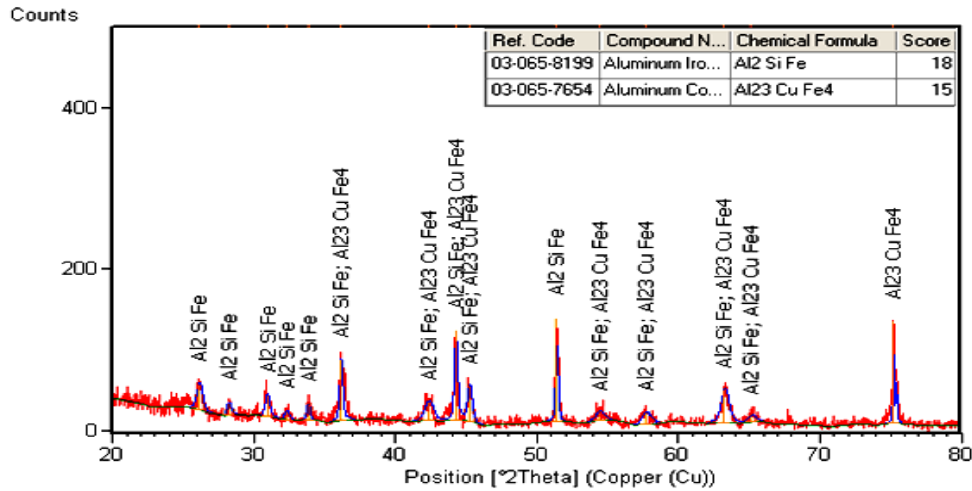


Şekil 6.52. Alın birleştirmedeki Farklı akım şiddetlerinde alın geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizli 1315 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 30 μm mesafede bakırın difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 84 Cu elementi içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe % 9 civarında Cu alaşım elementinin difüze olduğu tespit edilmiştir. Akım şiddetinin artması Cu alaşım elementinin difüzyonunda artışa sebep olmuştur. Geçiş bölgesinde Cu alaşım elementinde en yüksek difüzyon 45 A akım şiddeti içeren numunede %17 olarak gerçekleşmiştir. Geçiş bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe Cu alaşım elementinin difüzyonunun artan akım şiddeti ile birlikte yine arttığı görülmektedir. ITAB bölgesinde en yüksek Cu oranı 60 A akım şiddeti ile birleştirilen numunede % 1.92 olarak kaydedilmiştir. Al alaşım elementinde ise lehim bölgesinde ortalama % 8.5 Al içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe ortalama % 5 civarında Al alaşım elementi içerdiği tespit edilmiştir. Al alaşım elementinin artan akım şiddeti ile birlikte difüzyonunun azaldığı görülmektedir. Örneğin geçiş bölgesi diye isimlendirdiğimiz bölgede 45 A akım şiddeti uygulanan numunede % 6.37 Al içerirken, 50 A akım şiddetinde % 4.35 Al içerdiği tespit edilmiştir. ITAB bölgesinde ise artan akım şiddeti ile birlikte Al alaşım elementinin arttığı görülmektedir. Al alaşım elementinin ITAB bölgesindeki en yüksek difüzyonu % 0.47 ile 50 A akım şiddeti uygulanarak birleştirilen numunede kaydedilmiştir. Esas metal de % 0.5 silisyum içeren galvanizli 1315 IF çelik sacında artan akım şiddeti ile birlikte Si alaşım elementinin difüzyonunun arttığı gözlemlenmiştir. CuAl8 lehim teline doğru ilerledikçe Si alaşım elementinin

yüzdelik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin Şekil 6.52.'de gösterildiği gibi ITAB bölgesinde ortalama % 0.45, geçiş bölgesinde ortalama % 0.28 ve lehim bölgesinde ise ortalama % 0.15 Si alaşım elementinin olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak farklı akım şiddetlerinde birleştirilen bütün numunelerin Cu, Al ve Si alaşım elementlerine ilaveten, mangan, titanyum ve demir oranlarının da bölgelere göre dağılımlarına bakıldığında mangan ve titanyum oranlarının düşük karbon içeren galvanizli 1315 IF çelik sacı tarafına doğru gidildikçe arttığı, demir oranının ise tam aksine azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere birleşme şeklinin atomsal difüzyon şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu elementlerin konsantrasyonlarındaki artma ve azalma; sertlikteki değişimin temel kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir.

X-ray tüp; Cu LFF olan XRD cihazında 40 mA ve 45 kV şartları altında, 2θ $20^\circ - 80^\circ$ arasında galvanizli 1315 IF sacının 55 A akım şiddetindeki XRD analizi sonuçları Şekil 6.53.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.53. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 55 A akım şiddetlerindeki XRD analizi

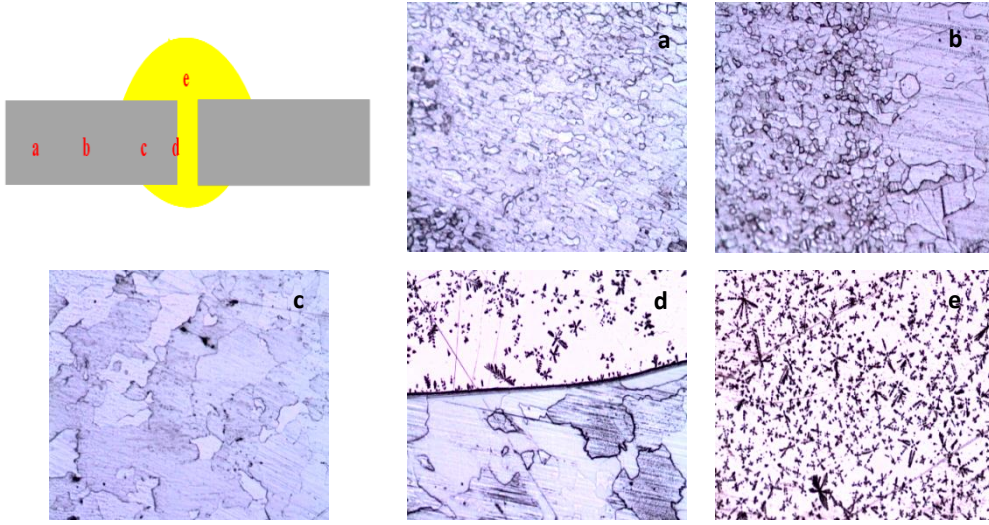
Galvanizli 1315 IF sacının 55 A akım şiddetindeki MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinden sonra elde edilen XRD analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak Al₂SiFe ve Al₂₃CuFe₄ intermetalik bileşikler gözlemlenmiştir. H. Khalid Raf ve arkadaşları sürtünme kaynağı ile birleştirilen alüminyum AA7075-T6 alaşımının

mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemişler ve birleştirme sonrası yapılan XRD analizi sonucu $\text{Al}_2\text{Cu}_2\text{Fe}$ ve $\text{Al}_{23}\text{CuFe}_4$ intermetalik bileşiklerin olduğu bu bileşiklerin mikroyapı içerisinde ikinci faz bileşikleri olarak yer aldığını tespit etmişlerdir [81]. Bu çalışmada da, CuAl8 lehim telinin yeniden kristalleşmesi sonucu meydana gelen Al_2SiFe ve $\text{Al}_{23}\text{CuFe}_4$ intermetalik bileşikler, farklı kimyasal kompozisyonlara sahip metallerin lehimlenmesinde birleşmenin mekanik özelliklerini artırmaktadır.

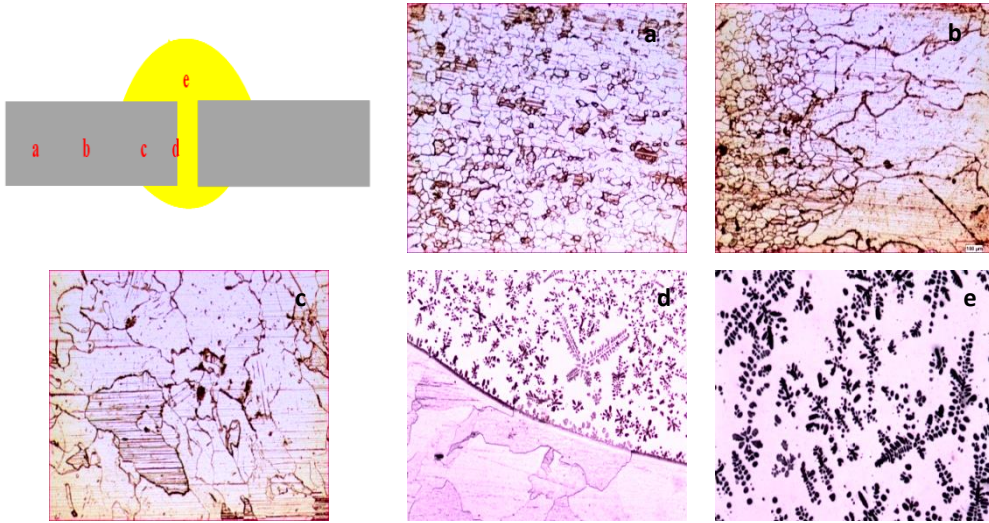
6.1.4.2. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin mekanik ve metalürjik özellikleri incelendikten sonra galvanizsiz 7116 IF çelik sacı en optimum değerlerin 60 A akım şiddeti, galvanizli 1315 IF çelik sacı için ise 55 A akım şiddetinde birleştirilen numunelerde elde edildiği uygun görülmüştür. Galvanizli ve galvanizsiz IF çelik saclarının 6 lt/dk ile 16 lt/dk farklı gaz debisi ayarlanarak birleştirilen numunelerde IF çelik saclarına etki eden ısı girdisi bütün gaz debilerinde aynıdır. Çünkü denklem 1.1 ve denklem 1.2'ye göre hesaplanan ısı girdisi formülünde gaz debisinin ısı girdisine etkisinin olmadığı görülmektedir. Burada galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için 60 A akım şiddeti, 12.1 V lehim ark gerilimi ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızında numunelere etki eden ısı girdisi 1412 J/cm olarak hesaplanmıştır. Galvanizli 1315 IF çelik sacı için ise 55 A akım şiddeti, 12 V lehim ark gerilimi ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızında numunelere etki eden ısı girdisi 1283 J/cm olarak hesaplanmıştır.

MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen IF çelik saclarının mikroyapıları incelenirken Şekil 6.53. ve 6.54.'de gösterildiği gibi mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Burada 'a' bölgesi esas metal yani ince taneli bölge, 'b' bölgesi esas metal – ITAB bölgesi geçiş yani ince taneli bölgeden iri taneli bölgeye geçiş, 'c' bölgesi ITAB bölgesi yani iri taneli bölge, 'd' bölgesi ITAB- lehim bölgesine geçiş ve 'e' bölgesi lehim bölgesi olarak gösterilmiştir.

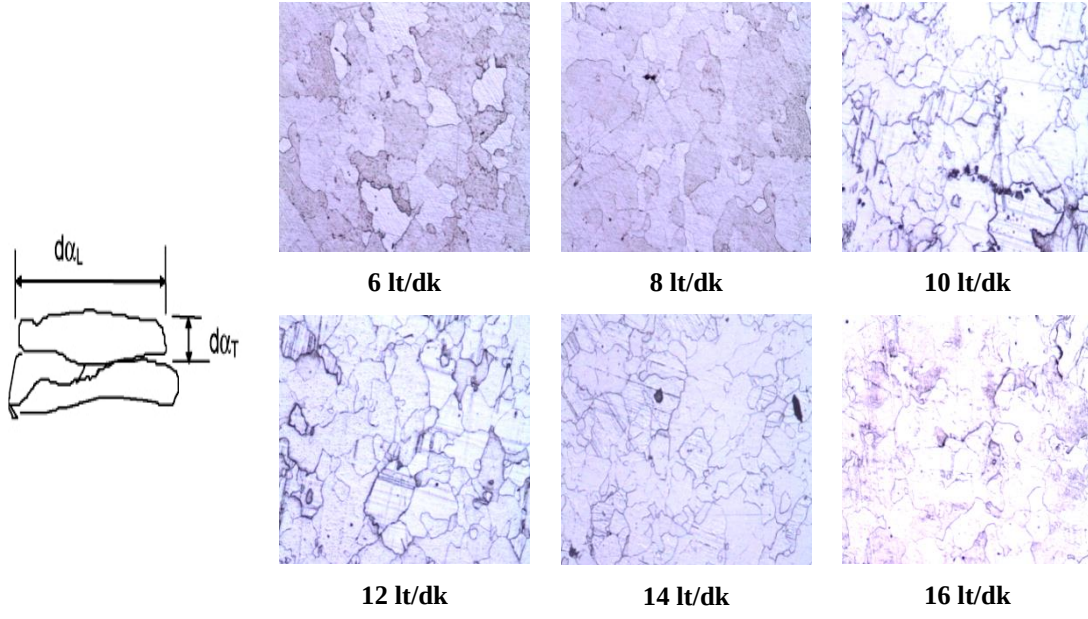


Şekil 6.54. Galvanizsiz 7116 IF sacının 12 lt/dk lehim gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

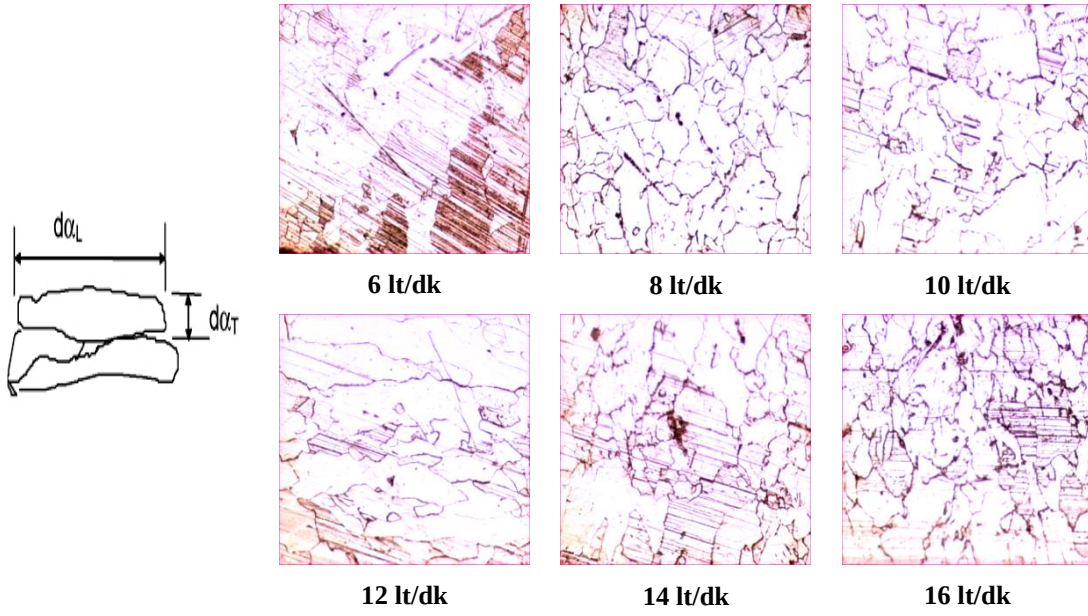


Şekil 6.55. Galvanizli 1315 IF sacının 10 lt/dk lehim gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

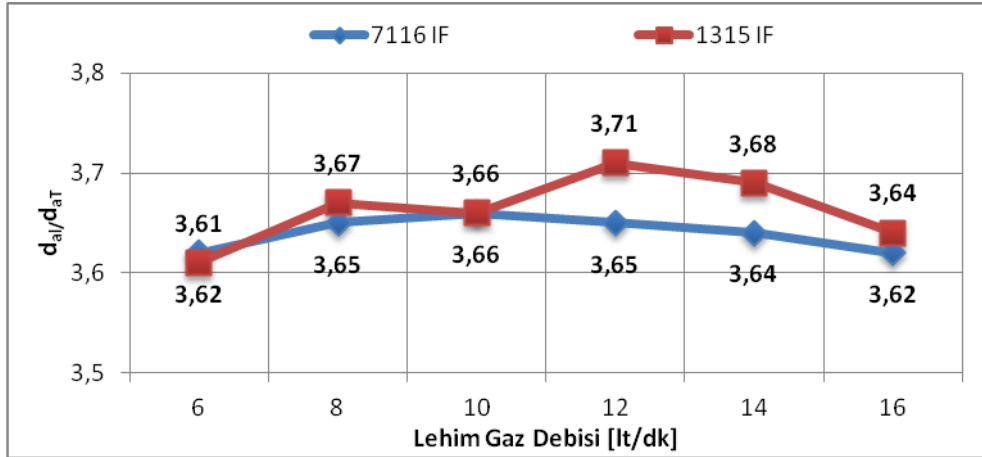
Farklı lehim gaz debileri uygulanarak birleştirilen ve aynı IF çelik saclarına akım şiddetinin etkilerini araştırdığımız gibi ITAB bölgesinde meydana gelen ferrit tane boyutlarının enine (d_{aT}) ve boyuna (d_{aL}) oranları ile lehim bölgesindeki siyah renkle gösterilen ve Cu-Al alaşımlı dendritlerin olduğu tespit edilen tanelerin yoğunlukları incelenmiştir.



Şekil 6.56. Alın birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı gaz debilerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri

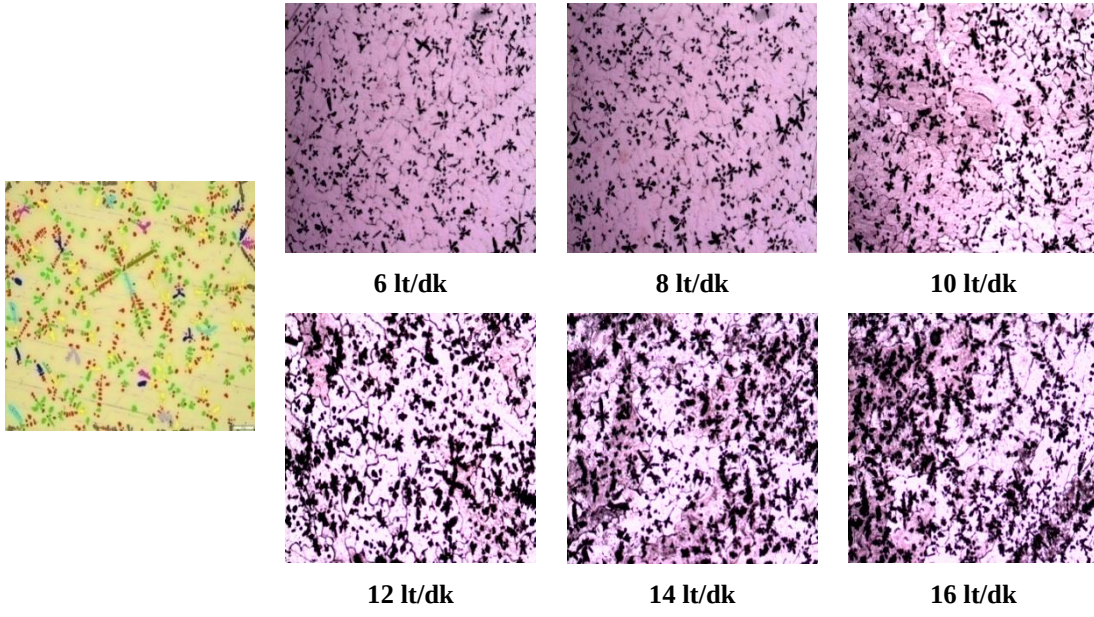


Şekil 6.57. Alın birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı gaz debilerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri

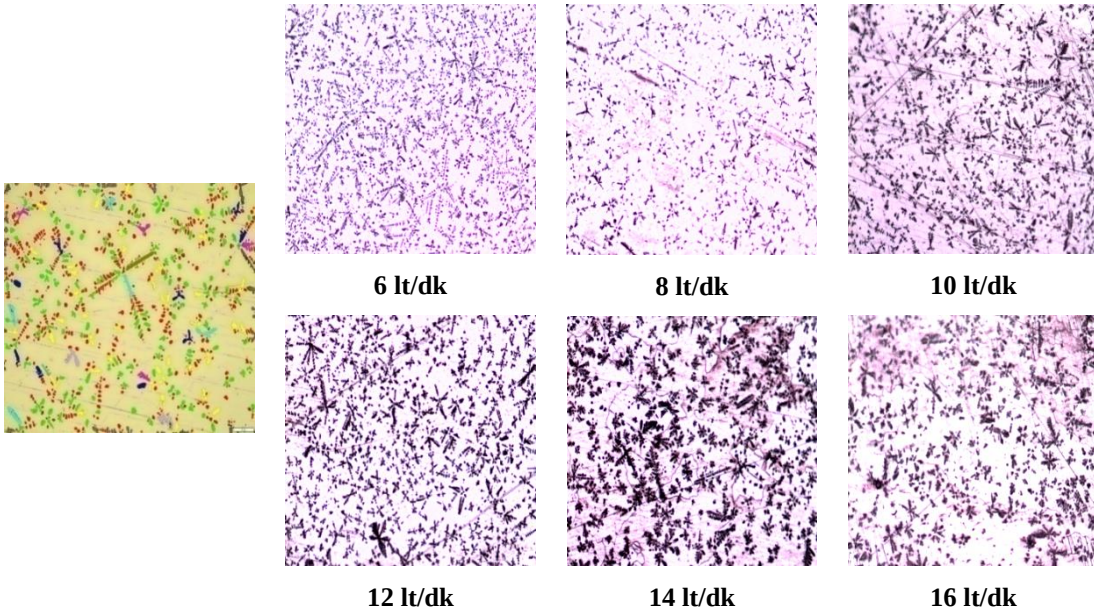


Şekil 6.58. Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin d_{aL}/d_{aT} oranı

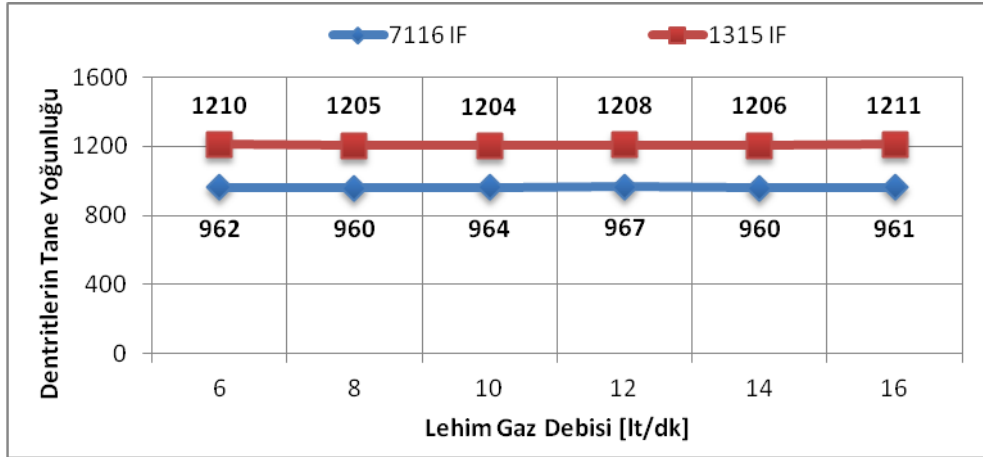
Şekil 6.58.'deki grafik incelendiğinde artan lehim gaz debisi ile birlikte ITAB bölgesinde tanelerin boylarının (d_{aL}) enine (d_{aT}) oranında fazla bir değişiklik olmamıştır. Çünkü hem galvanizsiz 7116 IF çelik sacında hem de galvanizli 1315 IF çelik sacı için uygulanan lehim parametrelerindeki akım şiddeti, lehim gerilimi ve lehim ilerleme hızı sabit olduğundan dolayı numunelere etki eden ısı girdisi aynıdır. Bütün galvanizsiz 7116 IF çelik saclarına 1412 J/cm, galvanizli 1315 IF çelik saclarına 1283 J/cm ısı girdisi etki etmektedir. Farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için ortalama d_{aL} 142 μm , d_{aT} 39 μm ve d_{aL}/d_{aT} oranı 3.64 olarak, galvanizli 1315 IF çelik sacı için ise ortalama d_{aL} 173 μm , d_{aT} 47 μm ve d_{aL}/d_{aT} oranı 3.68 olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlardan da görüldüğü ortalama d_{aL}/d_{aT} oranı hem galvanizsiz 7116 IF çelik sacında hem de galvanizli 1315 IF çelik sacında 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde kaydedilmiştir. Ayrıca galvanizsiz 7116 IF çelik sacına ve galvanizli 1315 IF çelik saclarına farklı ısı girdileri etki etmesine rağmen, ITAB bölgesindeki ferrit tanelerinin d_{aL}/d_{aT} oranının aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.59. Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde 7116 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri



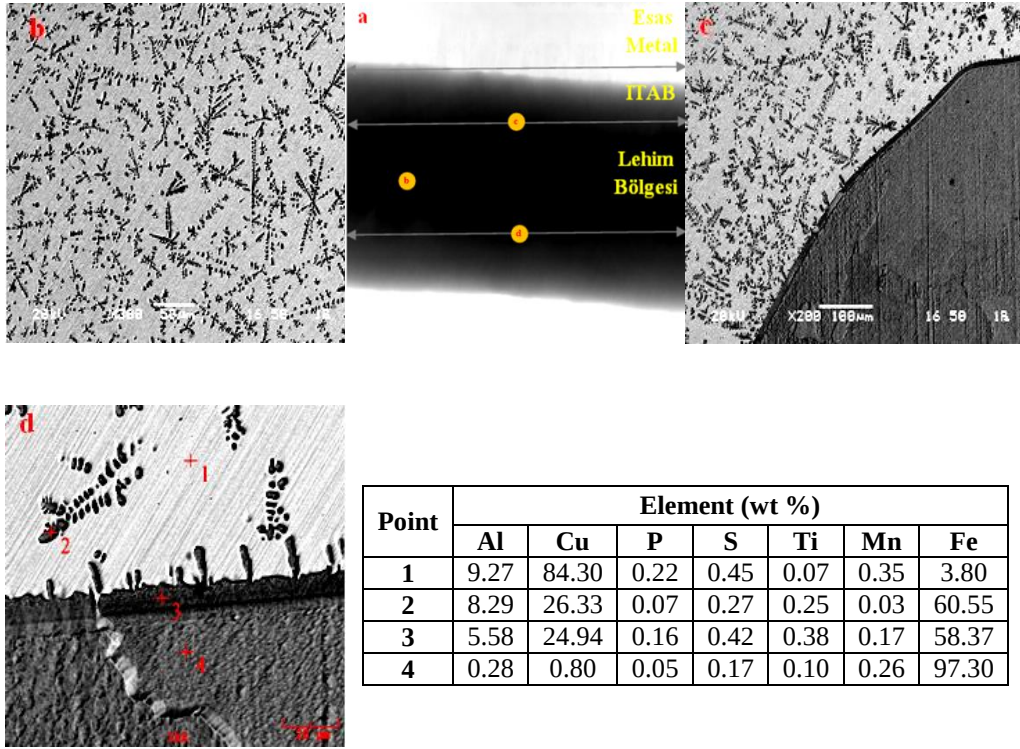
Şekil 6.60. Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde 1315 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.61. Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının Cu dendritlerinin tane yoğunluğu

Şekil 6.61.'daki grafik incelendiğinde artan lehim gaz debisi ile birlikte Cu-Al alaşımlı dendritlerinin tane yoğunluğunda genel olarak çok az da olsa bir artış söz konusudur. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında en yüksek Cu-Al alaşımlı dendrit tane yoğunluğu 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 967, en düşük tane yoğunluğu ise 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 960 olarak partikül sayımı gerçekleştirilmiştir. Ortalama Cu-Al alaşımlı dendrit tane yoğunluğu 902 olarak hesaplanmıştır. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise en yüksek Cu-Al alaşımlı dendrit tane yoğunluğu 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 1211, en düşük tane yoğunluğu ise 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 1204 olarak partikül sayımı gerçekleştirilmiştir. Ortalama Cu-Al alaşımlı dendrit tane yoğunluğu 1208 olarak hesaplanmıştır. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacına daha fazla ısı girdisi uygulanmasına rağmen, aynı gaz debilerinde elde edilen Cu-Al alaşımlı dendritlerin yoğunluğu galvanizli 1315 IF çelik sacında daha fazladır.

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının 60 A akım şiddetinde numune üzerine etki eden ısı girdisi 1412 J/cm iken, 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen numunenin bilgisayarlı X-Ray tomografisi, SEM görüntüleri ve EDS analiz sonuçları Şekil 6.62.'de verilmiştir.

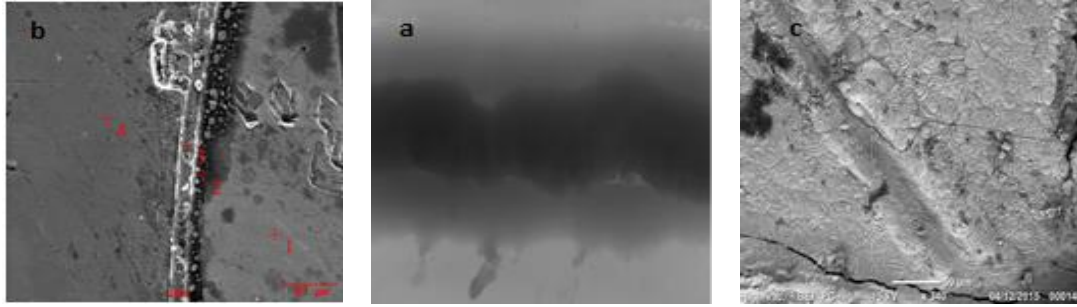


Şekil 6.62. Alın altına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacın 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim bölgesi SEM görüntüsü, c: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, d: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi)

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının 60 A akım şiddeti ve 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analiz sonucu incelendiğinde, 1 numaralı bölgede lehim telinin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir. 2 numaralı bölge bakır ve alüminyumca zengin dendrit yapısı görülmektedir. 3 numaralı bölgede ise lehim ara yüzeyini göstermekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini ifade etmektedir. 4 numaralı bölgede ise esas metalin spektro analiz değerlerinin özelliklerini içeren yapı görülmektedir.

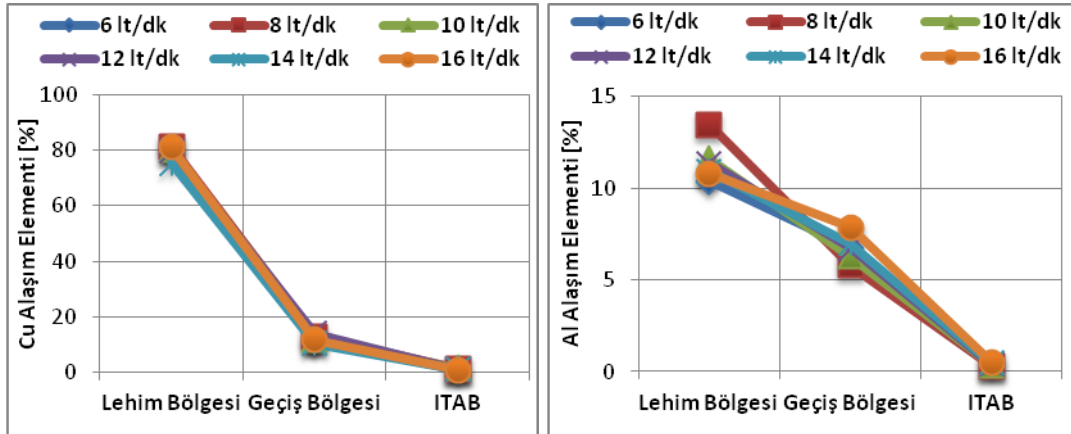
Farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacının X-Ray tomografi incelemesi sonrası 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede Şekil 6.63.'de gösterildiği gibi yetersiz gaz korumasından dolayı düzensiz bir lehim dikişi ve lehim ara yüzeyine yakın bölgelerde boşlukların meydana geldiği tespit edilmiştir. Lehim bölgesinde ve lehim ara yüzeyinde kapsamlı olarak yapılan SEM incelemesinde yırtıklara ve yabancı partiküllere rastlanmıştır. Yabancı partikül olarak

nitelendirdiğimiz yapının EDS analizi yapıldığında karbon ve oksijen elementlerine sahip bir madde olduğu tespit edilmiştir.



Point	Element (wt %)								
	C	O	Al	P	S	Ti	Mn	Fe	Cu
1	-	-	0.452	0.463	0.155	0.236	0.4169	3.743	90.706
2	2.344	15.678	3.025	0.011	0.021	-	0.381	63.581	2.351
3	-	-	2.082	0.304	0.165	0.160	0.340	82.195	9.348
4	-	-	0.365	0.095	0.173	0.132	0.058	94.255	0.559

Şekil 6.63. Alın altına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 6 lt/dk gaz debisindeki (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim ara yüzeyi SEM-EDS analizi, c: Lehim ara yüzeyi SEM görüntüsü)

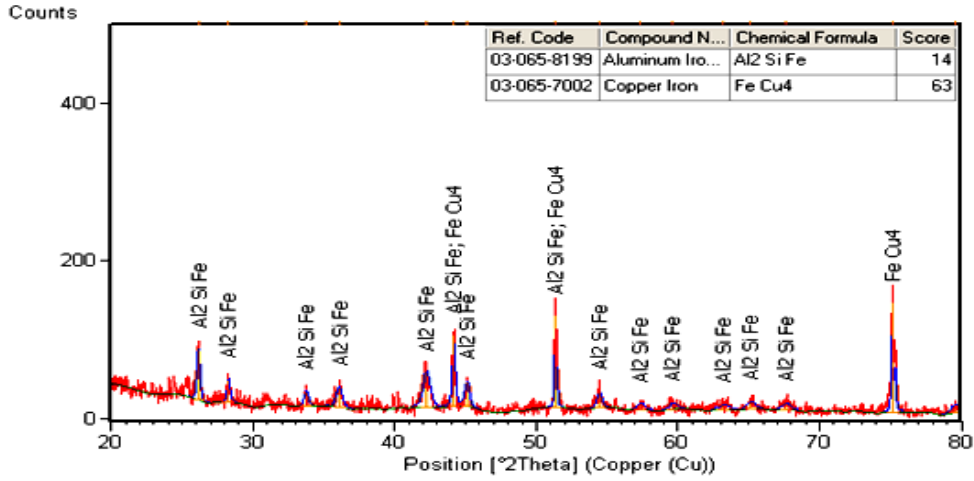


Şekil 6.64. Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizsiz 7116 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 20 μm mesafede bakırın difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 80 Cu elementi içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe % 12.5 civarında Cu alaşım elementinin difüze olduğu

tespit edilmiştir. Şekil 6.64.'de gösterildiği gibi gaz debisi 10 lt/dk'a kadar Cu alaşım elementinin geçiş bölgesine doğru difüzyonun da artış olduğu, 12 lt/dk gaz debisinden sonra azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Geçiş bölgesinde Cu alaşım elementinin en yüksek difüzyonu 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede kaydedilmiştir. Geçiş bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe Cu alaşım elementinin difüzyonunun artan gaz debisi ile birlikte genel olarak artış meydana gelmiştir. ITAB bölgesinde en yüksek Cu alaşım elementinin yüzdelik dağılımına bakıldığında 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede % 1.49 olarak kaydedilmiştir. Al alaşım elementinin ise lehim bölgesinde ortalama % 9.5 civarında alüminyum ihtiva ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca lehim bölgesinde gaz debisinin artmasıyla birlikte Al alaşım elementinin yüzdelik dağılımın azaldığı görülmektedir. Lehim bölgesinden geçiş bölgesine doğru ilerledikçe genel olarak Al alaşım elementinin difüzyonunda artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek difüzyon 16 lt/dk gaz debisi uygulana numunede % 7.85 olarak kaydedilmiştir. ITAB bölgesinde ise Al alaşım elementinin ortalama % 0.5 olarak elde edilmiştir. Genel olarak Cu ve Al alaşım elementlerine ilaveten, mangan, titanyum ve demir oranlarının da bölgelere göre dağılımlarına bakıldığında, mangan ve titanyum oranlarının CuAl₁₈ lehim teli bölgesinden esas metal tarafına doğru ilerledikçe azaldığı, demir oranının ise tam aksine arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere birleşme şeklinin atomsal difüzyon şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu elementlerin konsantrasyonlarındaki artma ve azalma; sertlikteki değişimin temel kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir.

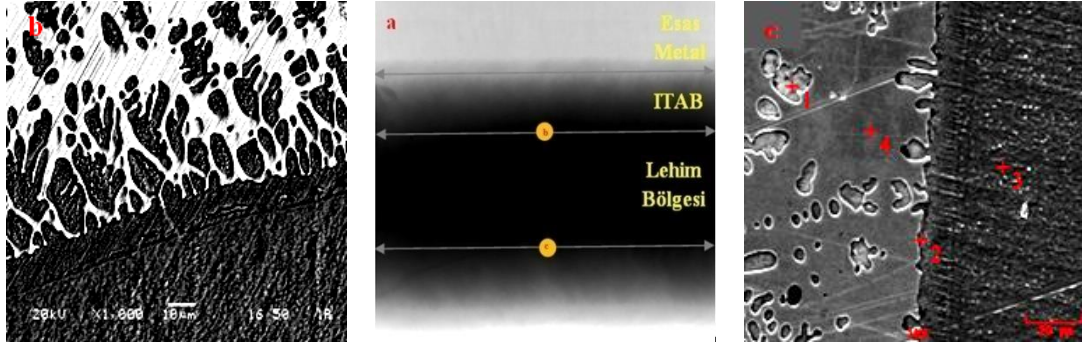
X-ray tüp; Cu LFF olan XRD cihazında 40 mA ve 45 kV şartları altında, 2θ 20^0 - 80^0 arasında galvanizsiz 7116 IF sacının 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin XRD analiz sonucu ait grafik Şekil 6.65.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.65. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 12 lt/dk gaz debisindeki XRD analizi

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinden sonra elde edilen XRD analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak FeCu₄ ve Al₂SiFe intermetalik bileşikler gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da CuAl₈ lehim alaşımının yeniden kristalleşmesi sonucu ortaya çıkan intermetalik bileşiklerinin, özellikle malzemenin lehim ara yüzeyinde birleşmenin dayanımı artırarak malzemenin mekanik özelliklerini artırmıştır.

