

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK METAL TRANSFERİ KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLMİŞ MARTENZİTİK ÇELİK SAÇLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ünal GÜL

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Faruk VAROL

Ocak 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUK METAL TRANSFERİ KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLMİŞ MARTENZİTİK ÇELİK SAÇLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ünal GÜL

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

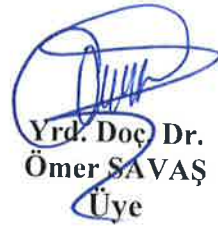
Bu tez 23.01.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.
Uğur ÖZSARAC
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr.
Faruk VAROL
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Ömer SAVAŞ
Üye

BEYAN

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

Ünal GÜL
06.01.2017

TEŞEKKÜR

Otomotiv sektöründe kullanılan 1200M martenzitik elik sacına CMT-lehimleme uygulanması ile ilgili çalışmaların yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında başta tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Faruk VAROL'a, Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a, Doç. Dr. Uğur ÖZSARA'a, Yrd. Doç. Dr. Erdiņ İLHAN'a, üniversitemizin doktora öğrencisi Erman FERİK'e, arkadaşlarım Abdullah KOŐAR'a, Emre SAKA'ya, Sefa KOZ'a ve Yavuz ERİM'e teőekkürlerimi sunarım.

DOCOL 1200M martenzitik elik sacların tedarikinde, SSAB firması ve bölge satış müdürü Devrim SAğLAM beye teőekkürlerimi sunarım.

Kaynaklı numunelerin lazer kesiminde, Sakarya Demir ve Metal San. Tic. Firması ve Tolga SAVUR beye teőekkürlerimi sunarım.

Metalografik numune hazırlama ve mikroyapı incelemesinde, Önerler Isıl İşlem firması üretim müdürü Onur ÖNER beye ve kalite kontrol laboratuvarı sorumlusu Mustafa TURAN beye teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca benim her zaman yanımda olan benden maddi ve manevi hiç bir desteğini esirgemeyen sevgili aileme minnettarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK.....	3
2.1. Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Çelikler.....	6
2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Ahss Türleri.....	6
2.2.1. Çift fazlı (DP) çelikler.....	7
2.2.2. Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikler.....	7
2.2.3. Kompleks fazlı (CP) çelikler.....	8
2.2.4. Martenzitik (M/MS/Mart) çelikler	9
2.2.5. Ferritik/Beynitik (FB) çelikler	9
2.2.6. İkizlemeyle plastikliği arttırılmış (TWIP) çelikler.....	10
BÖLÜM 3.	
MARTENZİTİK ÇELİKLER	11
3.1. Giriş.....	11
3.2. Martenzitik Çeliklerin Sıcak Şekillendirilmesi	12

3.3. Martenzitin Temperlenmesi.....	13
BÖLÜM 4.	
LEHİMLEME.....	14
4.1. Lehimleme.....	14
4.2. Yumuşak Lehimleme.....	15
4.3. Sert Lehimleme.....	15
4.4. MIG Lehimleme.....	16
BÖLÜM 5.	
SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT).....	17
5.1. Giriş.....	17
5.2. Yöntemin Sağladığı Üstünlükler	19
5.3. Yöntemin Türevleri	19
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	22
6.1. Genel.....	22
6.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz.....	22
6.3. Yapılan Lehimleme İşlemleri.....	23
6.3.1. Deneyler için numune hazırlama.....	24
6.3.2. Lehimleme İşlemleri.....	24
6.3.3. Metalografik inceleme ve sertlik taraması için numune hazırlama.....	24
6.4. Çekme Deneyi.....	25
6.5. Mikroyapı ve Makroyapı incelenme	25
6.5.1. Mikroyapı	25
6.5.2. Makroyapı	26
6.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	27
6.6. Sertlik Ölçümleri.....	27

BÖLÜM 7.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	28
7.1. Martenzitik 1200M Sacın CMT Lehimleme Yöntemi ile Alın Birleştirmeleri.....	28
7.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının özelliklerine etkisi.....	28
7.1.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	28
7.1.1.2. Lehim akım şiddetlerinin lehim geometrisine etkisi...	29
7.1.1.3. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi...	31
7.1.1.4. Lehim akım şiddetinin mikroyapı özelliklerine etkisi.....	34
7.1.2. Lehim ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi.....	37
7.1.2.1. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	37
7.1.2.2. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi.....	38
7.1.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi...	40
7.1.2.4. Lehim ilerleme hızının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	41
7.1.3. Lehim gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi.....	44
7.1.3.1. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	44
7.1.3.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	45
7.1.3.3. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	47
7.1.3.4. Lehim gaz debisinin mikroyapı özelliklerine etkisi...	49
7.1.4. Lehim aralığının bağlantının özelliklerine etkisi.....	52
7.1.4.1. Lehim aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	52
7.1.4.2. Lehim aralığının lehim geometrisine etkisi.....	53
7.1.4.3. Lehim aralığının bağlantının sertliğine etkisi.....	55
7.1.4.4. Lehim aralığının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	56
7.1.5. Lehim torç açısının bağlantının özelliklerine etkisi.....	59

7.1.5.1. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	59
7.1.5.2. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi.....	60
7.1.5.3. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi.....	63
7.1.5.4. Lehim torç açısının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	64
7.2. Martenzitik 1200M Sacın CMT Lehimleme Yöntemi ile Bindirme Birleştirmeleri.....	67
7.2.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının özelliklerine etkisi.....	67
7.2.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	67
7.2.1.2. Lehim akım şiddetlerinin lehim geometrisine etkisi...	68
7.2.1.3. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi...	70
7.2.1.4. Lehim akım şiddetinin mikroyapı özelliklerine etkisi.....	71
7.2.2. Lehim ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi.....	74
7.2.2.1. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	74
7.2.2.2. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi.....	75
7.2.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi...	77
7.2.2.4. Lehim ilerleme hızının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	78
7.2.3. Lehim gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi.....	81
7.2.3.1. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	81
7.2.3.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi.....	82
7.2.3.3. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	84
7.2.3.4. Lehim gaz debisinin mikroyapı özelliklerine etkisi...	86
7.2.4. Lehim aralığının bağlantının özelliklerine etkisi.....	88
7.2.4.1. Lehim aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	88
7.2.4.2. Lehim aralığının lehim geometrisine etkisi.....	89

7.2.4.3. Lehim aralığının bağlantının sertliğine etkisi.....	91
7.2.4.4. Lehim aralığının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	92
7.2.5. Lehim torç açısının bağlantının özelliklerine etkisi.....	95
7.2.5.1. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	95
7.2.5.2. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi.....	96
7.2.5.3. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi.....	98
7.2.5.4. Lehim torç açısının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi.....	99
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	103
8.1. Sonuçlar.....	103
8.2. Öneriler.....	116
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	121

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°	: Derece
α	: Ferrit
γ	: Östenit
A	: Amper
BH	: Bake Hardening
C	: Karbon
CM	: Carbon-Mangan
cm	: Santimetre
CMT	: Colda Metal Transfer
CP	: Complex Phase
dk	: Dakika
DP	: Dual Phase
FB	: Ferritic-Bainitic
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HMT	: Hacim Merkezli Tetragonal
HSS	: High Strength Steel
IF	: Interstitial-Free
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
L	: Litre
LSS	: Low Strength Steel
M/Mart/MS	: Martensitic steel
MAG	: Metal Aktif Gaz
Mf	: Martenzit Bitiş Sıcaklığı
MIG	: Metal İnert Gaz
Ms	: Martenzit başlangıç sıcaklığı

TRIP : Transformation induced plasticity
TWIP : Twinning-induced plasticity steel
UHSS : Ultra High Strength Steel
YMK : Yüzey merkezli kübik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kazalarda kullanılan malzemelere göre korunma oranı.....	4
Şekil 2.2. GM firması öngörülerine göre yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı.	4
Şekil 2.3. AHSS saclar, düşük mukavemetli saclar ve konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar.....	6
Şekil 2.4. TRIP etkisinin mekanizması.....	8
Şekil 2.5. Temperlenmemiş martenzitte karbon içeriği-çekme dayanımı ilişkisi ...	9
Şekil 3.1. Martenzitik (MartINsite®) 1200 mikroyapısı	12
Şekil 3.2. Martenzitik temperlenmesi esnasındaki akma gerilmesini gelişimi	13
Şekil 5.1. CMT yönteminin aşamaları	18
Şekil 5.2. CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon	20
Şekil 5.3. Negatif CMT ve pozitif CMT'nin kombinasyonu	20
Şekil 5.4. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon.....	21
Şekil 6.1. TS EN 895'e uygun olarak hazırlanmış çekme deney numunesi ölçüleri....	25
Şekil 6.2. Alın ve bindirme birleştirmede alınan mikroyapı görüntü bölgeleri.....	26
Şekil 6.3. Bindirme birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar.....	26
Şekil 6.4. Alın alına birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar.	26
Şekil 6.5. Bindirme birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.....	27
Şekil 6.6. Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.....	27
Şekil 7.1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	29
Şekil 7.2. Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.	30
Şekil 7.3. Farklı akım şiddetlerinde lehim ısılatma açıları grafiği.	30
Şekil 7.4. Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.	31
Şekil 7.5. Farklı akım şiddetlerinde lehim yükseklikleri grafiği.	31
Şekil 7.6. 40A, 50A, 60A ve 65A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları	32
Şekil 7.7. 40A, 50A, 60A ve 65A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları	32
Şekil 7.8. 70A, 80A, 90A ve 95A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları	33

Şekil 7.9. 70A, 80A, 90A ve 95A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları	33
Şekil 7.10. 65A akım şiddetinde mikro yapı görüntüleri.....	34
Şekil 7.11. Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri	35
Şekil 7.12. 65A akım şiddetinde SEM görüntüleri.....	36
Şekil 7.13. 70A akım şiddetinde EDS analizi.	36
Şekil 7.14. Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği.	38
Şekil 7.15. Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri.	38
Şekil 7.16. Farklı lehim ilerleme hızlarında ıslatma açısı grafiği.....	39
Şekil 7.17. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.....	39
Şekil 7.18. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.	40
Şekil 7.19. Farklı lehim ilerleme hızlarında mikro sertlik noktaları.....	41
Şekil 7.20. Farklı lehim ilerleme hızlarında mikro sertlik noktaları.....	41
Şekil 7.21. 21,81 cm/dk lehim ilerleme hızının mikroyapı görüntüleri.....	42
Şekil 7.22. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri. ..	43
Şekil 7.23. 21,81 cm/dk lehim ilerleme hızının SEM görüntüsü.	43
Şekil 7.24. 21,81 cm/dk lehim ilerleme hızı EDS analizi.	44
Şekil 7.25. Farklı gaz debilerinde maksimum çekme mukavemetleri grafiği.....	45
Şekil 7.26. Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.	46
Şekil 7.27. Farklı lehim gaz akış debilerinde ıslatma açısı grafiği.....	46
Şekil 7.28. Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.	47
Şekil 7.29. Farklı lehim gaz debilerinde lehim yükseklikleri grafiği.	47
Şekil 7.30. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.	48
Şekil 7.31. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.....	48
Şekil 7.32. 12 L/dk lehim gaz akış debisinde mikroyapı görüntüleri.....	49
Şekil 7.33. Farklı lehim gaz akış debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri..	50
Şekil 7.34. 12 L/dk lehim gaz akış debisi SEM görüntüleri.	51
Şekil 7.35. 12 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.	51
Şekil 7.36. Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemetleri grafiği.	52
Şekil 7.37. Farklı lehim aralığında makro görüntüleri.....	53
Şekil 7.38. Farklı lehim aralığında ıslatma açısı grafiği.	54
Şekil 7.39. Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği.	54
Şekil 7.40. Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği.....	55

Şekil 7.41. Farklı lehim aralıklarında mikro sertlik noktaları.	56
Şekil 7.42. Farklı lehim aralıklarında mikro sertlik noktaları.	56
Şekil 7.43. 0.5 mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri.	57
Şekil 7.44. Farklı lehim aralıklarındaki lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	58
Şekil 7.45. 0.5 mm lehim aralığı SEM görüntüsü.	58
Şekil 7.46. 0.5 mm lehim aralığı lehimlenmiş bölgenin EDS analizi.....	59
Şekil 7.47. Farklı lehim torç açılarındaki maksimum çekme mukavemetleri grafiği..	60
Şekil 7.48. Farklı lehim torç açılarındaki makro görüntüleri.	61
Şekil 7.49. Farklı lehim torç açılarındaki ısıtma açısı grafiği.....	62
Şekil 7.50. Farklı lehim torç açılarındaki lehim genişliği grafiği.....	62
Şekil 7.51. Farklı lehim torç açılarındaki lehim yüksekliği grafiği.....	62
Şekil 7.52. Farklı lehim torç açılarındaki mikro sertlik noktaları.	63
Şekil 7.53. Farklı lehim torç açılarındaki mikro sertlik noktaları.	63
Şekil 7.54. 80° lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.	65
Şekil 7.55. Farklı torç açılarındaki ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	66
Şekil 7.56. 80° torç açısında SEM görüntüleri.	66
Şekil 7.57. 80° torç açısında lehim ara bölge EDS analizi.....	67
Şekil 7.58. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	68
Şekil 7.59. Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.	69
Şekil 7.60. Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.....	69
Şekil 7.61. Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği.....	70
Şekil 7.62. 70A, 80A, 85A ve 90A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları	71
Şekil 7.63. 70A, 80A, 85A ve 90A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları	71
Şekil 7.64. 90A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.	72
Şekil 7.65. Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri....	73
Şekil 7.66. 90 A akım şiddetinde SEM görüntüleri.....	73
Şekil 7.67. 90A akım şiddetinde EDS analizi.	74
Şekil 7.68. Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği.	75
Şekil 7.69. Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri.	76
Şekil 7.70. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.....	76

Şekil 7.71. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.	77
Şekil 7.72. Farklı lehim ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.	78
Şekil 7.73. Farklı lehim ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.	78
Şekil 7.74. 24 cm/dk lehim ilerleme hızında mikroyapı görüntüleri.	79
Şekil 7.75. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri. ..	80
Şekil 7.76. 24 cm/dk lehim ilerleme hızında SEM görüntüsü.	80
Şekil 7.77. 24 cm/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.	81
Şekil 7.78. Farklı lehim gaz debilerinde mukavemetleri grafiği.	82
Şekil 7.79. Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.	83
Şekil 7.80. Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.	83
Şekil 7.81. Farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği.	84
Şekil 7.82. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.	85
Şekil 7.83. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.	85
Şekil 7.84. 14 L/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri.	86
Şekil 7.85. Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.	87
Şekil 7.86. 14 L/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüsü.	88
Şekil 7.87. 14 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.	88
Şekil 7.88. Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemetleri grafiği.	89
Şekil 7.89. Farklı lehim aralığında makro görüntüleri.	90
Şekil 7.90. Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği.	90
Şekil 7.91. Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği.	91
Şekil 7.92. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.	92
Şekil 7.93. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.	92
Şekil 7.94. 0.8 mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri.	93
Şekil 7.95. Farklı lehim aralıklarındaki lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.	94
Şekil 7.96. 0.8 mm lehim aralığı SEM görüntüsü.	94
Şekil 7.97. 0.8 lehim aralığında EDS analizi.	95
Şekil 7.98. Farklı lehim torç açılarında çekme mukavemetleri grafiği.	96
Şekil 7.99. Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.	97
Şekil 7.100. Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.	97
Şekil 7.101. Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.	98
Şekil 7.102. Farklı lehim torç açılarında mikro sertlik noktaları.	99

Şekil 7.103. Farklı lehim torç açılarında mikro sertlik noktaları.....	99
Şekil 7.104. 45° lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.	100
Şekil 7.105. Farklı torç açılarında ara bölge mikroyapı görüntüleri.....	101
Şekil 7.106. 45° torç açısında SEM görüntüleri.	101
Şekil 7.107. 45° torç açısında lehim bölgesi EDS analizi.	102

TABLolar LİSTESİ

Tablo 6.1. 1200M çeliğinin kimyasal bileşimi.....	22
Tablo 6.2. 1200M çeliğinin mekanik özellikleri.....	23
Tablo 6.3. CuAl8 lehim telinin normları.....	23
Tablo 6.4. CuAl8 lehim telinin kimyasal bileşimi.....	23
Tablo 6.5. CuAl8 lehim telinin mekanik özellikleri.....	23
Tablo 7.1. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.....	28
Tablo 7.2. Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.....	37
Tablo 7.3. Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	45
Tablo 7.4. Farklı lehim aralıklarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.....	52
Tablo 7.5. Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	60
Tablo 7.6. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	67
Tablo 7.7. Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	75
Tablo 7.8. Farklı lehim gaz akış debilerinde lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	82
Tablo 7.9. Farklı lehim aralıklarında lehim parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	89
Tablo 7.10. Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.....	96

ÖZET

Anahtar kelimeler: 1200M Martenzit Çeliği, CMT-Lehimleme, Çekme Mukavemeti

Araçlarda, sürücü ve yolcu güvenliğini arttırmak ve yakıt tüketimini azaltmak amacıyla geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler kullanılmaktadır. Çok yüksek mukavemete sahip olan martenzitik çelikler; otomobillerin güvenlik bileşimleri, Kapı kirişleri ve tampon gibi uygulama alanlarına sahiptir.

Martenzitik çelikler, tamamen martenzitik yapı içerdiklerinden ötürü geleneksel gaz altı kaynak yöntemleri olan Metal Inert Gaz (MIG) ve Metal Aktif Gaz (MAG) gibi yöntemleri yerine ısı girdisi daha az olan Soğuk Metal Transferi (Cold Metal Transfer (CMT)) yöntemi tercih edilmiştir. Aynı zamanda lehim teli olarak ergime derecesi düşük olan (1030-1035°C) CuAl8 teli kullanılmıştır.

Bu çalışmada 1 mm kalınlığa sahip DOCOL 1200M martenzitik çelik saclar CMT-lehimleme yöntemi kullanılarak bakır esaslı bir tel olan CuAl8 teli ile birleştirilmiştir. Numuneler iki farklı bağlantı biçimi olan alın ve bindirme bağlantılar olarak hazırlanmıştır. Lehimleme tatbikleri beş farklı parametrede, akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, lehimleme aralığı ve torç açısı olarak incelenmiştir.

CMT-lehimlenmiş malzemelerin mukavemet özellikleri ve bağlantı bölgesi arasındaki mikro sertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı tetkiklerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, lehimleme aralığı ve torç açısının lehimlenen bağlantı bölgesi ve 1200M martenzitik çeliği arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikro sertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır.

INVESTIGATION OF MECHANICAL AND METALLURGICAL CHARACTERISTICS OF 1200M STEEL (CMT) WELDING METHOD

SUMMARY

Keywords: CMT- Brazing, 1200M Martensitic Steel, Tensile Strength

The vehicles use high strength steels developed to increase driver and passenger safety and reduce fuel consumption. Very high strength martensitic steels have application areas such as automobile safety components, door beams and bumpers.

Since martensitic steels contain completely martensitic structure, cold metal transfer (CMT) method with less heat input has been preferred instead of traditional gas welding methods such as Metal Inert Gas (MIG) and Metal Active Gas (MAG). At the same time, CuAl8 solder wire with low melting point (1030-1035°C) was used as solder wire.

In this study, DOCOL 1200M martensitic steel plates having 1 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 five different parameters, current intensities, travel speeds, shielding gas, brazing gaps and torch angles.

Tensile strength, bending force, microstructure of brazed materials, and their micro hardness distribution throughout joining were determined. In macro and microstructure examinations, stereo optical microscope, scanning electron microscope (SEM), SEM/energy dispersive spectroscopy was used. This study investigated effects of current intensities, travel speeds, shielding gas at flow rates, brazing gaps and torch on microstructure and microhardness distribution of transition zone between 1200M martensitic steel and brazed metal of joined material.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde artan sürücü ve yolcu güvenliği, araçların yakıt tasarrufu ve çevresel faktörlerden dolayı araçların karasör kısmını hafifletmek için araçlarda kullanılan sacların kalınlığı giderek azalmakta olup, bu sacların mukavemeti, güvenliği sağlamak için artmaktadır [1].

Bahsedilen özelliklerden dolayı yüksek mukavemetli çelik (advanced high strength steel (AHSS)) saclar son zamanlarda araçlarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan sacların mukavemete göre yapılan sınıflandırmaya göre, Düşük mukavemetli çelikler çekme dayanımları 270 MPa'ın altında olan çeliklerdir. Yüksek mukavemetli çelikler (HSS) çekme dayanımları 270-700 MPa olan çeliklerdir. Ultra-Yüksek mukavemetli çelikler (UHSS) çekme dayanımları 700 MPa'ın üstünde olan çeliklerdir [2].

Geliştirilen yüksek mukavemetli çelikler arasında, otomotiv endüstrisinde kullanılan martenzitik çelikler, yüksek çekme mukavemeti ve iyi kaynak kabiliyeti sergilediklerinden dolayı tercih edilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan 1200-1400 MPa aralığında yüksek çekme dayanımı gösteren DOCOL 1200M martenzitik çelikler kullanılmıştır. Bu çelikler, darbelere karşı dayanımı arttırmak ve araç ağırlığını azaltmak amacıyla otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır.

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 [3,4].

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 [3,4]. Otomobil yapılarındaki bağlantılar işletme sırasında, dinamik ve statik zorlanmalara maruz kaldıkları için çoğu hasar ve çatlaklar, kaynaklar etrafında ve özellikle de ısının tesiri altındaki bölgelerde (ITAB) meydana gelmektedir [5].

Cold Metal Transferi (cmt), kaynak ve lehimleme için Fronius tarafından geliştirilen bir MIG / MAG prosesidir. Amaç, sıçrama oluşumunu ve ısı girdisini en aza indirmek, böylece birleştirilen ana metallere daha az zarar vermektir [6].

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli martenzitik çelikler, tamamen martenzit fazına sahip olduklarından dolayı CMT birleştirme yöntemi ile düşük ısı girdisi sağlanarak çelik faz yapısındaki değişimin minimum seviyede olması amaçlanmaktadır.

Bu çalışma otomotiv sektöründe kullanılan 1200M martenzitik çelik saclarının CMT-lehimleme ile farklı akım şiddetleri, farklı lehim ilerleme hızları, farklı gaz debileri ve farklı torç açılarında birleştirilebilirliğini ve mekanik özelliklerini incelemektedir. Ayrıca farklı parametrelerde uygulanan lehim parçalarının mukavemet özellikleri incelenecektir.

Lehim kepinin ve lehim kökünün yükseklikleri tespit edilerek en uygun parametre belirlenmeye çalışılacaktır. Belirlenen bu parametrelerle 1200M martenzitik otomotiv çelik sacının diğer birleştirme yöntemlerine göre avantajlarının ispat edilmesi hedeflenmektedir.

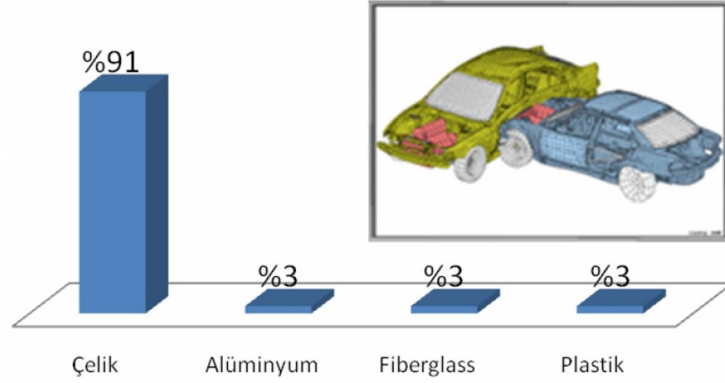
BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK

Demir ve çelik malzemelerin ham maddesi olan demir elementi, dünyada en çok kullanılan elementlerden biri olup, kullanımda geniş yelpazeye sahiptir. Düşük fiyatı ve kolay işlenebilirliği demiri; makine, taşımacılık ve savunma sanayi, dekoratif ve mobilya gibi pek çok sektörün vazgeçilmez malzemesi olarak öne çıkarmıştır. Çelik malzemelerin üzerine yapılan araştırma-geliştirme (AR-GE) faaliyetlerinin sonucunda malzemelerin yeni kullanım alanlarında önemli artışlar görülmektedir. İlerleyen teknoloji ile birlikte yeni nesil çelikler geliştirilmiş, mukavemet ve hafiflik gibi önemli kazanımlar sağlanmıştır. Bu önemli kazanımların en büyük etkilerinin gözlemlendiği endüstriler biride otomotiv sanayisidir [7].

Bir malzeme seçiminde en önemli parametreler; hammadde maliyeti, sürekli malzeme temin edilebilirlik, kalite ve sağlamlık, mukavemet ve korozyon gibi fonksiyonel özellikler, üretim yöntemleri, oluşan atıklar ve geri dönüşe bilirlidir. Çelik bu koşullara büyük oranda cevap verebilmektedir [8].

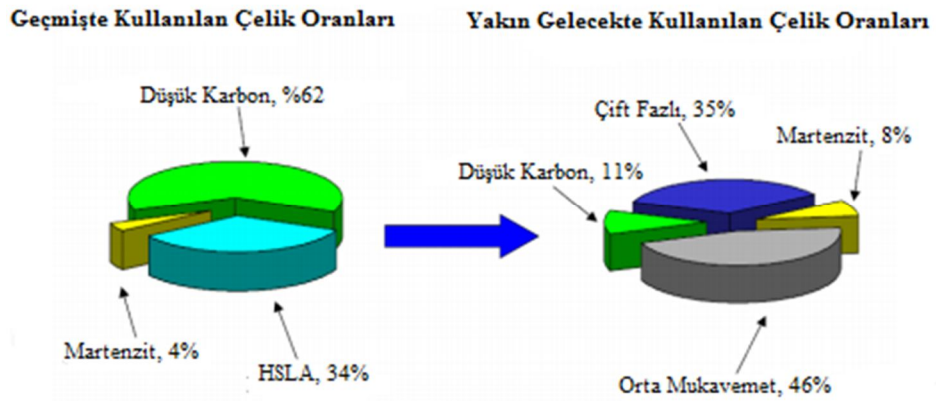
Taşıt önemli bir unsur olan güvenliğin geliştirilmesi arzusu çelik gibi yüksek dayanımlı malzemelerin daha fazla kullanılmasına yol açmaktadır. Kazalardan korunmanın kullanılan malzeme türüne göre değişim oranları şekil 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.1. incelendiğinde, yapılan kazalarda çelik yapılar ile dizayn edilmiş araçlarda can kaybının %91 oranında azaltılması mümkün olmaktadır. Alüminyum, fiberglas ve plastik malzemelerinininki ise %3'tür. Çeliğin sağladığı bu büyük avantaj, kullanımını daha da cazip hale getirmiştir [7].

Kazalarda Kullanılan Malzemeye Göre Koruma Oranı



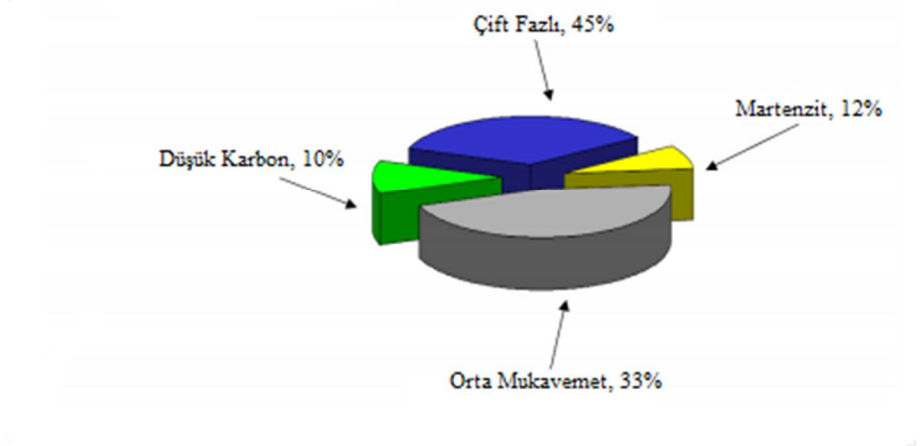
Şekil 2.1. Kazalarda kullanılan malzemelere göre korunma oranı [7].

Genel olarak, otomobil gövdesi metal sac parçalardan oluşmakta olup, yaklaşık olarak araç kütlesinin 1/4'ünü meydana getirmektedir. Bu parçaların yeni nesil çelikler ile üretilmesi son yıllarda büyük önem arz etmektedir. Bu parçaların yeni nesil yüksek üretilmesi son zamanlarda büyük önem arz etmektedir. Bu çelikler birim ağırlık için daha yüksek mukavemet değerine sahip olmakta olup, sac metal sanayisindeki kullanımlarında hızlı bir artış görülmektedir [9]. Şekil 2.2.'de otomotiv sanayisinde kullanılan bazı çelik türlerinin dünü, bugünü ve yakın gelecekteki durumunu gösteren bir grafik verilmiştir.



Şekil 2.2. GM firması öngörülerine göre yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı [7].

Gelecekte Kullanılacak Çelik Oranları



Şekil 2.2. (Devamı)

Otomotiv sanayisinin günümüzde karşılaştığı en önemli sorunlar arasında taşıtlarda yolcu güvenliğinin artırılması, taşıtlara bağlı çevresel problemlerin önlenmesi, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması, sürüş emniyetinin ve yakıt tasarrufunun artırılması gibi mühendislik problemleri öne çıkmaktadır. Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemelerin fiziksel, mekanik ve metalurjik özellikleri, bu parametreleri etkileyen en önemli etkenler arasındadır. Bu doğrultuda güvenlikten ve konfordan ödün vermeden daha az yakıt tüketen otomobillerin üretilebilmesi için hafif fakat dayanımı yüksek çeliklere ihtiyaç duyulmuştur [10].

Bu doğrultuda son zamanlarda Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik saclar otomobillerde ve diğer araçlarda giderecek daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır.

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik sacların bazı kullanım yerleri aşağıda belirtilmiştir:

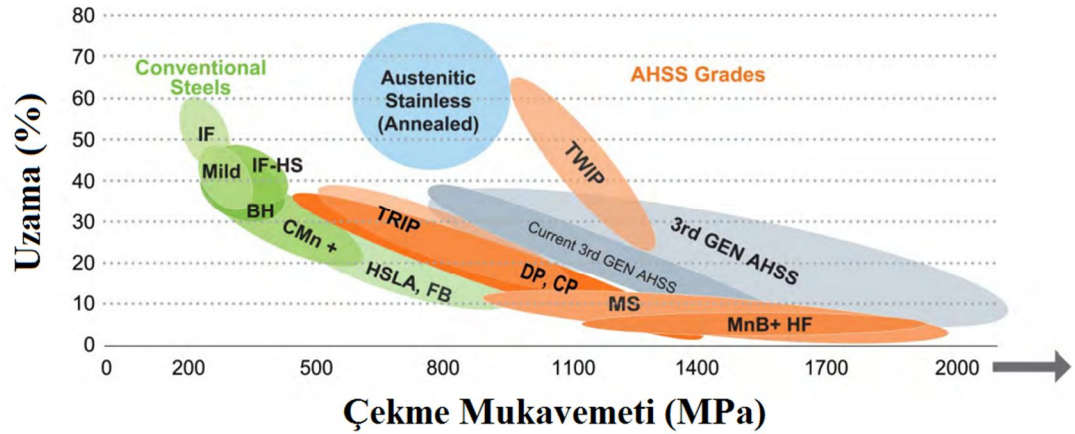
1. Ağır araçlarda
2. Otomobillerin güvenlik parçalarında
3. Otomobil koltuklarında
4. Konteynerlerde
5. Vinç imalatında

2.1. Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Çelikler

Otomotiv çelikleri literatürde birçok şekilde sınıflandırılmıştır. Metalurjik açıdan ele alınarak yapılan genel sınıflandırma;

1. Düşük mukavemetli çelikler (IF ve Yumuşak çelikler)
2. Konvansiyonel yüksek mukavemetli çelikler (Karbon-Mangan (CM), Fırında sertleşebilen (BH), ve Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler)
3. Yeni geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) (Çift fazlı (DP), Dönüşümle plastikliği artırılmış (TRIP), İkizlemeyle plastikliği artırılmış (TWIP), Ferrit-beynit (FB), Kompleks fazlı (CP) ve Martenzitik (M) çelikleri)

Şekil 2.3.'de AHSS saclar ile diğer saclar arasındaki mukavemet ve % uzama oranları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. AHSS saclar, düşük mukavemetli saclar ve konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar [11].

2.2. Otomotiv Sanayisinde Kullanılan AHSS Türleri

Bütün AHSS'ler östenit veya östenit + ferrit fazından başlayarak kontrollü soğutmayla sıcak haddelenmiş ürünler için haddeleme sırasında, kaplama veya tavlama yapılmış ürünler için tav fırınlarında üretilirler [12].

2.2.1. Çift fazlı (DP) çelikler

Çift fazlı çeliklerin özellikleri yumuşak bir ferrit matristeki sert martensit parçacıkların dağılımıyla oluşan bir mikroyapı ile karakterize edilmiştir [13]. Mikroyapıda temelde ferrit ve martensit olmak üzere iki ana faz vardır, ancak az miktarda bainit veya kalıntı östenit de mevcut olabilir. Yapısındaki ferrit yumuşak bir faz olup, çift fazlı çeliğin şekillendirilme kabiliyetini arttırmaktadır. Martensit fazı ise sert yapısından dolayı malzemeye mukavemet kazandırmaktadır [14].

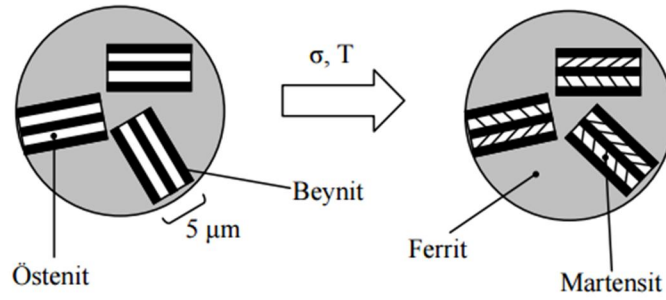
Çift fazlı çelik yapısı esas olarak, bu çeliklerin Fe-Fe₃C faz diyagramında A1-A3 sıcaklıkları aralığında ($\alpha+\gamma$ bölgesinden) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bir süre tutulup östenitin martensite dönüşebileceği hızlarda soğutulmasıyla elde edilir [14].

Bu çelikleri yüksek mukavemet ve şekillendirilme kabiliyetlerinden dolayı tamamen otomobil gövde, panel ve kaporta parçaları için üretilmektedir. Geliştirilen DP çeliklerin yerine geleneksel yüksek mukavemetli ve ya yumuşak çeliklerin herhangi bir kalitesi kullanıldığında ortaya çıkan en büyük problem mukavemet ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin uyumsuzluğudur. Aşırı mukavemetli ve aşırı sünek malzemeler üretim sırasındaki sorunlar yaratır. Bu sebeplerden dolayı DP çelikleri kullanarak azalan ağırlığa karşın, artmakta olan mekanik özellikleri ile son derece önemli bir malzeme haline gelmiştir [15].

2.2.2. Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikler

Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikleri isminden de anlaşıldığı gibi en büyük avantajı şekillendirme esnasında yapısında oluşan dönüşümle kazanılan özelliktir. Mikro yapısında yumuşak ferrit matris içinde, kalıntı östenit ve bainit içerdiğinden üç fazın da belli oranlarda sağladığı üstün mekanik özellikleri malzeme gelişimine katkı sağlamaktadır. Bazen de kalıntı östenit ile beraber sert olan martensit fazı da görülmektedir [14].

Yüksek dayanım-uzama kombinasyonu sağlayan, 800-1000 MPa değerleri arasında %30'dan fazla uzama özelliğine sahip olan TRIP çelikleri otomotiv endüstrisi uygulamayı için büyük avantaj sağlamaktadır. Şekil 2.4.'de şematik olarak gösterildiği gibi uygulanacak uygun termo-mekaniksel işlemlerle yapıda bulunan kalıntı östenit, sıcaklık ve deformasyonun etkisiyle martensite dönüşür [16]. Uygulanan termo-mekaniksel işlemde önce yapıdaki kalıntı östenit çeliğin şekillendirme kabiliyetini artırırken, uygulama sonucu oluşan martensit çeliğe mukavemet kazandırmaktadır.



Şekil 2.4. TRIP etkisinin mekanizması [16].

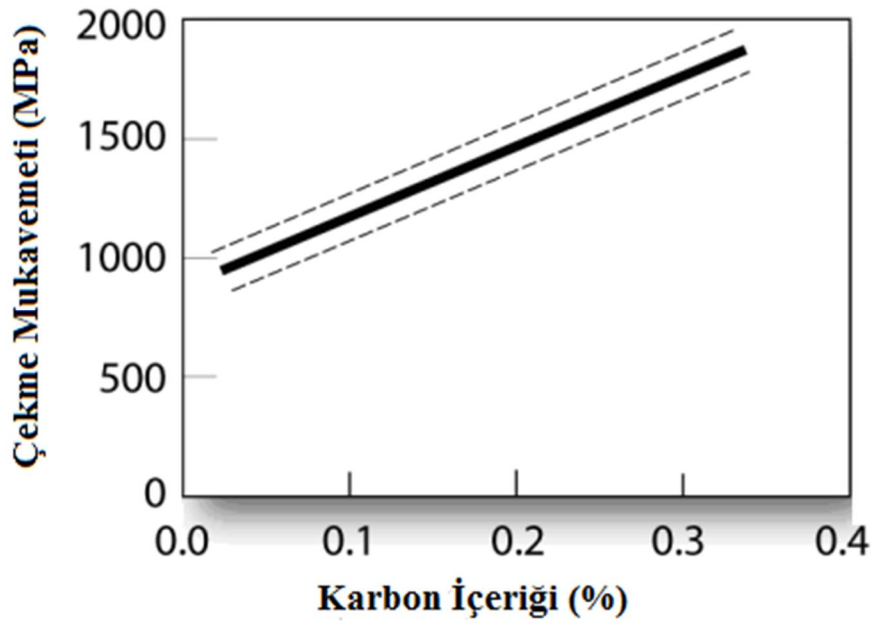
TRIP çelikleri çok yüksek uzama değerlerinde göstermiş olduğu mükemmel şekillenebilirlik özellikleri ve yüksek enerji absorblama sayesinde otomotiv endüstrisinde yerini almaktadır. Otomotiv endüstrisinde TRIP çelikleri galvanizlenmiş olarak kullanılır [17].

2.2.3. Kompleks fazlı (CP) çelikler

TRIP çelik mikroyapısına benzer özellikte olan kompleks fazlı çelikler kalıntı östenit içermez. Beynit, martensit ve çökeltme sertleşmesi ile elde edilen sert fazlar sayesinde, mukavemet değeri yaklaşık 800-1000 MPa arasında değişmektedir. Göstermiş olduğu mukavemetten dolayı otomobillerde tampon gibi çarpmaya karşı dayanımlı bölgelerde kullanılır. Çift fazlı çeliğe kıyasla şekillenebilme özelliği daha iyidir. Titanyum, Vanadyum ve Nolibden elementlerinin eklenmesiyle tane küçültmesi gerçekleştirilir [18].

2.2.4. Martenzitik (M/MS/Mart) çelikler

Martenzitik çelik elde etmek için, sıcak haddeleme veya tavlama sırasında oluşan östenit yapı, su verme işlemi esnasında martenzite dönüştürülür. Martenzitik çeliklerin çekme dayanımları 1700 MPa'a kadar çıkabilir. Martenzitik çelikler genellikle sünekliliğin artırılması için su verme işleminden sonra temperleme işlemine tabi tutulurlar ve son derece yüksek mukavemetlerde bile önemli şekil verilebilirlik sağlanabilir. Sertleşebilirliğin ve martenzitin dayanımının artırılması için martenzitik çeliklere karbon ilavesi yapılabilir. Şekil 2.5.'de, temperlenmiş martenzitteki karbon içeriği ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki gösterilmektedir. Ayrıca, sertleşebilirliği arttırmak için silisyum, mangan, molibden, vanadyum nikel ve bor ilave edilir [12].



Şekil 2.5. Temperlenmemiş martenzitte karbon içeriği-çekme dayanımı ilişkisi [12].

2.2.5. Ferritik/Beynitik (FB) çelikler

Ferritik beynitik çelikler, otomotiv uygulamaları için geliştirilmiş olan geliştirilmiş yüksek muavemetli çeliklerden biridir. Bu çelikler FB çelikleri olarak da bilinir. Otomobillerin ağırlık azaltma gereksinimlerini karşılamak için yüksek mukavemetli

FB çelik serisi geliştirilmiştir. Bu çelikler çoğunlukla sıcak haddelenmiş olarak mevcuttur. FB çelikleri yumuşak ferrit ve sert beynite sahiptir. [19].

2.2.6. İkizlemeyle plastikliği arttırılmış (TWIP) çelikler

TWIP yani ikizlenme kaynaklı plastisite gösteren çelikler, otomotiv endüstrisinde gelişimini sürdüren çeliklerdir. TWIP çeliği, kimyasal bileşiminde yüksek oranda Mn içeren yüzey merkezli kübik (YMK) yapıli östenit kristal yapısına sahiptir. TWIP çeliği yüksek mukavemet ve süneklige sahip çeliklerdir. Bu mekanik özellikler otomotiv endüstrisi açısından oldukça idealdir. Lakin içerdikleri yüksek Mn değerlerinden dolayı oldukça pahalı bir çeliktir [18].

