

**T. C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
KONSTRÜKSİYON ve İMALAT BİLİMDALI**

**BAKIR, PİRİNÇ VE ST37 MALZEMELERİNİN FARKLI BİLEŞİMLERE
SAHİP TELLERLE LEHİMİNDE MEKANİK VE METALÜRJİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

Gökhan ŞAFAK

**Danışman
Dr.Öğr.Üyesi Simge İRİZALP**



MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Gökhan ŞAFAK tarafından hazırlanan "**BAKIR, PİRİNÇ VE ST37 MALZEMELERİNİN FARKLI BİLEŞİMLERE SAHİP TELLERLE LEHİMİNDE MEKANİK VE METALÜRJİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**" adlı tez çalışması 18/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr Üyesi Simge İRİZALP

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr.Nurşen SAKLAKOĞLU

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Fatih KAHRAMAN

Dokuz Eylül Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gökhan ŞAFAK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
TABLolar DİZİNİ	IX
TEŞEKKÜR.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT	XII
BÖLÜM 1	1
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırmaları	2
BÖLÜM 2	6
2. SERT LEHİMLEME	6
2.1. Lehimleme Süreçleri	6
2.2. Sert Lehimlemenin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması	8
2.3. Lehimleme İşleminin Karakteristik Değerleri	10
2.4. Lehim Alaşımı.....	10
2.4.1. Dolgu Metali (İlave Metal) Akışı ve Islatma Kabiliyeti	11
2.5. Yüzey Hazırlama ve Temizlik	12
2.6. Dekapanlar	13
2.7. Lehimlemenin Termal Döngüsü	14
2.8. Sert Lehimleme Yöntemleri.....	15
2.8.1. Üfleçle Lehimleme.....	15
2.8.1.1. Uygulama Alanları.....	17
2.8.2. Fırında Sert Lehimleme.....	18
2.8.2.1. Uygulama Alanları.....	18
2.8.3. İndüksiyon Sert Lehimlemesi	19
2.8.3.1. Uygulama Alanları.....	19
2.8.4. Direnç Sert Lehimlemesi.....	19
2.8.4.1. Uygulama Alanları.....	20

2.8.5. Daldırma Sert Lehimlemesi	20
2.8.5.1. Uygulama Alanları	21
2.8.6. Optik Sert Lehimleme	21
2.8.7. Elektron Demeti Sert Lehimlemesi	21
2.8.8. Lazer Sert Lehimlemesi	22
2.8.9. Ark Sert Lehimlemesi	22
2.8.10. Elektrolitik Sert Lehimleme	22
2.8.11. Kızıl Ötesi Sert Lehimlemesi	22
BÖLÜM 3	24
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
3.1. Malzeme	24
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Numunelerin Hazırlanması	32
3.3. Mikroyapı İncelemeleri	34
3.3.1. Numune Analizleri	34
3.3.2. Dolgu Teli Analizleri	35
3.3.2.1. Spektral Analiz	35
3.3.2.2. DSC&TGA analizi	36
3.3.2.3. Xrd Analizi	36
3.4. Mikro Sertlik İncelemeleri	36
3.5. Patlatma Testi	37
BÖLÜM 4	40
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	40
4.1. Spektral Analiz Sonuçları	40
4.2. Bakır-Pirinç Numunelerinin İncelenmesi	40
4.2.1. BCuP-1 (1 no.lu) Dolgu teli	40
4.2.2. BCuP-3 (2 no.lu) Dolgu teli	44
4.2.3. BCuP-4 (3 no.lu) Dolgu teli	48
4.2.4. BAg-2a (4 no.lu) Dolgu teli	51
4.2.5. BAg-28 (5 no.lu) Dolgu teli	54
4.3. Pirinç-Pirinç Numunelerinin İncelenmesi	58

4.3.1.	BCuP-1 (1'nolu) Dolgu teli	58
4.3.2.	BCuP-3 (2 no.lu) Dolgu teli	59
4.3.3.	BCuP-4 (3 no.lu) Dolgu teli	61
4.3.4.	BAG-2a (4 no.lu) Dolgu teli	63
4.3.5.	BAG-28 (5 no.lu) Dolgu teli	65
4.4.	Çelik-Pirinç Numunelerinin İncelenmesi.....	68
4.4.1.	BCuP-1 (1'nolu) Dolgu teli	68
4.4.2.	BCuP-3 (2'nolu) Dolgu teli	69
4.4.3.	BCuP-4 (3'nolu) Dolgu teli	71
4.4.4.	BAG-2a (4'nolu) Dolgu teli	73
4.4.5.	BAG-28 (5'nolu) Dolgu teli	75
4.5.	Lehim Bölgesinde Arayüzey Reaksiyon Tabakası İncelemeleri	78
4.6.	Xrd Sonuçları	84
4.7.	DSC&TGA Analiz Sonuçları.....	87
4.8.	Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma.....	89
4.8.1.	Pirinç-Bakır Lehimleme Sertlik Sonuçları	89
4.8.2.	Pirinç-Pirinç Lehimleme Sertlik Sonuçları	91
4.8.3.	Çelik-Pirinç Lehimleme Sertlik Sonuçları	92
4.9.	Patlatma Testi Sonuçları	96
4.9.1.	Patlatma Basıncının Hasar Gerilmesi (Etkin Gerilme) Değerine Dönüştürülmesi	97
4.9.1.1.	İlk Grup Test Numunelerinin Gerilmeleri (Pirinç-Bakır).....	97
4.9.1.2.	İkinci Grup Test Numunelerinin Gerilmeleri (Pirinç-Pirinç)	99
4.9.1.3.	Üçüncü Grup Test Numunelerinin Gerilmeleri (Pirinç-Çelik).....	100
5.	GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER	108
	KAYNAKLAR	112

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ag	Gümüş
AWS	American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneği)
Bi	Bizmut
C	Karbon
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
DSC&TGA	Differential Scanning Calorimeter& Thermogravimetric Analysis (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı& Termogravimetrik Analiz)
EDX	Energy Dispersive X-ray (Enerji Dağılımı X-Işını)
Fe	Demir
Ga	Galyum
Mn	Mangan
Ni	Nikel
NPT	National Pipe Taper (Amerikan Konik Diş)
O	Oksijen
OM	Optik Mikroskop
Pb	Kurşun
P	Fosfor
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektro Mikroskop)
SDG	Sıcak Daldırma Galvaniz
Si	Silisyum
XRD	X-ray Diffraction (X-Işını Kırınımı)
Zn	Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Oksi-asetilenle üfleç lehimlemesinde alev tipleri [26]	17
Şekil 3.1. Bakır boru pirinç kapak numune tasarımı.....	25
Şekil 3.2. Pirinç boru pirinç kapak numune tasarımı.....	26
Şekil 3.3. Çelik boru pirinç kapak numune tasarımı.....	26
Şekil 3.4. Sert lehimleme ile birleştirilecek olan kapak ve boru malzemeler.....	27
Şekil 3.5. Temizlik prosesi için tel fırça	28
Şekil 3.6. Lehimleme öncesi uygulanacak dekapan	29
Şekil 3.7. Lehimleme aşamaları.....	30
Şekil 3.8. Bakalitleme öncesinde uygun malzeme kesitlerinin hazırlanma aşamaları.....	32
Şekil 3.9. Bakalitleme prosesi.....	33
Şekil 3.10. Kalıplanmış numuneler.....	33
Şekil 3.11. Zımparalama ve parlatma cihazı.....	34
Şekil 3.12 Kalıplama sonrası zımpara ve parlatma aşamalarından sonraki bazı numune görüntüleri	35
Şekil 3.13. Mikrosertlik ölçüm hattı	37
Şekil 3.14. Patlatma test düzeneği	39
Şekil 4.1. BCuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı	41
Şekil 4.2. BCuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantının OM mikroyapısı.....	41
Şekil 4.3. BCuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantının SEM mikroyapısı	41
Şekil 4.4. BCuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantıda SEM/EDX incelemeleri....	42
Şekil 4.5. Cu-P İkili Faz Diyagramı [32].....	43
Şekil 4.6. BCuP-1 (1' nolu) dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi analizi	44
Şekil 4.7. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı	45
Şekil 4.8. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı	45
Şekil 4.9. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantının SEM mikroyapısı	45
Şekil 4.10. %6P için ikili Cu-Ag faz diyagramı [33].....	46
Şekil 4.11. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantıda SEM/EDX incelemeleri..	47
Şekil 4.12. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi analizi	48
Şekil 4.13. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	49
Şekil 4.14. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	49
Şekil 4.15. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	49
Şekil 4.16. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda noktasal analiz (SEM mikroyapısı).50	
Şekil 4.17. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	51
Şekil 4.18. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü.....	52
Şekil 4.19. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	52
Şekil 4.20. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda noktasal analiz (SEM mikroyapısı).53	
Şekil 4.21. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	54

Şekil 4.22. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	55
Şekil 4.23 5no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü.....	55
Şekil 4.24. 5no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	55
Şekil 4.25. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda noktasal analiz (SEM mikroyapısı).56	
Şekil 4.26. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	57
Şekil 4.27. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	58
Şekil 4.28. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü.....	58
Şekil 4.29. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	59
Şekil 4.30. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	59
Şekil 4.31. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	60
Şekil 4.32. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü.....	60
Şekil 4.33. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	60
Şekil 4.34. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	61
Şekil 4.35. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	62
Şekil 4.36. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	62
Şekil 4.37. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	62
Şekil 4.38. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	63
Şekil 4.39 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	64
Şekil 4.40. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü.....	64
Şekil 4.41 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey morofolojisi (SEM mikroyapısı)	64
Şekil 4.42 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	64
Şekil 4.43. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	65
Şekil 4.44. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı pirinç genel görünümü.....	66
Şekil 4.45. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı pirinç genel görünümü.....	66
Şekil 4.46. 5no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	66
Şekil 4.47. 5'no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama	67
Şekil 4.48. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	68
Şekil 4.49. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü.....	68
Şekil 4.50. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	68
Şekil 4.51. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	69
Şekil 4.52. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	70
Şekil 4.53. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	70

Şekil 4.54. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	71
Şekil 4.55. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	72
Şekil 4.56. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	72
Şekil 4.57. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	72
Şekil 4.58. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	73
Şekil 4.59. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	74
Şekil 4.60. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	74
Şekil 4.61. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	75
Şekil 4.62. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü	76
Şekil 4.63. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü.....	76
Şekil 4.64. 5no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)	77
Şekil 4.65. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama.....	77
Şekil 4.67. 2 no.lu dolgu teli kullanılarak elde edilen bakır ve pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri.....	80
Şekil 4.69. 4 no.lu dolgu teli kullanılarak elde edilen bakır ve pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri.....	81
Şekil 4.70. 5 no.lu dolgu teli kullanılarak elde edilen bakır ve pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri.....	82
Şekil 4.71. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (1no'lu dolgu teli)	82
Şekil 4.72. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (2no'lu dolgu teli)	83
Şekil 4.73. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (3no'lu dolgu teli)	83
Şekil 4.74. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (4no'lu dolgu teli)	83
Şekil 4.75. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (5no'lu dolgu teli)	84
Şekil 4.76. 1 no'lu dolgu teli xrd grafiği.....	84
Şekil 4.77. 2 no'lu dolgu teli xrd grafiği.....	85
Şekil 4.78. 3 no'lu dolgu teli xrd grafiği.....	85
Şekil 4.79. 4 no'lu dolgu teli xrd grafiği.....	86
Şekil 4.80. 5 no'lu dolgu teli xrd grafiği.....	86
Şekil 4.81. Lehim telleri için genel xrd grafiği	87
Şekil 4.82. Dolgu tellerinin ısı akışı-sıcaklık grafiği	88
Şekil 4.83. Pirinç kapak-bakır boru sert lehimlenmiş bağlantıda kesite ait sertlik grafiği	
Şekil 4.84. Lehim bölgelerinin 1000x SEM görüntüsü	90
Şekil 4.85. Pirinç-pirinç kesite ait sertlik grafiği	91
Şekil 4.86. Pirinç-çelik kesite ait sertlik grafiği.....	92
Şekil 4.87. Sert lehim dolgu metallerinin tane morfolojilerini gösteren SEM mikroyapıları.....	94
Şekil 4.88. 2 no'lu (BCuP-3) ile 5 no'lu (BAG-28) dolgu metali kullanılan bağlantı morfolojisi.....	95
Şekil 4.89. Patlatma Testine Hazır Numuneler.....	96

Şekil 4.90. Bakır boru kesiti.....	98
Şekil 4.91. Pirinç boru kesiti.....	99
Şekil 4.92. Çelik boru kesiti.....	101
Şekil 4.93. BCuP4-BAg-28 dolgu telleri ile pirinç-çelik bağlantıda SEM görüntüsü...	106
Şekil 4.94. BCuP-4 ile sert lehimlenen pirinç-pirinç ve pirinç-çelik numunelerin SEM görüntüsü.....	107



TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Alaşım elementlerine göre lehim grupları [19].....	11
Tablo 3.1. Lehimlemede kullanılan dolgu metalleri alaşım kompozisyonu ve zellikleri [28]	25
Tablo 3.2. Pirinç malzeme kimyasal kompozisyonu	27
Tablo 3.3. elik malzeme kimyasal kompozisyonu (St37)	27
Tablo 3.4. Bakır malzeme kimyasal kompozisyonu	28
Tablo 3.5. Numunelerin hazırlanması ve uygulamalar	31
Tablo 3.6. DSC/TGA analiz parametreleri	36
Tablo 4.1. Malzeme kompozisyon ve zellikleri	40
Tablo 4.3. Dolgu tellerinin likidüs, solidüs ve katılaşma aralıklarının karşılaştırılması. 89	
Tablo 4.4. Patlatma testi uygulama ve sonuç tablosu	103

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Simge İRİZALP 'e, Sert lehim dolgu metallerinin temin edilmesini bedelsiz olarak sağladıkları için Termokar A.Ő.' ye, sert lehimleme işlemlerini gerçekleőtirdikleri için Johnson Controls Firması' na, firma olanaklarını bedelsiz sundukları için Beformet A.Ő.' ye ve 2018-077 Numaralı Proje ile çalışmaya maddi destek sağlayan Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi' ne, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme ve eőime yürekten teşekkür ederim.

Gökhan Şafak
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAKIR, PİRİNÇ VE ST37 MALZEMELERİNİN FARKLI BİLEŞİMLERE SAHİP TELLERLE LEHİMİNDE MEKANİK VE METALÜRJİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

GÖKHAN ŞAFAK

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Simge İRİZALP

Bu tez kapsamında; soğutucu sistemlerin üretiminde sert lehimleme ile birleştirilen bakır-pirinç, pirinç-pirinç ve pirinç-çelik malzemelerin lehimleme esnasında kullanılan dolgu metalindeki Ag içeriğinin değiştirilmesi ile hem dayanımı yüksek hem de uygun maliyetli bir birleştirme elde edilmesi hedeflenerek farklı Ag seviyelerine sahip dolgu metallere en uygun olanları belirlenmiştir.

Özellikle bakır borular iklimlendirme sektöründe, soğutucu sistemlerde sıklıkla kullanılır. Soğutucu sistemlerin üretimi esnasında bakır boruların birleşimi ürünün ömrü ve kalitesi bakımından oldukça önemlidir. İstenilen kalitede birleştirmeyi sağlarken; sıcaklık, ilerleme hızı gibi parametrelerin yanında kullanılan lehim telinin içindeki elementlerin oranı büyük önem taşımaktadır. Lehim tellerinin maliyetlerini genellikle içindeki gümüş oranları etkiler. Örneğin içerisinde hiç Ag elementi olmayan bir bakır esaslı tel, içinde %40 Ag elementi bulunan bir telden yaklaşık 20 kat daha ucuzdur. Amaç kaliteden ödün vermeden daha ucuz lehimleme yapmak olduğunda lehim teli içindeki Ag oranı oldukça kritiktir. Bu çalışmada, 3 farklı malzeme çifti, 5 farklı Ag oranı içeren dolgu metali kullanılarak sert lehimleme prosesi gerçekleştirilmiştir. Patlatma testi ile hasara uğradığı gerilmenin büyüklüğü tespit edilmiş öte yandan mikrosertlik testleri ve metalürjik incelemelerle karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sert lehimleme prosesinde özellikleri iyileştiren Ag seviyesi tespit edilerek malzeme performansının iyileşmesi yanında maliyetinde azaltılması hedeflenmiştir.

Son olarak, bu tez Ag içeren sert lehim dolgu metalleri analiz ederek, Ag içeriğini azaltmaya yönelik bir çalışma ortaya koymuş ve ileriye dönük daha fazla araştırma için temel bir zemin sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sert lehimleme, Ag esaslı dolgu metali, mikroyapı

2019, 116 sayfa

ABSTRACT

M.Sc Thesis

THE EXAMINATION OF MECHANICAL AND METALLURGICAL PROPERTIES IN FILLERS WITH DIFFERENT COMPOSITIONS FOR BRAZING OF COPPER, BRASS AND ST37 MATERIALS

GÖKHAN ŞAFAK

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Simge İRİZALP

Within the scope of this thesis; In the production of refrigeration systems, the most suitable filler metals with different levels of Ag were determined by changing the content of Ag in the filler metal used during brazing of brass-brass and brass-steel materials combined with brazing.

Especially copper pipes are frequently used in air-conditioning sector and cooling systems. The combination of copper pipes during the production of cooling systems is very important in terms of product life and quality. While providing the desired quality of the combination; In addition to the parameters such as temperature, feed rate, the ratio of the elements in the solder wire is of great importance. The cost of solder wires usually affects the silver proportions in it. For example, a copper-based wire with no Ag elements is about 20 times less expensive than a wire with 40% Ag element. When the aim is to make the brazing cheaper without sacrificing quality, the ratio of Ag in the solder wire is critical. In this study, the brazing process was carried out by using 3 different material pairs, 5 different Ag ratio filler metal. The magnitude of the stress that it was damaged by the blasting test was determined. On the other hand, microhardness tests and characterization studies were carried out by metallurgical investigations. The level of Ag, which improves the properties in the brazing process, is determined and it is aimed to reduce the material performance and reduce the cost.

Finally, this thesis analyzes the Ag-containing brazing filler metals, introducing a study to reduce the content of Ag and provides a basis for further prospective research.

Keywords: Brazing, Ag based filler metal, microstructure

2019, 116 pages

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle endüstride kullanılmakta olan malzeme çeşitliliği ve buna bağlı olarak da farklı özelliklere sahip olan malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi ihtiyacı artmaktadır. Birleştirme prosesi hemen hemen her üretim prosesi için gerekli olan bir uygulamadır [1].

Geçmişte, metal işçileri var olan eski teknikleri kullanarak imal etmesi çok zor hatta imkansız olan yapıları, iki metal arasını başka bir ergimiş metal kullanarak doldurulmasının ve katılaşmasının sağlanması ile birleşimin mümkün olduğunu anladılar. Bu aşamada işçiler iyi bir birleşme için ilave metalin içerisindeki oksitlerden uzak tutulması gerektiğini ve düşük bir ergime derecesine sahip olması gerektiğini ve herhangi bir dolgu malzemesi ile tüm birleştirmelerin imal edilemeyeceğini anladılar. Bu temel gereksinimlerin anlaşılmasıyla sert lehimleme tekniği sürekli olarak gelişen bir birleştirme yöntemi olmuştur [2].

İşçiler ilk olarak kurşun, kalay, gümüş ve bakır-arsenik madeni gibi kolayca bulunabilen ve düşük ergime noktasına sahip malzemeleri kullanmışlardır. Daha sonra pirinç alaşımlarının geliştirilmesiyle bakır, pirinç, gümüş ve çelik yapılarını birleştirmede mekanik ve ısı dayanımı çok yüksek bağlantılar elde edilmiştir [2].

Başlangıçta büyük ihtimalle sadece estetik sebeplerle beyaz lehim dikişi üretmek isteyen işçiler gümüş ve pirinci birlikte kullandılar. Bu alaşımın pirinçten daha düşük bir ergime noktasına sahip olduğunu ve daha yüksek mekanik birleşme ile korozyon direncine sahip olduğunu keşfettiler. Lehimlemede kullanılan dolgu metallerinde her ne kadar sayısız gümüş, bakır ve çinko kombinasyonları geliştirse de, öncelik olarak ergime noktası gereksinimini karşılamak amacıyla gümüş-pirinç, pirinç ve kurşun-kalay alaşımları nesiller boyunca değişmeyen malzemeler olarak kullanılmıştır [2].

İnsanoğlu metalden malzeme üretmeye başladığı günden beri pratikte kullanılan eski bir birleştirme tekniği olan lehimleme günümüzde elektrik – elektronik sektöründen

iklimlendirme endüstrilerine; uzay ve havacılık uygulamalarından günlük tesisat işlerine kadar birçok alanda kullanılan önemli bir birleştirme tekniğidir. Ekonomik ve ergonomik bir birleşim yöntemi olması nedeniyle pek çok endüstride sıklıkla tercih edilen lehimlemenin daha basit ve ekonomik hale getirilmesi için çalışmalar devam etmektedir [3].

Lehimleme çok eskiden beri bilinen ve endüstride kullanılmakta olan bir proses olsa da hala üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Farklı malzeme çiftlerinin lehimlenmesi, farklı dolgu malzemeleri, farklı lehimleme metodları gibi birçok alanda akademik ilgi sürmektedir. Bu çalışmanın bir amacı da farklı gümüş oranlarında dolgu metalleri incelenerek literatüre bilgi üretilmesidir. Literatürde gümüş içeriğinin etkisini inceleyen sınırlı çalışma bulunmaktadır.

1.1. Literatür Araştırmaları

Miller ve Schwanke 1978[4] yılında yaptıkları çalışmada gümüş içermeyen dolgu metallerinin bazı benzemez metallerin lehimlenmesinde karşılıklı olarak çözünebilmesi gerektiği veya arayüzey bileşikleri oluşabilecek elemanlar içermesi gerektiği öte yandan ara yüzey reaksiyonlarının zamana ve sıcaklığa da bağlı olabildiği sonucuna varmışlardır. Çalışmalarının sonunda dolgu metallerinde bağlayıcılığı arttıracak takviye elementlerin kullanılmasının faydalarına değinmişlerdir. Ayrıca gümüş içeren dolgu metali ile yaptıkları lehimlemelerin, Cu-Mn-Zn içeren dolgu metalleri ile yaptıkları lehimlemeye göre daha yüksek mukavemet, düşük ergime noktası ve daha iyi ıslanabilirlik özelliklerini gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca çalışmalarının sonunda Pb, Bi, Cd, Zn veya Ag ilavelerinin ergime noktasını ıslanabilirliği azaltmadan düşürdüğünü söylebilmek için daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Long vd. [5] çalışmasında zayıf şekillendirme özelliğine sahip yüksek bir çinko içerikli AgCuZn alaşımı, indüksiyon lehimleme işlemi sırasında AgCu / ZnCu / AgCu sandviç tabakası kullanarak yerinde sentezlemişlerdir. Sonuçlar, AgCu ve ZnCu alaşımlarının eridikten ve kısa bir süre tutulduktan sonra kapsamlı bir şekilde kaynaşabileceğini, uniform bir kompozisyon ve 316LN altlığı ile üstün metalurjik

birleştirmeye sahip bir lehimleme dikişi oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Elde edilen lehimlenmiş bağlantıların mukavemeti, yaygınca kullanılan AgCuZn alaşımı ile lehimlenen bağlantılardan çok daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Zaharinie vd.[6] bakırların sert lehimlemesinde yaptığı çalışmada bakır-bakır metallerin sert lehimlenmesi esnasında optimum işlem parametrelerinin geliştirilmesi ve yüzey pürüzlülüğünün bakır lehimi üzerine olan etkileri üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışmadan, %99.99 ticari saflıkta hazırlanan numuneleri (Cu-9.7Sn-5.7Ni-7P) içerikli dolgu metali ile otomatik kontrollü sert lehimleme fırınında kontrollü bir atmosfer altında lehimlenmiştir. Sıcaklık ve lehim süreleri gibi proses parametrelerini değiştirerek yaptığı 9 uygulama sonucu optimum lehim parametrelerini elde etmiştir (650 °C/5 min.). Ayrıca yapılan SEM mikroskop incelemesinde lehim dikişi boyunca gaz boşlukları tespit etmişlerdir. Alaşım içerisindeki Cu, Sn, and P oranlarının birleşim yüzeyine etkisi olduğunu kanıtlamışlardır. Elde ettikleri verilere göre, 0.20 µm pürüzlülük değerindeki numuneler ile en az boşluklu lehim dikişinin oluştuğunu ve bu parametrede en iyi birleşmenin ve ıslatmanın gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır.