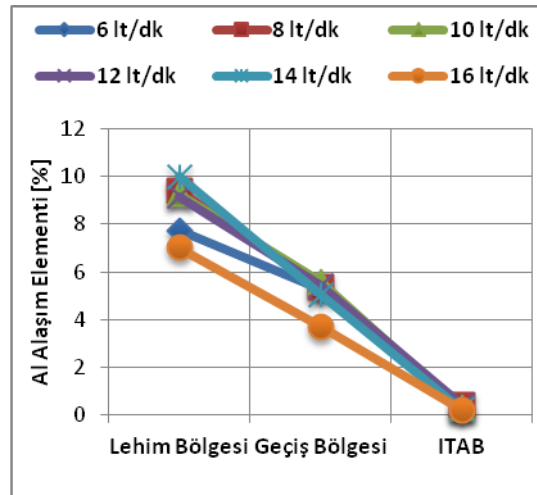
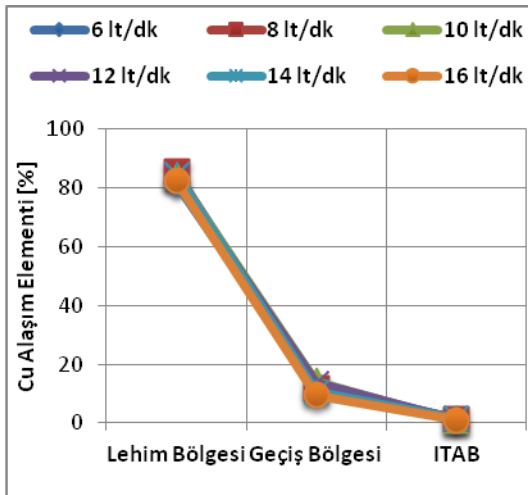
Galvanizli 1315 IF çelik sacının 55 A akım şiddetinde yani numuneler üzerine etki eden ısı girdisi 1283 J/cm iken, 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen numuneden elde edilen SEM görüntüleri Şekil 6.66.'de verilmiştir.

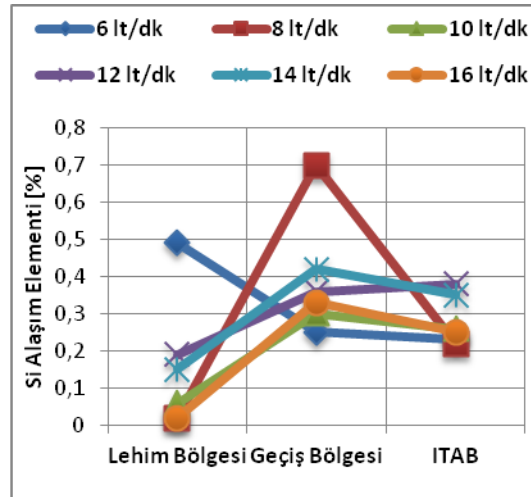


Point	Element (wt %)							
	Al	Cu	P	S	Ti	Mn	Si	Fe
1	8.56	56.37	0.21	0.05	0.08	0.18	0.27	33.53
2	5.77	10.88	0.21	0.32	-	0.43	0.34	81.51
3	0.41	0.93	0.39	0.54	0.15	0.83	0.66	95.46
4	7.43	87.56	-	0.11	0.08	0.43	0.14	3.98

Şekil 6.66. Alın altına geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, c: Lehim- ITAB bölgesi EDS analizi)

Galvanizli 1315 IF çelik sacının 55 A akım şiddeti, 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölge bakır ve alüminyumca zengin bölge olarak ifade edilebilir. 2 numaralı bölge lehim ara yüzeyini ifade etmektedir ve bakır ve alüminyum elementlerinin esas metal yönüne doğru atomsal transferleri gerçekleşmiştir. 3 numaralı bölge esas metal olarak ifade ettiğimiz bölgedir ve galvanizli 1315 IF çelik sacının spektro analiz sonuçlarına yakın değerler kaydedilmiştir. 4 numaralı bölge ise lehim telinin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler kaydedilmiştir.



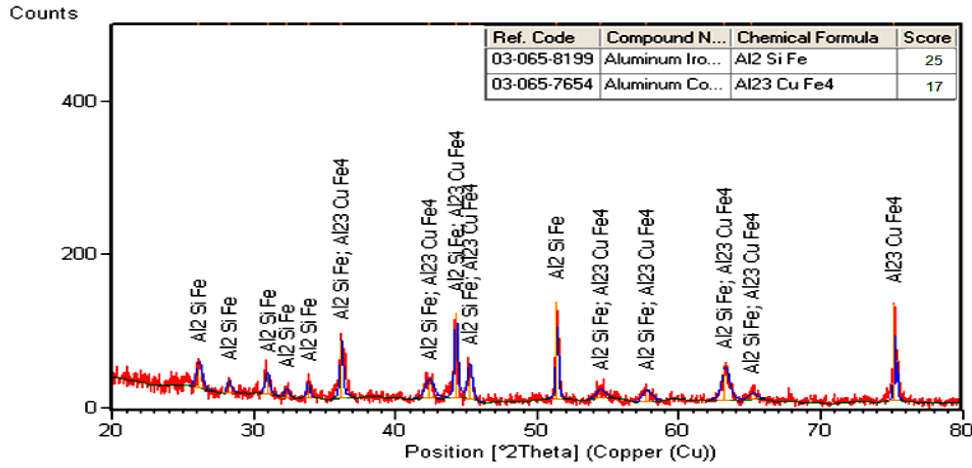


Şekil 6.67. Alın birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımı

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizli 1315 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 30 μm mesafede bakırın difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 83 Cu elementi içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe % 12 civarında Cu alaşım elementinin difüze olduğu tespit edilmiştir. Cu alaşım elementinin lehim bölgesinden geçiş bölgesine doğru ilerledikçe, 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneye doğru difüzyonunda artışın meydana geldiği, 14 lt/dk gaz debisinden sonra difüzyonunda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. ITAB bölgesinde ise en yüksek Cu oranı 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede % 1.60 olarak kaydedilmiştir. Al alaşım elementinde ise lehim bölgesinde ortalama % 8.7 Al içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe ortalama % 5 civarında Al alaşım elementi içerdiği tespit edilmiştir. Al alaşım elementinin artan gaz debisi ile birlikte genel olarak difüzyonunun arttığı görülmektedir. Şekil 6.67.'de gösterildiği gibi sadece 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede difüzyonun azaldığı görülmektedir. ITAB bölgesinde ise artan gaz debisi ile birlikte Al alaşım elementinin azaldığı görülmektedir. Al alaşım elementinin ITAB bölgesindeki en yüksek difüzyonu 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numune de % 0.52 olarak kaydedilmiştir. Şekil 6.67.'de gösterildiği gibi Si alaşım elementi lehim bölgesinden geçiş bölgesine doğru ilerledikçe yüzdelik değerliklerinde artış olduğu gözlemlenmiştir ve geçiş bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe Si alaşım elementinin yüzdelik değerliklerinde azalma meydana gelmiştir. Örneğin 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede lehim bölgesinde %0.06, geçiş bölgesinde % 0.32 ve

ITAB bölgesinde ise % 0.26 Si alaşım elementinin sayımı gerçekleşmiştir. Genel olarak farklı gaz debilerinde bütün numunelerde Cu, Al ve Si alaşım elementlerine ilaveten, mangan, titanyum ve demir oranlarının da bölgelere göre dağılımlarına bakıldığında mangan, titanyum ve demir oranlarının galvanizli 1315 IF çelik sacı tarafından lehim bölgesine doğru ilerledikçe azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere birleşme şeklinin atomsal difüzyon şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu elementlerin konsantrasyonlarındaki artma ve azalma; sertlikteki değişimin temel kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir.

X-ray tüp; Cu LFF olan XRD cihazında 40 mA ve 45 kV şartları altında, 2θ $20^\circ - 80^\circ$ arasında galvanizli 1315 IF sacının 55 A akım şiddetindeki XRD analizi sonuçları Şekil 6.68.'de gösterildiği gibidir.

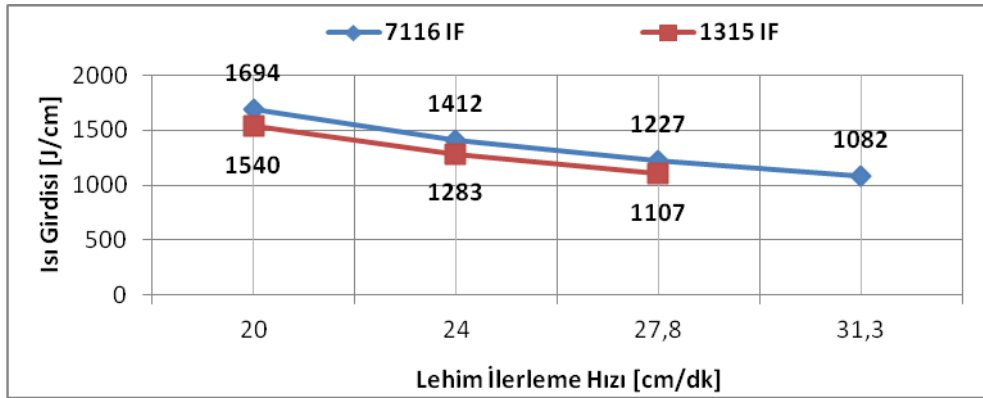


Şekil 6.68. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 10 lt/dk gaz debisindeki XRD analizi

Galvanizli 1315 IF sacının 10 lt/dk gaz debisindeki MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinden sonra elde edilen XRD analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak Al₂SiFe ve Al₂₃CuFe₄ intermetalik bileşikler gözlemlenmiştir. Meydana gelen intermetalik bileşikler özellikle lehim bölgesinde ve lehim ara yüzeyinde, lehim alaşım elementinin yeni kristal yapısından ve kafes parametresinin değişmesinden dolayı ortalama vickers sertlik değerinden 25 HV daha büyük vickers sertlik değerleri elde edilmiştir.

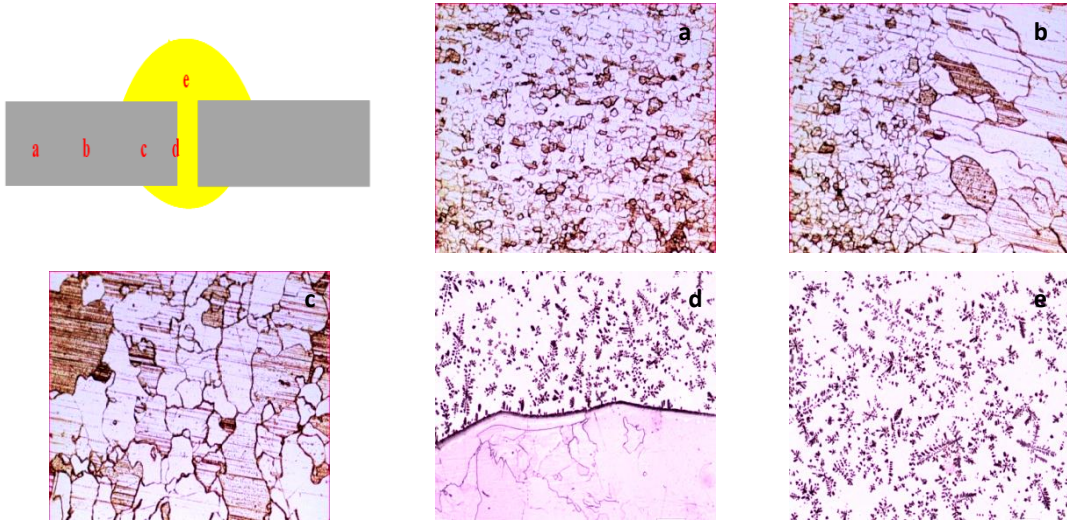
6.1.4.3. Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı akım şiddeti ve gaz debilerinde birleştirilen numunelerin mekanik ve metalürjik özellikleri incelendikten sonra galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için en optimum değerlerin 60 A akım şiddeti, 12.1 volt lehim ark gerilimi, 12 lt/dk lehim gaz debisi ve galvanizli 1315 IF çelik sacı için ise 55 A akım şiddeti, 12 volt lehim ark gerilimi, 10 lt/dk lehim gaz debisinde birleştirilen numunelerde elde edildiği uygun görülmüştür. Akım şiddeti, gerilimi ve gaz debisi sabit tutularak sadece farklı lehim ilerleme hızları ayarlanarak IF çelik saclarına etki eden farklı ısı girdilerinin grafiği Şekil 6.68.'de verilmektedir.

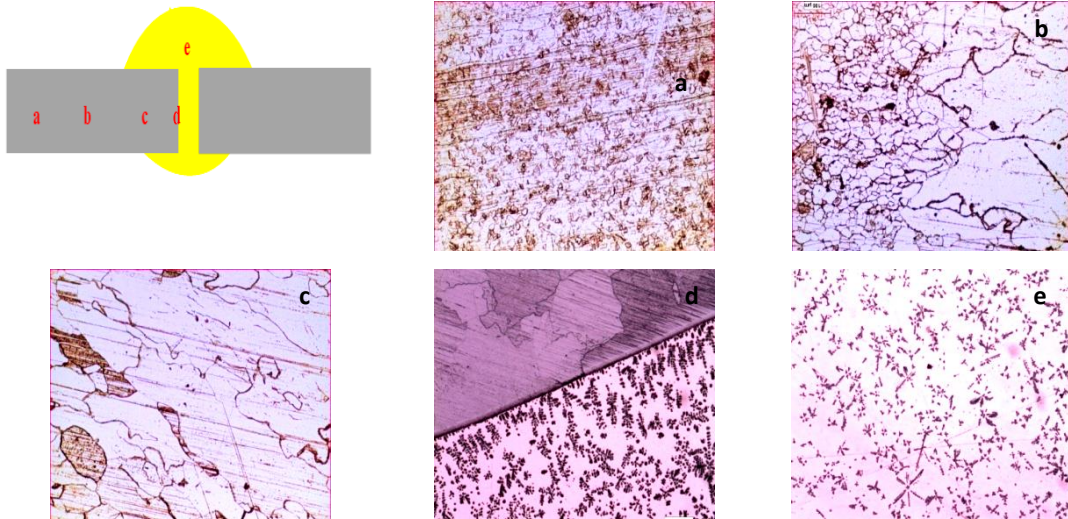


Şekil 6.69. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarındaki ısı girdisi grafiği

MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen IF çelik saclarının mikroyapıları incelenirken Şekil 6.70. ve 6.71.'de gösterildiği gibi mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Burada 'a' bölgesi esas metal yani ince taneli bölge, 'b' bölgesi esas metal – ITAB bölgesi geçiş yani ince taneli bölgeden iri taneli bölgeye geçiş, 'c' bölgesi ITAB bölgesi yani iri taneli bölge, 'd' bölgesi ITAB- lehim bölgesine geçiş ve 'e' bölgesi lehim bölgesi olarak gösterilmiştir.

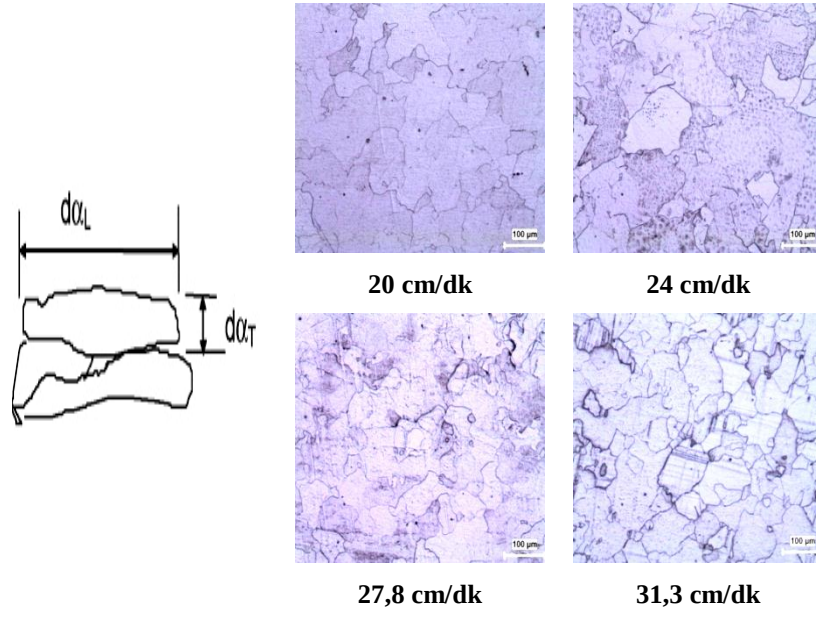


Şekil 6.70. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 24 cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

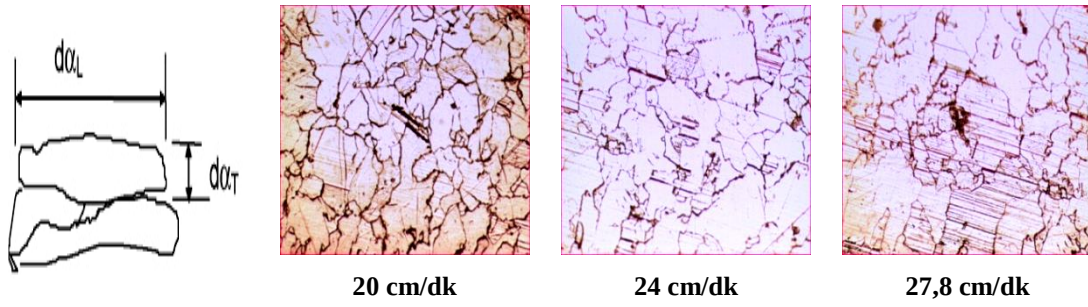


Şekil 6.71. Galvanizli 1315 IF sacının 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

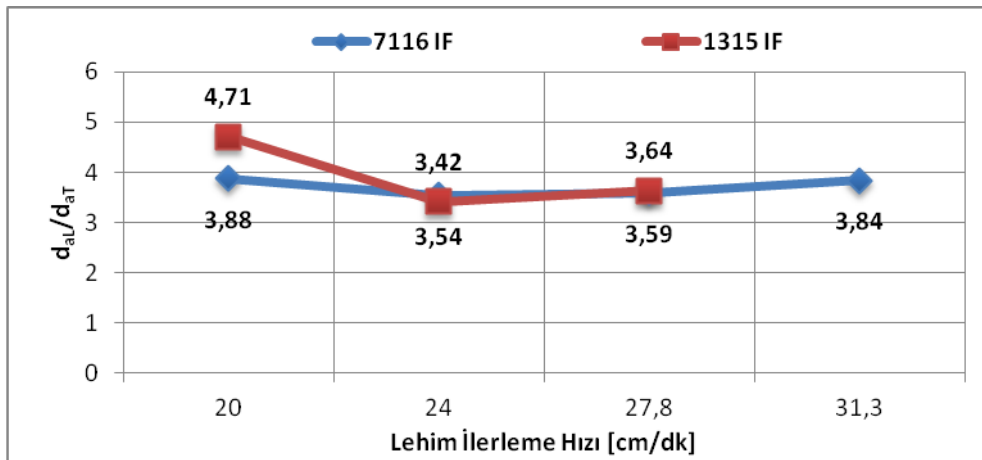
Mikroyapılar incelenirken artan lehim ilerleme hızı ile birlikte IF çeliklerine etki eden ısı girdisinin Şekil 6.72. ve 6.73.'de gösterildiği gibi ITAB bölgesinde ferrit tane boyutlarının enine (d_{aT}) ve boyuna (d_{aL}) oranları ile lehim bölgesindeki Cu-Al alaşımlı dentritlerinin yoğunluğu incelenmiştir.



Şekil 6.72. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri

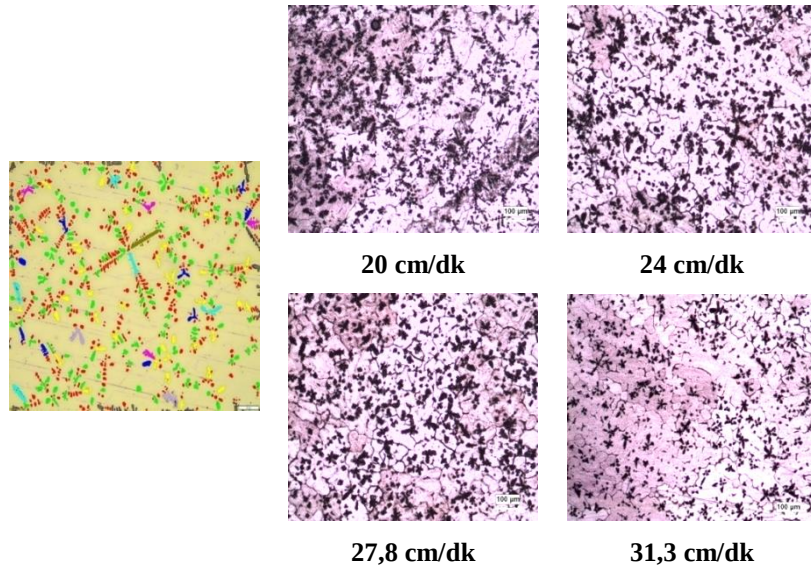


Şekil 6.73. Galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri

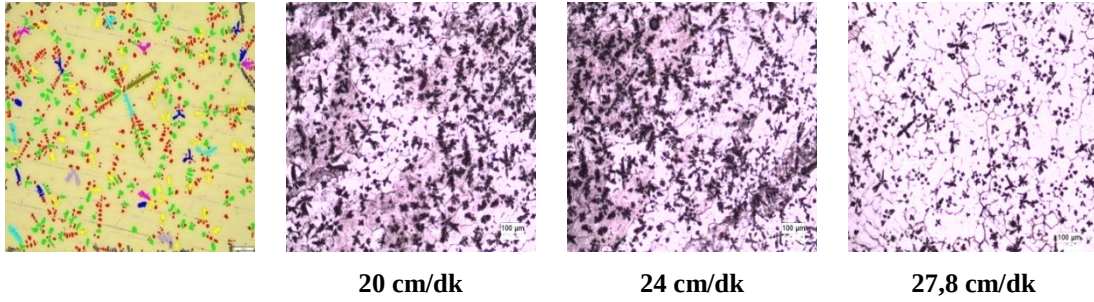


Şekil 6.74. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin d_{aL}/d_{aT} oranı

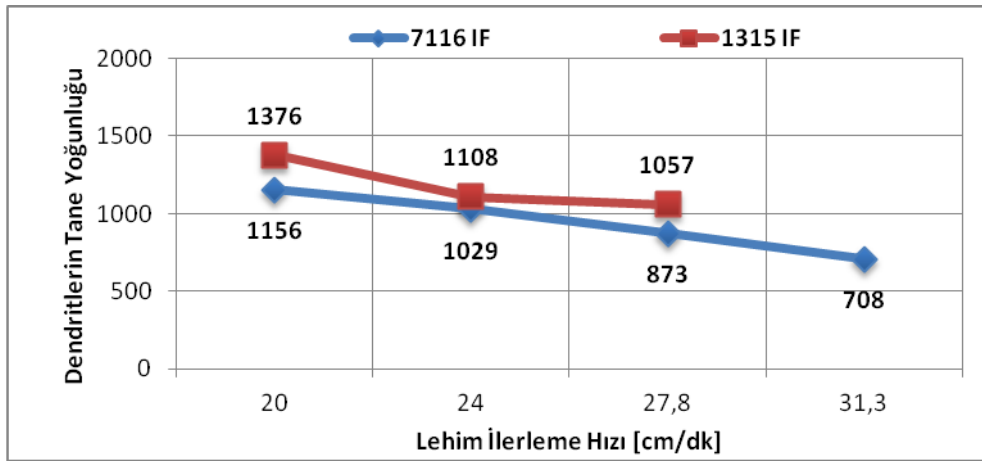
Şekil 6.74.'deki grafik incelendiğinde artan lehim ilerleme hızı ile birlikte ısı girdisi artmakta ve malzemelerin üzerine uygulanan ısıdan dolayı ITAB bölgesinde tanelerin genel olarak boylarının (d_{aL}) enine (d_{aT}) oranı azalmaktadır. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 24 ve 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunelerin ITAB bölgesindeki tanelerin d_{aL}/d_{aT} oranları birbirine çok yakın değerler olarak kaydedilmiştir. 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızından sonra yani 31.3 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin boyu (d_{aL}) 105 μm , eni (d_{aT}) 27 μm olarak ölçülmüş ve d_{aL}/d_{aT} oranı 3.84 olarak tekrar artış göstermeye başlamıştır. Galvanizli 1315 IF çelik sacında en yüksek oran 20 cm/dk lehim ilerleme hızında 4.71 olarak kaydedilmiştir. 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numuneden sonra ITAB bölgesindeki tanelerinin boylarının (d_{aL}) enine (d_{aT}) oranında sert bir düşüş meydana gelmiştir. Örneğin 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin boyu (d_{aL}) 325 μm , eni (d_{aT}) 69 μm olarak kaydedilmişken, 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede boy (d_{aL}) 178 μm , en (d_{aT}) 52 μm olarak kaydedilmiştir ve ITAB bölgesindeki taneler daha küresel yapıya dönüşmüştür. Galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik sacların 24 ve 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızlarında d_{aL}/d_{aT} oranları birbirine yakın olarak görünse de ITAB da meydana gelen tane yapılarının hacimleri farklıdır. Yani galvanizli 1315 IF çelik sacının ITAB bölgesinde daha iri taneli ve daha fazla lamel yapılar hâkimken, galvanizsiz 7116 IF çelik sacın da ITAB bölgesindeki taneler daha ince ve küresel yapıya sahiptir.



Şekil 6.75. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.76. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri

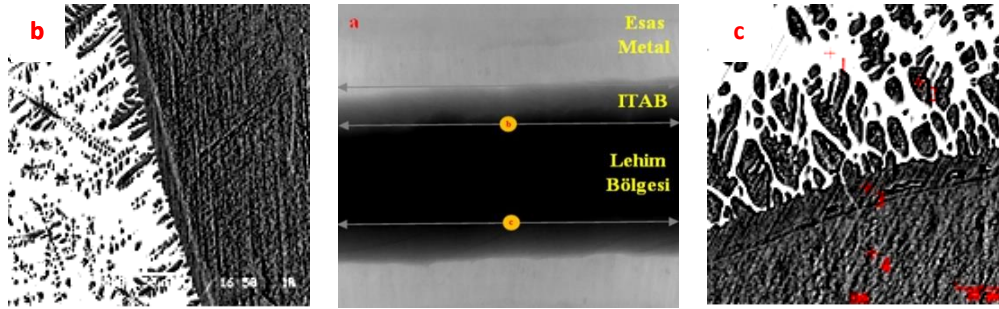


Şekil 6.77. Alın birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF saclarının Cu-Al alaşımlı dendritlerinin tane yoğunluğu

Şekil 6.77. incelendiğinde galvanizli 1315 IF ve galvanizsiz 7116 IF çelik saclarının lehim bölgesindeki Cu-Al alaşımlı dendritlerinin yoğunluğu artan lehim ilerleme hızı ile azalmıştır. Çünkü lehim ilerleme hızının artması numunelere uygulanan ısı girdisinin azalmasına sebep olduğundan dolayı Cu-Al alaşımlı dendritlerinin yoğunluğunda azalma meydana gelmiştir. Şekil 6.77.'da gösterildiği aynı ilerleme hızlarında, örneğin 24 cm/dk lehim ilerleme hızının galvanizli 1315 IF sacına 1283 J/cm, galvanizsiz 7116 IF çelik sacına ise 1412 J/cm ısı girdisi etki etmesine rağmen galvanizli 1315 IF sacındaki Cu-Al alaşımlı dendritlerinin yoğunluğu daha fazla çıkmaktadır. Bunun sebeplerinden biri yoğunluk hesabı yapılırken 1315 IF çelik sacındaki 0-20 μm partikül sayısının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı 1227 J/cm ısı girdisi uygulanarak MIG-lehimleme operasyonu uygulanan numunenin bilgisayarlı X-Ray tomografisi, SEM ve EDS analiz sonuçları Şekil 6.78.'de verilmiştir. MIG-

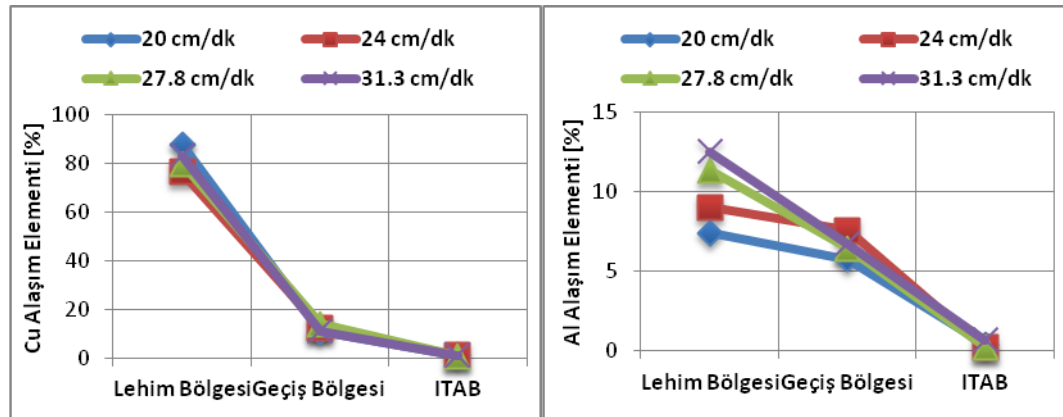
lehimleme yöntemi uygulanan malzemelerin birleşmesi esas metaldeki elementlerin lehim bölgesine atomsal transfer yoluyla oluşmuştur.



Point	Element (wt %)						
	Al	Cu	P	S	Ti	Mn	Fe
1	7.02	82.19	-	-	0.28	0.15	4.89
2	4.89	19.85	0.21	0.19	0.25	0.19	61.64
3	3.70	14.33	0.05	0.37	0.16	0.35	73.27
4	0.21	1.01	0.13	0.31	0.13	0.18	93.16

Şekil 6.78. Alın altına geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızında (a: Bilgisayarlı X-Ray tomografisi, b: Lehim-ITAB bölgesi SEM görüntüsü, c: Lehim-ITAB bölgesi EDS analizi)

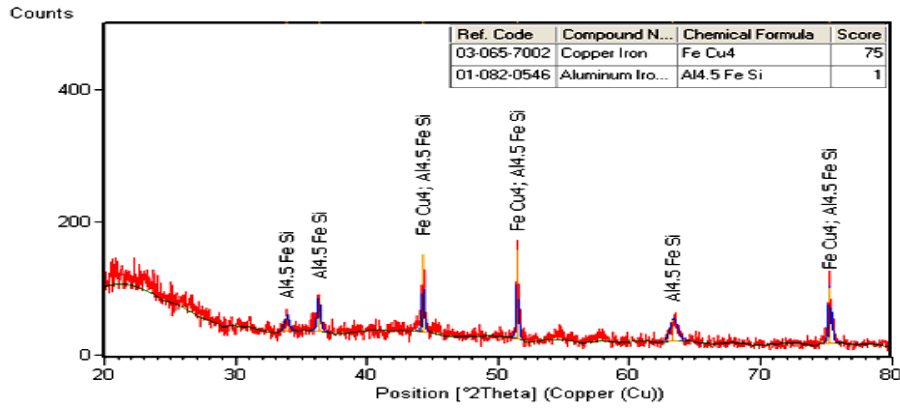
Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölgede lehim telinin spektro analiz değerlerinin özelliklerini içeren yapı görülmektedir. 2 numaralı bölgede bakır ve alüminyumca zengin dentrit yapısı görülmektedir. 3 numaralı bölge lehim ara yüzeyini göstermekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini ifade etmektedir. 4 numaralı bölgede ise esas metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir.



Şekil 6.79. Alın birleştirmedeki Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alışımının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizsiz 7116 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 20 μm mesafede bakırın difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 81 Cu elementi içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe % 12 civarında Cu alaşım elementinin difüze olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.79.'de gösterildiği gibi lehim ilerleme hızı 20 cm/dk uygulanarak birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacında lehim bölgesinde en yüksek % 87.56 Cu alaşımı içermektedir. Lehim ilerleme hızının azalmasıyla birlikte Cu alaşım elementinin de yüzdelik değerleri azalmaktadır. Geçiş bölgesinde Cu alaşım elementinin en yüksek difüzyonu 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numune de % 13.99 olarak kaydedilmiştir. Geçiş bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe Cu alaşım elementinin difüzyonunun artan lehim ilerleme hızı ile birlikte genel olarak artış meydana gelmiştir. Al alaşım elementinin ise lehim bölgesinde ortalama % 11 civarında alüminyum ihtiva ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca lehim bölgesinde lehim ilerleme hızının artmasıyla birlikte Al alaşım elementinin yüzdelik dağılımın azaldığı görülmektedir. Lehim bölgesinden geçiş bölgesine doğru ilerledikçe lehim ilerleme hızının artmasıyla birlikte genel olarak Al alaşım elementinin difüzyonunda artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek difüzyon 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanarak birleştirilen numunede % 7.56 olarak kaydedilmiştir. ITAB bölgesinde ise Al alaşım elementinin ortalama % 0.4 olarak elde edilmiştir. Genel olarak Cu ve Al alaşım elementlerine ilaveten, mangan, titanyum ve demir oranlarının da bölgelere göre dağılımlarına bakıldığında, mangan ve titanyum oranlarının esas metal bölgesinde CuAl_8 lehim bölgesine doğru ilerledikçe arttığı, demir oranının ise tam aksine azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlardan da anlaşılabacağı üzere birleşme şeklinin atomsal difüzyon şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu elementlerin konsantrasyonlarındaki artma ve azalma; sertlikteki değişimin temel kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir.

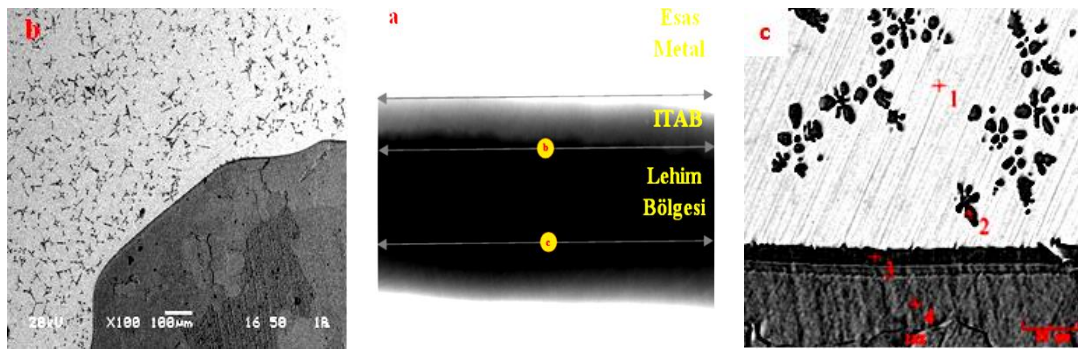
X-ray tüp; Cu LFF olan XRD cihazında 40 mA ve 45 kV şartları altında, 2θ $20^0 - 80^0$ arasında galvanizsiz 7116 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızındaki XRD analiz sonucu Şekil 6.80.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.80. Alın birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızlarındaki XRD analizi

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızında MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinden sonra elde edilen XRD analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak FeCu₄ ve Al_{4.5}FeSi intermetalik bileşikler gözlemlenmiştir. Akım şiddeti ve gaz basıncının etkilerini incelerken yapılan XRD analiz sonuçlarından farklı olarak, lehim ilerleme hızının XRD analizi sonucunda Al_{4.5}FeSi intermetalik bileşiği gözlemlenmiştir. H. Springer ve arkadaşlarının alüminyum alaşımları ve düşük karbonlu çeliklerde difüzyon boyunca intermetalik bileşiklerinin oluşması üzerine yapmış olukları çalışmada Al_{4.5}FeSi intermetalik bileşiğinin kristal yapısının monoklinik yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir [82]. Burada malzemeye etki eden ısı girdisi 20 cm/dk lehim ilerleme hızında 1694 J/cm olarak hesaplanmış ve yüksek ısı girdilerinde malzemede oluşan intermetalik bileşiklerde farklılıklar oluşabileceği tespit edilmiştir. Al_{4.5}FeSi intermetalik bileşiğinin malzeme üzerindeki etkisi lehim ara yüzeyinde daha güçlü bir bağ oluşmasından dolayı 20 cm/dk lehim ilerleme hızında en yüksek çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdesi elde edilmesine sebep olmuştur.

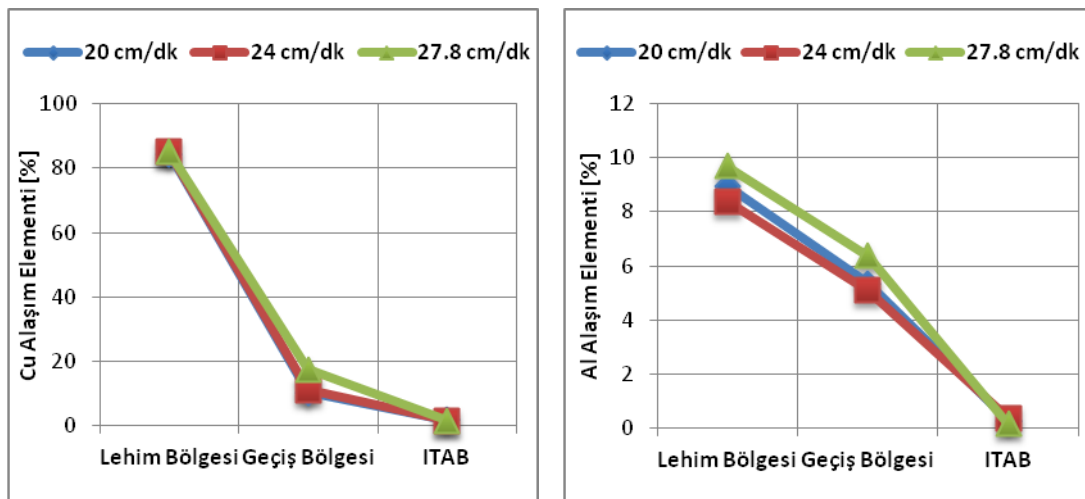
Galvanizli 1315 IF çelik sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızı 1540 J/cm ısı girdisi uygulanarak MIG-lehimleme operasyonu uygulanan numunenin SEM görüntüleri Şekil 6.81.'de verilmiştir.