BÖLÜM 3. MARTENZİTİK ÇELİKLER

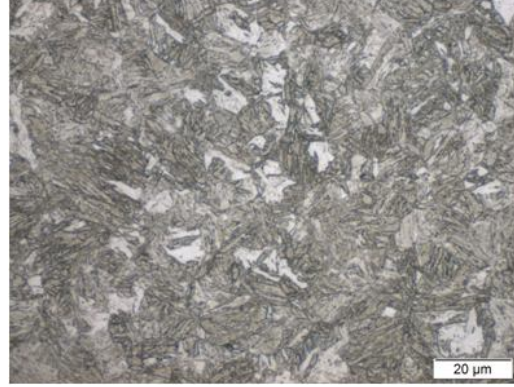
3.1. Giriş

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler sınıfında tek fazlı, tamamen martenzitik yapıya sahip çeliklerdir [20]. Martenzitik çelikler, yüksek çekme mukavemetine ve çok yüksek YS/TS (akma mukavemeti/çekme mukavemeti) oranına sahip çeliklerdir. Bu özellikleri, çarpma sırasında sürücü ve yolcuları müdahalelerden korumak için tasarlanan araçların emniyet parçaları için çok önemlidir. Bu önemden dolayı, martenzitik çelik sac üretimi 80'li yılların başlarından ABD'de başlamıştır [21].

Martenzitik yapı, malzemenin yapısının tamamen östenitleştirmek için gerekli olan sıcaklığa kadar ısıtılıp, ardından martenzit başlama sıcaklığının (M_s) altına hızlı bir şekilde soğutulmasıyla elde edilir. Yapılan hızlı soğuma işlemiyle, beynit ve perlit gibi difüzyon kontrollü faz dönüşümleri engellenir [20]. Hızlı soğuma sırasında, difüzyon için yeterli zaman bulamayan karbon atomlarının çözelti içerisinde hapsedilmeleri nedeniyle kafes yapısı HMK yapıya dönüşmez ve farklı bir yapı oluşur. Hızlı soğuma sonucunda oluşan bu yapıya "martenzit" adı verilir. Martenzit, karbon ile aşırı doymuş hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıya sahip bir katı çözüldür [22].

Martenzitik çelikler, %100'e yakın martenzit ve az miktarda beynit ve/veya ferrit içeren çeliklerdir [23]. Martenzitik çeliklerin dayanımı, pratik olarak karbon içeriğine bağlıdır [24]. Martenzitik çelikler, sıcak haddeleme veya tavlama sırasında mevcut olan östenit yapının hızlı soğutulması ile çok büyük oranda martensite dönüşmesi ile oluşurlar [25].

Martenzitin, sünekliğini ve tokluğunu arttırmak için su verme işleminden sonra temperleme işlemine tabi tutulur [21]. Sertleşebilirliğin artırılması ve martenzitin dayanımının artırılması için karbon ilavesi yapılabilir. Sertleşebilirliği arttırmak için ayrıca, mangan, silisyum, krom, molibden, bor, vanadyum ve nikel ilave edilir [26].



Şekil 3.1. Martenzitik (MartINsite®) 1200 mikroyapısı [27].

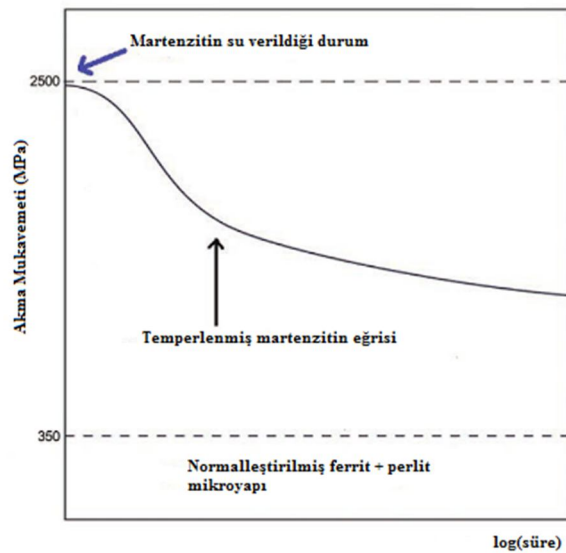
3.2. Martenzitik Çeliklerin Sıcak Şekillendirilmesi

Martenzitik çelikleri çok yüksek çekme dayanımına sahiptir ancak sünekliği çok düşük olması bu çeliklerin kullanımlarını kısıtlamaktadır. MS çeliklerin, sahip olduğu düşük şekillendirilebilirliğinin üstesinden gelmek için sıcak şekillendirme işlemi geliştirilmiş olup, işlemin ardında yatan fikir, ilk önce çelik sacı östenitleştirmek, daha sonra sünek olan östenit fazından güçlü ve sert martenzit fazına dönüştürmek için hızlı soğutma işleminin yapılmasıdır. Çeliğin, 850°nin üzerinde bir sıcaklıkta oluşturulmuş sürekli bir besleme fırınında östenitik bölgesine ısıtılması ve daha sonra martenzit oluşturmak üzere kalıpta soğutulmasıdır. Isıl işlem, şekillendirme ve soğutma işleminden sonra mikro yapı %100 martenzitiktir [28].

Nihai sıcak şekillendirilmiş parçaların mekanik özellikleri, yüksek akma ve çekme mukavemeti, yüksek sertlik, yüksek darbe ve yorulma mukavemeti ile karakterizedir. Sıcak şekillendirilmiş çelikler, tampon kirişleri, çamurluk kirişleri, B direkleri ve zemini, zemin ve çatı takviyeleri gibi yapısal ve güvenlik bileşenleri uygulamaları için uygundur [28].

3.3. Martenzitin Temperlenmesi

Östenitin martenzite dönüşmesiyle düşük kırılma tokluğuna sahip kırılğan bir mikroyapı elde edilir. Süneklik temperleme işlemi ile geri kazanılır. Temperleme işlemiyle, deforme olmuş hacim merkezi tetragonal kafesindeki fazla karbon Fe_3C çökeltileri oluşturmak için demir atomlarıyla birleşir. Temperlenmiş martenzitteki mukavemet artırma mekanizması gerçekleştirilen bu işlem ile birlikte, distorse olmuş latiste ki dislakasyon kaymasına olan dirençten, çökeltiler sayesinde oluşan dislakasyon kaymasına direnç şekline dönüşmüştür. Elde edilen akma gerilmesi temperleme süresiyle değişir. Çünkü çekirdeklenme ve sementit çökeltilerinin büyümesi süreye bağlıdır. Şekil 3.2.'de su verilmiş karbon çeliğinin (martenzit) temperlenmesi sırasında akma gerilmesinin gelişimini gösterir. Temperleme, akma mukavemetini su verilmiş martenzit (2500 MPa) ile normalleştirilmiş ferrit-perlit (350 MPa) mikroyapı arasındaki seviyelere indirir. Su verme ve temperleme işlemini kullanarak çeliğin özelliklerini değiştirmek ve çeliğin tokluğunu kontrol etmek için yaygın bir tekniktir [28].



Şekil 3.2. Martenzitik temperlenmesi esnasındaki akma gerilmesini gelişimi [28].

BÖLÜM 4. LEHİMLEME

4.1. Lehimleme

İki ya da daha fazla metalik malzeme kendileri ergimeden, ergime derecesi daha düşük olan bir ilave metalin ergitilmesiyle yapılan birleştirme işlemine “lehimleme” denir. Bu tanımdan yola çıkarak, sadece ilave metalin ergiyip katılmasıyla ana metaller arasındaki birleştirme bağının oluşturulduğu, birleştirilen malzemelerin kaynak yöntemlerinde olduğu gibi bir ergime söz konusunun olmadığı anlaşılmaktadır [29].

Lehimleme işlemi, lehimleme aralığına göre iki ayrılır. Bunlar; kapiler lehimleme ve lehim kaynağıdır [30]. Ergitilmiş ilave dolgu metali, birleştirilecek yüzeyler arasında uygun bir lehimleme aralığı bırakılarak kapiler kuvvet etkisiyle yayılıp birleştirme işlemi gerçekleştiriliyorsa kapiler lehimleme, eğer birleştirilecek parçalara (V) ya da (X) gibi kaynak ağzı açılıp, ergitilmiş ilave dolgu metali ile doldurulup birleştirme işlemi gerçekleştiriliyor ise bu yöntemle lehim kaynağı adı verilir.

Lehimleme işlemlerinin tümünde ilave metal ergirken, ana metalde herhangi bir ergime olmaz. Uygun bir lehimleme sıcaklığında birleştirme gerçekleştirilir.

Lehimleme işleminde, ilave metal ya da dolgu metali 450°C'nin altında ergirse yöntem yumuşak lehimleme; üstünde ise sert lehimlemedir. İki yöntemde de ana metalde ergime olmaz [31]. Lehimleme ile birleştirilecek parçaların çalışma ortam sıcaklığı, kullanılacak dolgu metalinin ergime sıcaklığından düşük olmasına dikkat edilmelidir. Sert ve yumuşak lehimleme elektronik, uzay ve havacılık endüstrisinden günlük tesisat uygulamalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır [15,32].

4.2. Yumuşak Lehimleme

Lehimleme işleminde kullanılan ilave metalin ergime sıcaklığı 450°C'nin altında olduğu yöntem yumuşak lehimleme olarak adlandırılır. Diğer lehimleme metotlarında olduğu gibi ana malzemeler arasındaki bağlantı, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerinin, ergimiş lehim malzemesi tarafından ıslatılması ve bu durumda katılaşıp kadar soğutulmasıyla sağlanmaktadır. Yumuşak lehimli birleştirmenin çekme dayanımı düşük olduğundan yüksek dayanım istenen yerlerde yumuşak lehimleme kullanılmaz. Yumuşak lehimle; kaynaklı birleştirmenin mümkün olmadığı yerlerde, kaynatılması pratik ve ekonomik olmayan metallerin birleştirilmesinde, diğer birleştirme metotlarının kullanılamayacağı kadar küçük oranda olan parçaların birleştirilmesinde, motorlu araçlarda, elektrik-elektronik sanayinde, soğutma sistemlerinin birleştirilmesi ve tamir işlemleri aşamalarında sıkça kullanılmaktadır [29].

4.3. Sert Lehimleme

Sert lehimleme, 450°C'nin üzerinde ergime derecesi ve ana malzemelerin ergime derecesi altında olan bir ilave metal kullanılarak yapılan birleştirme işlemidir. Ana malzemeyi, ergitilmiş sıvı haledeki ilave dolgu metalinin ıslatılması, dolgu metalinin lehim aralığında yayılması ve ana malzeme ve dolgu metal arasında metalurjik bir bağ oluşması sonucu meydana gelen birleştirme işlemidir. Bu birleşme bir difüzyon olayı olup, lehim alaşımındaki bazı elementlerin atomları ana malzemeye, ana malzemedeki bazı elementlerin atomları da lehim alaşımına geçmektedir. Birleştirme bölgesinin mekanik özellikleri sert lehimlemede yüksektir. Birleşmede oluşacak intermetalik bağlantı; ana metalinkine eşit, hatta daha fazla mekanik dayanımına sahip olabilir, bu sağlamak içinde birleştirme bölgesi iyi tasarlanmalı ve işlem uygun olarak yapılmalıdır [26,29].

İlave dolgu metali, birleştirilecek parçaların yüzeyine ulaştığı için, kenarlarda gerilim azalması olacağından dolayı mekanik özellikler artar. Bu yöntemle genellikle darbe ve titreşimlere karşı dayanıklı bir birleştirme elde etmek mümkündür. Dolgu metali ile

birleştirilecek parçalar arasında, reaksiyon sonucu gevrek metaller arası fazlar meydana gelebilir. Bu gevrek fazların miktarına bağlı olarak, birleştirme mukavemeti azalabilir [26].

Bu yöntemin en önemli avantajı benzer olmayan farklı özelliklerdeki malzemelerin birleştirilmesi yapılabilmektedir. Örneğin; metal ile seramiklerin sert lehimleme yöntemi ile birleştirilmesi, demir esaslı metaller ile demir dışı metallerin birleştirilmesi, paslanmaz çelik ile bakırın birleştirilmesi mümkündür. Buna ilaveten karmaşık geometrilerin, farklı kalınlıktaki parçaların, lehimle tekniği ile birleştirilmesi mümkündür. Sert lehimleme, ana metalin ergime sıcaklığından düşük bir sıcaklıkta gerçeleştirildiği için, ana metalin mevcut özelliklerini değiştirecek aşırı bir ısınma olmaz. Lehimleme işlemi sonucunda parça çarpılması büyük oranda değildir [15].

4.4. MIG Lehimleme

MIG lehimleme tamamen yüzeysel amaçlar dolgulu bağlantılar ve dikişler olarak yıllarca uygulandıktan sonra birleştirme çeşidi olan MIG kaynağının yerini almaktadır.

MIG kaynağında ana metal ergir ve ilave metalde yaklaşık olarak 1650°C' de eriyerek ana metal ve ilave metal arasında bir birleşme meydana gelir. MIG lehimlemede ise kaynak sıcaklığı oldukça düşüktür, yaklaşık olarak 960-1000°C civarındadır. Bu yüzden yalnızca ilave dolgu metali erir. Kaynak bölgesindeki ana metalde herhangi bir ergime olmaz. Kaynak metali ana metal üzerine adeta konumlanır ve bu sıcaklıklarda çok önemsiz boyutta ana metalde ergime meydana gelebilir [15,26].

MIG lehimleme dolgu teli özellikle çelik saclar için yaygın olan CuSi3 tavsiye edilir ya da bronz alaşımları CuAl8 ve CuSn6 telidir. Elektrot kalınlık tipi 0.8-1.1-6 mm kullanılabilir. Tavsiye edilen kaynak gazı % 100 Argon'dur [33].

BÖLÜM 5. SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT)

5.1. Giriş

Cold Metal Transferi (CMT), kaynak ve lehimleme için Fronius tarafından geliştirilen bir MIG / MAG prosesidir. Amaç, sıçrama oluşumunu ve ısı girdisini en aza indirmek, böylece birleştirilen ana metallere daha az zarar vermektir. Bu, kısa devre meydana geldiğinde telin mekanik olarak geri çekilmesi ile sağlanır. Telin geri çekilmesiyle, MIG / MAG kaynak ekipmanı ile oluşan ani akım yükselmesi önlenir veya azaltılır. Bir damla metal, elektromanyetik sıkışma etkisi ile değil, mekanik geri çekme yoluyla aktarılır. İşlemin kontrollü damlacık transferinden dolayı sıçramasız olduğu düşünülmektedir. Ana besleyici, telin sabit bir hızda beslenmesini sağlar ve geri çekme, meşale üzerine yerleştirilen ikinci tel sürücüsü saniyede 90 kez yapılır [6].

Düşük ısı girdisinin birçok avantajı beraberinde getirdiği malzemeler veya uygulamalar vardır. Örneğin; bu sayede dikişler kökleri düşmeden kaynatılabilir, sıçramasız lehimlenebilir ya da şimdiye kadar sınırlı bir şekilde mümkün olan veya hiç mümkün olmayan bağlantılar gerçekleştirilebilir. CMT ile bu artık mümkün... CMT'nin anlamı cold metal transfer, yani soğuk metal transferidir. Tabii ki, kaynak prosesinde "soğuk" kavramı da göreceli olacaktır. Ancak, geleneksel MIG/MAG prosesi ile karşılaştırıldığında CMT soğuk bir prosesdir. Karakteristik özelliği şudur: Sıcak, soğuk, sıcak, soğuk, sıcak, soğuk. Bu değişkenlik, Fronius tarafından yeni geliştirilen bir teknoloji ile mümkün olmuştur [34].

Ark yanma fazında, dolgu malzemesi kaynak banyosuna hareket ettirilir. Dolgu malzemesinin kaynak banyosuna daldırılmasıyla ark söner ve kaynak akımı azalır. Telin geriye doğru hareketi (saniyenin 90'da biri süresinde), kısa devre esnasında (kısa

devre akımı düşük seviyede tutulur) damlacık transferine yardımcı olur. Telin hareket yönü tersine çevrilir ve yönteme yeniden başlanır [35].



Şekil 5.1. CMT yönteminin aşamaları [35].

CMT'yi geleneksel MIG/MAG'dan ayıran üç temel özellik vardır. Birincisi, tel beslemesi doğrudan kaynak yönteminin içinde olmasıdır. Geleneksel yöntemde tel besleme hızı sabittir ya da önceden belirlenen zaman cetveline göre değişmektedir. CMT yönteminde ise tel besleme hızı ve yönü kısa devrenin oluşumu ve açık hale gelmesi ile yönetilir. Bu durumda kaynak banyosu ile telin hareketi arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun için ortalama bir hızın yanında osilasyon frekansı ifadesi de terminolojiye dâhil olmuştur ve bu değer de kısa devreye bağlı olduğundan "ortalama" ifadesi kullanılır [36].

CMT yönteminin ikinci karakteristik özelliği ise, metal transferi geleneksel yöntemde doğrudan akıma bağlı iken bu yöntemde nerdeyse akımdan bağımsız olmasıdır. CMT'de akımın, kısa devreyi açık hale getirmekle herhangi bir ilgisi yoktur. Telin geri çekilmesi ve kaynak banyosunun yüzey gerilimi metal transferinin oluşmasını sağlarlar. Bu yüzden kısa devre akımı çok düşük tutulur ve bu durum beraberinde daha düşük ısı girdisini getirir [36].

5.2. Yöntemin Sağladığı Üstünlükler

1. Entegre Tel Hareketi

Dijital proses regülasyonu bir kısa devre algılar ve teli saniyede 90 defaya kadar geri çekerek damlacık transferine yardımcı olur [35].

2. Düşük Isı Girdisi

Kaynak sırasında tel öne doğru hareket eder ve kısa devre oluşur oluşmaz tekrar geriye çekilir. Yanma fazında ark çok kısa bir süre için ısı verir [35].

3. Çapaksız Bir Kaynak

Telin geriye doğru hareketi, kısa devre esnasında damlacık transferine yardımcı olur. Kısa devre kontrol edilir ve akım düşük seviyede tutulur. Sonuç ise çapaksız bir metal geçişi sağlanır [35].

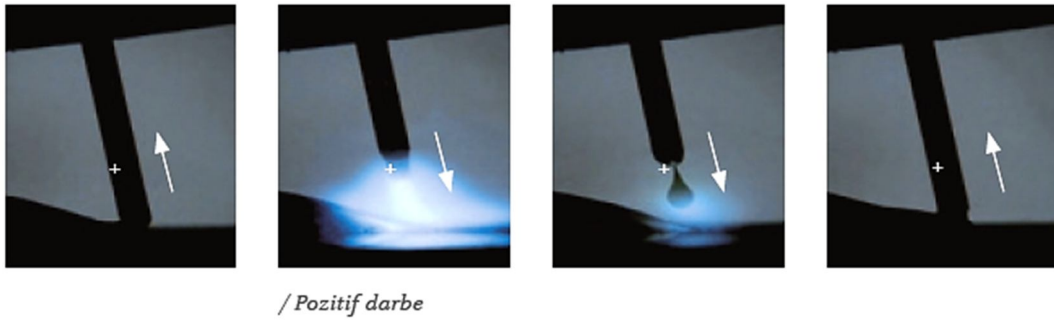
4. Kararlı Ark

Ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleşir. Ark, iş parçasının yüzey kalitesinden ya da hangi hızda kaynak yapmak istediğinizden bağımsız olarak daima kararlı kalır. Bu sayede CMT her yerde ve her konumda uygulanabilir [35].

5.3. Yöntemin Türevleri

1. CMT Pulse

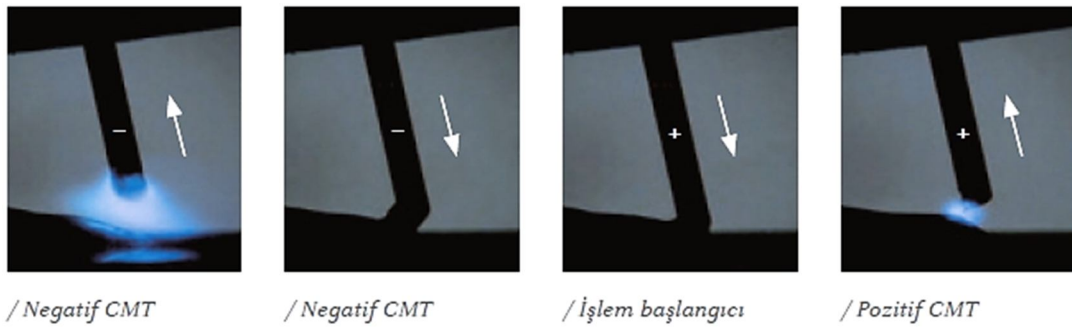
Bu yöntem bir darbe döngüsünü, bir CMT döngüsü ile birleştirir ve bu nedenle daha yüksek ısı verir. Ayarlanabilir değişken darbe ilavesi ile çok büyük bir güç aralığı ve esneklik sağlanır [37].



Şekil 5.2. CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [37].

2. CMT Advanced

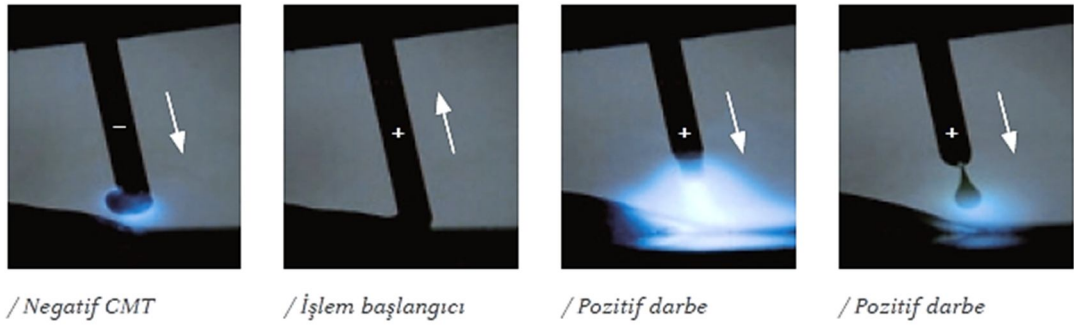
Bu yöntemde CMT'den daha da soğuk bir uygulamaya ulaşılmıştır. Kaynak akımının polaritesi yöntem regülasyonuna entegredir. Polarite değişimi kısa devre fazında gerçekleşir; böylelikle kanıtlanmış CMT yöntem kararlılığı kısa devre fazında emniyete alınmıştır. Bunun sonucunda hedeflenen ısı girdisi, çok yüksek boşluk doldurma kapasitesi ve % 60'a kadar daha yüksek erime gücüne ulaşılır [37].



Şekil 5.3. Negatif CMT ve pozitif CMT'nin kombinasyonu [37].

3. CMT Advanced Pulse

Negatif kutuplu CMT döngüleri ve pozitif kutuplu darbe döngüleri kombinasyonu ile arkın kesin doğruluğu ve yüksek düzeyde ark hâkimiyeti hedeflenmiştir [37].



Şekil 5.4. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [37].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv sanayisinde kullanılan çelik türlerden, martenzitik çelik olarak adlandırılan 1200M çelik sacının CMT-lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. CMT-lehimleme yönteminde, 1200M sacının hangi akım şiddetinde, lehimleme hızında, koruyucu gaz basıncında, lehimleme aralığında ve torç açısında birleştirilebileceğini belirlemek için her bir parametre kendi içinde incelenmiştir.

Bu bölümde, deneyde kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilerek, birleştirilen numunelere uygulanan çekme, mikro sertlik, mikroyapı ve SEM-EDS deneysel çalışmalarının nasıl yapıldığı hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

6.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektral Analizi

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan saclar, otomotiv sektöründe kullanılan 1 mm kalınlığa sahip 1200M serisi martenzitik saclardır. Yüksek mukavemet kabiliyeti nedeniyle tamamen otomobil güvenlik bileşenleri, kapı kirişleri ve tampon parçaları için kullanılan 1200M çeliğinin spektral analizi Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. 1200M çeliğinin kimyasal bileşimi.

Elementler (ağ.%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,0791	0,201	1,60	0,00037	0,00022	0,0175	0,0373	0,0119
Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
0,0363	0,0133	0,0086	0,0033	0,0364	0,0113	<0,0050	0,0011
Sn	Zr	Bi	Sb	B	Zn	Fe	
0,0087	<0,00050	>0,0120	0,0140	0,00094	0,0040	97,9	

Tablo 6.2.'de 1200M çeliğinin çekme ve sertlik testleri sonucu elde edilen mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 6.2. 1200M çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı (MPa)	950
Çekme Dayanımı (MPa)	1282 (min 1198)
Uzama (%)	3
Sertlik (HV_{0.1})	385-395

6.3. Yapılan Lehimleme İşlemi

1200M sac numunelerine 1 mm çapındaki CuAl8 bakır alaşımlı lehim teliyle birleştirme işlemi yapılmıştır. CuAl8, alüminyum bronz (bakır-alüminyum) lehimleme teli olup bakır %8 alüminyum ihtiva eder. Metal metale aşınmaya ve deniz suyu ve asitler gibi korozif sıvılara maruz kalan parçalarda kullanılması önerilir. Bu telin normları Tablo 6.3.'de, kimyasal analizi Tablo 6.4.'de ve mekanik özellikleri Tablo 6.5.'de verilmiştir.

Tablo 6.3. CuAl8 lehim telinin normları.

TS EN 14640	S Cu 6100(CuAl8)
EN 14640	S Cu 6100 (CuAl8)
AWS A 5.7	CuAl-A1

Tablo 6.4. CuAl8 lehim telinin kimyasal bileşimi.

Al	Ni	Fe	Cu	Mn
8.0	<0,50	<0,50	kalan	<0,50

Tablo 6.5. CuAl8 lehim telinin mekanik özellikleri.

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

6.3.1. Deneyler için numune hazırlama

Lehimleme işlemi öncesi 1 mm kalınlığındaki 1200M sac plakalar hadde yönleri belirlenerek, 200x200x1 ölçülerinde hidrolik giyotin makasla kesilmiştir. Daha sonra kesilen parçalar aseton ile temizlenerek yüzeylerindeki yağ ve kirlere arındırılmıştır.

6.3.2. Lehimleme işlemleri

Lehimleme işlemleri akım kontrollü, 270 Amper kapasiteli Trans Plus Symenrgic 2700 CMT kaynak makinesiyle yapılmıştır. Çalışmanın titizliği açısından, parçaların daha önceden belirlenen hadde yönü dikkate alınmış olup, lehimleme işlemi hadde yönüne dik (90°) olarak gerçekleştirilmiştir. Literatürde hem bindirme birleştirmeler hem de alın altına birleştirmeler gözlemlenmiştir. Bu çalışmada her iki birleştirme şeklide uygulanmıştır. Birleştirme işlemlerinin yapılabilmesi için vidalı kalıp sistemi yapılmıştır. Numuneler birleştirme şekline göre bu kalıba bağlanarak CMT-lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmanın hassasiyeti açısından, hem lehim ilerleme hızını hem de torç açısını sabitleyebilmek için bir kaynak robotu kullanılmıştır.

6.3.3. Metalografik inceleme ve sertlik taraması için numune hazırlama

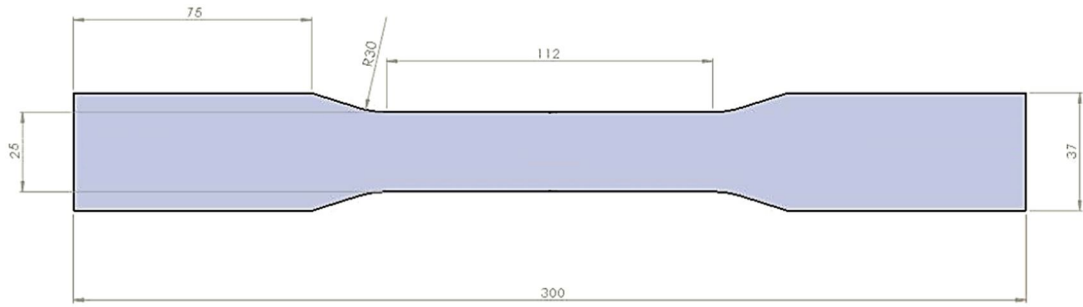
Lehimli levhalardan, mekanik olarak kesilerek çıkarılan metalografik inceleme numuneleri, metalografik numune kesme cihazında kesilmiştir ve aşağıdaki işlem adımları takip edilmiştir.

1. Kesilen numuneler sıcak bakalite alınmıştır.
2. Numunelerin yüzeyleri kesme işlemi esnasında deforme olur. Deformasyona uğramış tabakanın kaldırılması için sırasıyla 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1500'lük zımpara kağıtlarıyla zımparalama işlemi yapılmıştır.
3. Zımpara çizgilerini yok ederek, düz ve iyi yansıtıcı bir yüzey elde etmek için numuneler 1 µm elmas süspansiyon ile parlatılmıştır.

4. Taneleri ortaya çıkarmak için parlatılmış numuneler %3'lük Nital çözeltisi ile 4-5 s sürede dağlanmıştır.

6.4. Çekme Deneyi

CMT-lehimleme yapılan 1200M martenzit çeliğinin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışını incelemek amacıyla 5 tonluk Shimadzu marka çekme deney cihazı ile çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri TS EN 895 standardına göre hazırlanmış olup, numune ölçüleri Şekil 6.2.'de verilmiştir. Çekme hızı 20 mm/dk olarak sabitlenmiştir.

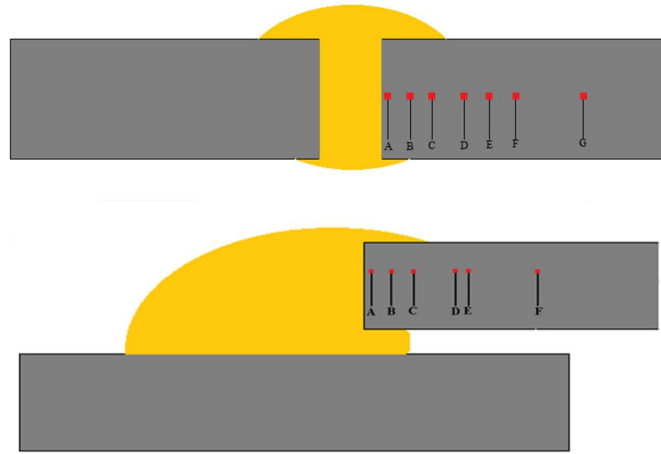


Şekil 6.1. TS EN 895'e uygun olarak hazırlanmış çekme deney numunesi ölçüleri.

6.5. Mikroyapı ve Makroyapı İncelenme

6.5.1. Mikroyapı

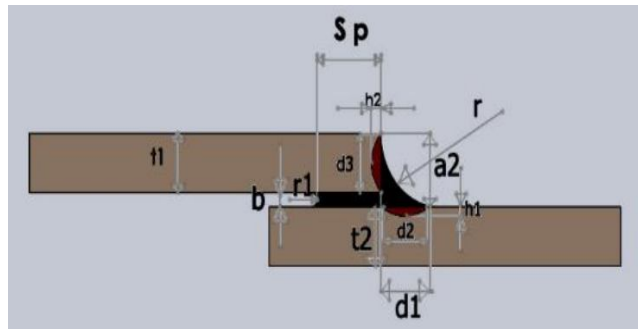
Metalografik inceleme için hazırlanan numunelerden, nikon marka metal mikroskop cihazı ile mikroyapı görüntüleri çekilmiştir. Alınan mikroyapı görüntüler bölgesel olarak Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.



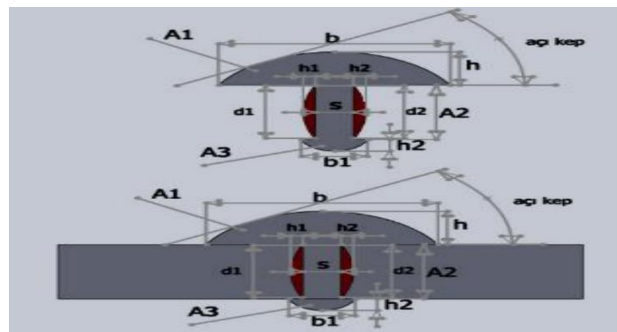
Şekil 6.2. Alın ve bindirme birleştirmede alınan mikroyapı görüntü bölgeleri.

6.5.2. Makroyapı

Hem alın birleştirmelerin hem de bindirme birleştirmelerin, lehim dikiş genişliğinin ve lehim dikiş yüksekliğinin ve alın birleştirmelerdeki ıslatma açılarının tespiti için makroyapı incelenmesi yapılmıştır. Makroyapı fotoğraflarında ölçümlerin alındığı bölgeler Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'de verilmiştir.



Şekil 6.3. Bindirme birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar [26].



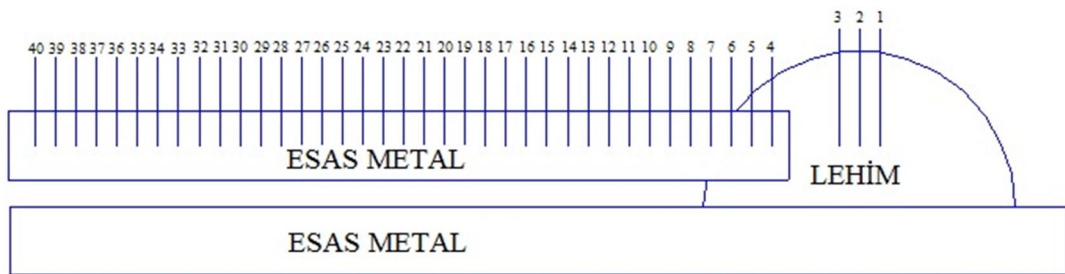
Şekil 6.4. Alın altına birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar [26].

6.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

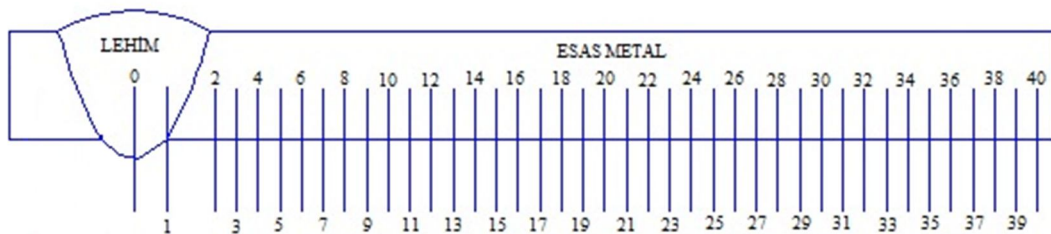
CMT-lehimleme yöntemi uygulanan parçalardan hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskobunda ara bölge ve lehim bölgesi olmak üzere SEM görüntüleri çekilmiş ve aynı bölgelerden EDS(elektron kırınım spektroskopisi) analizleri alınmıştır. Bunun için JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır.

6.6. Sertlik Ölçümleri

Laboratuvar ortamında yapılmış olan bütün mikro sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmış, 100 gr yük ve piramit batıcı uç kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Wolpert- Wilson marka cihaz ile yapılmıştır. Ölçümler, lehim bölgesinin ortasından başlanarak ana malzemenin sertliğine ulaşmaya kadar yapılmıştır. Alın birleştirmede sıra sertlikler lehim bölgesinde 0,1 mm aralıkta alınırken diğer bölgelerde ise 0,5 mm aralıklarda alınmıştır. Bindirme birleştirmede ise lehim bölgesinden itibaren 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.



Şekil 6.5. Bindirme birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.



Şekil 6.6. Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Martenzitik 1200M Sacın CMT Lehimleme Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri

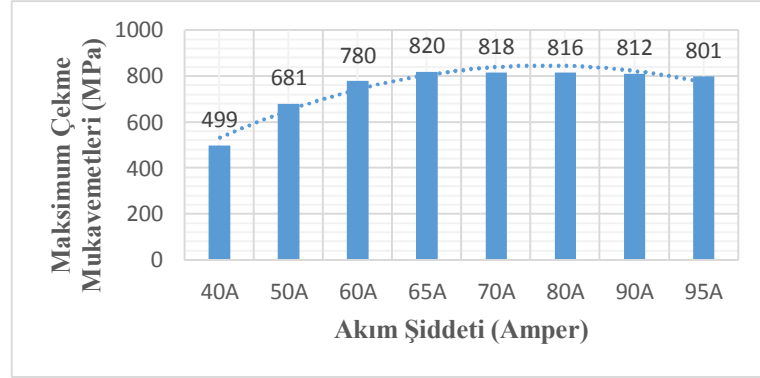
7.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının özelliklerine etkisi

7.1.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 7.1.'de, 1200M martenzitik çeliği için uygulanan CMT-lehimleme parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti değerleri verilmiştir. Şekil 7.1.'de ise farklı akım şiddetlerinde elde edilen maksimum çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 7.1. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
40	1,6	10,0	12	Argon	24	0,5	499
50	2,3	10,3	12	Argon	24	0,5	681
60	2,9	10,4	12	Argon	24	0,5	780
65	3,3	10,5	12	Argon	24	0,5	820
70	3,6	10,8	12	Argon	24	0,5	818
80	4,6	11,6	12	Argon	24	0,5	816
90	4,9	11,8	12	Argon	24	0,5	812
95	5,2	12,0	12	Argon	24	0,5	801



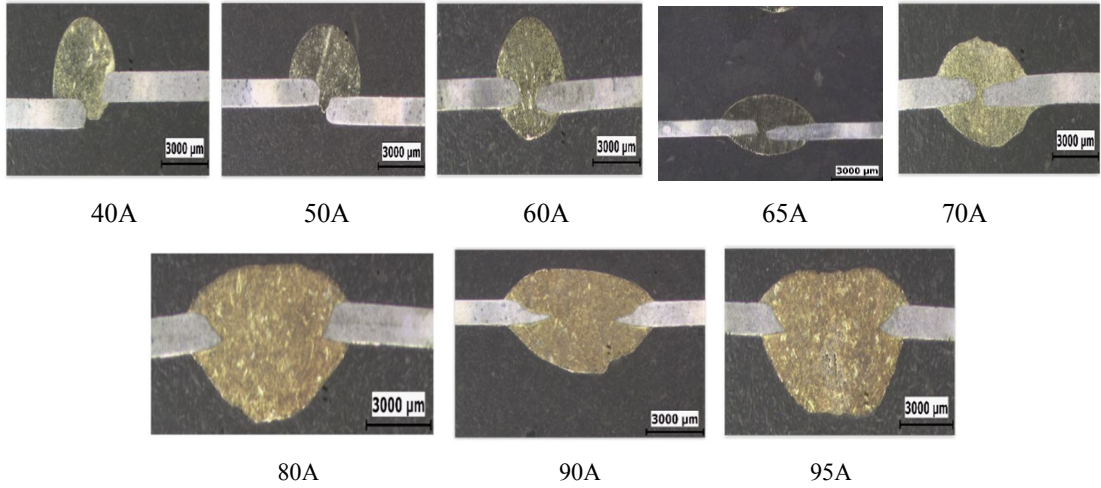
Şekil 7.1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.

Şekil 7.1.'de görüldüğü gibi artan akım şiddetine bağlı olarak çekme dayanımının değişikliği gözlenmiştir. 40A'de 499 MPa çekme mukavemeti elde edilirken 65 amperde 820 MPa çekme mukavemeti elde edilmiştir. Çekme mukavemetindeki bu artış yaklaşık %64 civarındadır. 70A akım şiddetinden itibaren ise çekme mukavemetinde azalmalar gözlemlenmiştir. 1200M martenzitik çeliği 40 ve 50A akım şiddetinde lehim bölgesinden, 60, 65, 70, 80, 90 ve 95A akım şiddetlerinde çekilen numuneler ITAB bölgelerinden kopmuştur.

7.1.1.2. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi

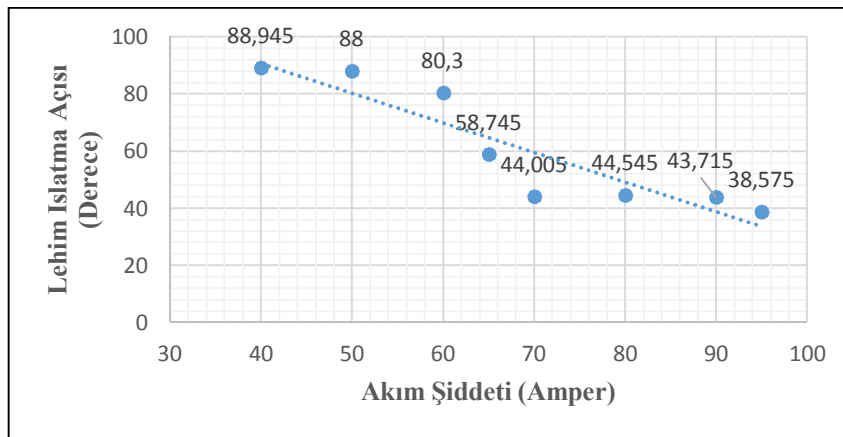
Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine olan etkisini irdelemek amacıyla farklı akım şiddetleri uygulanan 1200M martenzitik sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiş, makro ölçümler alınmıştır. Numunelerin makro görüntüleri Şekil 7.2.'de, verilmiştir.