Shabtay vd. [7] “tavlamaya dayanıklı olan bakır ve pirinçlerin sert lehimleme yöntemleri” adlı çalışmasında, bakır ve pirinç alaşımlarının yüksek mukavemetlerini değerlendirerek, bu alaşımların yüksek sıcaklıktaki sert lehimleme işlemlerinde önemli mukavemet kaybına maruz kalıp kalmadığını araştırmıştır. Bu çalışma sert lehimleme işlemlerinin gelişmiş ısı değiştiricilerin üretiminde uygulandığına ve sert lehimleme fırınlarının, tüm üretim seviyeleri için geliştirilmiş olduğuna dikkat çekerek, fırın seçimi, dolgu malzemelerinin uygulanma alanları, parçaların birleşmesi ve sert lehimleme işlemlerinin kontrolü üzerinde durmuştur.

Xue vd. [8] yayınladıkları makalede alaşım tellerindeki Ga oranının lehimleme üzerine etkisini incelemişler ve alaşımdaki Ga oranı artışının ıslanabilirliğe ve korozyon dayanımına pozitif etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmada esas dolgu metali olarak kullanılan 7AgCuZnSn gümüş, bakır ve çinko bazlı katı çözeltili iken içeriğe Ga ilavesi ile dolgu metalindeki pirinç fazının açıkça azaldığını gözlemlemişlerdir.

Ayrıca mikrosertlik ve kesme dayanımının da Ga ilavesi yüksek olan alaşımlarda arttığını saptamışlardır. Yaptıkları deneyler sonucu en iyi kesme dayanımının %2Ga ilavesi ile gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Ga ilavesinin sürekli olarak artması halinde ise kesme dayanımının azalmaya başladığı ve mikrosertliğin artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Çınar S. [9] yapmış olduğu yüksek lisans tezinde bakır ve alaşımlarının sert lehiminde farklı kimyasal kompozisyonlara sahip ilave tellerin bağlantının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda; L-CuZn39 sert lehim teli ile alın altına birleştirmelerde gözenek oluşumu ile çekme deneylerinde sert lehim bölgelerinden kopma olması nedeniyle bu telle alın altına pozisyonda sert lehimleme işleminin iyi olmadığı, L-CuZn40 sert lehim teliyle yapılan birleştirme ara yüzeylerinde difüzyonla tane birleşmesinin çok iyi olduğu, sert lehim teline gümüş ilavesinin dendritik yapıda tane incelmeye neden olduğu, alevle birleştirme işlemlerinde bindirme birleştirmelerin tavlama farklılığı oluşması tane yapılarında da farklılıklar oluşturduğunu gözlemlemişlerdir.

Tosun vd. [10] doktora tezinde yaptığı çalışmada sıcak daldırma galvaniz (SDG) sacların, hem birbirleriyle hem de alüminyum ile MIG-Sert Lehimleme yöntemiyle birleştirilmesini araştırmış, üç değişik koruyucu gazın karışımları, değişik oranlarda kullanılarak malzeme çifti, ilave metal ve koruyucu gaz kombinasyonları elde edilmiş ve bu kombinasyonlardan MIG-Sert Lehimleme yöntemiyle elde edilen birleştirmelerin, kimyasal, fiziksel ve metalografik özellikleri incelenmiş ve birbirlerine göre oluşan farklılıklar irdelenmiştir. Malzeme çifti olarak, 1050 H14 serisi alüminyum ve S280GD sınıfı SDG sac, ilave metal olarak AlSi₃Mn teli kullanılan birinci grup numunelerden, Ar+O₂ gazları koruyucu atmosferinde gerçekleştirilen birleştirme işlemleri sonucu elde edilen numunelere uygulanan deneylerde, koruyucu gaz karışımına katılan O₂ oranının artışıyla lehim bölgesindeki sertlik değerlerinin de düzenli olarak arttığını gözlemlemiştir. Bu çalışmada özellikle uygulanan gaz karışımının etkisi üzerinde durmuşlardır.

Jadidi [11] yapmış olduğu yüksek lisans tezi çalışmasında “karbonlu çelik malzemelerin lehim pastası kullanarak fırında sert lehimlemesine etki eden parametrelerin

deneysel olarak optimizasyonu” isimli çalışmasında karbonlu çelik malzemelere bakır pastası kullanarak, indirgeyici atmosferi olan fırında sert lehimlemiş ve farklı lehim parametreleri ile birleştirildikten sonra, çekme deneyi ve sertlik deneyine tabi tutmuştur ve parametrelerin lehim kalitesi üzerinde etkisini araştırmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda mikroyapı incelemesinde sıcaklığın artışı tane büyümesine ve sonuçta sertliğin düşüşüne neden olduğunu, buna karşın bakırın çelik tane sınırlarına difizyonun artmasına neden olduğu gözlenmiştir. Fırında bekletme süresinin artışının, lehimin özellikleri üzerinde pozitif bir etki göstermediğini, fırında düşük bekletme süresinin, daha kaliteli lehimler elde etmek için etkili olduğunu gözlemlemiştir.

Robert vd.’nin 2004 yılında yaptığı çalışmaya göre [3] sert lehimleme, iki veya daha çok parça arasında, parçaları ergitmeden ve parça materyal yapısını ciddi bir şekilde değiştirmeden metalürjik bir bağ oluşturmak için ısıyı ve genellikle dolgu metali adı verilen bir lehim alaşımını ergiterek kullanan bir birleştirme işlemidir. Birleştirilecek olan parçalar, aralarında sadece küçük bir boşluk kalacak şekilde yerleştirilirler. Aradaki boşluğun yakınına bir lehim alaşımı yerleştirilir ve lehim alaşımı ergiyince kapiller etkiyle boşluğun içine çekilir. Bu, soğuma sonrasında katı bir birleşme oluşturur. Sert lehimleme olarak tanımlanabilmesi için, lehim alaşımı erime sıcaklığı, ana malzemenin ergime noktasından düşük ama 450°C’nin üzerinde olması gerekir.

Sert lehimleme parçaların çok çeşitli konfigürasyonlarına ve diğer birleştirme yöntemlerinin ekonomik bir şekilde uygulanamadığı, benzer şekilde olmayan metallerin ve uniform olmayan kalınlıktaki ametallerin birleştirilebilmesine imkan verir. Sert lehimleme en yaygın şekilde dövme, döküm ve toz haline getirilmiş ürünlerde gerçekleştirilmektedir. Seramiklerin ve camlarında sert lehimleme ile birleştirilmesi mümkündür ve sert lehimleme, teknolojiye yaşanan gelişmelerle giderek artan bir kullanım alanı bulmaktadır [3].

BÖLÜM 2

2. SERT LEHİMLEME

Lehimleme, genel olarak iki ya da daha fazla ana malzemenin, uygun bir ilave metal kullanılarak, ilave metalin ergime sıcaklığının üzerinde; ancak ana metallerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta yapılan birleştirme işlemleri olarak tanımlanabilir. Bu tanımdan da anlaşıldığı üzere lehimleme, sadece ilave metallerin ergiyip katılmasıyla ana metaller arasındaki birleştirme bağının oluşturulduğu bir yöntemdir. Dolayısıyla ana malzemelerin, kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ergimesi söz konusu değildir. Lehimleme işlemi, dolgu metali ya da ilave metalin ergime sıcaklığı 450°C'nin altında olduğunda yumuşak lehimleme; üstünde olduğunda ise sert lehimleme olarak tanımlanmaktadır [2].

2.1. Lehimleme Süreçleri

Lehimleme ile birleştirmenin kaliteli ve emniyetli bir bağlantı oluşturması, birçok bilimsel ve mühendislik uygulamasının bir arada kullanılmasını gerektirir. Sert lehimleme yumuşak lehimlemeden daha yüksek sıcaklıklarda yapılır; ancak temel kavramlar her iki yöntemde de benzerdir. Bununla birlikte birleşme dizaynı, birleştirilen malzemeler, ısıtma yöntemi, birleşme bölgesinin ön hazırlığı, kullanılacak ilave metallerin ve dekapanların seçimi iki yöntemde de birbirinden oldukça farklıdır. Lehimleme yöntemi, ilave metal seçimi, otomasyon teknikleri ve muayene – test ihtiyaçlarına bağlı olarak ekonomik faktörler de değişken olmaktadır. Sert ve yumuşak lehimleme elektronik, uzay ve havacılık endüstrilerinden günlük tesisat uygulamalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır [2].

Sık olarak kullanılan birleştirme işlemleri, sert lehimleme, kaynak ve yumuşak lehimlemedir. Aşağıda bu işlemleri birbirinden ayırt eden, bazı tanımlayıcı karakteristikler açıklanmıştır.

Yumuşak lehimlemenin karakteristikleri:

- Yumuşak lehim alaşımının ergime sıcaklığı 450°C'den düşüktür.
- Ana malzeme katı halde kalır.
- Yüzey oksitlerini yüzeyden uzaklaştırmak için dekapan kullanılır.
- Hava veya azot atmosferinde gerçekleşir [12].

Sert lehimlemenin karakteristikleri:

- Sert lehim alaşımının ergime sıcaklığı 450°C'den yüksektir.
- Ana malzeme katı halde kalır.
- İşlem sıcaklığı 540°C -1620°C arasındadır.
- Ana malzeme ile metalurjik bir bağlantı oluşturur.
- Ana malzeme katı halde kalır.
- Hava, inertgaz, indirgeyici veya vakum atmosferinde gerçekleşir.
- Bazı durumlarda dekapan kullanılır [12].

Kaynağın karakteristikleri:

- Kaynak dolgu maddesinin ergime sıcaklığı 450°C'den yüksektir.
- Ana malzemenin bir kısmı, kaynak dolgu maddesi ile birleşmek için ergir.
- Ana malzeme ile metalurjik bir birleşme oluşturur [12].

Sert lehimleme tekniğinin parçaların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmasının sebeplerini şöyle sıralayabiliriz:

- Sert lehimleme işlemi ile birleştirilen parçaların dayanımı yüksektir. Hatta birleştirilmesi yapılan metalden bile daha güçlü bileşimler sağlanabilir.
- Sert lehimle birleştirilmiş gereçlerde birleşim yeri darbe ve titreşimlere karşı dayanımlıdır.
- Sert lehimleme tekniğini uygulamak kolay ve hızlıdır. Uygulamayı yapacak kaynakçı becerisi kolay kazandırılabilir. Lehimleme işlemini otomatik hale getirmek mümkün olduğundan otomasyona uygundur.
- Farklı ergime derecelerine sahip metallerin, örneğin çelik ve bakırın birleştirilmesi kolay ve ekonomik şekilde yapılabilir. Bunun yanı

sıra birleştirilecek metallerin farklı kalınlık ve kesitte olması da lehimlemeyi mümkün kılmaktadır.

- Sert lehimleme sıcaklığı (450°C), birleştirilecek gereçlerin ergime sıcaklığından daha düşük olduğu için, birleşimi yapılan metallerde yüksek ısının neden olduğu deformasyonlar oluşmaz.
- Sert lehimleme tekniği diğer bağlantı yöntemlerine göre daha ekonomiktir. Birleştirme sonrası da işleme gerek duyulmadığından zaman ve maliyet yönünden ekonomiktir.
- Sızdırmazlık istenen birleştirmelerde kolaylıkla kullanılabilir.
- Birleşim bölgesinin estetik görünüşü iyidir. Tercih edilen ilave telin rengine göre ana metale yakın renkte birleşim sağlanabilir [13].

Lehimleme tekniğinde birleşme özelliklerini etkileyen pek çok faktör vardır. Bu faktörlerin lehimlemedeki önemi ve hangi faktörlere bağlı olarak değiştiği bilinirse, lehimleme uygulaması o kadar bilinçli yapılır. Sert lehimde kaliteye etki eden etmenler şunlardır.

1. Birleşme alanının boyutu,
2. Birleştirilen malzemelerin yüzey koşulları,
3. Dolgu metalinin yayılabilme yeteneği,
4. Birleşen elemanlar ile dolgu metali arasındaki alaşımlanma [14].

2.2. Sert Lehimlemenin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Sert lehimlemeyle birleştirmede sadece ana metallerin ergimemesi bile kaynak yöntemlerine kıyasla ciddi avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca genellikle maliyet arttırıcı ek işlemlere gerek kalmadan daha düşük toleranslı ve daha estetik görünümlü birleştirmeler yapılabilmektedir. Bunların yanında yöntemin çok daha önemli olan bir üstünlüğü; geleneksel kaynak yöntemleriyle birleştirilemeyen uyumsuz ve farklı malzemelerin (metal – metal veya metal – seramik) birleştirilebilmesine olanak sağlamasıdır. Ana metallerin birleşme için ergimeleri gerekmediğinde farklı ergime noktalarına sahip olmalarının önemi kalmamaktadır [15].

Sert lehimleme genellikle kaynak yöntemlerine göre daha az ısıl bozulma ve çarpılmaya neden olur. Tüm iş parçaları lehimleme sıcaklığına getirilerek çarpılmaya yol açan bölgesel ısıtmadan kaçınılabılır. Üretim mühendisliği açısından en önemli avantajlardan biri olarak kabul edilebilecek olan özellik ise sert lehimlemenin seri imalat tekniklerine çok uygun olmasıdır. Yöntemin otomasyonunun kolay olmasının sebebi bölgesel ısıtma yapılmasının gerekmemesi ve ilave metal uygulamasının füzyon kaynak yöntemlerinden daha az kritik olmasıdır. Gerçekten de uygun boşluk ve ısıtma koşulları sağlandığında iş parçaları neredeyse kendi kendilerine lehimlenir; dolayısıyla sert lehimleme kalifiye operatörden bağımsız bir birleştirme yöntemidir. Füzyon kaynak yöntemlerinin çoğunda ise kalifiye operatör kullanılması gereklidir [15]. Otomasyonun kolay olmasının bir başka sebebi de birçok farklı ısı kaynağının (üfleç, indüksiyon, elektriksel direnç, fırın veya daldırmayla ısıtma) kullanılabilir olmasıdır. Bir montajdaki birçok birleşme bölgesi, genellikle tek bir ısıtma çevrimi içerisinde ve çoklu lehimleme işlemleri uygulanarak aynı anda gerçekleştirilebilir. Bu da otomasyonu kolaylaştıran faktörlerden birisidir[15].

Sert lehimlemede ana metaller ergimese de uygulanan ısı nedeniyle içyapı değişimleri ortaya çıkabilir. Örneğin soğuk işlemeyle imal edilmiş bir ana malzeme yeniden kristalleşme nedeniyle yumuşayabilir. Dolayısıyla ısıl işlemlerle elde edilmiş mekanik özellikler sert lehimlemeyle değiştirilebilir; ancak temperlenmiş malzemelerin özellikleri genellikle değişmemektedir. Diğer kaynak yöntemlerine benzer olarak sert lehimlemede de ısıdan etkilenmiş bir bölge meydana gelir. Isıdan etkilenmiş bölgenin genişliği ısıtma yöntemine bağlıdır. Üfleç ve indüksiyonla ısıtmada sadece küçük bir bölge ısıtılırken; fırın ve daldırmayla sert lehimlemede tüm iş parçası lehimleme sıcaklığına getirilmektedir [15].

2.3. Lehimleme İşleminin Karakteristik Değerleri

Çalışma sıcaklığı: Esas malzemenin dokunma yüzeyleri arasında, ergimiş durumdaki lehim alaşımının girebileceği minimum sıcaklıktır. Bu sıcaklık, yaklaşık olarak ek metalin (lehim alaşımının) üst ergime noktasına yakındır [16].

Isıtma sıcaklığı: Ergimiş durumdaki lehim alaşımının, esas malzeme üzerinde tutunabileceği bir sıcaklıktır. Böylece ergiyen lehim alaşımı, temas yüzeyleri arasına akıp birleşmeyi sağlar. Bu sıcaklık, birleşme sıcaklığı olarak da bilinir [16].

Maksimum lehimleme sıcaklığı: Lehimde bulunan alaşım elemanlarının buharlaşacağı ya da esas malzemenin tane irileşmesine uğrayabileceği ya da dekapanın zarar görebileceği sıcaklıktır [16].

Parçalar arasındaki aralıklar: Kapiler lehimlemede sıvı haldeki lehim alaşımı, kapiler etki (kapiler doldurma basıncı) ile birleştirilecek aralıkta yükselir ya da ilerler. Yaklaşık olarak 0,3 mm den sonra önemli bir değişme olmaz [16].

2.4. Lehim Alaşımı

Genellikle dolgu metali adı verilen lehim alaşımı, bağlanacak iki parça arasındaki boşluğu doldurmak için kullanılan malzemedir. Etkili bir bağlantının oluşturulması için lehim alaşımının ıslatması, yayılması ve yüzeyle metalürjik olarak sürekli bir şekilde bağlantının içine çekilmesi gerekmektedir. Bu alaşımın bir kısmı ana malzemede çözünürse veya reaksiyona girerse, bu durum alaşımlama olarak adlandırılır. Erimiş lehim alaşımı baz (ana) metali çözerek etkili bir bağ oluşturur ya da lehim alaşımı ve ana metaller metalürjik bir şekilde etkileşime girerek intermetalikler veya çökelti oluştururlar. Bu etkilerden herhangi biri normalde güçlü bir bağlantı kurulmasına katkıda bulunur. Bazen lehim alaşımı, baz metal ve atmosfer arasındaki reaksiyonlara bağlı olarak, kırılğan intermetalikler oluşabilir. İstenmeyen çökelti oluşma riski, lehimleme sıcaklığında geçen sürenin artmasıyla artar [17].

Lehimler çeşitli bakımlardan sınıflandırılır. Uluslararası kaba sınıflandırma yumuşak ve sert lehimler şeklindedir. Buradaki kriter, sertlik değil, çalışma sıcaklığıdır. Çalışma sıcaklığı denilince esas malzeme ile lehim arasındaki temas noktasında en düşük sıcaklık anlaşılır. Böylelikle lehim yayılsın, aksın ve esas malzemeye birleşebilsin. Lehimleme sıcaklığı, bağlantının gerçekleştiği sıcaklıktır. Bu genellikle çalışma sıcaklığından yüksektir. Çalışma sıcaklığı ve lehim sıcaklığı lehim malzemesi sabitleri değildir. Bu sıcaklık değerleri, çevre koşullarına (esas malzeme, dekapan, koruyucu gaz vb.) bağlıdır. Bir lehim malzemesinin çalışma sıcaklığı en azından solidüs sıcaklığı kadar yüksek olmalıdır, fakat likidüs sıcaklığını da aşabilir. Metalsel ana elementlere göre ve özellikleri önemli derecede belirleyen alaşım elementlerine göre yapılan lehim gruplandırmaları Tablo2.1’ de görülmektedir. Burada metalsel olmayan lehim malzemeleri göz önüne alınmıştır [18,19].

Tablo 2.1. Alaşım elementlerine göre lehim grupları [19]

1. Galyum veya cıva içeren lehimler	11. Magnezyum esaslı lehimler
2. Bizmut içeren lehimler	12. Gümüş lehimleri
3. İndiyum içeren lehimler	13. Özel gümüş lehimleri
4. Kurşun-kalay lehimleri (kalay lehimleri)	14. Palladyum lehimleri
5. Kurşun ve/veya kalay esaslı gümüş ve antimon içeren özel yumuşak lehimler	15. Altın ve platin lehimleri
6. Kurşun ve/veya kalay esaslı gümüş ve antimon içermeyen özel yumuşak lehimler	16. Bakır esaslı lehimler
7. Kadmiyum esaslı lehimler	17. Nikel lehimleri
8. Çinko esaslı lehimler	18. Titanyum ve zirkonyum esaslı lehimler
9. Mikro elektronik için altın içeren lehimler	19. Demir esaslı lehimler
10. Alüminyum esaslı lehimler	20. Hafniyum, niobyum ve tantal lehimleri

2.4.1. Dolgu Metali (İlave Metal) Akışı ve İslatma Kabiliyeti

İlave metalin ıslatma ve akış özellikleri iyi bir sert lehimleme için çok önemlidir. İslatma ve akışı etkileyen faktörler, başta kapilarite olmak üzere katı yüzeylerin durumu (oksit tabakalarının vb.’nin varlığı ıslatma ve akışı etkiler), yüzey pürüzlülüğü, ana metal

– ana metal ve ana metal – ilave metal alaşımlanmaları ve bu alaşımlanmaların lehimleme atmosferinde maruz kaldıkları termodinamik etkilerdir. Bununla beraber pratikte ilave metalin akış özelliği viskozite, gaz basıncı, gravite ve özellikle ana metalle ilave metal arasındaki metalurjik etkileşimlere de bağlıdır.

Kapiler akış, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerinin ergimiş ilave metalle tamamen ıslatılarak iyi bir lehimleme elde edilmesini sağlayan baskın fiziksel olgudur. Birleşme boşlukları etkili bir kapiler akışa olanak verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Kapilarite; sıvı metalin moleküllerinin birbirlerine ve katı metal moleküllerine karşı gösterdiği ilginin bir sonucudur. İyi tasarlanmış bir birleştirmede ve koruyucu bir atmosfer altında çalışıldığında ilave metal tamamen birleşme boşluğuna çekilerek hiç bir açıklık bırakmadan doldurma işlemine tamamlar. Bu şekilde katılaşmış lehim malzemesi titreşime veya çok darbelerine maruz kalsa dahi sızdırmazlık özelliğini sürdürür. Dolayısıyla kapiler çekim, sızdırmaz birleştirmelerin yapılmasını kolaylaştırır. Kapiler ekim etkisi aynı zamanda, sıvıların kkk ve dar alanlarla sınırlanmış yüzeylerdeki akışını da belirleyen etkidir [15].

2.5. Yüzey Hazırlama ve Temizlik

Islatma işlemi, yüzey oksitlerinin varlığından, kir ve yağ gibi safsızlıklardan olumsuz şekilde etkilenir. Kötü temizlik, ıslatmanın olmamasıyla, tam dolmayan bağlantılarla ve düşük bağlantı mukavemeti ile sonuçlanır [17].

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

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

Ergimiş ilave metalin akışını etkileyen bir diğer önemli faktör yüzey pürüzlülüğüdür. Genellikle düzgün bir yüzeyi ıslatabilen bir sıvı pürüzlü bir yüzeyi daha da fazla ıslatır. Pürüzlü bir yüzey akışı laminardan türbülansa çevirir ve dolayısıyla akış süresini uzatarak alaşımlanma ve diğer etkileşimlerin oluşma olasılığını artırır. Bazı durumlarda yüzey pürüzlülüğü birleşme bölgesindeki homojenliği sağlar [15].