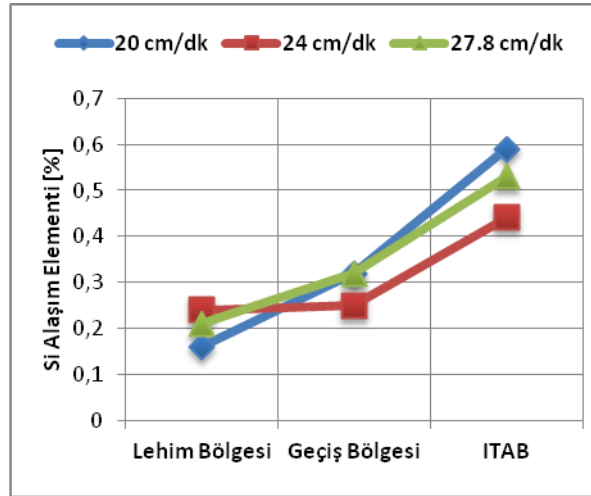


Point	Element (wt %)							
	Al	Cu	P	S	Ti	Mn	Si	Fe
1	7.7	81.45	-	0.04	0.29	0.14	0.35	3.43
2	7.34	22.98	0.13	0.21	0.08	0.18	0.29	58.86
3	5.31	18.28	0.31	0.15	0.08	0.21	0.76	70.66
4	0.27	1.46	0.46	0.36	0.11	0.15	0.38	95.62

Şekil 6.81. Alın altına geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin (a: Bilgisayarlı x-ray tomografisi, b: lehim-ITAB bölgesi sem görüntüsü, c: lehim-ITAB bölgesi EDS analizi)

Galvanizli 1315 IF çelik sacının EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölgede lehim telinin spektro analiz değerlerinin özelliklerini içeren yapı görülmektedir. 2 numaralı bölgede bakır ve alüminyumca zengin dendrit yapısı görülmektedir. 3 numaralı bölge lehim ara yüzeyini göstermekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini ifade etmektedir. 4 numaralı bölgede ise esas metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir.

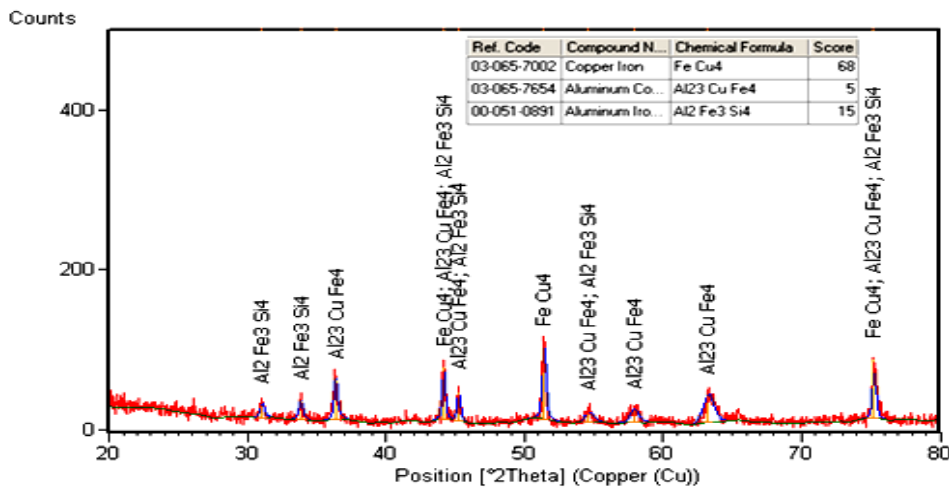




Şekil 6.82. Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının difüzyon yüzdeleri

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizli 1315 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 30 μm mesafede bakırın difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 84 Cu elementi içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe %13 civarında Cu alaşım elementinin difüze olduğu tespit edilmiştir. Geçiş bölgesinde Cu alaşım elementinde en yüksek difüzyon 27.8 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede %17.5 olarak gerçekleşmiştir. Geçiş bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe Cu alaşım elementinin difüzyonunun artan lehim ilerleme hızı ile birlikte yine arttığı görülmektedir. ITAB bölgesinde en yüksek Cu oranı 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede %1.82 olarak kaydedilmiştir. Al alaşım elementinde ise lehim bölgesinde ortalama %9 Al içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe ortalama %5.6 civarında Al alaşım elementi içerdiği tespit edilmiştir. Al alaşım elementinin artan lehim ilerleme hızı ile birlikte difüzyonunun azaldığı görülmektedir. Örneğin geçiş bölgesi diye isimlendirdiğimiz bölgede 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede %5.36 Al içerirken, 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede %6.37 Al içerdiği tespit edilmiştir. Al alaşım elementinin ITAB bölgesindeki en yüksek difüzyonu 24 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede meydana gelmiştir. Esas metal de %0.5 silisyum içeren galvanizli 1315 IF çelik sacında artan lehim ilerleme hızı ile birlikte Si alaşım elementinin difüzyonunun genel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numune %0.59 Si alaşım elementi içerirken, 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numune % 0.44 Si alaşım elementi içerdiği

tespit edilmiştir. Genel olarak farklı akım şiddetlerinde birleştirilen bütün numunelerin Cu, Al ve Si alaşım elementlerine ilaveten mangan, titanyum ve demir oranlarının da bölgelere göre dağılımlarına bakıldığında titanyum oranlarının düşük karbon içeren galvanizli 1315 IF çelik sacı tarafına doğru gidildikçe arttığı, demir ve mangan oranının ise tam aksine azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlardan da anlaşılabacağı üzere birleşme şeklinin atomsal difüzyon şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu elementlerin konsantrasyonlarındaki artma ve azalma; sertlikteki değişimin temel kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.83. Alın birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızlarındaki XRD analizi

Galvanizli 1315 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızında MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinden sonra elde edilen XRD analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak FeCu_4 , $\text{Al}_{23}\text{CuFe}_4$ ve $\text{Al}_2\text{Fe}_3\text{Si}_4$ intermetalik bileşikler gözlemlenmiştir. Akım şiddeti ve gaz basıncının etkilerini incelerken yapılan XRD analiz sonuçlarından farklı olarak, lehim ilerleme hızının XRD analizi sonucunda FeCu_4 ve $\text{Al}_2\text{Fe}_3\text{Si}_4$ intermetalik bileşiği gözlemlenmiştir. H. Springer ve arkadaşlarının alüminyum alaşımları ve düşük karbonlu çeliklerde difüzyon boyunca intermetalik bileşiklerinin oluşması üzerine yapmış olukları çalışmada $\text{Al}_2\text{Fe}_3\text{Si}_4$ intermetalik bileşiğinin kristal yapısının triklirik yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir [82]. Bu çalışmada da oluşan intermetalik bileşikler lehim ara yüzeyinde daha güçlü bir bağ oluşmasından dolayı 20 cm/dk lehim ilerleme hızında en yüksek çekme ve akma dayanımı ile kopmadaki uzama yüzdesi elde edilmesine sebep olmuştur. Ayrıca 20 cm/dk lehim

ilerleme hızının lehim-ITAB geçiş bölgesinde en yüksek vikers sertliklerinin ölçülmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

6.2. IF Çelik Sacların MIG Lehimleme Yöntemi İle Bindirme Birleştirmeleri

Bu bölümde, galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik saclarına MIG-lehimleme yöntemi ile bindirme birleştirmeler sağlanmıştır. IF çeliklerine akım şiddetinin, gaz basıncının ve lehim ilerleme hızlarının etkilerini araştırmak için, çekme deneyi, sertlik, makroyapı, mikroyapı, SEM-EDS analizleri yapılmış ve sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

6.2.1. Lehim parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

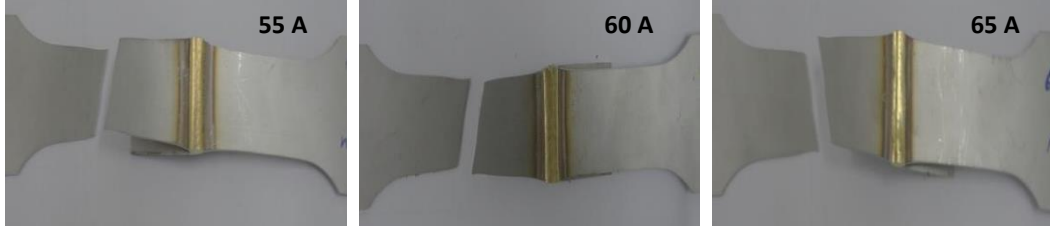
6.2.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının bindirme birleştirmede en uygun lehimleme parametrelerini belirlemek için Şekil 5.1’de gösterildiği gibi 200x200x0.9 mm boyutlarında hazırlanan numunelere farklı akım şiddetlerinde MIG-lehimleme yapılmıştır. IF saclarına uygulanan MIG-lehimleme parametreleri Tablo 6.6.’da gösterildiği gibidir.

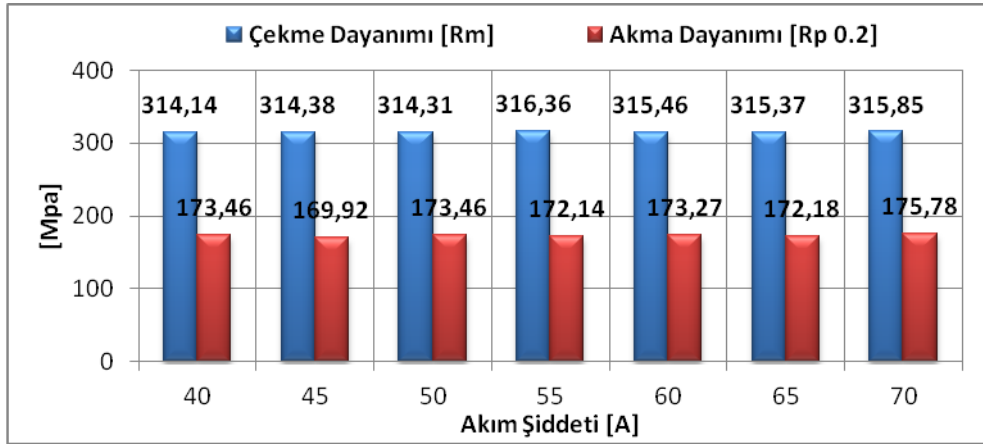
Tablo 6.6. Farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
40	2.0	11.6	12	24	0.8
45	2.2	11.7	12	24	0.8
50	2.5	11.8	12	24	0.8
55	2.8	12	12	24	0.8
60	3.1	12.1	12	24	0.8
65	3.4	12.3	12	24	0.8
70	3.7	12.4	12	24	0.8

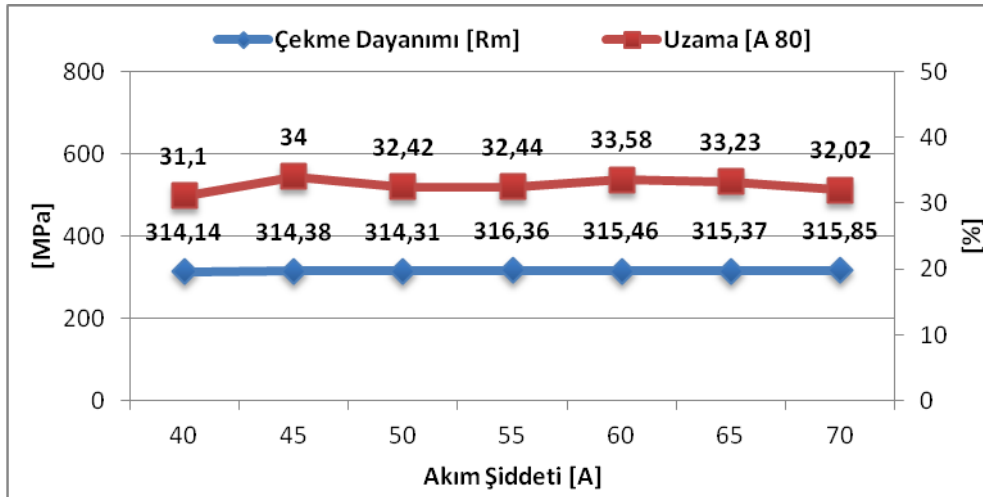
Şekil 6.84.'de farklı akım şiddetlerinde lehimlenen numunelerden hazırlanan çekme deneyi numunelerinin deney sonrası fotoğrafları görülmektedir. Çekme testi sonucunda bütün numuneler esas metal bölgesinden kopmuştur.



Şekil 6.84. IF çeliklerin bindirme birleştirmedeki çekme testi sonrası fotoğrafları

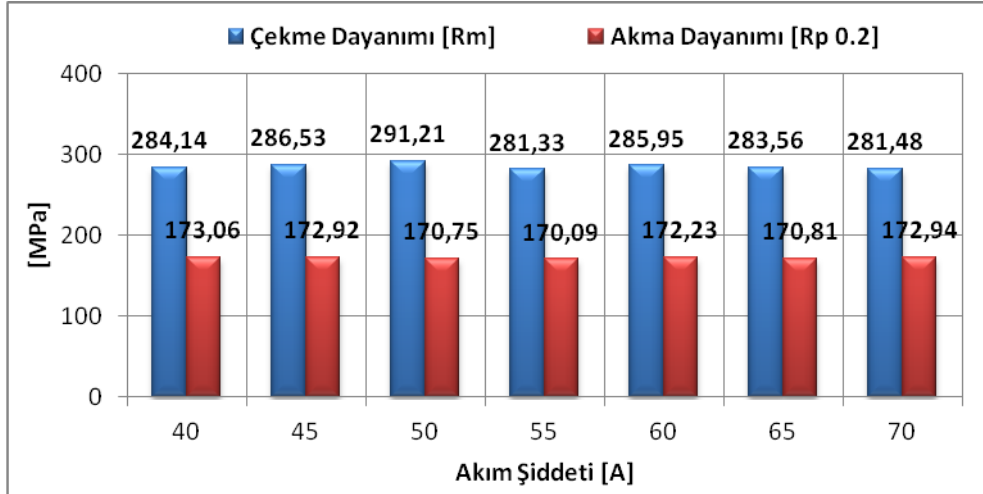


Şekil 6.85. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmede çekme ve akma dayanımları grafiği

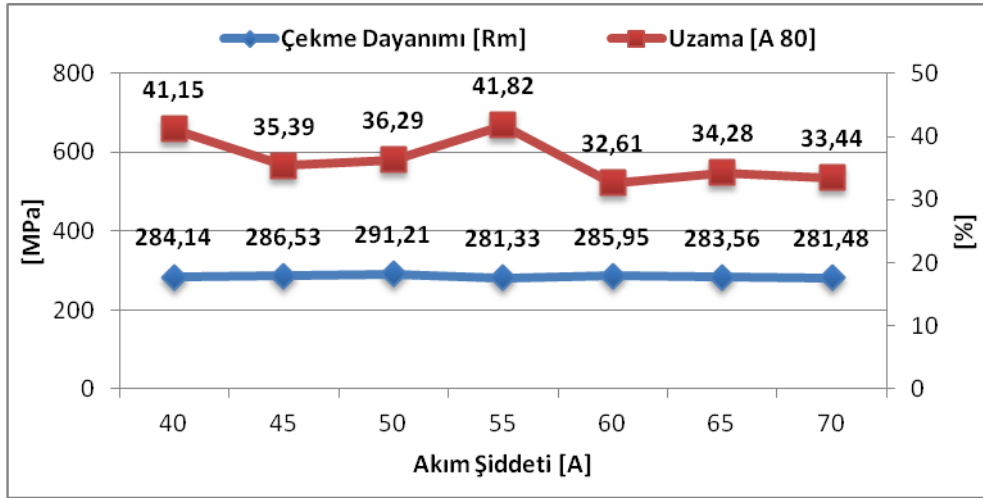


Şekil 6.86. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmedeki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonrası bütün numunelerde kopmanın lehim metali dışında ITAB bölgesinde meydana geldiği görülmüştür. Dolayısıyla sonuçlar lehim metali dayanımının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Sonuçlara ait Şekil 6.85. ve 6.86.'deki grafikler incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının 55 amper akım şiddeti uygulanan numunede 316.36 MPa olarak kaydedildiği görülmektedir. Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin çekme dayanımlarında fazla bir değişiklik olmamasına rağmen 70 amper akım şiddeti uygulana numunede en yüksek 175.78 MPa akma dayanımı elde edilmiştir. En yüksek uzama yüzdesi ise 45 amper akım şiddeti uygulanarak birleştirilen numunede kaydedilmiştir. Ayrıca farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerde artan akım şiddeti ile birlikte hem lehim bölgesinin genişlemiş olduğu hem de tanelerin dağılımının daha homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu gelişmelere bağlı olarak plastik şekil değişiminin meydana geldiği alan biraz daha daralmıştır. Böylelikle artan akım şiddeti ile birlikte akma dayanımının arttığı düşünülmektedir.



Şekil 6.87. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmede çekme ve akma dayanımları grafiği



Şekil 6.88. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çeliğinin farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirmedeki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği

Galvanizli 1315 IF çelik sacında farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonrası bütün numunelerde kopmanın lehim metali dışında ITAB bölgesinde meydana geldiği görülmüştür. Dolayısıyla sonuçlar lehim metali dayanımının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Sonuçlara ait Şekil 6.87. ve 6.88.'daki grafikler incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının 50 amper akım şiddeti uygulanan numunede 291.21 MPa olarak kaydedildiği görülmektedir. 40 amper akım şiddetinden 50 amper akım şiddetine kadar farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin çekme dayanımlarında artış gözlenirken, 55 amper akım şiddetinden sonra çekme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. En yüksek uzama yüzdesi ise 55 amper akım şiddeti uygulanarak birleştirilen numunede % 41.82 olarak ölçülmüştür.

6.2.1.2. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

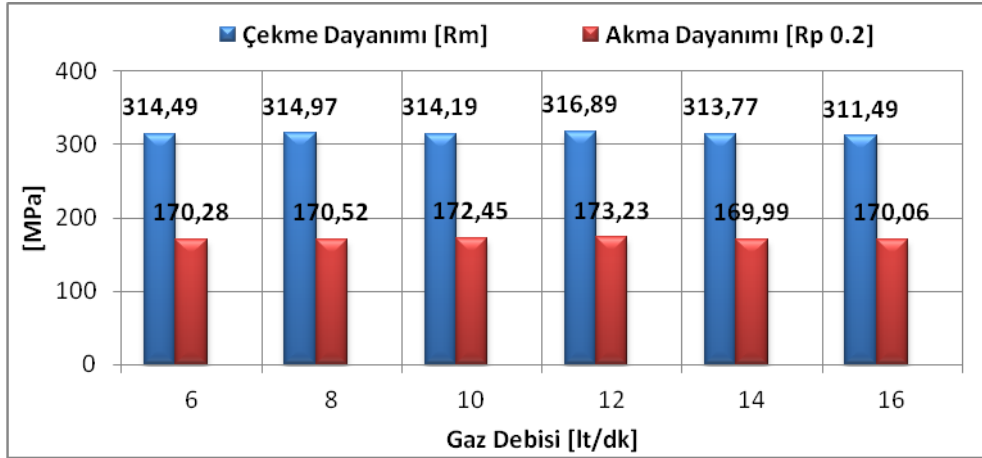
Tablo 6.7.' de IF çelikleri için farklı koruyucu gaz debilerinde uygulanan MIG-lehimleme parametreleri verilmektedir. Hem galvanizsiz 7116 IF çeliği hem de galvanizli 1315 IF çeliği için optimum akım şiddeti 55 amper, lehim gerilimi 12 volt, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olarak belirlenmiş, farklı koruyucu 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.

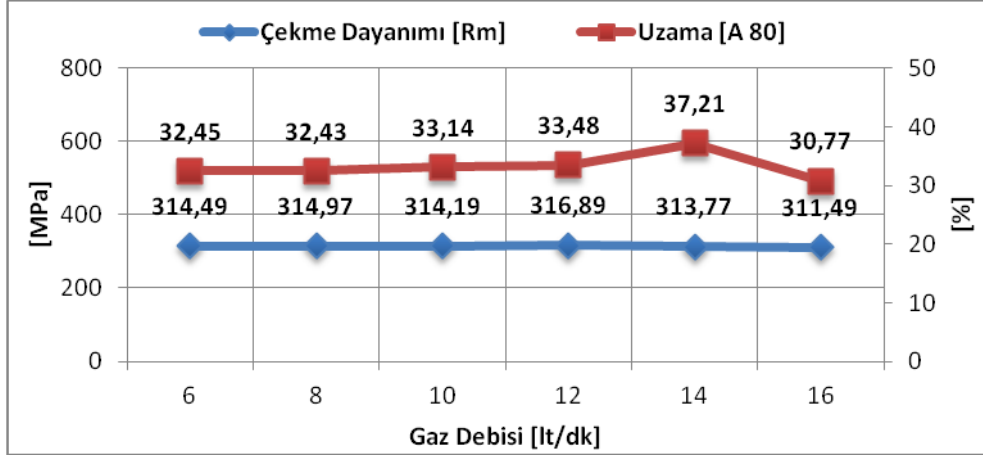
Tablo 6.7. Farklı lehim gaz debilerinde bindirme birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
55	2.8	12	6	24	0.8
55	2.8	12	8	24	0.8
55	2.8	12	10	24	0.8
55	2.8	12	12	24	0.8
55	2.8	12	14	24	0.8
55	2.8	12	16	24	0.8

Galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik sacları için uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme ve akma dayanımları ile çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzde değerleri tespit edilmiştir.

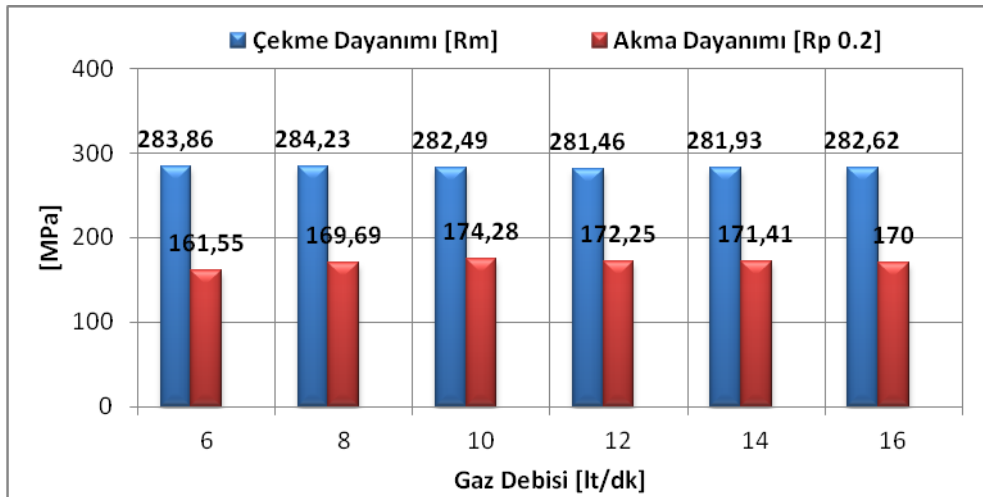


Şekil 6.89. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme ve akma dayanımları grafiği

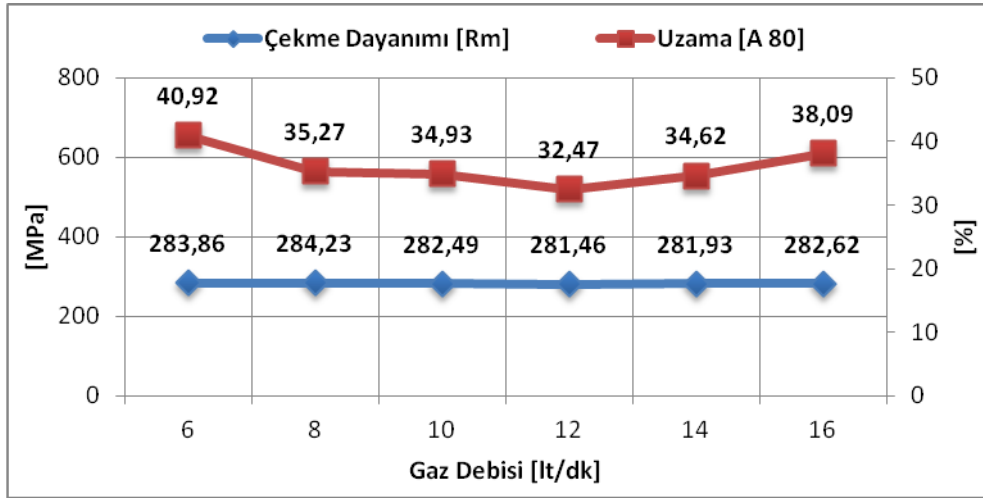


Şekil 6.90. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği

Şekil 6.89. ve 6.90.'da gösterildiği gibi galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra artan gaz basıncı ile çekme dayanımında azalma meydana gelmiştir. Çekme deneyi sonrası 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede en yüksek çekme ve akma dayanımları elde edilmiş, sırasıyla 316.89 MPa ve 173.23 MPa olarak ölçülmüştür. Farklı gaz debilerinde birleştirilen numunelerin yüzde uzama değerleri incelendiğinde en yüksek uzama 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede % 37.21, en düşük uzama ise 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede % 30.77 olarak elde edilmiştir. Gaz debisinin artması ile genel olarak % uzama değerlerinde artış meydana gelmiştir.



Şekil 6.91. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme ve akma dayanımları grafiği



Şekil 6.92. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı gaz debilerinde çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği

Şekil 6.91. ve 6.92.'de gösterildiği gibi galvanizli 1315 IF sacında gaz debisinin artması sonucu, çekme dayanımında genel olarak azalma meydana gelmiştir. En yüksek çekme dayanımı 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 84.23 MPa olarak kaydedilmiştir. 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numune en düşük akma dayanımına elde edilmesine rağmen, en yüksek kopma uzaması sahiptir. Gaz debisinin artmasıyla birlikte genel olarak numunelerin kopma uzaması azalmıştır.

6.2.1.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için optimum akım şiddeti 55 amper, lehim gerilimi 12 volt ve lehim gaz debisi 10 lt/dk olarak belirlenmiş, galvanizli 1315 IF çelik sacı için ise optimum akım şiddeti 55 amper, lehim gerilimi 12 volt ve lehim gaz debisi 12 lt/dk olarak belirlenmiş ve farklı lehim ilerleme hızlarında bağlantının mekanik özellikleri araştırılmış, optimum lehim ilerleme hızı tespit edilmeye çalışılmıştır. Tablo 6.8.'de galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için, Tablo 6.9.'da da galvanizli 1315 IF çelik sacı için bindirme birleştirmedeki lehimleme parametreleri verilmiştir.

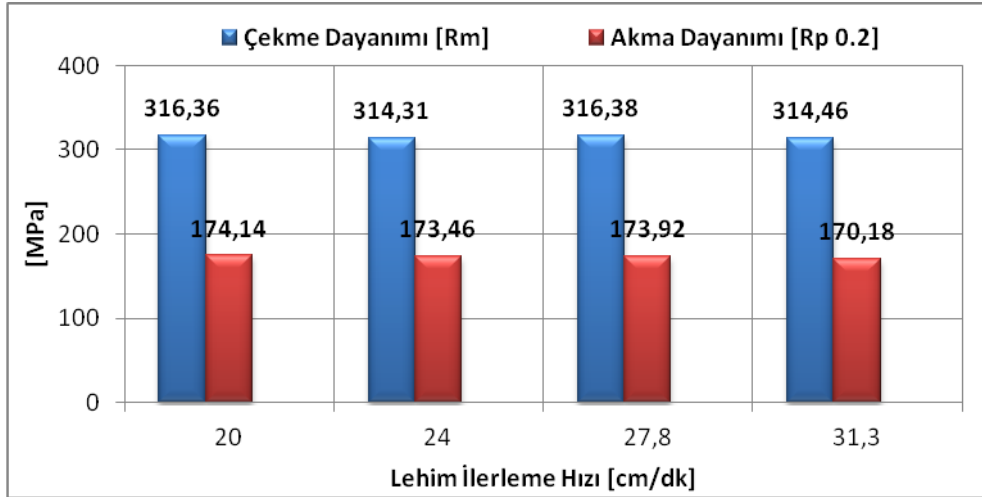
Tablo 6.8. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacına farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak bindirme birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
55	2.8	12	10	20	0.8
55	2.8	12	10	24	0.8
55	2.8	12	10	27.8	0.8
55	2.8	12	10	31.3	0.8

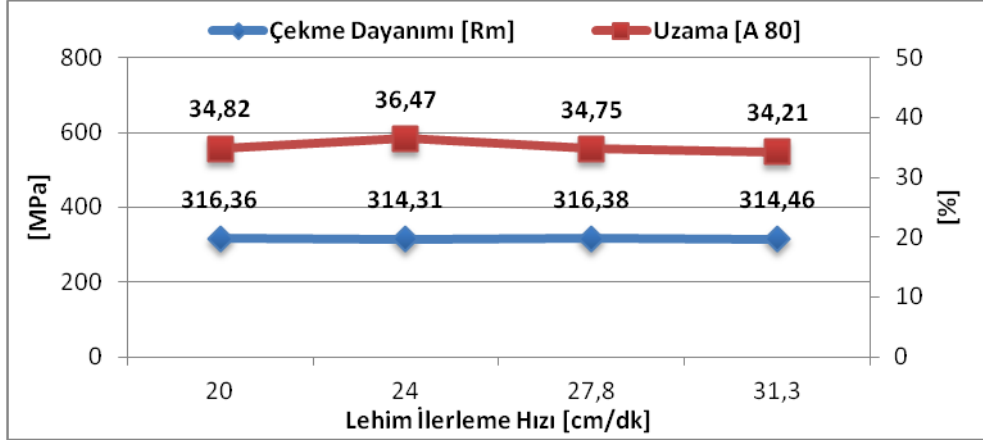
Tablo 6.9. Galvanizli 1315 IF çelik sacına farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak bindirme birleştirmedeki MIG-lehimleme parametreleri

Lehim Akım Şiddeti (A)	Lehim Teli Hızı (m/dk)	Lehim Gerilimi (V)	Gaz Debisi (lt/dk)	Lehim Hızı (cm/dk)	Lehim Aralığı (mm)
55	2.8	12	12	20	0.8
55	2.8	12	12	24	0.8
55	2.8	12	12	27.8	0.8
55	2.8	12	12	31.3	0.8

Galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik sacları için uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme ve akma dayanımları ile çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzde değerleri tespit edilmiştir.

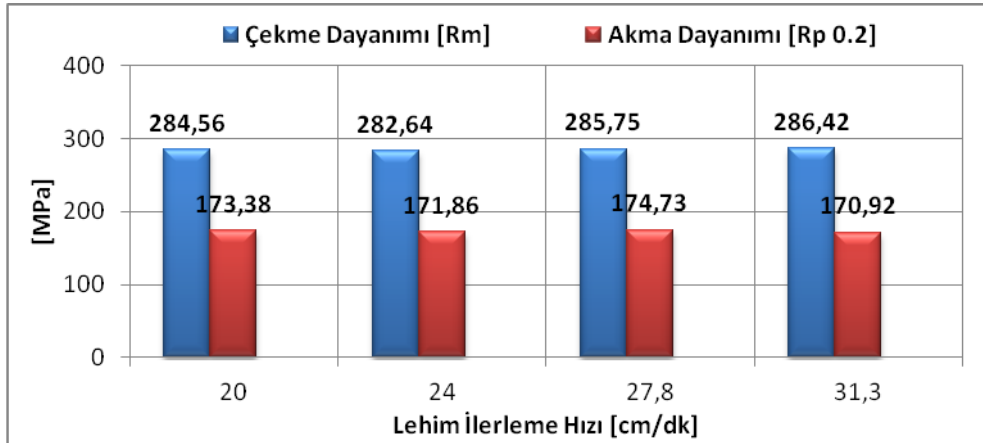


Şekil 6.93. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme ve akma dayanımları grafiği

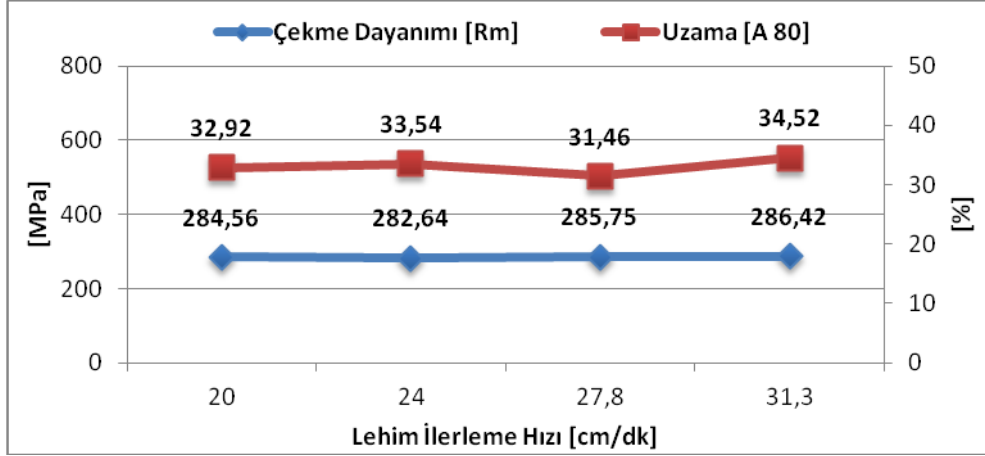


Şekil 6.94. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekmedayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği

Şekil 6.93. ve 6.94.'de gösterildiği gibi galvanizsiz 7116 IF çelik sacında farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak birleştirilen numunelerin çekme dayanımlarında yaklaşık 2 MPa'lık değişim görülmüştür. Çekme deneyi sonrası 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede en yüksek akma dayanımları elde edilmiş ve 174.14 MPa olarak ölçülmüştür. Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin yüzde uzama değerleri incelendiğinde en yüksek uzama 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede %36.47, en düşük uzama ise 31.3 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede %34.21 olarak elde edilmiştir. Gaz debisinin artması ile genel olarak % uzama değerlerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 6.95. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme ve akma dayanımları grafiği



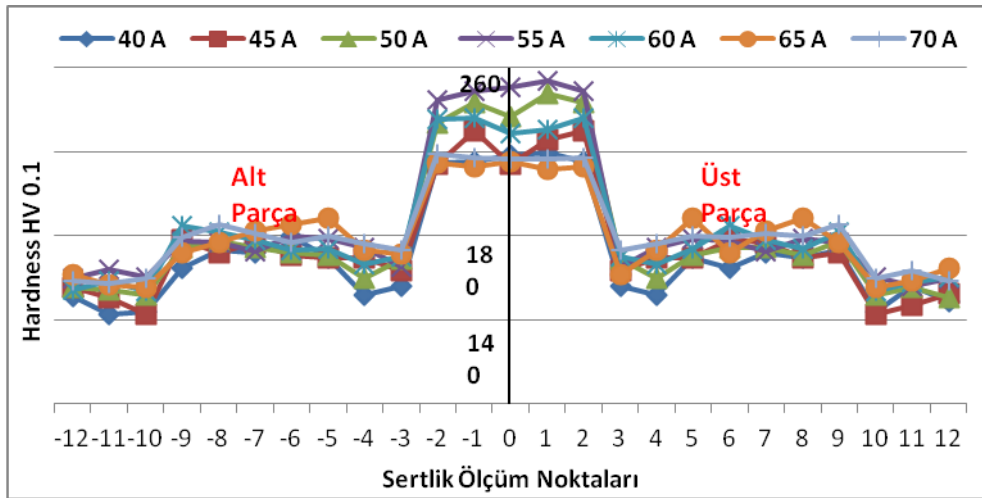
Şekil 6.96. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme dayanımı ve kopmadaki uzama yüzdeleri grafiği

Şekil 6.95. ve 6.96.'de gösterildiği gibi galvanizli 1315 IF çelik sacında lehim ilerleme hızları uygulanarak birleştirilen numunelerin çekme dayanımlarında yaklaşık 4 MPa'lık değişim görülmüştür. Çekme deneyi sonrası 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede en yüksek akma dayanımları elde edilmiş ve 174.73 MPa olarak ölçülmüştür. Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin yüzde uzama değerleri incelendiğinde en yüksek uzama 31.3 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede %34.52, en düşük uzama ise 27.8 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede %31.46 olarak elde edilmiştir. Gaz debisinin artması ile genel olarak % uzama değerlerinde artış meydana gelmiştir.

6.2.2. Lehim parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi

6.2.2.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

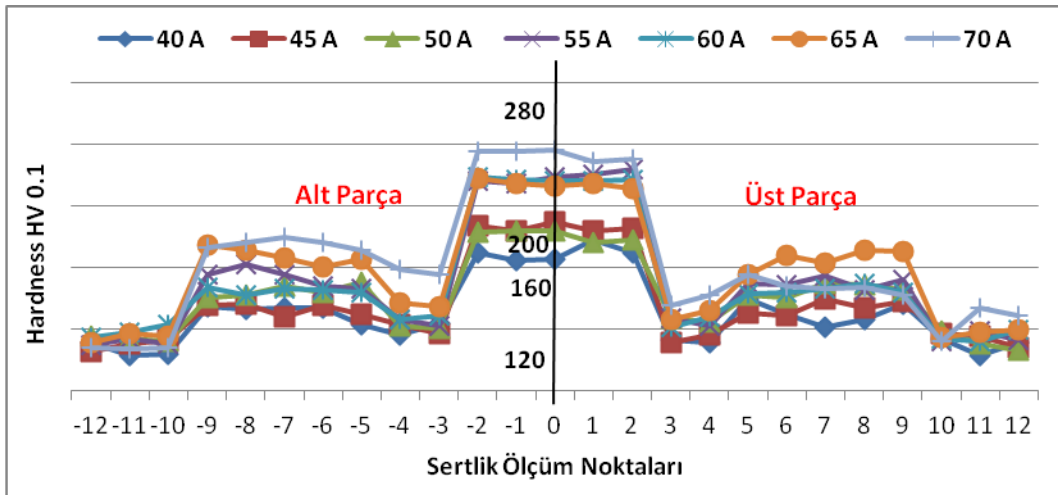
Farklı akım şiddetlerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.95. ve 6.97.'de gösterildiği gibidir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Sertlik alınan noktalar incelediğinde ana malzemeden lehim bölgesine doğru ilerledikçe sertlik değerlerinde artış görülmektedir.