Şekil 7.2.'deki makro görüntüleri incelediğimizde 40 ve 50A akım şiddetlerinde nüfuziyetin yetersiz olduğu gözlenmiştir. 60A akım şiddetinde nüfuziyette artış olmuş olsa da, bu akım şiddetindeki ıslatmanın düşük olduğu gözlemlenmiştir. 65A akım şiddetinde hem nüfuziyetin hem de ıslatabilirliğin kabul edilecek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. 70, 80, 85, 90 ve 95A akım şiddetlerinin lehim köklerinde aşırı nüfuziyetler gözlemlenmiştir.

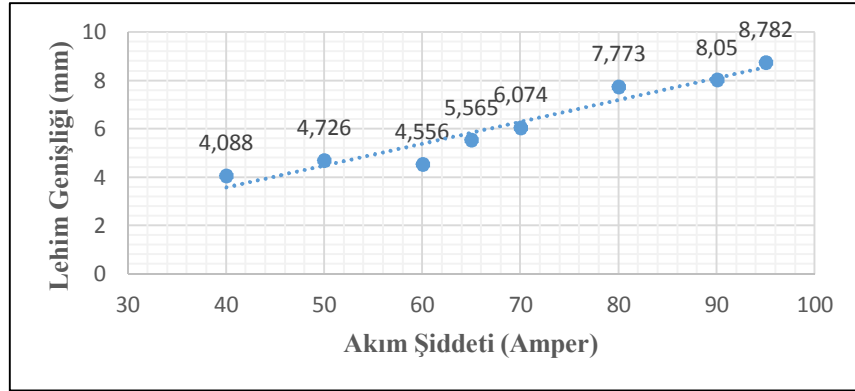


Şekil 7.2. Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.

Şekil 7.3.'de Farklı akım şiddetlerinin ıslatma açısı grafiği verilmektedir. Grafikteki eğim çizgisinden anlaşıldığı üzere akım şiddeti arttıkça ıslatma açısı azalmaktadır. ıslatma açısı mukavemet ilişkisini incelediğimiz de 40 ve 50A akım şiddetinde birleştirilen 1200M sacı lehim bölgesinden koptuğu için 40 ve 50A akım şiddetinin ıslatma açısı değeri uygun olmadığı anlaşılmıştır. 65A akım şiddetinden itibaren elde edilen ıslatma açısı değerleri mukavemet ve makro görüntüler ile birlikte irdelendiğinde kabul edilebilir değerlerde olduğu anlaşılmıştır.

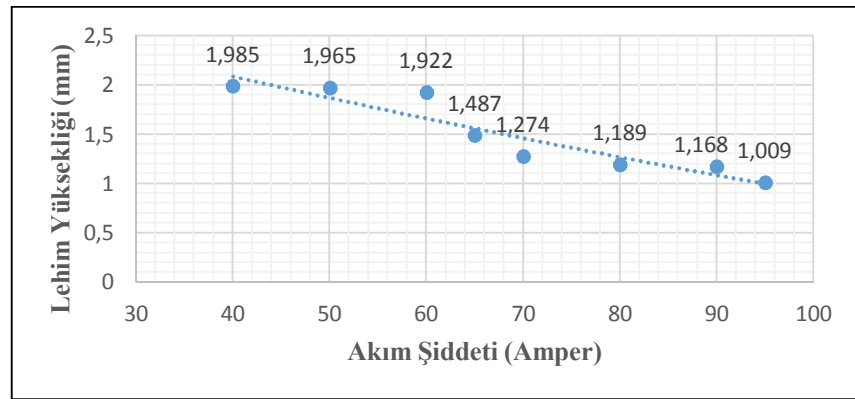


Şekil 7.3. Farklı akım şiddetlerinde lehim ıslatma açısı grafiği.



Şekil 7.4. Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.4.'de CMT-lehimlenmiş 1200M çeliğinin değişen akım şiddetine bağlı olarak lehim kepi genişliği grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde, akım şiddeti arttıkça lehim kepi genişliğinin arttığı anlaşılmıştır.



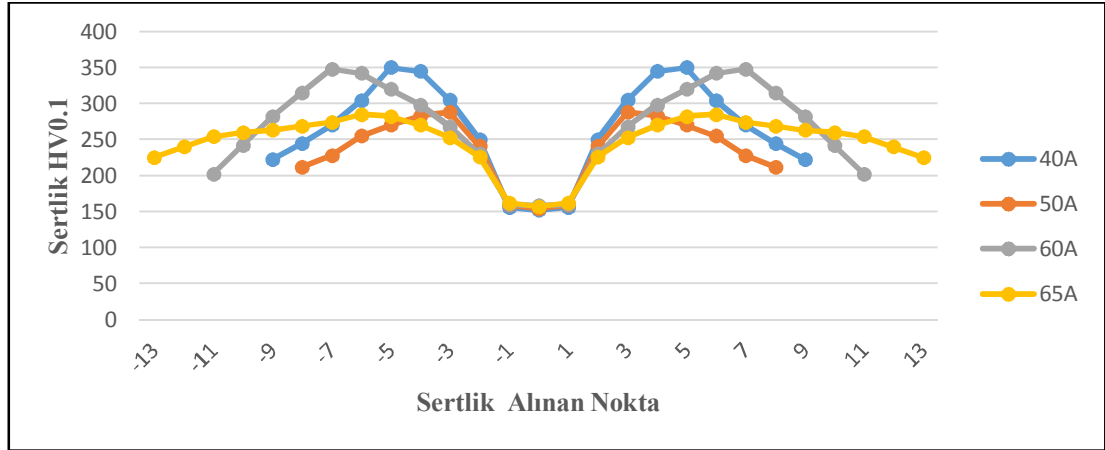
Şekil 7.5. Farklı akım şiddetlerinde lehim yükseklikleri grafiği.

Şekil 7.5.'de ise farklı akım şiddetlerindeki lehim yükseklikleri grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, lehim yüksekliği değerlerindeki azalmanın, akım şiddetinin artması ile artan ısı girdisinin lehim telinin ıslatma özelliğini arttırdığı bu durumun da lehim kepi yüksekliğinin azalmasını sağladığı düşünülmektedir.

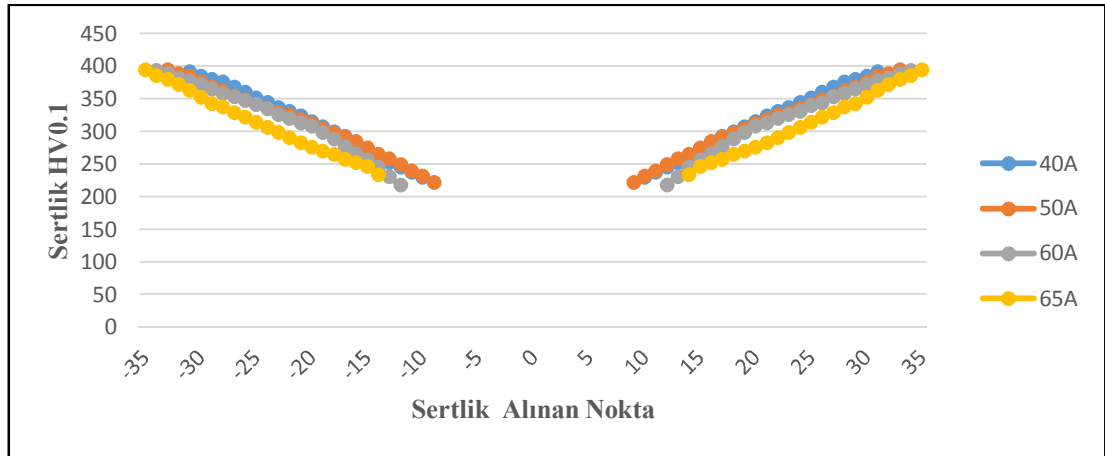
7.1.1.3. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı akım şiddetlerinde elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre

için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde 0,1 mm aralıkta alınırken diğer bölgelerde ise 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.



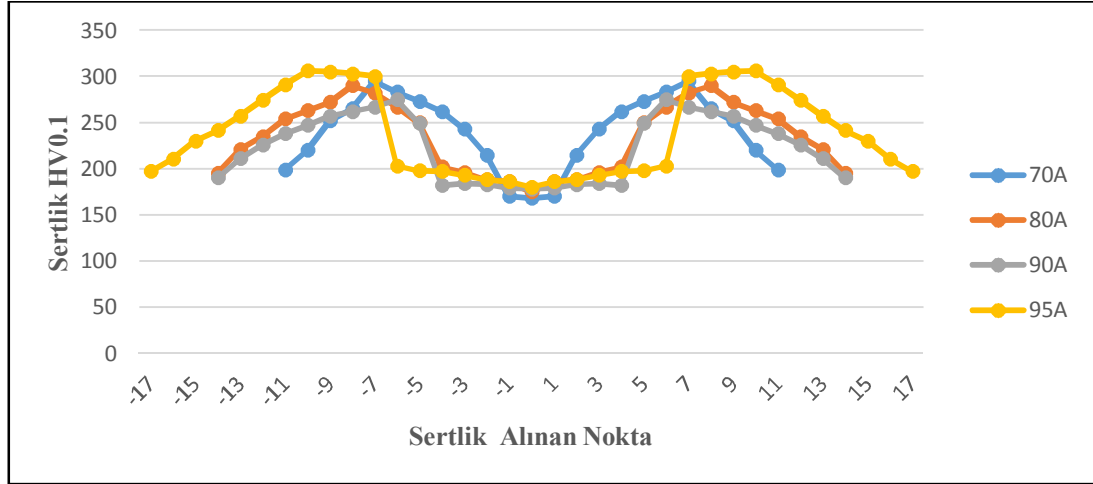
Şekil 7.6. 40A, 50A, 60A ve 65A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları.



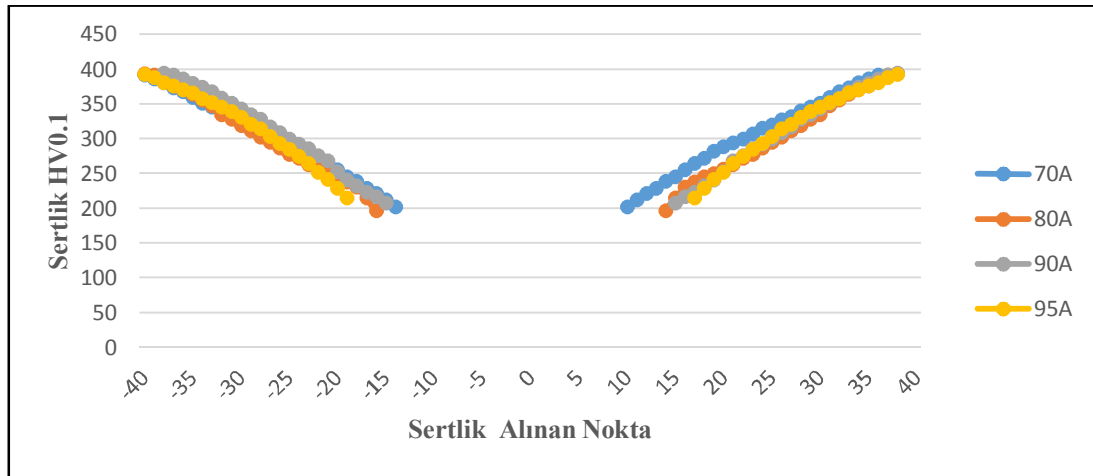
Şekil 7.7. 40A, 50A, 60A ve 65A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları.

40 ve 50A akım şiddetinde lehim bölgesinden, 60 ve 65A akım şiddetinde ise ITAB bölgesinden kopma gerçekleşmiştir. Ana metalin, lehim bölgesi ile birleştiği noktadan itibaren ölçülen kopma mesafeleri incelendiğinde, artan akım şiddeti ile kopma mesafenin de arttığı tespit edilmiştir. 60A akım şiddetinde 4 ila 5 mm olan kopma mesafesi, 65A akım şiddetinde 5 ila 6 mm aralığına kadar artmaktadır.

Şekil 7.6. ile Şekil 7.7.'deki sertlik dağılımları incelendiğinde artan akım şiddetine bağlı olarak ITAB bölgesinin de arttığı gözlemlenmiştir. Artan akım şiddetine bağlı olarak ana malzemeye ısı girdisinin de artması sonucu ITAB bölgesinin genişlediği düşünülmektedir.



Şekil 7.8. 70A, 80A, 90A ve 95A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları.



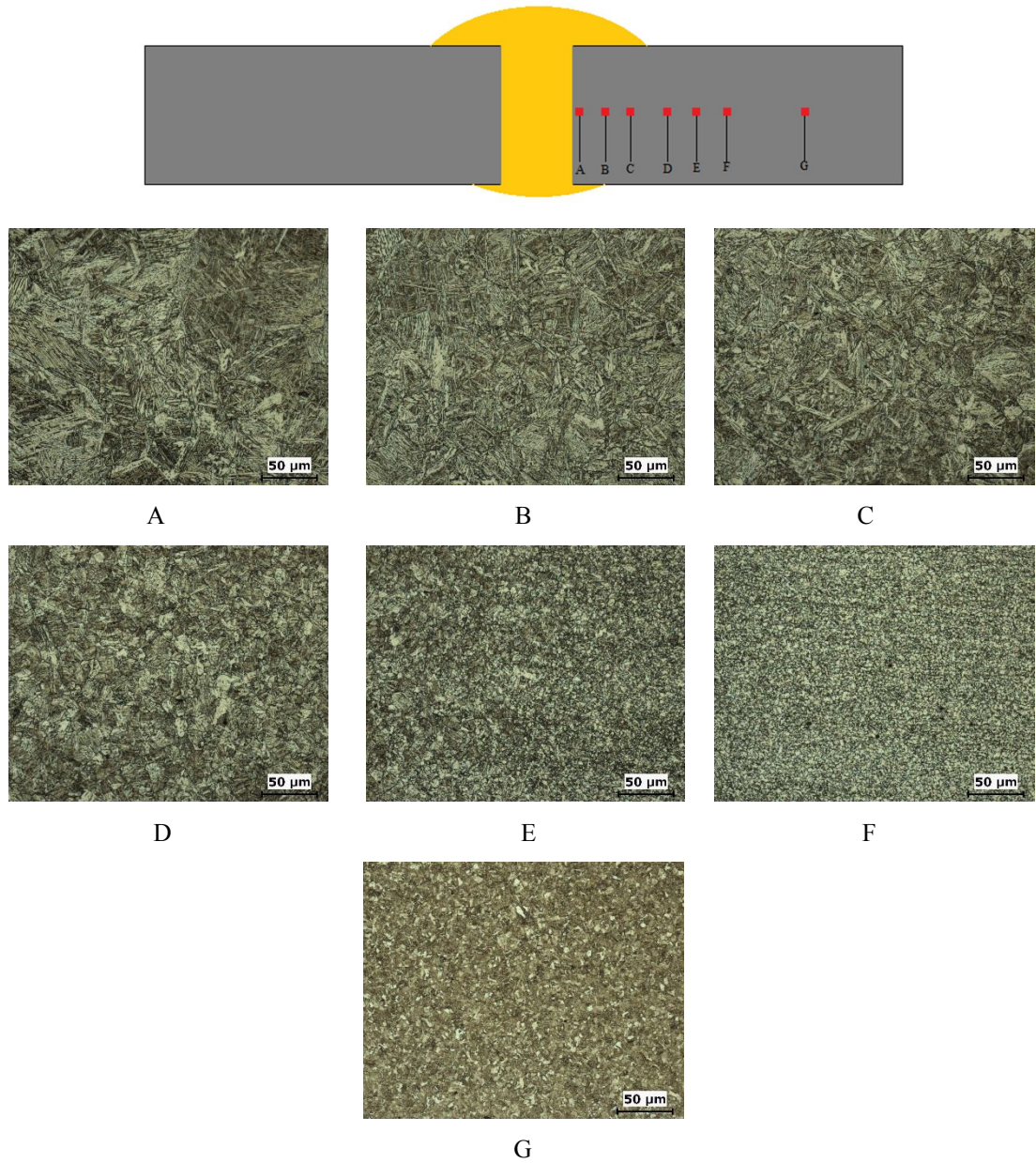
Şekil 7.9. 70A, 80A, 90A ve 95A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları.

70, 80, 90 ve 95A akım şiddetlerinin kopma mesafeleri 4 ila 6 mm aralığında değişmektedir. Şekil 7.8.'deki sertlik dağılımı incelendiğinde, artan akım şiddeti ile beraber artan ısı girdisinin malzeme ergimeye sebep olduğu ve lehim bölgesinin genişlediği, artan sıcaklıkla beraber difüzyon hızıda artarak lehim bölgesinin sertliğini artırdığı tespit edilmiştir.

Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzeme bölgesidir.

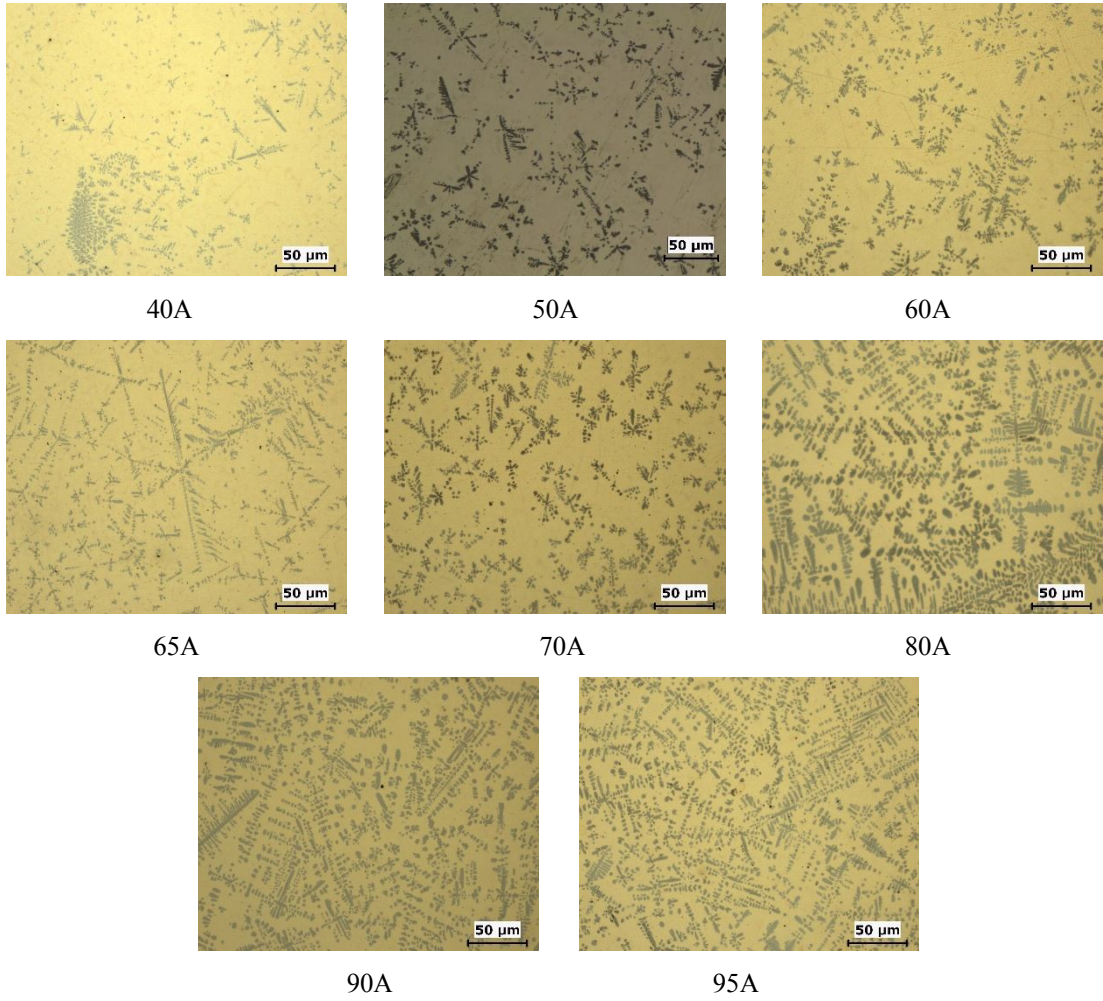
7.1.1.4. Lehim akım şiddetinin mikroyapı özelliklerine etkisi

Yapılan mikro yapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır.



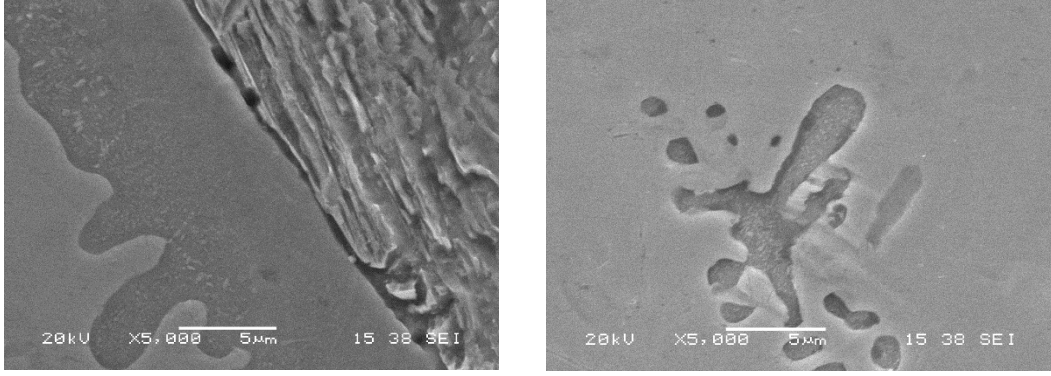
Şekil 7. 10. 65A akım şiddetinde mikro yapı görüntüleri.

Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 225-240 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.



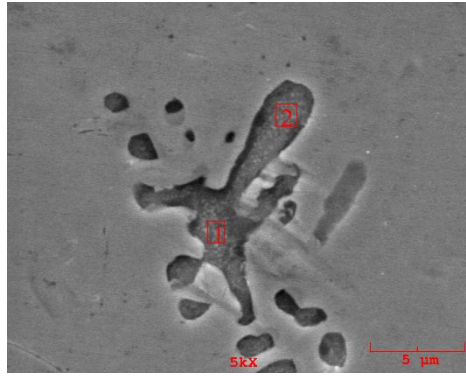
Şekil 7.11. Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

Şekil 7.11.'de verilen farklı lehim akım şiddetlerindeki lehim bölgesi mikroyapıları incelendiğinde, akım şiddetinin artmasıyla ısı girdisinin artışına bağlı olarak difüzyon ve dendritlerin de arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.12. 65A akım şiddetinde SEM görüntüleri.

65A akım şiddeti, lehim ara bölgesi ve lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 7.12.'de verilmiştir. Dendridlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımlı yoluyla oluşmuştur.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)		
	Al	Fe	Cu
1	9,139	75,820	15,040
2	8,012	78,772	13,216

Şekil 7.13. 65A akım şiddetinde EDS analizi.

Atomal yayınımlı ile oluşan dendrid bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 7.13.'de verilmiştir.

7.1.2. Lehim ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi

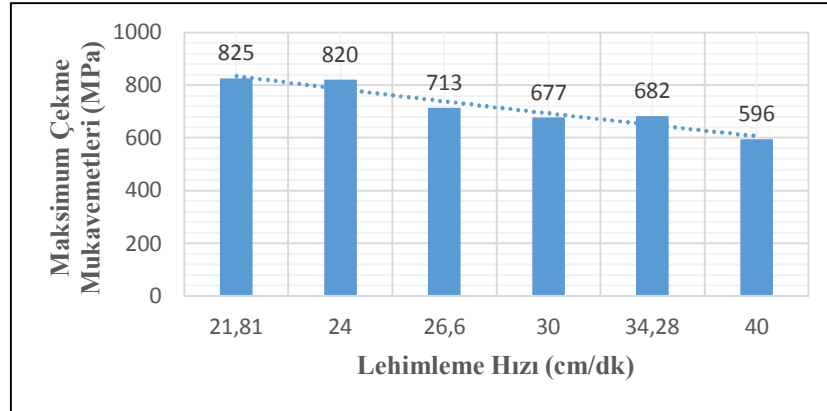
7.1.2.1. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Martenzitik 1200M çeliği için optimum akım şiddeti 65 amper olarak belirlenmiştir. CMT-lehimleme uygulamasında kullanılan kaynak makinesinde 65 amper akım şiddetine karşılık gelen lehim gerilimi 10,5 V optimum lehim gerilimi olarak belirlenmiştir. Optimum lehimleme hızı ve bu parametrenin bağlantının mekanik özelliklere olan etkisini irdelemek amacıyla farklı lehim hızları denerek sonuçlar gözlenmiştir.

Tablo 7.2.' de martenzitik 1200M çeliğinin farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti değerleri verilmiştir. Şekil 7.14.'de ise farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen maksimum çekme mukavemetleri verilmiştir.

Tablo 7.2. Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
65	3,3	10,5	12	Argon	40	0,5	596
65	3,3	10,5	12	Argon	34,28	0,5	682
65	3,3	10,5	12	Argon	30	0,5	677
65	3,3	10,5	12	Argon	26,6	0,5	713
65	3,3	10,5	12	Argon	24	0,5	820
65	3,3	10,5	12	Argon	21,81	0,5	825

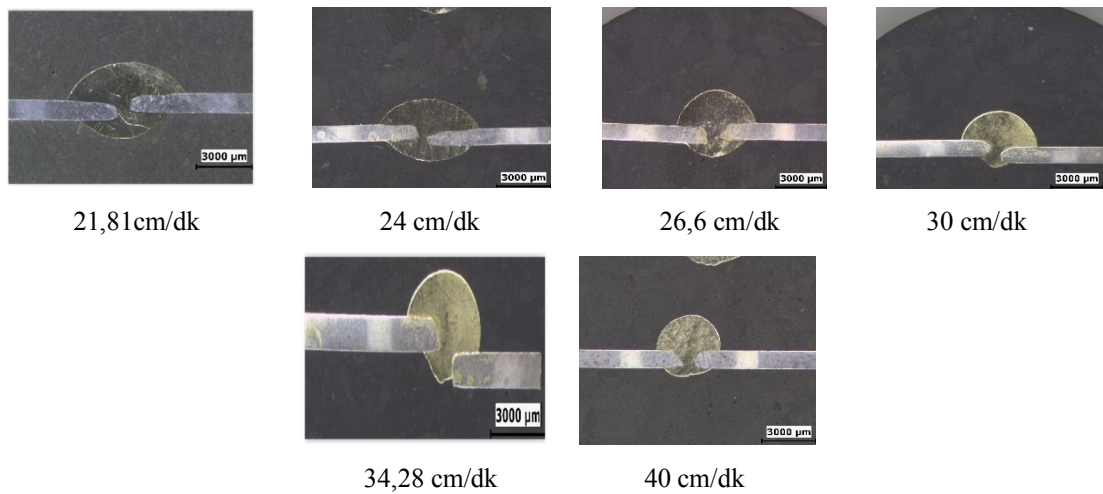


Şekil 7.14. Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği.

Farklı lehim ilerleme hızlarındaki çekme mukavemeti değerleri Şekil 7.14.'de incelendiğinde, 21,81 cm/dk lehim ilerleme hızında maksimum çekme mukavemeti değeri 825 MPa bulunmuştur. 40 cm/dk lehim ilerleme hızında kopma lehim bölgesinden gerçekleşirken diğer lehim ilerleme hızlarında ise ITAB bölgesinden gerçekleşmiştir.

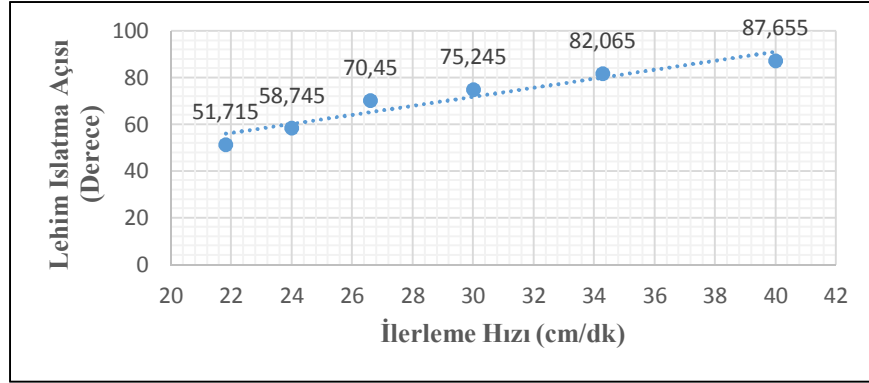
7.1.2.2. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi

Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine olan etkisini irdelemek amacıyla farklı lehim hızları uygulanan 1200M martenzitik sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiş, makro ölçümler alınmıştır. Numunelerin makro görüntüleri Şekil 7.15.'de, verilmiştir.



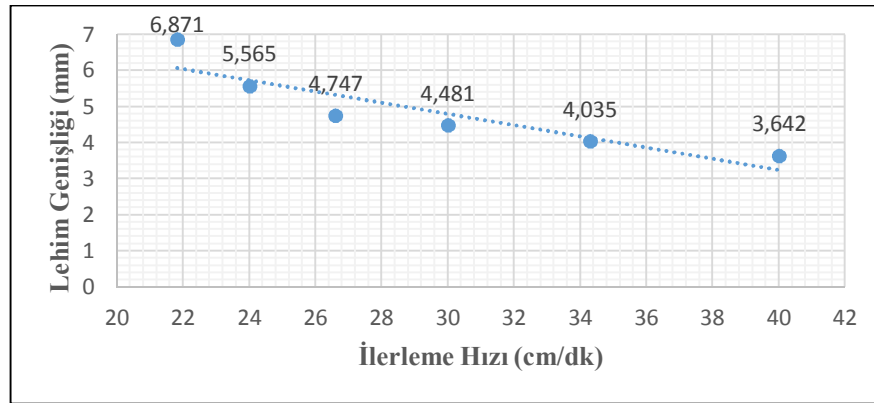
Şekil 7.15. Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri.

Şekil 7.15.'deki makro görüntüler incelendiğinde, 21,81 cm/dk ve 24 cm/dk lehimleme hızı uygulanan makro görüntülerinde lehim ıslatma kabiliyetinin iyi olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.16. Farklı lehim ilerleme hızlarında ıslatma açısı grafiği.

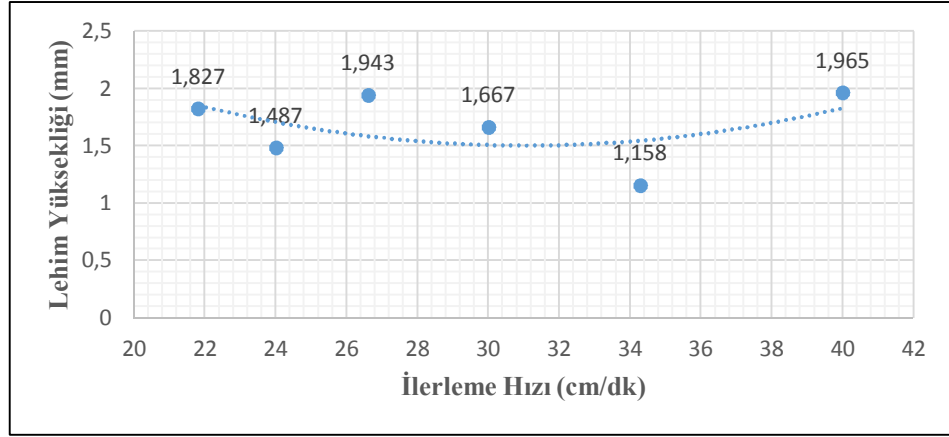
Şekil 7.16.'daki farklı lehim hızları ıslatma açısı grafiği incelendiğinde 21,81 cm/dk lehim ilerleme hızından itibaren, hız arttıkça lehim ıslatma açısının da arttığı tespit edilmiştir. Lehim ıslatma açısı ile çekme mukavemeti birlikte irdelendiğinden 51,715°'lik lehim ıslatma açısının ideal olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.17. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.17.'de farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği eğim çizgisine bakıldığında lehim ilerleme hızı arttıkça lehim kepi genişliği azalmaktadır. Lehim ilerleme hızı lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 21,81 cm/dk'daki mukavemet değeri en yüksek mukavemet değeridir. Bu sebeple buradaki lehim genişliği 6-7 mm aralığındadır.

Şekil 7.18.' de farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, lehim kep yüksekliklerinin 2 mm'nin altında olduğu tespit edilmiştir.

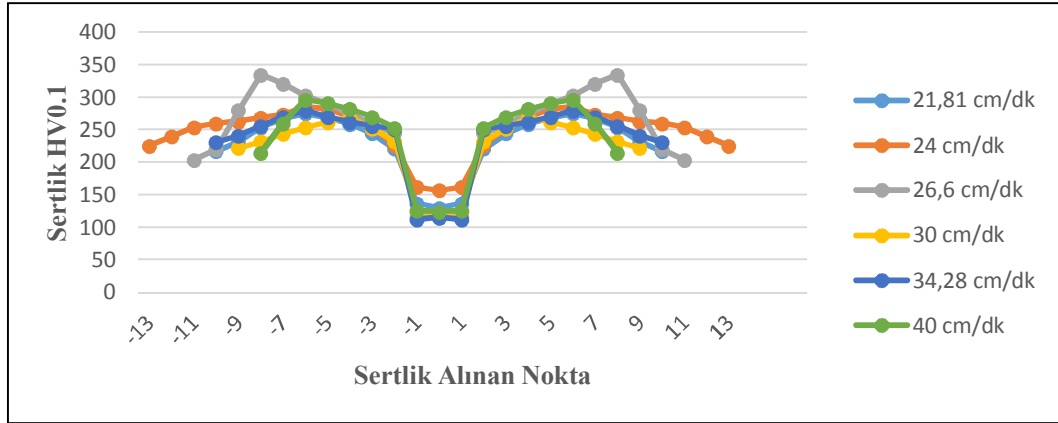


Şekil 7.18. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.

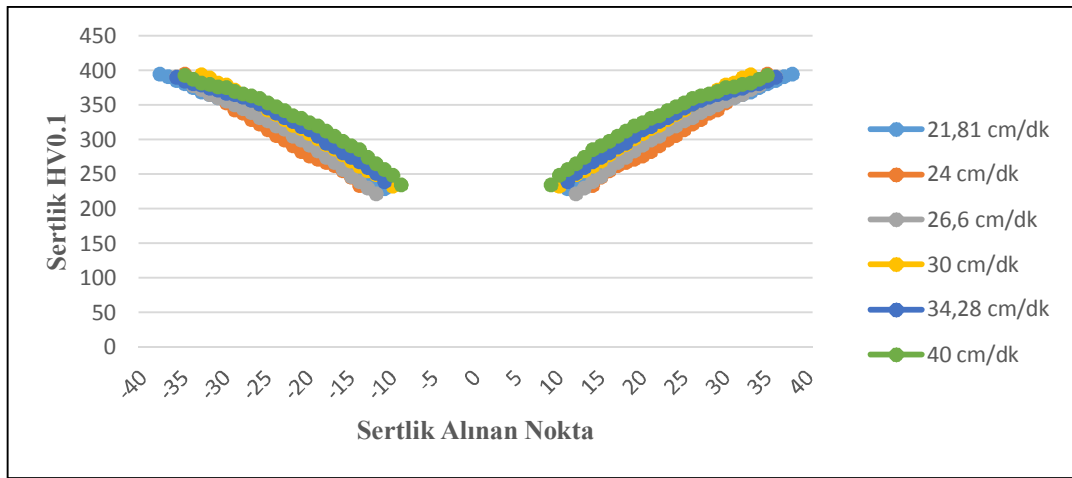
7.1.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim ilerleme hızlarından elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde 0,1 mm aralıkta alınırken diğer bölgelerde ise 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.

24 cm/dk lehim ilerleme hızında kopma mesafesi 5-6 mm aralığında değişirken, 40 cm/dk lehim ilerleme hızı hariç diğer lehim ilerleme hızlarında kopma mesafesi 3 ila 5 mm aralığında değişmiştir.



Şekil 7.19. Farklı lehim ilerleme hızlarında mikro sertlik noktaları.

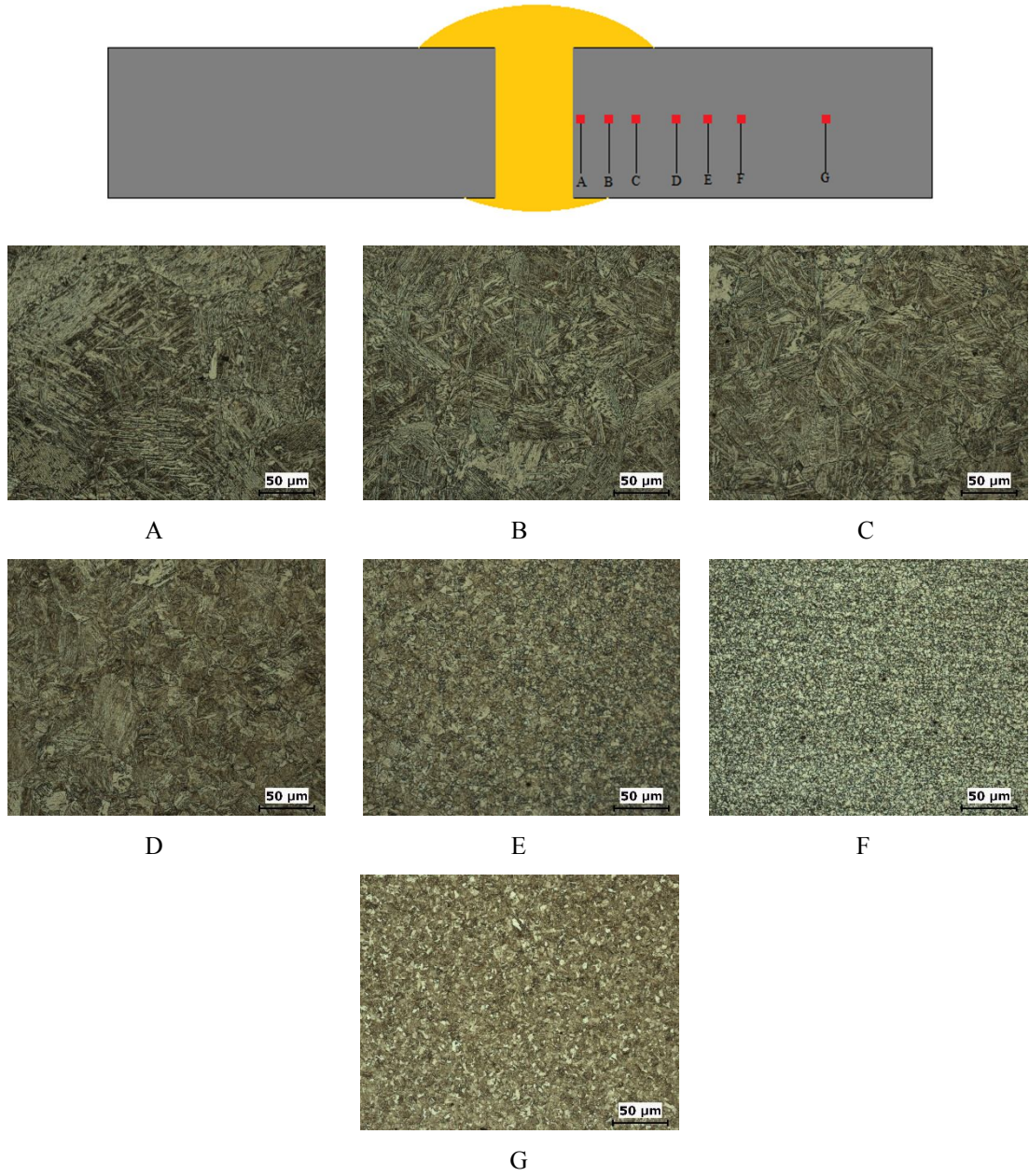


Şekil 7.20. Farklı lehim ilerleme hızlarında mikro sertlik noktaları.

Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzeme bölgesidir

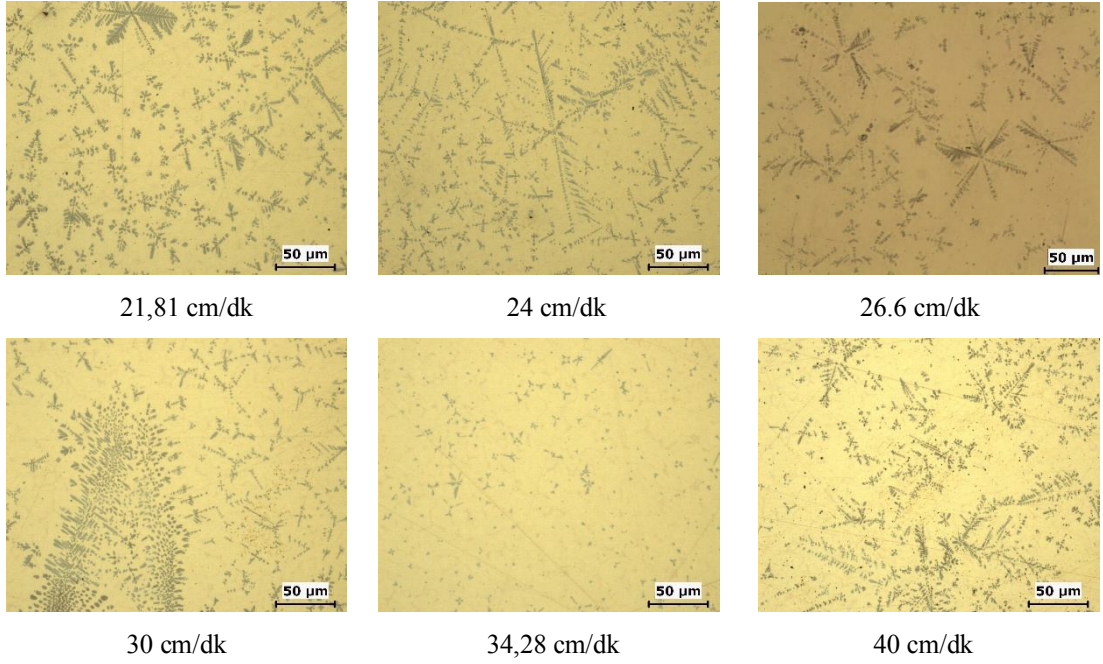
7.1.2.4. Lehim ilerleme hızının mikroyapı özelliklerine etkisi

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.21. 21,81 cm/dk lehim ilerleme hızının mikroyapı görüntüleri.