2.6. Dekapanlar

Dekapan metalik olmayan bir malzemedir. Birleştirilecek yüzeylere yeterince sürüldüğünde, bu yüzeyleri temizleyerek oksit filmini yok eder ve lehimin yüzeye birleşmesini sağlar. Ayrıca yeni bir oksit filminin oluşumuna da engel olur.

Dekapanların başlıca görevleri şunlardır:

- Oksit tabakasını çözererek yeniden oksitlenmeyi önler.
- Lehim alaşımının yüzey gerilimini azaltarak, esas metalin yüzeyinin ıslatılmasını ve lehimin yüzeyde yayılmasını sağlar.
- Esas malzeme ile derhal birleşen metal iyonlarını ihtiva eder. Bunlar erime işlemi sırasında redüklenerek birleştirmeyi kolaylaştırır.
- Örtü vazifesi gören bu dekapanlar, bazı hallerde birleşme bölgesinin çabuk soğumasını engeller.
- Dekapanlar esas ödevini sıvı halinde yerine getirdiğinden, erime derecelerinin lehimin erime derecesinden biraz daha aşağıda olması (yaklaşık 50-100°C) gerekir. Bu da dekapanın erimesiyle kaynakçının lehimleme işlemine hazır olmasının gerektiğini haber verir. Bu husus, bilhassa tav rengi göstermeyen alüminyum ve alaşımlarının lehimlenmesinde çok önemlidir [20].

Sert lehim esnasında az veya fazla dekapan kullanmamaya dikkat etmek gerekir. Dekapanın az kullanılması yukarıdaki görevlerin yeterince yapılamamasına, fazla dekapan da sert lehim sonrasında çok fazla dekapan artığına neden olur.

Sert lehimleme sonrasında dekapan artıkları temizlenmelidir, aksi takdirde dekapanın özelliğine göre bulunduğu bölgede korozyona neden olabilir. Bu temizlik işlemi su ile yıkayarak, mekanik olarak fırçalayarak, sert lehimli parça henüz sıcak iken suya daldırılarak veya kimyasal yollarla yapılabilir [21].

2.7. Lehimlemenin Termal Döngüsü

Tipik bir lehimleme işlemi çevrimi ön ısıtma, bekleme, lehim sıcaklığına çıkarma, lehimleme, soğutma ve çıkıştan oluşur.

Ön ısıtma ve bekleme – Ön ısıtma, daha düşük değerlerde dolgu metalinin katılaştığı bir sıcaklık değerine kadar yapılır. Parça kalınlığı ve fikstür miktarı ön ısıtma ve bekleme süresini belirler.

Lehim sıcaklığına yükseltme – Parçalar hızlı ama uniform bir şekilde ısıtılmalıdır. Isıtma hızı, termal gerilme oluşumuna bağlı şekil bozukluğu yaratma riskiyle sınırlandırılır. Karmaşık geometrileri, büyük boyutları, boyutlarında büyük farklılıkları olan veya çatlığa hassas parçalarda birden fazla bekleme aşaması ve ilişkili kademeli sıcaklık yükseltmesi gerekebilir.

Lehimleme – Lehimleme süresi, lehim alaşımının bağlantı boyunca akmasına izin verecek minimum bir süre olmalıdır. Sağlam bir bağlantı oluşturmak için genelde 1 veya 2 dk yeterlidir. Teorik ön görümler ve ayrıca gerçek ölçümler, ergimiş lehim alaşımının bağlantıyı doldurmasının hemen hemen 0.1 saniye kadar kısa bir süre içinde gerçekleştiğini göstermektedir.

Soğutma ve çıkış – Kontrollü bir soğutma bağlantısının sıhhatli katılaşmasına imkan verir. Çelikler için koruyucu bir atmosferde yaklaşık 150 °C'ye kadar bir sıcaklığa soğutma, fırından çıkan parçaların renk değişikliğini önleyecektir [22].

2.8. Sert Lehimleme Yöntemleri

Sert lehimlemede kullanılan lehimleme yöntemleri, parçaların lehimleme sıcaklıklarına ısıtılmasında izlenecek yollara göre ayrılır. Bu kısımda bazı sert lehimleme yöntemleri incelenmiştir.

2.8.1. Üfleçle Lehimleme

Sert lehimleme işlemlerinin % 75'i üfleçle ısıtma yöntemiyle yapılmaktadır. [23] Üfleç sert lehimlemesi, lehimleme işlemine gerekli ısı kaynağı olarak karbon esaslı yakıt gazlarının kullanıldığı lehimleme işlemidir. Gerekli sıcaklık ya da ısı miktarına göre yakıt gazı (asetilen, propan, LPG, LNG vb.), hava, basınçlı hava ya da oksijenle yakılabilir.

Elle üfleç sert lehimlemesinde üfleç tek ya da çok alevli olabilir. Elle üfleç sert lehimlemesi özellikle, farklı kütleli parçaların birleştirilmesinde faydalıdır. İşlem yarı mekanizasyona ve tam otomasyona uygundur. Üretim miktarının elvermesi halinde işlem mekanize edilebilir. Mekanizasyon ya iş parçasını veya üfleçleri veya her ikisini hareket ettirecek şekilde tertiplenebilir [15].

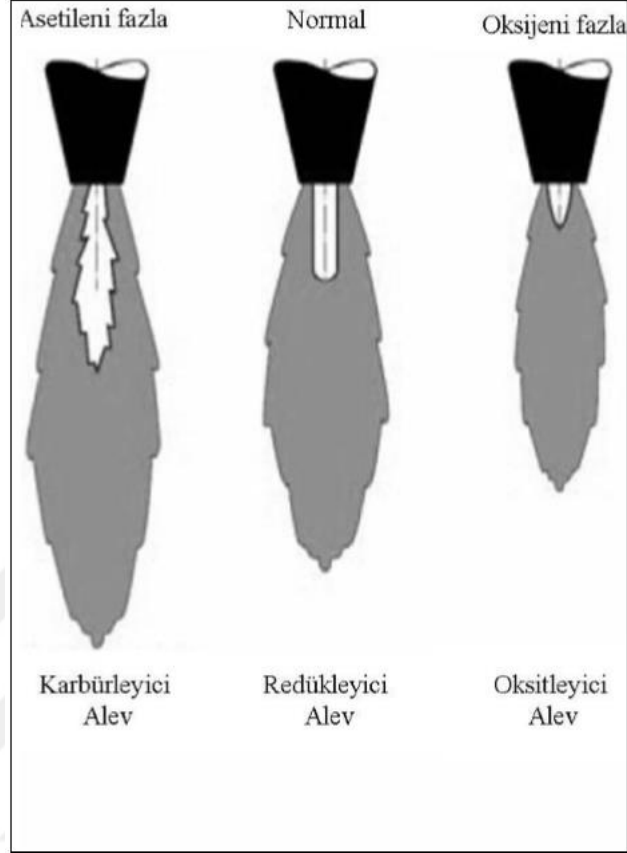
Elle üfleç sert lehimlemesinde saf oksijen başlıca yakıcı öge olarak kullanılabilir. Düşük dereceli ucuz oksijen kaynağı olarak basınçlı hava da kullanılabilir; ancak bunun için daha düşük alev sıcaklığı ve ısıtma derecesinin yeterli olması gereklidir. Üfleç alevinin uygun şekilde ayarı iyi sonuç almak için esastır. Genellikle redükleyici alev istenirse de öbür alev şekilleri (nötr, oksitleyici, karbürleyici), yerine göre kullanılır [24].

Normal (redükleyici) alev, parlak, iyice belirlenmiş konisiyle hacim olarak eşit miktarda asetilen ve oksijenin yanmasıyla oluşur. Ana metalin üzerinde bulunan herhangi bir oksit üzerinde redükleyici etki yapar. Karbürleyici alev (asetileni fazla)' de koni yeşilimsi bir tüy ile uzunluğunun iki üç katı kadar uzanır ve ana metalin üzerine karbon boşaltır. Bu alev tipi en az ısı üretendir. Oksitleyici alev (oksijeni fazla), belli keskin bir

koniye sahiptir. Koni dış alev, normal ayardakinden daha kısa olup bu tertip en sıcak alevi sağlar ve ana metali oksitleyebilir [24].

Sert lehimlemede oksijenden çok asetilen ihtiva eden yumuşak alev kullanılır. Böylece daha doğru bir ısıtma sağlanmış olur. İşlem sırasında ısıtılmaya başlanan malzemeler mat kırmızı olduklarında az bir miktarda dekapan yüzeyleri temizlemek amacıyla birleştirme yerine dökülür. Ardından bir miktar alaşımlı lehim teli eritilerek birleştirme bölgesine damlatılır. Eğer uygulanan sıcaklık doğruysa ve malzemenin yüzeyleri temiz ise ergimiş olan tel ısıtılmış birleşme yüzeyi boyunca akacaktır. Üflecın uç kısmı birleştirme yapılan metal yüzeyinden yaklaşık 6 mm kadar uzak tutulmalıdır. Alevde oluşan sıcaklık bu mesafede en yüksek seviyededir [25].

Sert lehimleme işlemlerinde genellikle bir hafif redükleyici alev kullanılmakla beraber diğer alev şekilleri de (nötr, oksitleyici, karbürleyici), yerine göre kullanılır. Şekil 2.1'de, gaz olarak genellikle olduğu gibi asetilenin kullanılması halinde, alev ayarlarının şekli görülür. Bu ayar asetilen/oksijen oranı ile saptanır. Hidrokarbür içeren bütün gazlar bir ışıklı iç koni (mızrak) verirler, Oksijen-gaz kaynak alevi üç bölgeden oluşur: iç ışıklı koni (mızrak); ara (redükleyici) bölge ve zarf (oksitleyici bölge) [26].



Şekil 2.1. Oksi-asetilenle üfleç lehimlemesinde alev tipleri [26]

2.8.1.1. Uygulama Alanları

Üfleçle sert lehimleme genellikle ısıtma/soğutma/iklimlendirme endüstrisinde buzdolabı, klima vb. üretiminde yer alan bakır ve çelik parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Bununla birlikte proses ısı değiştiriciler, karbür takımlar, boru devre elemanları, medikal cihazlar vb. gibi çok çeşitli şekilde ve boyutta parçaların imalatında da kullanılmaktadır. Proses, birçok ana metal için güçlü bir bağlantı ve iyi bir sızdırmazlık sağlamaktadır [27].

Üfleçle sert lehimleme bakır, pirinç ve diğer bakır alaşımları, paslanmaz çelikler, alüminyum, karbürler ve ısıya dayanıklı birçok malzemenin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Saf bakırın fosfor içeren lehim malzemesiyle birleştirilmesi dışında kalan tüm üfleç sert lehimlemelerinde dekapan kullanılmalıdır. Fosfor, saf bakırın

lehimlenmesinde dekapan görevi yapar. Çoğunlukla düşük sıcaklıkta ergiyen gümüş tabanlı, bakır tabanlı ve gümüş/bakır/fosfor'dan oluşan lehim malzemeleri kullanılır [30].

2.8.2. Fırında Sert Lehimleme

Fırında lehimleme küçük boyutlu parçaların ferritik olmayan metallerle metalürjik bir bağlantı sağlayan esas ısı kaynağı fırın olan bir üretim yöntemidir. Fırında lehimleme teknolojisi ilk olarak 1920' lerde bulunmuş ve tahminen 1930'larda ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde de bu teknoloji birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Lehimleme işleminin otomatik, seri oluşu ve kalifiye teknik elamana ihtiyaç duyulmaması işlemin popülaritesini artırmaktadır. Fırında lehimlemede temizlenmiş ve dolgu metalleri ile birleştirilmiş parçalar, fırına yerleştirilir ve lehimleme sıcaklığına ısıtılır. Dolgu metalinin lehimlemeden önce bağlantı yerine uygulanması ve işlem boyunca pozisyonunun sabit kalması lehimlemeyi pratik kılar. Isıtma oranı, lehimleme sıcaklığı ve zamanı, soğutma oranları kontrol edilebilir. Bunun yanında redükleyici veya vakum gibi kontrol edilebilen bir atmosferde lehimleme gerçekleşir [15].

2.8.2.1. Uygulama Alanları

Fırında sert lehimleme işlemi yüksek kaliteli ve yüksek verimli çıktı sağlama özellikleri nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Vakum araçları, jet motorları ve otomotiv endüstrisi önemli örnekler olarak alınabilir.

Vakum araçları endüstrisinde alümina-seramik zarflı bir vakum tüpü kullanılır ve tüm montajın ısıtılması gereklidir. Alümina-seramik zarfın çatlamasını önlemek için ısıtma ve soğutma çevrimlerinin kontrolü çok önemlidir.

Jet motoru endüstrisinde ise lehimleme prosesinin kalitesi ve lehimlenmiş parçaların boyutsal kontrolü kritik olduğundan, çoğunlukla vakum fırın sert lehimlemesi kullanılmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde ağırlıklı olarak konveyörlü (sürekli) lehimleme fırınları kullanılır. Yöntem otomasyona çok uygundur ve kütle imalatında üretim maliyetlerini düşürmektedir [27].

2.8.3. İndüksiyon Sert Lehimlemesi

İndüksiyon sert lehimlemesi, birleştirilecek metallerin ve lehim malzemesinin işlem sıcaklığına getirilmesi için kullanılan ısının, elektrik enerjisinden elde edildiği lehimleme prosesidir. Elektrik enerjisini ısı enerjisine çevirmek için indüksiyon bobinleri kullanılmaktadır. Uygun bobin dizaynıyla birleşme bölgesinin hızlı bir biçimde ve bölgesel olarak lehimleme sıcaklığına çıkarılması sağlanabilmektedir. İşlemin verimliliği malzemenin özelliklerine bağlıdır. Bakır, pirinç gibi manyetik olmayan ve düşük elektriksel dirence sahip malzemelerin ısıtılması; çelik gibi elektriksel direnci ve manyetiklik özelliği daha fazla olan malzemelerin ısıtılmasından daha uzun sürer [27].

2.8.3.1. Uygulama Alanları

İndüksiyon sert lehimlemesi endüstride geniş olarak kullanılır. Elektrik-elektronik sektörü, madencilikte kullanılan ekipmanlar, tezgah ve el takımları, havacılık ve uzay teknolojisi bunlara örnek olarak verilebilir.

İndüksiyon sert lehimlemesi ağırlıklı olarak çelik, bakır, ve nikel alaşımlarının, kendi kendini dekapanlayan gümüş ilave metallerle, birleştirilmesinde kullanılır, Sıcaklık kontrolü ile yanma tehlikesinin kontrolü güç olduğundan, alüminyum nadiren bu yöntemle sert lehimlenir [15].

2.8.4. Direnç Sert Lehimlemesi

Direnç sert lehimlemesi, birleştirme için gerekli ısının, iş parçaları üzerinden elektrotlar aracılığıyla geçirilen elektrik akımı etkisiyle oluşturulduğu birleştirme yöntemidir. Elektrik direnç kaynağında olduğu gibi ısı yoğun olarak birleşme bölgesinde oluşturulur ve iş parçalarının içine doğru fazla yayılmaz [27].

Direnç sert lehimlemesi çoğunlukla, nispeten basit görünüşlü birleştirmelere uygulanır. Sert lehimlenecek alanın geniş ya da süreksiz veya bir boyutta çok daha uzun olması halinde uniform akım dağılımı, dolayısıyla uniform ısıtma elde etmek güçtür. Direnç sert lehimlemesinin uygulanacağı parçalar, sert lehimleme sıcaklığında şekil bozulmasına uğramadan basınca dayanabilecek şekilde tertipleneceklerdir. Dirençle sert lehimlenebilecek iş parçaları, 0,03 ile 0,12 mm kalınlığındaki telden yaklaşık 65 ile 100 cm² birleşme alanına sahip parçalara kadar değişik olabilir. Bununla birlikte yüksek

üretim direnç sert lehimlemesinde birleştirme alanı genellikle 0,6 ile 4 cm²' yi aşmaz. Bu yöntemde iş parçaları yerel olarak ısınır ve bunların arasında önceden yerleştirilmiş ilave metal, elektrotlarla parça arasından elektrik akımının geçişine gösterilen dirençten elde edilen ısıyla ergir. Mutat uygulamada, ısıtma akımı birleşmenin kendisinden geçer. Direnç kaynağı donanımı kullanılır ve birleşme yerinde elektrik temasını sağlayacak gerekli basınç, elektrotlar tarafından uygulanır. Bu elektrot basıncı aynı zamanda kapiler davranış için gerekli sıkı alıştırılmayı da sağlar. Direnç sert lehimlemesi için ısı, elektrik rezistivite ve boyutlarına bağlı olarak başlıca iş parçalarının kendilerinde, elektrotlarda veya her ikisinde birden oluşturulabilir [23].

2.8.4.1. Uygulama Alanları

Direnç sert lehimlemesiyle en sık birleştirilen metal bakır olup yüksek elektrik dirençli elektrotlarla çalışma, ana metal ergimedenden birleşme yerinde toplanmış ısı yaratılmasının en etkin yolu olmaktadır. Bakır ayrıca, kendi kendini dekapanlayan ilave metallerle (BCuP tipi Cu-P alaşımları) havada sert lehimlenebilen (dekapan kullanılmadan) bir metaldir.

BAg ilave metalleri de kullanılabilir ama bu takdirde bir dekapan ya da atmosfer gerekir. Bir ıslak dekapan, parçalar sert lehimleme pozisyonuna getirilmeden hemen önce çok ince bir karışım halinde sürülür. Kuru dekapan yalıtkan olup yeterli akım geçişine imkan vermez.

Direnç sert lehimlemesinin en çok uygulandığı metallerde ikinci sırayı bakır alaşımları almaktadır. Bakır ve alaşımları, elektrik devre kesicileri, şalterler ve güç dağıtım teçhizatlarında kullanılan birçok parçanın imalinde sert lehimlenmektedir. Gümüş, gümüş-grafit ve gümüş-molibdenden yapılmış elektrik kontaktörleri bakırla yine bu yöntem kullanılarak birleştirilmektedir [15].

2.8.5. Daldırma Sert Lehimlemesi

Tuz banyosu sert lehimlemesi ve ergimiş kimyasal madde banyosu daldırma sert lehimlemesi adlarıyla da anılan daldırma sert lehimlemesi, birleşecek parçaların ısıyı ve bazen de dekapanlama etkisini sağlayan bir ergimiş tuz banyosuna daldırıldığı lehimleme

yöntemidir. Banyonun sıcaklığı ilave metal likidusunun üstünde ama ana metalin ergime aralığının altında tutulur [15].

2.8.5.1. Uygulama Alanları

Ergimiş lehim metali banyosunda sert lehimleme işlemi tel, küçük parçalar, alüminyum C borular gibi parçaların imalatında kullanılırken; ergimiş tuz (dekapan) banyosunda lehimleme işlemi alüminyum, pirinç ve demir esaslı malzemelerin imalatında kullanılmaktadır [15].

2.8.6. Optik Sert Lehimleme

Lehimleme sıcaklığına odaklaştırılmış bir ışık demetiyle ulaşılan sert lehimleme yöntemidir. Optik yöntemlerle ısıtmanın sert lehimleme açısından özel karakteristikleri vardır. Ana metale temassız güç iletilmesi, ısı kaynağı ile ısıtılan parçanın birbirinden uzak bulunmalarına imkan verir. Metaller, dielektrik ve magnetik özellikleriyle ilgili olmadan ısıtılabilirler ve ısıtma koşullarının ayar ve denetimi kolay olur. Süreç, bir kontrollü atmosferde, vakumda ve ısı kaynağı ile iş parçası mesafesinin yeterince büyük olması halinde, dekapan uygulamasıyla havada şeffaf bir zarfın altında yürütülebilir. Bu ısıtma yöntemi, sert lehimlemenin gözle denetlenmesine olanak verir [15].

2.8.7. Elektron Demeti Sert Lehimlemesi

Lehimleme sıcaklığına ulaşmak için birleştirme bölgesinin elektron bombardımanına tutulduğu sert lehimleme yöntemidir. Elektron demetiyle ısıtma için yüksek vakum altında, yüksek hızla hareket eden elektronların kinetik enerjisi kullanılır. Magnetik ve elektrostatik odaklayıcı mercekler tarafından büzülen elektron akışı, kuvvetli bir elektriksel alan içinde katottan anoda yüksek hızla gider. Elektronlar iş parçası (anot) yüzeyine çarptıklarında, kinetik enerjileri ısı enerjisiye dönüşerek ısı ortaya çıkarırlar.

Bu tekniğin bir açık sakıncası, vakum ve yüksek hassasiyetli kontrol ekipmanının karmaşıklığı, yüksek maliyeti ile düşük üretim hızıdır. Nikel ilave metaliyle bu teknik, korozyona dayanıklı çelik borudan ısı eşanjörleri imalatında kullanılır [15].

2.8.8. Lazer Sert Lehimlemesi

Lazer radyasyonunun kendisine özgü birçok özelliği vardır: Elektromagnetik enerji akışının yüksek şiddeti (gücü), yüksek monokromatiklik ve zaman - mekan koheransı (tutarlılığı). Bu nedenlerle de lazer radyasyonu, çok dar bir ışın halinde hareket etmekle diğer elektromagnetik radyasyon tiplerinden ayrılır. Bu akışın, 1 - 10 mikron boyutunda bir noktada odaklandırılması kolay olup böylece küçük bir alan üzerine hızlı bir biçimde güç yoğunlaştırılması mümkün olmaktadır. Dolayısıyla lazer emisyonu ile ısıtma, ana metalin sert lehimlenmiş birleştirme bölgesine komşu olan bölgelerinde çok küçük değişikliklere neden olmaktadır [15].

2.8.9. Ark Sert Lehimlemesi

Ark ısıtması, küçük parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Ark, birleşecek parçaların arasına önceden yerleştirilen metal folyo ile karbon ya da grafit bir elektrot arasında olabileceği gibi; sert lehimlenen parça ile ilave metalden yapılmış bir elektrot arasında da oluşturulabilir. İlave metal ergitilir ve sert lehimleme aralığına komşu metal kısmının sıcaklığı, arkın ısısı tarafından yükseltilir. Şebeke voltajı genellikle bir transformatörle düşürülür. Bu tekniğin kullanılmasına örnek olarak, bakır stator sargılarını ve kısa devreli rotorları, bir bakır-fosfor ilave metal ile sert lehimleme işlemi verilebilir [15].

2.8.10. Elektrolitik Sert Lehimleme

Elektrolitik sert lehimleme, bir elektrolite daldırılmış bir katodun, bu elektrolitin içinden geçen bir elektrik akımı tarafından ısıtılması esasına dayanır. Katot, elektrolit içinde yüksek sıcaklıklara ısıtılabilir. Elektrolitik ısıtma ile demiri molibdene kaynak etmeye yeterli ısı elde edilebilir. Bir elektrolit içinde ısıtmanın koşulları, elektrolitin bileşim ve sıcaklığı, uygulanan voltaj ve akım şiddeti ve ısıtma süresine bağlıdır [15].

2.8.11. Kızıl Ötesi Sert Lehimlemesi

Uygun reflektörler ve bazen parabolik odaklama düzenlemeleriyle birlikte yüksek şiddetli kuantal enkandesan lambaları, sert lehimleme için oldukça iyi bir enerji kaynağı olmaktadır. Karşılıklı lamba sıraları kullanılarak petek panolar başarıyla sert lehimlenmişlerdir. Küçük parçalar üzerinde parabolik reflektörlerle nokta sert lehimlemesi yapılabilmektedir. Denizaltı boru hatlarında yarım kabuk şeklinde reflektörlerle başarılı boru birleştirilmeleri gerçekleştirilmiştir. Gazlı kızılötesi ısıtıcılar

bazen, sert lehimleme öncesinde birleşecek parçaları ısıtmada da kullanılmaktadır. Kızılötesi sert lehimlemede küçük alanlar üzerine büyük ısı miktarları toplanabilir [15].