Şekil 6.97. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacına farklı akım şiddeti uygulanarak elde edilen mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.97.'de gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalin mikrosertlik değerleri ortalama 145 HV olarak kaydedilmiştir. MIG-lehimleme operasyonu uygulanan numunelerin, esas metalden ısının tesiri altındaki bölgeye doğru ilerledikçe mikrosertlik değerlerinde artış görülmektedir. ITAB bölgesinde artan akım şiddetiyle birlikte bu değerler 178 HV değerlerine ulaşmıştır. Akım şiddetinin artmasıyla birlikte alt parçaya daha fazla ısı girdisi etki etmekte, böylelikle ITAB bölgesinde daha ince taneli ferritik yapı oluşmasından dolayı 65 A ve 70 A akım şiddeti uygulanan numunelerin mikrosertlik sonuçları ortalama değerlerden yaklaşık 10 HV'lık fazla olduğu tespit edilmiştir. 65 A ve 70 A akım şiddeti uygulanan numunelerin EDS analizi sonuçlarını incelediğimizde ITAB bölgesinde Al ve Ti alaşım elementlerinin daha fazla difüzyona uğradığı tespit edilmiştir. Şekil 6.95.'de gösterildiği gibi lehim bölgesi ile ITAB bölgesinin geçiş noktalarında yani difüzyon ara yüzeyinde mikrosertlik değerleri 40 A ve 45 A akım şiddeti uygulanan numunelerde ITAB bölgesindeki ortalama mikrosertlik değerlerinden yaklaşık 12 HV, lehim bölgesindeki ortalama mikrosertlik değerlerinden 37 HV'lık azalma olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebeplerinden birinin 40 A ve 45 A akım şiddeti uygulanan numunelerin EDS analiz sonuçlarında da gösterildiği gibi fosfor alaşım elementinin daha fazla difüzyona uğraması, kükürt alaşım elementinin ise daha az difüzyona uğramasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Üst parçanın ITAB bölgesindeki mikrosertlik değerleri incelendiğinde, alt parçanın ITAB bölgesindeki mikrosertlik değerlerinden yaklaşık 7 HV daha az olduğu, yani üst parçanın ITAB

bölgesindeki ortalama mikrosertlik değeri 171 HV olarak hesaplanmıştır. Aynı akım şiddeti uygulanmasına rağmen üst parça daha az ısıya maruz kalmakta, böylelikle Şekil 6.119.'da gösterildiği gibi daha iri ferritik tane yapısı oluşmaktadır. Dolayısıyla üst parçanın ITAB bölgesinin mikrosertlik değerleri daha az ölçülmüştür. Fakat akım şiddetinin artmasıyla birlikte üst parçanın ITAB bölgesindeki mikrosertlik sonuçlarının arttığı gözlemlenmiştir. Çünkü üst parçada akım şiddetinin artmasıyla birlikte daha ince ferritik tane yapısı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinin ortalama mikrosertlik değeri ise 227 HV olarak hesaplanmıştır. Lehim bölgesindeki en yüksek mikrosertlik sonuçları 50 A ve 55 A akım şiddeti uygulanan numunelerde kaydedilmiş ve yaklaşık ortalama değerden 15 HV daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak lehim bölgesinde akım şiddetinin artmasıyla birlikte 55 A akım şiddetine kadar artış olduğu, 60 A akım şiddetinden sonra azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebeplerinden birinin Şekil 6.117.'de gösterildiği gibi artan akım şiddeti ile birlikte 55 A akım şiddetine kadar lehim bölgesinde daha ince Cu-Al alaşımlı dendritik tane yapılar gözlemlenmiş ve bu dendritik yapıların lehim bölgesinde daha homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. 60 A akım şiddetinden sonra daha iri taneli Cu-Al alaşımlı dendritik tane yapıları gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde dendritik tane yapıları lehim bölgesinin ortalama mikrosertlik değerinden 25 HV daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



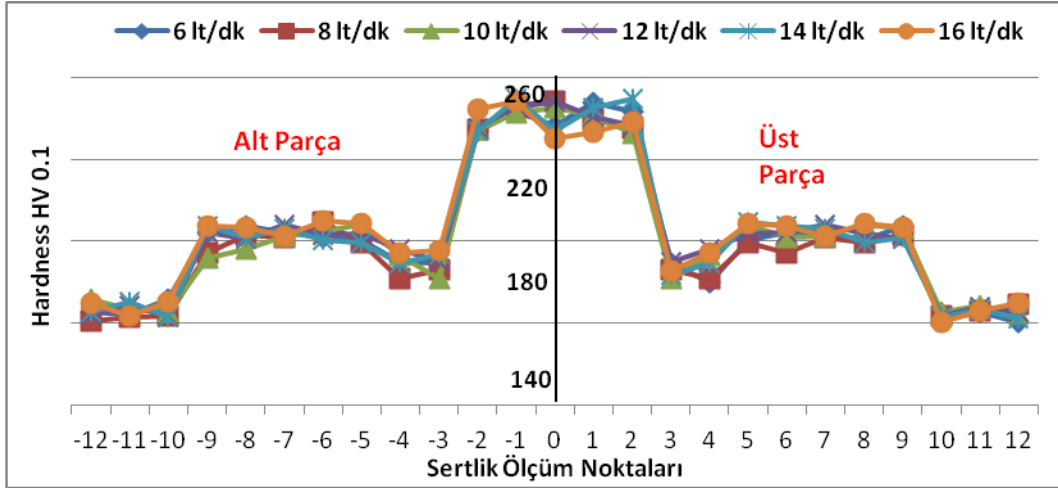
Şekil 6.98. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF çelik sacına farklı akım şiddeti uygulanarak elde edilen mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.98.'da gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalin mikrosertlik değerleri ortalama 115 HV olarak tespit edilmiştir. MIG-lehimleme operasyonu uygulandıktan sonra ITAB bölgesinde oluşan mikrosertlik değerleri alt parçada ortalama 146 HV olarak hesaplanmıştır. Ayrıca akım şiddetinin artmasıyla birlikte ITAB bölgesindeki sertlik değerlerinde de artış olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 65 A akım şiddeti uygulanan numunede ITAB bölgesindeki sertlik değeri ortalama değerden yaklaşık 18 HV daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çünkü akım şiddetinin artmasıyla birlikte ITAB bölgesinde daha ince ferritik taneler oluşmaktadır. Şekil 6.98.'de gösterildiği gibi ITAB bölgesi ile lehim bölgesinin geçiş noktalarında alt parçada 55 A akım şiddetinden sonra ITAB bölgesinin ortalama değerinden 12 HV fazla mikrosertlik sonuçları elde edilmiştir. Bunun sebeplerinden birinin lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe bakır ve mangan alaşım elementinin daha fazla difüzyona uğradığı, alüminyum alaşım elementinin ise 60 A, 65 A ve 70 A akım şiddeti uygulanan numunelere göre daha az difüzyona uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir. ITAB bölgesinde üst parçada, alt parçaya göre daha düşük mikrosertlik sonuçları ölçülmüştür. Aynı akım şiddetinde alt parça ile üst parça arasında ortalama 5 HV'lik değişim söz konusudur. Ayrıca üst parçada ITAB bölgesinde akım şiddetinin artmasıyla birlikte mikrosertlik değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Lehim bölgesinin ortalama mikrosertlik değeri ise 203 HV olarak hesaplanmıştır. Lehim bölgesinde akım şiddetinin artmasıyla birlikte mikrosertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle 55 A akım sonra lehim bölgesinde mikrosertlik sonuçlarında yaklaşık 30 HV'lik artış olduğu tespit edilmiştir. Lehim bölgesindeki en yüksek mikrosertlik sonuçları 70 A akım şiddeti uygulanan numunede kaydedilmiş ve yaklaşık ortalama değerden 35 HV daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

6.2.2.2. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

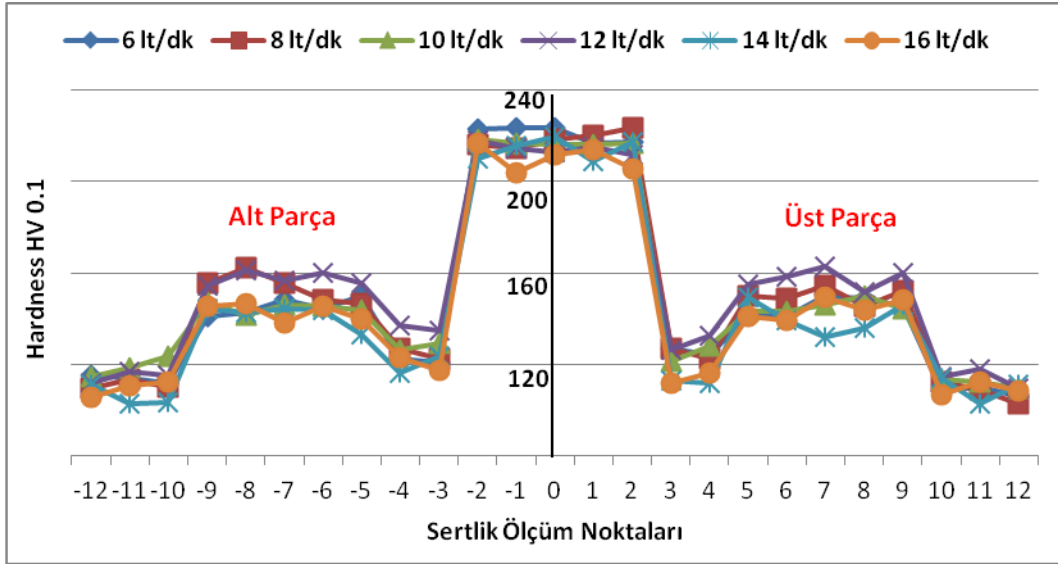
Farklı lehim gaz debilerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.99. ve 6.100.'de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşıldığı üzere farklı gaz debilerinde sertliği en yüksek olan noktalar

CuAl8 ilave telinin olduğu lehim bölgesi, daha sonra ITAB ve esas metal bölgesidir. MIG lehimleme uygulaması bindirme birleştirmede hem galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için hem de galvanizli 1315 IF çelik sacı için en optimum akım şiddeti değeri olarak 60 amper akım şiddetinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.99. Bindirme birleştirmedeki 7116 IF sacının farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.99.'da gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalin mikrosertlik değerleri ortalama 145 HV olarak kaydedilmiştir. MIG-lehimleme operasyonu uygulanan numunelerin, esas metalden ısının tesiri altındaki bölgeye doğru ilerledikçe mikrosertlik değerlerinde artış görülmektedir. ITAB bölgesinde artan akım şiddetiyle birlikte bu değerler alt parçada 185 HV, üst parçada ise 180 HV değerlerine ulaşmıştır. Gaz debisinin artması numunelere etki eden ısı girdisini değiştirmedeği için alt ve üst parçanın ITAB bölgelerindeki mikrosertlik değerliklerinde fazla bir değişiklik olmamıştır. ITAB bölgesi ile lehim bölgesi geçiş bölgesinde yani difüzyon ara yüzeyinde artan gaz debisi ile mikrosertlik sonuçlarının arttığı gözlemlenmiştir. Burada alt parçanın difüzyon ara yüzeyindeki sertlik değerlikleri üst parçaya göre ortalama 7 HV daha fazla olarak ölçülmüştür. Alt parçanın difüzyon ara yüzeyinde ortalama 171 HV sertlik ölçülürken, üst parçada 164 HV sertlik ölçülmüştür. Yani hem alt parçanın hem de üst parçanın ITAB bölgesindeki ortalama sertlik değerinden 14 HV, lehim bölgesinden ise 69 HV daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Lehim bölgesinin ortalama mikrosertliği 240 HV olarak hesaplanmıştır.

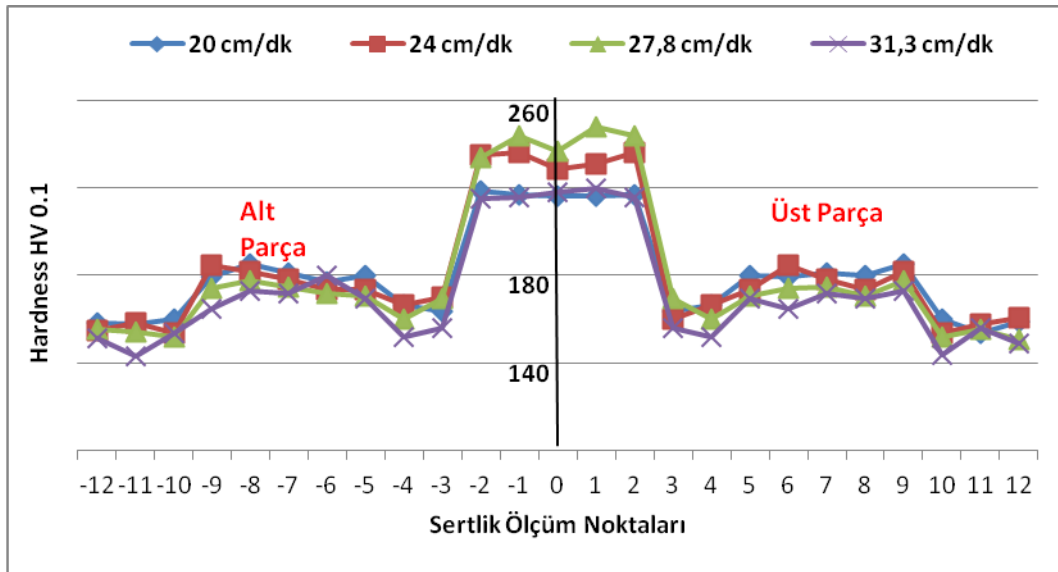


Şekil 6.100. Bindirme birleştirmedeki 1315 IF sacının farklı lehim gaz debilerinde mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.100.'de gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalin mikrosertlik değerleri ortalama 115 HV olarak kaydedilmiştir. MIG-lehimleme operasyonu uygulanan numunelerin, esas metalden ısının tesiri altındaki bölgeye doğru ilerledikçe mikrosertlik değerlerinde artış görülmektedir. ITAB bölgesinde artan akım şiddetiyle birlikte bu değerler alt parçada 148 HV, üst parçada ise 145 HV değerlerine ulaşmıştır. Gaz debisinin artması numunelere etki eden ısı girdisini değiştirmesine rağmen galvanizli 1315 IF çelik sacında artan gaz debisi ile birlikte ITAB bölgesinde mikrosertliğin düştüğü gözlemlenmiştir. Hem alt parçada hem de üst parçada özellikle 8 lt/dk, 10 lt/dk ve 12 lt /dk gaz debisi uygulana numunelerin ITAB bölgesindeki ortalama sertlik değerlerinden yaklaşık 15 HV daha fazla olduğu tespit edilmiştir. ITAB bölgesi ile lehim bölgesi geçiş bölgesinde yani difüzyon ara yüzeyinde artan gaz debisi ile mikrosertlik sonuçlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Burada alt parçanın difüzyon ara yüzeyindeki sertlik değerlikleri üst parçaya göre ortalama 3 HV daha fazla olarak ölçülmüştür. Alt parçanın difüzyon ara yüzeyinde ortalama 148 HV sertlik ölçülürken, üst parçada 145 HV sertlik ölçülmüştür. Yani alt ve üst parçanın ITAB bölgesindeki ortalama sertlik değerinden 23 HV, lehim bölgesinden ise 91 HV daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Lehim bölgesinin ortalama mikrosertliği 216 HV olarak hesaplanmıştır.

6.2.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi

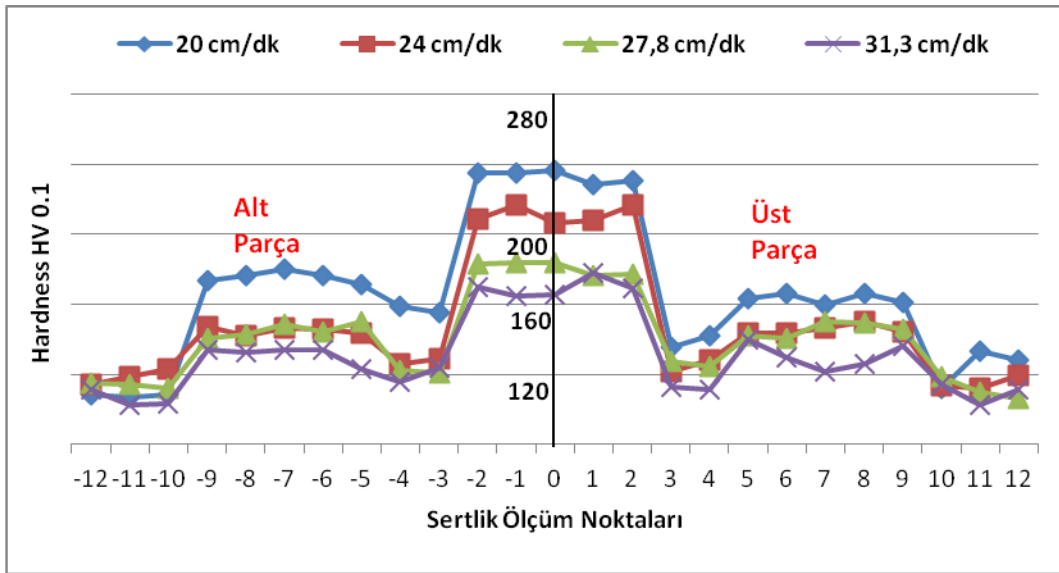
Şekil 6.101. ve 6.102.'de farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve esas metal olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı lehim ilerleme hızlarında, mikrosertliği düşük olan nokta esas metal olarak belirlenmiş. Esas metalden lehim bölgesine doğru ilerledikçe mikrosertlikte artış olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.101. Bindirme birleştirmedeki 7116 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik sonuçları

Şekil 6.101.'da gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalin mikrosertlik değerleri ortalama 145 HV olarak kaydedilmiştir. MIG-lehimleme operasyonu uygulanan numunelerin, esas metalden ısının tesiri altındaki bölgeye doğru ilerledikçe mikrosertlik değerlerinde artış görülmektedir. ITAB bölgesinde artan akım şiddetiyle birlikte bu değerler 177 HV değerlerine ulaşmıştır. Lehim ilerleme hızının artmasıyla numunelere daha fazla ısı girdisi etki etmesinden dolayı ITAB bölgesinde daha ince taneli ferritik yapı oluşması, 3 cm/dk lehim ilerleme hızının artması ITAB bölgesindeki sertlik değerliklerinde yaklaşık 5 HV etki oluşturduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.101.'de gösterildiği gibi lehim bölgesi ile ITAB bölgesinin geçiş noktalarında yani difüzyon ara yüzeyinde mikrosertlik değerleri 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede 14 HV daha az sertlik ölçümleri alınmıştır.

Bunun sebeplerinden birinin 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin EDS analiz sonuçlarında da gösterildiği gibi fosfor ve alüminyum alaşım elementlerinin daha fazla difüzyona uğraması, kükürt alaşım elementinin ise daha az difüzyona uğramasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel olarak lehim bölgesinde ilerleme hızının artmasıyla birlikte mikrosertlikte artış olmuştur. Fakat 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede en düşük mikrosertlik sonuçları elde edilmiştir. Lehim bölgesinin ortalama mikrosertliği 227 HV olarak hesaplanmış ve en yüksek mikrosertlik sonuçları 27.8 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede kaydedilmiştir.



Şekil 6.102. Bindirme birleştirmedeki 1315 IF çelik sacının farklı lehim ilerleme hızlarında mikrosertlik sonuçları

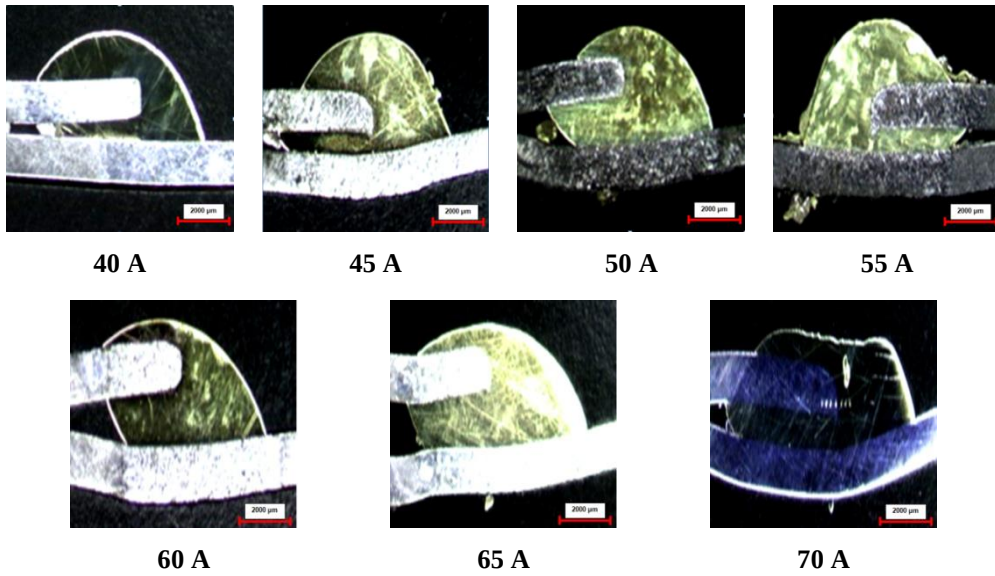
Şekil 6.102.'de gösterilen grafiği incelediğimizde esas metalin mikrosertlik değerleri ortalama 115 HV olarak kaydedilmiştir. MIG-lehimleme operasyonu uygulanan numunelerin, esas metalden ısının tesiri altındaki bölgeye doğru ilerledikçe mikrosertlik değerlerinde artış görülmektedir. ITAB bölgesinde artan lehim ilerleme hızı ile birlikte numunelerin mikrosertliğide artmıştır. 20 cm/dk, 24 cm/dk, 27.4cm/dk ve 31.3 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunelerde sırasıyla ortalama 176 HV, 145 HV, 146 HV ve 134 HV olarak hesaplanmıştır. Ayrıca difüzyon ara yüzeyinde de farklı mikrosertlik sonuçları elde edilmiştir. Burada özellikle alt parçada 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunenin difüzyon ara yüzeyinden ölçülen mikro sertlik sonucu ortalama 19 HV daha fazla sonuç elde edilmiştir.

Fakat üst parçada bütün ilerleme hızı uygulanan numunelerin mikrosertlik değerleri birbirine yakın değerler olarak kaydedilmiştir. Lehim bölgesinde ise lehim ilerleme hızının artması mikrosertlik değerlerinde artışa sebep olmuştur. Burada en yüksek mikrosertlik sonuçları 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede kaydedilmiştir.

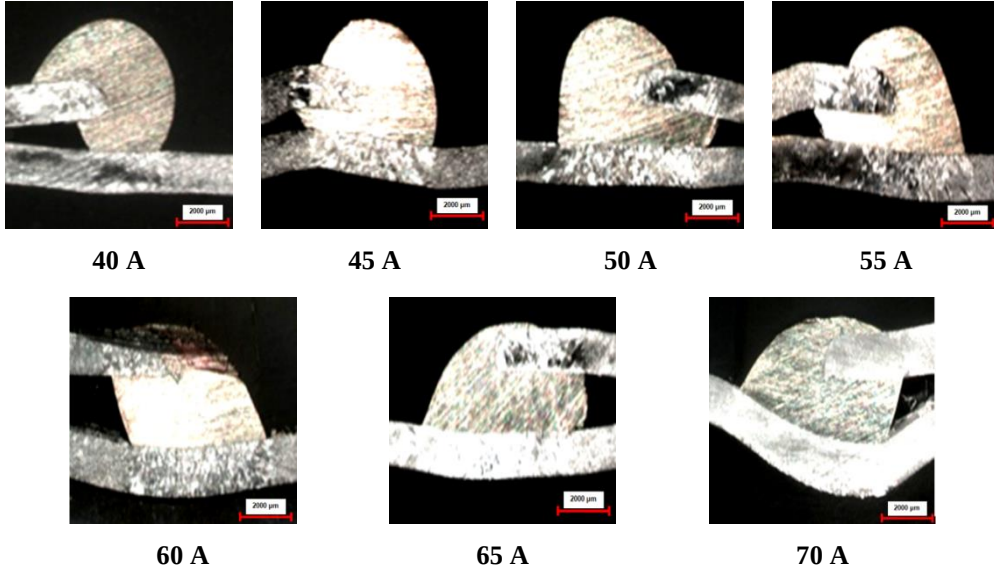
6.2.3. Lehim parametrelerinin lehim geometrisine etkisi

6.2.3.1. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi

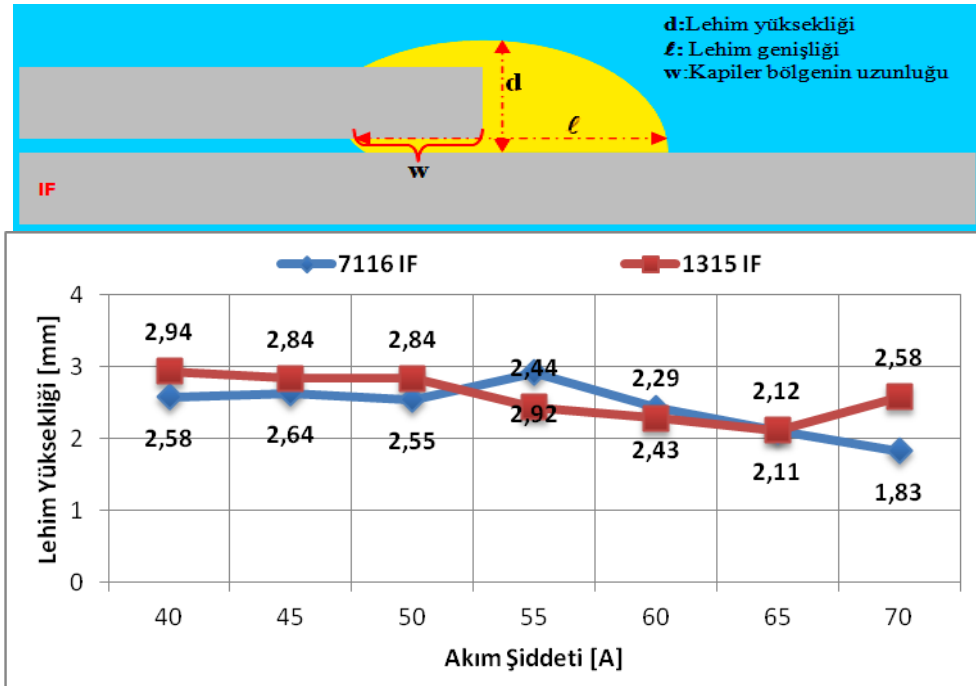
Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine olan etkisini araştırmak amacıyla farklı akım şiddetleri uygulanan IF çelik sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiştir. Farklı akım şiddetlerinde elde edilen IF çelik sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden Şekil 5.7’de gösterildiği gibi lehim yüksekliği (d), lehim genişliği (ℓ) ve lehim kapiler bölgenin uzunluğu (w) grafikler üzerinde gösterilerek IF çelik sacları için en uygun lehim akım şiddeti belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 6.103. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde 7116 IF çelik sacının makro görüntüleri



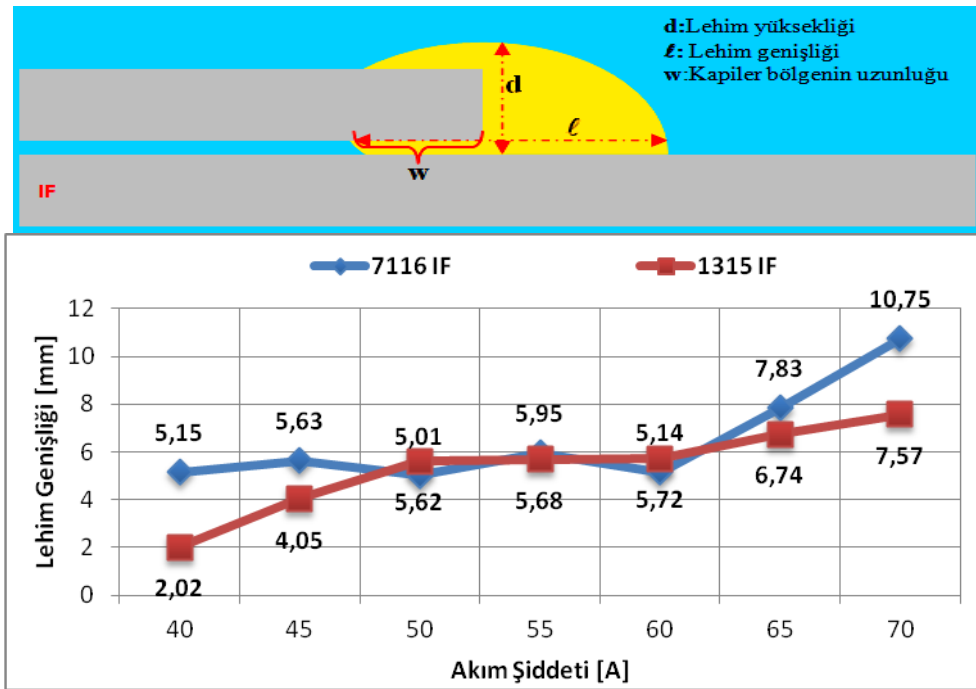
Şekil 6.104. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde 1315 IF çelik sacının makro görüntüleri



Şekil 6.105. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF çelik saclarının lehim yüksekliği

Şekil 6.105.'de gösterilen grafik incelendiğinde farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik sacında akım şiddetinin artmasıyla birlikte genel olarak lehim yüksekliğinin azaldığı görülmektedir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 50 A akım şiddetinden

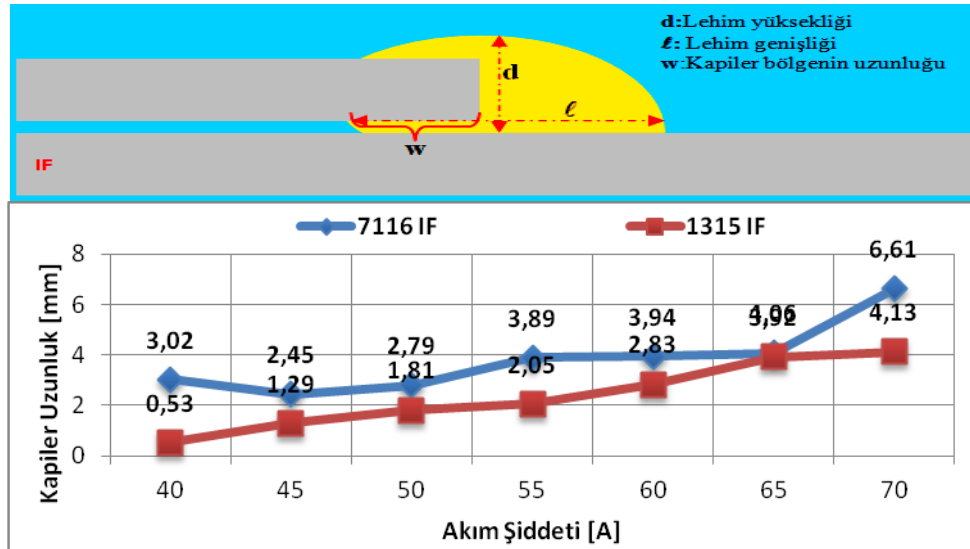
sonra yaklaşık % 15’lik azalma meydana gelmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise 50 A akım şiddetinden sonra galvanizsiz 7116 IF çelik sacının aksine % 20’lik artış meydana gelmiştir. Bu artışın ve azalmanın sebebi aynı akım şiddeti uygulanmasına rağmen kapiler basıncın etkisiyle kapiler bölgenin uzunluğunun artmasından kaynaklanmaktadır. Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen IF çeliklerinin Hyundai assan otomotiv sanayi ticaret A.Ş’nin kabul gören lehim dikiş formundaki kriterler ile karşılaştırılma yaptığımızda lehim yüksekliği $d \geq t_1$ ve minimum lehim yüksekliğinin 1.95 mm olmalıdır. Burada t_1 üst parçanın kalınlığını ifade etmektedir ve hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çelik sacında 0.9 mm’dir. Buna göre lehim yüksekliğinin standarda uygun olabilmesi için 0.9 mm’den büyük olması gerekmektedir. Bu bilgilere göre MIG-lehimleme yapılan hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çelik sacının lehimleme sonrası elde edilen lehim yükseklik değerleri sadece 70 A akım şiddetinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacı hariç bütün numuneler standartlara uygun olarak bulunmuştur.



Şekil 6.106. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF çelik saclarının lehim genişliği

Şekil 6.106.’da gösterilen grafik incelendiğinde farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik sacında akım şiddetinin artmasıyla birlikte genel olarak lehim genişliğinin arttığı görülmektedir.

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 60 A akım şiddetine kadar numunelerin lehim genişlikleri birbirlerine yakın değerler olarak kaydedilirken 65 A akım şiddetinden sonra yaklaşık % 50'lik artış meydana gelmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise 40 A akım şiddetinden 50 A akım şiddetine kadar yaklaşık 2 kat artış, 50 A akım şiddeti ile 60 A akım şiddetine kadar fazla bir değişiklik olmamıştır. Fakat 60 A akım şiddetinden sonra tekrar % 50'lik artış meydana gelmiştir. Ortalama lehim genişliği galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 6.49 mm olarak hesaplanmış ve en yakın değerler 55 A akım şiddeti uygulanan numunede gerçekleşmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise ortalama lehim genişliği 5.34 mm olarak hesaplanmış ve en yakın değerler 50 A, 55 A ve 60 A akım şiddeti uygulanan numunelerde gerçekleşmiştir. Hyundai assan otomotiv sanayi ticaret A.Ş.'nin kabul gören lehim dikiş formundaki kriterler ile karşılaştırılma yaptığımızda lehim genişliği $\ell \geq t_1 \times 1,4$ ve minimum 2.73 mm olmalıdır. Buna göre MIG-lehimleme yapılan hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çelik sacının lehimleme sonrası elde edilen lehim bacak uzunluğu değerleri sadece 40 A akım şiddeti uygulanan galvanizli 1315 IF çelik sacı hariç bütün numunelerde uygun olarak bulunmuştur.



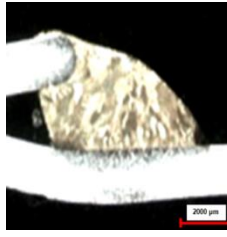
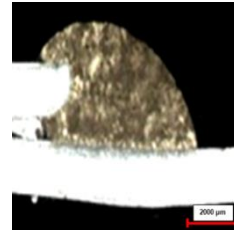
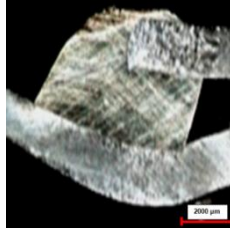
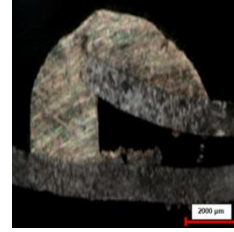
Şekil 6.107. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde IF çelik saclarının kapiler bölge uzunluğu

Şekil 6.107.'de gösterilen grafik incelendiğinde farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik sacında akım şiddetinin artmasıyla birlikte genel olarak kapiler bölgenin uzunluğunun arttığı görülmektedir.

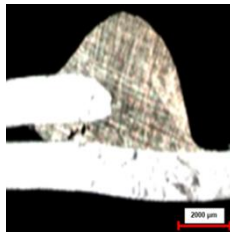
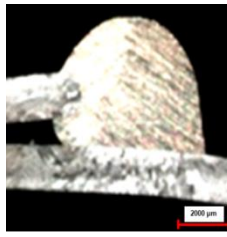
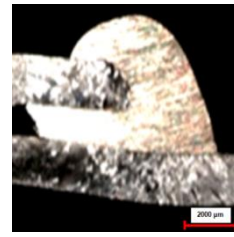
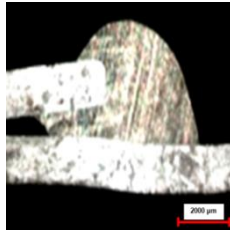
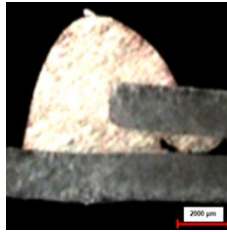
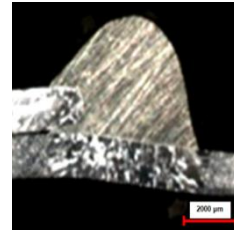
Özellikle galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 70 A akım şiddetinde kapiler bölgenin uzunluğu 6.61 mm en yüksek değer olarak ölçülmüştür. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise 5 A akım şiddetinin ortalama % 25'lik sürekli artışa sebep olduğu görülmektedir. K. Zimmermann ve arkadaşlarının da yapmış olduğu çalışmada kapiler basıncın lehim aralığı ile değişimini incelemişler. Sonuç olarak lehim aralığı 0 mm ile 0.05 mm mm aralığında kapiler basıncın 200 mbar, 0.05 mm ile 0.2 mm aralığında lehim aralığının artması ile birlikte kapiler basıncın hızlı bir şekilde düştüğü ve yaklaşık kapiler basıncın 40 mbar olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca 0.2 mm ve üzerinde lehim aralığı bırakıldığında kapiler basıncın fazla değişmediği ve ortalama kapiler basıncın 25 mbar olduğu sonucuna varmışlardır [83]. Galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarında bindirme birleştirmede MIG-lehimleme yapılırken bütün deney numuneleri 0.8 mm lehim aralığı bırakılarak birleştirilmesine rağmen galvanizli 1315 IF çelik sacında neredeyse hiç kapiler etki meydana gelmemiştir. Bunun sebeplerinden birinin 40 A akım şiddeti uygulanan numunede düşük ısı girdisinden dolayı erken katılaşmanın gerçekleşmesinden kaynaklandığı ön görülmektedir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ise erimiş lehim alaşımı kullanılan sac kalınlığının 3 ile 7 katından fazla bir mesafeyi ya da boşluğu kapiler etki sayesinde doldurmuştur. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise farklı akım şiddeti uygulanan numunelere kapiler etkinin daha az tesir ettiği Şekil 6.107.'deki sonuçlarda görülmektedir.