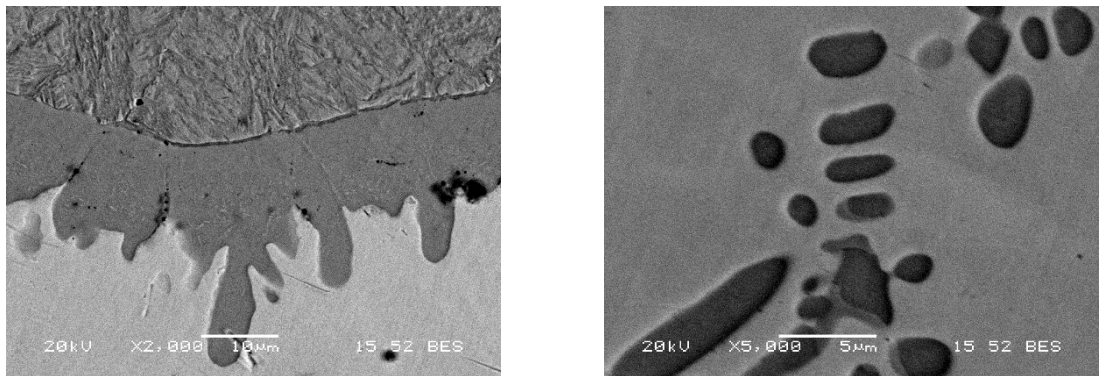
F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 217-235 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.



Şekil 7.22. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

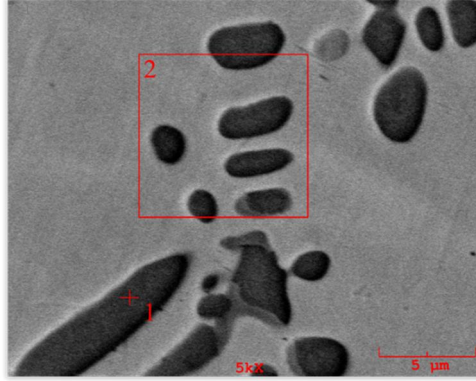
Şekil 7.22.'deki lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri incelendiğinde yoğun dendritler görülmüştür. Bunun sebebi ise optimum akım şiddeti değeri 65A olmasıdır.

21,81 cm/dk lehim ilerleme hızının ara bölgesi ve lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 7.23.'de verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 7.23. 21,81 cm/dk lehim ilerleme hızının SEM görüntüsü.

Şekil 7.24.'de difüzyon ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri verilmiştir. 1'de dendritten noktasal analiz alınırken, 2'de bölgesel EDS analizi alınmıştır.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	Al	Mn	Fe	Cu
1	10,011	0,152	77,373	12,463
2	9,743	0,227	24,231	65,799

Şekil 7.24. 21,81 cm/dk lehim ilerleme hızı EDS analizi.

7.1.3. Lehim gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi

7.1.3.1. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

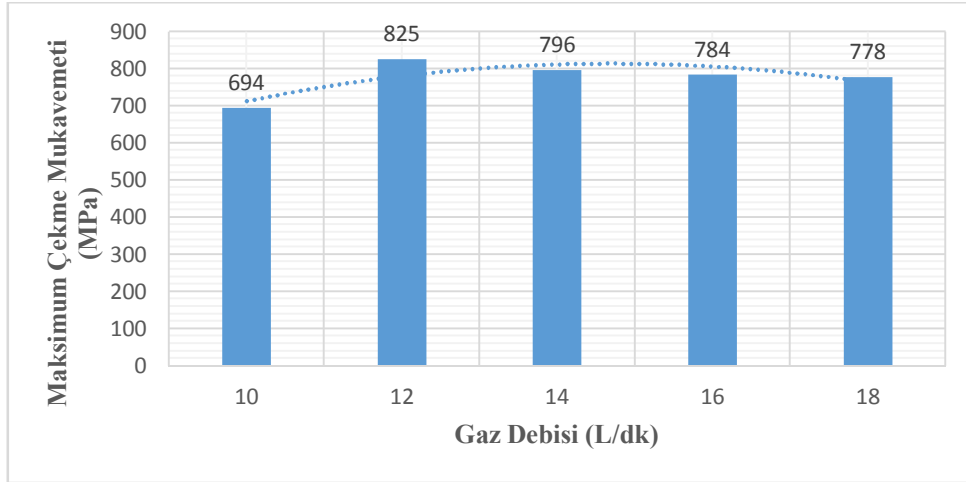
1200M martenzitik çeliğinin CuAl8 teliyle yapılan CMT-lehimleme uygulaması için optimum akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 10,5V ve lehim ilerleme hızı 21,81 cm/dk olarak belirlenmiştir. Yapılan lehimleme uygulamalarında optimum koruyucu gaz akış debisi ve bu parametrenin mukavemete ne şekilde etki ettiği farklı koruyucu gaz akış debileri denenerek sonuçlar gözlenmeye çalışılmıştır. Tablo 7.3.'de uygulanan lehim parametreleri verilmiştir.

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

Tablo 7.3. Farklı lehim gaz debilerinde lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
65	3,3	10,5	10	Argon	21,81	0,5	694
65	3,3	10,5	12	Argon	21,81	0,5	825
65	3,3	10,5	14	Argon	21,81	0,5	796
65	3,3	10,5	16	Argon	21,81	0,5	784
65	3,3	10,5	18	Argon	21,81	0,5	778

Şekil 7.25.'de farklı gaz akış debilerinde elde edilen maksimum çekme mukavemetleri grafik halinde verilmiştir. Grafik incelendiğinde, 10 L/dk gaz akış debisinden 12 L/dk gaz akış debisine çıkıldığında mukavemetin arttığı, 12 L/dk gaz akış debisinden itibaren azaldığı tespit edilmiştir.

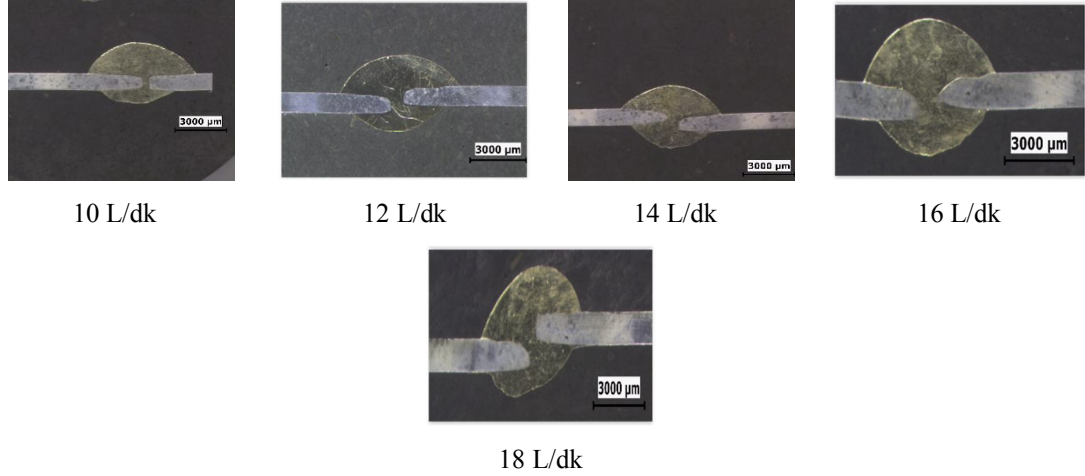


Şekil 7.25. Farklı gaz debilerinde maksimum çekme mukavemetleri grafiği.

7.1.3.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri, lehim gerilimi ve lehim ilerleme hızlarına göre belirlenen parametrelerden 1200M martenzitik saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 10,5V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim gaz akış debisi parametreleri uygulanmış, 1200M martenzitik sac için uygun lehim gaz akış debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 7.26.'da lehim gaz akış debisi

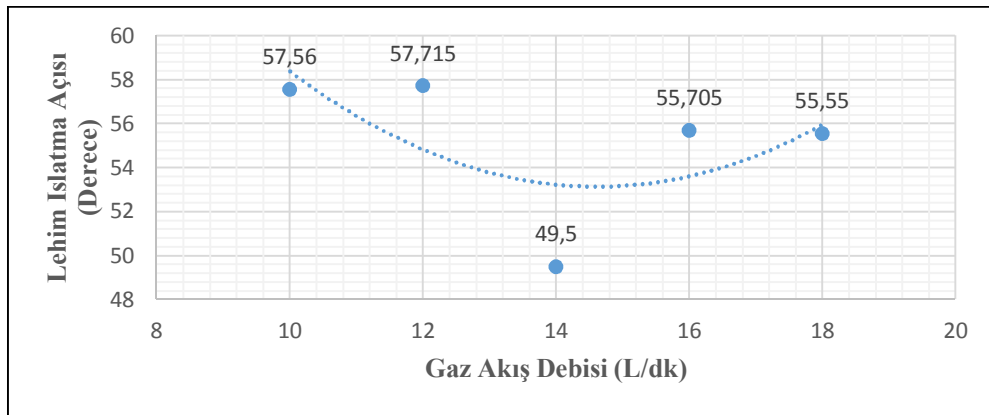
parametrelerine göre CMT-lehimlenme uygulanmış numunelerin makroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 7.26. Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.

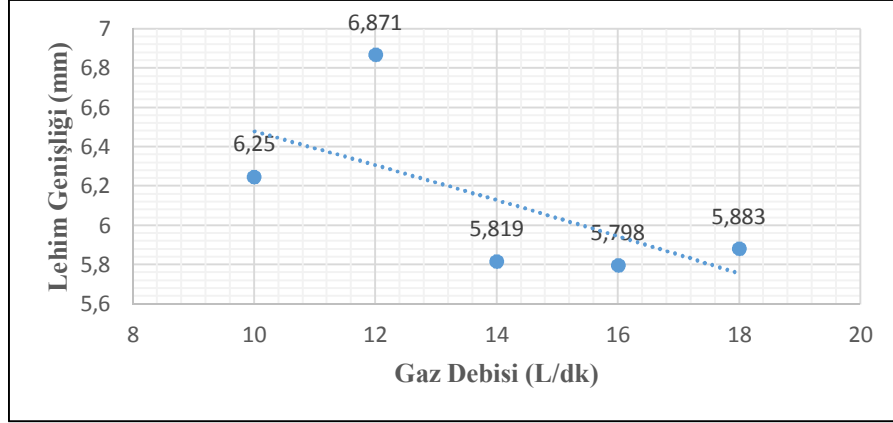
Şekil 7.26.'daki makro görüntüler incelendiğinde tümünün ıslatabilirliğinin iyi olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen maksimum çekme mukavemeti sonuçları ile birlikte incelendiğinde optimum gaz akış debisi 12 L/dk olacağı düşünülmektedir.

Şekil 7.27.'de CMT-lehimleme uygulanmış 1200M martenzitik çeliğinin değişen lehim gaz debisine bağlı olarak lehim kepi ıslatma açısı gaz akış debisi grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, ıslatmanın genel olarak iyi olduğu ve ıslatma açıları 49° ile 58° arasında değiştiği görülmektedir.



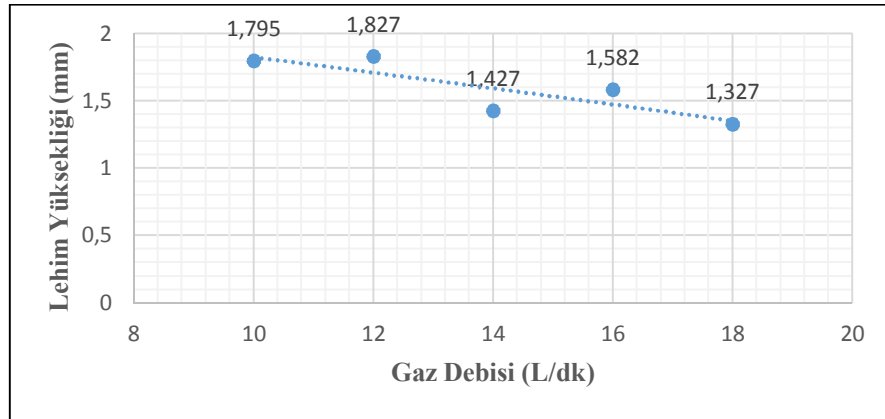
Şekil 7.27. Farklı lehim gaz akış debilerinde ıslatma açısı grafiği.

Şekil 7.28.'de farklı lehim gaz akış debisi lehim genişliği grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, lehim genişliğinin 5-7 mm aralığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.28. Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.29.'da farklı lehim gaz akış debilerindeki lehim yüksekliği grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, en fazla lehim yüksekliğinin 12 L/dk gaz akış debisinde, en düşük lehim yüksekliğinin ise 18 L/dk gaz akış debisinde olduğu görülmektedir. 12 L/dk gaz akış debisinden sonra artan gaz akış debisi, lehim kepi üzerindeki basıncı da arttırmaktadır. Bunun sonucunda ise lehim kep yüksekliğinde azalmalar meydana gelmiştir.

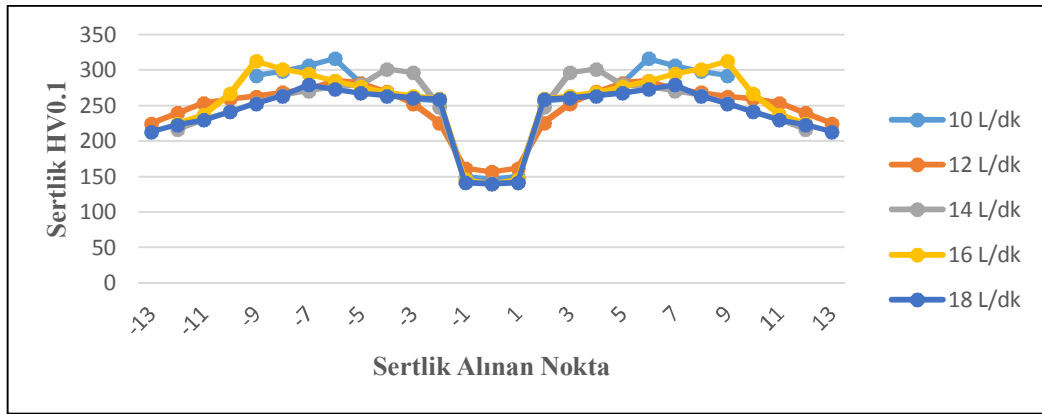


Şekil 7.29. Farklı lehim gaz debilerinde lehim yükseklikleri grafiği.

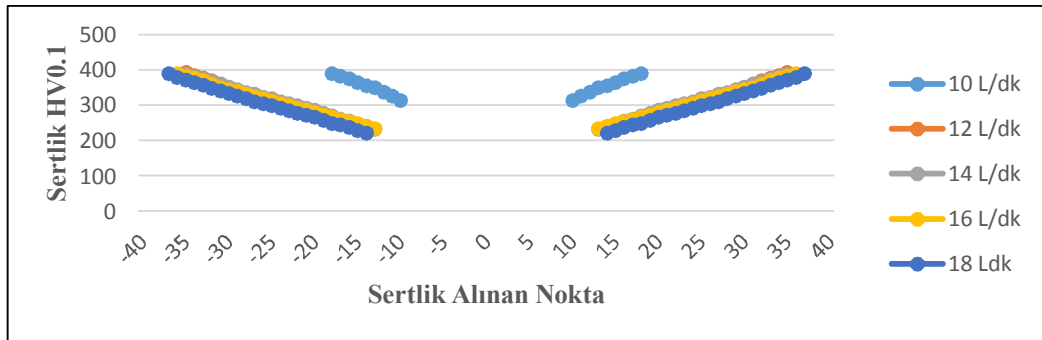
7.1.3.3. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı gaz akış debilerinden elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki

bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde 0,1 mm aralıkta alınırken diğer bölgelerde ise 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.



Şekil 7.30. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.



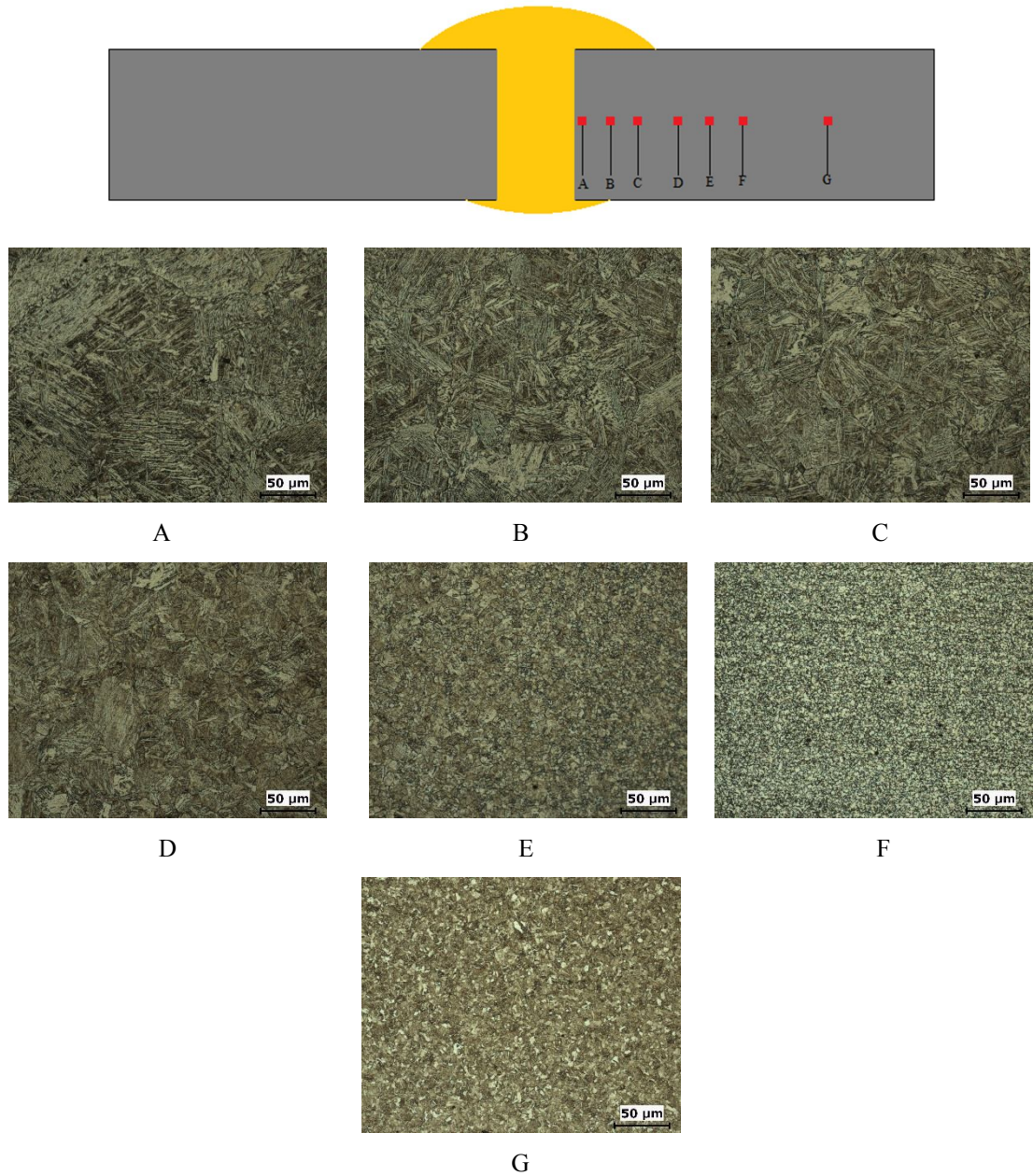
Şekil 7.31. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.

10 L/dk gaz akış debisinin kopma mesafesi 3-4 mm aralığında ölçülürken, diğer gaz akış debilerinin kopma mesafesi 5 ila 6 mm aralığında ölçülmüştür. Şekil 7.30. ile Şekil 7.31.'deki sertlik dağılımları birlikte irdelendiğinde, 10 L/dk gaz akış debisinin daha dar bir ITAB bölgesine sahipken, diğer gaz akış debisi numunelerinin daha geniş bir ITAB bölgesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana

malzeme bölgesidir. Ayrıca farklı gaz akış debilerinin bağlantının sertliğe olan etkisinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

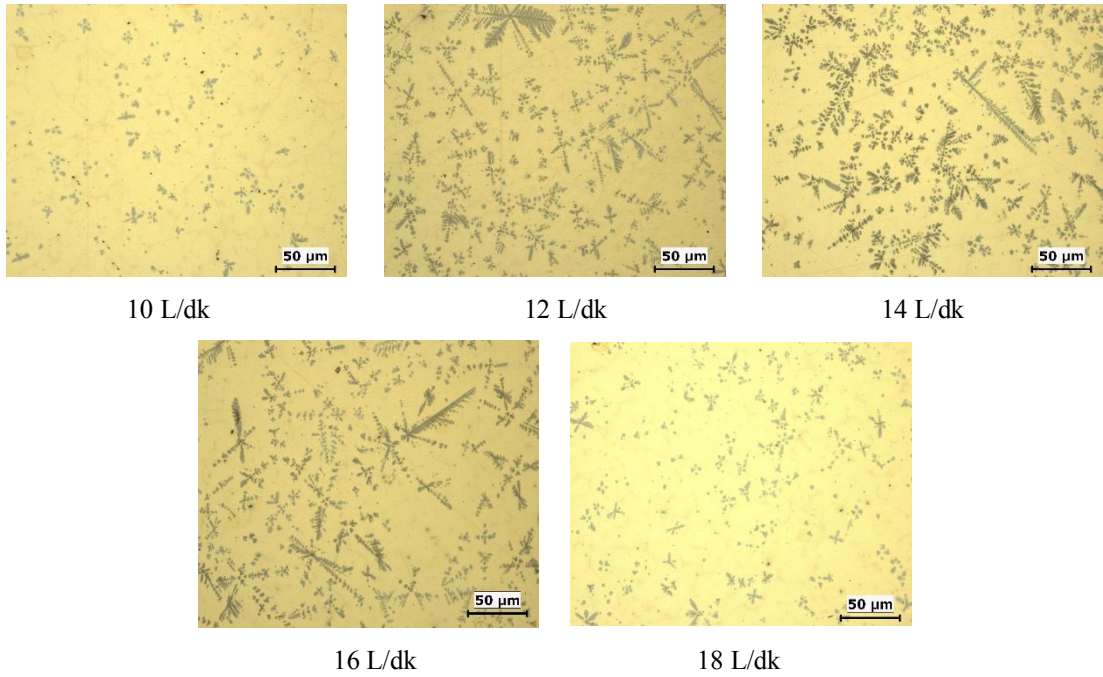
7.1.3.4. Lehim gaz debisinin mikroyapı özelliklerine etkisi



Şekil 7.32. 12 L/dk lehim gaz akış debisinde mikroyapı görüntüleri.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A

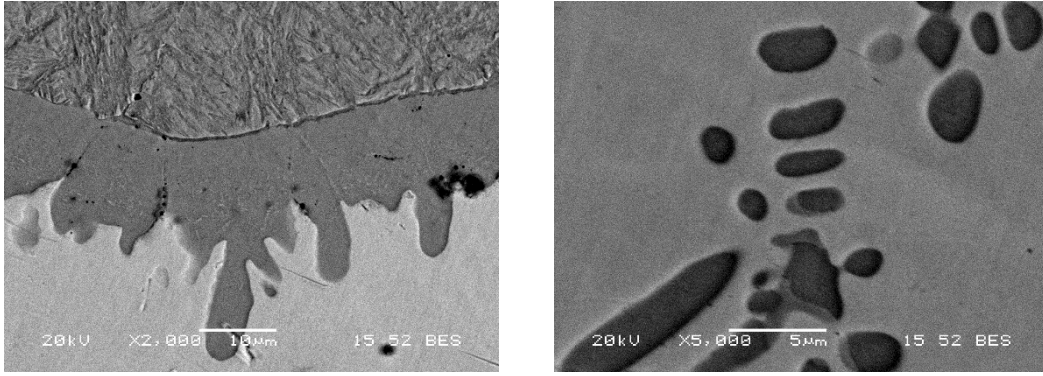
noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 217-235 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.



Şekil 7.33. Farklı lehim gaz akış debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

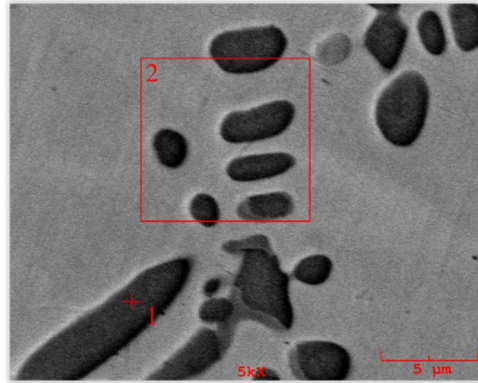
Şekil 7.33.'deki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, lehim gaz debisi arttıkça dendritlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A, lehim gerilimi 10,5 V ve lehim ilerleme hızı 21,81 cm/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.

12 L/dk gaz akış debisinin, ara bölgesi ve lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 7.34.'de verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımları yoluyla oluşmuştur.



Şekil 7.34. 12 L/dk lehim gaz alış debisi SEM görüntüleri.

Şekil 7.35.'de difüzyon ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri verilmiştir. 1'de dendritten noktasal analiz alınırken, 2'de bölgesel EDS analizi alınmıştır.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	Al	Mn	Fe	Cu
1	10,011	0,152	77,373	12,463
2	9,743	0,227	24,231	65,799

Şekil 7. 35. 12 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.

7.1.4. Lehim aralığının bağlantının özelliklerine etkisi

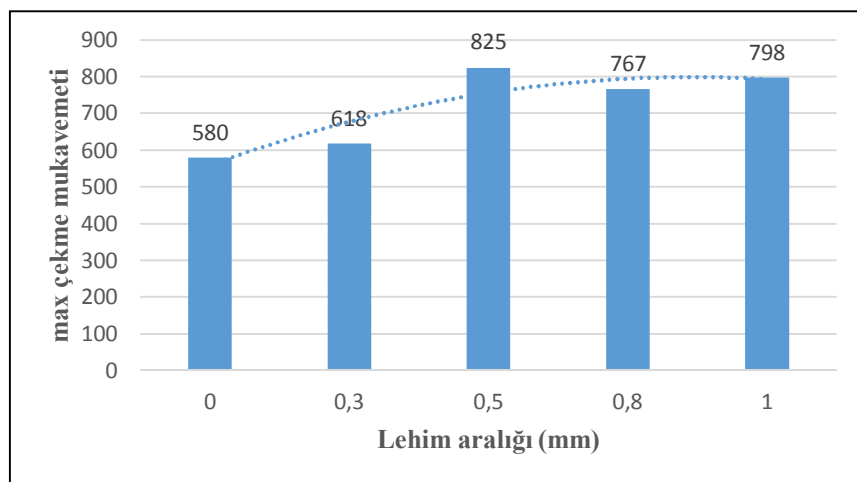
7.1.4.1. Lehim aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimi 10,5V, lehim ilerleme hızı 21,81 cm/dk, gaz akış debisi 12 L/dk olarak belirlenen 1200M martenzit çeliğinin farklı lehim aralığında maksimum çekme mukavemeti değerlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 7.4.'de verilmiştir.

Tablo 7.4. Farklı lehim aralıklarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Kaynak Gerilimi [V]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
65	3,3	10,5	12	Argon	21,81	0	580
65	3,3	10,5	12	Argon	21,81	0,3	618
65	3,3	10,5	12	Argon	21,81	0,5	825
65	3,3	10,5	12	Argon	21,81	0,8	767
65	3,3	10,5	12	Argon	21,81	1	798

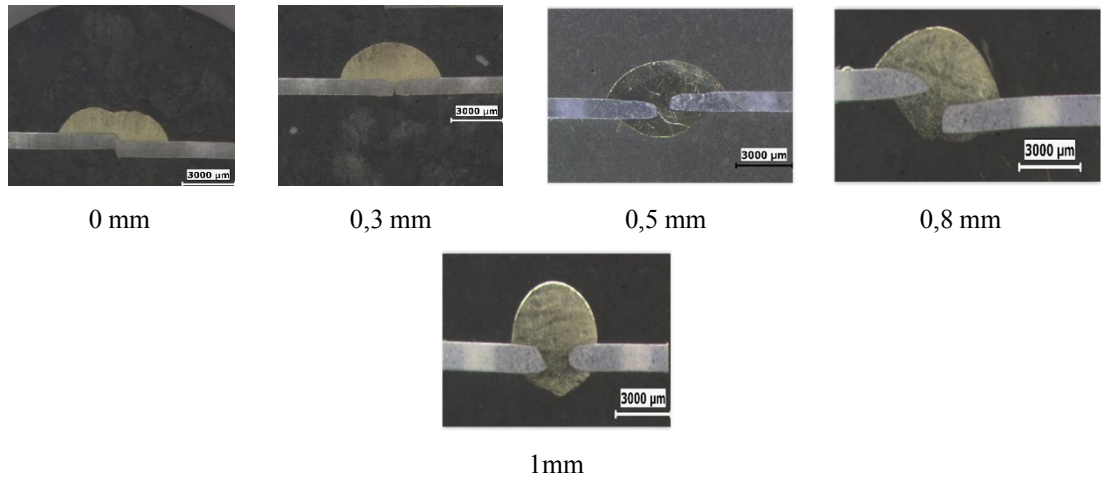
Şekil 7.36.'da farklı lehim aralıklarından elde edilen maksimum çekme mukavemetleri grafik halinde verilmiştir. Grafik incelendiğinde, lehim aralığı değeri 0,5 mm de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.



Şekil 7.36. Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemetleri grafiği.

7.1.4.2. Lehim aralığının lehim geometrisine etkisi

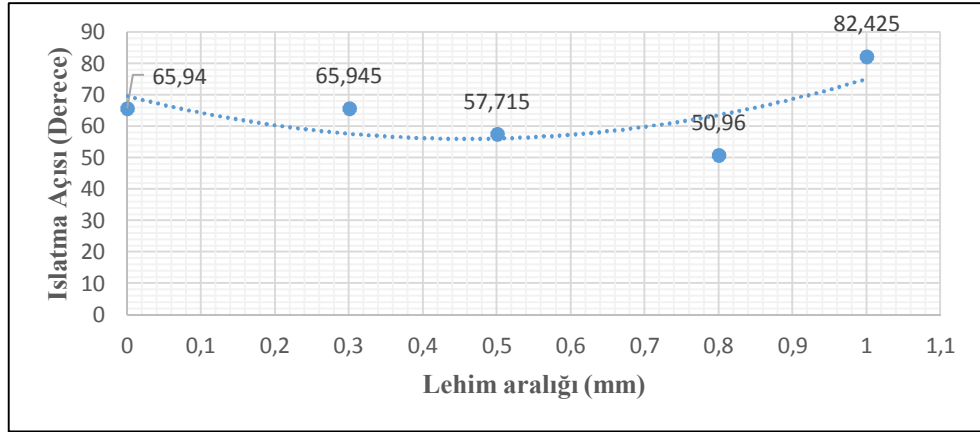
Akım şiddetleri, lehim ilerleme hızları ve lehim gaz akış debilerine göre belirlenen parametrelerden 1200M martenzitik saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 10,5V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk ve lehim gaz akış debisi 12 L/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim aralığı parametreleri uygulanmış, 1200M martenzitik sac için uygun lehim aralığı belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 7.37.'de lehim aralığı parametrelerine göre CMT-lehimlenme uygulanmış numunelerin makroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 7.37. Farklı lehim aralığında makro görüntüleri.

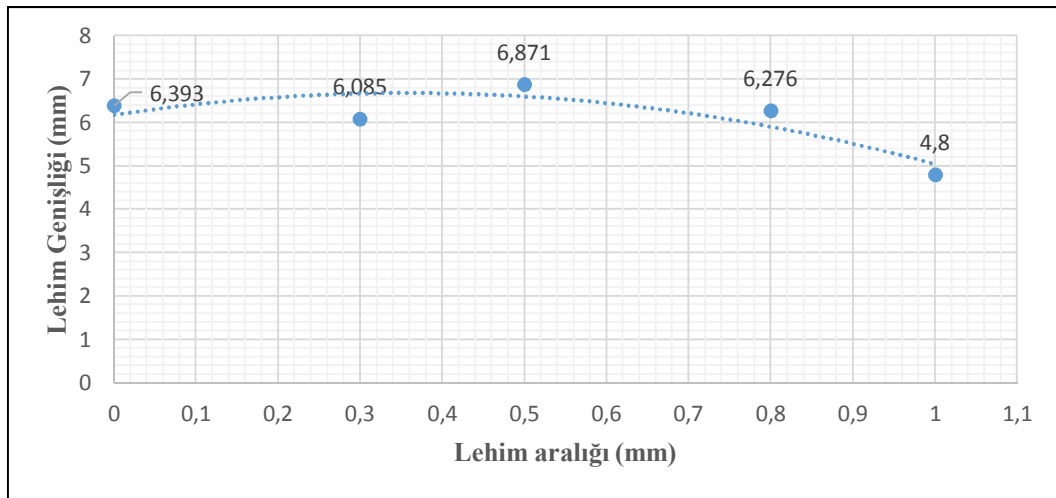
Lehimleme aralığı farklarına göre lehimleme yapılan 1200M martenzitik çelik numunelerin makro görüntülerinden ıslatma açısı, lehim kep genişliği ve lehim kep yükseklikleri grafikler halinde verilerek mukavemet ile olan bağıntıları incelenmiştir.

Şekil 7.38.'de verilen farklı lehim aralığı ıslatma açısı grafiği incelendiğinde, 0,5 ve 0,8 mm lehim aralığı ıslatma açıları 60° 'nin altında diğer lehim aralığı ıslatma açıları ise 60° 'nin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Farklı lehim aralığı parametreleri mukavemet sonuçları değerlendirilmesinden, en yüksek maksimum çekme mukavemeti değerinin 0.5 mm aralığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.38. Farklı lehim aralığında ıslatma açısı grafiği.

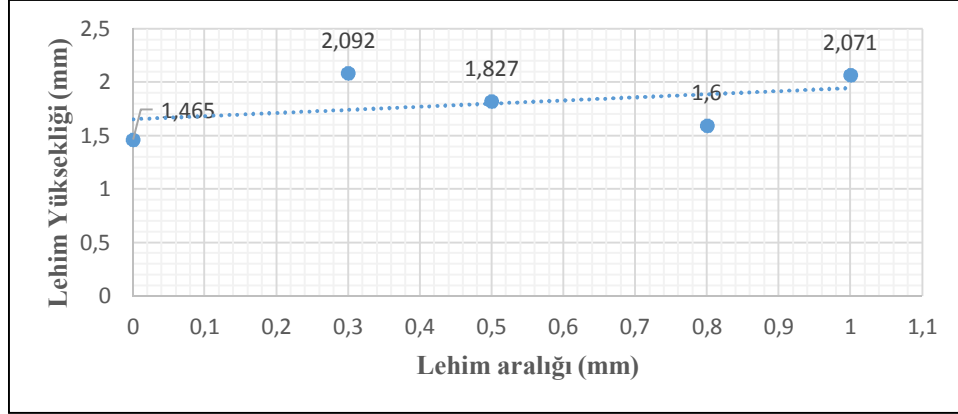
Şekil 7.39.'da lehimleme aralığı ve lehim genişliği grafiği incelendiğinde, 0 ile 0,8 mm lehim aralığında lehim genişliğinin 6 ila 7 mm aralığında değiştiği görülmektedir. 1 mm lehim aralığının artması ise lehim kep genişliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise 1 mm lehim aralığında ıslatma kabiliyetinin düşük olmasından dolayı lehim kep genişliğinin azaldığı düşünülmektedir.



Şekil 7.39. Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.40.'da lehimleme aralığı ve lehim yüksekliği grafiği, makro görüntüleri ile birlikte incelendiğinde, 0 mm lehim aralığından 0,3 mm lehim aralığına çıkıldığında lehim kep yüksekliğinin arttığı, 0,3 mm lehim aralığından itibaren 1 mm lehim aralığına kadar lehim köküne nüfuziyetin artmasından dolayı lehim kep yüksekliğinin

azaldığı, 1 mm lehim aralığında ise ısılatma kabiliyetinin düşük olması lehim kep yüksekliğini arttırdığı tespit edilmiştir.

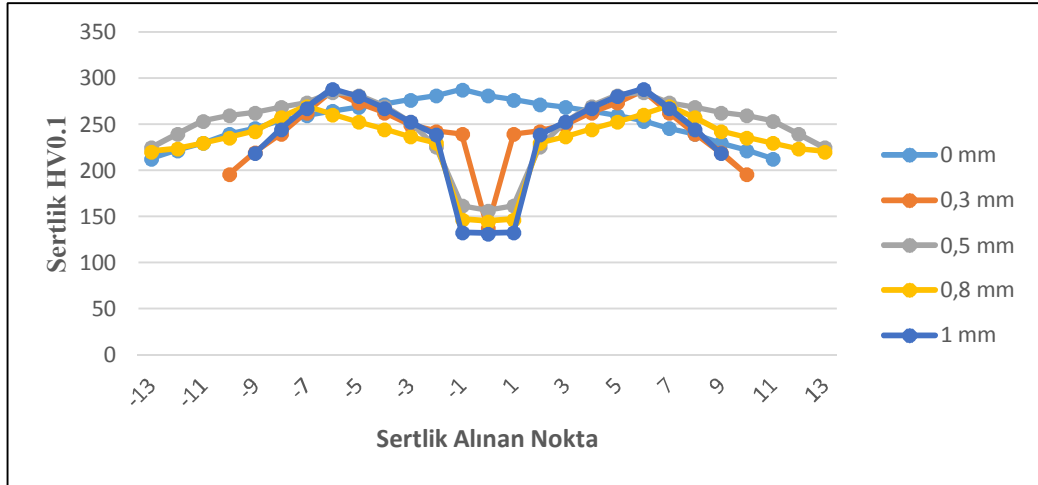


Şekil 7.40. Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği.

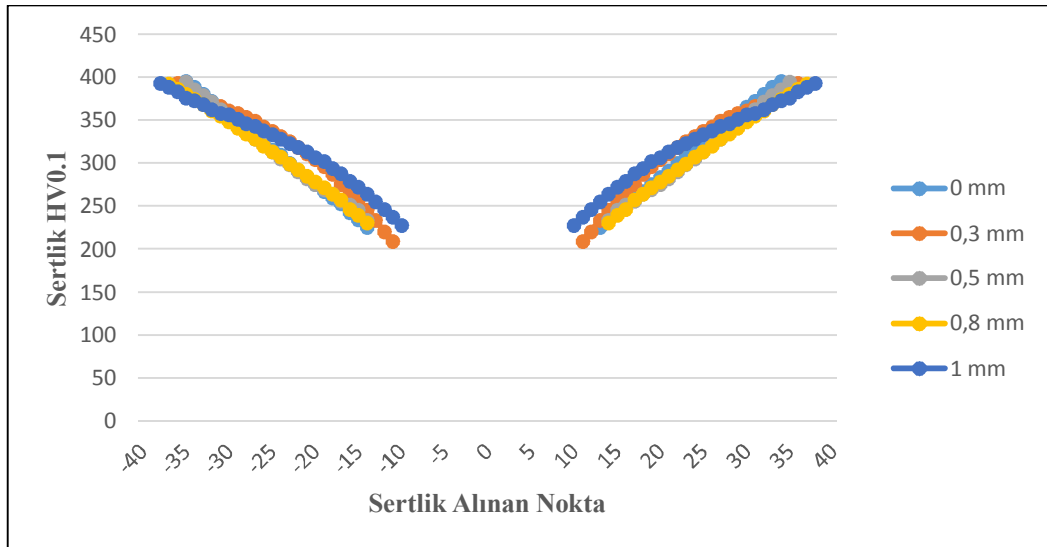
7.1.4.3. Lehim aralığının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim aralıklarından elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde 0,1 mm aralıkta alınırken diğer bölgelerde ise 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.

0 ve 0,3 mm lehim aralığında kopma lehim bölgesinden, 0,5, 0,8 ve 1 mm lehim aralığında ise ITAB bölgesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. 0,5 ve 0,8 mm lehim aralığında kopma mesafesi 5-6 mm aralığında ölçülürken, 1 mm lehim aralığında ise 3-4 mm aralığında kopma mesafesi ölçülmüştür.



Şekil 7.41. Farklı lehim aralıklarında mikro sertlik noktaları.