BÖLÜM 3

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tezde yapılan literatür araştırmaları sonucunda bakır-pirinç, pirinç-pirinç ve pirinç-çelik malzemeler 5 farklı lehimleme teli ile birleştirilmiştir. Buradaki amaç lehimleme kalitesine etki eden sıcaklık ve hız parametrelerini sabit tutularak, dolgu metalinin lehim kalitesine olan etkilerini araştırmaktır. Sert lehimleme prosesi daha önceden belirlenen sabit bir operatör tarafından her bir numunede işlem ortalama 2 dakika sürecek şekilde yapılmıştır. Sıcaklık olarak ergime derecesi en yüksek olan dolgu metalini baz alarak 850°C’ de çalışılmıştır.

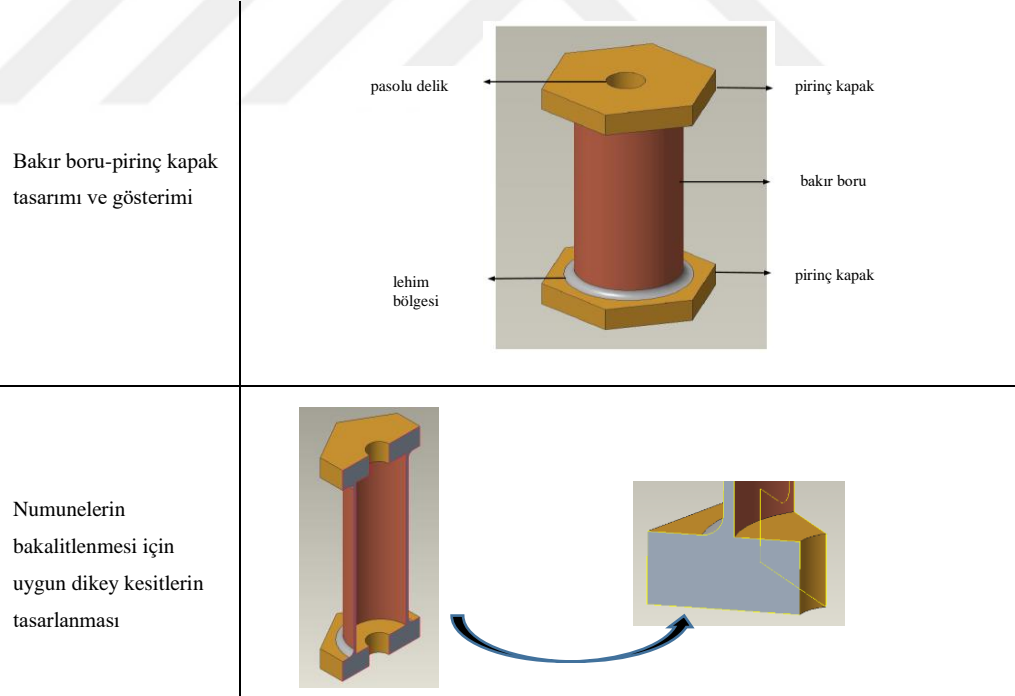
3.1.Malzeme

Lehimleme işlemi için gerekli dolgu metalleri Termokar firmasından tedarik edilmiştir. Sert lehimleme için %0, %4.8, %6, %30 ve %39.5 Ag içeren dolgu telleri kullanılmıştır. Tablo 3.1’ de lehimlemede kullanılacak dolgu metallerinin kimyasal kompozisyonları ile likidüs ve solidüs sıcaklıkları American Welding Society (AWS) göre verilmiştir. Deneyleri yapmak üzere tasarlanan bakır boru, pirinç boru, çelik boru ve pirinç kapaklar Johnson Controls firmasından temin edilmiştir. Bu borular iklimlendirme sektörünün soğutma-ısıtma yapan cihazlarında kullanılmaktadır. Lehimleme kalitesini belirlemek üzere gerekli inceleme ve deneyleri yapabilmek için borulara uygun kalınlıkta kapaklar tasarlanmış ve Creo programı ile katı model haline getirilmiştir. Kapakların et kalınlığı 7 mm olarak seçilmiş, böylece yapılacak olan patlatma testi için uygun paso açılabilmesi amaçlanmıştır. şekil 3.1’ de soğutma sistemlerinin kompresör çıkışlarında kullanılan; dış çap (D) 22 mm, et kalınlığı (t) 1 mm olan bakır boru ve her iki tarafına lehimlenecek olan kapakların katı modeli gösterilmiştir. Ayrıca numunelerin bakalitlenmesi için uygun boyutlara getirilmesi, uygulamaya başlanmadan önce katı modellenmiştir. şekil 3.2’ de ise soğutma sistemlerinde filtre boruları olarak kullanılan dış çap (D) 35 mm et kalınlığı (t) 2 mm pirinç boru ve kesitleri katı modellenmiştir. şekil 3.3’ de dış çapı (D) 22 mm et kalınlığı (t) 2 mm çelik boru ve kesit modelleri gösterilmiştir. Kullanılan boru malzemesine göre boruların çap ve et kalınlıkları da

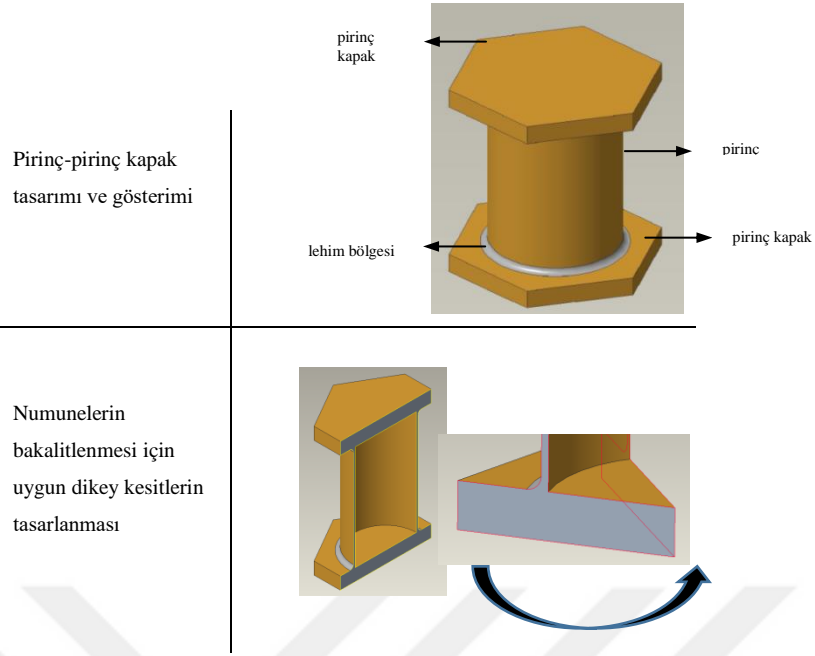
değişmiştir. Bunun sebebi, farklı materyallerdeki boruların kullanıldıkları alana göre boyutları değişmektedir ve bu çalışmada benzer boyutlarda olanlar seçilmiştir.

Tablo 3.1. Lehimlemede kullanılan dolgu metalleri alaşım kompozisyonu ve özellikleri [28]

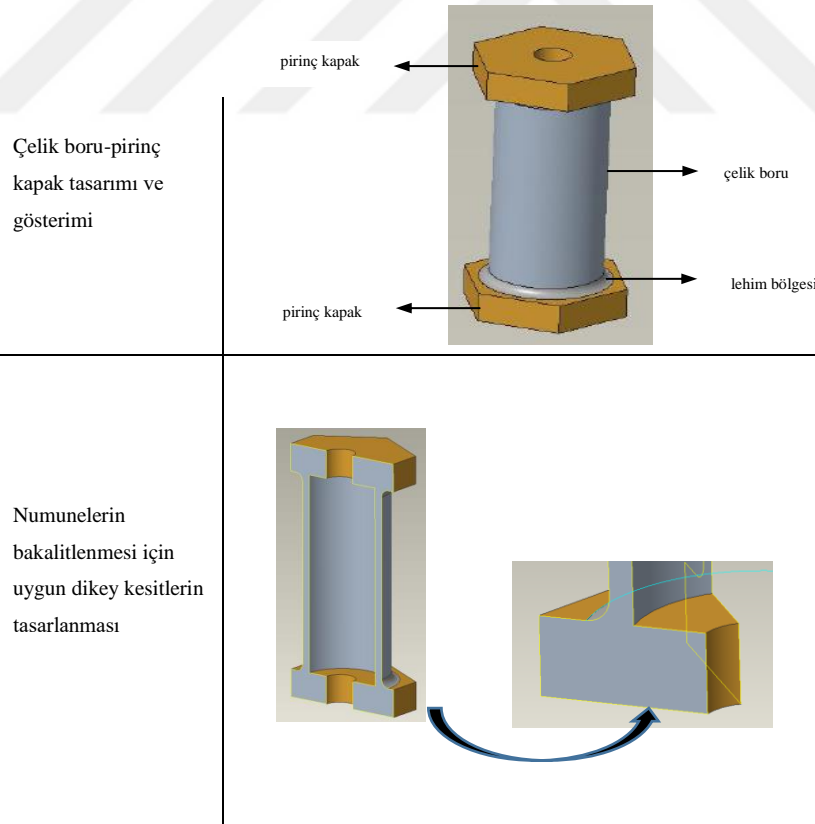
Dolgu Teli	AWS (American Welding Society)	Kompozisyonlar %						Likidüs Sıcaklığı (°C)	Solidüs Sıcaklığı (°C)	
		Ag	Cu	P	Sn	Zn	Cd			Diğer
1	BCuP-1		94.0-96.0	4.8-5.2				0.15	924	710
2	BCuP-3	4.8-5.2	88.0-90.0	5.8-6.2				0.15	720	643
3	BCuP-4	5.8-6.2	87.0-89.0	7.0-7.5				0.15	718	645
4	BAG-2a	29.0-31.0	26.0-28.0			21.0-25.0	19.0-21.0	0.15	710	607
5	BAG-28	39.0-41.0	29.0-31.0		1.5-2.5	26.0-30.0		0.15	710	649



Şekil 3.1. Bakır boru pirinç kapak numune tasarımı

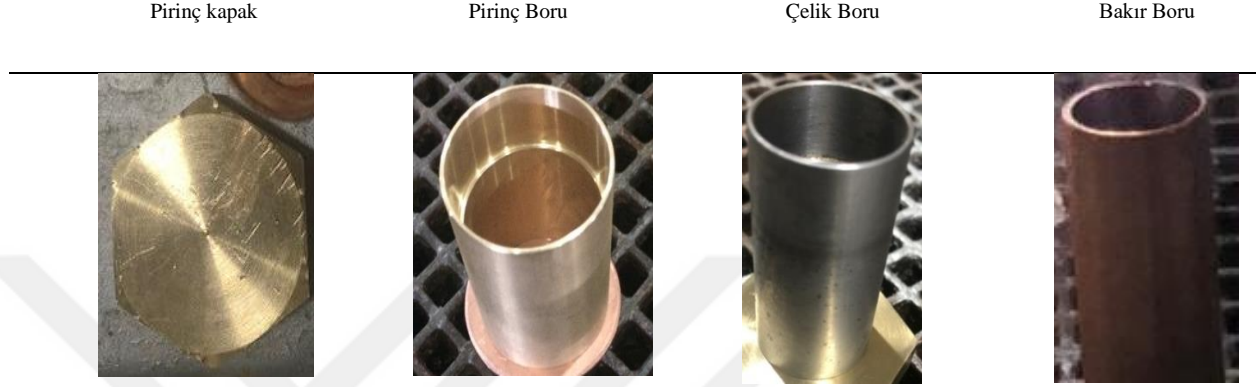


Şekil 3.2. Pirinç boru pirinç kapak numune tasarımı



Şekil 3.3. Çelik boru pirinç kapak numune tasarımı

Numune fotoğrafları Şekil 3.4’ de verilmiştir. Tablo 3.2, 3.3 ve 3.4’ de ise pirinç, bakır ve çelik malzemelerinin kimyasal kompozisyonu verilmiştir.



Şekil 3.4. Sert lehimleme ile birleştirilecek olan kapak ve boru malzemeler

Tablo 3.2. Pirinç malzeme kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Bileşim	% ağı.
Cu	59,5
Zn	40
Diğer	<0,5

Tablo 3.3. Çelik malzeme kimyasal kompozisyonu (St37)

Kimyasal Bileşim	% ağı.
Fe	99,70
C	0,19
P	0,06
S	0,06

Tablo 3.4. Bakır malzeme kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Bileşim	% ağı.
Cu	99,978
P	0,0189

3.2.Yöntem

Sert lehim ile birleştirme yöntemi iki metalin bir üçüncü dolgu metalle birbirlerine birleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Birleştirilecek olan ana malzemelerin arasında küçük bir açıklık bulunmaktadır. Bu açıklık ilave dolgu metali adı verilen lehim alaşımının ergimesi ve kapiler etkiyle ana iki malzemenin arasında bulunan küçük boşlukları doldurması esasına dayanmaktadır [11, 29]. Eşdeğer kapiller etkisi sadece yağ, kir, safsızlıklar ve oksitlerin hem ana metalden hemde lehim alaşımından arındıkları zaman gerçekleşir. Bu yüzden deneysel çalışmalarda lehimlenecek olan parçaların temizliği dikkat edilmesi gereken konulardandır [30].

Bu çalışmada, lehimleme işlemi öncesinde birleştirilecek parçalara (boru ve kapaklar) üzerindeki pas, korozyon, gres yağı, akışkan yağ, diğer kalıntı yağ ve tüm kirlilikleri gidermek için solvent kullanılarak temizlik prosesi yapılmıştır. Şekil 3.5’ de bu işlem için kullanılan tel fırça görülmektedir.



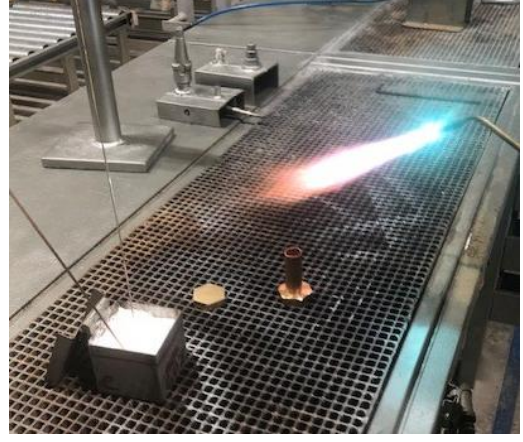
Şekil 3.5. Temizlik prosesi için tel fırça



Şekil 3.6. Lehimleme öncesi uygulanacak dekapan

Ayrıca iç gerilmelerin nispeten giderilmesi amacıyla, malzemelerin lehimlenmesi öncesinde; redükleyici üfleç alevi ile her bir numuneye yaklaşık 30 saniye ön ısıtma uygulanmıştır. Böylece malzemeler sert lehimleme için uygun hale getirilmiştir. Bilindiği gibi metallerin ısıtılması yüzeyde oksit oluşumunu hızlandırır. Bu oksitler yok edilmelidir. Aksi takdirde ilave metalin ana metalleri ıslatmasını ve bağlantıyı negatif yönde etkileyecektir. Oksitler giderilmediği takdirde dolgu metalinin ana metali ıslatmasını etkileyerek bağlayıcılık azalacaktır. Pirinç kapağın borular ile sert lehimlenmesinde dekapan olarak boraks “sodyum tetraborat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)” kullanılmıştır. Boraks sert lehim öncesi metal yüzeylerine uygulanan kimyasal bir bileşiktir (Şekil 3.6.). Dekapan çözünerek ısıtma esnasında oluşan veya temizlenmemiş olan oksitleri absorbe etmektedir. Boru ve kapaklar sabit sıcaklıkta ve aynı operatör tarafından lehimlenmiştir. Lehimleme için oksiasetilen gaz üfleci kullanılmıştır. Lehimleme sıcaklığı 850°C olarak seçilmiştir. Lehimleme aşamaları Şekil 3.7’ de verilmiştir. Lehimleme işlemi ile pirinç-bakır, pirinç-pirinç ve pirinç-çelik numunelerin her biri 5 farklı kaynak teli ile birleştirilmiş ve sonuç olarak 15 farklı parametrede deney numunesi elde edilmiştir. Tablo 3.5 ‘de gösterilen parametreler ile dolgu telleri sırasıyla (BCuP-1, BCuP-3, BCuP-4, BAg-2a ve BAg-28) 1’den 5’e kadar numaralandırılmış ve lehimlenen ve bakalitlenen numuneler sırasıyla markalanmıştır.

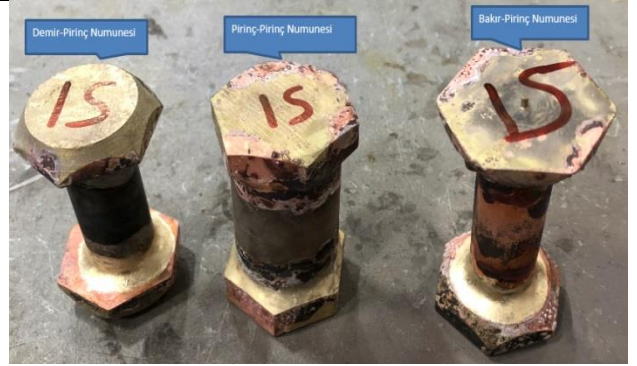
Oksi asetilen Gaz Üfleci



Lehimleme İşlemi



Sert Lehim ile Birleştirilen Numuneler



Şekil 3.7. Lehimleme aşamaları

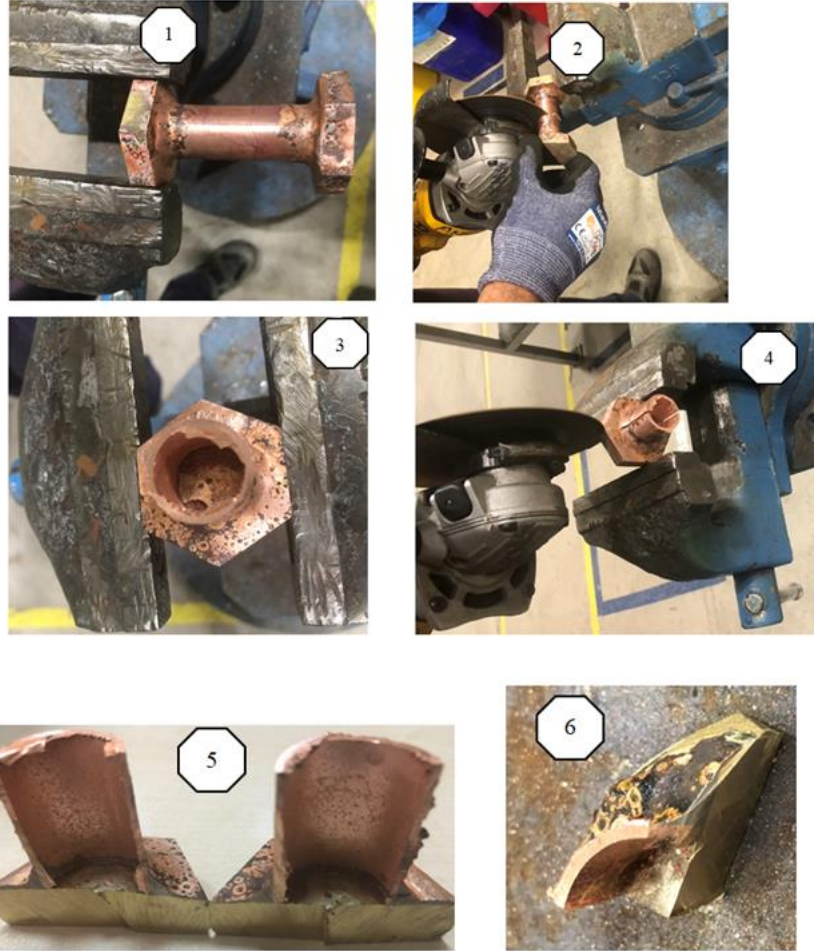
Tablo 3.5. Numunelerin hazırlanması ve uygulamalar

Dolgu Metali Numarası	Dolgu Metalindeki Ag Oranı	Kapak	Boru	Bakalit Numune Markalama	Dekapan Kullanımı	Alev Şekli
1	0	pirinç	bakır	1	Boraks	Hafif Redükleyici
	0	pirinç	pirinç	2	Boraks	Hafif Redükleyici
	0	pirinç	çelik	3	Boraks	Hafif Redükleyici
2	4.8	pirinç	bakır	4	Boraks	Hafif Redükleyici
	4.8	pirinç	pirinç	5	Boraks	Hafif Redükleyici
	4.8	pirinç	çelik	6	Boraks	Hafif Redükleyici
3	6	pirinç	bakır	7	Boraks	Hafif Redükleyici
	6	pirinç	pirinç	8	Boraks	Hafif Redükleyici
	6	pirinç	çelik	9	Boraks	Hafif Redükleyici
4	30	pirinç	bakır	10	Boraks	Hafif Redükleyici
	30	pirinç	pirinç	11	Boraks	Hafif Redükleyici
	30	pirinç	çelik	12	Boraks	Hafif Redükleyici
5	39.5	pirinç	bakır	13	Boraks	Hafif Redükleyici
	39.5	pirinç	pirinç	14	Boraks	Hafif Redükleyici
	39.5	pirinç	çelik	15	Boraks	Hafif Redükleyici

3.2.1. Numunelerin Hazırlanması

Çalışma kapsamında öngörülen karakterizasyon testleri için birleştirilen parçaların kesilmesi ve işlenmesi gerekmektedir. Bunun için yapılan bir dizi kesme, bakalitleme, zımparalama ve parlatma kademeleri aşağıda anlatılmıştır.

Sert lehimleme yöntemiyle birleştirilen 15 adet numunenin karakterizasyon testlerinin yapılması için malzemelerden uygun kesitler alınması için kesilmiştir (Şekil 3.8). Numuneler mengene yardımıyla sabitlenip taş ile önce ortadan ikiye daha sonrasında 2 kere dikey kesit alınarak bakalitlemek için uygun olan büyüklüğe ve görünüşe getirilmiştir.



Şekil 3.8. Bakalitleme öncesinde uygun malzeme kesitlerinin hazırlanma aşamaları

Kesilen numuneler Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarındaki Struers marka bakalit cihazında her bir numune için 250bar basınç ve 180°C sıcaklıkta bakalitleme işlemi yapılarak numuneler kalıplanmıştır (3.9). Kalıplanmış numuneler Şekil 3.10’ da görülmektedir.



Şekil 3.9. Bakalitleme prosesi



Şekil 3.10. Kalıplanmış numuneler

Belirlenen deney parametreleri ile 5 farklı dolgu metali kullanılarak sert lehimlenmiş olan 15 adet numune birleşme bölgelerinden mikroyapı incelemeleri için hazırlanmıştır. Numuneler zımpara cihazında sırasıyla 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200’ lük SiC zımparalar ile Şekil 3.11 ‘de gösterilen zımpara cihazında zımparalanmıştır. 3 µm ve 1 µm ‘lik elmas süspansiyonlar kullanılarak parlatılmıştır.



Şekil 3.11. Zımparalama ve parlatma cihazı

Ayna parlaklığına gelen numuneleri dağlamak üzere 1 g FeCl₃, 2ml HCl ve 100ml CH₃CH₂OH çözeltisi kullanılmıştır. Dağlayıcı Ag içeren bölgeler için kullanılmıştır. Diğer bölgeler dağlanmadan analiz edilmiştir.