6.2.3.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi

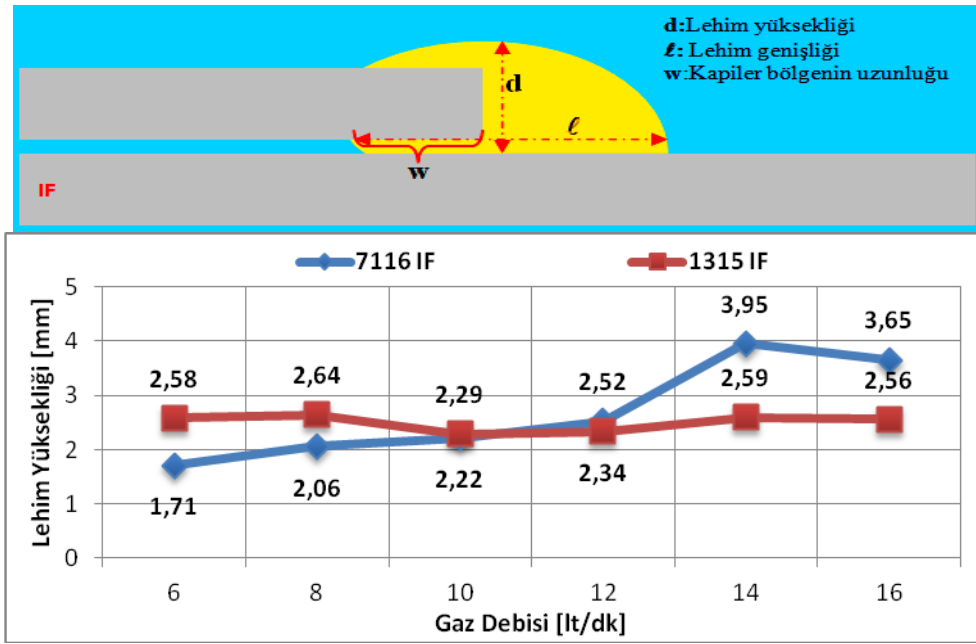
Lehim gaz debisinin lehim geometrisine olan etkisini araştırmak amacıyla farklı gaz debileri uygulanan IF çelik sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiştir. Farklı gaz debilerinde elde edilen IF çelik sac malzemelerin lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden Şekil 5.7'de gösterildiği gibi lehim yüksekliği (d), lehim genişliği (ℓ) ve lehim kapiler bölgenin uzunluğu (w) grafikler üzerinde gösterilerek IF çelik sacları için en uygun lehim gaz debisi belirlenmeye çalışılmıştır.

**6 lt/dk****8 lt/dk****10 lt/dk****12 lt/dk****14 lt/dk****16 lt/dk**

Şekil 6.108. Farklı gaz debilerinde bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF çelik sacının makro görüntüleri

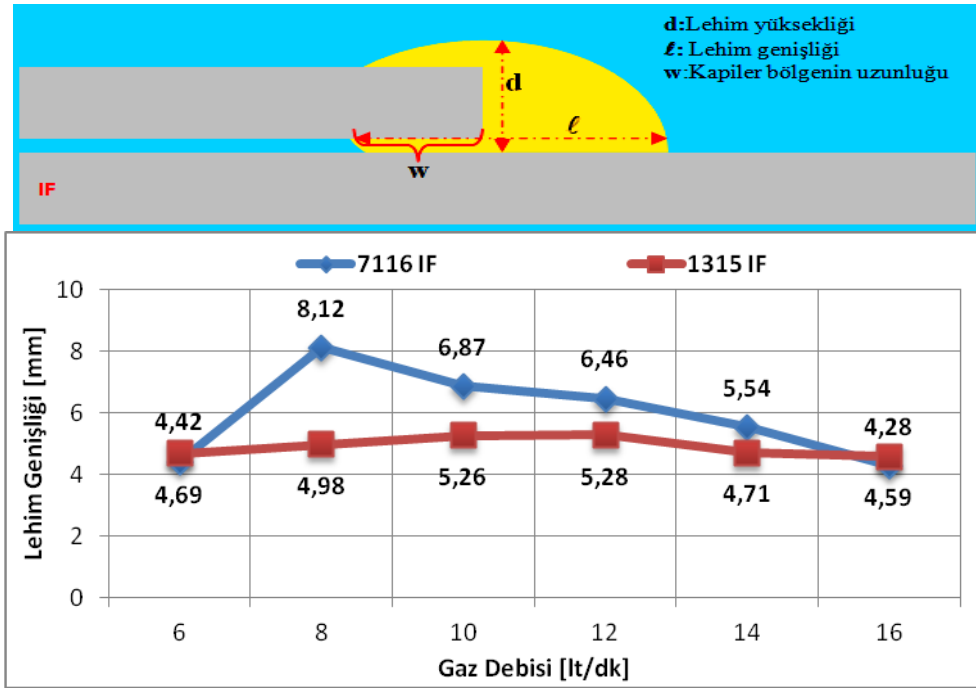
**6 lt/dk****8 lt/dk****10 lt/dk****12 lt/dk****14 lt/dk****16 lt/dk**

Şekil 6.109. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde galvanizli 1315 IF çelik sacının makro görüntüleri



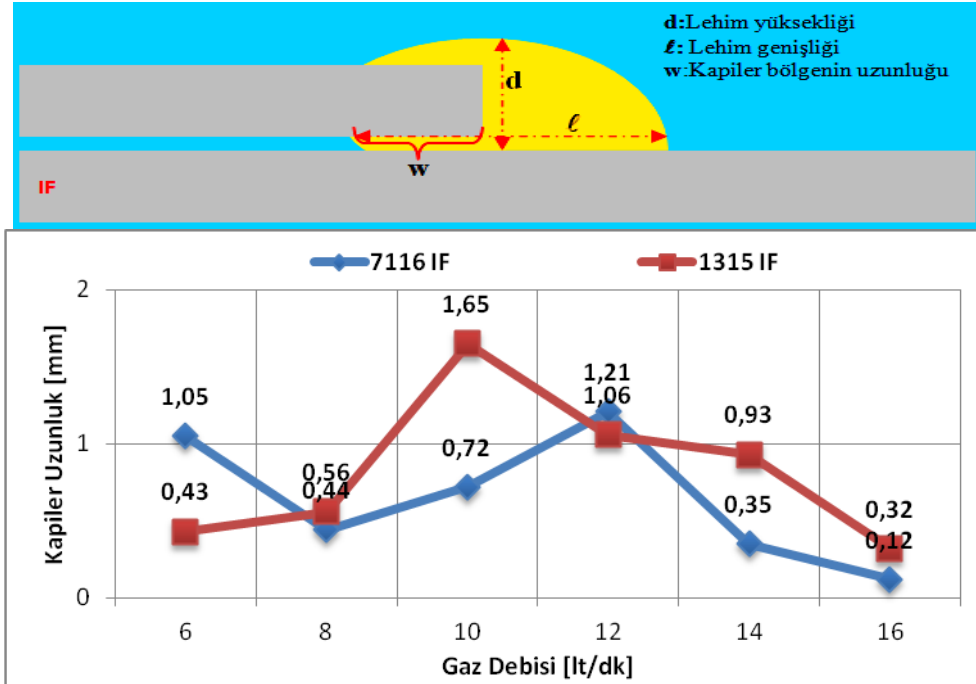
Şekil 6.110. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde IF çelik saclarının lehim yükseklikleri

Şekil 6.110.'da gösterilen grafik incelendiğinde artan gaz debisi ile birlikte galvanizsiz 7116 IF çelik sacında sürekli bir artış meydana gelirken, galvanizli 1315 IF çelik sacında 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra genellikle azalma meydana gelmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının ortalama lehim yükseklikleri sırası ile 2.68 mm ve 2.53 mm olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerlere en yakın sonuçlar galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 12 lt/dk, galvanizli 7116 IF çelik sacında ise 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde elde edilmiştir. Hyundai assan otomotiv sanayi ticaret A.Ş'nin kabul gören lehim dikiş formundaki kriterler ile karşılaştırılma yaptığımızda lehim yüksekliği $d \geq t_1$ ve minimum lehim yüksekliğinin 1.95 mm olmalıdır. Bu standarda göre galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numune hariç bütün birleştirmelerde istenilen lehim yüksekliği elde edilmiştir.



Şekil 6.111. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde IF çelik saclarının lehim genişliği

Şekil 6.111.'de gösterilen grafik incelendiğinde farklı gaz debilerin de birleştirilen numunelerin lehim genişlikleri incelendiğinde, genellikle galvanizsiz 7116 IF çelik sacında azalma meydana gelirken, galvanizli 1315 IF çelik sacında artış meydana gelmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında en yüksek lehim genişliği 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede, galvanizli 1315 IF çelik sacında 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede kaydedilmiştir. Ortalama lehim genişlikleri galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 5.95 mm, galvanizli 1315 IF çelik sacında ise 4.91 mm olarak kaydedilmiştir. Ortalama değerlere en yakın sonuçlar hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çelik saclarında 12 lt/dk ve 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde elde edilmiştir.



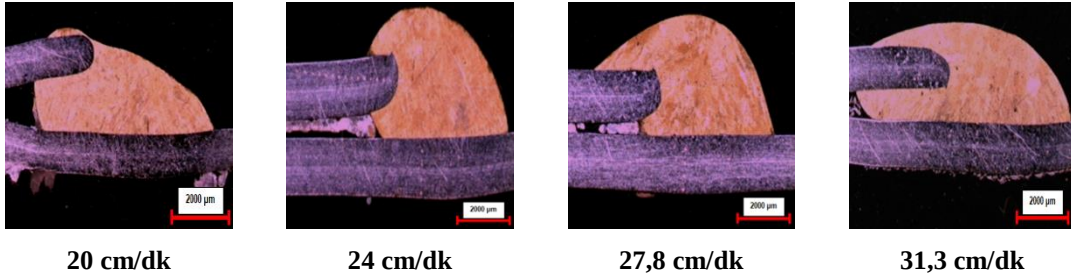
Şekil 6.112. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde IF çelik saclarının kapiler bölgenin uzunlukları

Şekil 6.112.'de gösterilen grafik incelendiğinde farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ve galvanizli 1315 IF çelik saclarında kapiler basıncında etkisiyle ergimiş metalin erken katılaşmasından dolayı 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde neredeyse hiç kapiler uzunluk sağlanamamıştır. Genel olarak gaz debisinin artmasıyla birlikte galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 14 lt/dk gaz debisi, galvanizli 1315 IF çelik sacında ise 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelere kadar kapiler bölgenin uzunluğunda artış meydana gelmiştir. Lehim aralığının 0.8 mm ve literatüre göre etki eden kapiler basıncın 25 mbar olarak bütün numuneler de aynı olmasına rağmen en yüksek kapiler bölgenin uzunluğu galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 12 lt/dk, galvanizli 1315 IF çelik sacında 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde elde edilmiştir.

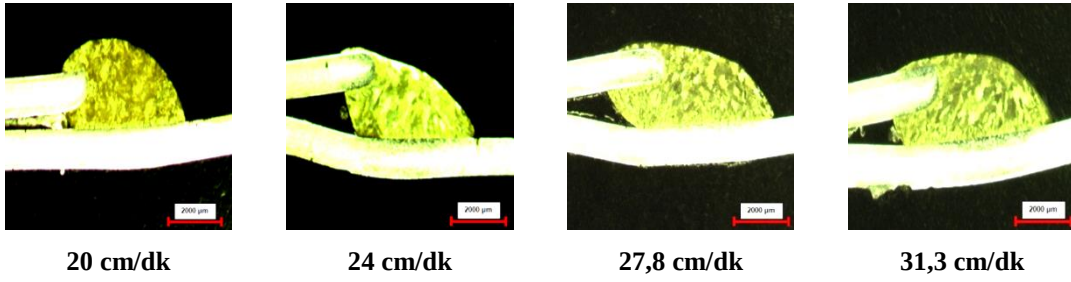
6.2.3.3. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi

Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine olan etkisini araştırmak amacıyla farklı lehim ilerleme hızları uygulanan IF çelik sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiştir. Farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen IF çelik sac malzemelerin

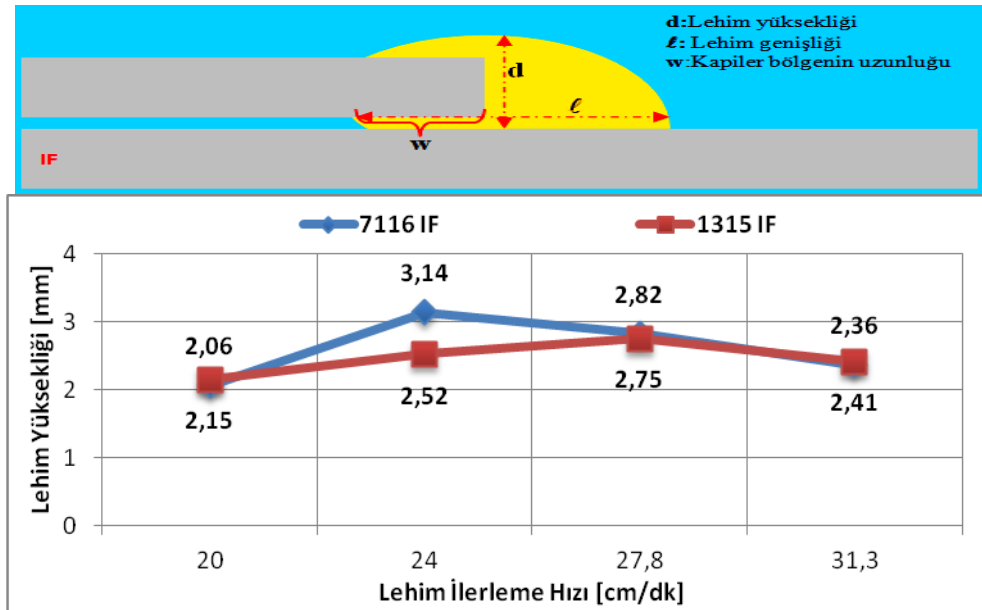
lehimlenmiş bağlantılarının makro görüntülerinden Şekil 5.7’de gösterildiği gibi lehim yüksekliği (d), lehim genişliği (ℓ) ve lehim kapiler bölgenin uzunluğu (w) grafikler üzerinde gösterilerek IF çelik sacları için en uygun lehim ilerleme hızları belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 6.113. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında 7116 IF çelik sacının makro görüntüleri

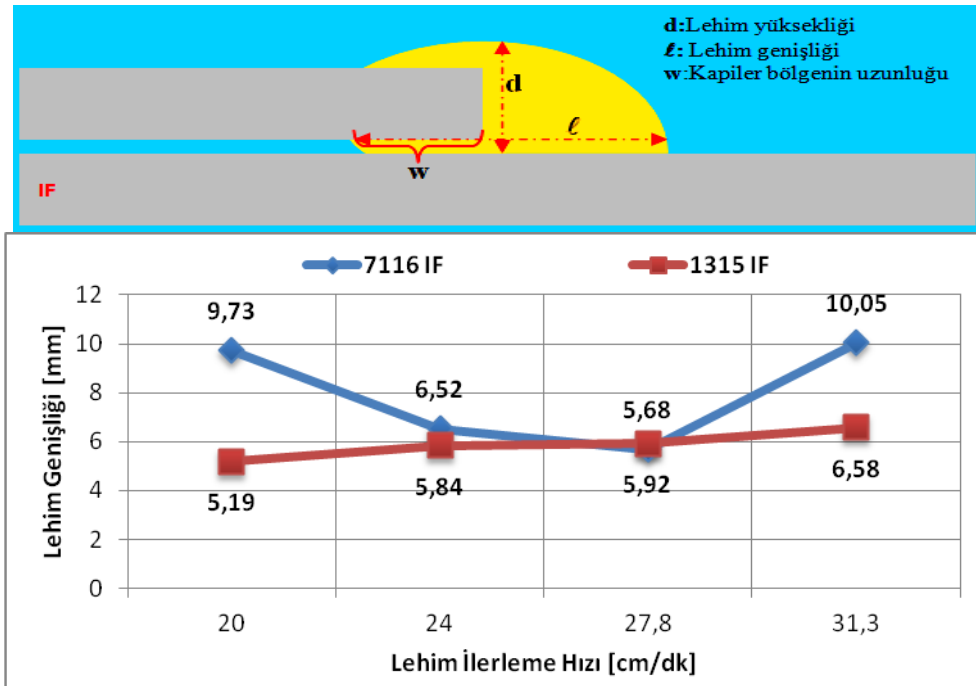


Şekil 6.114. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında 1315 IF çelik sacının makro görüntüleri



Şekil 6.115. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında IF çelik saclarının lehim yükseklikleri

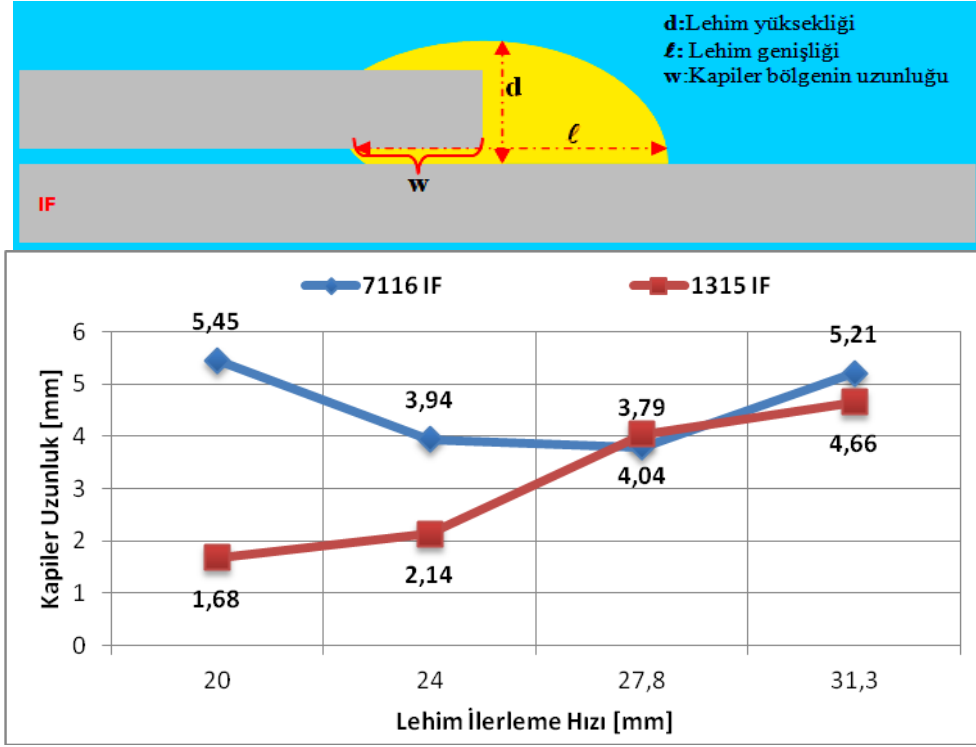
Şekil 6.115.'de gösterilen grafik incelendiğinde artan lehim ilerleme hızı ile birlikte galvanizsiz 7116 IF çelik sacında genellikle artış meydana gelirken, galvanizli 1315 IF çelik sacında genellikle azalma meydana gelmiştir. Hem galvanizsiz 7116 IF çelik sacında hem de galvanizli 1315 IF çelik saclarının aynı lehim ilerleme hızlarında lehim yükseklik değerleri birbirine yakın değerler olarak ölçülmüştür. Sadece 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede yaklaşık %25'lik bir değişim söz konusudur. Hyundai assan otomotiv sanayi ticaret A.Ş'nin kabul gören lehim dikiş formundaki kriterleri ile karşılaştırılma yaptığımızda lehim yüksekliği $d \geq t_1$ ve minimum lehim yüksekliğinin 1.95 mm olmalıdır. Buna göre hem galvanizsiz 7116 IF çelik sacında hem de galvanizli 1315 IF çelik sacında bütün birleştirmelerde istenilen lehim yüksekliği elde edilmiştir.



Şekil 6.116. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında IF çelik saclarının lehim genişliği

Şekil 6.116.'da gösterilen grafik incelendiğinde farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin artan lehim hızı ile birlikte galvanizsiz 7116 IF çelik sacında genellikle artış meydana gelirken, galvanizli 1315 IF çelik sacında genellikle azalma meydana gelmiştir. Hem galvanizsiz 7116 IF çelik sacında hem de galvanizli 1315 IF çelik saclarında en yüksek lehim genişliği 31.3 cm/dk lehim ilerleme hızı

uygulanan numunelerde kaydedilmiştir. Galvanizli 7116 IF çelik sacında 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede lehim genişliğinin yüksek çıkmasının sebebi lehim yüksekliğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



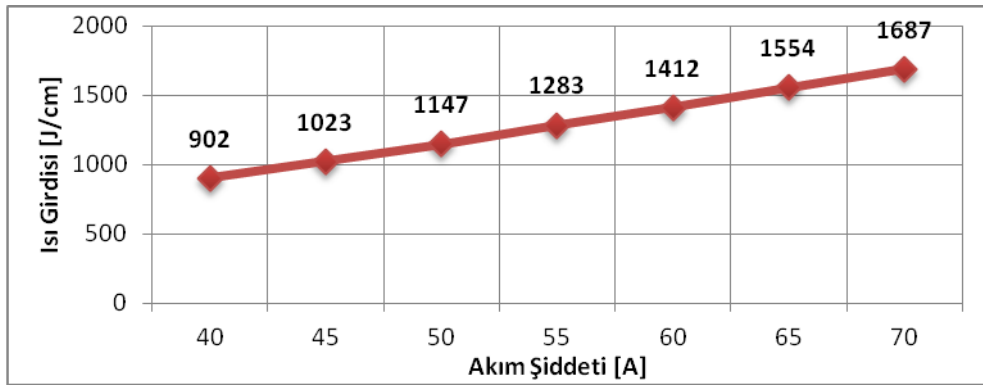
Şekil 6.117. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında IF çelik saclarının kapiler bölge uzunlukları

Şekil 6.117.'de gösterilen grafik incelendiğinde farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacında kapiler bölgenin uzunluğu lehim ilerleme hızının artmasıyla arttığı, galvanizli 1315 IF çelik sacında ise azaldığı görülmektedir. Lehim aralığının 0.8 mm ve literatüre göre etki eden kapiler basıncın 25 mbar olarak bütün numuneler de aynı olmasına rağmen en yüksek kapiler bölgenin uzunluğu galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 20 cm/dk ilerleme hızında 5.45 mm, galvanizli 1315 IF çelik sacında 31.3 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede 4.66 mm olarak kaydedilmiştir.

6.2.4. Lehim parametrelerinin ısı girdisi ve mikroyapı özelliklerine etkisi

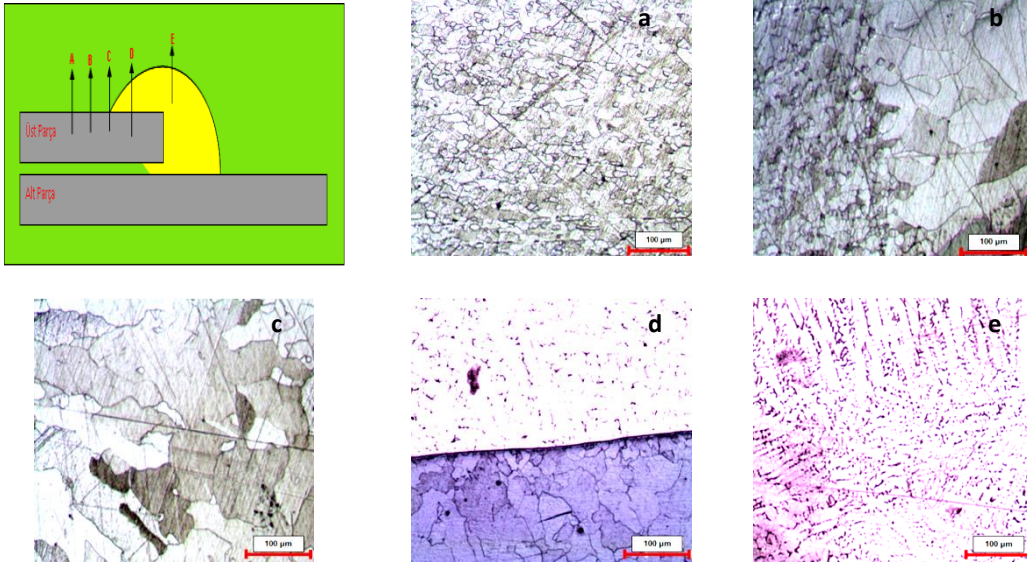
6.2.4.1. Lehim akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı lehim akım şiddetlerinde bindirme birleştirmede MIG-lehimleme operasyonu gerçekleştirilen IF çelik saclarının ısı girdileri grafiği Şekil 6.116.'da verilmektedir. Burada akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir.

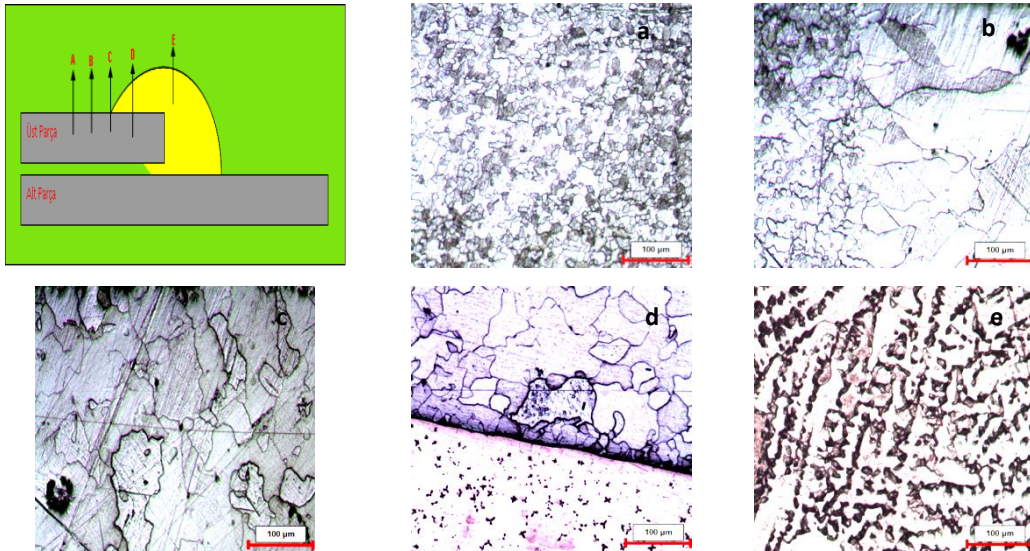


Şekil 6.118. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde ısı girdileri grafiği

MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen IF çelik saclarının mikroyapıları incelenirken Şekil 6.119. ve 6.120.'de gösterildiği gibi mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Burada 'a' bölgesi esas metal yani ince taneli bölge, 'b' bölgesi esas metal – ITAB bölgesi geçiş yani ince taneli bölgeden iri taneli bölgeye geçiş, 'c' bölgesi ITAB bölgesi yani iri taneli bölge, 'd' bölgesi ITAB- lehim bölgesine geçiş ve 'e' bölgesi lehim bölgesi olarak gösterilmiştir.

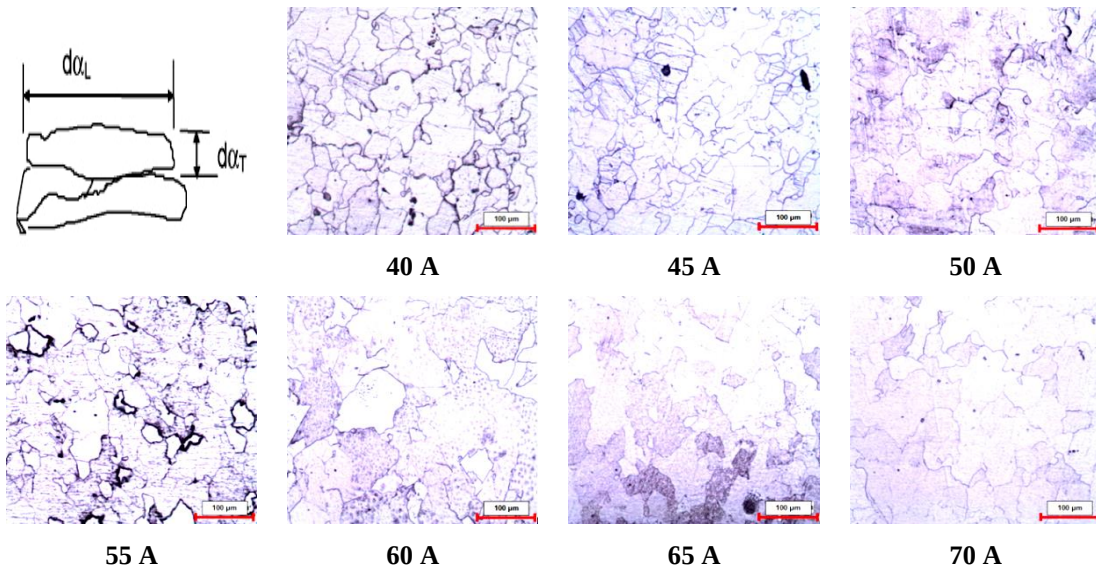


Şekil 6.119. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 60 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e:lehim bölgesi)

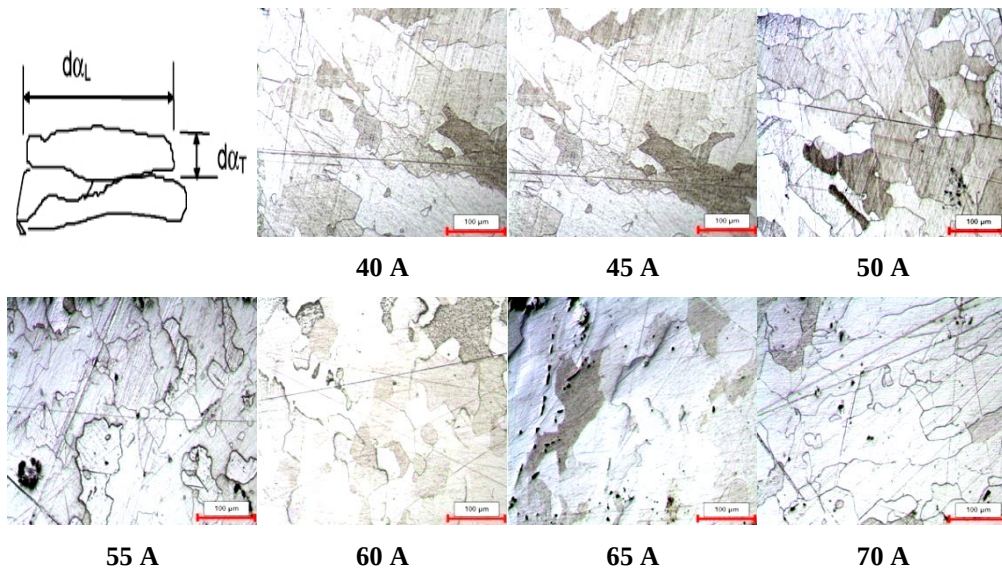


Şekil 6.120. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 60 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e:lehim bölgesi)

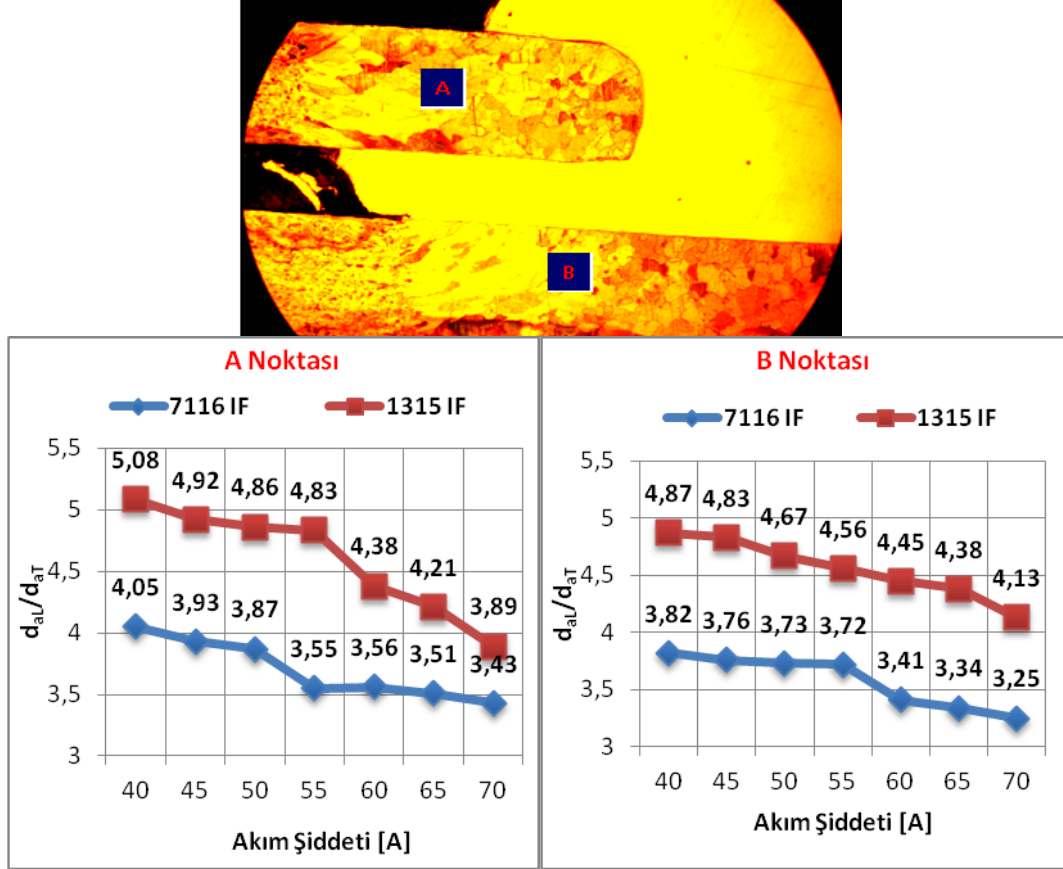
Mikroyapılar incelenirken artan akım şiddetiyle birlikte IF çeliklerine etki eden ısı girdisinin Şekil 6.121. ve 6.122.'de gösterildiği gibi, ITAB bölgesinde ferrit tane boyutlarının enine (d_{aT}) ve boyuna (d_{aL}) oranları incelenmiştir.



Şekil 6.122. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.123. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri



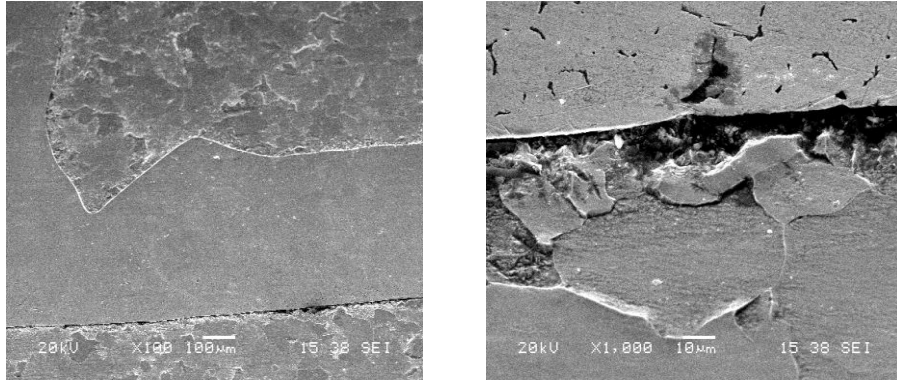
Şekil 6.123. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin d_{al}/d_{at} oranı

Şekil 6.121. ve 6.122.’deki mikroyapı görüntüleri ve Şekil 6.123.’deki grafik incelendiğinde artan akım şiddeti ile birlikte ısı girdisi artmakta ve malzemelerin üzerine uygulanan ısıdan dolayı ITAB bölgesinde tanelerin boylarının (d_{al}) enine (d_{at}) oranı azalmaktadır. Yani malzemelere uygulanan ısı girdisi oranı arttıkça ITAB bölgesinde daha ince taneli bir yapı gözlemlenmiştir. Söz konusu IF çeliklerinin yeniden kristalleşme sıcaklığı 650°C [10] olup MIG-lehimleme işlemi esnasında ITAB bölgesinde erişilen sıcaklığın 1000°C ’nin üzerinde olduğu ön görülmektedir. ITAB bölgesinde lehimleme sırasında oluşan deformasyon esnasında yeniden kristalleşmenin etkisinden söz edebiliriz. Dolayısıyla ITAB bölgesi dinamik yeniden kristalleşmenin gözlemlendiği bölgedir. Bu bölgede eş zamanlı aşırı plastik deformasyon nedeniyle tane incelmeleri ve yeniden kristalleşme sıcaklığının oldukça üzerine çıkılması sonucu tane irileşmesi meydana gelmektedir [11]. T. Küçükömeroğlu ve arkadaşlarının da yapmış olduğu çalışmada da $40\text{ }\mu\text{m}$ tane boyutuna sahip bir IF çeliğinin yeniden kristalleştirme sıcaklığının üstünde bir

sıcaklığa maruz kaldığında ITAB bölgesindeki kısmen irileşmiş tanelerin belirgin olarak görüldüğünü söylemektedirler. Bizim çalışmamızda elde edilen veriler literatürdeki bilgileri destekler niteliktedirler. Çünkü galvanizsiz 7116 IF çelik sacında optik mikroskopta 100 büyütmede çekilen mikroyapı resimlerinde görüldüğü gibi, esas metalin 42 μm tane boyutuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde esas metal ve ITAB arasındaki kristalografik geçiş sınırında homojen olarak tanelerin dağılmamasına rağmen tane boyutu ortalama 65 μm olarak tespit edilmiştir. ITAB bölgesinde ise galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ferrit tanelerinin boyları (d_{aL}) ortalama 155 μm , eni (d_{aT}) ise ortalama 42 μm olarak ölçülmüştür. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise optik mikroskopta 100 büyütmede çekilen mikroyapı resimlerinde de görüldüğü gibi, esas metalin 55 μm tane boyutuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde esas metal ve ITAB arasındaki kristalografik geçiş sınırında homojen olarak tanelerin dağılmamasına rağmen tane boyutu ortalama 80 μm olarak tespit edilmiştir. ITAB bölgesinde ise ferrit tanelerinin boyları (d_{aL}) ortalama 295 μm , eni (d_{aT}) ise ortalama 65 μm olarak ölçülmüştür. Hem galvanizsiz 7116 IF çelik hem de galvanizli 1315 IF çelik saclarında mikroyapı resimlerinde de görüldüğü gibi ısının etkisiyle birlikte ferrit tanelerinin boyuna bir uzamanın gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Bindirme geometride birleştirilen IF çelik saclarının ITAB bölgesinde tanelerin boylarının (d_{aL}) enine (d_{aT}) oranlarına baktığımızda alt parçanın yani B noktasına etki eden ısı girdisinin daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Hem galvanizsiz 7116 IF çelik hem de galvanizli 1315 IF çelik saclarında A ve B noktasında en yüksek d_{aL}/d_{aT} oranı 40 amper akım şiddeti uygulanan numunede, yani 902 J/cm ısı girdisi uygulanan numunede elde edilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacına A noktasında 1687 J/cm de etki eden ısı girdisinden dolayı elde edilen d_{aL}/d_{aT} oranı, B noktasında yaklaşık 1412 J/cm ısı girdisindeki d_{aL}/d_{aT} oranına denk gelmektedir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise A noktasında 1283 J/cm de etki eden ısı girdisinden dolayı elde edilen d_{aL}/d_{aT} oranı ise, B noktasında 1023 J/cm ısı girdisindeki d_{aL}/d_{aT} oranına denk gelmektedir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ve galvanizli 1315 IF çelik sacında A ve B noktalarına etki eden ısı dağılımlarına bakıldığında, d_{aL}/d_{aT} oranlarına göre galvanizli 1315 IF çelik sacında B noktasına daha fazla ısının etki ettiğini söyleyebiliriz. Genel olarak IF çelik saclarının ITAB

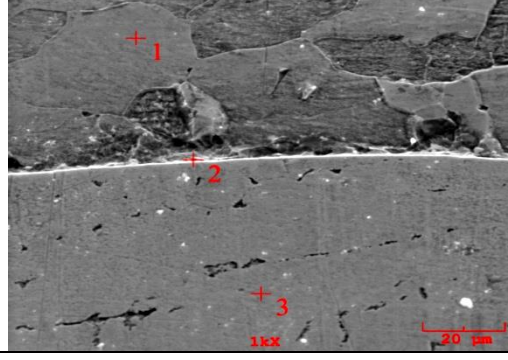
bölgesindeki tane boyutlarındaki farklılık numunelere etki eden ısı girdisi ile ters orantılıdır.