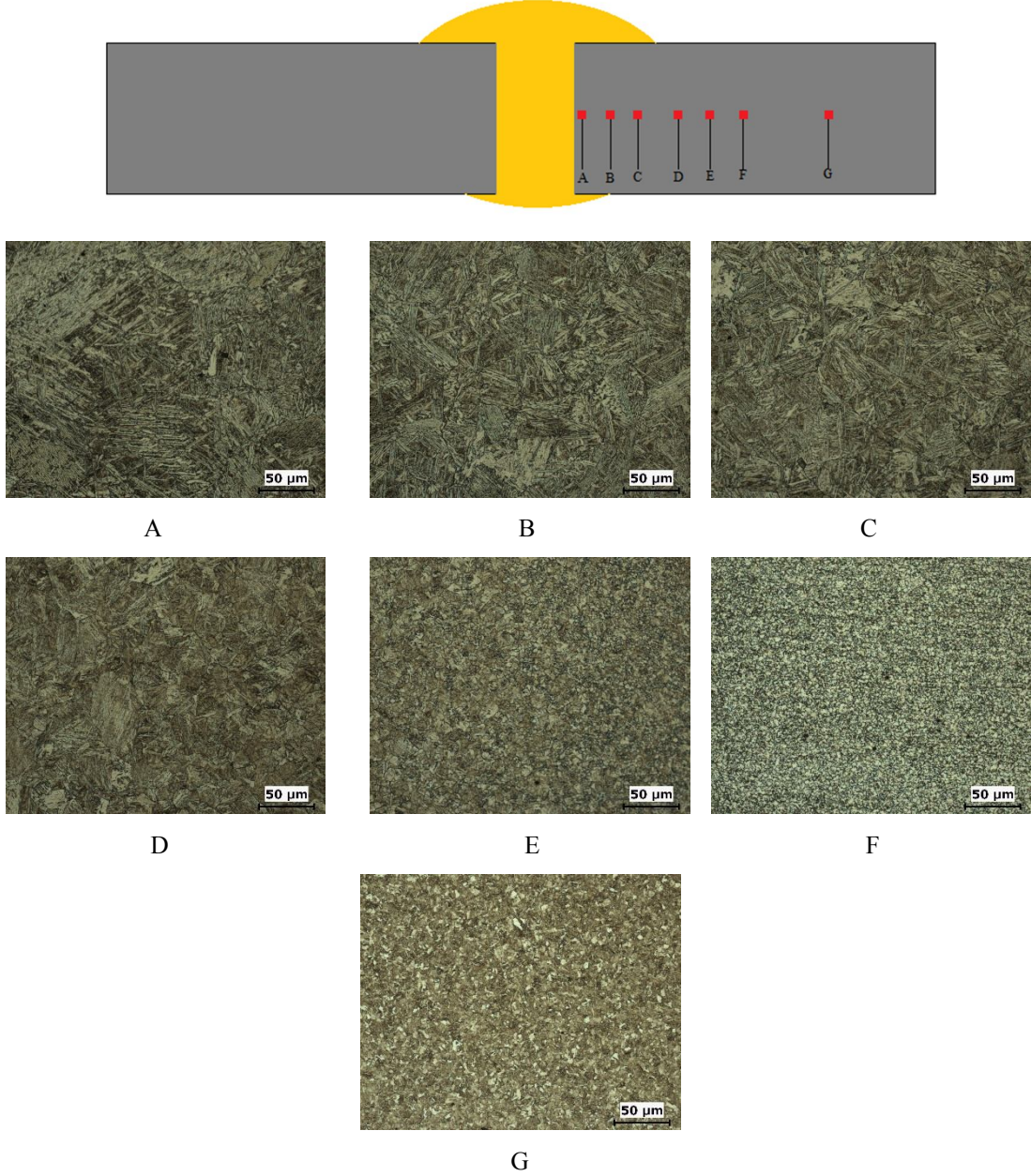
Şekil 7.42. Farklı lehim aralıklarında mikro sertlik noktaları.

Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzeme bölgesidir.

7.1.4.4. Lehim aralığının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A

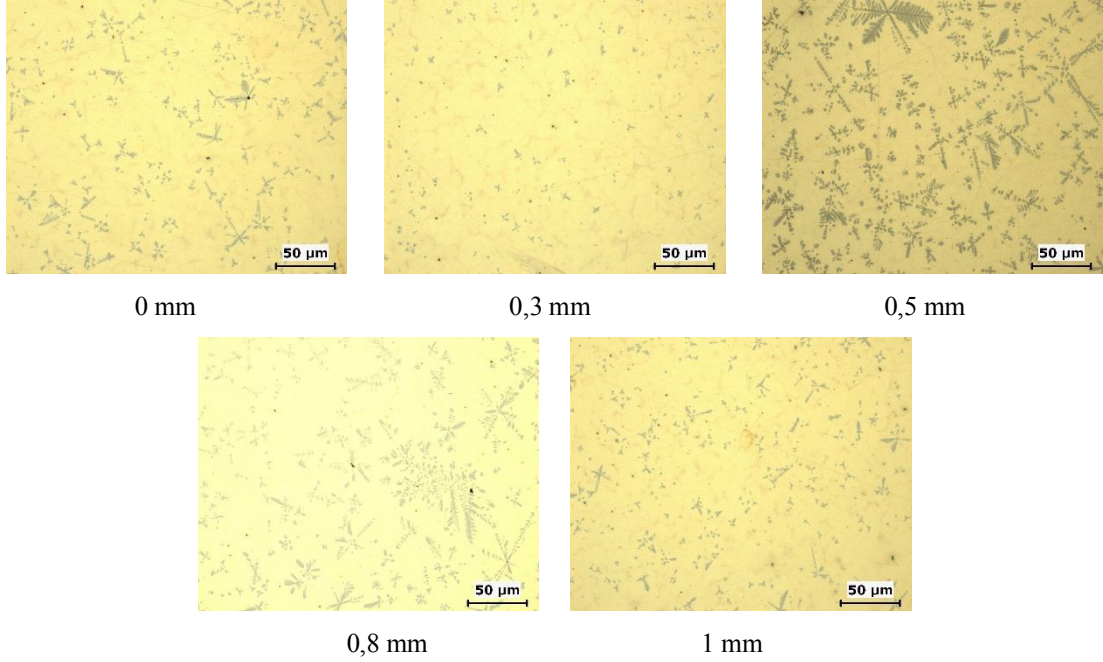
noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.43. 0.5 mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri.

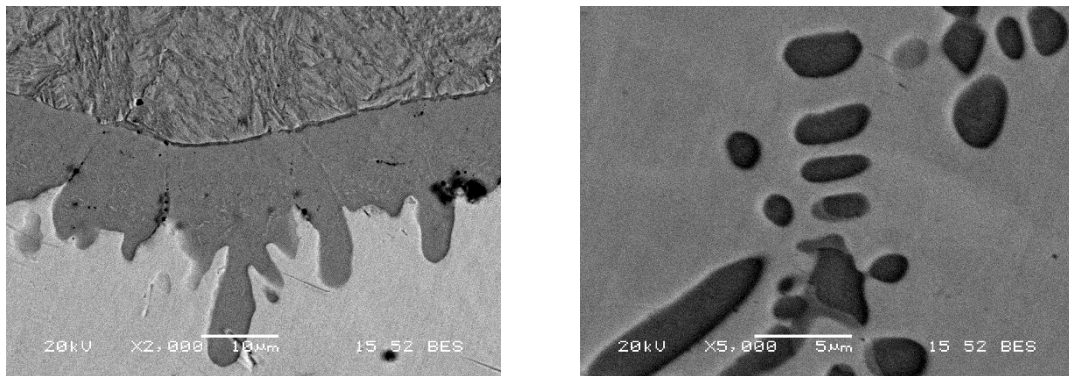
F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 217-235 $HV_{0.1}$ aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü

görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.



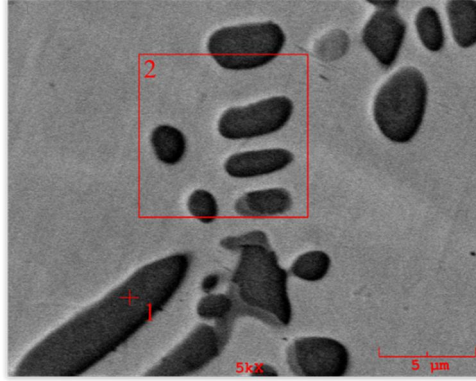
Şekil 7.44. Farklı lehim aralıklarındaki lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

0.5 mm lehim aralığı, ara bölgesi ve lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 7.45.'de verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımla oluşmuştur.



Şekil 7.45. 0.5 mm lehim aralığı SEM görüntüsü.

Şekil 7.46.'da difüzyon ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri verilmiştir. 1'de dendritten noktasal analiz alınırken, 2'de bölgesel EDS analizi alınmıştır.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	Al	Mn	Fe	Cu
1	10,011	0,152	77,373	12,463
2	9,743	0,227	24,231	65,799

Şekil 7.46. 0.5 mm lehim aralığı lehimlenmiş bölgenin EDS analizi.

7.1.5. Lehim torç açısının bağlantının özelliklerine etkisi

7.1.5.1. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

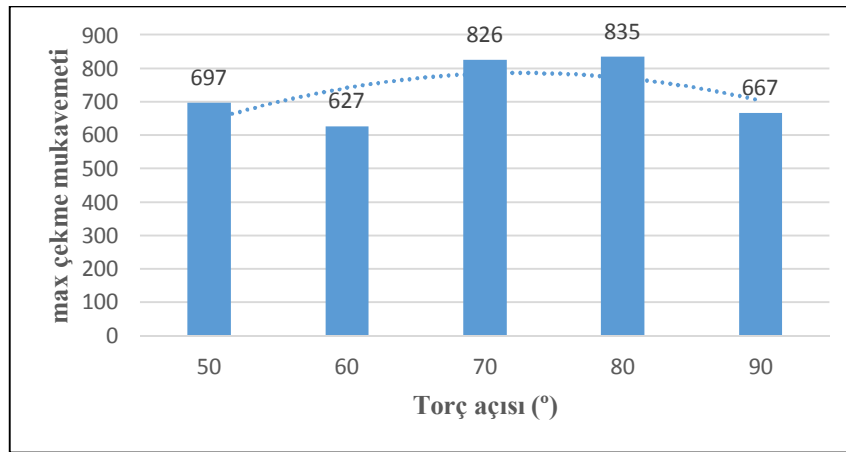
1200M martenzit çeliğinin optimum akım şiddeti 65A ve lehim gerilimi 10.5V, lehim hızı 21.81 cm/dk, gaz akış debisi 12 L/dk ve lehim aralığı 0.5 mm olarak belirlenmiştir. Optimum torç açısını ve torç açısının mekanik özelliklere olan etkisini belirlemek amacıyla çeşitli parametrelerde CMT-lehimleme uygulaması yapılmıştır.

Tablo 7.5.'de 1200M martenzit çeliğinin farklı torç açılarında lehim parametreleri ve elde edilen maksimum çekme mukavemeti değerleri verilmiştir. CMT-lehimleme makinesinin torcu kaynak robotuna sabitleyici aparatlar vasıtası ile sabitlendikten sonra farklı torç açılarında lehim işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 7.5. Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Torç Açısı [Derece]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
65	3,3	12	Argon	21,81	0,5	50	697
65	3,3	12	Argon	21,81	0,5	60	627
65	3,3	12	Argon	21,81	0,5	70	825
65	3,3	12	Argon	21,81	0,5	80	835
65	3,3	12	Argon	21,81	0,5	90	667

Şekil 7.47.'de farklı lehim torç açılarında maksimum çekme mukavemeti değerleri görülmektedir. Maksimum çekme mukavemetleri incelendiğinde, lehim torç açısı değeri 80° de 835 MPa ile en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir. 60° torç açısında 627 MPa ile en düşük çekme mukavemeti değeri elde edilmiştir. 70 ve 80° lehim torç açılarında ITAB bölgesinden kopmuştur. Bulunan maksimum çekme dayanımı değerleri kıyaslandığında optimum lehim torç açısı değerinin 80° olması gerektiği düşünülmektedir.

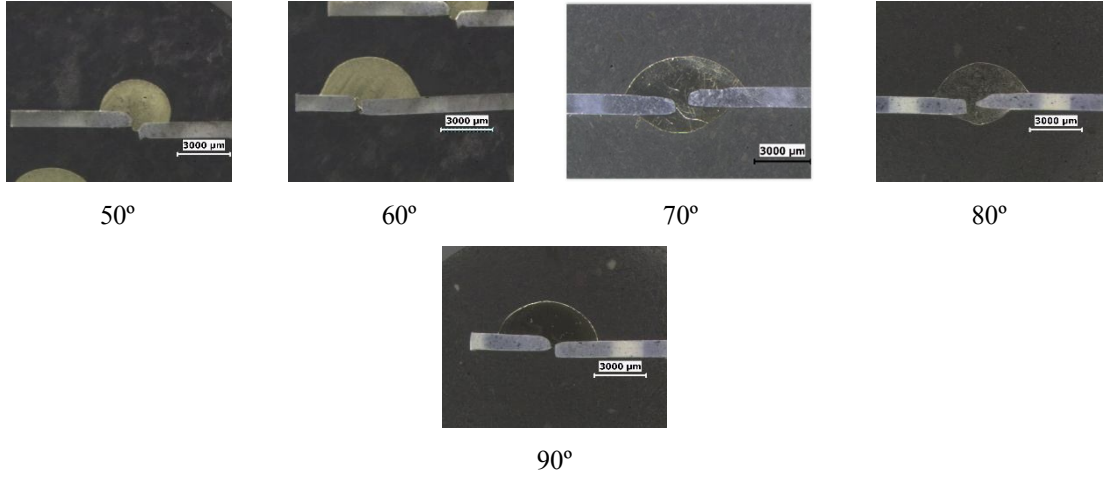


Şekil 7.47. Farklı lehim torç açılarında maksimum çekme mukavemetleri grafiği.

7.1.5.2. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri, lehim ilerleme hızları, lehim gaz akış debileri ve lehim aralıklarına göre belirlenen parametrelerden 1200M martenzitik saca en uygun akım şiddeti 65A, lehim gerilimi 10,5V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz akış debisi 12 L/dk ve

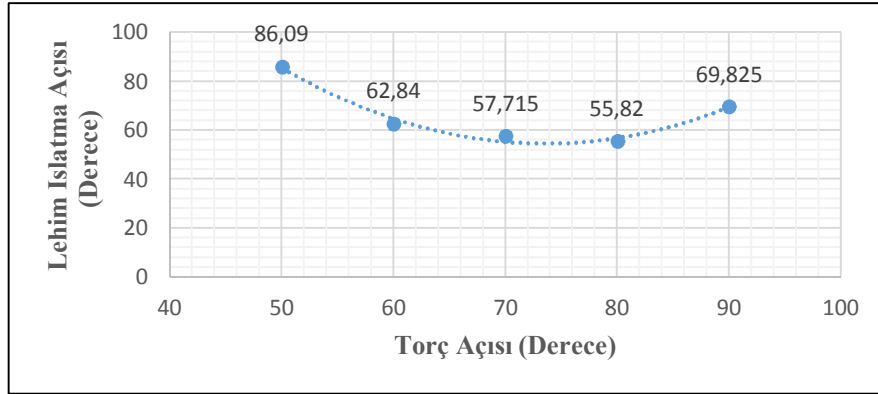
lehim aralığı 0.5 mm olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim torç açısı parametreleri uygulanmış, 1200M martenzitik sac için uygun lehim torç açısı belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 7.48.'de lehim torç açısı parametrelerine göre CMT-lehimlenme uygulanmış numunelerin makroyapı görüntüleri verilmektedir.



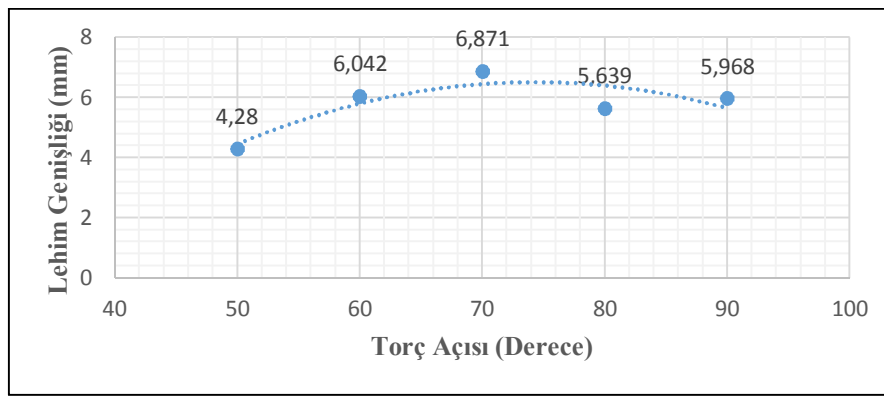
Şekil 7.48. Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.

Şekil 7.48.'deki makro görüntüler incelendiğinde, 70 ve 80° torç açılarının hem nüfuziyeti hem de ıslatabilirliği kabul edilebilir olduğu tespit edilmiştir. Makro görüntüleri, bu parametrelerdeki maksimum çekme mukavemeti ile birlikte değerlendirildiğinde 80° torç açısının optimum parametre olması gerektiği düşünülmektedir.

Şekil 7.49.'da CMT-lehimleme uygulana 1200M martenzit çeliğinin değişen lehim torç açalarına bağlı olarak lehim ıslatma açısı grafiği verilmektedir. Grafik mukavemet sonuçları ile birlikte irdelendiğinde, 835 MPa çekme mukavemeti değerine sahip olan 80° lehim torç açısı ile 826 MPa çekme mukavemeti değerine sahip 70° lehim torç açısının, lehim ıslatma açıları 60°'den düşük olduğu tespit edilmiştir.

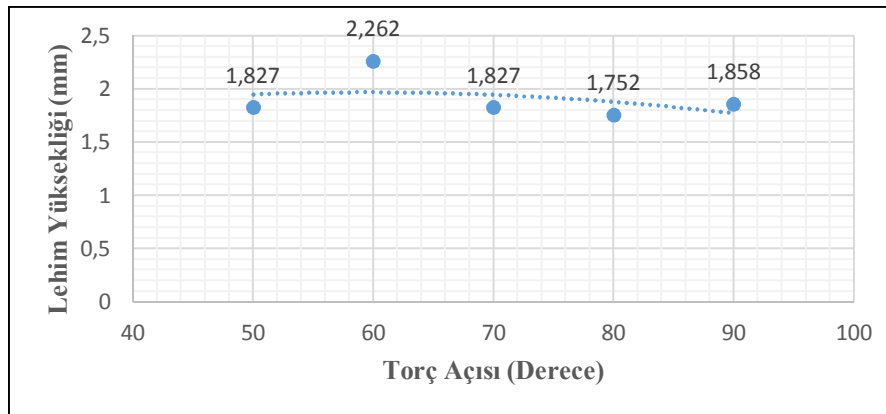


Şekil 7.49. Farklı lehim torç açılarında ıslatma açısı grafiği.



Şekil 7.50. Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.

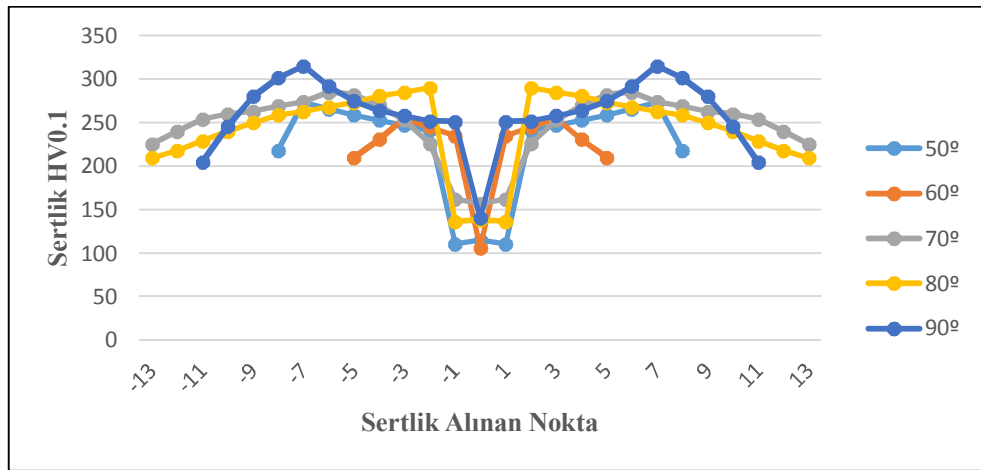
Şekil 7.50.'de farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği ile Şekil 7.51.'deki farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği mukavemet sonuçları ile birlikte incelendiğinde, Lehim kep genişliğinin 5 mm üzerinde, lehim kep yüksekliğinin ise 2 mm'nin altında olması gerektiği tespit edilmiştir.



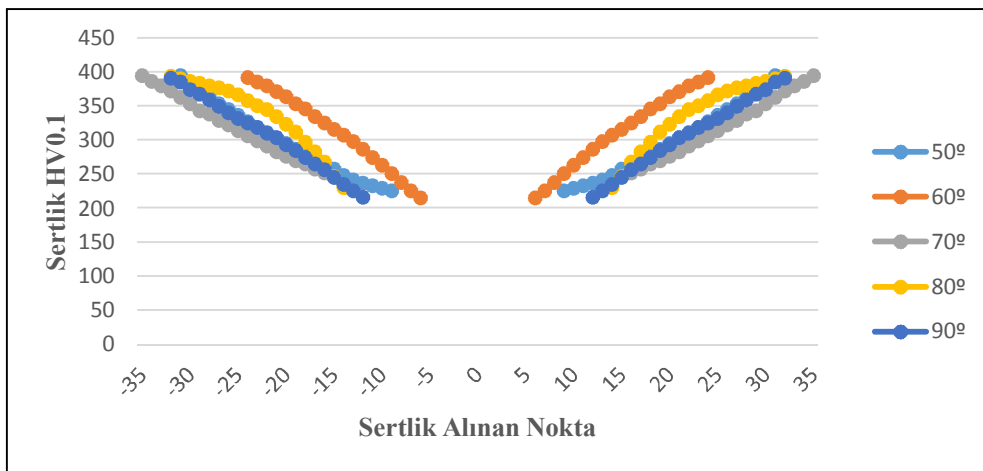
Şekil 7.51. Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.

7.1.5.3. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim torç açılarında elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde 0,1 mm aralıkta alınırken diğer bölgelerde ise 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.



Şekil 7.52. Farklı lehim torç açılarında mikro sertlik noktaları.



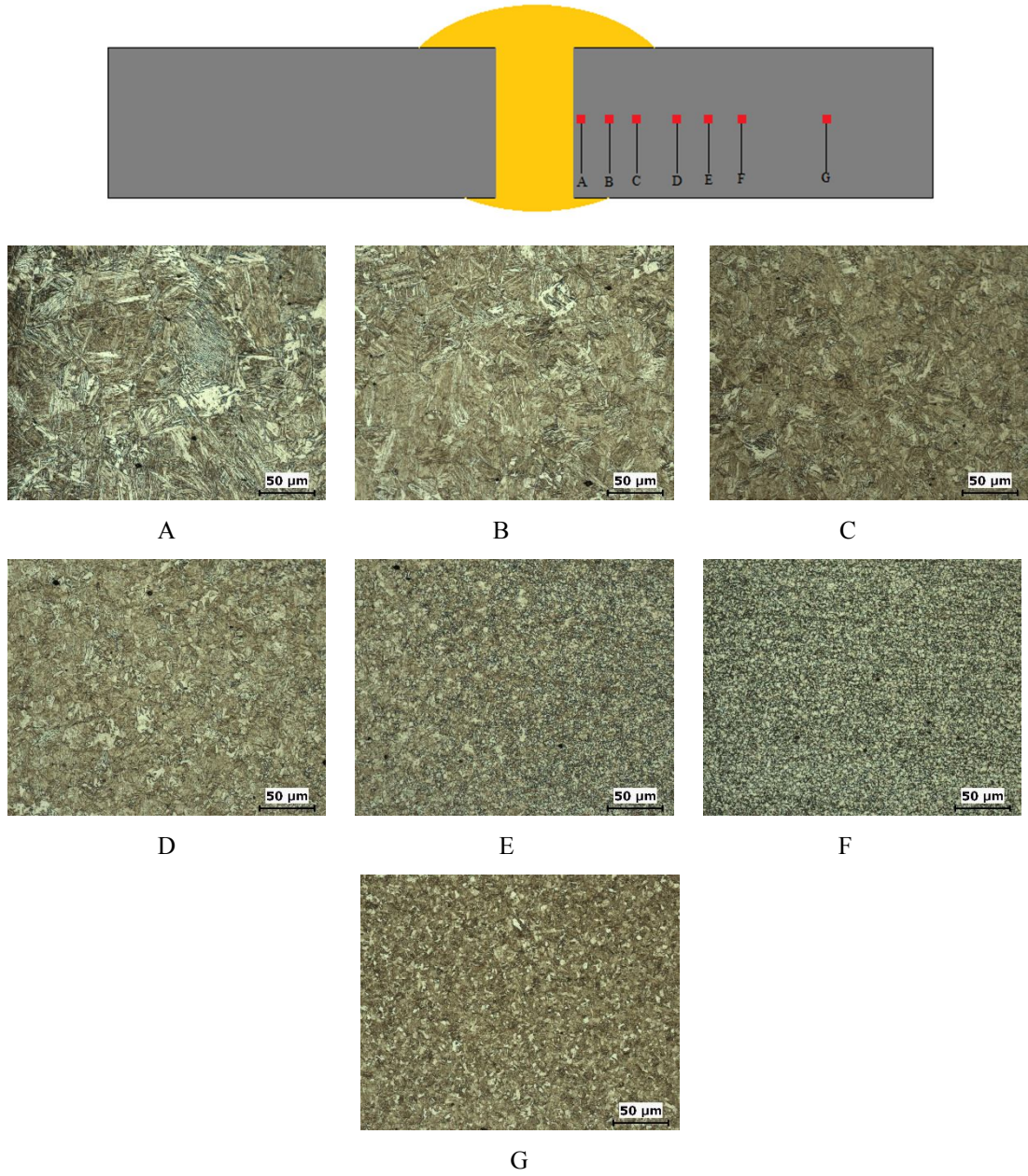
Şekil 7.53. Farklı lehim torç açılarında mikro sertlik noktaları.

50, 60 ve 90° lehim torç açıları lehim bölgesinden, 70 ve 80° lehim torç açıları ise ITAB bölgesinden kopmuştur. 70 ve 80° lehim torç açılarının kopma mesafeleri ölçüldüğünde ise her iki açı değerinin de kopma mesade 5-6 mm aralığında olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7.51 ve Şekil 7.52 birlikte incelendiğinde 80° lehim torç açısının, 70° lehim torç açısına göre ITAB bölgesinin biraz daha dar olduğu grafiklerden anlaşılmıştır.

Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzeme bölgesidir.

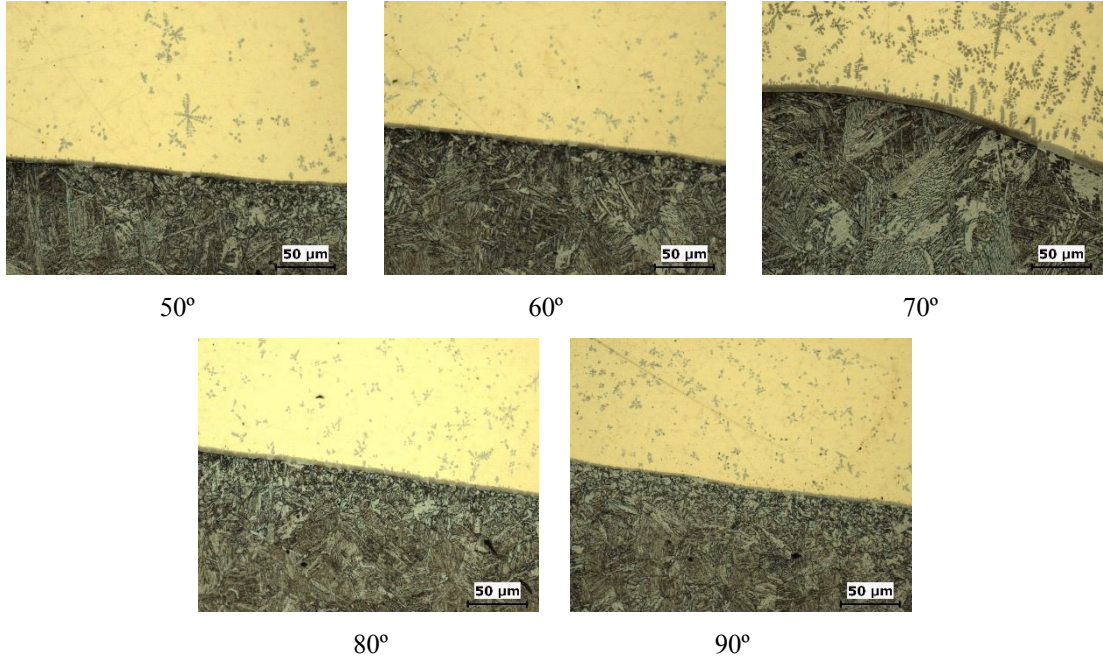
7.1.5.4. Lehim torç açısının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 210-234 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.



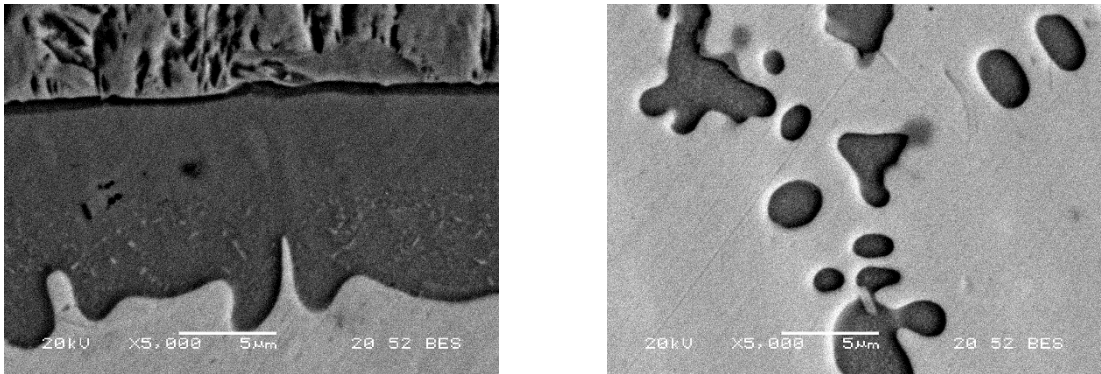
Şekil 7.54. 80° lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.

Farklı lehim torç açılarında ara bölgenin mikroyapı görüntüleri Şekil 7.55.'de verilmiştir. 70° torç açısında daha yoğun dendritler gözlemlenirken, diğer parametrelerde bu yoğunluğun azaldığı tespit edilmiştir.



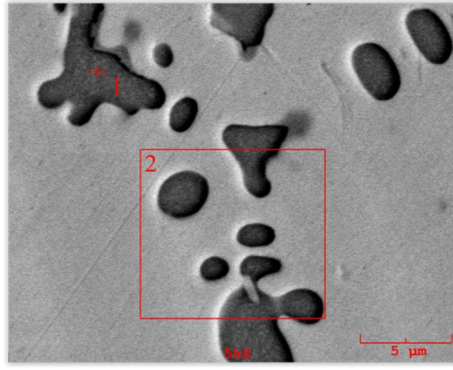
Şekil 7.55. Farklı torç açılarında ara bölge mikroyapı görüntüleri.

80° lehim torç açısı, lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 7.56.'da verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden Cu bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 7.56. 80° torç açısında SEM görüntüleri.

Şekil 7.57.'de difüzyon ile oluşan dendrit bölgesinden alınan EDS analizleri verilmiştir. 1'de dendritten noktasal analiz alınırken, 2'de bölgesel EDS analizi alınmıştır.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	Al	Fe	Cu	Mn
1	9,937	76,159	13,424	0,481
2	10,259	19,304	70,437	0

Şekil 7.57. 80° torç açısında lehim ara bölge EDS analizi.

7.2. Martenzitik 1200M Sacın CMT Lehimleme Yöntemi İle Bindirme Birleştirmeleri

7.2.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının özelliklerine etkisi

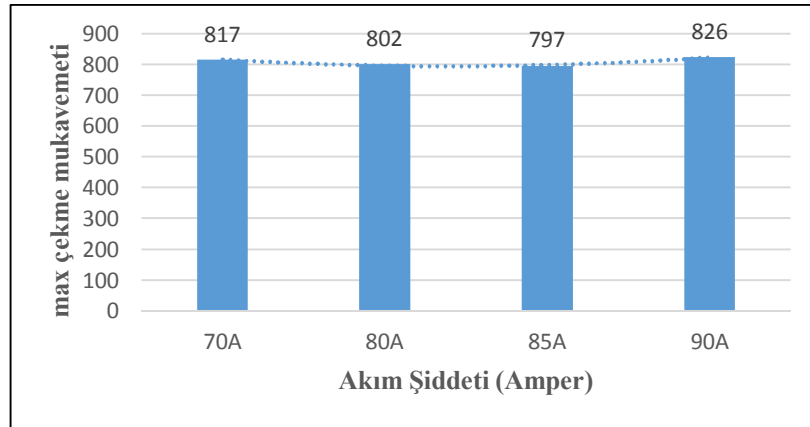
7.2.1.1. Lehim akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 7.6.'da, 1200M martenzitik çeliği için uygulanan CMT-lehimleme parametreleri ve elde edilen maksimum çekme mukavemeti değerleri verilmiştir. Şekil 7.58.'de ise farklı akım şiddetlerinde elde edilen maksimum çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 7.6. Farklı akım şiddetlerinde lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı [m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
70	3,6	10,8	12	Argon	24	0,8	817
80	4,3	11,5	12	Argon	24	0,8	802
85	4,6	11,6	12	Argon	24	0,8	797
90	4,9	11,8	12	Argon	24	0,8	826

Şekil 7.58.'de farklı akım şiddetlerinde maksimum çekme dayanımı grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, değişen akım şiddetlerinde maksimum çekme mukavemeti değerlerinin çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Maksimum çekme mukavemeti değeri 797-826 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı gibi bütün akım şiddeti numuneleri ITAB bölgesinden kopmuştur. En yüksek çekme mukavemeti değeri 90A akım şiddetinde elde edildiği için optimum amper akım şiddeti değeri 90A olarak düşünülmektedir.

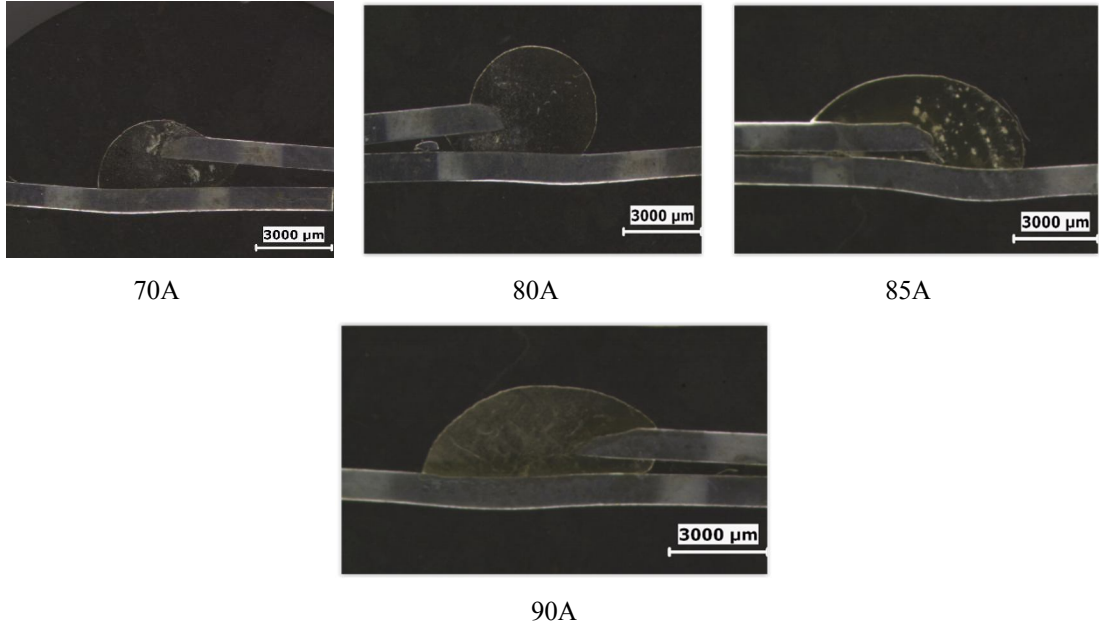


Şekil 7.58. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.

7.2.1.2. Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine etkisi

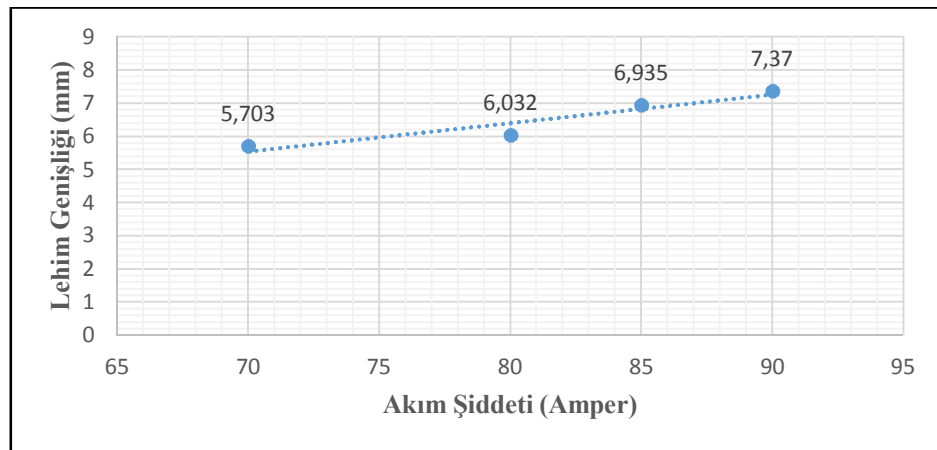
Lehim akım şiddetinin lehim geometrisine olan etkisini irdelemek amacıyla farklı akım şiddetleri uygulanan 1200M martenzitik sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiş, makro ölçümler alınmıştır. Numunelerin makro görüntüleri Şekil 7.59.'da verilmiştir.

Şekil 7.59.'daki makro görüntüler incelendiğinde, 70A akım şiddetinde ıslatmanın kabul edilebilir olduğu, 80A akım şiddetine çıkıldığında ısının artmasıyla daha fazla ergiyen ilave metalin ana malzemeler arasına nüfuziyetinin az olmasından dolayı ıslatmanın kabul edilemeyeceği, 85A akım şiddetinde nüfuziyette artış olsada istenilen seviyede olmadığı, 90A akım şiddetinde ise nüfuziyetin artmasıyla beraber ıslatmanın kabul edilebilir olduğu makro görüntülerden anlaşılmıştır.



Şekil 7.59. Farklı akım şiddetlerinde makro görüntüleri.

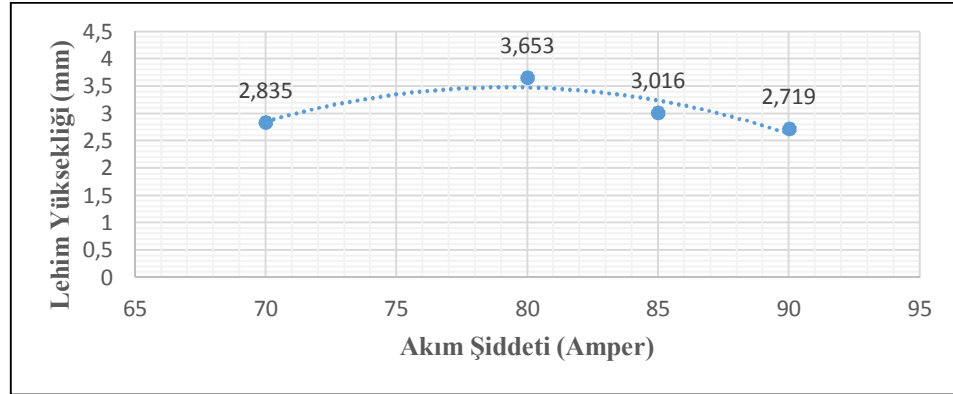
Şekil 7.60.'da CMT-lehimleme uygulana 1200M martenzitik çeliğinin değişen akım şiddetine bağlı olarak lehim genişliği grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde, artan akım şiddetine bağlı olarak lehim genişliğinde arttığı gözlemlenmiştir. Mukavemet sonuçları ile birlikte irdelendiğinde, lehim kep genişliğinin 7 mm'nin üstünde olması gerektiği düşünülmektedir.



Şekil 7.60. Farklı akım şiddetlerinde lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.61.'de akım şiddeti ve lehim yüksekliği grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, akım şiddeti arttıkça lehim yüksekliğinin 70A değerinden 80A değerine kadar yükseldiği görülmüştür. 80A akım şiddetinden itibaren ise lehim

yüksekliğinin düştüğü gözlemlenmiştir. 80A akım şiddeti değeri makro görüntü ile birlikte irdelendiğinde lehim telinin ana metal arasına nüfuz edememesinden dolayı lehim yüksekliğinin yüksek değerlere çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 6.58. ile Şekil 6.61. birlikte irdelendiğinde, optimum lehim yüksekliğinin 3 mm'nin altında olması gerektiği düşünülmektedir.