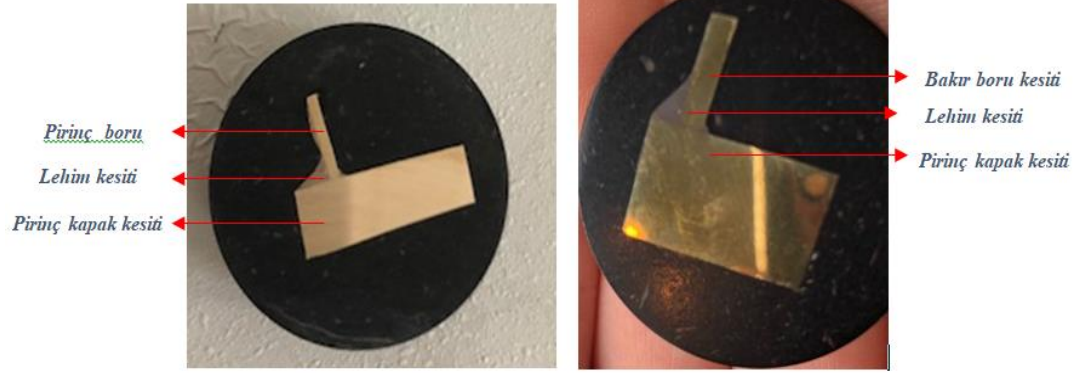
3.3. Mikroyapı İncelemeleri

Lehimlemede kullanılan 5 farklı dolgu teli (BCuP-1, BCuP-3, BCuP-4, BAg-2a, BAg28) ve bakalitlenen 15 adet numune çeşitli mikroyapı incelemelerine tabii tutulmuştur. Dolgu tellerine spektral analiz, DSC&TGA, Xrd yapılmıştır. Deney numuneleri ise optik mikroskopta ve SEM’ de incelenmiştir. Ayrıca çizgi tarama, EDX ve mapping yapılmıştır.

İnceleme sonuçları Bölüm 4 ‘de verilmiştir.

3.3.1. Numune Analizleri

Zımparalama ve dağlama işlemi sonrası 15 adet numune optik ve SEM’ de incelenmiştir. Şekil 3.12 ‘de incelemeye hazır bazı numunelerin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.12 Kalıplama sonrası zımpara ve parlatma aşamalarından sonraki bazı numune görüntüleri

Mikroyapı görüntüleri lehimlemede kullanılan dolgu tellerine göre sıralanmıştır. İncelemeler hem OM hem de SEM görüntüleri kullanılarak yapılmıştır. Optik incelemeler, Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalografi laboratuvarında bulunan Nikon Eclipse L150N optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. SEM (scanning electron microscopy) incelemeleri için de Katip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Laboratuvarı kullanılmıştır. Mikroyapı görüntüleme, çizgi tarama, haritalama, noktasal analiz gibi yarı kantitatif element tayini yapılmıştır.

3.3.2. Dolgu Teli Analizleri

5 farklı dolgu metaline spektral analiz, DSC&TGA analizi ve XRD analizleri yapılmıştır.

3.3.2.1. Spektral Analiz

Deneylerde kullanılacak olan dolgu metallerinin alaşım oranlarının doğruluğunu teyit etmek için İzeltaş Firması'nda spektral analiz yapılmıştır. Dolgu tellerinin kimyasal bileşimleri belirlenerek ileride yapılacak olan testlerin doğru sonuç vermesi amaçlanmıştır.

3.3.2.2. DSC&TGA analizi

Lehimlemede kullanılan dolgu tellerine ayrıca Katip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Laboratuvarı'nda DSC&TGA analizleri yapılmıştır. Tellerin likidus ve solidus sıcaklıklarının Ag oranına bağlı olarak nasıl değiştiğini ortaya koyarak, katılma aralıklarını ve her tel için çıkılması gereken sıcaklıklar tespit etmek amaçlanmıştır. DSC&TGA analizi için her biri 1'er gramlık olmak üzere 5 dolgu metalinden de parça kesilmiş ve teste gönderilmiştir. DSC&TGA analizi için parçaların ergime ve katılma sıcaklıkları önceden veri olarak girilmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. DSC/TGA analiz parametreleri

Numune	Sıcaklık Artış Hızı (C°/dak)	Analiz Bitiş Sıcaklığı (°C)	Kullanılacak Gaz Cinsi
1	10	890	Azot
2	10	870	Azot
3	10	830	Azot
4	10	810	Azot
5	10	750	Azot

3.3.2.3. Xrd Analizi

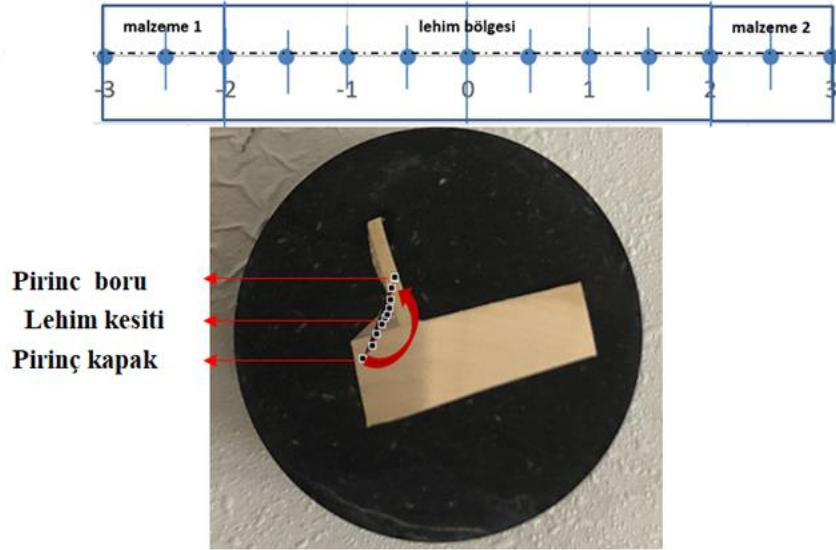
Dolgu metallerinin yapısal analizi XRD ile gerçekleştirilmiştir. Bu analiz Katip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu analiz için gerekli olan dolgu metalleri uygun boyutlarda (10mm x 1mm) kesilmiştir. Analizde 2° ile 94° arasında tarama yapılmıştır. Ag oranına bağlı oluşan fazlar incelenmiştir.

3.4. Mikro Sertlik İncelemeleri

4 farklı dolgu metali (BCuP-1, BCuP-3, BAg-2a, BAg-28) ile lehimlenen 12 farklı numunenin her birine Vickers mikrosertlik deneyi yapılmıştır. Sonuçlar lehimlenen

malzeme türlerine göre 3 farklı grup altında kategorize edilerek, dolgu metalindeki Ag oranının değişiminin sertliğe olan etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sert lehimlenmiş numunelerin, pirinç kapaktan başlanarak birleşim bölgesi ve pirinç boru kesiti boyunca mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalografi laboratuvarında bulunan FutureTech model mikro-sertlik ölçme cihazında 100 g yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.13’ de gösterildiği gibi her bir sertlik ölçümü 0.5mm eşit aralıklar ile yapılmıştır.



Şekil 3.13. Mikrosertlik ölçüm hattı

3.5.Patlatma Testi

Endüstride kullanılan boru bağlantılarının dayanımını ve yapılan lehimleme birleşiminin kalitesini ölçmek için basınç ve kaçak testleri yapılmaktadır. Bu testler de genel olarak kullanılan endüstriyel ürünün tamamını kapalı sistem olarak ele alınır ve

sistem içerisine azot ve helyum gazları verilerek kaçak, çatlama gibi problemlerin kontrolü sağlanır. Yüksek basınç sistemlerinde seçilen ekipmanların çalışma basıncı güvenli operasyon sağlamak için patlama basıncının ortalama yarısı mertebesinde olmalıdır [31].

Birleştirilen numunelerin lehimleme kalitesini, ürün üzerinde kullanılmadan, parça olarak belirleyebilmek için numunelere patlatma testi uygulanmıştır. Bunun için bakır boru imalatçısı “Beformet Firması” ndaki basınçla patlatma test düzeneği kullanılmıştır. Düzenekte hem hava hem de yağ ile numune parçaların patlama basıncını (burst pressure) test edilebilmektedir.

Hava basıncı ile istenilen basınç değerlerine ulaşamadığından hidrolik yağ basıncı kullanılarak numuneler test edilmiştir. Numuneleri düzeneğe bağlayabilmek için lehimleme prosesi öncesi kapaklar üzerine 7x7mm NPT (National Pipe Taper) dış açılmıştır. Düzeneğin bağlantı ucuna uygun bağlantı hazırlanarak montajlanmıştır. Test esnasında FULHYDRO HLP 10 hidrolik sistem yağı kullanılmıştır. Ekipmanlar ve düzenek Şekil 3.14’de kısaca tanıtılmıştır.

Düzeneğin
numuneye
bağlandığı kısım



Düzenekte
kullanılan
hidrolik yağ ve
göstergesi



Test düzeneği ve
verilen basıncı
 l mek için
kullanılan yağ
basıncı ölçer
manometre



Şekil 3.14. Patlatma test düzeneği

BÖLÜM 4

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Spektral Analiz Sonuçları

5 adet lehim teli için yapılan spektral analiz sonuçları Tablo 4.1’ de verilmiştir. Malzeme kompozisyonlarının daha önce Tablo 3.1’ de verilen malzeme kompozisyonları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

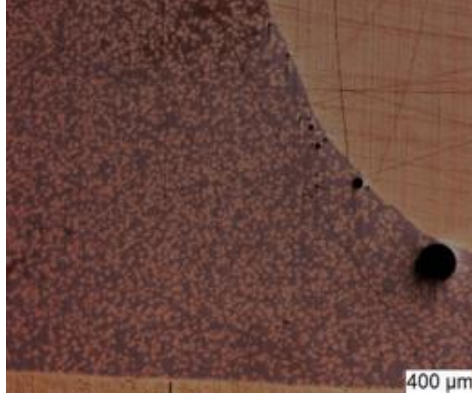
Tablo 4.1. Malzeme kompozisyon ve özellikleri

Dolgu Teli	AWS (American Welding Society)	Kompozisyonlar %						
		Ag	Cu	P	Sn	Zn	Cd	Diğer
1	BCuP-1	0.01	94.66	4.98	0.03	0.05	0.01	<0.15
2	BCuP-3	4.81	89.81	4.8	0.07	0.09	0.02	<0.15
3	BCuP-4	6	88.44	5	0.11	0.12	0.01	<0.15
4	BAg-2a	30.4	27.05	0	0.23	21.13	20.65	<0.15
5	BAg-28	39.5	29.03	0	2.31	28.67	0.04	<0.15

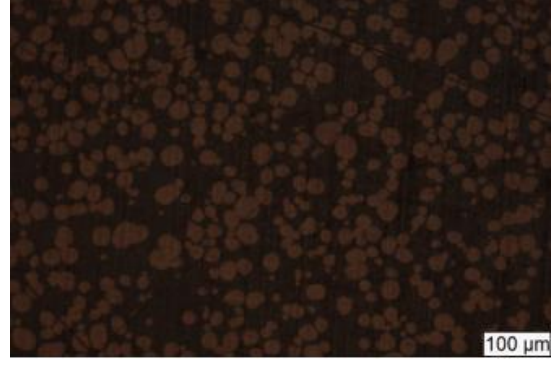
4.2. Bakır-Pirinç Numunelerinin İncelenmesi

4.2.1. BCuP-1 (1 no.lu) Dolgu teli

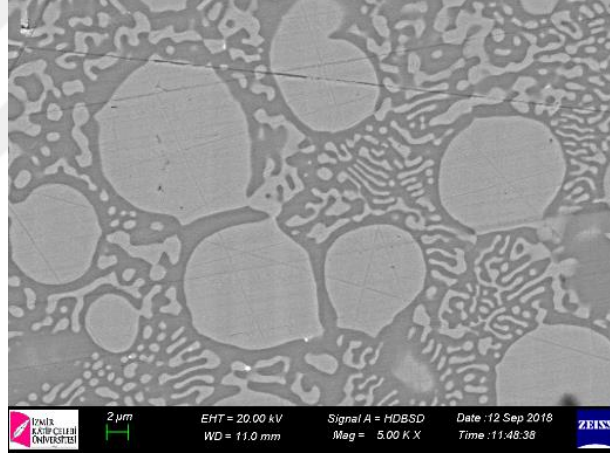
Şekil 4.1’ de BCuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılarak birleştirilen bakır-pirinç parçaların lehim bölgeleri verilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde Şekil 4.1’ de 1 no.lu dolgu telinin yani Ag ilavesiz dolgu teli kullanılan bağlantıda bakır ve pirinç malzemeler ile birleşim bölgesine yakın kısımlarda gaz boşlukları görülmektedir. Şekil 4.2’de OM ve Şekil 4.3’ de SEM görüntüsü verilen 1 no.lu gümüş ilavesiz dolgu teli küresel yapıları görülmektedir.



Şekil 4.1. BCuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı

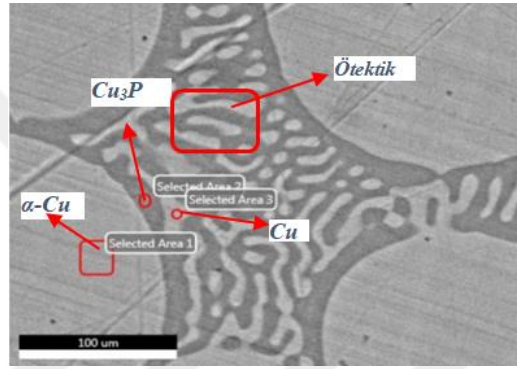


Şekil 4.2. BCuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantının OM mikroyapısı

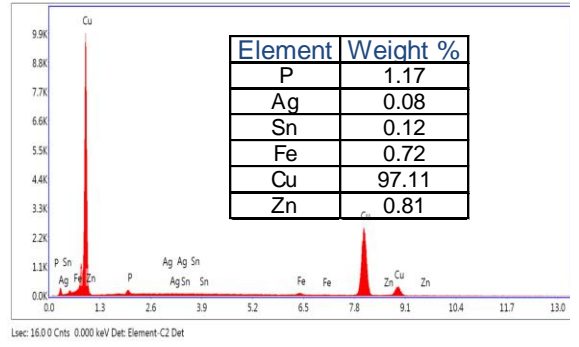


Şekil 4.3. BCuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantının SEM mikroyapısı

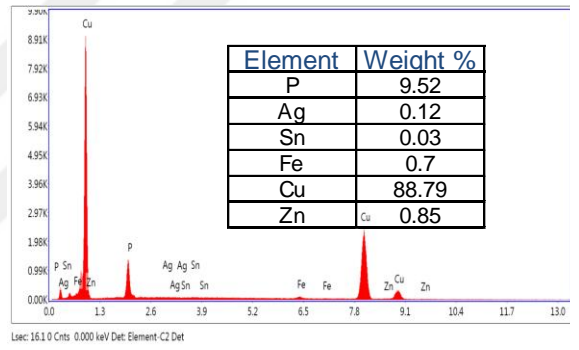
Şekil 4.4' de yapılan EDX incelemelerinden elde edilen BCuP-1 dolgu metalinin içerisindeki fazlar ve oranları görülmektedir. Açık renkli küresel fazlar α -Cu, koyu çizgili yapı ise Cu+ Cu₃P ötektikidir. Lamelli ötektik yapıda açık renkli faz Cu iken koyu renkli faz ise Cu₃P' dir. Şekil 4.5' deki Cu-P faz diyagramındaki fazlar incelendiğinde, ilgili kimyasal kompozisyon için söz konusu fazların oluştuğu görülmüştür.



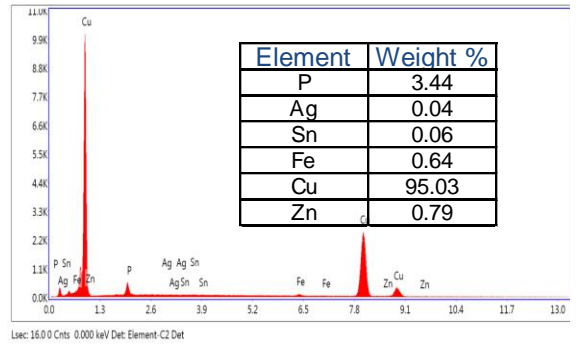
Selected Area 1



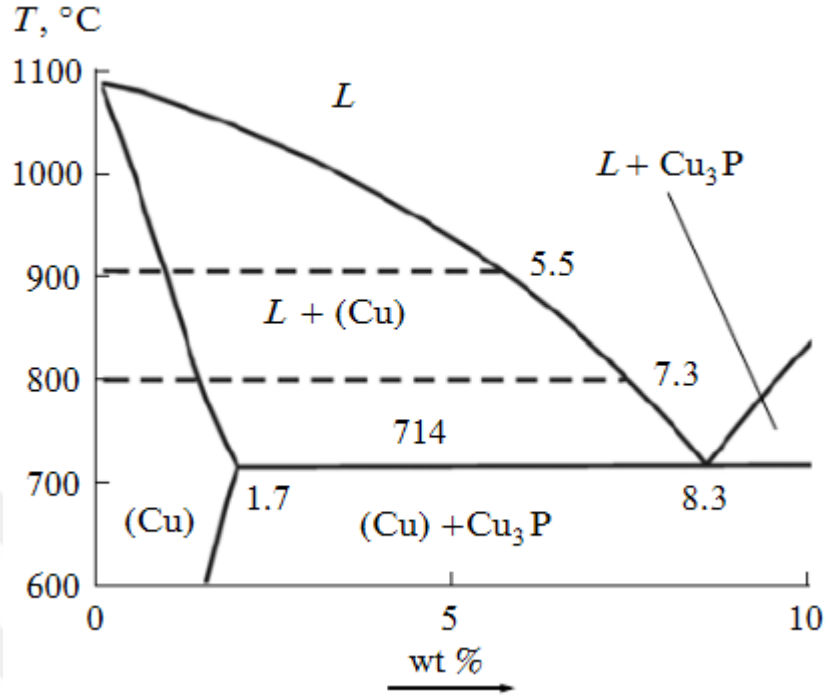
Selected Area 2



Selected Area 3

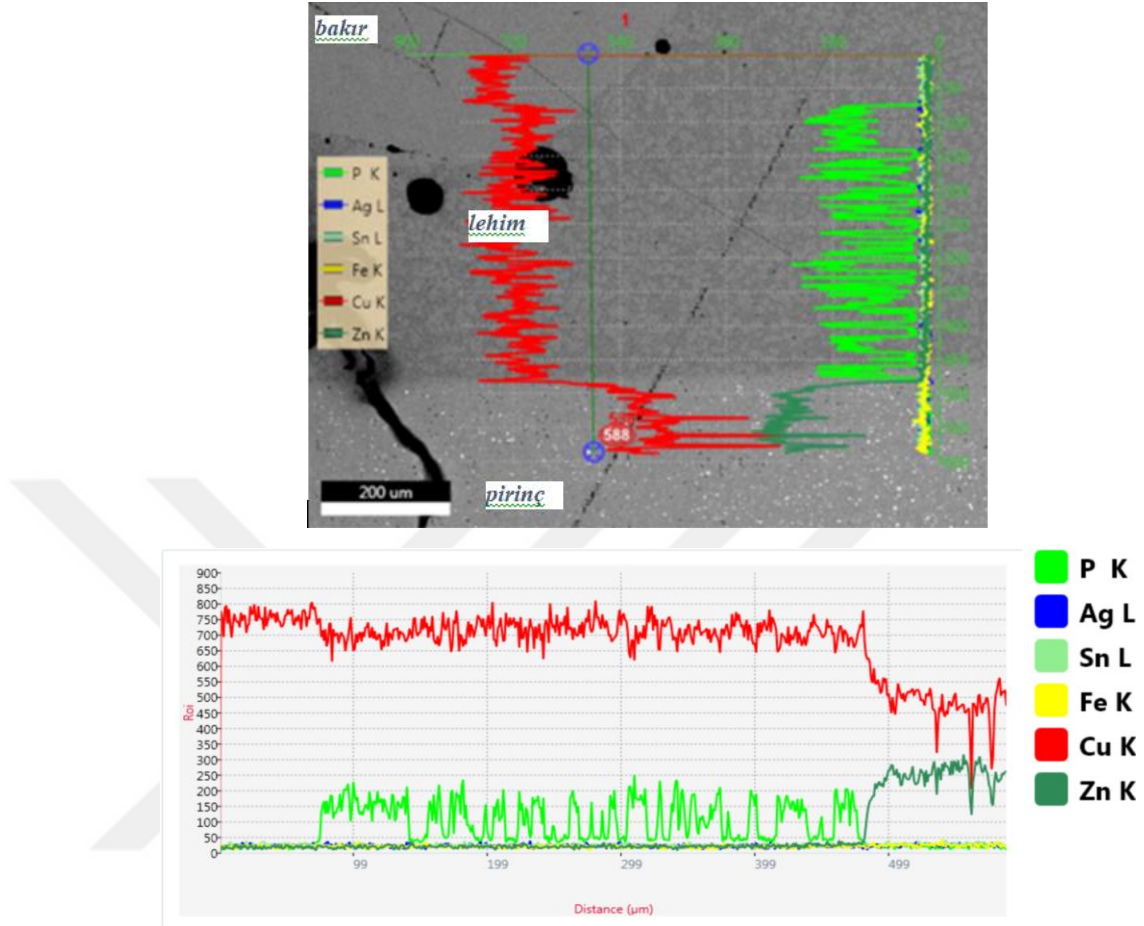


Şekil 4.4. B₂CuP-1 (1 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantıda SEM/EDX incelemeleri



Şekil 4.5. Cu-P İkili Faz Diyagramı [32]

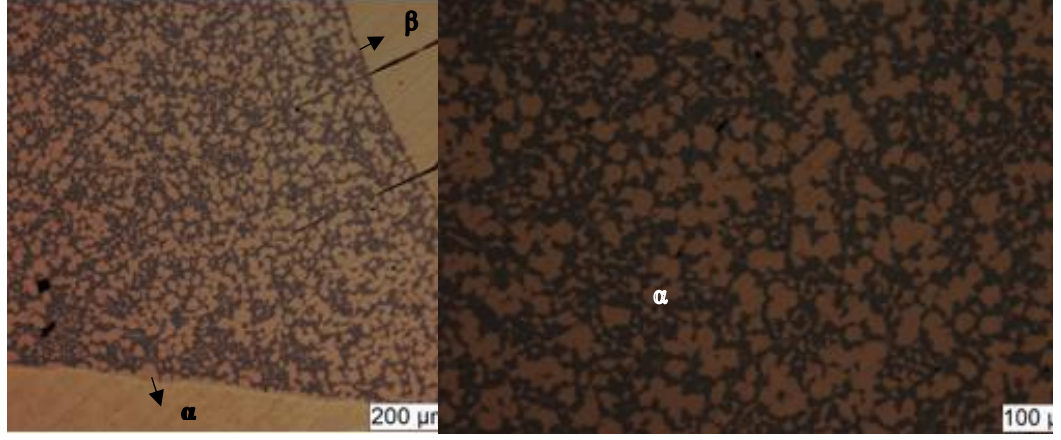
Şekil 4.6 'de görüleceği gibi bakır boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine EDX ile çizgi tarama analizi yapılmıştır. Bakır boru kesitinde sadece kırmızı renkte görülen Cu elementi görülürken, birleşim bölgesinde Cu oranının bir miktar azaldığı ve P oranında artış olduğu görülmektedir. Pirinç bölgeye gelindiğinde ise Cu oranındaki azalma ile birlikte Zn oranındaki artış göze çarpmaktadır. Bu bölgede P elementine rastlanmamıştır. Sonuçlar daha önce elementlere yapılan spektral analiz sonuçları ile uyumludur.