55 A akım şiddeti 1283 J/cm ısı girdisi uygulanarak MIG-lehimleme operasyonu uygulanan galvanizsiz 7116 IF çelik sac numunenin SEM görüntüleri Şekil 6.124.'de verilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF çelik saclarının CuAl8 lehim teli kullanılarak MIG-lehimlenmesi işleminde, birleştirilecek metaller ile ilave metal arasındaki metalürjik bağın oluşumu, difüzyon adını verdiğimiz atomların transferi ile gerçekleşmiştir. Birleştirme ara yüzey metalinde oluşan tane yapısının ise birbiri içerisine girmiş ince dendritik tanelerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.124. Bindirme geometride birleştirilen 7116 IF sacın 55 A akım şiddetindeki SEM görüntüleri

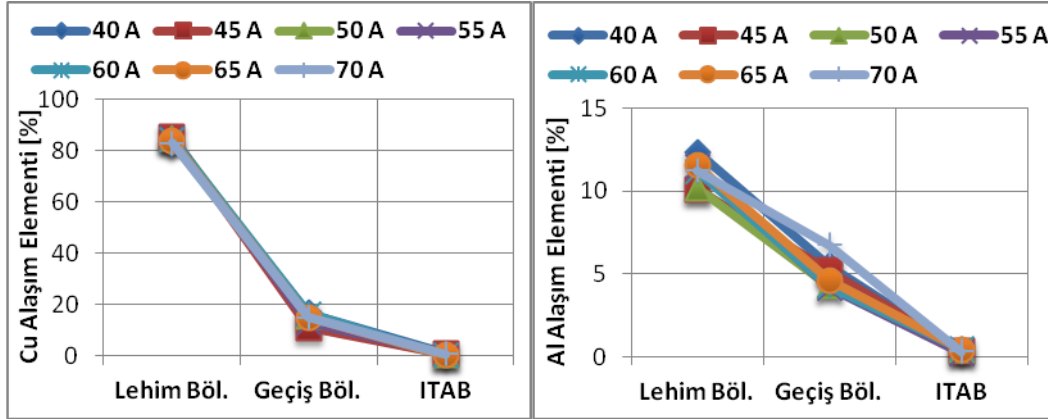
Numuneler üzerinde lehim teli olarak kullanılan CuAl8 alaşımından düşük karbonlu galvanizsiz 7116 IF çelik yapıya gerçekleşen difüzyonu ölçmek için Şekil 6.125.'de görüldüğü gibi EDS analizi yapılmıştır.



Point	Element (wt %)							
	Al	Si	P	S	Ti	Mn	Fe	Cu
1	0.207	0.073	0.544	0.149	0.071	0.148	98.107	0.701
2	4.423	0.302	0.116	0.195	0.087	0.222	84.711	13.120
3	11.463	0.256	0.324	0.127	0.209	0.095	1.801	84.965

Şekil 6.125. Bindirme geometride birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacın 55 A akım şiddetindeki EDS analizi

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölgede esas metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir. 2 numaralı bölge lehim ara yüzeyini göstermekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini ifade etmektedir. 3 numaralı bölgede ise bakır ve alüminyumca zengin dendrit yapısı görülmektedir.



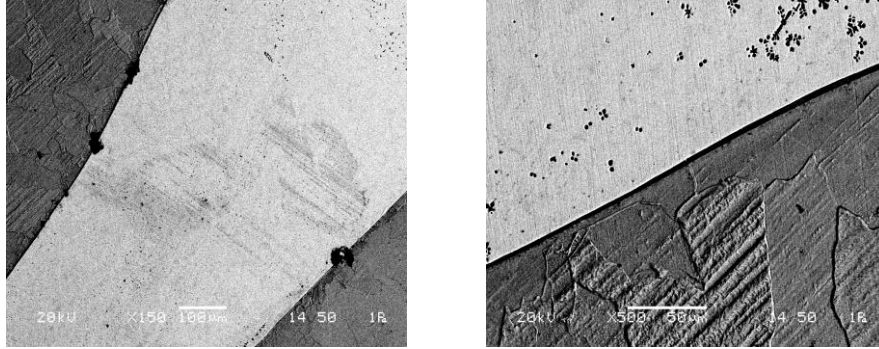
Şekil 6.126. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizsiz 7116 IF çeliği tarafında alt parçada birleşme bölgesine yaklaşık 20 µm mesafede bakır ve alüminyum alaşım elementlerinin difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 85 Cu elementi içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe %15 civarında Cu

alaşım elementinin difüze olduğu tespit edilmiştir. Akım şiddetinin artması Cu alaşım elementinin difüzyonunda artışa sebep olmuştur. Geçiş bölgesinde Cu alaşım elementinin en yüksek difüzyonu 40 A akım şiddeti içeren numunede %16 olarak gerçekleşmiştir. Geçiş bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe Cu alaşım elementinin difüzyonunun artan akım şiddeti ile birlikte fazla bir değişiklik olmamıştır. Al alaşım elementinin artan akım şiddeti ile birlikte Cu alaşım elementine göre daha az difüze olduğu tespit edilmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 10 civarında alüminyum ihtiva edene numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe ortalama % 4,5 civarında Al alaşım elementinin difüzyona uğradığı tespit edilmiştir. 60 A artan akım şiddeti ile birlikte Al alaşım elementinin difüzyonunda genel olarak düşüş olduğu, fakat 60 A akım şiddetinden sonra artış olduğu görülmektedir. Geçiş bölgesindeki en yüksek Al elementinin difüzyonu 70 A akım şiddeti uygulanan numunede % 6.74 olarak kaydedilmiştir. Genel olarak Cu ve Al alaşım elementlerine ilaveten, silisyum, mangan, titanyum ve demir oranlarının da bölgelere göre dağılımlarına bakıldığında mangan oranının CuAl₈ lehim teli tarafına doğru gidildikçe arttığı, silisyum, titanyum ve demir oranlarının ise tam aksine azaldığı gözlemlenmiştir. Silisyum alaşım elementinin lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru difüzyonun artması, 70 A akım şiddeti uygulanan numunede en yüksek akma dayanımının elde edilmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Mangan alaşım elementinin etkilerini, lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe artan akım şiddeti ile azalması sonucu, 40 A akım şiddeti uygulanan numunede lehim bölgesi ile ITAB bölgesine geçiş bölgesinde en düşük sertlik değerine ulaşılmasına sebep olduğunu söyleyebiliriz. Sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere birleşme şeklinin atomsal difüzyon şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu elementlerin konsantrasyonlarındaki artma ve azalma; sertlikteki değişimin temel kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir.

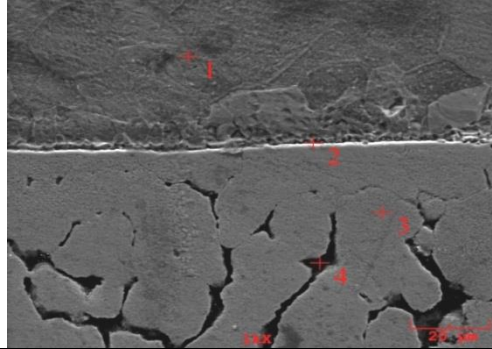
70 A akım şiddeti 1687 J/cm ısı girdisi uygulanarak MIG-lehimleme operasyonu uygulanan galvanizli 1315 IF çelik sac numunenin SEM görüntüleri Şekil 6.127.'de verilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik saclarının CuAl₈ lehim teli kullanılarak MIG-lehimlenmesi işleminde, birleştirilecek metaller ile ilave metal arasındaki metalürjik bağın oluşumu, difüzyon adını verdiğimiz atomların transferi ile gerçekleşmiştir.

Birleştirme ara yüzey metalinde oluşan tane yapısının ise birbiri içerisine girmiş ince dendritik tanelerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.127. Bindirme geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 70 A akım şiddetindeki SEM görüntüleri

Numuneler üzerinde lehim teli olarak kullanılan CuAl8 alaşımından düşük karbonlu galvanizli 1315 IF çelik yapıya gerçekleşen difüzyonu ölçmek için Şekil 6.128.'de görüldüğü gibi EDS analizi yapılmıştır.

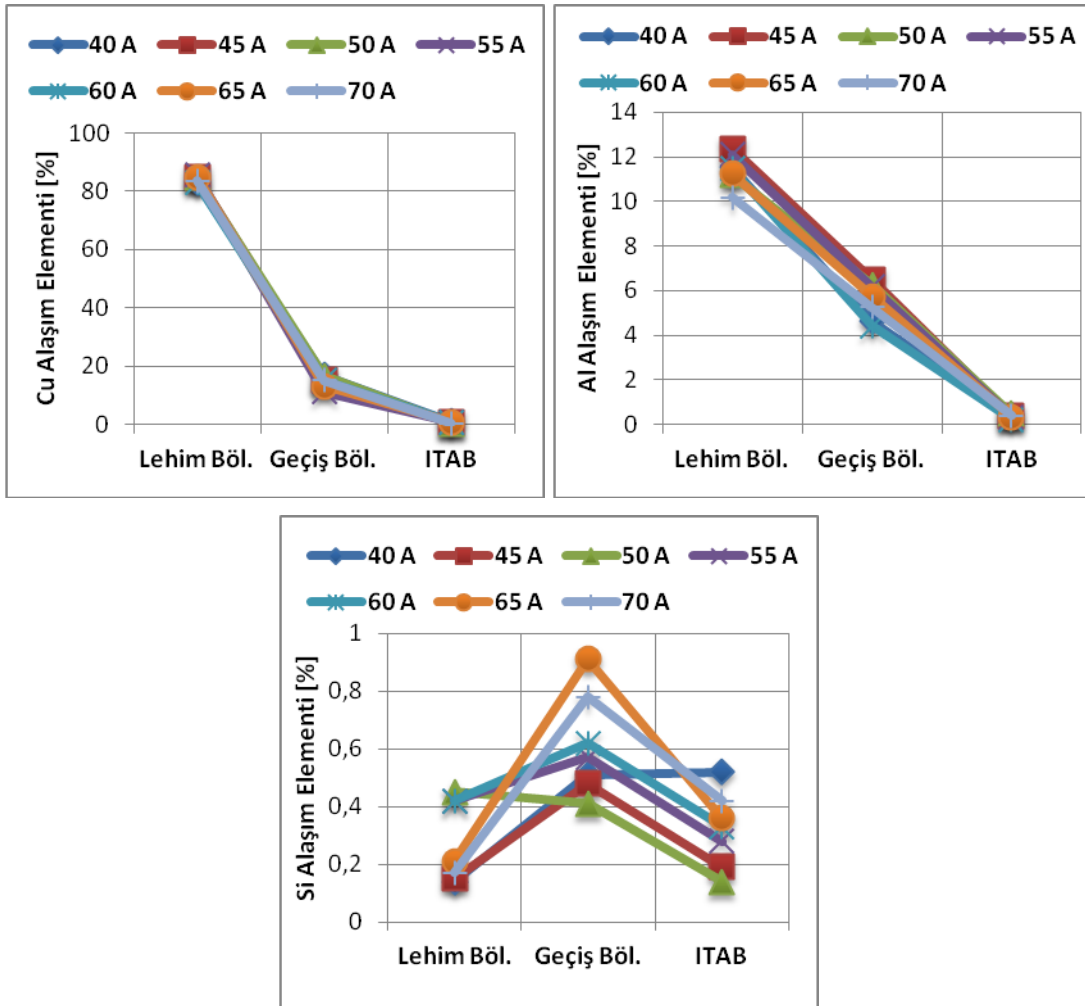


Point	Element (wt %)							
	Al	Si	P	S	Ti	Mn	Fe	Cu
1	0.361	0.251	0.096	0.076	0.171	0.252	93.903	1.065
2	6.497	0.922	0.180	0.124	0.014	0.275	37.475	34.260
3	12.361	0.525	0.039	0.130	0.222	0.146	3.173	83.035
4	39.973	0.043	0.026	0.047	0.083	0.223	4.142	16.961

Şekil 6.128. Bindirme geometride birleştirilen 1315 IF sacın 70 A akım şiddetindeki EDS analizi.

Galvanizli 1315 IF çelik sacının EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölgede esas metal olarak ifade ettiğimiz bölgedir ve galvanizli 1315 IF çelik sacının spektro analiz sonuçlarına yakın değerler kaydedilmiştir. 2 numaralı bölge ise lehim

ara yüzeyini ifade etmektedir ve bakır ve alüminyum elementlerinin esas metal yönüne doğru atomsal transferleri gerçekleşmiştir. 3 numaralı bölge bakırca zengin bölge olarak ifade edilebilir. 4 numaralı bölge bakır ve alüminyumca zengin dendritik yapı görülmüştür.



Şekil 6.129. Bindirme birleştirmedeki farklı akım şiddetlerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizli 1315 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 30 μm mesafede bakır, silisyum ve alüminyum difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. CuAl₈ lehim telinin Tablo 5.3’de gösterildiği gibi spektro analizi incelendiğinde yaklaşık % 81 Cu içerdiğini, MIG-Lehimleme sonrası EDS analizi için belirlenen 3 numaralı bölgede yani lehim bölgesinde %84 Cu alaşım

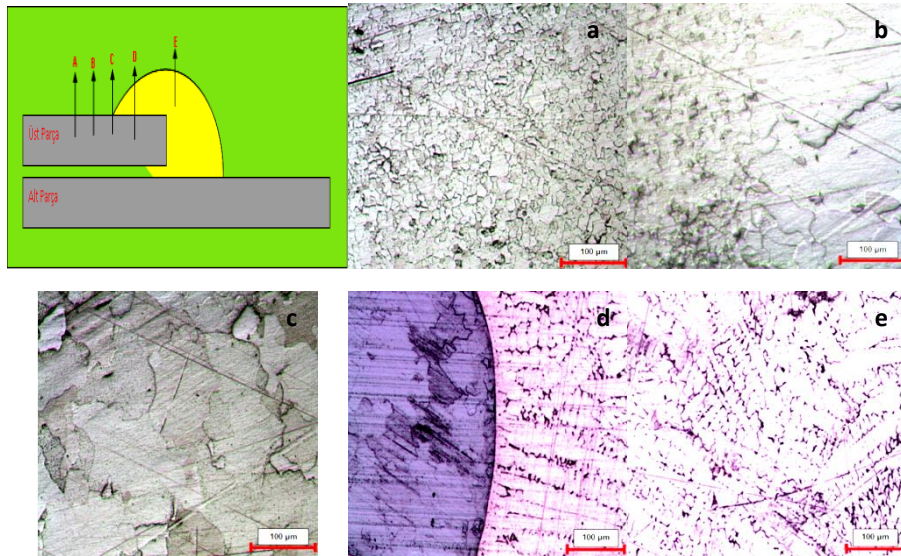
elementinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Şekil 6.129.'da gösterildiği gibi lehim bölgesinde artan akım şiddetine bağlı olarak Cu alaşım elementinin ortalama % 83 civarında olduğu, fakat lehim bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe, özellikle geçiş bölgesinde ortalama % 14 Cu alaşımına rastlanmıştır. Geçiş bölgesinden artan akım şiddeti ile birlikte bu değerler % 17'e kadar çıkmıştır. ITAB bölgesinde ise yani lehim bölgesinin yaklaşık 40 μm uzaklıkta Cu alaşımın etkisinin azaldığını ve ortalama % 0.75'e kadar düştüğü tespit edilmiştir. Cu alaşımın özellikle geçiş bölgesinde artan akım şiddeti ile birlikte daha fazla difüze olması, numunelerin sertlik değerinde 12 HV kadar etki oluşturmuştur. Al alaşım elementinde ise lehim bölgesinde ortalama % 8.5 Al içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe ortalama % 5.5 civarında Al alaşım elementi içerdiği tespit edilmiştir. Al alaşım elementinin difüzyonunda 40 A akım şiddetinden 60 A akım şiddetine kadar sürekli bir artış meydana geldiği, 60 A akım şiddetinden sonra % 20 oranında azalmanın meydana geldiği yapıyla EDS analizleri ile tespit edilmiştir. 60 A akım şiddetinden sonra azalmanın meydana gelmesi sonucu, Şekil 6.123.'de gösterildiği gibi ITAB bölgesinde meydana gelen ferrit tanelerinin boylarının enine oranlarının azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Si alaşım elementinin bölgelere göre dağılımına baktığımızda, esas metal bölgesinden lehim bölgesine doğru ilerledikçe Si alaşımının yüzdelik değerlerinde artış olduğu tespit edildi. Geçiş bölgesinde Si alaşım elementinin yoğunluğunun artması ile birlikte numunelerin akma mukavemetlerini arttırdığı düşünülmektedir. Örneğin; 55 A şiddeti uygulanarak birleştirilen, en düşük 170.09 MPa akma dayanımına sahip numunede % 0.28 Si alaşımının difüze olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 40 A akım şiddeti uygulanarak birleştirilen numune incelendiğinde, 173.06 MPa en yüksek akma dayanımı sahip numunede % 0.52 Si alaşımın elementinin difüze olduğu tespit edilmiştir. Verilen örnekte de görüldüğü gibi artan akım şiddeti ile birlikte Si alaşım elementinin azaldığı tespit edilmiştir.

6.2.4.2. Lehim gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

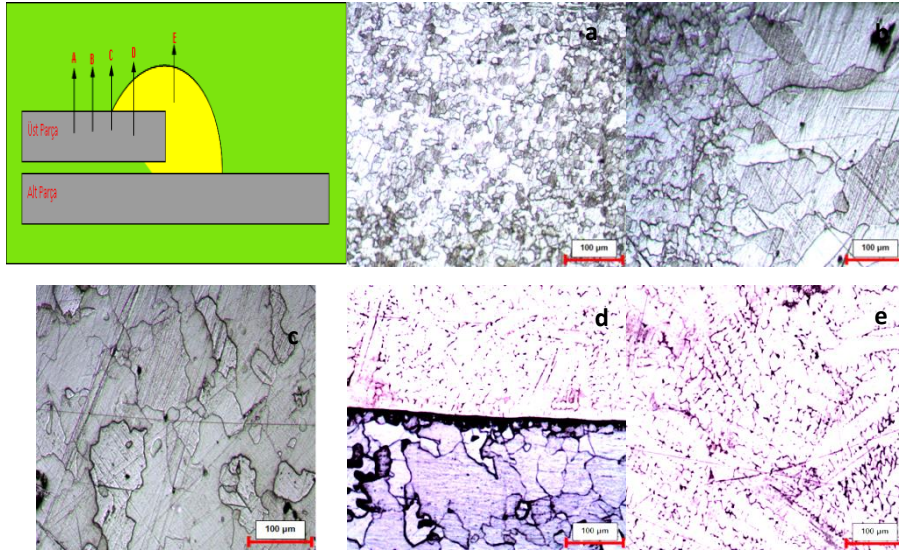
Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin mekanik ve metalürjik özellikleri incelendikten sonra hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çelik sacları

için en optimum değerler 55 A akım şiddetinde birleştirilen numunelerde elde edildiği uygun görülmüştür. Galvanizli ve galvanizsiz IF çelik saclarının 6 lt/dk ile 16 lt/dk farklı gaz debisi ayarlanarak birleştirilen numunelerde IF çelik saclarına etki eden ısı girdisi bütün gaz debilerinde aynıdır. Çünkü denklem 1.1 ve denklem 1.2. ye göre hesaplanan ısı girdisi formülünde gaz debisinin ısı girdisine etkisinin olmadığı görülmektedir. Burada galvanizsiz ve galvanizli IF çelik sacları için 55 A akım şiddeti, 12 V lehim ark gerilimi ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızında numunelere etki eden ısı girdisi 1283 J/cm olarak hesaplanmıştır.

MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen IF çelik saclarının mikroyapıları incelenirken Şekil 6.130 ve 6.131.'de gösterildiği gibi mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Burada 'a' bölgesi esas metal yani ince taneli bölge, 'b' bölgesi esas metal – ITAB bölgesi geçiş yani ince taneli bölgeden iri taneli bölgeye geçiş, 'c' bölgesi ITAB bölgesi yani iri taneli bölge, 'd' bölgesi ITAB- lehim bölgesine geçiş ve 'e' bölgesi lehim bölgesi olarak gösterilmiştir.

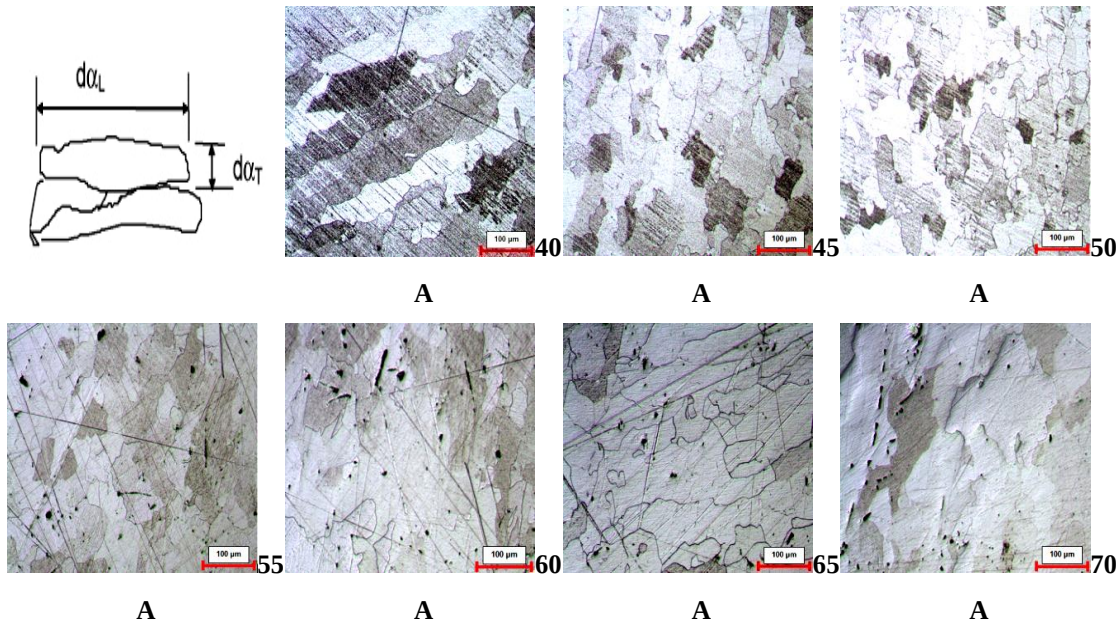


Şekil 6.130. Bindirme birleştirmedeki 7116 IF sacının 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

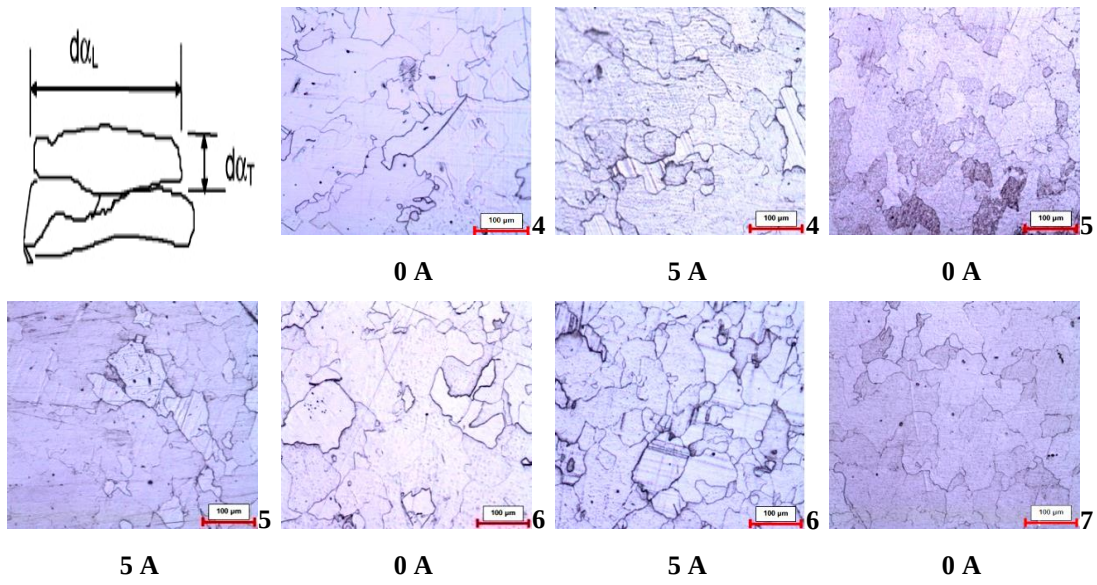


Şekil 6.131. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 12 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri. (a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

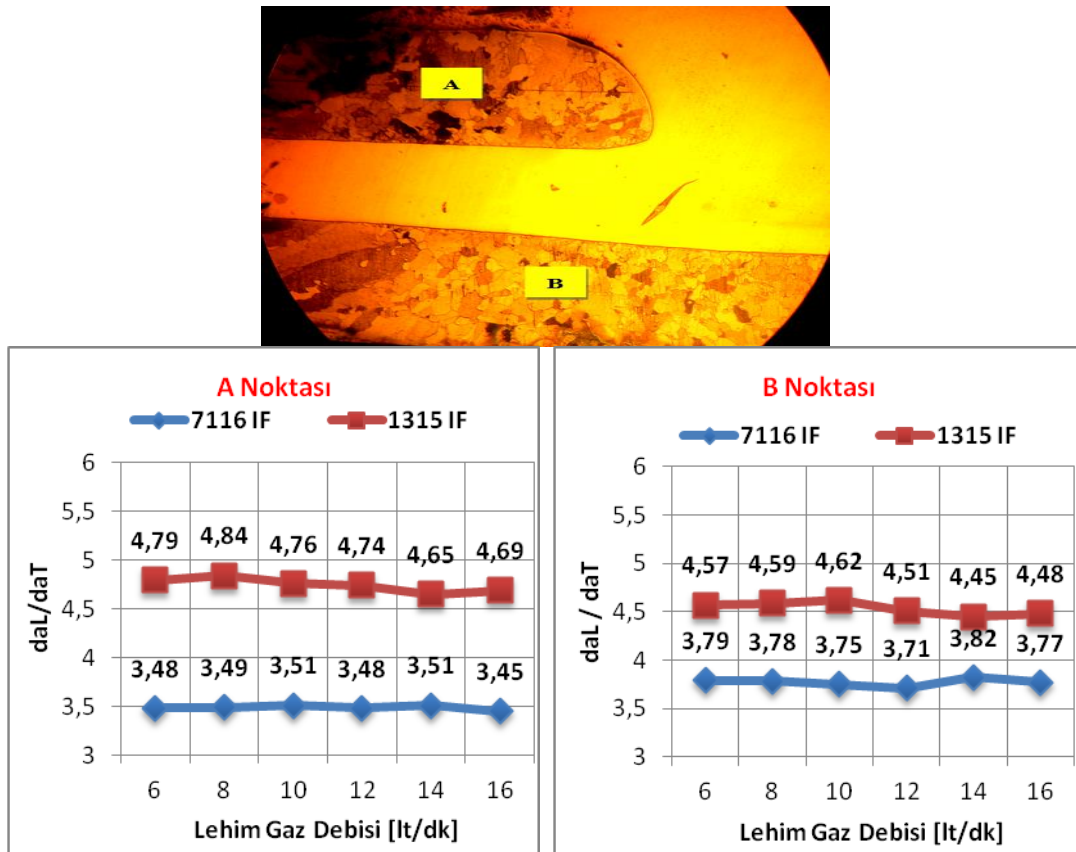
Mikroyapılar incelenirken artan akım şiddetiyle birlikte IF çeliklerine etki eden ısı girdisinin Şekil 6.132. ve 6.133.'de gösterildiği gibi, ITAB bölgesinde ferrit tane boyutlarının enine (d_{aT}) ve boyuna (d_{aL}) oranları incelenmiştir.



Şekil 6.132. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri

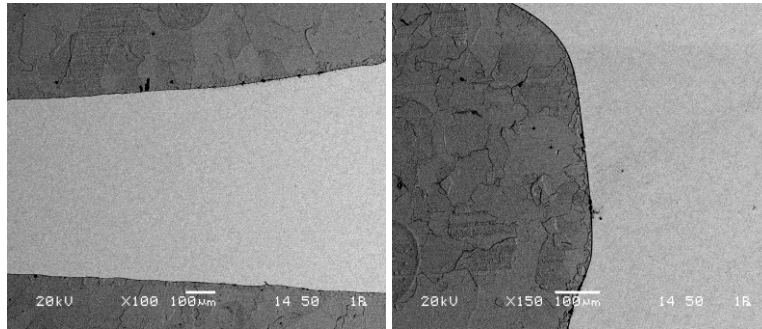


Şekil 6.133. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı akım şiddetlerindeki ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri



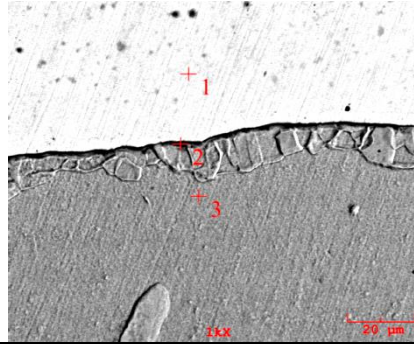
Şekil 6.134. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin $d_{\alpha L}/d_{\alpha T}$ oranı

Şekil 6.132. ve 6.133.'deki mikroyapı resimleri ve Şekil 6.134.'deki grafik incelendiğinde artan lehim gaz debisi ile birlikte ITAB bölgesinde tanelerin boylarının (d_{aL}) enine (d_{aT}) oranında fazla bir değişiklik olmamıştır. Çünkü hem galvanizsiz 7116 IF çelik sacında hem de galvanizli 1315 IF çelik sacı için uygulanan lehim parametrelerindeki akım şiddeti, lehim gerilimi ve lehim ilerleme hızı sabit olduğundan dolayı numunelere 1283 J/cm ısı girdisi etki etmektedir. Farklı lehim gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için A noktasında ortalama d_{aL} 143 μm , d_{aT} 41 μm ve d_{aL}/d_{aT} oranı 3.49 olarak, galvanizli 1315 IF çelik sacı için ise ortalama d_{aL} 195 μm , d_{aT} 52 μm ve d_{aL}/d_{aT} oranı 4.75 olarak kaydedilmiştir. B noktasında ise galvanizsiz 7116 IF çelik sacında ortalama d_{aL} 165 μm , d_{aT} 44 μm ve d_{aL}/d_{aT} oranı 3.77 olarak, galvanizli 1315 IF çelik sacı için ise ortalama d_{aL} 182 μm , d_{aT} 40 μm ve d_{aL}/d_{aT} oranı 4.54 olarak kaydedilmiştir. Şekil 6.134.'deki grafikler incelendiğinde galvanizsiz 7116 IF çelik sacının A noktasındaki ferrit taneleri B noktasındaki ferrit tanelerine göre daha iri taneli yapı sergilerken, galvanizli 1315 IF çelik sacında B noktasında A noktasına göre daha ince ferrit tanelerinin olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak bu sonuçlara bakıldığında A noktasını etki eden ısının daha düşük olduğunu söyleyebiliriz. Fakat özellikle galvanizli 1315 IF çelik sacının 14 lt/dk ve 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde, ferrit tanelerinin enine ve boyuna oranın düşük çıkmasının sebeplerinden birinin, yüksek gaz basınçlarında erken katılaşmadan dolayı olduğu öngörülmektedir.



Şekil 6.135. Bindirme birleştirmedeki 7116 IF sacının 10 lt/dk gaz debisi numunenin SEM görüntüleri

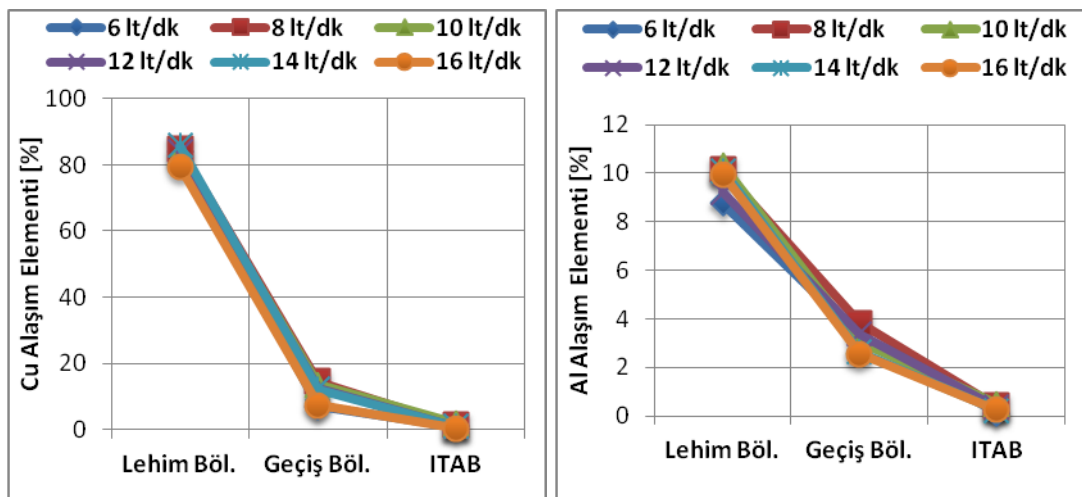
Numuneler üzerinde lehim teli olarak kullanılan CuAl8 alaşımdan düşük karbonlu IF çelik yapıya gerçekleşen difüzyonu ölçmek için Şekil 6.136.'de görüldüğü gibi EDS analizi yapılmıştır.



Point	Element (wt %)						
	Al	Si	S	Ti	Mn	Fe	Cu
1	10.334	0.451	0.195	0.023	0.260	1.969	83.806
2	3.057	0.412	0.161	0.020	0.437	68.280	13.515
3	0.514	0.140	0.214	0.181	0.197	93.886	1.956

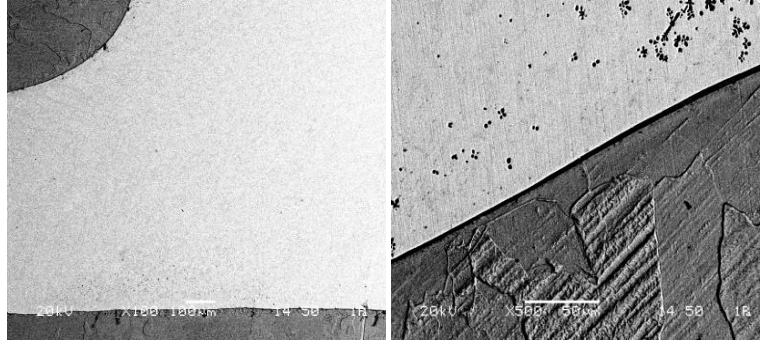
Şekil 6.136. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştiren numunenin EDS analizi

Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının 55 A akım şiddeti ve 10 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölgede bakır ve alüminyumca zengin CuAl8 lehim teli olan bölgeyi ifade etmektedir. 2 numaralı bölge lehim ara yüzeyini ifade etmekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini göstermektedir. 3 numaralı bölgede ise esas metal bölgesini ifade etmektedir ve esas metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir.