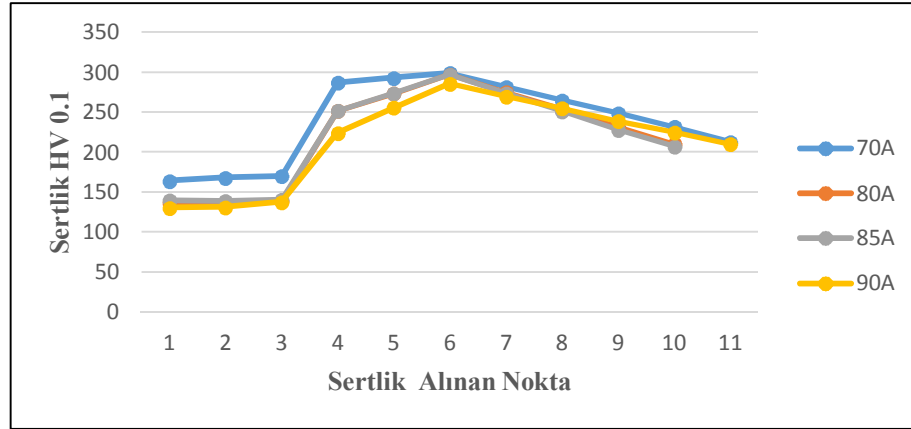


Şekil 7.61. Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliği grafiği.

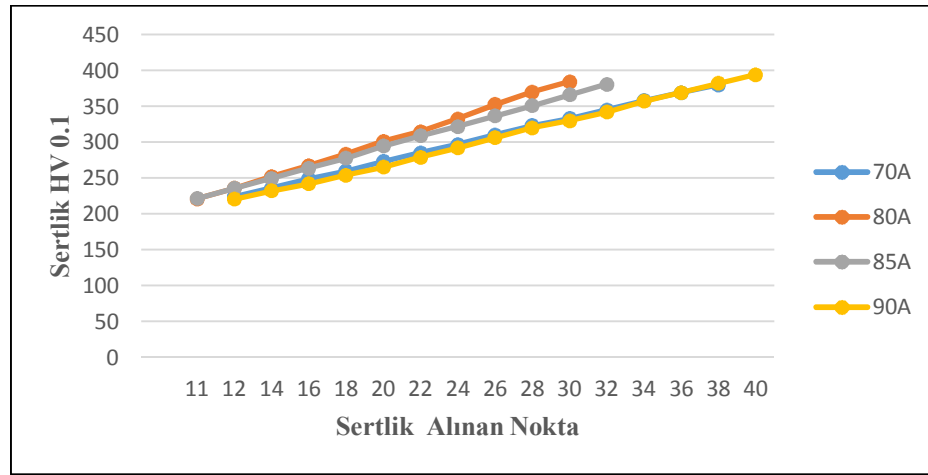
7.2.1.3. Lehim akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı akım şiddetlerinde elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde itibaren 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.

Ana metalin, lehim bölgesi ile birleştiği noktadan itibaren ölçülen kopma mesafeleri incelendiğinde, bütün numunelerin kopma mesafesi 3-4 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.62. 70A, 80A, 85A ve 90A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları.



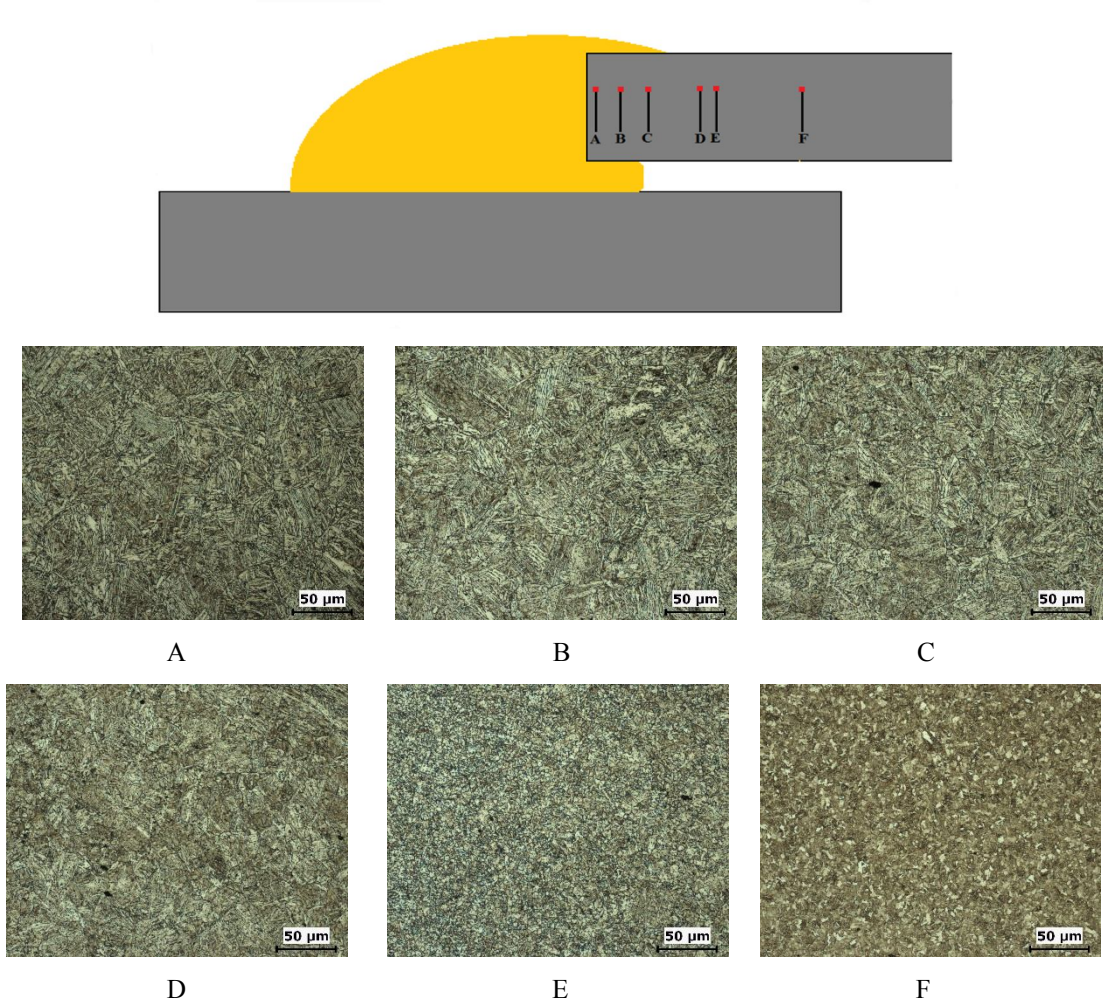
Şekil 7.63. 70A, 80A, 85A ve 90A lehim akım şiddetlerinde mikro sertlik noktaları.

Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzemedir.

7.2.1.4. Lehim akım şiddetinin mikroyapı özelliklerine etkisi

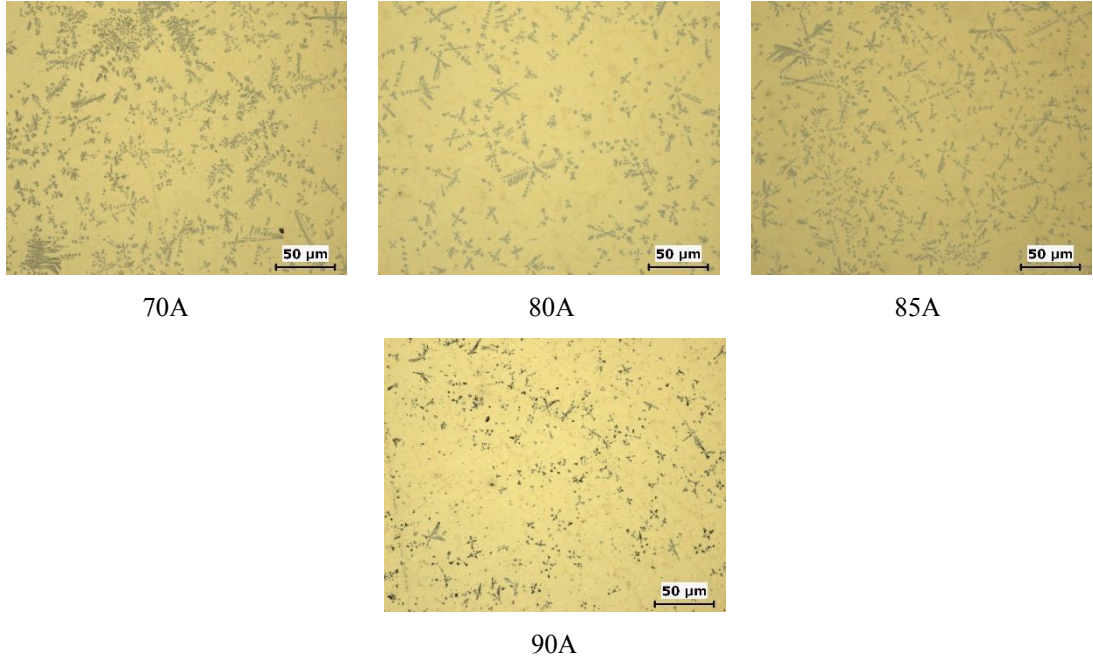
Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 210-239 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit

oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.



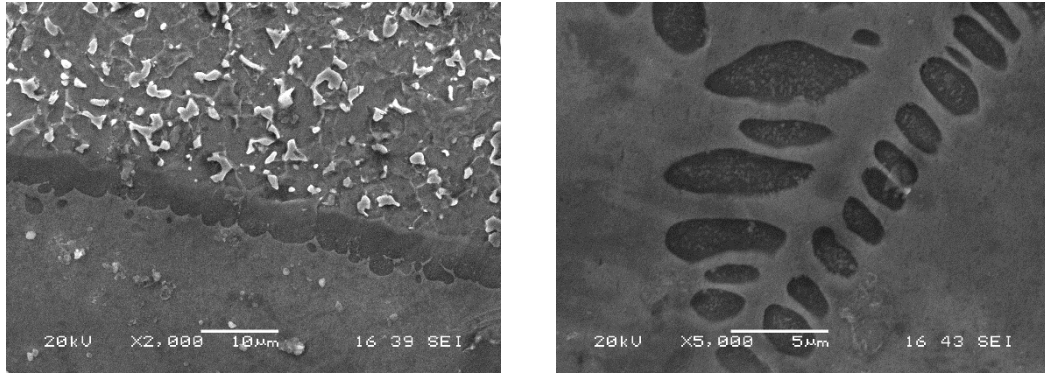
Şekil 7.64. 90A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.65.'de farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, bütün amper değerlerinde yoğun dendritler gözlemlenmiştir.



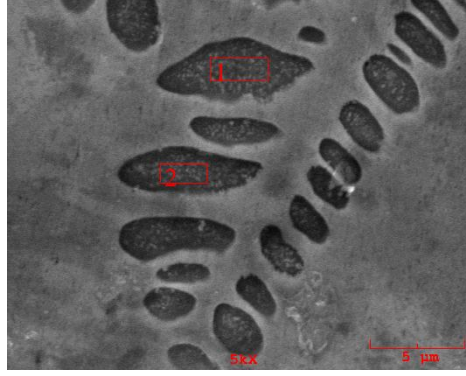
Şekil 7.65. Farklı lehim akım şiddetlerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

Şekil 7.66.'da 90 A akım şiddetinde lehim ara bölgesinin ve lehim bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemede elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımla yoluyla oluşmuştur.



Şekil 7.66. 90 A akım şiddetinde SEM görüntüleri.

Atomal yayınımla oluşan dendrit bölgesinden alınan noktasal EDS analizleri Şekil 7.67.'de verilmiştir.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)		
	Al	Fe	Cu
1	8,711	76,548	14,741
2	7,448	77,651	14,901

Şekil 7.67. 90A akım şiddetinde EDS analizi.

7.2.2. Lehim ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi

7.2.2.1. Lehim ilerleme hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Martenzitik 1200M çeliği için optimum akım şiddeti 90 amper olarak belirlenmiştir. CMT-lehimleme uygulamasında kullanılan kaynak makinesinde 90 amper akım şiddetine karşılık gelen lehim gerilimi 11,8 V olduğu için 11,8 V optimum lehim gerilimi olarak belirlenmiştir.

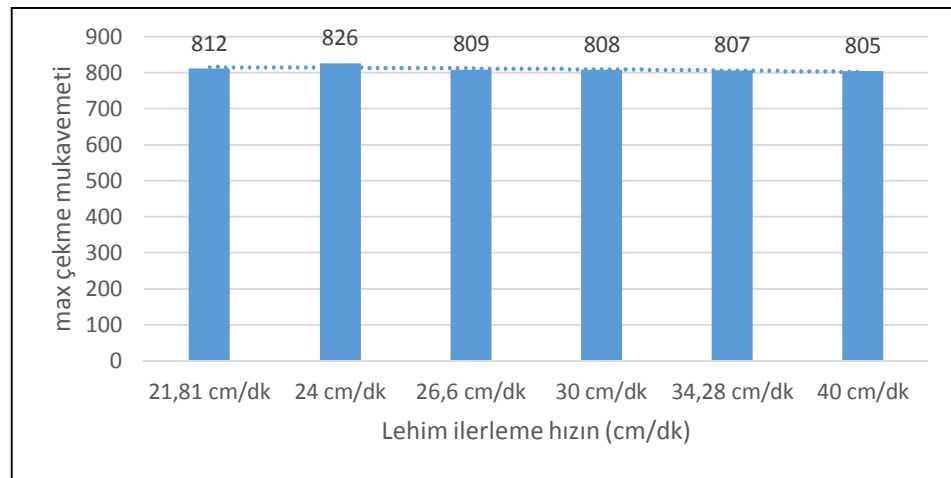
Optimum lehimleme hızı ve bu parametrenin bağlantının mekanik özelliklere olan etkisini irdelemek amacıyla farklı lehim hızları denerek sonuçlar gözlenmiştir.

Tablo 7.7.'de martenzitik 1200M çeliğinin farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti değerleri verilmiştir. Şekil 7.68.'de ise farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen maksimum çekme mukavemetleri verilmiştir.

Tablo 7.7. Farklı lehim hızlarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı [m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
90	4,9	11,8	12	Argon	21,81	0,8	812
90	4,9	11,8	12	Argon	24	0,8	826
90	4,9	11,8	12	Argon	26,6	0,8	809
90	4,9	11,8	12	Argon	30	0,8	808
90	4,9	11,8	12	Argon	34,28	0,8	829
90	4,9	11,8	12	Argon	40	0,8	805

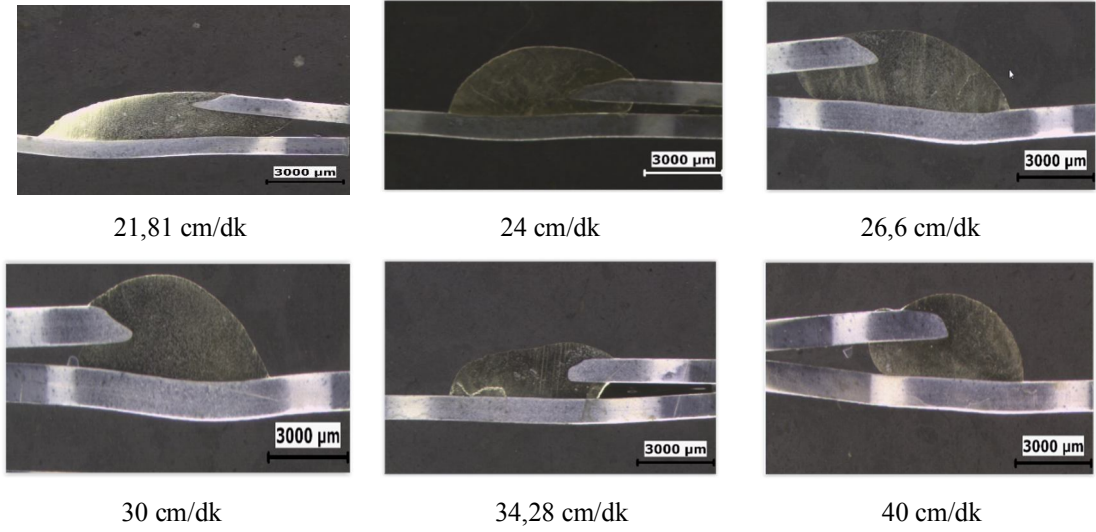
Şekil 7.68.'deki grafik incelendiğinde, lehim ilerleme hızı 21,81 cm/dk'dan 24 cm/dk'ya çıktığında çekme mukavemetinde artış gözlemlenmiştir. Lehim ilerleme hızı 24 cm/dk'dan itibaren arttırıldığında çekme mukavemeti değerlerin düştüğün tespit edilmiştir. Ayrıca grafikten de anlaşıldığı gibi bütün lehim ilerleme hızı numuneleri ITAB bölgesinden kopmuştur.



Şekil 7.68. Farklı lehim hızlarında çekme mukavemetleri grafiği.

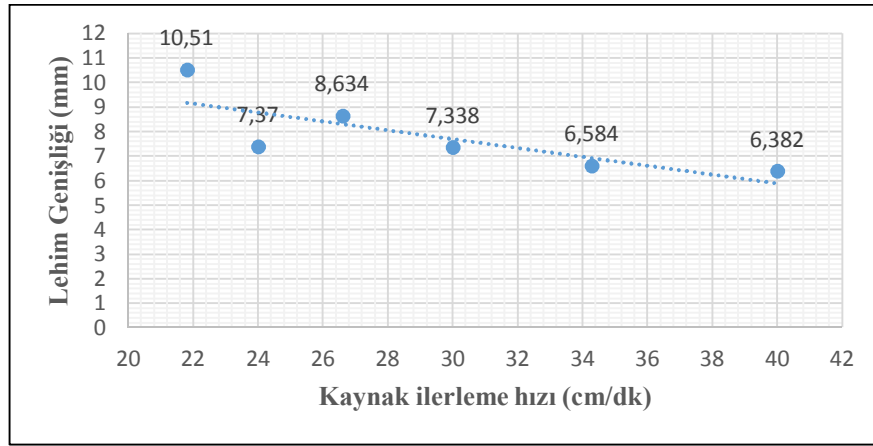
7.2.2.2. Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine etkisi

Lehim ilerleme hızının lehim geometrisine olan etkisini irdelemek amacıyla farklı lehim hızları uygulanan 1200M martenzitik sac numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiş, makro ölçümler alınmıştır. Numunelerin makro görüntüleri Şekil 7.69.'da verilmiştir.



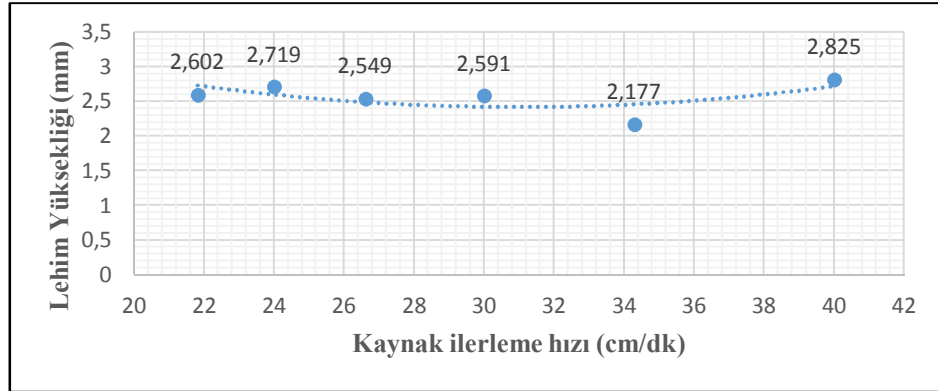
Şekil 7.69. Farklı lehim ilerleme hızlarında makro görüntüleri.

Şekil 7.69.'daki lehim ilerleme hızlarının makro görüntüleri Şekil 7.68.'deki lehim ilerleme hızlarının çekme mukavemeti grafiği beraber irdelendiğinde lehim ilerleme hızı optimum parametresi 24 cm/dk olarak düşünülmektedir.



Şekil 7.70. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.70.'deki farklı lehim ilerleme hızı ve lehim genişliği grafiğindeki eğim çizgisine bakıldığında lehim ilerleme hızı arttıkça lehim genişliği azalmaktadır. Lehimleme hızı lehim genişliği grafiği, mukavemet sonuçlarına göre irdelendiğinde 24 cm/dk'daki mukavemet değeri uygundur. Bu nedenle buradaki lehim genişliği 7,37 mm olarak kabul edilmiştir.



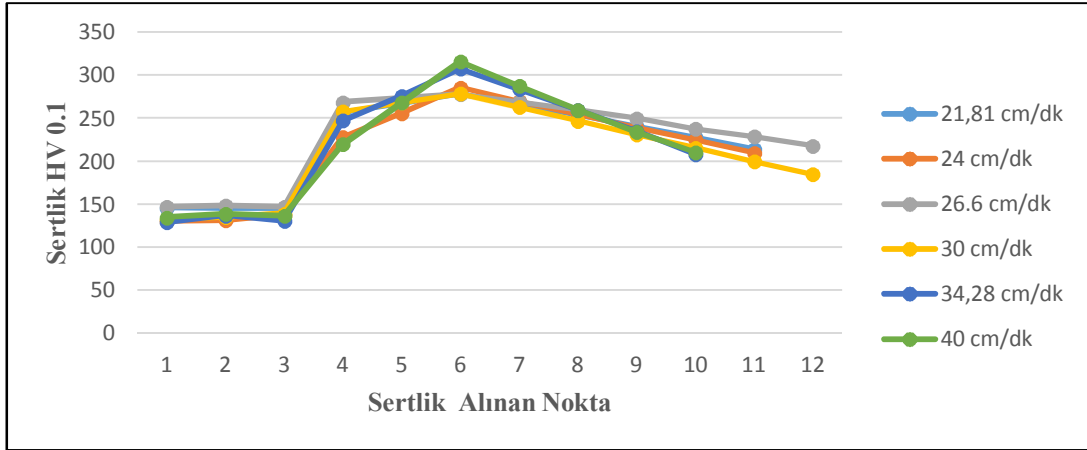
Şekil 7.71. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliği grafiği.

Şekil 7.71.'deki lehim ilerleme hızı ve lehim yüksekliği grafiği incelendiğinde, farklı lehim ilerleme hızlarında lehim yüksekliğinin 2 ila 3 mm aralığında olduğu tespit edilmiştir.

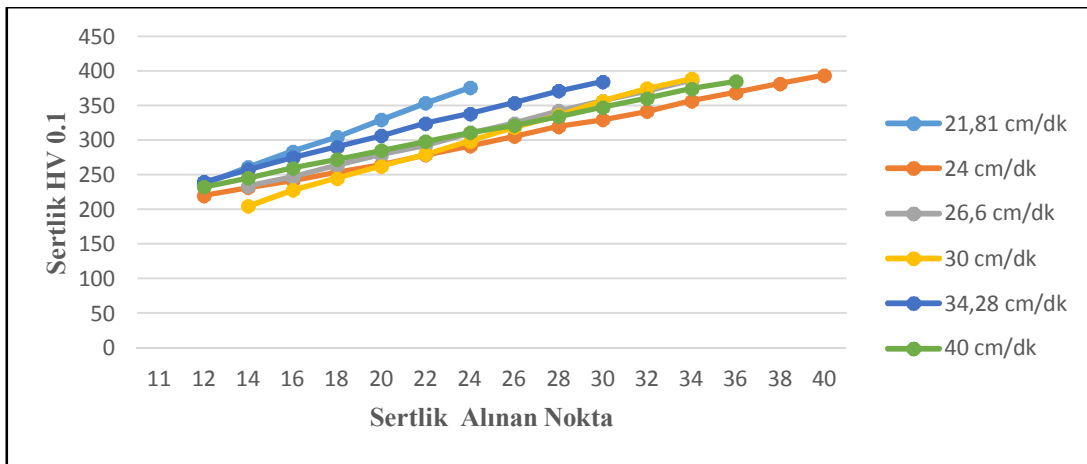
7.2.2.3. Lehim ilerleme hızının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim ilerleme hızlarında elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde itibaren 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.

Farklı lehim ilerleme hızı numunelerin kopma mesafesi ölçüldüğünde, bütün numunelerin 3-4 mm aralığında koptuğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.72. Farklı lehim ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.

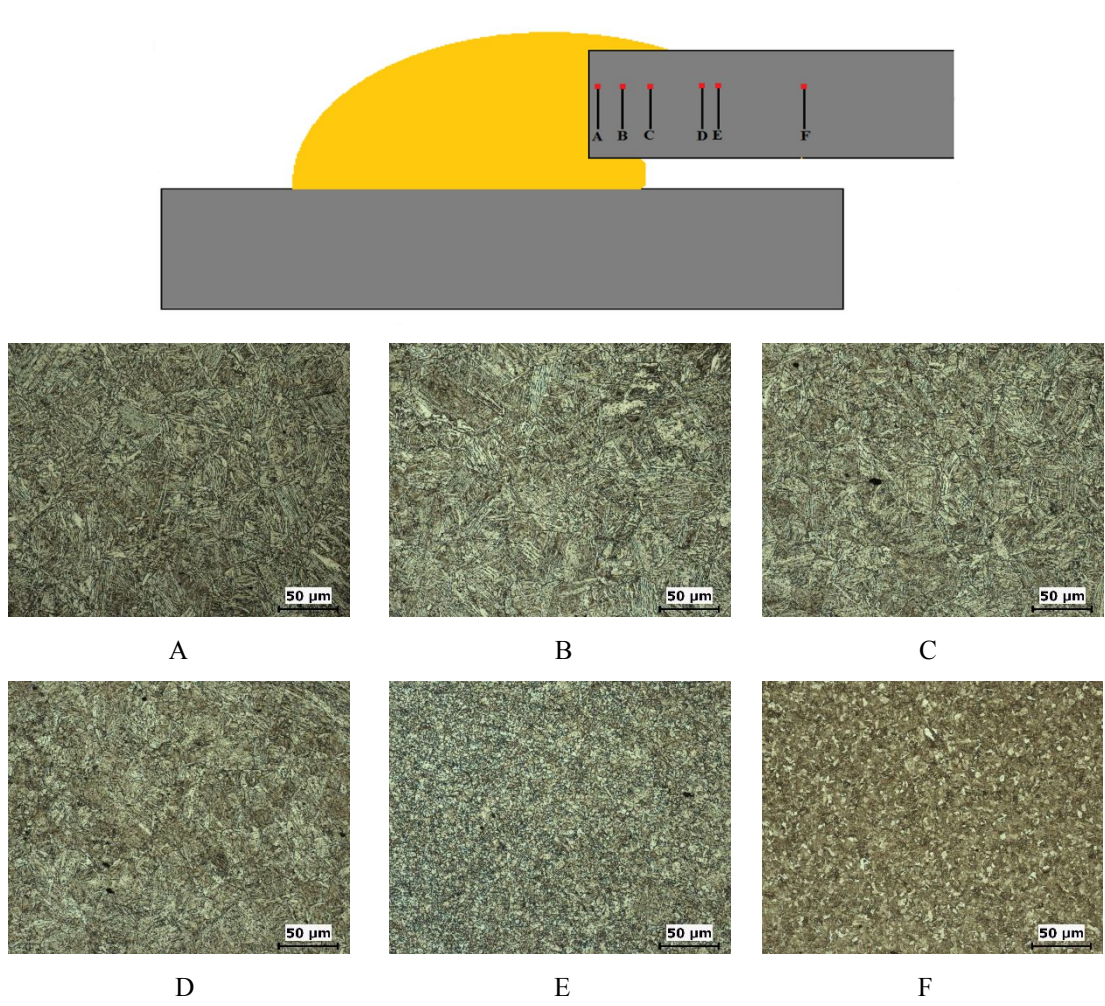


Şekil 7.73. Farklı lehim ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.

Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzeme bölgesidir.

7.2.2.4. Lehim ilerleme hızının mikroyapı özelliklerine etkisi

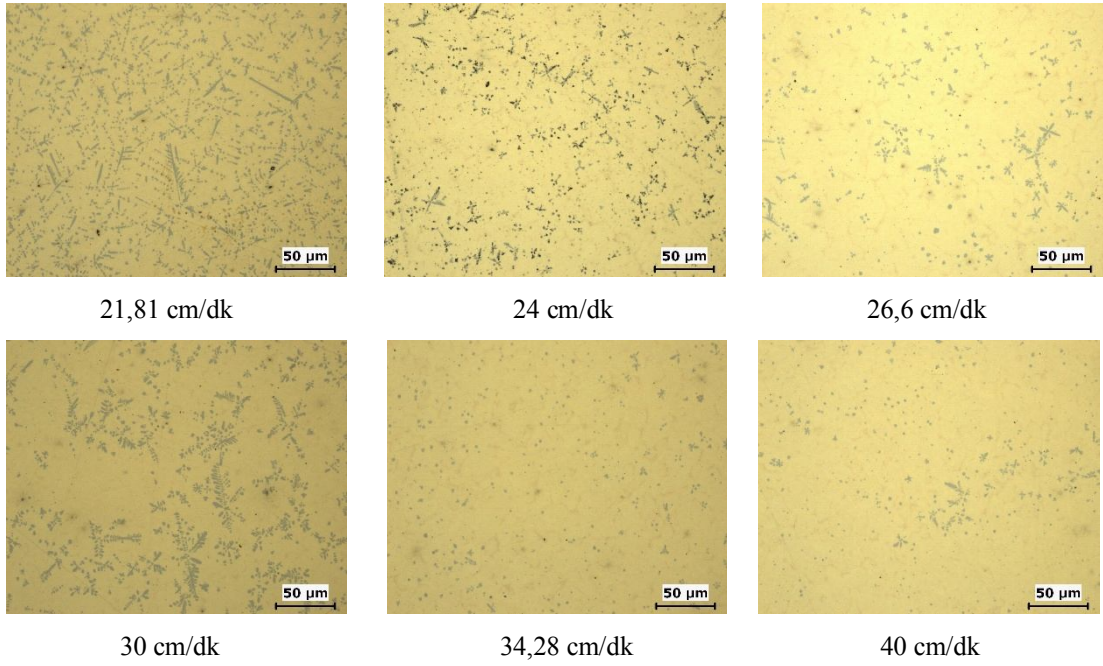
Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.74. 24 cm/dk lehim ilerleme hızında mikroyapı görüntüleri.

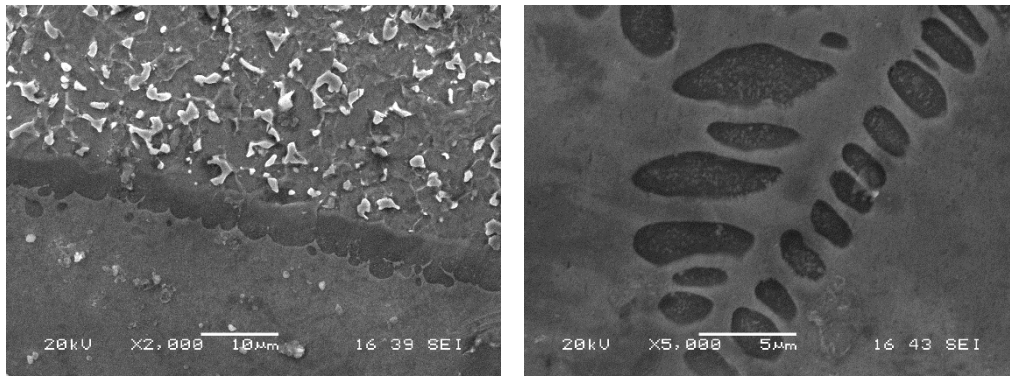
E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 210-239 $HV_{0.1}$ aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 $HV_{0.1}$ üzerinde ölçülmüştür.

Şekil 7.75.'de farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Elde edilen mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, lehim ilerleme hızı arttıkça genel olarak dendritlerin azaltığı gözlemlenmiştir.



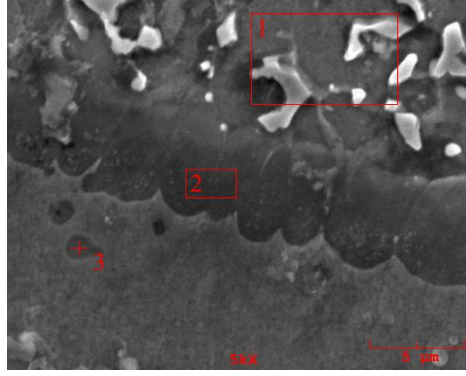
Şekil 7.75. Farklı lehim ilerleme hızlarında lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

Şekil 7.76.'da 24 cm/dk lehim ilerleme hızındaki lehim ara bölgesinin ve lehim bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Dendritlerin oluşmaları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 7.76. 24 cm/dk lehim ilerleme hızında SEM görüntüsü.

24 cm/dk lehim ilerleme hızının ara bölgesinden alınan EDS analizi Şekil 7.77.'de verilmiştir.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)		
	Al	Fe	Cu
1	0,658	98,736	0,606
2	6,683	85,320	7,997
3	7,946	9,449	82,605

Şekil 7.77. 24 cm/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.

7.2.3. Lehim gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi

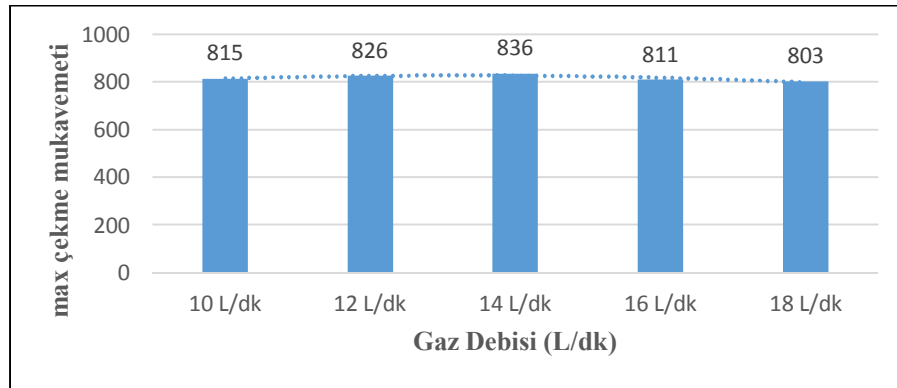
7.2.3.1. Lehim gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 7.8.'de 1200M martenzitik çeliği için farklı koruyucu gaz akış debilerinde uygulanan CMT-lehimleme parametreleri ve elde edilen çekme mukavemeti değerleri verilmiştir. 1200M martenzitik çeliği için CMT-lehimleme bindirme birleştime için optimum akım şiddeti 90A, lehim gerilimi 11,8 V, lehim hızı 24 cm/dk olarak belirlenmiş, farklı koruyucu gaz akış debilerinde bağlantının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Gaz akış debisi argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz kaçaqlarının oluşabileceği ihtimaline göz önünde bulundurularak lehim torcunun ucundan gaz akış debileri ölçülerek lehimleme işlemlerinin tatbiki gerçekleştirilmiştir.

Tablo 7.8. Farklı lehim gaz akış debilerinde lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı [m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
90	4,9	11,8	10	Argon	24	0,8	815
90	4,9	11,8	12	Argon	24	0,8	826
90	4,9	11,8	14	Argon	24	0,8	836
90	4,9	11,8	16	Argon	24	0,8	811
90	4,9	11,8	18	Argon	24	0,8	803

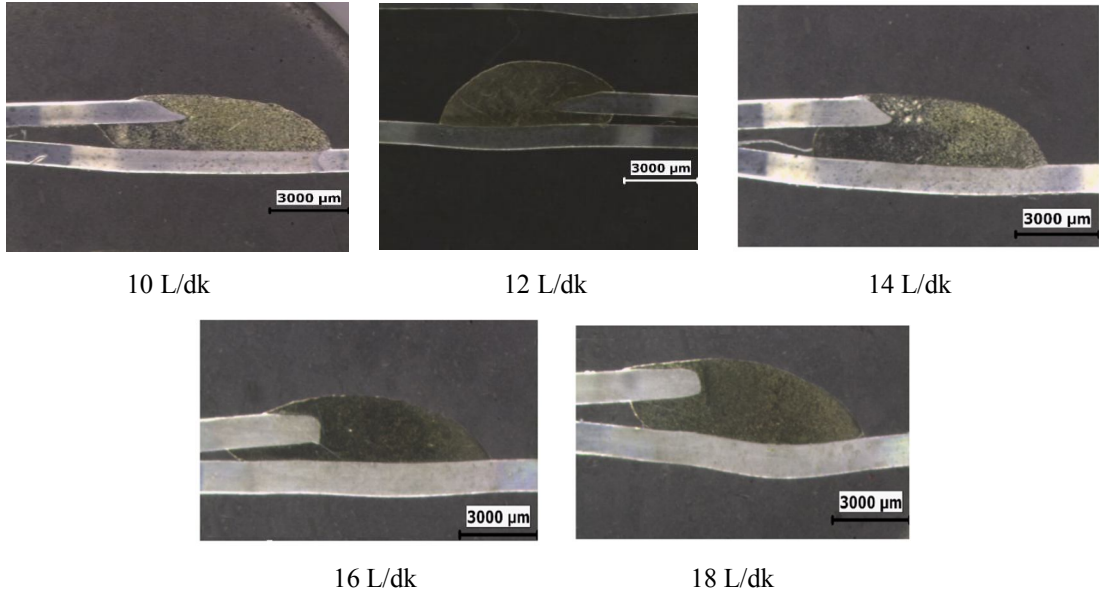
Şekil 7.78.'de farklı lehim gaz akış debisi maksimum çekme mukavemeti grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, en yüksek çekme mukavemeti değerinin 14 L/dk gaz akış debisinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bütün numuneler ITAB bölgesinden kopmuştur.



Şekil 7.78. Farklı lehim gaz debilerinde mukavemetleri grafiği.

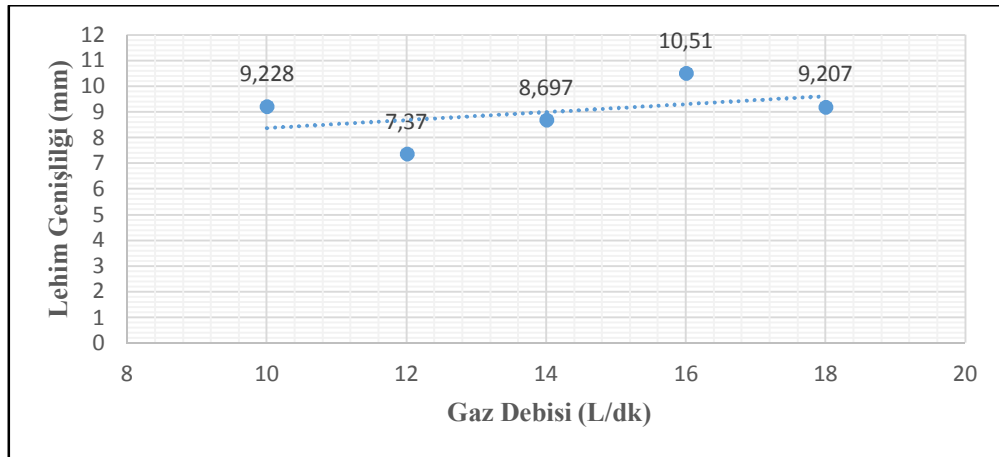
7.2.3.2. Lehim gaz debisinin lehim geometrisine etkisi

Akım şiddetleri, lehim gerilimi ve lehim ilerleme hızlarına göre belirlenen parametrelerden 1200M martenzitik saca en uygun akım şiddeti 90A, lehim gerilimi 11,5V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim gaz akış debisi parametreleri uygulanmış, 1200M martenzitik sac için uygun lehim gaz akış debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 7.79.'da lehim gaz akış debisi parametrelerine göre CMT-lehimlenme uygulanmış numunelerin makro görüntüleri verilmektedir.



Şekil 7.79. Farklı lehim gaz debilerinde makro görüntüleri.

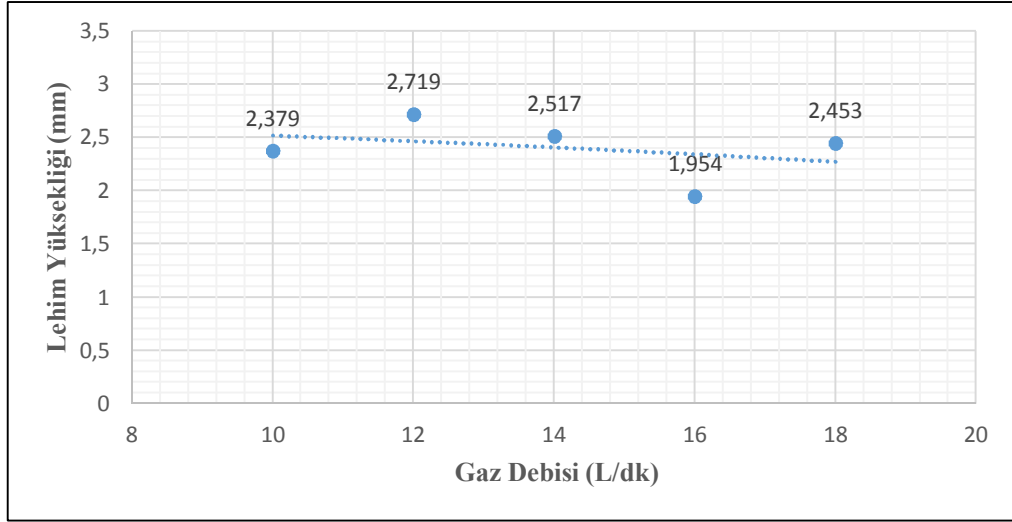
Şekil 7.79.'daki makro görüntüler incelendiğinde, 12 L/dk ve 14 L/dk gaz akış debisinde gerek ıslatabilirliği gerekse ilave telin nüfuziyetinin kabul edilebilir olduğu anlaşılmıştır. Şekil 7.78. ile Şekil 7.79. birlikte irdelendiğinde optimum gaz akış debisi 14 L/dk olacağı düşünülmektedir.