Şekil 4.6. BCuP-1 (1'nolu) dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi analizi

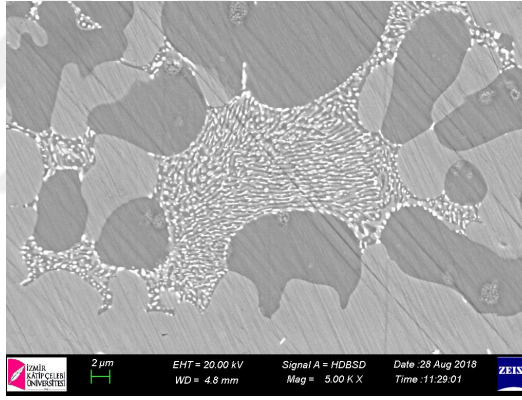
4.2.2. BCuP-3 (2 no.lu) Dolgu teli

Şekil 4.7'de BCuP-3 (2 no.lu) dolgu telinin yani %4.8 Ag içeren dolgu teli ile birleştirilmiş bakır-pirinç parçaların lehim bölgeleri verilmiştir. Bakır ile olan bağlantı arayüz bölgesinde birleşim hattı boyunca β taneleri görülürken pirinç ile birleşim bölgesinde α taneleri görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.8'de gümüş ilavesinin artmasına bağlı olarak α tanelerinin rozet yapısına dönüştüğü görülmektedir. Şekil 4.9' da tane morfolojisi SEM ile incelenmiştir. Ötektik faz ve diğer fazlar rahatlıkla ayrıt edilebilmektedir.



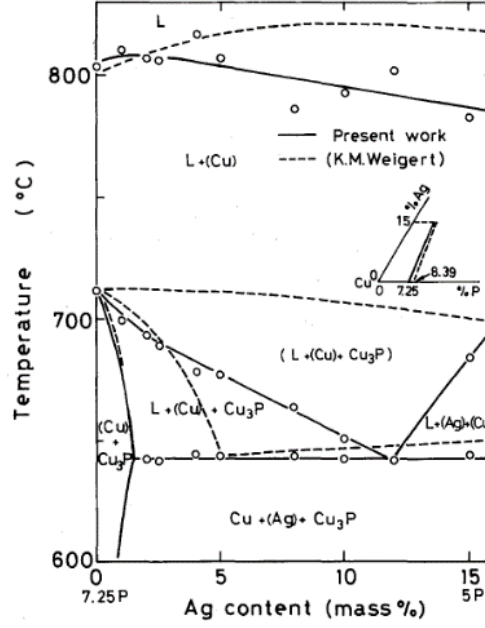
Şekil 4.7. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı

Şekil 4.8. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı



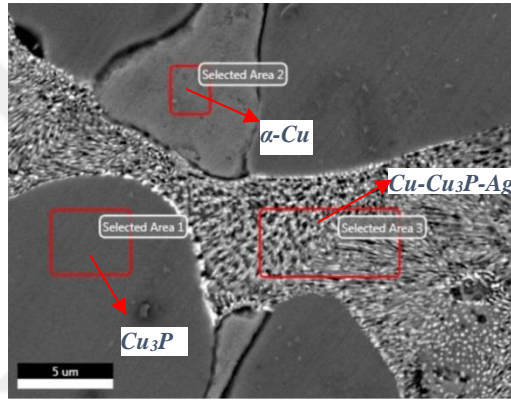
Şekil 4.9. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantının SEM mikroyapısı

Şekil 4.10' da içerikteki P oranı (%6) sabit tutularak çizilen ikili Cu-Ag faz diyagramı verilmiştir. Buna göre %4.8 Ag içeriğinde; Cu, Cu₃P ve Ag fazlarının oluşması beklenmektedir. Şekil 4.11' de 3 farklı yapı göze çarpmaktadır. Açık gri rengekteki iri rozet şeklindeki kısım α-Cu taneleri iken, koyu gri renkli yapı Cu₃P taneleridir. Burada ötektik yapının son derece ince olan lamelli yapısı göze çarpmaktadır. Bu yapı içerisindeki beyaz renkli fazlar Ag 'dir. Ötektik yapı Cu-Cu₃P-Ag fazıdır. Bu sonuç hem EDX analizi ile hem de Şekil 4.10' da verilmiş olan faz diyagramı ile doğrulanmıştır.

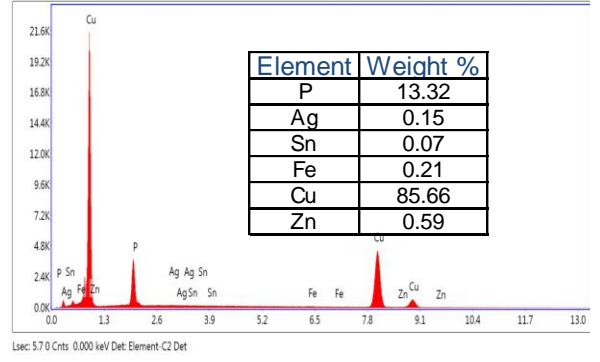


Şekil 4.10. %6P için ikili Cu-Ag faz diyagramı [33]

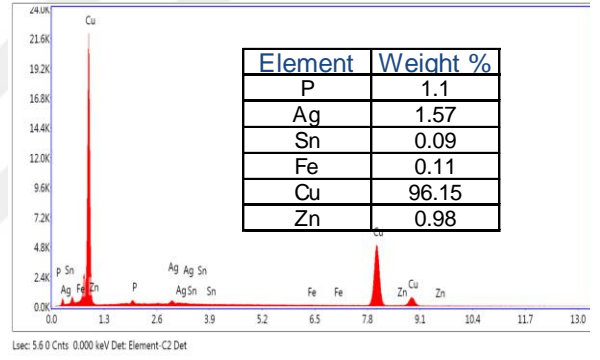
Şekil 4.12' de görüleceği gibi bakır boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine EDX çizgi tarama analizi yapılmıştır. Bakır boru kesitinde sadece kırmızı renkte görülen Cu elementi görülürken, birleşim bölgesinde Cu oranının bir miktar azaldığı, Ag ve P oranında artış olduğu görülmektedir. Pirinç bölgeye gelindiğinde ise beklendiği gibi Cu oranında nispeten azalma ile birlikte Zn oranında artış meydana gelmiştir.



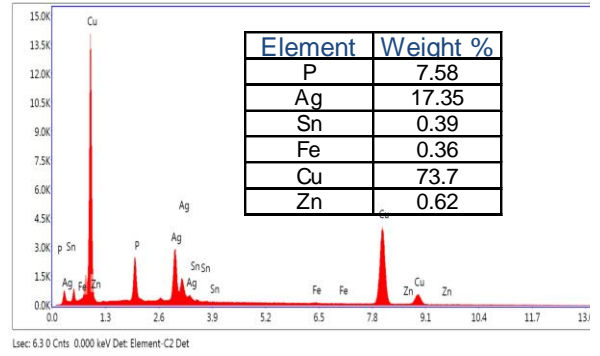
Selected Area 1



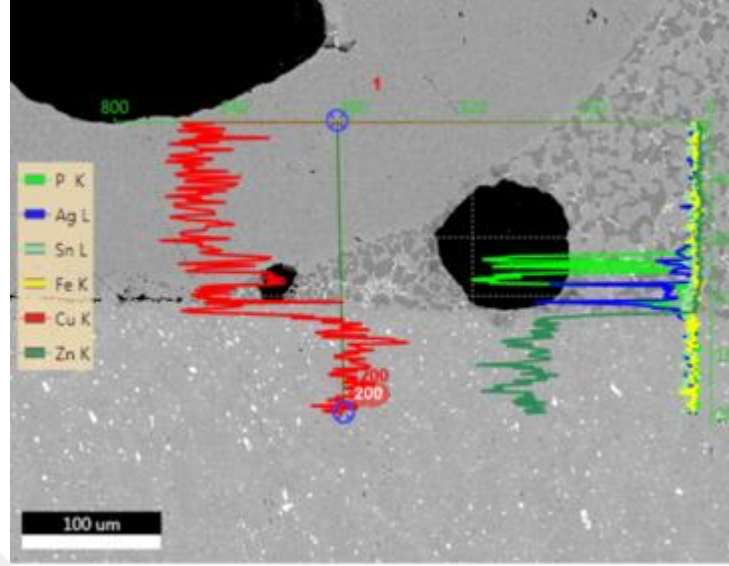
Selected Area 2



Selected Area 3



Şekil 4.11. BCuP-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantıda SEM/EDX incelemeleri



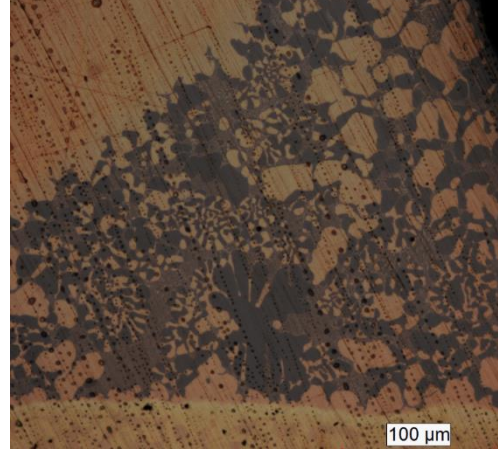
Şekil 4.12. BCU-P-3 (2 no.lu) dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi analizi

4.2.3. BCU-P-4 (3 no.lu) Dolgu teli

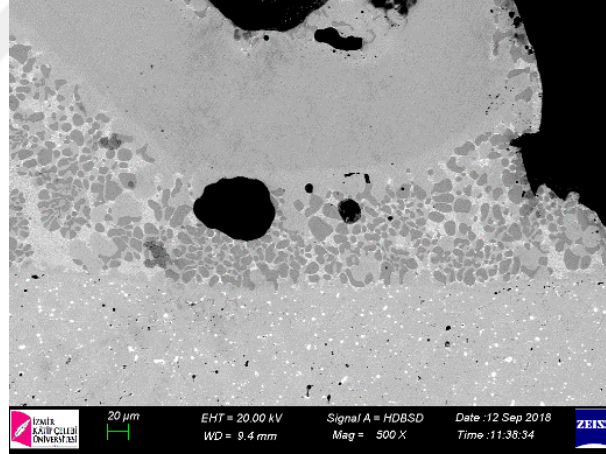
Şekil 4.13' de BCU-P-4 (3 no.lu) dolgu telinin yani %6 Ag içeren dolgu metalinin bakır ve pirinç ile oluşturduğu genel birleşim yapısı görülmektedir. Şekil 4.14' de optik mikroskop altında dolgu metalinin dendrit yapısı Şekil 4.15'de SEM ile de açık şekilde görülmektedir. Ayrıca SEM incelemesindeki bölgede lehim bağlantısındaki boşluklu yapı göze çarpmaktadır.



Şekil 4.13. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü

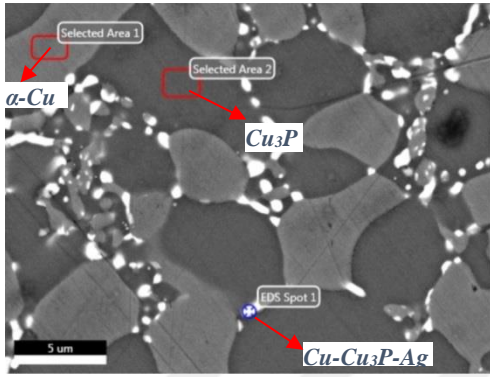


Şekil 4.14. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü

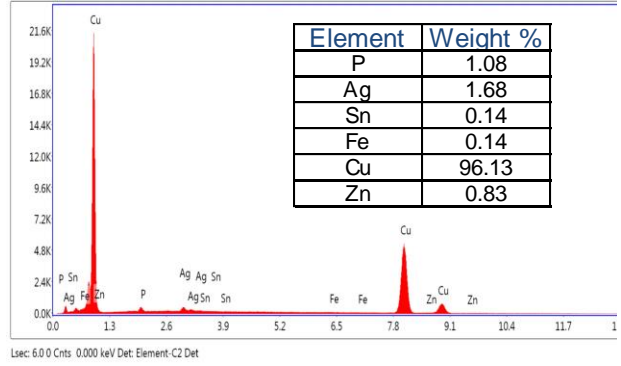


Şekil 4.15. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

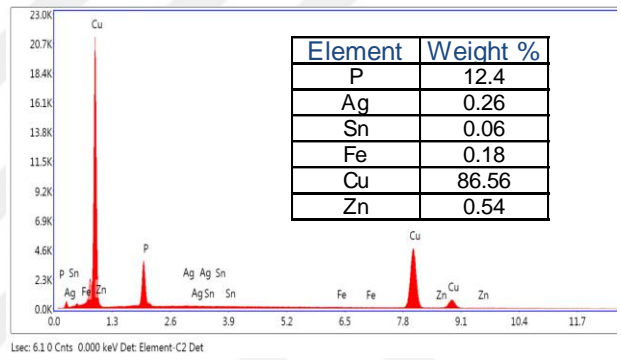
Şekil 4.16'daki büyük büyütme SEM görüntüsü incelendiğinde fazlar ve ötektik morfolojisi detaylıca görülebilmektedir. Optik mikroskopta yüksek büyütmeyle çıkılamadığından bu detaylar görünür değildir. Açık gri renkli kısım α -Cu taneleri iken, koyu gri renkli yapı Cu_3P taneleridir. Ötektik yapı içerisindeki beyaz renkli fazlar Ag 'dir. Ötektik yapı Cu-Cu₃P-Ag fazıdır.



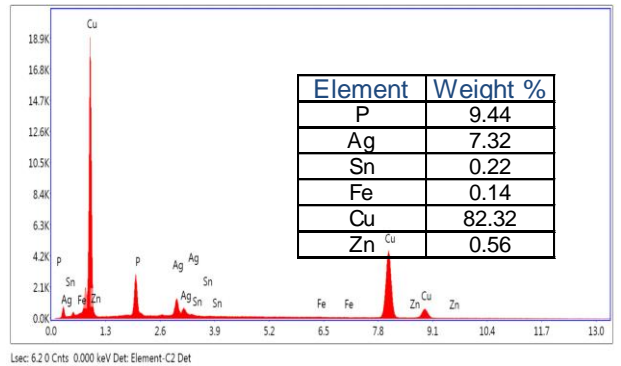
Selected Area 1



Selected Area 2

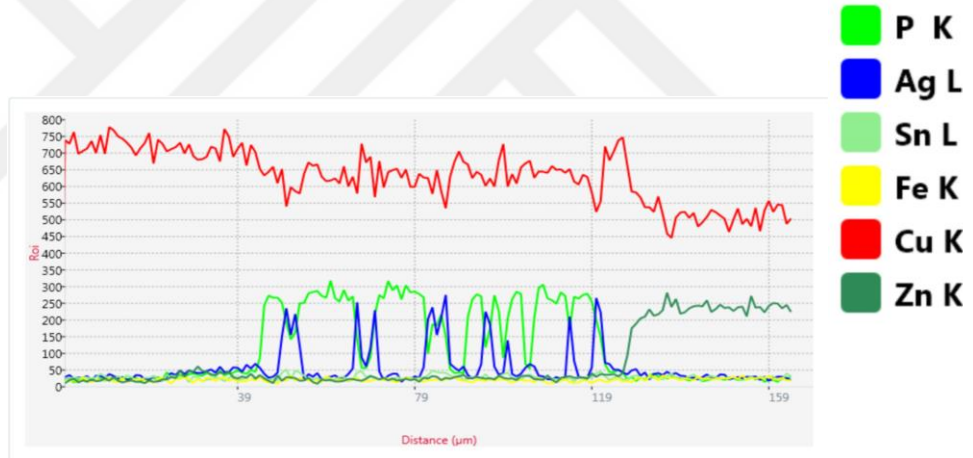
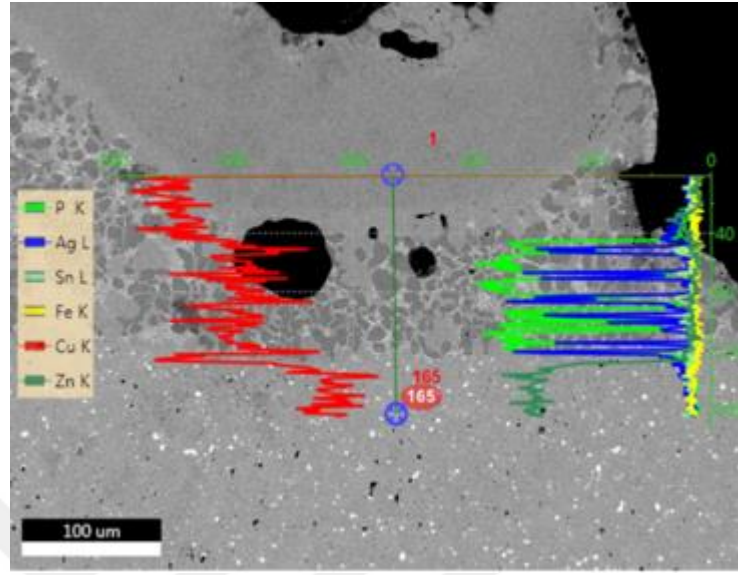


EDS Spot



Şekil 4.16. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda noktasal analiz (SEM mikroyapısı)

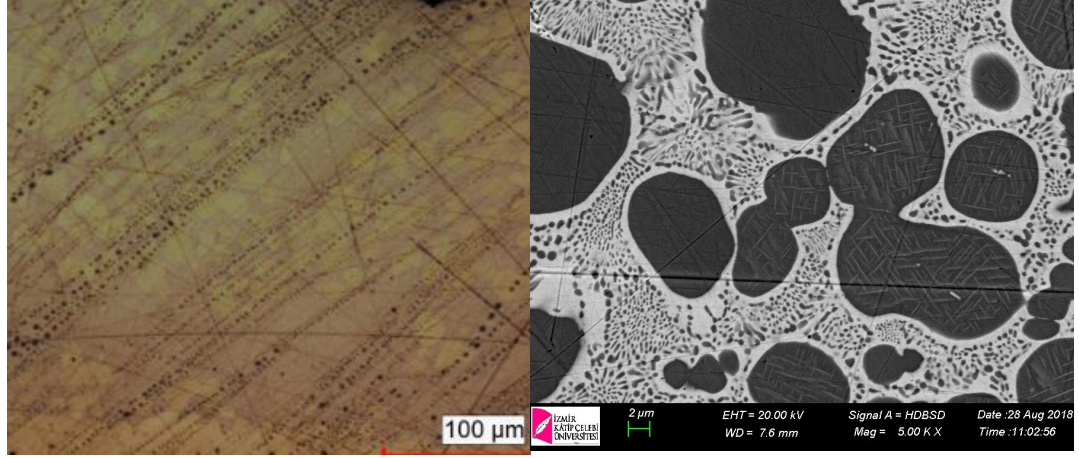
Şekil 4.17' de görüleceği gibi bakır boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine EDX çizgi tarama analizi yapılmıştır. Bakır boru kesitinde sadece kırmızı renkteki Cu elementi görülürken, birleşim bölgesinde Cu oranının bir miktar azaldığı, Ag ve P oranında artış olduğu görülmektedir. Pirinç bölgeye gelindiğinde ise beklendiği gibi Cu oranında nispeten azalma ile birlikte Zn oranındaki artış meydana gelmiştir.



Şekil 4.17. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.2.4. BAg-2a (4 no.lu) Dolgu teli

Şekil 4.18' de BAg-2a (4 no.lu) dolgu telinin yani %30 Ag ve %20 Cd içeren dolgu metalinin bakır ve pirinç ile oluşturduğu genel birleşim yapısı OM' da görülmektedir. Şekil 4.19' de SEM mikroskobunda açık renkli ötektik Ag-Cu-Cd-Zn fazları görülmektedir.

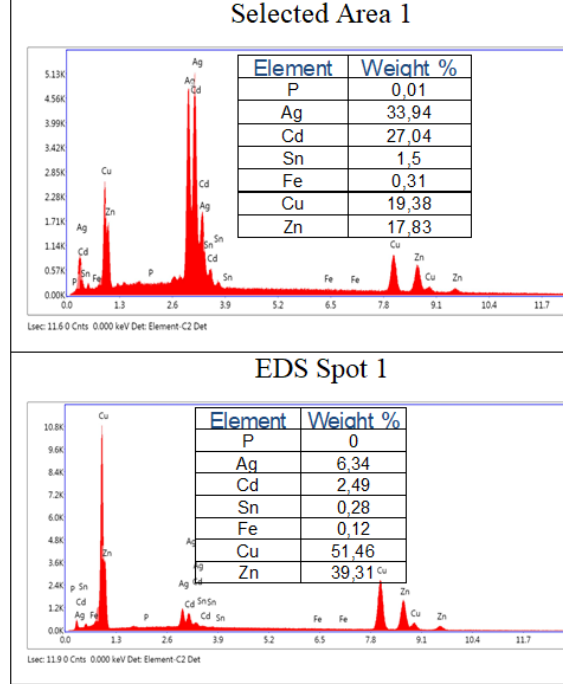
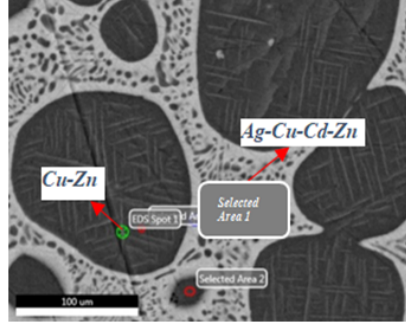


Şekil 4.18. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü

Şekil 4.19. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

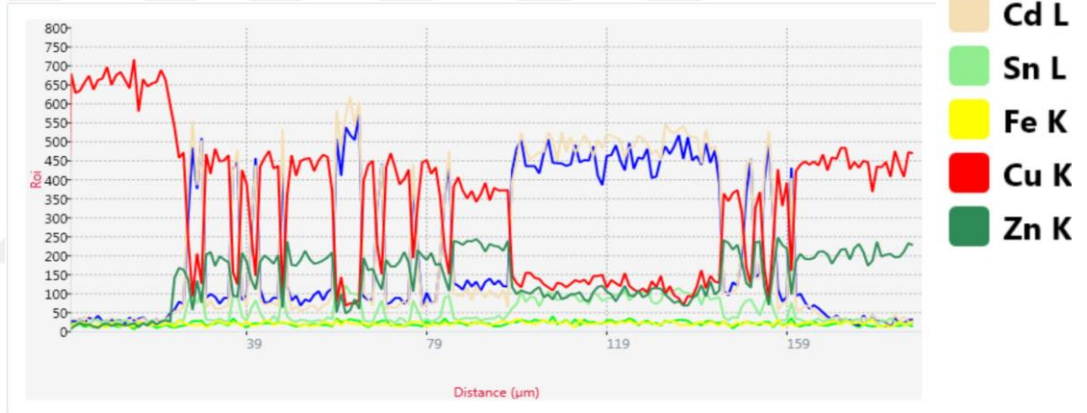
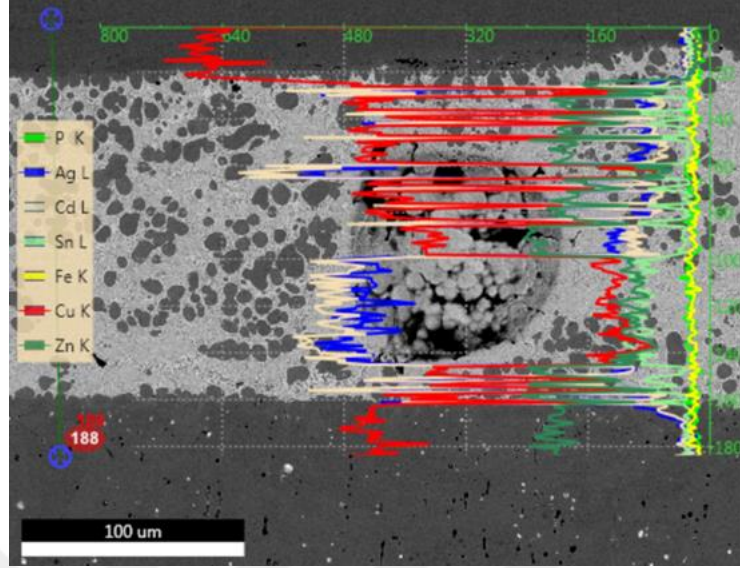
Şekil 4.20 'de BAğ-2a (4 no.lu) dolgu teli ile lehimlenen bağlantının lehim bölgesine yapılan noktasal analiz görülmektedir. Lamelden ziyade nodüler bir morfolojiye sahip açık renkli kısım ötektik fazdır (Ag-Cd-Cu-Zn). Koyu renkli küresel formdaki birincil faz ise Cu ve Zn içeriği zengin bir katı çözüldür. Koyu gri Cu taneleri içerisinde kılcal-ığnemsli lamelli Cu-Zn içeriği görülmektedir. Bu ığnemsli yapıya EDX nokta analizi yapılmıştır, buna göre içerisinde bir miktar Ag ve Cd olduğu da tespit edilmiştir. Bilindiği üzere yarı-kantitatif EDX analizi nokta analizlerinde hata oranları yükselebilmektedir. Ancak artan Ag oranının yanında ağırlıkça %20 gibi yüksek miktarda Cd içeren alaşımda ığnemsli yapıdaki fazların sayıca fazla olduğu ortadadır. Ayrıca, 2 ve 3 no.lu tellerde rastlanan ötektik içerisindeki parlak renkli Ag yüksek faza bu bağlantıda rastlanmamıştır.