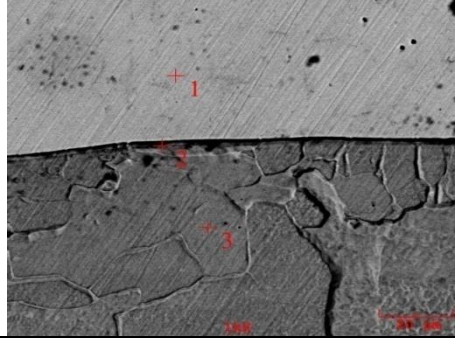
Şekil 6.137. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşımlarının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizsiz 7116 IF çeliği tarafında alt parçada birleşme bölgesine yaklaşık 20 μm mesafede bakır ve alüminyum alaşım elementlerinin difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Cu alaşım elementinin bölgelere göre dağılımlarına bakıldığında lehim bölgesinde % 82, geçiş bölgesinde % 13 ve ITAB bölgesinde ise % 0.95 civarında olduğu tespit edilmiştir. Fakat 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede bütün bölgeler de Cu alaşım elementinin ortalama değerlerin çok altında olduğu göze çarpmaktadır. Özellikle geçiş bölgesinde en düşük Cu alaşım oranına sahiptir ve % 7.3 olarak ölçülmüştür. Bu durumun numunenin mekanik ve metalografik özelliklerine nasıl etkilediğini incelediğimizde lehim ara yüzeyinin daralmasına yani yaklaşık 10 μm mesafede bakırın difüze olmasına ve geçiş bölgesinde ortalama sertlik değeri 185 HV iken, 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 172 HV olarak elde edilmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Al alaşım elementinin artan gaz debisi ile birlikte Cu alaşım elementine göre daha az difüze olduğu tespit edilmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 10 civarında alüminyum içeriğine sahip numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe ortalama % 3 civarında Al alaşım elementinin difüzyona uğradığı tespit edilmiştir. Genellikle artan gaz debisi ile birlikte geçiş bölgesinde daha az Al alaşımının difüzyona uğradığı görülmektedir.



Şekil 6.138. Bindirme geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF sacın 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin SEM görüntüleri

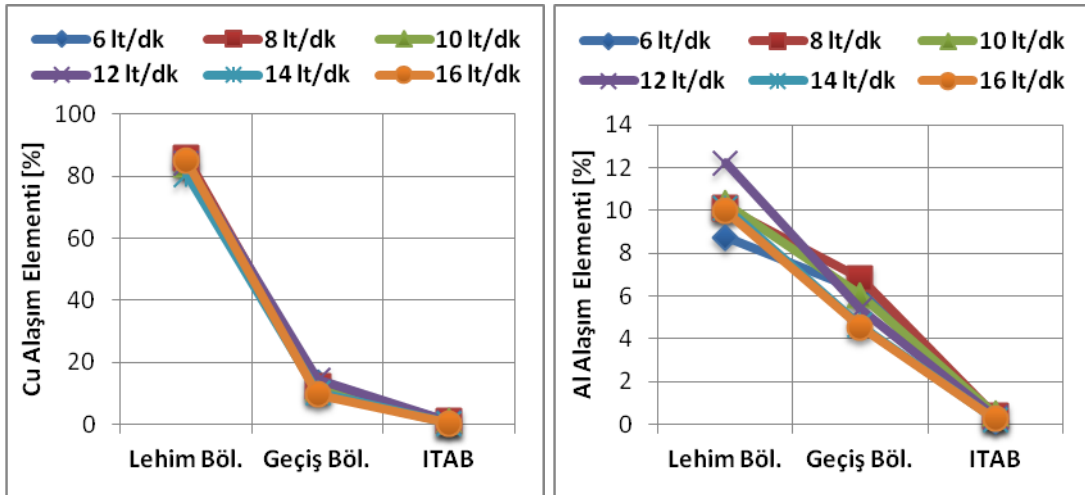
Numuneler üzerinde lehim teli olarak kullanılan CuAl8 alaşımdan düşük karbonlu IF çelik yapıya gerçekleşen difüzyonu ölçmek için Şekil 6.139.'da görüldüğü gibi EDS analizi yapılmıştır.

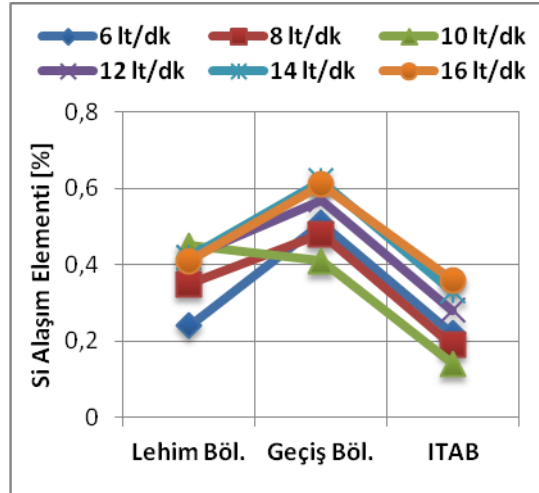


Point	Element (wt %)							
	Al	Si	P	S	Ti	Mn	Fe	Cu
1	9.971	0.205	0.224	0.291	0.099	0.367	2.714	79.546
2	2.550	0.916	0.086	0.135	0.179	0.267	81.172	7.306
3	0.277	0.360	0.181	0.394	0.156	0.168	94.437	0.327

Şekil 6.139. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 14 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analizi

Galvanizli 1315 IF çelik sacının 55 A akım şiddeti ve 14 lt/dk gaz debisi uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölge, bakır ve alüminyumca zengin CuAl8 lehim teli olan bölgeyi ifade etmektedir. 2 numaralı bölge lehim ara yüzeyini ifade etmekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini göstermektedir. 3 numaralı bölgede ise esas metal bölgesini ifade etmektedir ve esas metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir.





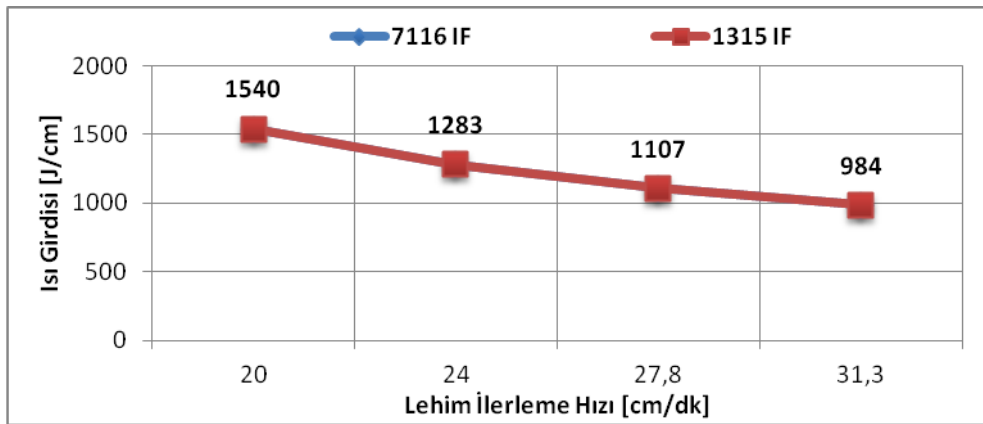
Şekil 6.140. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizli 1315 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 30 μm mesafede bakır, silisyum ve alüminyum difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.140.'de gösterildiği gibi Cu alaşım elementi lehim bölgesinde %84, lehim ara yüzeyinde %12.5 ve ITAB bölgesinde %%0.75 olarak kaydedilmiştir. 55 A akım şiddeti ve farklı gaz debileri uygulanarak birleştirilen galvanizli 1315 IF çelik sacında gaz debisinin artmasıyla Cu alaşımının difüzyonun da genel olarak 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneye kadar artışın olduğu, 14 lt/dk gaz debisinden sonra azalmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Farklı gaz debileri uygulanarak birleştirilen numunelerde, Cu alaşımının bağlantıların mekanik özelliklerine etkilerini incelediğimizde, Şekil 6.98.'de gösterildiği gibi 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin sertlik değerlerinin lehim ara yüzeyinde fazla çıkması, lehim ara yüzeyinde ani soğuma sonucunda sertliği artırıcı martenzitik yapının oluşmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Al alaşım elementinin bölgelere göre EDS analiz sonuçları incelendiğinde lehim bölgesinde % 9, lehim ara yüzeyinde % 6 ve ITAB bölgesinde % 0.4 olarak ölçülmüştür. Fakat artan gaz debisi ile birlikte Al alaşım elementinin difüzyonun da 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneye kadar artışın olduğu, 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneden sonra azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Si alaşım elementinin bölgelere göre dağılımına baktığımızda, lehim ara yüzeyinde en yüksek Si alaşımının olduğu tespit edilmiştir. Artan gaz debisi ile birlikte geçiş bölgesinde sürekli Si alaşımın elementinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerde Si

alaşım elementinin yoğunluğunun artması numunelerin akma mukavemetlerini arttırdığı düşünülmektedir. Farklı gaz basınçlarında birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonrası akma mukavemetleri incelendiğinde, artan gaz basıncı ile birlikte numunelerin akma dayanımında fazla bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

6.2.4.3. Lehim ilerleme hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

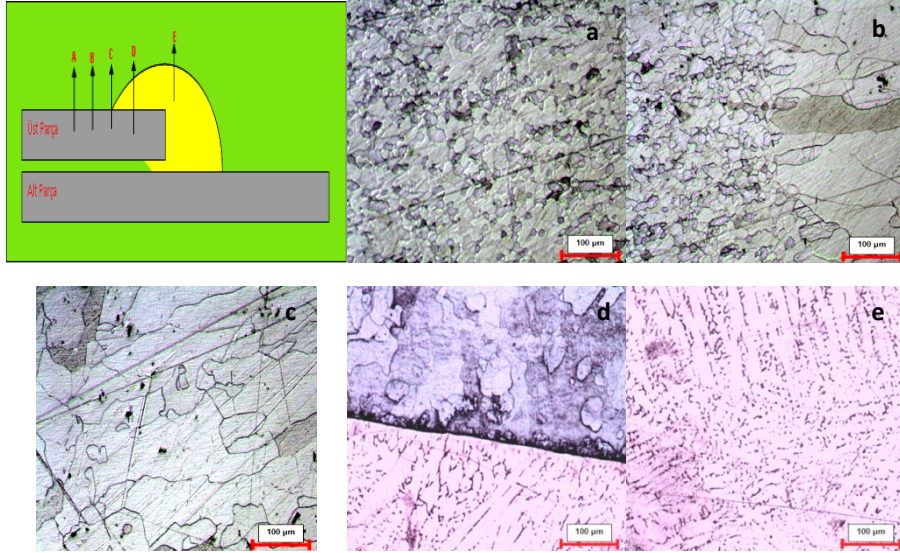
Farklı akım şiddeti ve gaz debilerinde birleştirilen numunelerin mekanik ve metalurjik özellikleri incelendikten sonra galvanizsiz 7116 IF çelik sacı için en optimum değerlerin 55 A akım şiddeti, 12 volt lehim ark gerilimi, 10 lt/dk lehim gaz debisi ve galvanizli 1315 IF çelik sacı için ise 55 A akım şiddeti, 12 volt lehim ark gerilimi, 12 lt/dk lehim gaz debisinde birleştirilen numunelerde elde edildiği uygun görülmüştür. Akım şiddeti, gerilimi ve gaz debisi sabit tutularak sadece farklı lehim ilerleme hızları ayarlanarak IF çelik saclarına etki eden farklı ısı girdilerinin grafiği Şekil 6.139’da verilmektedir.



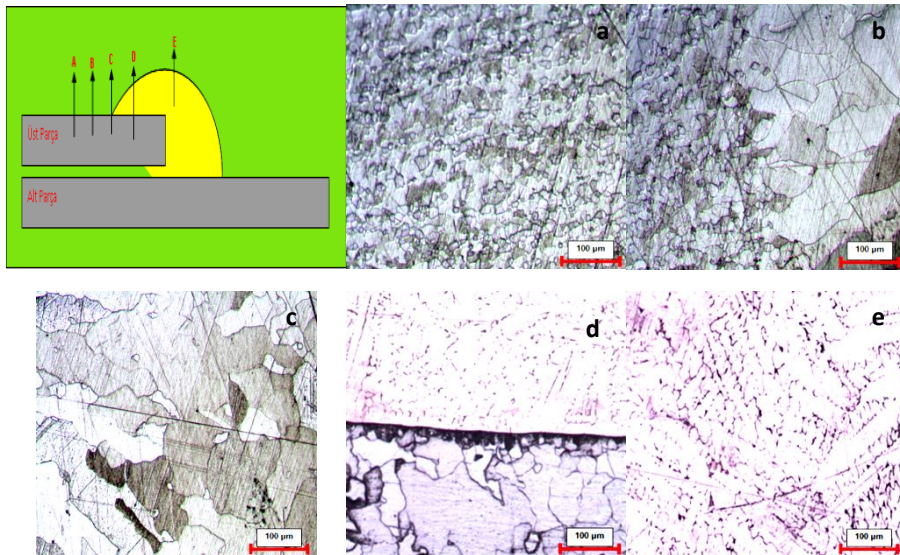
Şekil 6.141. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarındaki ısı girdisi grafiği

Şekil 6.141.’de gösterildiği gibi lehim ilerleme hızının artmasıyla birlikte IF saclarına etki eden ısı girdisi değerlerinin arttığı görülmektedir.

MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen IF çelik saclarının mikroyapıları incelenirken Şekil 6.142. ve 6.143.'de gösterildiği gibi mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Burada; 'a' bölgesi esas metal yani ince taneli bölge, 'b' bölgesi esas metal – ITAB bölgesi geçiş yani ince taneli bölgeden iri taneli bölgeye geçiş, 'c' bölgesi ITAB bölgesi yani iri taneli bölge, 'd' bölgesi ITAB- lehim bölgesine geçiş ve 'e' bölgesi lehim bölgesi olarak gösterilmiştir.

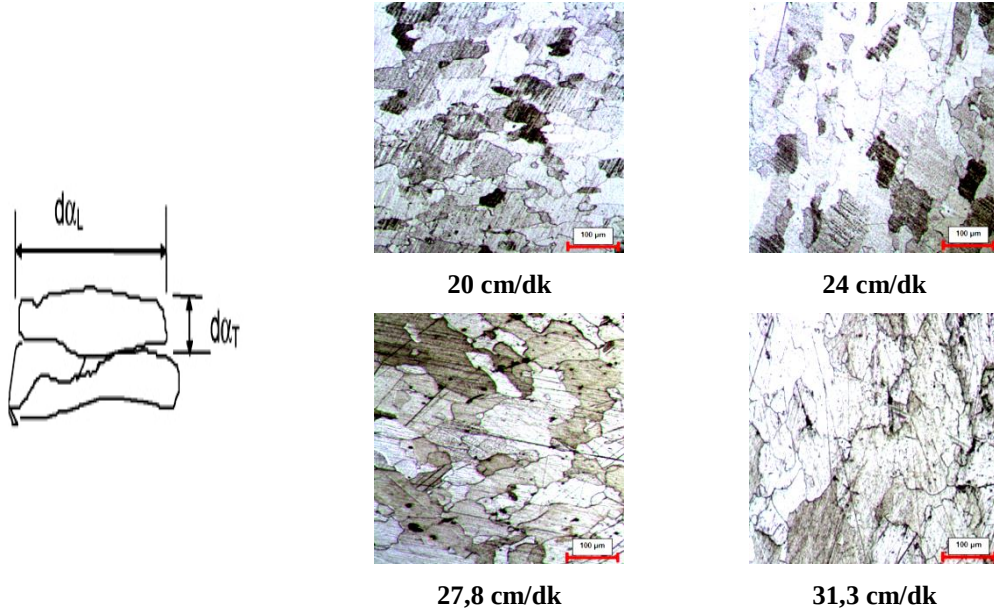


Şekil 6.142. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

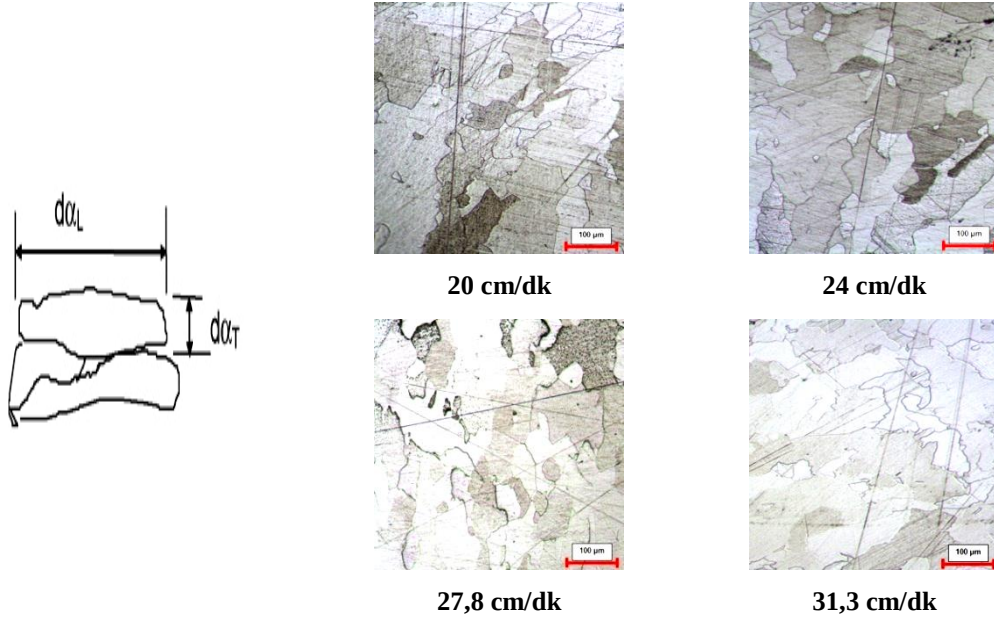


Şekil 6.143. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.(a: esas metal, b: esas metal-ITAB geçiş bölgesi, c: ITAB bölgesi, d: ITAB-lehim geçiş bölgesi, e: lehim bölgesi)

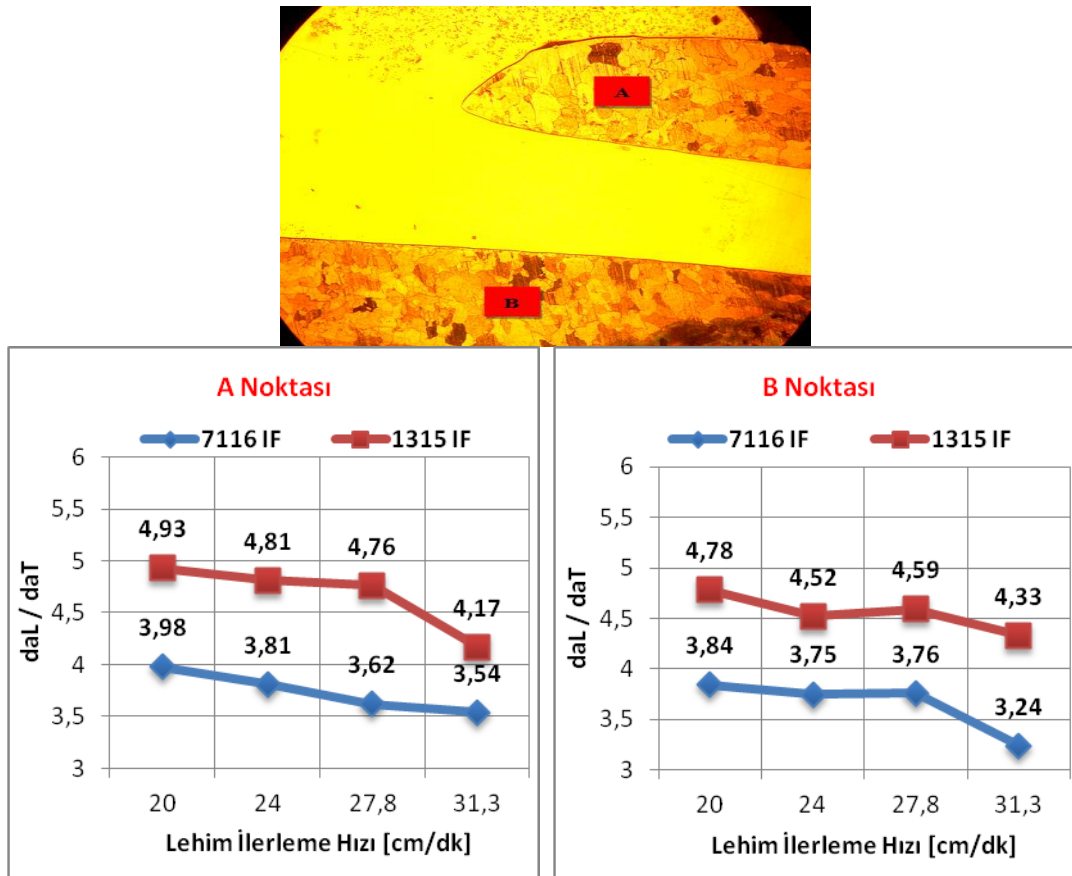
Mikroyapılar incelenirken artan akım şiddetiyle birlikte IF çeliklerine etki eden ısı girdisinin Şekil 6.144. ve 6.145.'de gösterildiği gibi, ITAB bölgesinde ferrit tane boyutlarının enine (d_{aT}) ve boyuna (d_{aL}) oranları incelenmiştir.



Şekil 6.144. Bindirme birleştirmedeki galvanizsiz 7116 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri



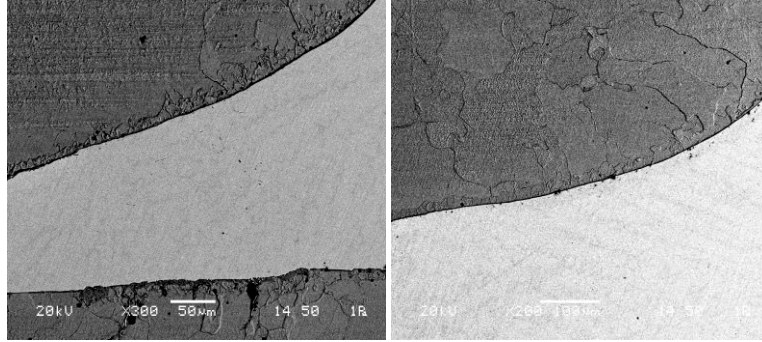
Şekil 6.145. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin ITAB bölgesindeki mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.146. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen IF saclarının ITAB bölgesindeki tanelerinin d_{aL} / d_{aT} oranı

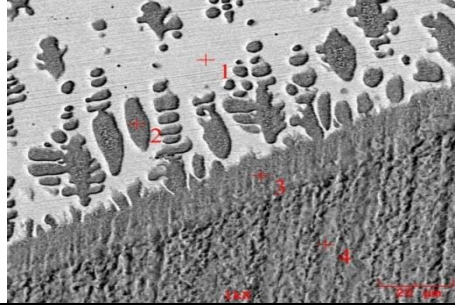
Şekil 6.146.'daki grafik incelendiğinde artan lehim ilerleme hızı ile birlikte ısı girdisi artmakta ve malzemelerin üzerine uygulanan ısıdan dolayı ITAB bölgesinde tanelerin genel olarak boylarının (d_{aL}) enine (d_{aT}) oranı azalmaktadır. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında A ve B noktalarındaki ferrit tanelerin d_{aL} / d_{aT} oranları birbirine çok yakın değerler olarak kaydedilmiştir. Fakat 31.3 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 984 j/cm ısı girdisi etki etmesine rağmen B noktasının d_{aL} / d_{aT} oranları 3.24 ile en düşük olarak kaydedilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin A ve B noktalarındaki d_{aL} / d_{aT} oranları birbirine çok yakın değerler olarak kaydedilmiştir. Fakat 20 cm/dk lehim ilerleme hızından sonra bariz bir şekilde B noktasındaki ferrit tanelerinin daha ince taneli yapıya dönüştüğü görülmektedir. Galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 20 cm/dk lehim ilerleme hızından sonra yani 24 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin A noktasında boyu (d_{aL}) 118 μm , eni (d_{aT}) 31 μm olarak ölçülmüş, B noktasında boyu (d_{aL}) 105 μm , eni (d_{aT}) 28 μm olarak tekrar artış göstermeye başlamıştır.

Galvanizli 1315 IF çelik sacında 24 cm/dk ve 27 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunelerin A ve B noktalarında d_{aL}/d_{aT} oranları birbirine çok yakın değerler olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlara göre, 1283 j/cm ve 1107 j/cm aralığında ısı girdisi uygulanan numunelerin ITAB bölgesindeki vickers sertlik değerleri A noktasın 145 HV, B noktasında ise 130 HV civarında elde edilecektir.



Şekil 6.147. Bindirme geometride birleştirilen galvanizli 7116 IF çelik sacın 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin SEM görüntüleri.

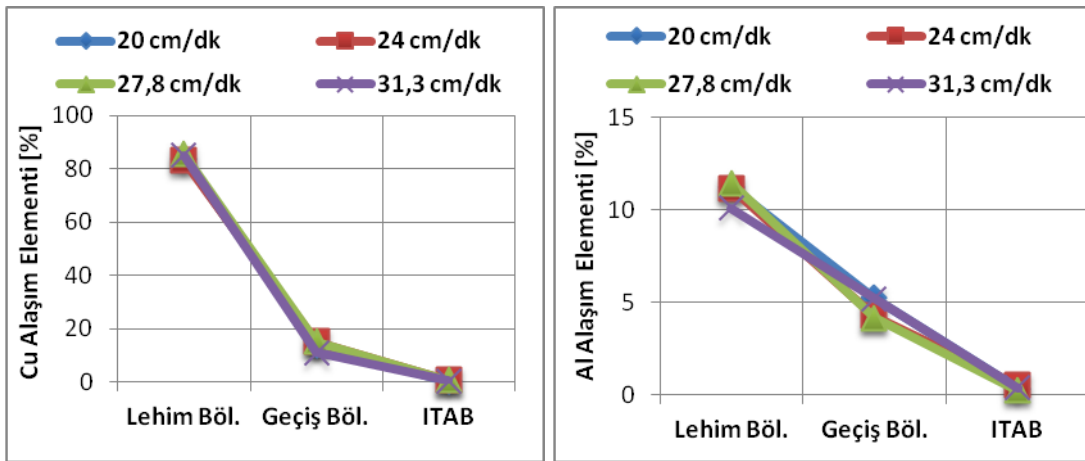
Numuneler üzerinde lehim teli olarak kullanılan CuAl8 alaşımından düşük karbonlu IF çelik yapıya gerçekleşen difüzyonu ölçmek için Şekil 6.146.'da görüldüğü gibi EDS analizi yapılmıştır.



Point	Element (wt %)						
	Al	P	S	Ti	Mn	Fe	Cu
1	8.391	0.235	0.130	0.051	0.086	4.439	84.919
2	5.739	0.127	0.142	0.041	0.529	74.343	14.147
3	5.111	0.301	0.284	0.034	0.212	77.570	11.246
4	0.384	0.003	0.223	0.128	0.315	94.042	1.748

Şekil 6.148. Bindirme birleştirmedeki 7116 IF sacının 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızı numunenin EDS analizi

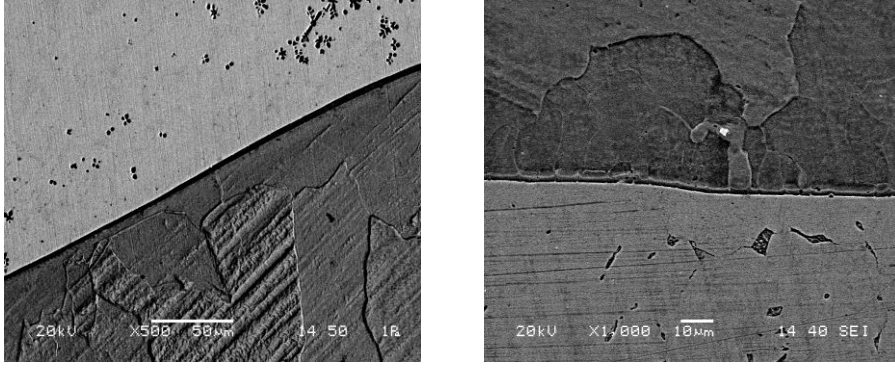
Galvanizsiz 7116 IF çelik sacının EDS analiz sonucu incelendiğinde 1 numaralı bölgede lehim bölgesinin metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir. 2 numaralı bölge Cu ve Al alaşım elementlerini içeren dendritik yapıyı göstermektedir. 3 numaralı bölge lehim ara yüzeyini göstermekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini ifade etmektedir. 4 numaralı bölgede ise esas metal bölgesidir ve esas metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir.



Şekil 6.149. Bindirme birleştirmedeki farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen galvanizsiz 7116 IF sacının Cu ve Al alaşım elementlerinin bölgelere göre dağılımları

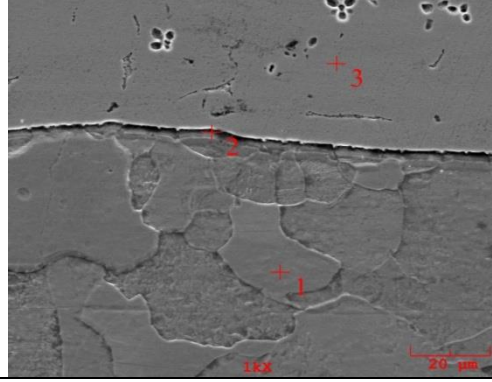
Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizsiz 7116 IF çeliği tarafında alt parçada birleşme bölgesine yaklaşık 20 μ m mesafede bakır ve alüminyum alaşım elementlerinin difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 85 Cu elementi içeren numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe %13 civarında Cu alaşım elementinin difüze olduğu tespit edilmiştir. Lehim ilerleme hızının artması Cu alaşım elementinin difüzyonunda genel artışa sebep olmuştur. Geçiş bölgesinde Cu alaşım elementinin en yüksek difüzyonu 27,8 cm/dk ilerleme hızı içeren numunede %15,29 olarak gerçekleşmiştir. Geçiş bölgesinden ITAB bölgesine doğru ilerledikçe Cu alaşım elementinin difüzyonunun artan ilerleme hızı ile birlikte azaldığı gözlemlenmiştir. Al alaşım elementinin artan lehim ilerleme hızı birlikte Cu alaşım elementine göre daha az difüze olduğu tespit edilmiştir. Lehim bölgesinde ortalama % 11 civarında alüminyum ihtiva edene numuneler geçiş bölgesine doğru ilerledikçe ortalama % 5 civarında Al alaşım elementinin difüzyona uğradığı tespit edilmiştir. Geçiş bölgesindeki en yüksek Al elementinin difüzyonu 20 cm/dk ilerleme hızı

uygulanan numunede % 5.24 olarak kaydedilmiştir. Farklı ilerleme hızlarında birleştirilen 7116 IF çelik saclarına etki eden, Cu ve Al alaşım elementlerinin etkilerini incelediğimizde, Cu alaşım elementinin lehim bölgesine doğru ilerledikçe difüzyonun artması numunelerin akma dayanımları ve sertlik değerlerini artırdığı, Al alaşım elementinin ise ITAB bölgesindeki ferritik tane boyutunu artırdığı gözlemlenmiştir. Örneğin Şekil 6.95.'de gösterildiği gibi 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunenin Cu difüzyonun artmasından dolayı en yüksek akma dayanımına sahip olduğu, Al difüzyonun artması ile birlikte de Şekil 6.139.'da gösterildiği gibi ITAB bölgesindeki ferrit tanelerinin boylarının enlerine oranları en yüksek değerler olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.150. Bindirme geometride birleştirilen galvanizli 1315 IF çelik sacın 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunenin SEM görüntüleri

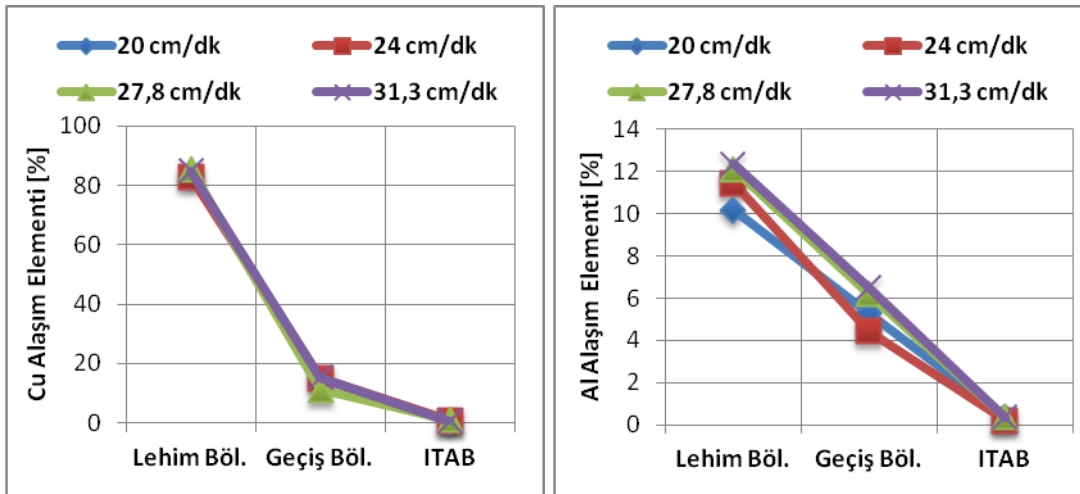
Numuneler üzerinde lehim teli olarak kullanılan CuAl8 alaşımdan düşük karbonlu IF çelik yapıya gerçekleşen difüzyonu ölçmek için Şekil 6.151.'de görüldüğü gibi EDS analizi yapılmıştır.

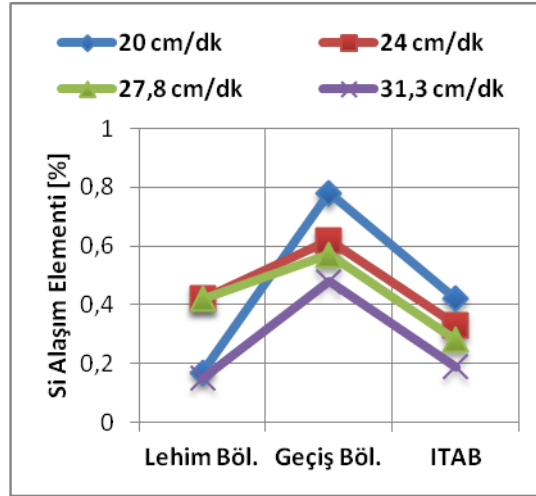


Point	Element (wt %)							
	Al	Si	P	S	Ti	Mn	Fe	Cu
1	0.433	0.169	0.621	0.298	0.066	0.360	97.754	0.298
2	4.623	0.162	0.216	0.115	0.279	0.114	79.368	15.124
3	11.534	0.155	0.378	0.172	0.223	0.318	3.517	83.703

Şekil 6.151. Bindirme birleştirmedeki galvanizli 1315 IF sacının 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analizi

Galvanizli 1315 IF çelik sacının 55 A akım şiddeti ve 12 lt/dk gaz debisi ve 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanarak birleştirilen numunenin EDS analiz sonucu incelendiğinde, 1 numaralı bölge esas metal bölgesini ifade etmektedir ve esas metalin spektro analiz sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir. 2 numaralı bölge lehim ara yüzeyini ifade etmekte ve esas metal ile lehim telindeki elementlerin atomsal transferlerinin gerçekleştiğini göstermektedir. 3 numaralı bölge ise bakır ve alüminyumca zengin CuAl8 lehim teli olan bölgeyi ifade etmektedir.





Şekil 6.152. Bindirme birleştirmedeki farklı gaz debilerinde birleştirilen galvanizli 1315 IF sacının Cu, Al ve Si alaşımlarının bölgelere göre dağılımları

Genel olarak EDS analiz sonuçlarından, galvanizli 1315 IF çeliği tarafında birleşme bölgesine yaklaşık 30 μm mesafede bakır, silisyum ve alüminyum difüzyona uğradığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.152.'de gösterildiği gibi Cu alaşım elementi lehim bölgesinde %84, lehim ara yüzeyinde %15 ve ITAB bölgesinde %0.70 olarak kaydedilmiştir. 55 A akım şiddeti ve 12 lt/dk gaz debisinde farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak birleştirilen galvanizli 1315 IF çelik sacında ilerleme hızının artmasıyla Cu alaşımının difüzyonun da genel olarak artmıştır. Cu alaşımının bağlantıların mekanik özelliklerine etkilerini incelediğimizde, Şekil 6.103.'de gösterildiği gibi 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunenin sertlik değerlerinin lehim bölgesinde ve lehim ara yüzeyinde en yüksek değerler kaydedilmiştir. Ayrıca 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan akma dayanımı da ortalama değerlerden yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Al alaşım elementinin bölgelere göre EDS analiz sonuçları incelendiğinde lehim bölgesinde % 11.5, lehim ara yüzeyinde % 5.5 ve ITAB bölgesinde % 0.3 olarak ölçülmüştür. Artan lehim ilerleme hızı ile birlikte geçiş bölgesinde Al alaşım elementi oranının azaldığı görülmektedir. Si alaşım elementinin bölgelere göre dağılımına baktığımızda, lehim ara yüzeyinde en yüksek Si alaşımının olduğu tespit edilmiştir. Artan lehim ilerleme hızı ile birlikte geçiş bölgesinde sürekli Si alaşımın elementinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada 0.9 mm kalınlığa sahip galvanizli 1315 IF ve galvanizsiz 7116 IF çelik saclar MIG-lehimleme yöntemi kullanılarak bakır esaslı bir tel olan CuAl8 lehim teli ile birleştirilmiştir. Numuneler iki farklı bağlantı biçimi olan bindirme ve alın bağlantılar olarak hazırlanmıştır. MIG-lehimleme hem alın hem de bindirme birleştirme için üç farklı parametrede, akım şiddeti, gaz akış debisi ve lehim ilerleme hızı olarak uygulanmış ve incelenmiştir. MIG-lehimlenen malzemelerin mukavemet özellikleri ve bağlantı bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı incelemelerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Ayrıca galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarına uygulanan farklı parametreler için numunelerin bilgisayarlı X-Ray tomografileri çekildi ve lehim ara yüzeyinde lehim telinin yeniden kristalleşmesi sonucu oluşabilecek intermetalik bileşiklerin tespiti için XRD analizler yapıldı. Çalışmalarda kullanılan 0.9 mm kalınlığa sahip galvanizli ve galvanizsiz IF çelikleri ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkarılan öneriler aşağıda sunulmuştur.