Şekil 7.80. Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.80.'de farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği görülmektedir. Grafikteki eğim çizgisi irdelendiğinde, genel olarak artan gaz akış debisi ile lehim genişliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 7.79.'daki makro görüntüler ile Şekil 7.80.'deki farklı lehim gaz akış debilerinde lehim genişliği grafiği birlikte

incelendiğinde, 10 L/dk ve 16 L/dk gaz akış debisinin eğim çizgisinin üzerinde olma sebebini, ilave telinin ana metaller arasına normalden fazla nüfuz etmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.81. Farklı lehim gaz debilerinde lehim yüksekliği grafiği.

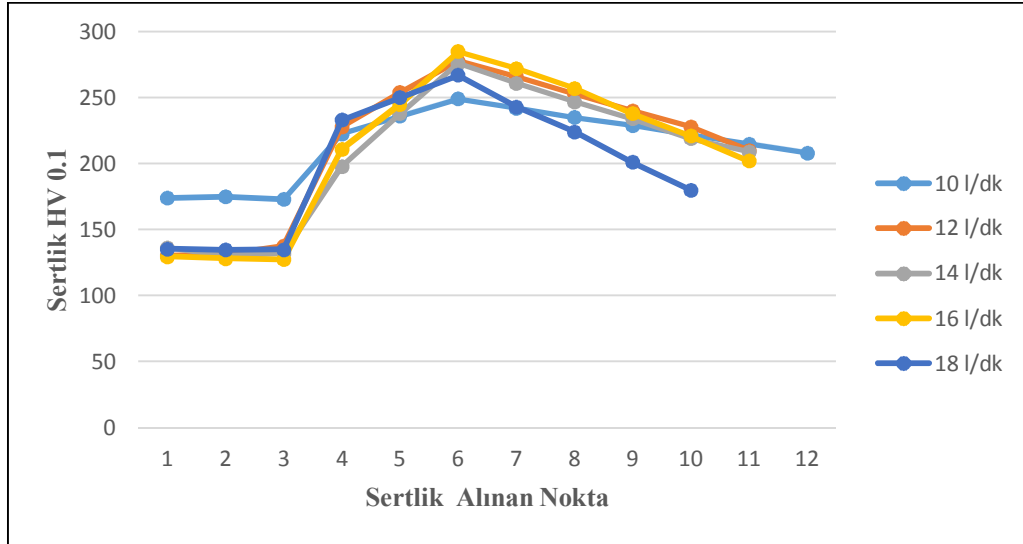
Şekil 7.81.'de farklı lehim gaz akış debilerinde lehim yüksekliği grafiği görülmektedir. Grafikteki eğim çizgisi irdelendiğinde, genel olarak arttan gaz akış debisi ile lehim yüksekliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 7.79.'daki makro görüntüler ile Şekil 7.81.'deki farklı lehim gaz akış debilerinde lehim yüksekliği grafiği birlikte incelendiğinde, 10 L/dk ve 16 L/dk gaz akış debisinin eğim çizgisinin altında olma sebebini, ilave telinin ana metaller arasına normalden fazla nüfuz etmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Şekil 7.80. ile Şekil 7.81.'deki grafik mukavemet sonuçları ile birlikte ayrı ayrı değerlendirildiğinde, lehim kep genişliğinin 7 ila 9 mm aralığında, lehim kep yüksekliğinin ise 2 ila 3 mm aralığında olması gerektiği düşünülmektedir.

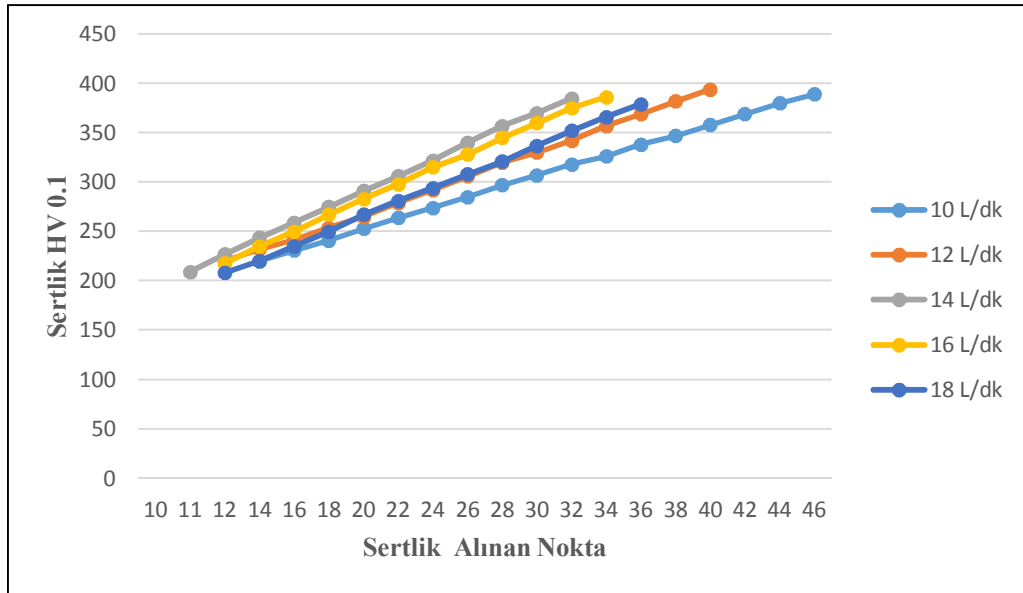
7.2.3.3. Lehim gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı gaz akış debilerinden elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre

için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde itibaren 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.



Şekil 7.82. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.

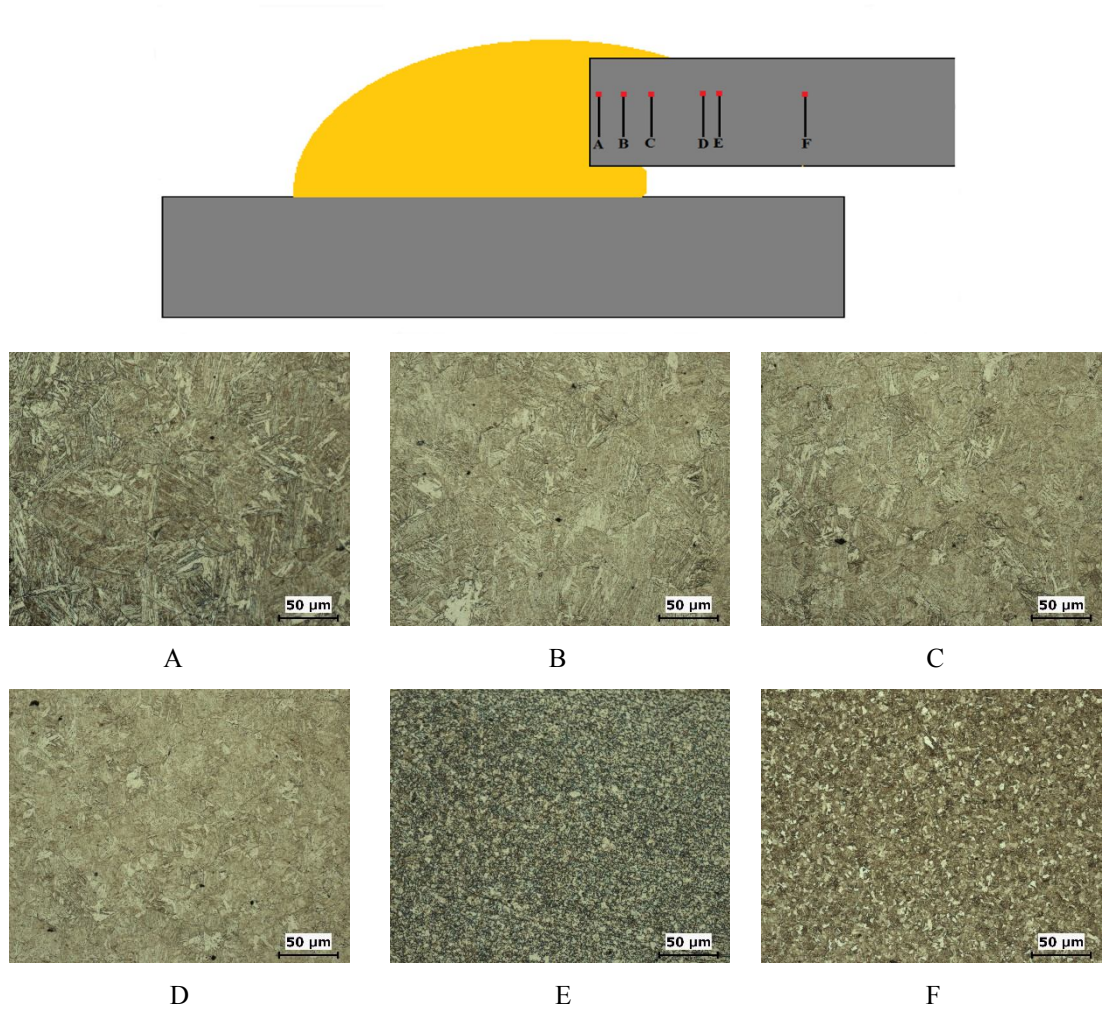


Şekil 7.83. Farklı lehim gaz debilerinde mikro sertlik noktaları.

10, 12, 14 ve 16 L/dk gaz akış debisi numunelerinin kopma mesafesi 3-4 mm aralığında, 18 L/dk gaz akış debisinin ise 2-3 mm alığında kopma mesafesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

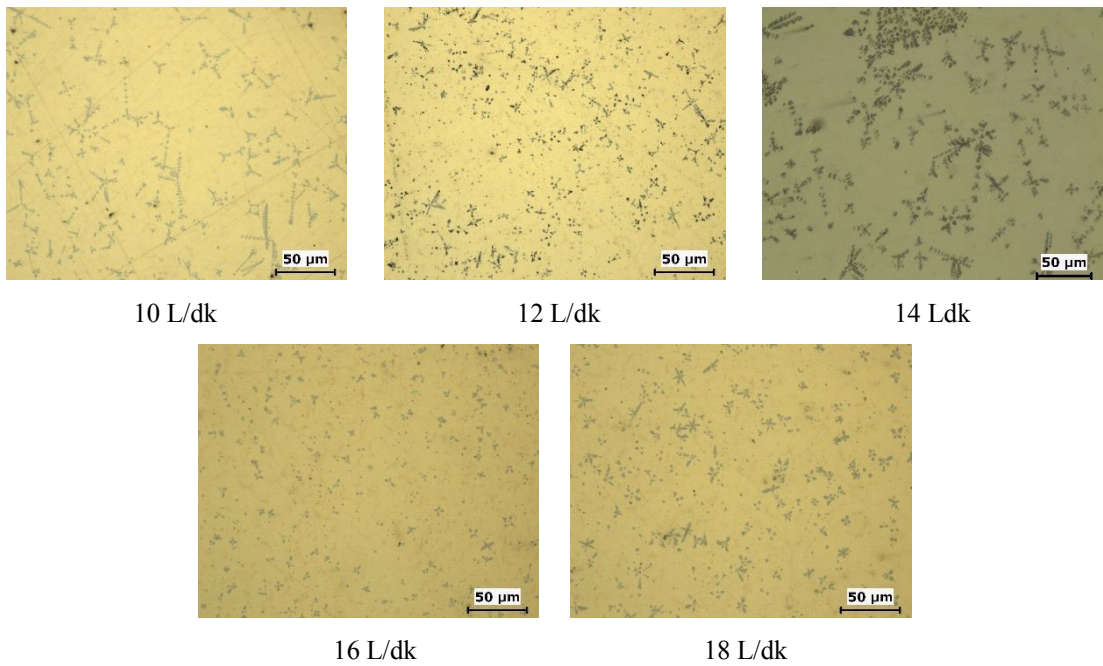
Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzeme bölgesidir.

7.2.3.4. Lehim gaz debisinin mikroyapı özelliklerine etkisi



Şekil 7.84. 14 L/dk lehim gaz debisinde mikroyapı görüntüleri.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 209-234 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

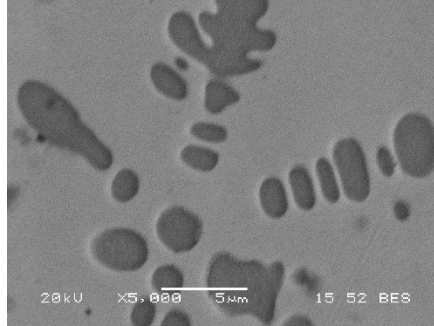


Şekil 7.85. Farklı lehim gaz debilerinde lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

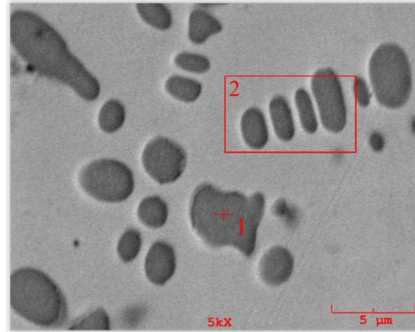
Şekil 7.85.'de farklı lehim gaz debisinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Lehim gaz debisi arttıkça dendritlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 90A, lehim gerilimi 11,8 V ve lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.

Şekil 7.86.'da 14 L/dk lehim gaz debisi, lehim bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Lehimleme gerçekleşirken yükselen ısı girdisi vasıtasıyla ana malzeme yüzeyinden lehim bölgesine uzanan geçiş bölgesinde dendritlerin oluşumları, ana malzemedeki

elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur. Şekil 7.87.'de ise EDS sonuçları verilmiştir.



Şekil 7.86. 14 L/dk lehim gaz debisinde SEM görüntüsü.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	Al	Mn	Fe	Cu
1	8,662	0,231	78,635	12,471
2	9,298	0,359	33,117	57,226

Şekil 7.87. 14 L/dk lehim gaz debisinde EDS analizi.

7.2.4. Lehim aralığının bağlantının özelliklerine etkisi

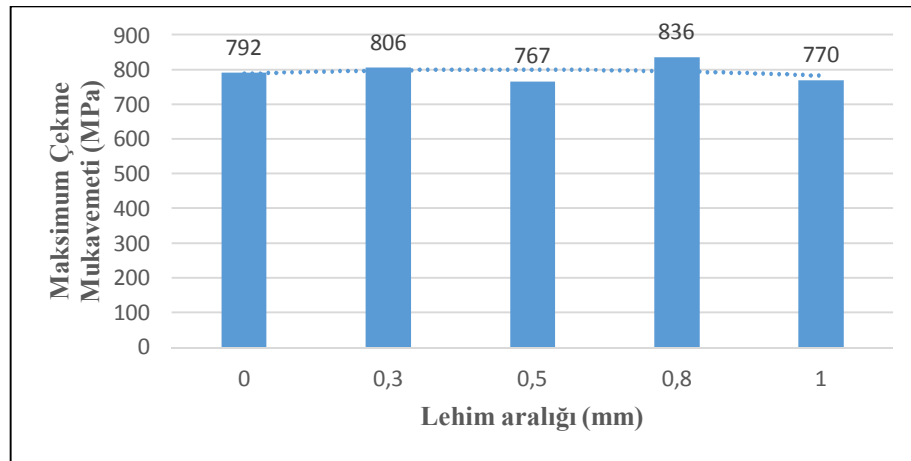
7.2.4.1. Lehim aralığının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Optimum akım şiddeti 90A ve lehim gerilimi 11.8V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, gaz akış debisi 14 L/dk olarak belirlenen 1200M martenzit çeliğinin farklı lehim aralığında maksimum çekme mukavemeti değerlerini irdelemek amacı ile uygulanan lehim parametreleri Tablo 7.9.'da verilmiştir.

Tablo 7.9. Farklı lehim aralıklarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Lehim Akım Şiddeti [A]	Lehim Teli Hızı [m/dk]	Lehim Gerilimi [V]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Lehim Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
90	4,9	11,8	14	Argon	24	0	792
90	4,9	11,8	14	Argon	24	0,3	806
90	4,9	11,8	14	Argon	24	0,5	767
90	4,9	11,8	14	Argon	24	0,8	836
90	4,9	11,8	14	Argon	24	1	770

Şekil 7.88.'de farklı lehim aralıklarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 0 mm lehim aralığında 792 MPa, 0,3 mm lehim aralığında 806 MPa, 0,5 mm lehim aralığında 767 MPa, 0,8 mm lehim aralığında 836 MPa ve 1 mm lehim aralığında 770 MPa maksimum çekme mukavemeti sonuçları elde edilmiştir. Buradaki sonuçlara bakıldığında lehim aralığı 0,8 mm de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlemlenmiştir. Çekme deneylerinde, 0, 0,3, 0,5, 0,8 ve 1 mm aralıklarındaki numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu gözlemlenmiştir.

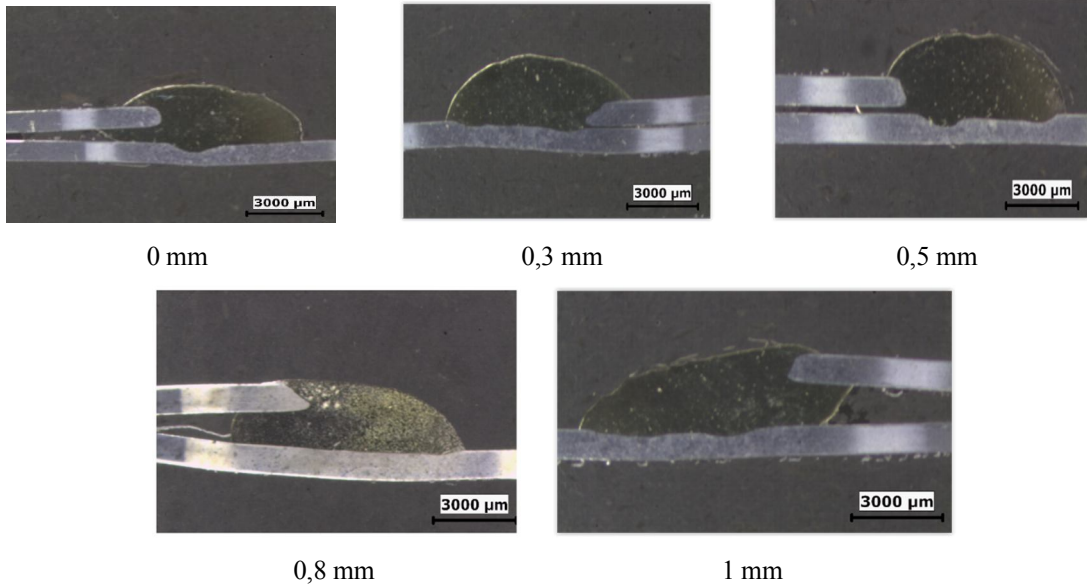


Şekil 7.88. Farklı lehim aralıklarında çekme mukavemetleri grafiği.

7.2.4.2. Lehim aralığının lehim geometrisine etkisi

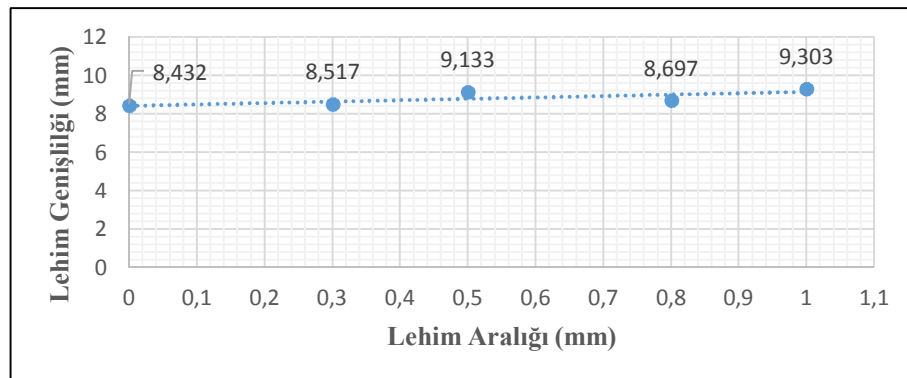
Akım şiddetleri, lehim ilerleme hızları, lehim gerilimi ve lehim gaz akış debilerine göre belirlenen parametrelerden 1200M martenzitik saca en uygun akım şiddeti 90A, lehim gerilimi 11.8V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk ve lehim gaz akış debisi 14 L/dk

olarak belirlenerek, bir diğ er parametre olan lehim aralığı parametreleri uygulanmış, 1200M martenzitik sac için uygun lehim aralığı belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 7.89.'da farklı lehim aralığı parametrelerine göre CMT-lehimlenme uygulanmış numunelerin makroyapı görüntüleri verilmektedir.



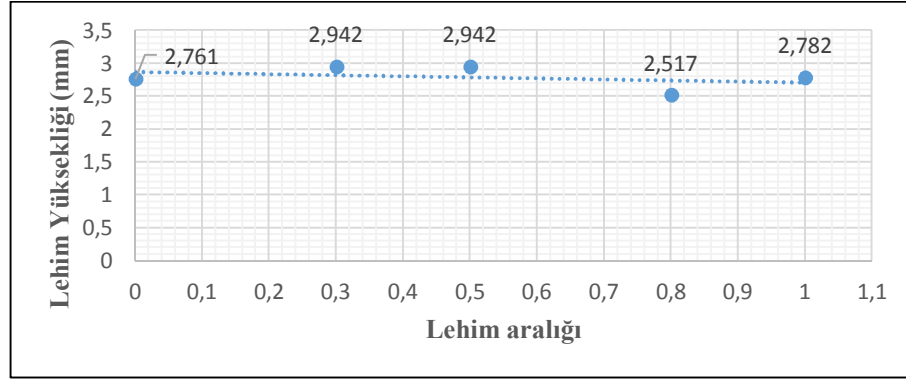
Şekil 7.89. Farklı lehim aralığında makro görüntüleri.

0, 0,3, 0,5 ve 1 mm lehim aralığında makro görüntülerinden ısı girdisinin fazla olmasından dolayı, ana malzemede ergimenin gerçekleştiği belirlenmiştir. Makro görüntüler mukavemet sonuçları ile birlikte incelendiğinde, optimum lehim aralığının 0,8 mm olacağı düşünülmektedir.



Şekil 7.90. Farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.90.'daki farklı lehim aralığında lehim genişliği grafiği incelendiğinde, lehim aralığı arttıkça lehim kepi genişliği neredeyse aynı kaldığı, mukavemet sonuçları ile birlikte incelendiğinde lehim kepi genişliğinin 8 ila 9 mm aralığında olması gerektiği düşünülmektedir.



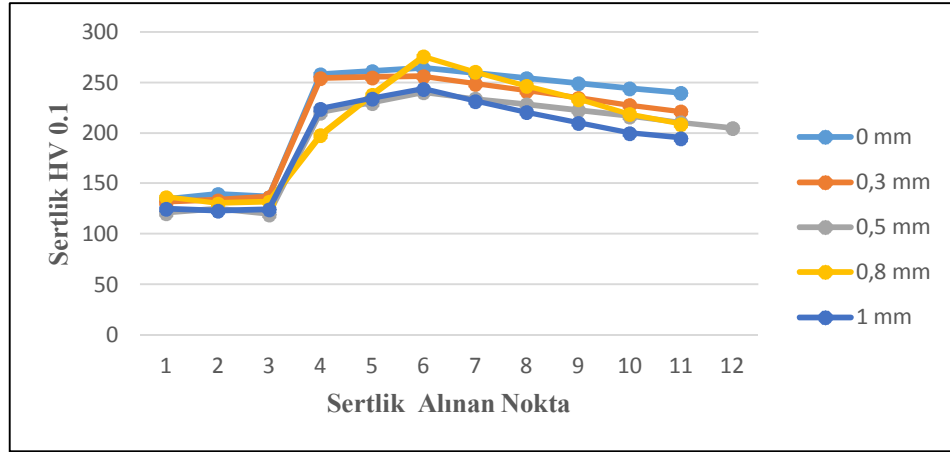
Şekil 7.91. Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği.

Farklı lehim aralığında lehim yüksekliği grafiği şekil 7.91.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, lehim aralığının artması lehim kepi yüksekliğini çok az oranda düşürdüğü, lehim kepi yüksekliğinin 2 ila 3 mm aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

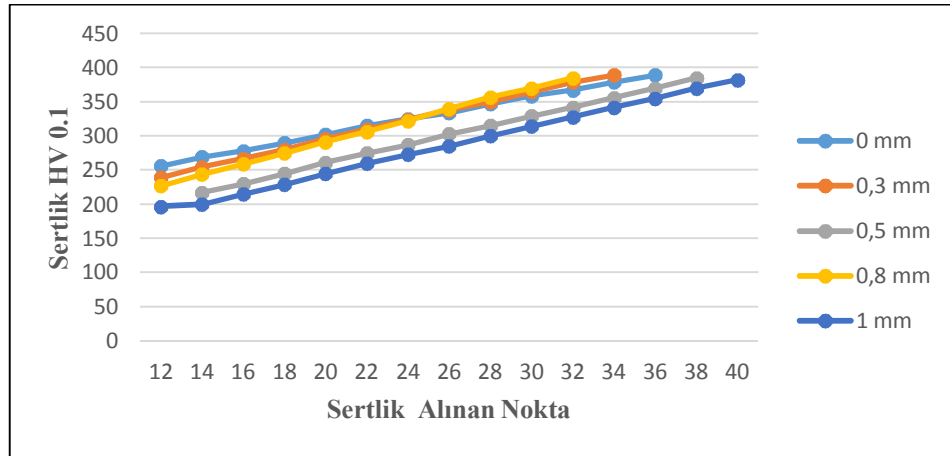
7.2.4.3. Lehim aralığının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim aralıklarından elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde itibaren 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.

Farklı lehim aralığı numunelerinin kopma mesafeleri ölçüldüğünde bütün numunelerin 3-5 mm aralığında koptuğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.92. Farklı lehim aralıklarında mikro sertlik noktaları.



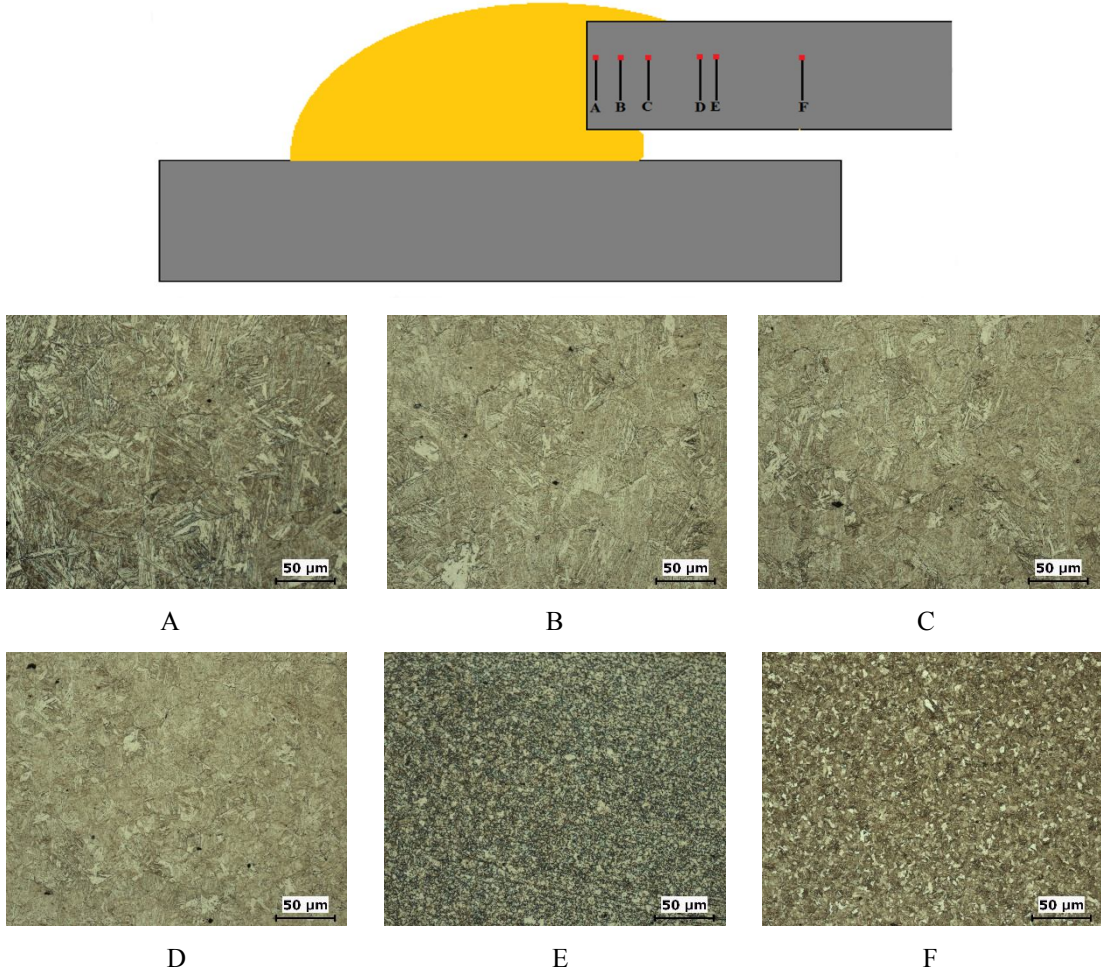
Şekil 7.93. Farklı lehim aralığında mikro sertlik noktaları.

Grafiklerden anlaşıldığı üzere sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzeme bölgesidir.

7.2.4.4. Lehim aralığının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

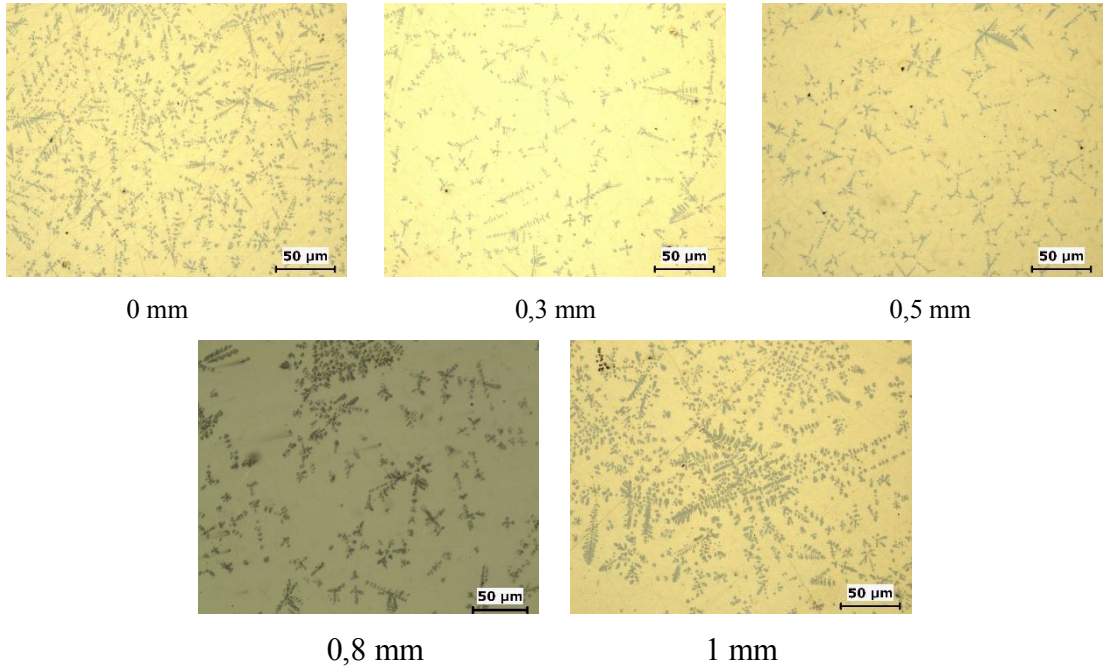
Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 209-234 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit

oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.



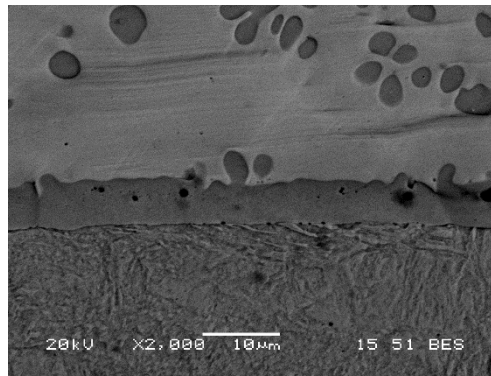
Şekil 7.94. 0.8 mm lehim aralığında mikroyapı görüntüleri.

Şekil 7.95.'de farklı lehim aralıklarda CuAl8 ilave metali ile lehimlenen bölgenin mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde, yoğun dendritler görülmüştür. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 90A, lehim gerilimi 11,8 V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk ve gaz akış debisininin 14 L/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.



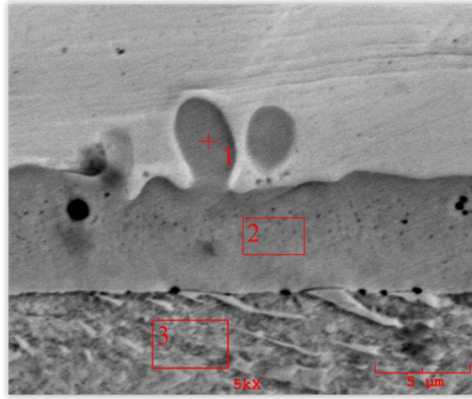
Şekil 7.95. Farklı lehim aralıklarındaki lehim bölgesi mikroyapı görüntüleri.

0.8 mm lehim aralığı, ara bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 7.96'da verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayılımı yoluyla oluşmuştur.



Şekil 7.96. 0.8 mm lehim aralığı SEM görüntüsü.

0.8 mm lehim aralığı ara bölgesinden alınan EDS analizi Şekil 7.97.'de verilmiştir.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	Al	Mn	Fe	Cu
1	7,094	0,243	80,997	11,665
2	5,216	0,529	86,179	8,026
3	0	1,098	98,902	0

Şekil 7.97. 0.8 lehim aralığında EDS analizi.

7.2.5. Lehim torç açısının bağlantının özelliklerine etkisi

7.2.5.1. Lehim torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

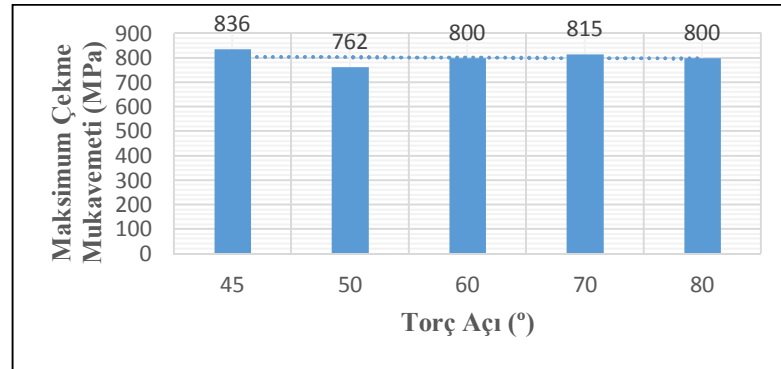
1200M martenzit çeliğinin optimum akım şiddeti 90A ve lehim gerilimi 11.8V, lehim hızı 24 cm/dk, gaz akış debisi 14 L/dk ve lehim aralığı 0.8 mm olarak belirlenmiştir. Optimum torç açısını ve torç açısının mekanik özelliklere olan etkisini belirlemek amacıyla çeşitli parametrelerde CMT-lehimleme uygulaması yapılmıştır.

Tablo 7.10.'da 1200M martenzit çeliğinin farklı torç açılarında lehim parametreleri ve elde edilen maksimum çekme mukavemeti değerleri verilmiştir. CMT-lehimleme makinesinin torcu sekatöre sabitleyici aparatlar vasıtası ile sabitlendikten sonra farklı torç açılarında lehim işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 7.10. Farklı lehim torç açılarında lehim parametreleri ve çekme mukavemetine etkileri.

Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Teli Hızı [m/dk]	Gaz Debisi [L/dk]	Kullanılan Gaz	Kaynak Hızı [cm/dk]	Lehim Aralığı [mm]	Torç Açısı (Derece)	Maksimum Çekme Mukavemeti [MPa]
90	4,9	14	Argon	24	0,8	45	836
90	4,9	14	Argon	24	0,8	50	762
90	4,9	14	Argon	24	0,8	60	800
90	4,9	14	Argom	24	0,8	70	815
90	4,9	14	Argon	24	0,8	80	800

Şekil 7.98.'de farklı lehim torç açılarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 45° lehim torç açısında 836 MPa, 50° lehim torç açısında 762 MPa, 60° lehim torç açısında 799 MPa, 70° lehim torç açısında 815 MPa ve 80° lehim torç açısında 800 MPa çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Ayrıca bütün numuneler ITAB bölgesinden kopmuştur. Bu bilgiler değerlendirildiğinde, optimum lehim torç açısı değeri 45° olacağı düşünülmektedir.

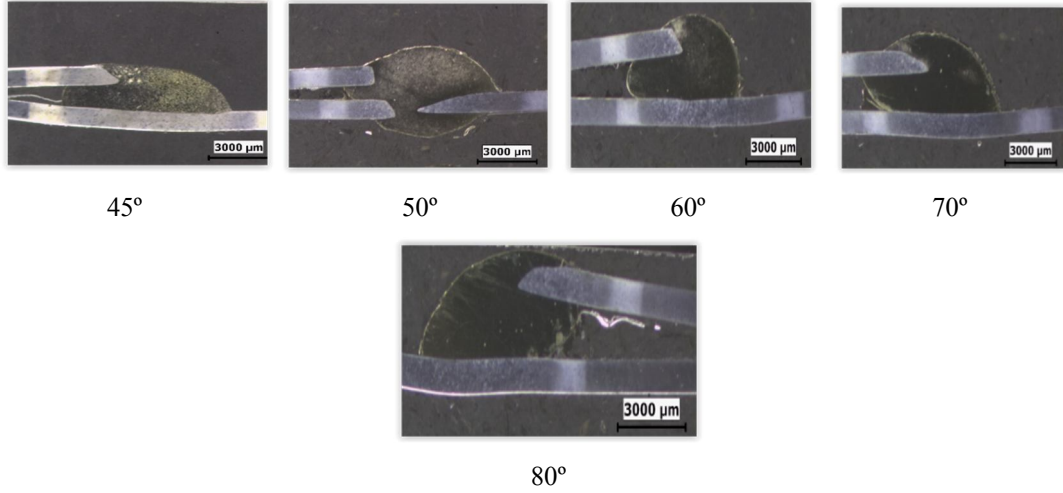


Şekil 7.98. Farklı lehim torç açılarında çekme mukavemetleri grafiği.

7.2.5.2. Lehim torç açısının lehim geometrisine etkisi

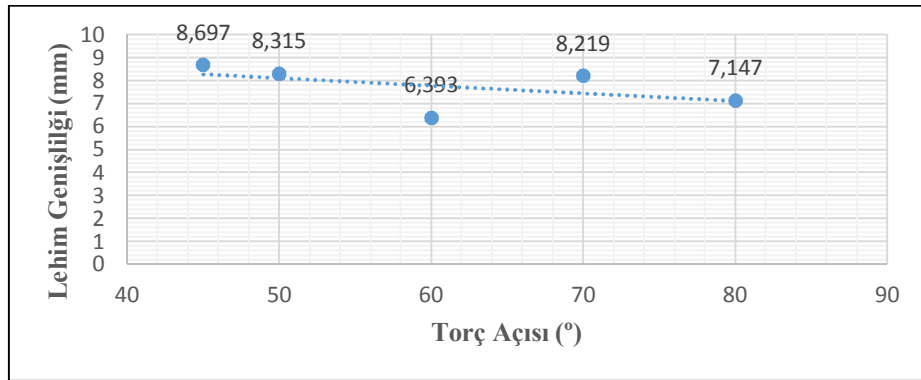
Akım şiddetleri, lehim ilerleme hızları, lehim gaz akış debileri ve lehim aralıklarına göre belirlenen parametrelerden 1200M martenzitik saca en uygun akım şiddeti 90A, lehim gerilimi 11,8V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz akış debisi 14 L/dk ve lehim aralığı 0.8 mm olarak belirlenerek, bir diğer parametre olan lehim torç açısı parametreleri uygulanmış, 1200M martenzitik sac için uygun lehim torç açısı

belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 7.99.'da lehim torç açısı parametrelerine göre CMT-lehimlenme uygulanmış numunelerin makroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 7.99. Farklı lehim torç açılarında makro görüntüleri.

Şekil 7.99.'daki makro görüntüler incelendiğinde, 45°, 50°, 60°, 70° ve 80° lehim torç açılarının lehim ilave telinin ısılatma özelliklerinin kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir. Fakat 50° lehim torç açısı makro görüntüsünden ısı girdisi fazla olduğu, lehimlenen numunede ana malzemede ergime meydana geldiği tespit edilmiştir.