Bu çok ince plaka şeklindeki yapılar Widmanstatten mikroyapısına sahiptir. Ag ilavesi ile dönüşümün gerçekleştiği sıcaklık düşmektedir. Dahası bu alaşımda Cd ve Zn yer almaktadır. İkisinin elektronegatiflikleri benzerdir. Zn ve Cd arasındaki difüzyon hızlı olurken diğer element atomları ile difüzyon daha az olacaktır ve bu da daha ince yapı getirmekte ve katı çözüldü boyutunu azaltarak Widmanstatten mikroyapısı oluşmaktadır.



Şekil 4.20. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda noktasal analiz (SEM mikroyapısı)

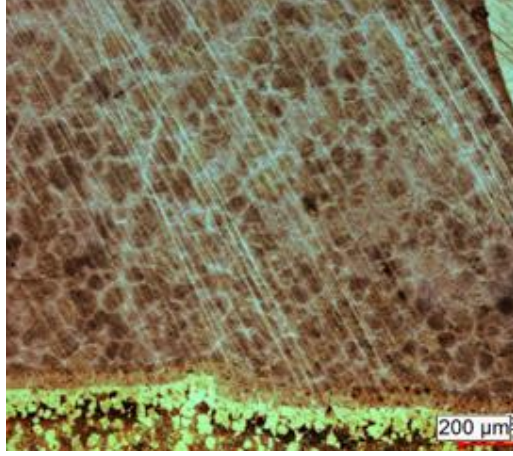
Şekil 4.21’ de görüleceği gibi bakır boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine çizgi tarama analizi yapılmıştır. Lehim bölgesinde Cu-Zn-Cd-Ag elementleri yer almaktadır. Grafik incelendiğinde açık renkli ötektik faz içerisinde Ag-Cd içerikleri oransal olarak artarken, Cu-Cd ikilisinin azaldığı görülmektedir. Lehim bölgesi içerisindeki koyu gri olarak görünen bölgeler de ise Ag-Cd içerikleri oransal olarak azalırken Cu-Zn ikilisi artış göstermektedir. Lehimin pirinç kapağa yaklaştığı kısımda ise içerikteki Ag ve Cd oranı azalmakta ve Cu oranı artış göstermektedir.



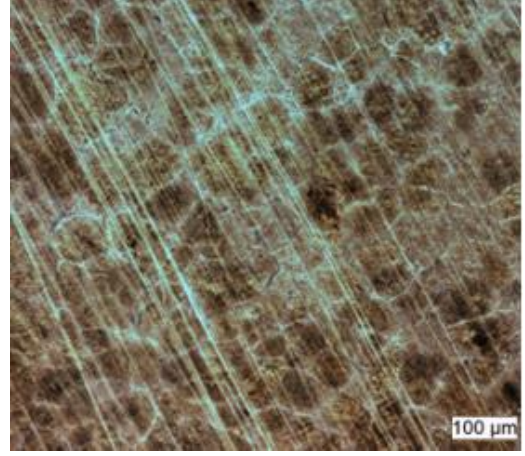
Şekil 4.21. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.2.5. BAg-28 (5 no.lu) Dolgu teli

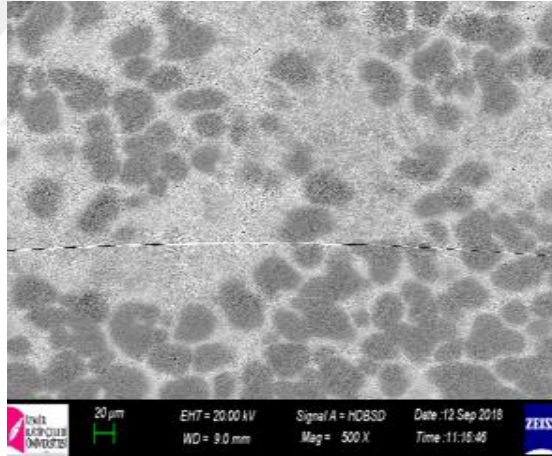
Şekil 4.22' de %40Ag ilaveli BAg-28 dolgu teli ile lehimlenen bakır ve pirinç malzemelerin optik mikroskopta incelenen görüntüsü verilmiştir. Birleşim bölgesi mikroyapısının homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.23'de OM'da ve Şekil 4.24'da SEM' de lehim bölgesinin genel yapısı görülmektedir.



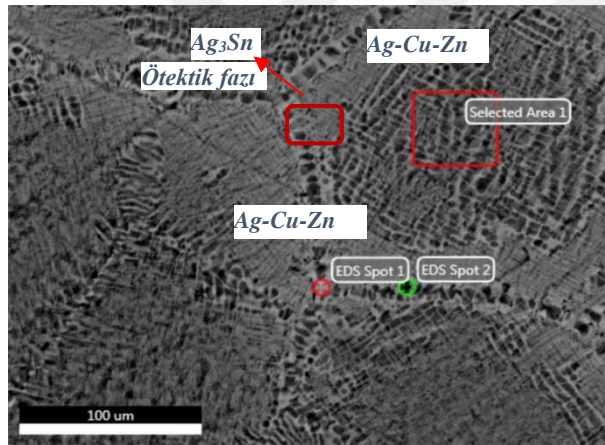
Şekil 4.22. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



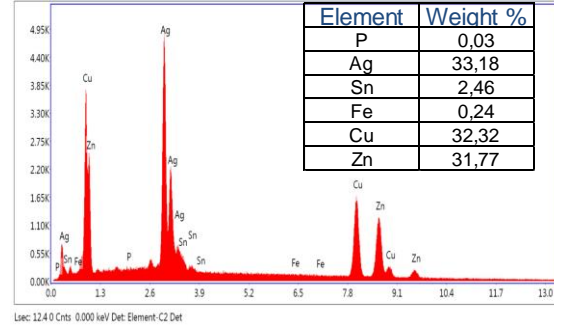
Şekil 4.23 5no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü



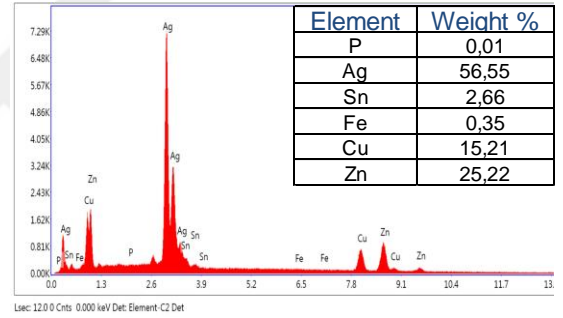
Şekil 4.24. 5no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)



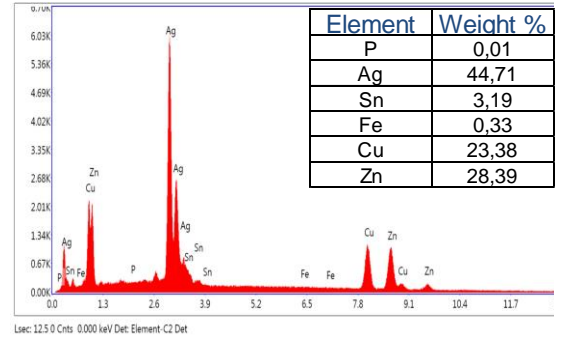
Selected Area 1



EDS Spot 1



EDS Spot 2

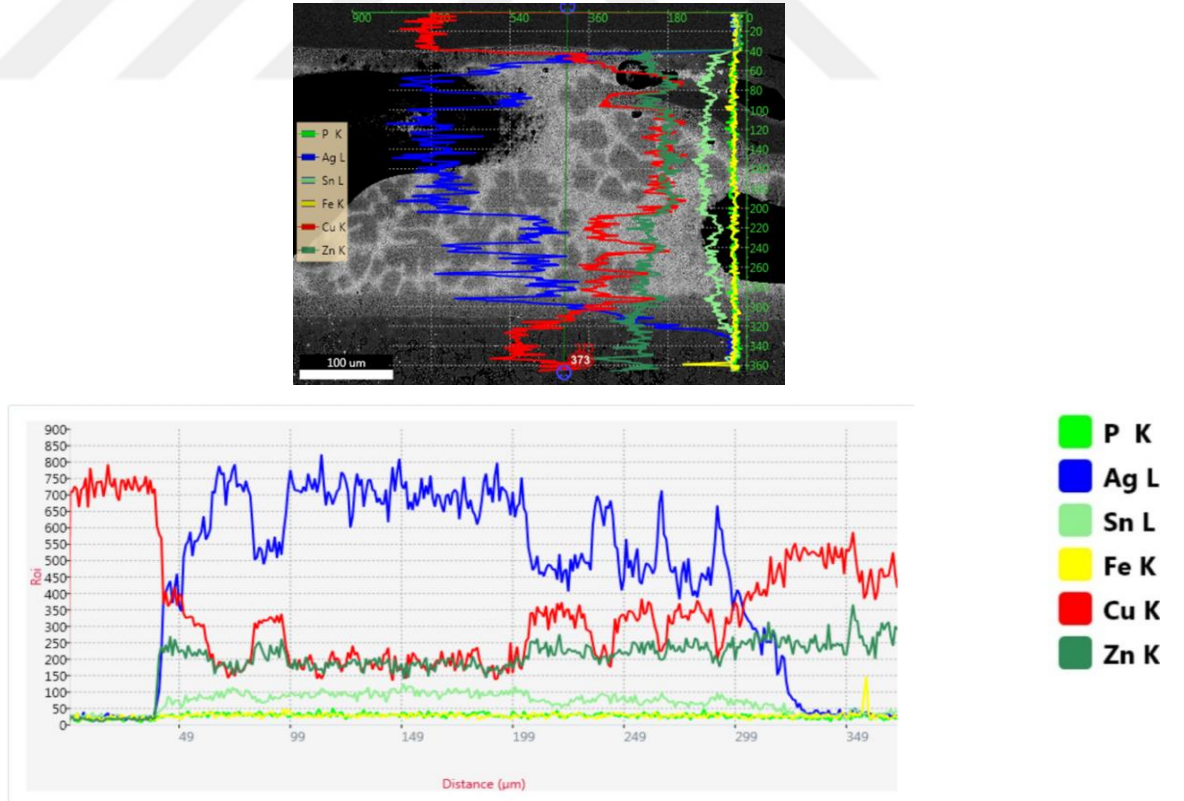


Şekil 4.25. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda noktasal analiz (SEM mikroyapısı)

Şekil 4.25 'de BAg-28 dolgu teli ile lehimlenen bağlantının lehim bölgesine yapılan EDX noktasal analiz görülmektedir. Buradaki mikroyapı son derece ince yapılı

gri ve koyu gri olarak görünen iki fazdan oluşmaktadır. Açık renkli gümüşçe zengin kısımda ötektik faz (Ag_3Sn) oluşmuştur. Koyu gri olarak görünen faz Ag miktarının düşük olduğu fazdır. Öte yandan %40 Ag ilavesi içeren BAg-28 dolgu teli ile lehimlenen bağlantıda SEM mikroskobu altında son derece yüksek oranda büyütmeyle rağmen ötektik lamellerini veya nodüler yapıyı ayırt etmek ince yapısından dolayı son derece güçtür.

Şekil 4.26' da görüleceği gibi BAg-28 dolgu teli ile lehimlenen bağlantıya çizgi tarama analizi yapılmıştır. Lehim bölgesinde genel olarak Ag elementi diğerlerine göre daha yüksek orandadır. Grafik incelendiğinde açık renkli kısımda ötektik fazda Ag_3Sn görülürken, koyu küresel formlarda ise Cu-Zn ikinci fazı artışı göstermektedir. Lehimin pirinç kapağa yaklaştığı kısımda ise içerikteki Ag oranı azalmakta ve Cu oranı artış göstermektedir.



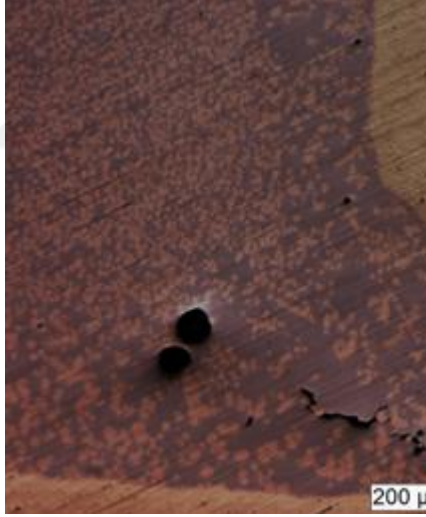
Şekil 4.26. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.3.Pirinç-Pirinç Numunelerinin İncelenmesi

4.3.1. BCuP-1 (1'nolu) Dolgu teli

Mikroyapı incelemelerinde Şekil 4.27' de 1 no.lu dolgu telinin pirinç ve pirinç malzemeler ile birleşim bölgesinde homojen bir görüntü görülse de lehim bölgesinde gaz boşlukları olduğu görülmektedir. Şekil 4.28' de dolgu metali küresel görünümündedir. Şekil 4.29'da bağlantı morfolojisinin SEM görüntüsü verilmiştir.

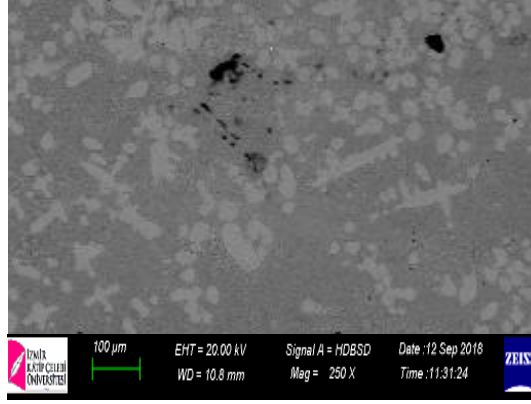
Şekil 4.30 'da görüldüğü gibi pirinç boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine EDX çizgi tarama analizi yapılmıştır. Pirinç boru kesitinde Cu-Zn elementleri görülürken, lehim bölgesinde Cu oranı ile birlikte P oranında artış olduğu görülmektedir. Pirinç kapak kesitine gelindiğinde ise Cu-Zn bileşiği görülmektedir.



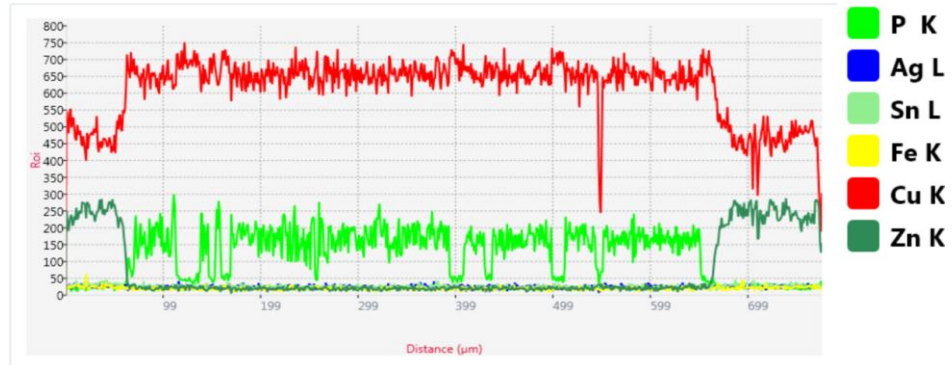
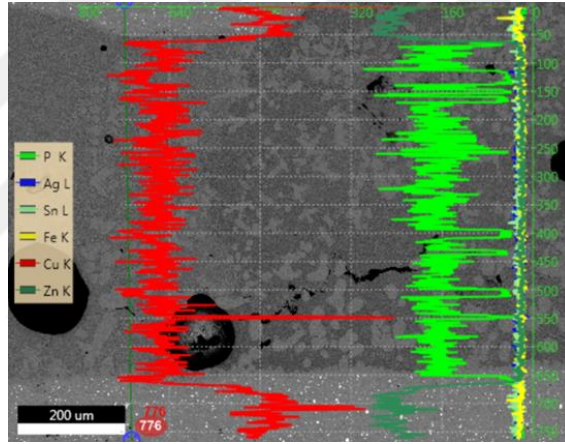
Şekil 4.27. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.28. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.29. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

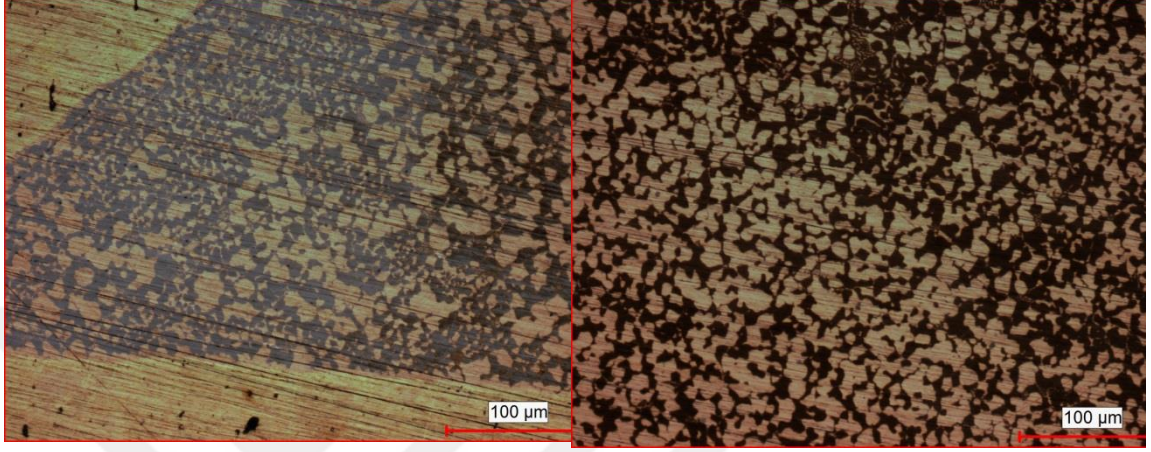


Şekil 4.30. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.3.2. BCuP-3 (2 no.lu) Dolgu teli

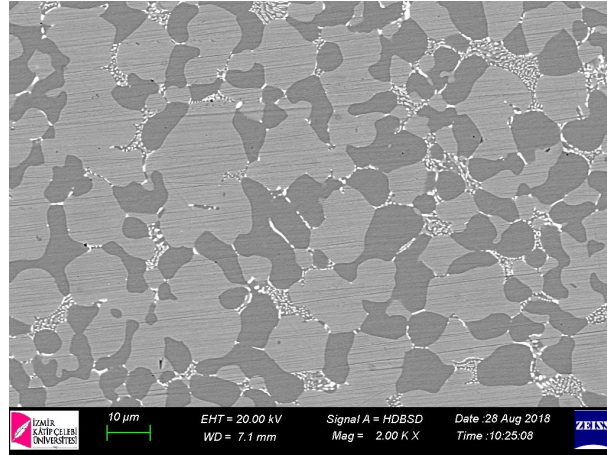
Şekil 4.31’de bakır boru ile olan birleşim yerinde irileşen α tanelerinin birleşim hattı boyunca homojen yayıldığı görülmektedir. Şekil 4.32’de yapıda α tanelerinin rozet yapısına dönüştüğü görülmektedir. Şekil 4.33’de görülen beyaz lamelli yapıda yoğun

olarak Ag elementi bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 4.33’ de α ve β tanelerinin ötektik faza oranla yüzdece fazla oldukları göze çarpmaktadır.



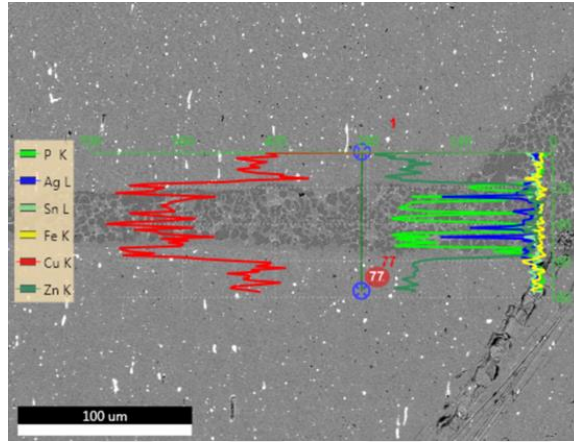
Şekil 4.31. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü

Şekil 4.32. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.33. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

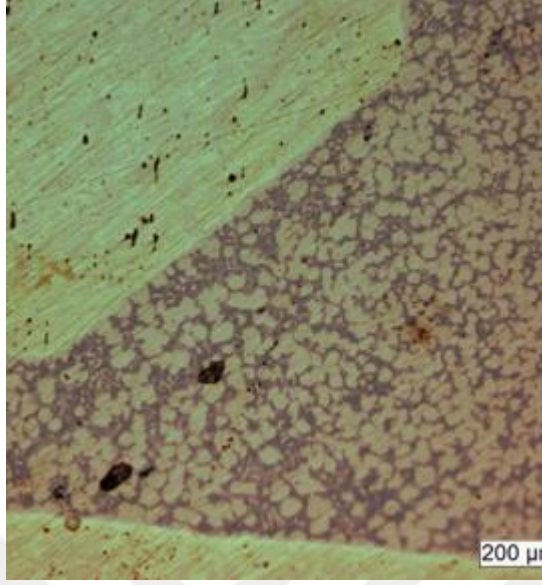
Şekil 4.34 ‘de görüleceği gibi pirinç boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine çizgi tarama analizi yapılmıştır. Pirinç boru kesitinde Cu-Zn elementleri görülürken, lehim bölgesinde Cu oranı ile birlikte P oranı ve bir miktar da Ag oranı artış göstermektedir. Pirinç kapak kesitine gelindiğinde ise Ag-P elementlerinin azalarak, Cu-Zn bileşiğinin ortaya çıktığı görülmektedir.