- a. IF çeliklerinin MIG-lehimlenmesinde alın birleştirmelerde, akım şiddetinin numuneler üzerinde etkisi araştırılırken 70 A akım şiddeti uygulanan galvanizsiz 7116 IF sacında ve 75 A akım şiddeti uygulanan galvanizli 1315 IF sacında yüksek ısı girdisinden dolayı ergime ve delinme görülmektedir. Ayrıca galvanizsiz 7116 IF sacında 40 A akım şiddetinde, ısı girdisinin azalması sonucu oluşan yetersiz ısılatma ve ilave telde sıçrama meydana gelmiştir.

Galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF saclarına farklı akım şiddetleri uygulanarak MIG-lehimlenmesi sonucu çekme deneyi sonrası bütün numunelerin ortalama lehim bölgesinden 30-40 mm uzaklıktan koptuğu yani esas metalden kopmuştur. Galvanizsiz 7116 IF sacı için 40 A akım şiddetinden sonra bütün numunelerde istenilen çekme ve akma dayanım değerleri elde edilmiştir. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise uygulanan farklı akım şiddetlerinde bütün numunelerin çekme ve akma dayanımlarında hemen hemen aynı mukavemet sonuçları alınmıştır.

Farklı akım şiddetleri uygulanarak galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının MIG-lehimleme sonrası yapılan vikers sertlik incelemesinde en yüksek sertlik değerleri lehim bölgesinde kaydedilmiştir. Lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe vikers sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Lehim bölgesinde akım şiddetinin artmasıyla birlikte sertlikte artış olduğu kaydedilmiştir. Çünkü numunelere uygulanan ısı girdisi artıkça lehim bölgesinde oluşan Cu-Al alaşımlı dentritik yapıların artması sonucu sertlik değerleri artmıştır. Ayrıca ITAB bölgesinde IF çeliklerinin ferritik tane yapıları akım şiddetinin artması ile birlikte daha küresel ve ince taneli yapılar gözlenmiştir. Böylelikle ITAB bölgesinin vikers sertlik değerleri akım şiddeti artmasıyla birlikte artmıştır. Lehim ara yüzeyinde intermetalik bileşiklerin oluşmasından dolayı ITAB bölgesinde kaydedilen sertlik değerlerinden 20-30 HV daha fazla sertlik değerleri kaydedilmiştir. Akım şiddetinin artmasıyla birlikte Cu-Al alaşımlı dendritik yapılar esas metal bölgesine doğru daha fazla difüze olmuştur. Böylece akım şiddeti artıkça lehim ara yüzeyinin sertlik değerleri artmıştır.

Farklı akım şiddetleri uygulanarak MIG-lehimleme sonrası yapılan makro incelemede galvanizsiz 7116 IF çelik sacında 0.5 mm lehim aralığı bırakılmasına rağmen 40, 45 ve 50 A akım şiddeti uygulanan numunelerde lehim nüfuziyet derinliği sağlanamamıştır. 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 [78]. Bu bilgiler doğrultusunda yeterli ıslatma galvanizsiz 7116

IF sacında 60, 65 ve 70 A akım şiddeti uygulanan numunelerde kaydedilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacında 60 A akım şiddetinde 23.08° ıslatma açısı ile iyileşmeye başlamış, 70 A akım şiddetine kadar 17.76° ye kadar düşerek ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmıştır. Fakat 65 ve 70 A akım şiddetinde ıslatmanın çok fazla olduğu lehim kökündeki aşırı nüfuziyetin makro görüntüsünden görülmüştür. Akım şiddeti arttıkça, ıslatma açısı ve lehim dikiş yüksekliği azalmakta, fakat lehim ergime genişliği artmaktadır. Galvanizli 1315 IF çelik sacında ise bütün birleştirmelerde nüfuziyet derinliği sağlanmıştır. Fakat galvanizli 1315 IF sacında en düşük ıslatma açısı 60 A akım şiddeti uygulanan numunede 38.25° olarak kaydedilmiştir. 60 A akım şiddeti uygulanan numunede nüfuziyet derinliği ortalama değerlerden düşük olarak kaydedilmiştir. Lehim eğrime genişliği, lehim nüfuziyet derinliği, lehim ıslatma açısı ve lehim dikiş yüksekliği ölçümlerine göre en optimum değerlerin galvanizsiz 7116 IF sacı için 60 A akım şiddetinin, galvanizli 1315 IF sacı için ise 55 A akım şiddetinin uygun olduğuna karar verilmiştir.

Farklı akım şiddetlerinde MIG-lehimleme sonrası IF saclarının mikroyapı ve SEM görüntüleri incelendiğinde 40, 45 ve 50 A akım şiddetlerinde lehim ara yüzeyinde difüzyon çok azdır. Akım şiddeti arttıkça lehim bölgesinde oluşan dendritler ve lehim ara yüzeyinin genişliğinin arttığı görülmektedir. Akım şiddetinin artmasıyla birlikte numunelere uygulanan ısı girdisi artmış ve böylelikle ITAB bölgesindeki ferritik taneler daha küresel ve ince taneli meydana gelmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ITAB bölgesinde oluşan ferritik tanelerin 40, 45 ve 50 A akım şiddetlerinde ortalama değerin çok üstünde olduğu görülmektedir. 55 A akım şiddetinden sonra ITAB bölgesindeki ferritik tanelerin enlerinin boylarına oranında fazla bir değişiklik olmamıştır.

Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin bilgisayarlı X-Ray tomografi sonuçları incelendiğinde galvanizsiz 7116 IF sacında 40, 45 ve 50 A akım şiddeti uygulanan numunelerde lehim bölgesinden ITAB geçiş bölgesine yakın yerlerde boşluklara rastlanmıştır ve düzensiz lehim dikiş

geometrisinin oluştuğu tespit edilmiştir. Bu durum 40 A akım şiddeti uygulanan numunenin 30 MPa çekme ve akma dayanımında azalmaya sebep olduğu düşünölmektedir. Galvanizli 1315 IF sacında ise bütün birleştirmelerde hiç gözenek ve boşluklara rastlanmamıştır. Ayrıca lehim dikişinin düzenli olduğu tespit edilmiştir. Burada akım şiddetinin artmasıyla birlikte CuAl8 lehim telinin yoğunluğunun artığı görölmektedir.

Farklı akım şiddetlerinde MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen numunelerin XRD analiz sonuçları incelendiğinde galvanizsiz 7116 IF sacının lehim ara yüzeyinde Al₂SiFe ve FeCu₄ intermetalik bileşiklerin olduğu tespit edilmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise Al₂SiFe ve Al₂₃CuFe₄ intermetalik bileşiklere rastlanmıştır. Bu intermetalik bileşikler IF saclarının özellikle lehim-ITAB geçiş bölgesinde malzemenin vikers sertlik değerini 25 HV artırmıştır.

- b. IF çeliklerinin MIG-lehimlenmesinde alın birleştirmelerde, gaz akış debisinin numuneler üzerinde etkisi araştırılırken 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde yetersiz gaz korumanın sağlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca 14 lt/dk ve 16 lt/dk lehim gaz debilerinde yüksek gaz basıncından dolayı erken katılaşmanın gerçekteştiği tespit edilmiştir.

Galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF saclarına farklı gaz debileri uygulanarak MIG-lehimlenmesi sonucu elde edilen çekme deneyi sonrası bütün numunelerin ortalama lehim bölgesinden 30-35 mm uzaklıktan koptuğu yani esas metalden kopmuştur. Galvanizsiz 7116 IF sacında ortalama çekme dayanımı 305 MPa ve galvanizli 1315 IF sacında ise 285 MPa kaydedilmiştir. Gaz debisinin artması malzemelerin çekme ve akma dayanımı üzerine çok etkisi olmamıştır. Fakat kopma uzaması değerleri üzerinde galvanizsiz 7116 IF sacının artan gaz debisi ile azaldığı, galvanizli 1315 IF sacının ise artan gaz debisi ile artığı tespit edilmiştir.

Farklı gaz debileri uygulanarak galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının MIG-lehimleme sonrası yapılan vikers sertlik incelemesinde en yüksek sertlik değerleri lehim bölgesinde kaydedilmiştir.

Lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe vikers sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacında, lehim bölgesinde 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede ortalama değerden 35 HV daha düşük sertlik değerleri kaydedilmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise 12 lt/dk ve 14 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde, lehim bölgesinde yaklaşık 30 HV daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Hem galvanizsiz 7116 IF hem de 1315 IF sacında ITAB bölgesindeki vikers sertlik değerleri hemen hemen aynı sonuçlar kaydedilmiştir. Yani gaz debisinin artması numunelerin ITAB bölgesinde vikers sertlik değerlerini etkilememiştir.

Farklı gaz debileri uygulanarak MIG-lehimleme sonrası yapılan makro incelemede galvanizli 1315 IF çelik sacında 0.5 mm lehim aralığı bırakılmasına rağmen 14 lt/dk ve 16 lt/dk gaz debileri uygulanan numunelerde lehim nüfuziyet derinliği sağlanamamıştır. Galvanizsiz 7116 IF sacında ise bütün birleştirmelerde aşırı lehim nüfuziyet derinliği sağlanmıştır. Galvanizli 1315 IF sacında farklı akım şiddetleri uygulanan birleştirilen numunelerde olduğu gibi farklı gaz debileri uygulanan numunelerde de istenilen lehim ısılatma açıları elde edilememiştir. Galvanizli 1315 IF sacında en düşük ısılatma açısı 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 41.85° olarak kaydedilmiştir. Ayrıca galvanizli 1315 IF sacında gaz debisinin artmasıyla birlikte ısılatma açısının arttığı tespit edilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacında ise sadece 8 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 32.52° ısılatma açısı ölçülmüş ve yeterli ıslatabilirlik sağlanamamıştır. Galvanizsiz 7116 IF sacında 10 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede 26.91° ısılatma açısı ile iyileşmeye başlamış, 14 lt/dk gaz debisine kadar 23.11°'ye kadar düşerek ısılatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmıştır.

Farklı gaz debileri uygulanarak MIG-lehimleme sonrası IF saclarının mikroyapı ve SEM görüntüleri incelendiğinde galvanizsiz 7116 IF sacı için 6 lt/dk ve galvanizli 1315 IF sacı için 14 lt/dk ve 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerin lehim ara yüzeyinde difüzyon çok azdır. Galvanizsiz 7116 IF sacında gaz debisi arttıkça lehim bölgesinde oluşan dendritler ve lehim ara yüzeyinin genişliğinin arttığı görülmektedir. Galvanizli 1315 IF sacında ise yüksek gaz debilerinde lehim

bölgesinde oluşan dendritler ve lehim ara yüzeyinin azaldığı görülmektedir. Hem galvanizsiz 7116 IF sacında hem de galvanizli 1315 IF sacında lehimleme sonrası ITAB bölgesindeki oluşan ferritik tanelerin gaz debisi artıkça daha ince taneli yapının oluştuğu tespit edilmiştir. Farklı gaz debileri uygulanarak birleştirilen IF saclarının lehim bölgesinde oluşan Cu-Al alaşımlı dendritik yapıların bütün birleştirmelerde hemen hemen aynı yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Farklı akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerin bilgisayarlı X-Ray tomografi sonuçları incelendiğinde galvanizsiz 7116 IF sacında 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede lehim bölgesinden ITAB geçiş bölgesine yakın yerlerde boşluklara rastlanmıştır ve düzensiz lehim dikiş geometrisini meydana gelmiştir. Bu durum 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunenin çekme ve akma dayanımı olumsuz etkilememiş, fakat özellikle lehim ara yüzeyinde vikers sertlikte 20 HV daha düşük sertlik ölçülmüştür.

Farklı akım şiddetlerinde MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen numunelerin XRD analiz sonuçları incelendiğinde galvanizsiz 7116 IF sacının lehim ara yüzeyinde Al_2SiFe ve $FuCu_4$ intermetalik bileşiklerin olduğu tespit edilmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise Al_2SiFe ve $Al_{23}CuFe_4$ intermetalik bileşiklere rastlanmıştır. Bu intermetalik bileşikler IF saclarının özellikle lehim-ITAB geçiş bölgesinde malzemenin vikers sertlik değerini 25 HV artırmıştır.

- c. IF çeliklerinin MIG-lehimlenmesinde alın birleştirmelerde, lehim ilerleme hızının numuneler üzerinde etkisi araştırılırken galvanizli 1315 IF sacında 31.3 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede delinme meydana gelmiştir. Farklı lehim ilerleme hızlarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehimlenen bütün numunelerin ana malzemedan koptuğu belirlenmiştir. Lehim hızı azaldıkça ısı girdisinin arttığı ve artan ısı girdisi ile ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği görülmektedir. Buradaki verilere bakıldığında hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF çeliklerinde lehim ilerleme hızı 20 cm/dk' da en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

Farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak MIG-lehimleme sonrası yapılan vikars sertlik incelemesinde en yüksek sertlik değerleri lehim bölgesinde kaydedilmiştir. Lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe vikars sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacında, lehim bölgesinde ve ITAB bölgesinde 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunede hemen hemen aynı sertlik değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca galvanizsiz 7116 IF sacının lehim bölgesinde artan lehim ilerleme hızı ile birlikte vikars sertliğin düştüğü tespit edilmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise hem lehim bölgesinde hem de ITAB bölgesinde en yüksek vikars sertlik değerleri 20 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede kaydedilmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında artan ısı girdisi ile birlikte esas metal bölgesi hariç diğer bölgelerde sertliğin artışı tespit edilmiştir.

Farklı lehim ilerleme hızı uygulanarak MIG-lehimleme sonrası yapılan makro incelemede hem galvanizli 1315 IF sacında hem de galvanizsiz 7116 IF sacında lehim nüfuziyet derinliği sağlanmıştır. Fakat lehim ilerleme hızı azaldıkça lehim nüfuziyet derinliğinin ve lehim ergime genişliğinin artışı görülmüştür. Galvanizli 1315 IF sacında farklı lehim ilerleme hızlarında istenilen ıslatma açısı değeri elde edilememiştir. Galvanizli 1315 IF sacında en düşük ıslatma açısı 27.8 cm/dk ilerleme hızı uygulanan numunede 41.67° kaydedilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacında ise lehim ilerleme hızının artmasıyla lehim ıslatma açının azaldığı görülmektedir. Galvanizsiz 7116 IF sacında en düşük 26.09° ile en düşük ıslatma açısı elde edilmiştir.

Farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak MIG-lehimleme sonrası IF saclarının mikroyapı ve SEM görüntüleri incelendiğinde azalan lehim ilerleme hızı ile birlikte ITAB bölgesinin genişlediği tespit edilmiştir. Hem galvanizsiz 7116 IF sacı hem de galvanizli 1315 IF sacında 24 cm/dk ve 27.8 cm/dk lehim ilerleme hızlarında ITAB bölgesindeki ferritik tanelerin enlerinin boylarına oranları birbirine yakın değerler olarak ölçülmüştür.

Ayrıca lehim bölgesinde meydana gelen Cu-Al alaşımlı dendritik tane yoğunlukları artan lehim ilerleme hızı ile birlikte azaldığı tespit edilmiştir.

Farklı lehim ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin bilgisayarlı X-Ray tomografi sonuçları incelendiğinde azalan lehim ilerleme hızı ile birlikte lehim telinin yoğunluğu arttığı ve lehim dikiş geometrisinin daha düzenli olduğu tespit edilmiştir.

Farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak MIG-lehimleme yöntemi ile birleştirilen numunelerin XRD analiz sonuçları incelendiğinde lehim ara yüzeyinde farklı akım şiddetlerinde ve gaz basınçlarında elde edilen intermetalik bileşiklere ilaveten galvanizsiz 7116 IF sacında $Al_4.5FeSi$ ve galvanizli 1315 IF sacında $Al_2Fe_3Si_4$ intermetalik bileşiklerine rastlanmıştır. Bu intermetalik bileşiklerin yüksek ısı girdisi uygulanan numunelerde yani yaklaşık 1600 J/cm üzerinde ısı girdisi uygulandıktan sonra meydana geldiği tespit edilmiştir.

- d. IF çeliklerinin bindirme birleştirme MIG-lehimlenmesinde, 40 A akım şiddetinden 70 A akım şiddetine kadar 24 cm/dk lehim ilerleme hızı ve 12 lt/dk gaz akış debisi uygulanarak birleştirilen numunelere standartlara uygun şekilde yapılan çekme deneyi sonrası bütün numunelerin ortalama lehim bölgesinden 30-40 mm uzaklıktan koptuğu tespit edilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacında ortalama 314 MPa çekme dayanımı ve 172 MPa akma dayanımı elde edilmiştir. Genel olarak galvanizli 7116 IF sacında akım şiddetinin artmasının numunelerin çekme ve akma dayanımında fazla bir etkisi olmamıştır, fakat kopma uzamasında %7 artış gözlenmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise ortalama 285 MPa çekme dayanımı ve 171 MPa akma dayanımı elde edilmiştir. Fakat özellikle 40 A ve 55 A akım şiddetlerinde birleştirilen numunelerde ortalama değerin çok üzerinde kopma uzaması meydana gelmiş ve bu değer % 41.82 olarak ölçülmüştür.

Farklı akım şiddetleri uygulanarak galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının bindirme birleştirme de MIG-lehimleme sonrası yapılan vikers sertlik incelemesinde en yüksek sertlik değerleri lehim bölgesinde

kaydedilmiş ve lehim bölgesinden esas metal bölgesine doğru ilerledikçe vikers sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacında bindirme birleştirmede akım şiddetinin artmasıyla birlikte alt parçaya daha fazla ısı girdisi etki etmekte, böylelikle ITAB bölgesinde daha ince taneli ferritik yapı oluşmasından dolayı 65 A ve 70 A akım şiddeti uygulanan numunelerin mikrosertlik sonuçları ortalama değerlerden yaklaşık 10 HV'lik fazla olduğu tespit edilmiştir. Galvanizli 7116 IF sacında lehim bölgesinde artan akım şiddeti ile vikers sertliğin 55 A akım şiddetine kadar arttığı, 60 A akım şiddetinden sonra ortalama 12 HV'lik azalma meydana gelmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise bindirme birleştirmede ITAB bölgesinde alt parça ile üst parça arasında vikers sertlikte 5 HV'lik değişim meydana gelmiştir. Ayrıca galvanizli 1315 IF sacında lehim bölgesinde artan akım şiddeti ile birlikte genel olarak vikers sertlik değerinin atığı görülmüştür.

- e. Bindirme birleştirmede farklı akım şiddetleri uygulanarak MIG-lehimleme sonrası yapılan makro incelemede galvanizli 1315 IF çelik sacında 0.8 mm lehim aralığı bırakılmasına rağmen 40 A akım şiddeti uygulanan numunelerde çok az kapiler etki gözlenmiştir. Hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF saclarında artan akım şiddeti ile birlikte lehim sırt yüksekliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Genel olarak IF saclarının makro görüntülerinde görüldüğü üzere akım şiddetinin artması ile birlikte numunelerin lehim bacak uzunluğu ve kapiler uzunluğu artırmıştır. Fakat yüksekliğinde azalma meydana gelmiştir.

Farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirme de MIG-lehimleme sonrası IF saclarının mikroyapı ve SEM görüntüleri incelendiğinde akım şiddetinin artması sonucu ITAB bölgesinin genişlediği ve ITAB bölgesinde meydana gelen ferritik tanelerin enlerinin boylarına oranının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca alt ve üst parçada meydana gelen ITAB bölgesindeki ferritik tanelerin alt parçaya daha ince ferrit taneleri oluşmuştur. Çünkü alt parçaya daha fazla

IF çeliklerinin bindirme birleştirme MIG-lehimlenmesinde, gaz akış debisinin numunelerin mekanik ve metalografik özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yapılan çekme deneyi sonrası hem galvanizsiz 7116 IF sacında hem de galvanizli 1315 IF sacında bütün numunelerin esas metalden koptuğu tespit edilmiştir. Galvanizsiz 7116 IF sacında 14 lt/dk gaz basıncı uygulanan numunede % 37,21 ile en yüksek kopma uzaması elde edilmiştir. Galvanizli 1315 IF sacında ise en yüksek kopma uzaması 6 lt/dk gaz debisi uygulanan numunede % 40,92 olarak kaydedilmiştir. Genel olarak hem galvanizli 7116 IF sacında hem de galvanizli 1315 IF sacında gaz debisinin artması ile birlikte numunelerin çok az da olsa çekme dayanımları azalmış ve akma dayanımları artmıştır.

Farklı gaz akış debileri uygulanarak galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının bindirme birleştirme de MIG-lehimleme sonrası yapılan vikers sertlik incelemesinde bütün bölgeler kendi içinde değerlendirildiğinde yaklaşık aynı vikers sertliğe sahip olduğu görülmüştür. Sadece lehim bölgesinde 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerin sertliği erken katılaşmadan dolayı yaklaşık 10 HV daha düşük çıkmıştır. Ayrıca hem galvanizsiz 7116 IF hem de galvanizli 1315 IF saclarında alt ve üst parçada ITAB bölgelerinin sertlik değerleri arasında 5 HV'lik değişim meydana gelmiştir.

Bindirme birleştirmede farklı gaz akış debileri uygulanarak MIG-lehimleme sonrası yapılan makro incelemede 0.8 mm lehim aralığı bırakılmasına rağmen galvanizsiz 7116 IF sacında 14 lt/dk ve 16 lt/dk, galvanizli 1315 IF çelik sacında ise 16 lt/dk gaz debisi uygulanan numunelerde çok az kapiler etki gözlenmiştir. Numunelerin lehim sırt yükseklikleri incelendiğinde galvanizli 1315 IF sacında artan gaz debisi ile birlikte çok az artmıştır, fakat galvanizsiz 7116 IF sacında ortalama % 50 ile % 75 arası artış gerçekleşmiştir. Ayrıca numunelerin lehim bacak uzunluklarında 12 lt/dk gaz debisi uygulanan numuneye kadar sürekli artış gerçekleşmiş, 14 lt/dk dan sonra azalma gözlemlenmiştir.

Farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirme de MIG-lehimleme sonrası IF saclarının mikroyapı ve SEM görüntüleri incelendiğinde akım şiddetinin artması sonucu ITAB bölgesinin genişlediği ve ITAB bölgesinde meydana gelen ferritik tanelerin enlerinin boylarına oranının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca alt ve üst parçada meydana gelen ITAB bölgesindeki ferritik tanelerin alt parçaya daha ince ferritik taneleri oluşmuştur. Çünkü alt parçaya daha fazla ısı tesir etmiştir. Farklı lehim ilerleme hızlarında IF çeliklerinin bindirme birleştirme MIG- lehimlenmesinde, çekme deneyi sonrası bütün numunelerin ortalama lehim bölgesinden 30-35 mm uzaklıktan koptuğu tespit edilmiştir. Artan lehim ilerleme hızı ile birlikte IF saclarının kopma uzamalarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca bütün birleştirmelerde IF saclarının lehim hızının artması çekme ve akma dayanımını etkilememiştir.

Farklı lehim ilerleme hızları uygulanarak galvanizsiz 7116 IF ve galvanizli 1315 IF çelik saclarının bindirme birleştirme de MIG-lehimleme sonrası yapılan vikers sertlik incelemesinde en yüksek sertlik değerleri lehim bölgesinde galvanizsiz 7116 IF sacında 27.8 cm/dk, galvanizli 1315 IF sacında 20 cm/dk lehim ilerleme hızı uygulanan numunelerde kaydedilmiştir. Lehim ilerleme hızının artması ITAB bölgelerinde numunelerin sertliğinde azalmaya sebep olmuştur.

Bindirme birleştirmede farklı lehim ilerleme hızlarında MIG-lehimleme sonrası yapılan makro incelemede numunelerin kapiler uzunlukları artan lehim ilerleme hızı ile birlikte azalmıştır. Galvanizli 1315 IF sacında 20 cm/dk lehim ilerleme hızında 0.8 mm lehim aralığı bırakılmasına rağmen çok az kapiler etki gözlenmiştir. Genel olarak bütün birleştirmelerde artan lehim ilerleme hızı ile birlikte numunelerin lehim bacak uzunlukları ve lehim yükseklikleri artmış, lehim sırt yükseklikleri ise azalmıştır.

Farklı akım şiddetlerinde bindirme birleştirme de MIG-lehimleme sonrası IF saclarının mikroyapı ve SEM görüntüleri incelendiğinde akım şiddetinin artması sonucu ITAB bölgesinin genişlediği ve ITAB bölgesinde meydana gelen ferritik tanelerin enlerinin boylarına oranının azaldığı tespit edilmiştir.

Ayrıca alt ve üst parçada meydana gelen ITAB bölgesindeki fertik tanelerin alt parçaca daha ince ferrit taneleri oluşmuştur. Çünkü alt parçaya daha fazla ısı tesir etmiştir.

7.2. Öneriler

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

KAYNAKLAR

- [1] Arıkan, M., Bağman, G. 2001. Otomotiv endüstrisi için yeni çelik ürünler ve özellikleri. I. Demir Çelik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 350-356.
- [2] Gupta I., Parayil T. And Shiang L.T., Effect Of Processing On The Parameters Properties Of Cold Rolled Interstitial Free Steels, Hot-Cold-Rolled Steels, The Metallurgical Society 142, 1998.
- [3] Kırmanoğlu, I., 2001., IF Çeliklerinin Üretim Prosesleri Ve Derin Çekme Özelliklerinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Lisans Tezi.
- [4] Anık, S., Kaynak Sempozyumu , İstanbul Tek. Üniv., İstanbul, 1997.
- [5] Erdemir Ürün Katoloğu, Ereğli Demir ve Çelik Fab., İstanbul, 2000.
- [6] 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, 37(1), 12-15, 1996.
- [7] 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, 29(1), 279-283, 2008.
- [8] Iordachescu, D., Quintino, L., Miranda, R., Pimenta, G., Influence of shielding gases and process parameters on metal transfer and bead shape in MIG brazed joints of the thin zinc coated steel plates, Material and Design, 27, 381-390, 2006.
- [9] Rui - feng, L., Zhi - Shui, Y., Kai, Q., Interfacial structure and joint strengthening in arc brazed galvanized steels with copper based filler, Trans. Non ferrous Met. Soc. China 16, 397-401, 2006.
- [10] Chovet, C., Guiheux, S., Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra high strength steels for automotive applications, La Metallurgia Italiana, 7-8, 2006.
- [11] Quintino, L., Pimenta, G., Lordachescu, D., Miranda, R., Pépe N., MIG Brazing of Galvanized Thin Sheet Joints for Automotive Industry, Materials and Manufacturing Processes, 21, 63-73, 2006.

- [12] Rangel, A. F., Matlakhova, L. A., Paranhos, R., Matlakhov, A. N., Evaluation of MIG-brazing welded joint by means of metallographic techniques, Welding International, Publisher Taylor & Francis, 2010.
- [13] Dokuzuncu Kalkınma Planı, Ana Metal Sanayi, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara 2007.
- [14] Türk Demir Çelik Sektörü, Türkiye Demir Çelik Üreticileri Derneği, 2009.
- [15] Tetsuya, M., Hasegawa, K., Kawabe, H., UHSS Sheets for Bodies Reinforcement Parts and Seat Frame Parts of Automobile Ultra High-Strength Steel Sheets Leading to Great Improvement in Crash worthiness, JFE Technical Report, 4, 38-43, 2004.
- [16] Manuel, F., Christoph, M.S., Colin, V., A Regression on Climate Policy, The European Commission's Legislation to Reduce CO₂ Emissions from Automobiles, Transportation Research Part A, 2010.
- [17] Volkan, E. E., Arısoy, C.F., Kelami, Ş., Otomotiv Endüstrisinde Çelikten Vazgeçilebilir Mi?, Metal Dünyası, 125(1), 74-81, 2003.
- [18] Ushioda, K., Recent Developments in Steel Sheers, Scandinavian Journal of Metallurgy, 28(1), 33-39, 1999.
- [19] Matsuoka, S., Hasegawa K., Tanaka Y., Newly-Developed Ultra-High Tensile Strength Steels with Excellent Formability and Weldability, Jfe Technical Report., 10(1)., 13-18, 2007.
- [20] 21st Century Steel, World Steel Assosiation, 2008-2009.
- [21] Lindsay, B., Harry, E., Automakers and Suppliers Accelerate Their Efforts to Reduce Vehicle Weight by Engineering Them for Greater Use of Lighter, Stronger Materials, Mass Reduction Special Report, 2009.
- [22] Akay, D., Kurt, M., Otomobil Emniyet Kemerli Kullanılabilirlik Testi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1), 183-191, 2006.
- [23] AISI Market Development, An Investment in Steel's Future, American Iron and Steel Institute, 2002– 2003, Progress Report 2003.
- [24] Advanced High-Strength Steels–A Collision Repair Perspective, Technical Information for the Collision Industry, 2006.
- [25] 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.

- [26] Takahashi, M., Development of high strength steels for automobiles, Nippon Steel Technical Report, 88(1), 2006.
- [27] Çetin İ., 2014. Nokta direnç kaynağı yapılmış TRIP 800 çeliğinin yorulma davranışının incelenmesi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [28] www.worldautosteel.org, Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines, International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, June 2009, Erişim Tarihi: 14.06.2013.
- [29] Hayat, F., Demir, B., Acarer, M., Aslanlar, S., Effect of weld time and weld current on the mechanical properties of resistance spot welded IF Steel, Kovove Materials, 47(1), 11-17, 2009.
- [30] Hayat, F., Demir, B., Aslanlar, S., 2008, IF 7315 çeliklerinin yapıştırılmalı nokta direnç kaynaklı birleştirmelerinin incelenmesi, 14. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 28-37.
- [31] Hayat, F., Demir, B., Aslanlar, S., 2007, Nokta direnç kaynak süresinin IF 7114 çeliği birleştirmelerinin mekanik özelliklerine etkisi, IV. Demir Çelik Kongresi, Karabük, 243-250.
- [32] Hayat, F., Demir, B., Acarer, M., 0,067 C ve 1,74 Mn'lı çift fazlı çeliklerin mikroyapı-dayanım ilişkisi ve kırılma davranışları, Teknoloji Dergisi, 10(1), 111-120, 2007.
- [33] Speich, G.R., 1997, Dual phase steels, heat treating, 50. Cilt. ASM Handbook, 424-429.
- [34] Speich, G.R., Miller, R.L., Mechanical properties of ferrite-martensite steels, AIME, 1-45, 1979.
- [35] Erdoğan, M., The effect of new ferrite content on tensile fracture behaviour of dual phase steels, Journal of Materials Science, 37(17), 3623-3630, 2002.
- [36] Erdoğan, M., Priestner, R., Effect of martensite content, its dispersion and epitaxial content on baushinger behaviour of dual phase steel, Materials Science and Technology, 15(11), 1273-1284, 1999.
- [37] Kim, K.J. Chang, G.L., Sunghak, L., Effects of martensite morphology on dynamic torsional behaviour in dual phase steels, Scripta Materialia, 38(1), 27-32, 1997.
- [38] Davies, R.G., Influence of martensite composition and content on the properties of dual-phase steels, Metallurgical Transactions, 18(1), 671-679, 1978.

- [39] www.ulsab-avc.org, The ultra light steel auto body programme, Final Report, Porsche Engineering Services, 2001.
- [40] Kayalı, E.S., Ensari, C., Silahtaroglu, S., 1979, Derin çekme kalitesindeki saclarda özellikleri etkileyen faktörler, 3. Ulusal Metalürji Kongresi, Ankara, 581-586.
- [41] Öztürk, T., Bor, Ş., Atasoy, E., Alpas, T., Erdemir 6114 saclarının derin çekme özelliklerini etkileyen faktörler, Doğa Mühendislik ve Çevre Dergisi, 1, 318-322,1987.
- [42] www.autosteel.org, New study finds increased use of advanced high-strength steels helps decrease overall vehicle weight, May 2009, Erişim Tarihi: 24.02.2014.
- [43] www.worldsteel.org, Environmental case study automotive: an advanced high-strength steel family car, April 2006, Erişim Tarihi: 17.08.2015.
- [44] www.tatasteel.com, Corus Research, Dev.&Technology, Corporate Responsibility Report, August 2007, Erişim Tarihi: 19.04.2014.
- [45] www.corporate.arcelormittal.com, How will we achieve, safe sustainable steel?, Corporate Responsibility Report, 2008, Erişim Tarihi: 30.03.2014.
- [46] www.corporate.arcelormittal.com, Flat carbon europe, September, 2007, Erişim Tarihi: 22.07.2014.
- [47] www.corporate.arcelormittal.com, Arcelor body concept, September, 2007, Erişim Tarihi: 22.07.2014.
- [48] Speich, G.R., Physical metallurgy of dual phase steels, fundamentals of dual-phase steels, AIME, 3-45, 1981.
- [49] Yaşacan, D. A., Kayalı, E. S., Soğuk haddelenmiş IF çeliklerinde anizotropi katsayısının (r) geliştirilmesi, İTÜ Dergisi, 6(1), 47-52, 2007.
- [50] Bakkaloğlu A., 2001, IF çeliklerinin özellikleri üzerinde proses parametrelerinin etkisi, 1. Demir-Çelik Sempozyumu, 695-697.
- [51] Carabajar, S., Merlin, J., Massardier V., Chabanet, S., Precipitation evolution during, the annealing of an interstitial free steel, Materials Science and Engineering, 281(1), 132-142, 2000.
- [52] Katoh, H., Takechi, H., Takahashi, N., Abe, M., Cold rolled steel sheets produced by continuous annealing, Technology of Continuously Annealed Cold Rolled Sheet Steel, 37-60, 1985.

- [53] Federici, C., Maggi, S., Rigoni, S., 2005, The use of advanced high strength steel sheets in the automotive industry, 1st International Conference Super-High Strength Steels, 147-168.
- [54] Akyol, M. A., Çimenoglu, H., Kayalı, E., 2001, 1. Demir-Çelik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 37-55.
- [55] Leslie, W.C., The physical metallurgy of steels, [ASHRAE Journal & Transactions](#), 245-257, 2001.
- [56] Bakkaloğlu, A., IF çeliklerin üretim prosesi özellikleri ve uygulamaları, Makine ve Metal Teknolojisi, 18(1), 76-82, 2001.
- [57] Aslanlar, S., Ders Notları, Sakarya Üniversitesi.
- [58] Erdemir Ürün Katoloğu, Ereğli Demir ve Çelik Fab., İstanbul, 2014.
- [59] Flux, J. H., Vacuum degassing, a survey of process and plant bulk steel, Special Report, 92(1), 23, 1998.
- [60] Rohde, H., Katic, J., Paschold, R., (ESAB GgmbH, Solingen), ESAB pulsed gas-shielded metal arc brazing of surface-coated sheets. Svetsaren 3, 20-23, 2000.
- [61] Karavolis, M., Jha, S., Forster, J., V6 ASM Handbook: Welding, Brazing, and Soldering, 1993.
- [62] Kaya, Ö., 2008, Lehimleme tekniğinde otomasyon ve işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- [63] Varol, F., 2013, MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [64] 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.
- [65] Batchelor G.K., 1967, An introduction to fluid dynamics, Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1-248.
- [66] 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.

- [67] Zhang, H.T, Liu, J., Microstructure characteristics and mechanical property of aluminum alloy/stainless steel lap joints fabricated by MIG welding–brazing process, *Materials Science and Engineering*, 528(1), 6179–6185, 2011.
- [68] Davies G., 1993. Precoated Steel in the Automotive Industry, *MBM*, 62-67.
- [69] Lahnsteiner, R., 2006, MIG-Loten von Verzinkten Dunnblechen und Profilen, *MIG Weld GmbH*.
- [70] Groten G., Paper on GMA pulsed-arc welding of uncoated and galvanised light-gauge sheets, Erişim Tarihi: 28.09.2011.
- [71] Liao, M. T., Chen, P. Y., The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldments, *Materials Chemistry and Physics*, 55(1), 145-151,1998.
- [72] www.icar.com, Brazing as a substitute for migwelding, August 2004, Erişim Tarihi: 26.02.2010.
- [73] Anık, S., MIG-MAG kaynağında dikiş formunu etkileyen faktörler, *Metal ve Kaynak*, 2(9), 16-21, 1989.
- [74] Rui-feng, L., Zhui-shui, Y., Qi, K., Interfacial structure and joint strengthening in arc brazed galvanized steels with copper based filler, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 16, 397-401, 2006.
- [75] Dilthey, U., Ulrico, K., GMA-Brazing of galvanized and alloyed steels, *Welding Institute*, 9(1), 1630-1638, 2000.
- [76] Kersche, A., Selecting shielding gases for MAG welding of unalloyed structural steels, Erişim Tarihi: 28.09.2011.
- [77] www.fronius.com., CMT brazing instead of welding, May 2009, Erişim Tarihi: 12.02.2010.
- [78] Oğuz, B., 1998, *Kapiler Yükselmenin Esasları*, Oerikon Yayını, Erişim Tarihi: 25.05.2013.
- [79] Gavrilovic, A., Rafailovic, L. D., Artner, W., Wosik, A. H. The corrosion behavior of amorphous and nanocrystalline Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{15.5}B₇ alloy, *Corrosion Science* 53(1), 2400–2405, 2011.
- [80] Honore, K., Influence of alloying elements iron and silicon on mechanical properties of aluminum-copper type B206 alloys, Dissertation presented to the university of quebec at chicoutimi in partial fulfillment of the requirement for the degree of doctor of philosophy in engineering, February 2010.

- [81] Khalid, R., Janaki, R., Phanikumar, K., Prasad, R., Microstructure and tensile properties of friction welded aluminum alloy AA7075-T6', *Materials and Design*, 31(1), 2375–2380, 2010.
- [82] Springer, H., Kostka, A., Payton, E., Raabe, D., Kaysser-pyzalla, A., Eggeler, G., On the formation and growth of intermetallic phases during interdiffusion between low-carbon steel and aluminum alloys, *Acta Materialia* 59(1), 1586–1600, 2011.
- [83] Zimmermann, K., *Brazing is brazetec, Technik die verbindet, Grundlagen des Lötens*, 28(1), 1-22, 1990.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet EKİCİ, 21.06.1984'de Kahramanmaraş'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kayseri'de tamamladı. 2001 yılında Kayseri Atatürk Lisesi'nden mezun oldu. 2002 yılında başladığı Gazi Üniversitesi Döküm Öğretmenliği Bölümü'nü 2006 yılında bitirdi. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimini bitirdi. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü'nde doktora eğitimine başladı. 2010 yılında Yalova Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen Yalova Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.