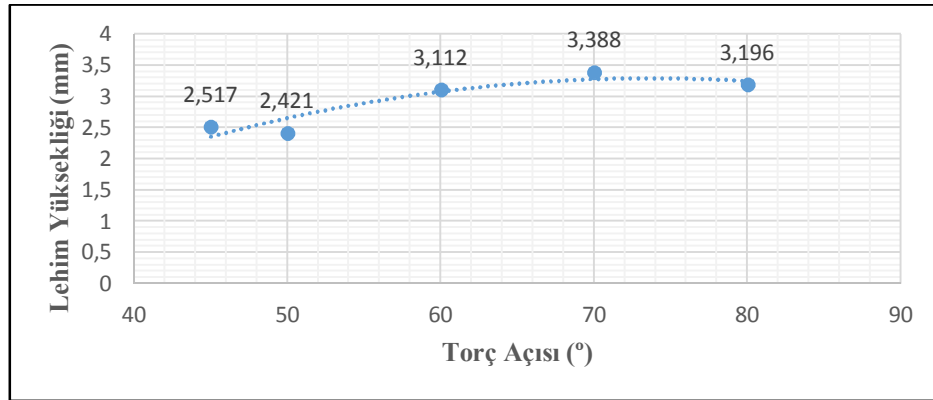


Şekil 7.100. Farklı lehim torç açılarında lehim genişliği grafiği.

Şekil 7.100.'de lehim torç açısı ve lehim genişliği grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde, lehim torç açısı arttığında lehim genişliğinde azalma gözlemlenmiştir. 60° lehim torç açısının lehim genişliğinde meydana gelen bu düşüşü Şekil 7.99.'daki

makro görüntüsü ile birlikte irdelendiğinde lehim ilave metalin diğerlerine oranla daha az ısıttığından dolayı gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

Şekil 7.101.'de lehim torç açısı ve lehim yüksekliği grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde, lehim torç açısının artması lehim kep yüksekliğini çok az oranda yükseltmiştir. Torç açısının, lehim genişliği ve lehim yüksekliği üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

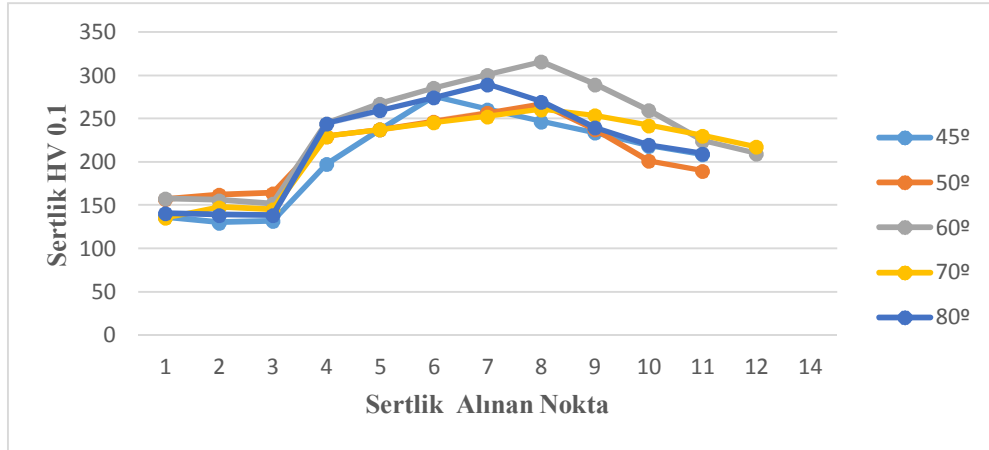


Şekil 7.101. Farklı lehim torç açılarında lehim yüksekliği grafiği.

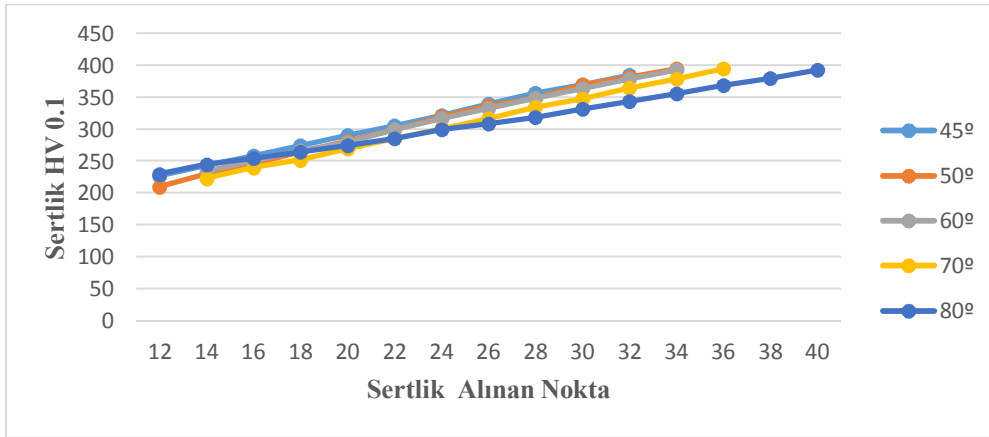
7.2.5.3. Lehim torç açısının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı lehim torç açılarından elde edilen bağlantıların mikro sertlik ölçümleri grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Her parametre için iki ayrı sertlik dağılımı grafiği oluşturulmuştur. Birinci grafik lehim bölgesinden malzemenin en düşük sertliğine kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. İkinci grafik ise malzemenin en düşük sertlik değerinden ana malzemeye kadar olan sertlik dağılımlarından oluşmaktadır. Sıra sertlikler lehim bölgesinde itibaren 0,5 mm alınmıştır.

Farklı lehim torç açısı numunelerinin kopma mesafeleri ölçüldüğünde, bütün numunelerin 3-5 mm aralığında kopma mesafelerine sahip oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 7.102. Farklı lehim torç açılarında mikro sertlik noktaları.



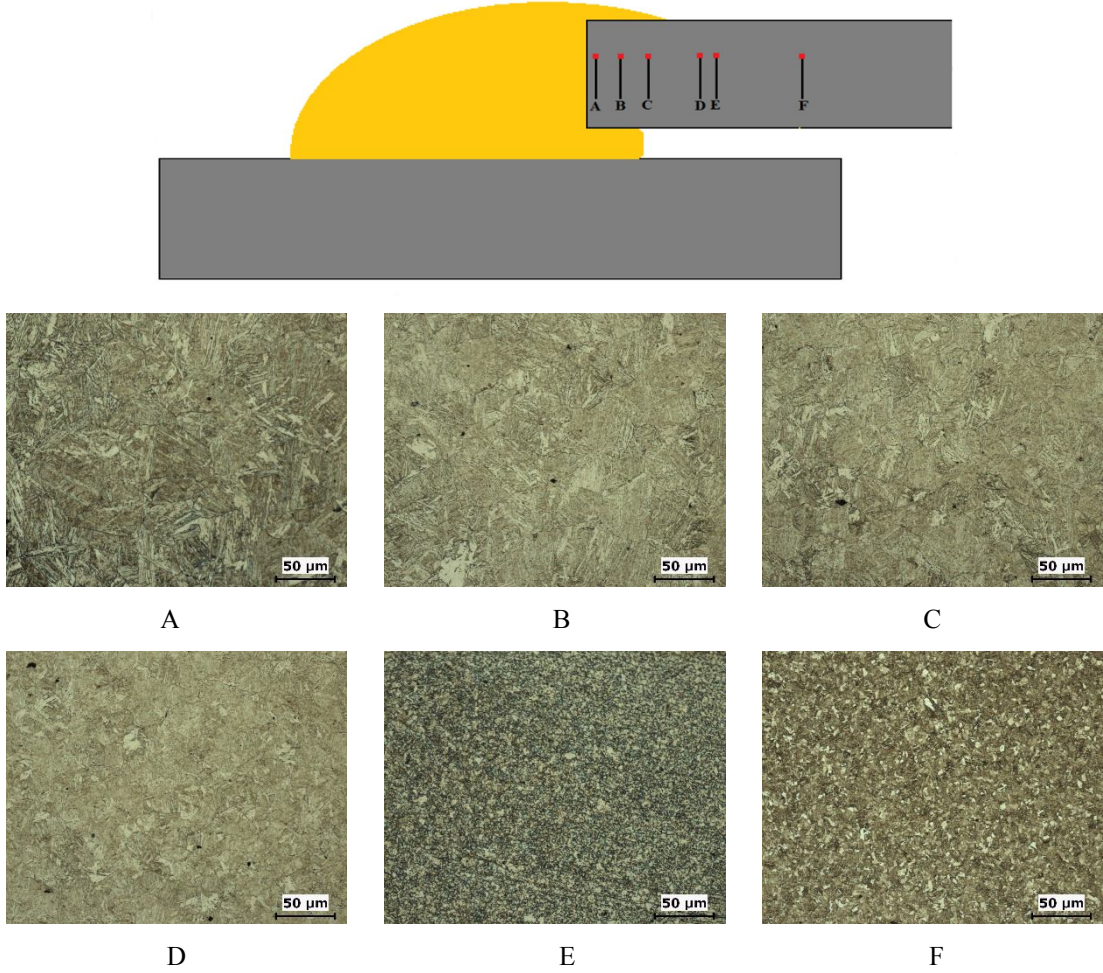
Şekil 7.103. Farklı lehim torç açılarında mikro sertlik noktaları.

Grafikler incelendiğinde, sertliği en düşük olan noktalar CuAl8 ilave telinin olduğu lehimlenmiş olan bölge daha sonra ITAB ve sertliğin en yüksek olduğu ana malzeme bölgesidir.

7.2.5.4. Lehim torç açısının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

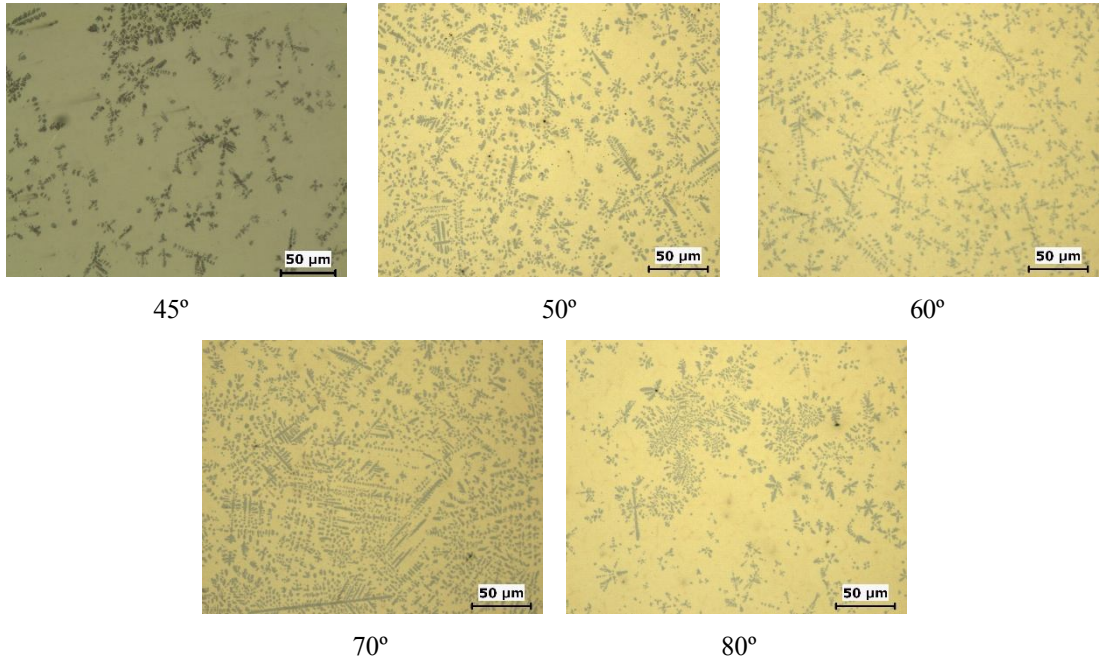
Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 209-234 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit

oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.



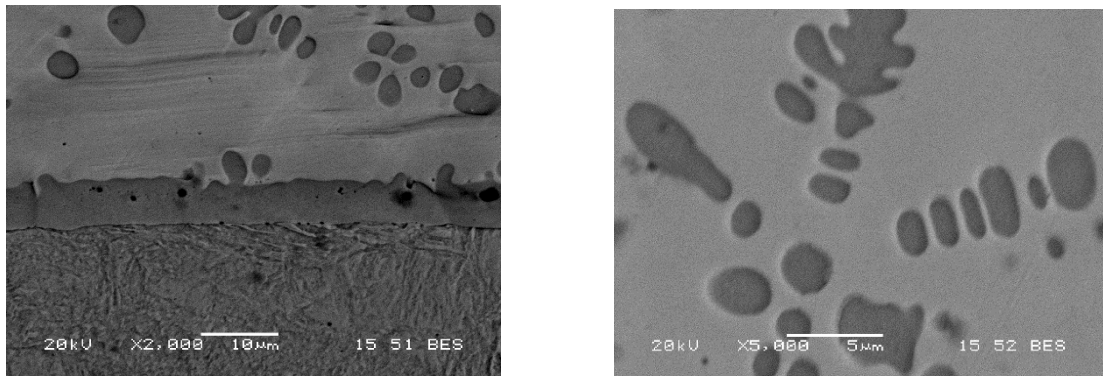
Şekil 7.104. 45° lehim torç açısında mikroyapı görüntüleri.

Şekil 7.105.'deki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, 45° lehim torç açısından 70° lehim torç açısına kadar dendritlerin arttığı, 80° lehim torç açısında ise azalmalar meydana gelmiştir.



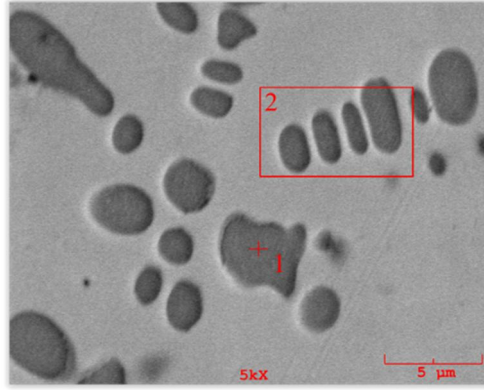
Şekil 7.105. Farklı torç açılarında ara bölge mikroyapı görüntüleri.

45° lehim torç açısının, ara ve lehim bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 7.106.'da verilmiştir. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerin lehim bölgesine atomsal yayınımla yoluyla oluşmuştur.



Şekil 7.106. 45° torç açısında SEM görüntüleri.

45° lehim torç açısının lehim bölgesinden alınan EDS analizleri Şekil 7.107.'de verilmiştir.



Alınan Nokta	Element (Ağırlıkça %)			
	Al	Mn	Fe	Cu
1	8,662	0,231	78,635	12,471
2	9,298	0,359	33,117	57,226

Şekil 7.107. 45° torç açısında lehim bölgesi EDS analizi.

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada 1 mm kalınlığa sahip 1200M martenzitik çelik saclar CMT-lehimleme yöntemi kullanılarak bakır esaslı bir tel olan CuAl8 teli ile birleştirilmiştir. Numuneler iki farklı bağlantı biçimi olan alın ve bindirme bağlantılar olarak hazırlanmıştır. CMT-lehimleme alın ve bindirme birleştirme için beş farklı parametrede, akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz akış debisi, lehim aralığı ve torç açısı olarak uygulanmış ve incelenmiştir. CMT-lehimlenen malzemelerin mukavemet özellikleri, bağlantı bölgesi arasındaki mikro sertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı incelemelerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz basıncı, lehim aralığı, torç açısı ve lehimlenen bağlantı bölgesi ve 1200M martenzitik çeliği arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikro sertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır. Çalışmalarda kullanılan 1 mm kalınlığa sahip 1200M martenzitik çeliği ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkarılan öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. 1200M martenzitik çeliğinin alın altına CMT-lehimlenmesinde, 40 ve 50A akım şiddetinde lehim bölgesinden, 60, 65, 70, 80, 90, 95A akım şiddetlerinde çekilen numuneler ITAB bölgesinden kopmuştur. 65A akım şiddetinde, 820 MPa çekme mukavemeti değeri ile en yüksek çekme mukavemeti elde edilmiştir.

40 ve 50A akım şiddetlerinde nüfuziyetin yetersiz olduğu, 60A akım şiddetinde nüfuziyette artış olsa da ıslatmanın düşük olduğu gözlemlenmiştir. 65A akım şiddetinde hem nüfuziyetin hem de ıslatabilirliğin iyi olduğu tespit edilmiştir.

70, 80, 90 ve 95A akım şiddetlerinde ise lehim köklerinde aşırı nüfuziyetler gözlemlenmiştir.

40, 50 ve 60A akım şiddeti uygulanan bağlantıların lehim ıslatma açıları 80° 'nin üstündedir. 65A akım şiddetinde lehim ıslatma açısı 58.745° iken 95A akım şiddetinde 38.575° 'ye kadar ıslatma açısının düştüğü tespit edilmiştir. Akım şiddeti arttıkça, ıslatma açısı ve lehim kep yüksekliği azalmakta lehim kep genişliği ise artmaktadır.

40, 50, 60A akım şiddeti uygulanan bağlantıların lehim kepi genişliği 5 mm' nin altında, lehim yükseklikleri ise 2 mm' nin altındadır. Lehim kepi genişliği 65A ve üzeri akım şiddetlerinde 5 mm üzerinde, lehim yükseklikleri ise 2 mm' nin altındadır. Bu durum mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde lehim kepi genişliğinin 5 mm ve üzerinde, lehim yüksekliğinin 2 mm ve altında olması gerektiği düşünülmektedir.

Ana metalin, lehim bölgesi ile birleştiği noktadan itibaren alınan kopma mesafesi ölçümleri değerlendirildiğinde, 60A akım şiddetinde 4-5 mm aralığında olan kopma mesafesi, 65A akım şiddetine çıkıldığında 5-6 mm aralığına kadar çıktığı tespit edilmiştir. 40, 50, 60 ve 65A akım şiddetlerinin sertlik dağılımları incelendiğinde artan akım şiddetine bağlı olarak ITAB bölgesinin genişlediği anlaşılmıştır.

70, 80, 90 ve 95A akım şiddetlerinin kopma mesafeleri incelendiğinde 4-6 mm aralığında kopma mesafelerine sahip oldukları tespit edilmiştir. 80A akım şiddetinden itibaren 95A akım şiddetine çıkıldığında lehim bölgesinin, artan ısı girdisi ile birlikte ana malzemede ergimenin gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Yapılan mikro yapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. F

noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 225-240 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metali ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, akım şiddeti arttıkça dendritlerin oluşumları da artmıştır. Dendritlerin oluşumları ana malzemedeki elementlerinin lehim bölgesine difüzyonu ile oluşmuştur. 1200M martenzitik çeliğinin alın alına CMT-lehimlenmesinde uygulanacak en uygun akım şiddeti değerinin 65A olduğu düşünülmektedir.

2. 1200M martenzitik çeliğinin alın alına CMT-lehimlenmesinde, farklı lehim ilerleme hızları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, en yüksek maksimum çekme mukavemeti değeri 21.81 cm/dk lehim ilerleme hızından elde edilmiştir.

21.81 cm/dk ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarının ıslatma kabiliyetlerinin iyi olduğu makro görüntülerden tespit edilmiştir.

21 cm/dk ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarında ıslatma açılarının 60°'nin altında, diğer lehim ilerleme hızlarının ise 60°'nin üstünde olduğu ve lehim ilerleme hızı arttıkça ıslatma açılarının da arttığı tespit edilmiştir.

Lehim ilerleme hızı arttıkça, lehim kepi genişliği azalmaktadır. 21.81 ve 24 cm/dk lehim ilerleme hızlarında lehim kep genişliği 5 mm üzerinde, 26,6, 30, 34,28 ve 40 cm/dk lehim ilerleme hızlarında ise lehim kep genişliği 5 mm'nin altındadır. Lehim kep yüksekliği ise bütün numunelerde 2 mm'nin altındadır. Bu durum mukavemet değerleri ile beraber irdelendiğinde lehim kep genişliğinin 5 mm'nin üstünde, lehim kep yüksekliğinin ise 2 mm'nin altında olması gerektiği düşünülmektedir.

24 cm/dk lehim ilerleme hızında kopma mesafesi 5-6 mm aralığında değişirken, 40 cm/dk lehim ilerleme hızı hariç diğer lehim ilerleme hızlarında kopma mesafesi 3 ila 5 mm aralığında değişmiştir.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 217-235 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı lehim ilerleme hızlarında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinde yoğun dendritler görülmüştür. Bunun sebebi ise optimum akım şiddeti değeri 65A olmasıdır. 1200M martenzitik çeliğinin alın alına CMT-lehimlenmesinde uygulanacak en uygun lehim ilerleme hızı değerinin 21.81 cm/dk olduğu düşünülmektedir.

3. 1200M martenzitik çeliğinin alın alına CMT-lehimlenmesinde, farklı gaz akış debilerinden, elde edilen maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 10 L/dk gaz akış debisinden 12 L/dk gaz akış debisine çıktığında mukavemetin arttığı, 12 L/dk gaz akış debisinden itibaren azaldığı ve en yüksek maksimum çekme mukavemeti değeri 12 L/dk gaz akış debisinde olduğu tespit edilmiştir. Bütün gaz akış debisi numuneleri ITAB bölgesinden kopmuştur.

10, 12, 14 ve 16 L/dk gaz debisi uygulanan makro görüntülerinden lehim ıslatma açısının 49° ile 58° arasında olduğu görülmektedir. Bu değer aralığındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti ve lehimleme hızı parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakınlık göstermesi gaz debisi farklarının, ıslatma açısını etkin bir şekilde etkilemediği görülmektedir.

1200M martenzitik çeliğinin değişen lehim gaz akış debisine bağlı olarak lehim kep genişliğinin 5 ila 7 mm aralığında, lehim kep yüksekliği ise 2 mm'nin altında olduğu belirlenmiştir.

10L/dk gaz akış debisinde kopma mesafesi 3-4 mm aralığında iken, diğer gaz akış debilerinde ise kopma mesafesi 5-6 mm aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Farklı gaz akış debilerinin sertlik dağılımı irdelendiğinde, 10L/dk gaz akış debisinin diğer gaz akış debisi numunelere göre daha dar bir ITAB bölgesine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 217-235 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı lehim gaz debilerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden yoğun dendritler gözlemlenmiştir. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A, lehim gerilimi 10,5 V ve lehim ilerleme hızı 21,81 cm/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.

1200M martenzitik çeliğinin alın alına CMT-lehimlenmesinde, uygulanacak en uygun gaz akış debisi değerinin 12 L/dk olduğu düşünülmektedir.

4. 1200M martenzitik çeliğinin alın alına CMT-lehimlenmesinde, farklı lehim aralıkları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, en yüksek

maksimum çekme mukavemeti değeri 0,5 mm lehim aralığında elde edilmiştir ve 0 ve 0,3 mm lehim aralığında, lehim bölgesinden koptuğu gözlemlenmiştir.

0,5 ve 0,8 mm lehim aralığı ıslatma açıları 60°'nin altında, 0, 0,3 ve 1 mm lehim aralığı ıslatma açıları ise 60°'nin üstünde olduğu tespit edilmiştir.

1 mm lehim aralığına kadar, lehim kep genişliğinin 6 ila 7 mm aralığında değiştiği, 1 mm lehim aralığında ise lehim kep genişliğinin azaldığı bunun sebebinin ise 1 mm lehim aralığında ıslatmanın düşük olmasından lehim kep genişliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

0 mm lehim aralığından 0,3 mm lehim aralığına çıkıldığında lehim kep yüksekliğinin arttığı, 0,3 mm lehim aralığından itibaren 1 mm lehim aralığına kadar lehim köküne nüfuziyetin artmasından dolayı lehim kep yüksekliğinin azaldığı, 1 mm lehim aralığında ise ıslatma kabiliyetinin düşük olması lehim kep yüksekliğini arttırdığı tespit edilmiştir.

0 ve 0,3 mm lehim aralığında kopmanın lehim bölgelerinden, 0,5, 0,8 ve 1 mm lehim aralığında ise ITAB bölgesinden gerçekleştiği tespit edilmiştir. 0,3 ve 0,5 mm lehim aralığında kopma mesafesi 5-6 mm aralığında ölçülürken, 1 mm lehim aralığında ise kopma mesafesinin 3-4 mm aralığında olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 217-235 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı lehim gaz debilerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinden yoğun dendritler gözlemlenmiştir. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 65A, lehim gerilimi 10,5 V, lehim ilerleme hızı 21,81 cm/dk ve gaz akış debisi 12 L/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.

5. 1200M martenzitik çeliğinin alın altına CMT-lehimlenmesinde, farklı lehim torç açılarındaki maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehim torç açısı 80°'de en yüksek maksimum çekme mukavemeti değeri olarak gözlemlenmiştir.

70 ve 80° lehim torç açılarındaki, ıslatma açısı değerlerinin 60° altında, diğer lehim torç açılarındaki ıslatma açısı değerleri ise 60°'nin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Mukavemet sonuçları ile birlikte irdelendiğinde, lehim ıslatma açısının 60°'nin altında olması gerektiği anlaşılmıştır.

Lehim kep genişlikleri ile lehim kep yükseklikleri, mukavemet sonuçları ile birlikte irdelendiğinde, lehim kep yüksekliğinin 2 mm'nin altında, lehim kep genişliğinin ise 5 mm'nin üstünde olması gerektiği tespit edilmiştir.

50, 60 ve 90° lehim torç açılarındaki kopmanın lehim bölgesinde, 70 ve 80° lehim torç açılarındaki ise kopmanın ITAB bölgesinden gerçekleştiği çekme numunelerinden tespit edilmiştir. 70 ve 80° lehim torç açılarındaki kopma mesafeleri ölçüldüğünde ise her iki açı değerinin de kopma mesafesi 5-6 mm aralığında olduğu anlaşılmıştır. Farklı lehim torç açılarındaki mikro sertlik dağılımları irdelendiğinde, 80° lehim torç açısının, 70° lehim torç açısına göre daha dar bir ITAB bölgesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, E ve F noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren F noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. F noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 210-234 HV_{0.1}

aralığında olduğu anlaşılmıştır. F noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. G noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

6. CMT-lehimlenen 1200M martenzitik 1 mm kalınlığındaki çeliğin alın birleştirme parametreleri değerlendirildiğinde, ısıtma açısının 60°nin altında, lehim kep genişliğinin 5 mm ve üzerinde, lehim kep yüksekliğinin ise 2 mm ve altında olması gerektiği tespit edilmiştir.

Elde edilen bütün verilerin birlikte irdelenmesi sonucunda, 1200M martenzitik çeliğinin CMT-lehimlenmesinde optimum, akım şiddeti 65A, lehim ilerleme hızı 21.81 cm/dk, lehim gaz akış debisi 12 L/dk, lehim aralığı 0.5 mm ve lehim torç açısı 80° olarak tespit edilmiştir.

7. 1200M martenzitik çeliğinin bindirme birleştirme CMT-lehimlenmesinde, bütün numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu ve en yüksek maksimum çekme mukavemetinin 90A akım şiddetinde 826 MPa olarak elde edilmiştir.

Artan akım şiddetine bağlı olarak lehim kep genişliğinin arttığı belirlenmiştir. Farklı akım şiddetlerinde lehim yüksekliğini grafiği incelendiğinde, 70A akım şiddetinden 80A akım şiddetine çıkıldığında lehim yüksekliğinin arttığı, bu değerden sonra arttan akım şiddeti ile lehim kep yüksekliğinin azaldığı tespit edilmiştir. 80A akım şiddetinden itibaren arttan akım şiddeti ile lehim kep yüksekliğinin azalmasının ilave telin ana malzemeler arasına nüfuziyetinin artmasıyla gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Farklı akım şiddetlerinde, hem lehim kep yüksekliği hem de lehim kep genişliği mukavemet sonuçları ile birlikte irdelendiğinde, lehim kep yüksekliğinin 3 mm ve altında ve lehim kep genişliğinin ise 7 mm ve üzerinde olması gerektiği anlaşılmıştır.

Ana metalin, lehim bölgesi ile birleştiği noktadan itibaren ölçülen kopma mesafelerinin, bütün numunelerde 3-4 mm aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 210-239 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinde yoğun dendritler görülmüştür.

8. 1200M martenzitik çeliğinin bindirme birleştirme CMT-lehimlenmesine, farklı lehim ilerleme hızları maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, lehim ilerleme hızı 21,81 cm/dk'dan 24 cm/dk'ya çıktığında çekme mukavemetinde artış, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk'dan itibaren arttırıldığında çekme mukavemeti değerlerin düştüğü, bütün lehim ilerleme hız numunelerinin ITAB bölgesinden koptuğu tespit edilmiştir.

Farklı lehim ilerleme hızlarında, lehim kep genişliği ve lehim kep yüksekliği grafikleri mukavemet sonuçları birlikte irdelendiğinde lehim kep genişliğinin 7 mm ve üzerinde, lehim kep yüksekliği ise 2 ila 3 mm aralığında olması gerektiği belirlenmiştir.

Farklı lehim ilerleme hız numunelerinin kopma mesafeleri irdelendiğinde, bütün numunelerin 3-4 mm aralığında koptuğu tespit edilmiştir.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 210-239 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı lehim ilerleme hızlarında CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinde, lehim ilerleme hızı arttıkça dendritlerin azaldığı tespit edilmiştir.

9. 1200M martenzitik çeliğinin bindirme bağlantılarında farklı lehim akış debisi maksimum çekme mukavemeti değerleri irdelendiğinde, en yüksek maksimum çekme mukavemeti değeri 14 L/dk gaz akış debisinde 836 MPa, en düşük maksimum çekme mukavemeti değeri ise 18 L/dk gaz akış debisinde 803 MPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bütün gaz akış debisi numuneleri ITAB bölgesinden kopmuştur.

12 L/dk ve 14 L/dk gaz akış debisinde gerek ıslatabilirliği gerekse ilave telin nüfuziyetinin kabul edilebilir olduğu makro görüntülerinden anlaşılmıştır.

Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiğindeki eğim çizgisi incelendiğinde, genel olarak arttan gaz akış debisi ile lehim genişliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Makro görüntüleri ile birlikte incelendiğinde, 10 L/dk ve 16 L/dk gaz akış debisinin eğim çizgisinin üzerinde olma sebebini, ilave telinin ana metaller arasına normalden fazla nüfuz etmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Farklı lehim gaz akış debilerinde lehim yüksekliği grafiğindeki eğim çizgisi irdelendiğinde, genel olarak arttan gaz akış debisi ile lehim yüksekliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Makro görüntüleri birlikte incelendiğinde, 10 L/dk ve 16 L/dk gaz akış debisinin eğim çizgisinin altında olma sebebini, ilave telinin ana metaller arasına normalden fazla nüfuz etmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Farklı lehim gaz debilerinde lehim genişliği grafiği ile farklı lehim gaz akış debilerinde lehim yüksekliği grafiği, mukavemet sonuçları ile birlikte ayrı ayrı değerlendirildiğinde, lehim kep genişliğinin 7 ila 9 mm aralığında, lehim kep yüksekliğinin ise 2 ila 3 mm aralığında olması gerektiği düşünülmektedir.

10, 12, 14 ve 16 L/dk gaz akış debisi numunelerinin kopma mesafesi 3-4 mm aralığında, 18 L/dk gaz akış debisinin ise 2-3 mm aralığında olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 209-234 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı lehim gaz debisinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, lehim gaz debisi arttıkça dendritlerin oluşumlarında herhangi bir azalma veya artma söz konusu olmamıştır. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 90A, lehim gerilimi 11,8 V ve lehim ilerleme hızı 24 cm/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.

10. 1200M martenzitik çeliğinin bindirme bağlantılarında, farklı lehim aralıklarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, 0 mm lehim aralığının da

791 MPa, 0,3 mm lehim aralığının da 806 MPa, 0,5 mm lehim aralığının da 767 MPa, 0,8 mm lehim aralığının da 836 MPa ve 1 mm lehim aralığının da 769 MPa maksimum çekme mukavemeti sonuçları elde edilmiştir. Buradaki sonuçlara bakıldığında lehim aralığının da 0,8 mm de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlemlenmiştir. Çekme deneylerinde, 0, 0,3, 0,5, 0,8 ve 1 mm aralıklarındaki numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu tespit edilmiştir.

0, 0,3, 0,5 ve 1 mm lehim aralığında makro görüntülerinden ısı girdisinin fazla olmasından dolayı, ana malzemede ergimenin gerçekleştiği belirlenmiştir.

Farklı lehim aralıklarının lehim genişliği grafiği ile farklı lehim aralıklarının lehim yüksekliği grafiği, mukavemet sonuçları ile birlikte ayrı ayrı değerlendirildiğinde, lehim kep genişliğinin 8 ila 9 mm aralığında, lehim kep yüksekliğinin ise 2 ila 3 mm aralığında olması gerektiği düşünülmektedir.

Farklı lehim aralığı numunelerinin kopma mesafeleri ölçüldüğünde bütün numunelerin 3-5 mm aralığında koptuğu tespit edilmiştir.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 209-234 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinde yoğun dendritler görülmüştür. Burada belirlenen optimum akım şiddeti değeri 90A, lehim gerilimi 11,8 V, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk ve gaz akış debisininin 14 L/dk olduğu için dendritler yoğunlaşmıştır.

11. 1200M martenzitik çeliğinin bindirme bağlantılarında, farklı lehim torç açılarında maksimum çekme mukavemeti değerleri irdelendiğinde, en yüksek çekme mukavemeti değeri 45° lehim torç açısında 836,25 MPa olarak tespit edilmiştir.

Farklı lehim torç açılarının makro görüntüleri incelendiğinde, bütün numunelerin ıslatma kabiliyetinin kabul edilebilir olduğu, ancak 50° lehim torç açısında fazla ısı girdisinden dolayı lehimlenen numunede ergimenin gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Farklı lehim torç açılarının, lehim yüksekliği ve lehim genişliği grafiği birlikte irdelendiğinde, lehim torç açısının, lehim genişliğine ve lehim yüksekliğine etkisinin çok fazla olmadığı tespit edilmiştir.

Farklı lehim torç açısı numunelerinin kopma mesafeleri ölçüldüğünde, bütün numunelerin 3-5 mm aralığında kopma mesafelerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Yapılan mikroyapı incelenmesinde A, B, C, D, ve E noktaların ITAB bölgesi olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalardan alınan sertlikler göz önünde bulundurulduğunda A noktasından C noktasına kadar sertliğin arttığı, D noktasından itibaren E noktasına kadar sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir. E noktasının ana malzemenin, mukavemeti ve sertliğinin en düşük 209-234 HV_{0.1} aralığında olduğu anlaşılmıştır. E noktasındaki bu düşüş 1200M martenzitik çeliğinin ısının ve yavaş soğumanın etkisi ile ferrit oranının arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. F noktası ana malzemenin mikro yapısı olup burada ki sertlik değeri 385 HV_{0.1} üzerinde ölçülmüştür.

Farklı lehim akım şiddetlerinde CuAl8 ilave metal ile lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinde, 45° lehim torç açısından 70° lehim torç açısına kadar dendritlerin arttığı, 80° lehim torç açısında ise azalmalar meydana geldiği anlaşılmıştır.

Elde edilen bütün verilerin birlikte irdelenmesi sonucunda, 1200M martenzitik çeliğinin CMT-lehimlenmesinde optimum, akım şiddeti 90A, lehim ilerleme hızı 24 cm/dk, lehim gaz akış debisi 14 L/dk, lehim aralığı 0.8 mm ve lehim torç açısı 45° olarak tespit edilmiştir.

8.2. Öneriler

1. 1200M martenzitik çeliğin CMT-lehimlenmesi uygulaması sırasında, ana malzemedeki meydana gelen sıcaklık dağılımı belirlenip, değişen martenzit oranlarını gözlemleyebiliriz.
2. CMT-lehimlenen 1200M martenzitik çeliğinin bağlantı bölgesinin yorulma davranışları incelenebilir.
3. 1200M martenzitik çeliğinin CMT-lehimlenmesinde, daha yüksek çekme mukavemetine sahip ilave teller ve farklı gaz karışımları ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf, Erişim Tarihi: 25.10.2016.
- [2] Hayat, F., TRIP Çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımın incelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt:25, No:4, 701-702, 2010.
- [3] Şık, A., Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının eğme dayanımı özelliklerine etkisi, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, Sayı:12, s.26-35, 2004.
- [4] Şık, A., Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağından gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [5] Teker. T., Otomotiv endüstrisinde kullanılan kaporta sacının plazma ark kaynağı, Teknik-Online Dergisi, Cilt:9, Sayı:1, 2010.
- [6] Allvar, M., MIG/MAG brazing with cold metal transfer, Master of Science Thesis, KTH Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2012.
- [7] Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E., Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt:50, Sayı:596, 2009.
- [8] <http://eyupyaylaci.com/otomotiv-sanayinde-kullanilan-mikroalasimli-celiklerin-uretim-yontemleri/>, Erişim Tarihi: 20.11.2016.
- [9] <http://www.celik-yapi.com/otomotiv-celikleri.html>, Erişim Tarihi: 21.11.2016.
- [10] http://www.noktadanismanlik.net/TUBITAK-ARDEB_Malzeme_Teknolojileri_Cagri_Programi_“1003-OTO-MALZ-2016-1_Yeni_Nesil_Yuksek_Mukavemetli_Celikler”_1._Asama, Erişim Tarihi: 10.11.2016.

- [11] www.worldautosteel.org, Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines, International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, March 2014, Erişim Tarihi: 06.12.2016.
- [12] www.worldautosteel.org, Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines, International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, March 2005, Erişim Tarihi: 06.10.2016.
- [13] Gong, Y., The mechanical properties and microstructures of vanadium bearing high strength Dual Phase steels processed with continuous galvanizing line simulations, 2009.
- [14] <http://slideplayer.biz.tr/slide/2310693/>, Erişim Tarihi: 18.11.2016.
- [15] Varol F., MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [16] Özer, A., Çeliklere uygulanan TRIP işleminin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, TUBAV Bilim Dergisi, Cilt:2, Sayı:3, Sayfa:291-301, 2009.
- [17] <http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userAnnouncementsFiles/dosya92bf548a697cb84ec0fd5cafd82e743.pdf>, Erişim Tarihi: 11.10.2016.
- [18] <http://www.metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/47/gelistirilmis-yuksekmukavemetli-otomotiv-celik-kaliteleri.html>, Erişim Tarihi: 16.10.2016.
- [19] <http://ispatguru.com/ferritic-bainitic-steels/>, Erişim Tarihi: 28.11.2016.
- [20] V. Savic, L. G. Hector Jr, and J. R. Fekete, “Digital Image Correlation Study of Plastic Deformation and Fracture in Fully Martensitic Steels,” *Exp. Mech.*, vol. 50, no. 1, pp. 99–110, 2010.
- [21] Fonstein, N., Martensitic Sheet Steels, In *Advanced High Strength Sheet Steels* (pp. 259–274), Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-19165-2_7, (2015)
- [22] http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/malzeme/dersler/malzeme_lab/suverme.pdf, Erişim Tarihi: 17.11.2016.
- [23] <http://allaboutmetallurgy.com/wp/wp-content/uploads/Advanced-Materials-in-Automotive-Engineering.pdf>, Erişim Tarihi: 28.11.2016.
- [24] H. Mohrbacher, “Martensitic automotive steel sheet - Fundamentals and metallurgical optimization strategies,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 1063, pp. 130–142, 2015.

- [25] Uysal, G., Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli sacların şekillendirilebilme özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [26] Ferik, E., MIG lehimleme yöntemi ile TRIP 800 çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [27] <http://automotive.arcelormittal.com/europe/products/UHSS/martinsite/EN#> , Erişim Tarihi: 14.11.2016.
- [28] Demeri, M.Y., Advanced High-strength Steels: Science, Technology, and Applications, pp 127-135, 2013.
- [29] Kaya, Ö., Lehimleme tekniğinde otomasyon ve işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [30] Çınar, S., Bakır ve alaşımlarının sert lehiminde farklı kimyasal kompozisyonlara sahip ilave tellerin bağlantının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [31] Yavuz, G., Ultrasonik lehimleme cihazı tasarımı ve ultrasonik yöntemle lehimleme uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [32] Karavolis, M., Jha, S., Forster, J., V6 ASM Handbook: Welding, Brazing, and Soldering, D.L. OLSON, T.A. SIEWERT, S. LIU, AND G.R. EDWARDS, eds., ASM International, Materials Park, OH, 1993.
- [33] 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.
- [34] <http://www.makinamagazin.com.tr/index.php>, Erişim Tarihi: 10.12.2016.
- [35] http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-03792BE3-CE174961/fronius_uk/TR_leaflet_CMT_113_www_109526_snapshot.pdf, Erişim Tarihi: 15.12.2016.

- [36] Güngör, B., AW 5083-H111 ve AW 6082-T651 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma (FSW) ve robotik CMT-MIG kaynak yöntemleri ile kaynağında mekanik ve metalürjik özelliklerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [37] http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-B3CCE53B-E1561288/fronius_istanbul/hs.xsl/35_9922.htm#.WFk1M1WLTIU, Erişim Tarihi: 10.11.2016.

ÖZGEÇMİŞ

Ünal GÜL 1992 yılında Artvin’de doğdu. İlk ve ortaokulu Artvin’in Borçka ilçesinde Cumhuriyet ilköğretim okulunda tamamladı. 2010 yılında Borçka Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2011-2015 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi’nde İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı, halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.