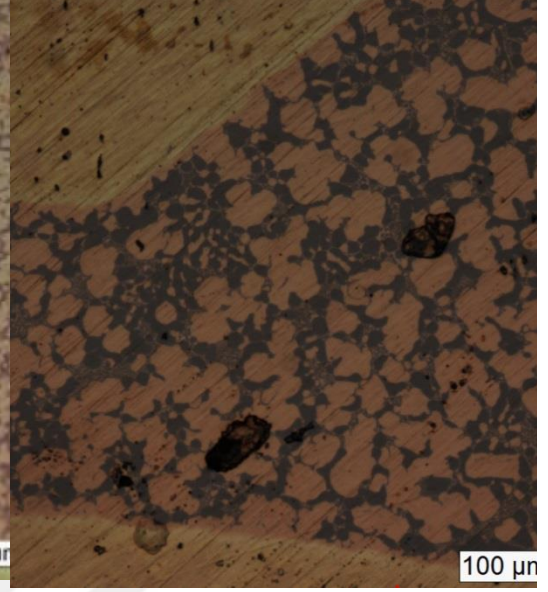
Şekil 4.34. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.3.3. BCuP-4 (3 no.lu) Dolgu teli

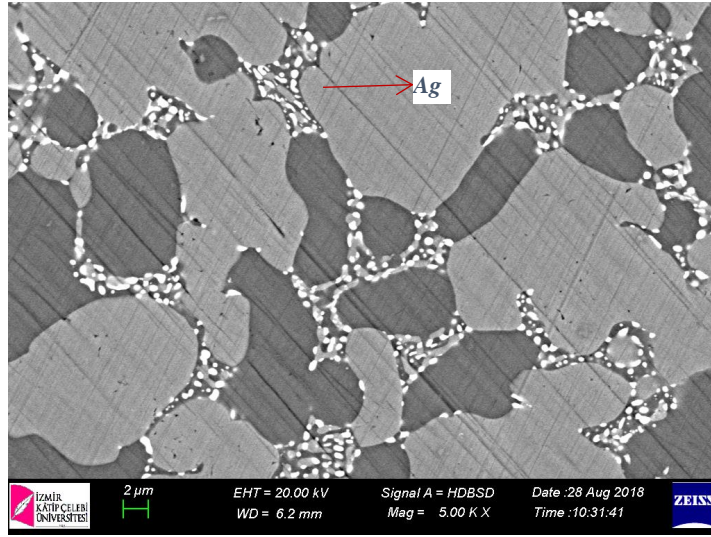
Şekil 4.35' de 3 no.lu dolgu telinin yani %6 Ag içeren dolgu metalinin pirinç kapak ve pirinç boru ile oluşturduğu genel birleşim yapısı görülmektedir. Şekil 4.36' da optik mikroskop incelemelerinde α taneleri burada da 2 no.lu tele benzer şekilde rozet şeklindedir. Şekil 4.37' de görülen ince beyaz renkte Ag içeren faz görülmektedir.



Şekil 4.35. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



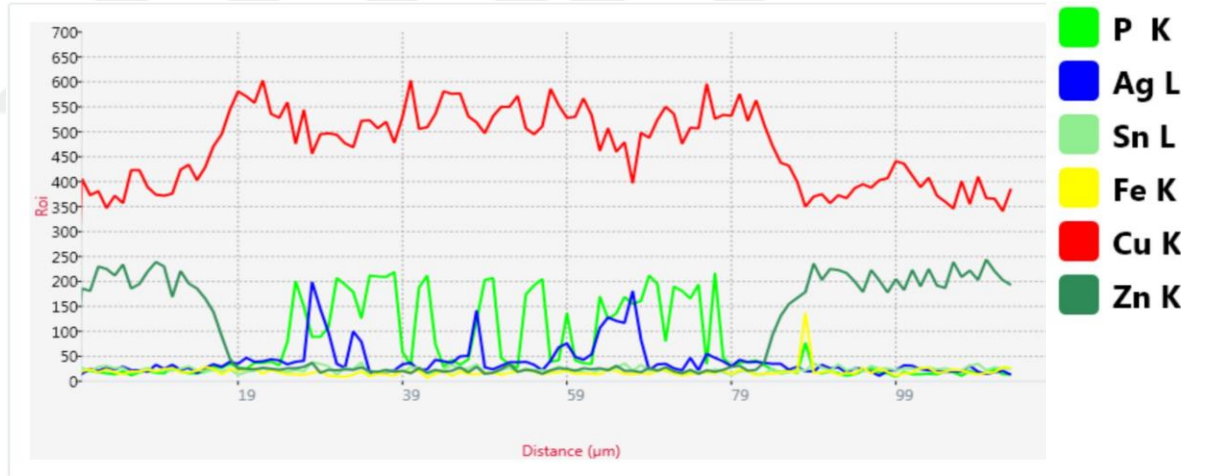
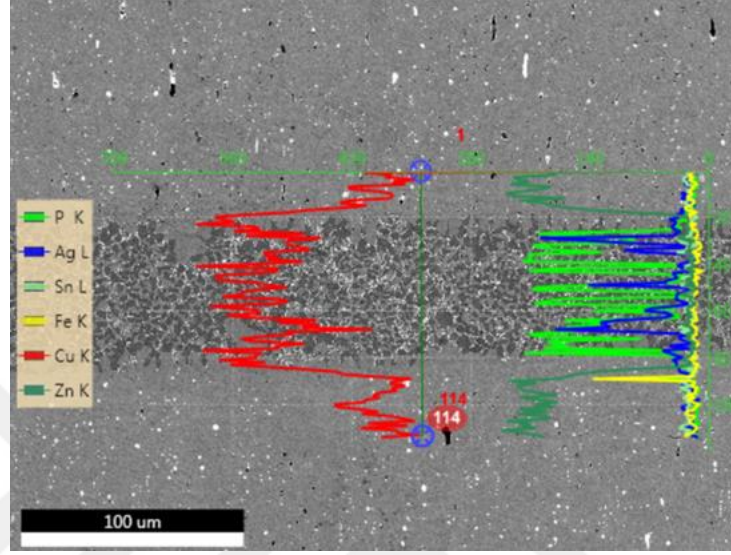
Şekil 4.36. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.37. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

Şekil 4.38' de görüleceği gibi pirinç boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine çizgi tarama analizi yapılmıştır. Pirinç boru kesitinde Cu-Zn elementleri görülürken, lehim bölgesinde Cu oranı ile birlikte P oranı ve bir miktar da Ag oranı artış göstermektedir.

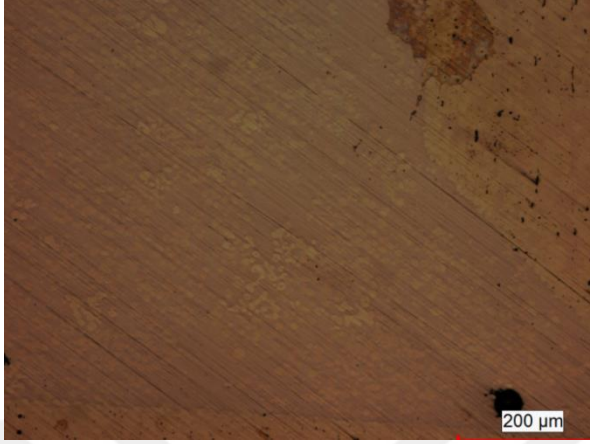
Pirinç kapak kesitine gelindiğinde ise Ag-P elementlerinin azalarak, Cu-Zn bileşiğinin ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.38. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.3.4. BAg-2a (4 no.lu) Dolgu teli

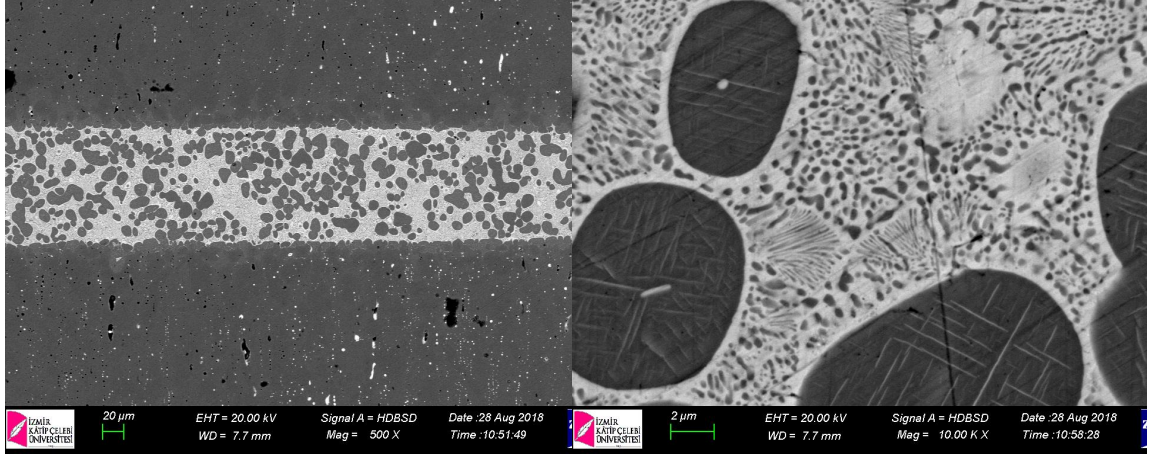
Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’ da 4 no.lu dolgu metalinin yani %30 Ag içeren dolgu telinin pirinç ve pirinç ile oluşturduğu genel yapısı görülmektedir. Şekil 4.41’ de pirinç boru ve pirinç kapağı birleştiren lehim bölgesinin kesit görünümü görülmektedir. Şekil 4.42’ de lehim bölgesinin yakından görünümünde gümüş oranının artışına bağlı olarak ara yüzey bölgesinde oluşan tane yapısının ise birbirine içerisine girmiş ince dendritik tanelerin kesit yapısı görülmektedir.



Şekil 4.39 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.40. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü

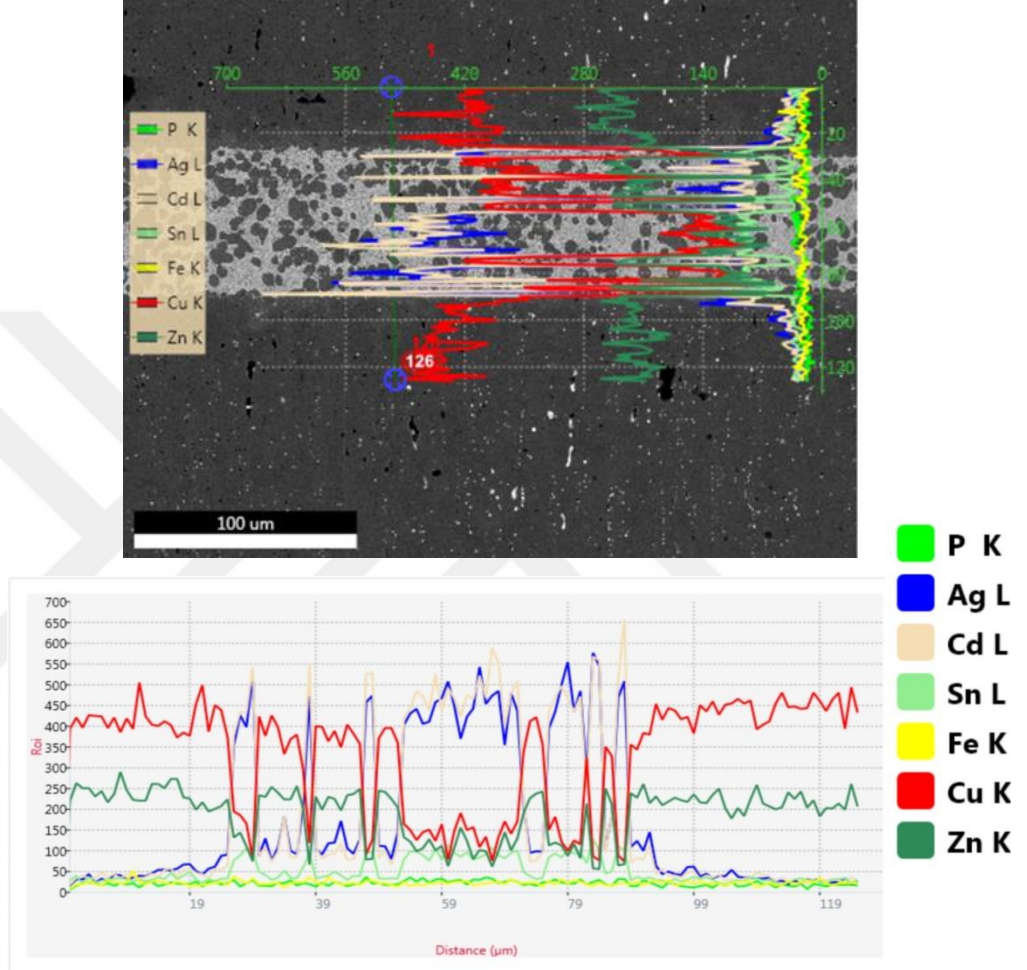


Şekil 4.41 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey morfolojisi (SEM mikroyapısı)

Şekil 4.42 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

Şekil 4.43' de görüleceği gibi pirinç boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine EDX çizgi tarama analizi yapılmıştır. Lehim bölgesinde Cu-Zn-Cd-Ag elementleri yer almaktadır. Grafik incelendiğinde açık renkli ötektik faz içerisinde Ag-Cd içerikleri oransal olarak artarken, Cu-Cd ikilisinin azaldığı görülmektedir. Lehim bölgesi içerisindeki koyu gri olarak görünen bölgeler de ise Ag-Cd içerikleri oransal olarak

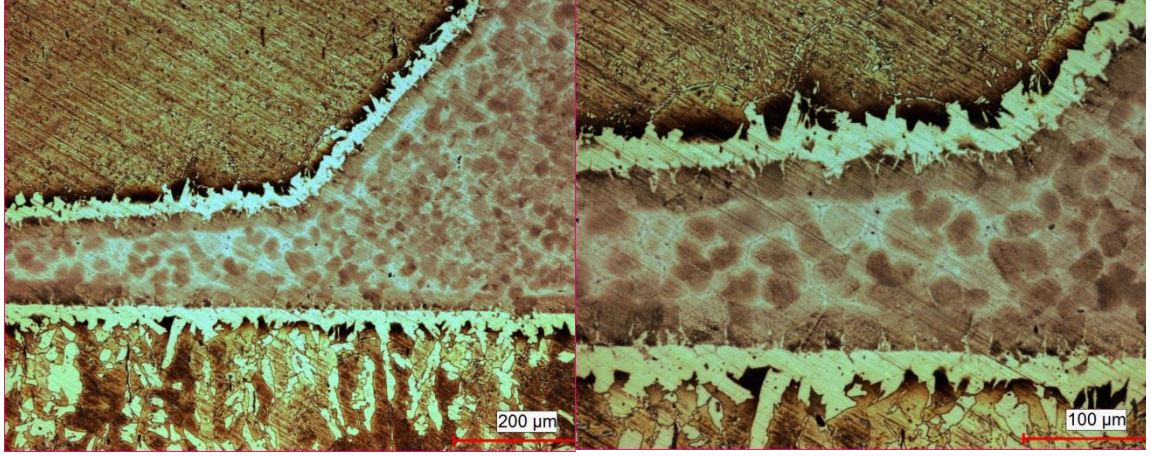
azalırken Cu-Zn ikilisi artış göstermektedir. Lehimin pirinç kapağa yaklaştığı kısımda ise içerikteki Ag ve Cd oranı azalmakta ve Cu oranı artış göstermektedir.



Şekil 4.43. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.3.5. BAg-28 (5 no.lu) Dolgu teli

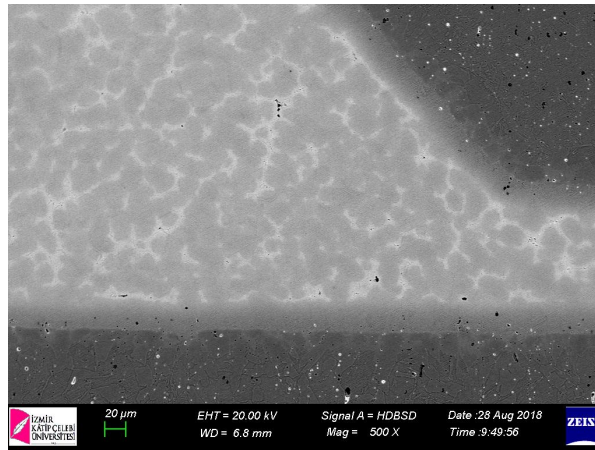
Şekil 4.44’de 5 no.lu dolgu metalinin yani %40 Ag içeren dolgu telinin pirinç ve pirinç malzemeleri arasında birleşim bölgesinde homojen bir yayılım gösterdiği ve Ag miktarının artışı ile Şekil 4.45’ da α tanelerinin incelerek yaygınlaştığı görülmektedir. Geçiş bölgesinde pirinç malzemesinin kısmi eriyip katılaşmasıyla oluşmuş dağlayıcı ile reaksiyon oluşturan bir bölge tespit edilmiştir. Şekil 4.46’ da ise SEM görüntüsü verilmiştir. Bu tabaka SEM görüntüsünde ayırt edilememektedir.



Şekil 4.44. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı pirinç genel görünümü

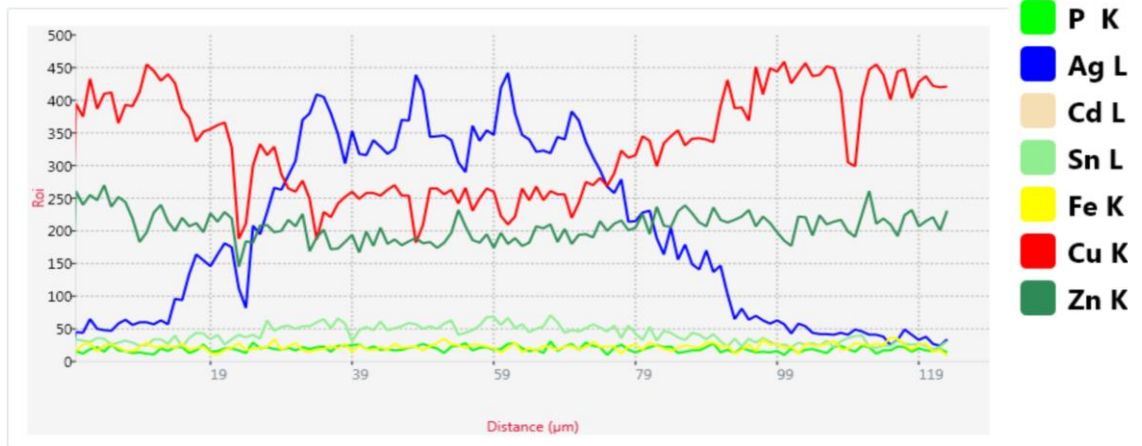
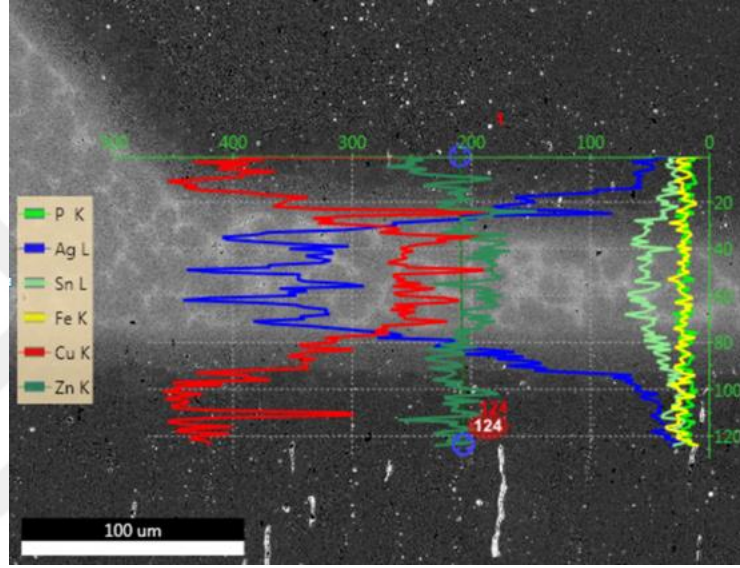
Şekil 4.45. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı pirinç genel görünümü

Bu numunelerde (Şekil 4.44 ve 5.45) dağlama sonrasında lehim sınırında ancak pirinç bölgelerinde bir tabaka oluştuğu görülmüştür. EDX çizgi analizi sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.47) o bölgenin Cu-Zn fazı olduğu görülmektedir. Dağlama sıvısı (1 g FeCl₃, 2ml HCl ve 100ml CH₃CH₂OH) sadece bu numuneye uygulandığından yüksek sıcaklığa çıkan pirinç birleşme bölgesinde Cu-Zn fazı oluştuğu farkedilmiştir. Beklendiği üzere Ag yoktur.



Şekil 4.46. 5no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

Şekil 4.47' de görüleceği gibi BAg-28 dolgu teli ile lehimlenen bağlantıya çizgi tarama analizi yapılmıştır. Lehim bölgesinde genel olarak Ag elementi diğerlerine göre daha yüksek olmakla birlikte Ag-Cu-Zn ve az da olsa Sn elementine rastlanmaktadır. Sonuçlar lehim teli alaşımı ile uyumludur. Lehimin pirinç kapağa yaklaştığı kısımda ise içerikteki Ag oranı azalmakta ve Cu oranı artış göstermektedir.

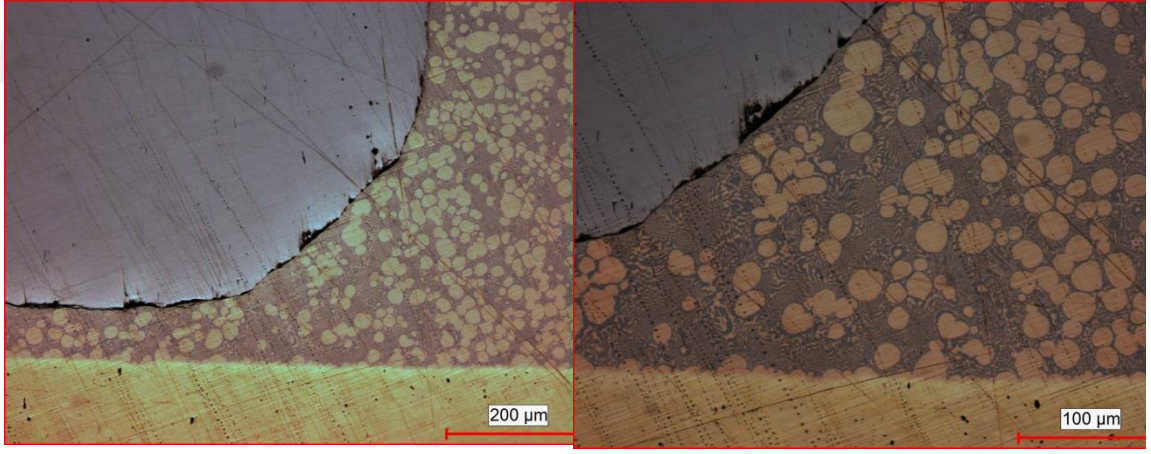


Şekil 4.47. 5'no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.4.Çelik-Pirinç Numunelerinin İncelenmesi

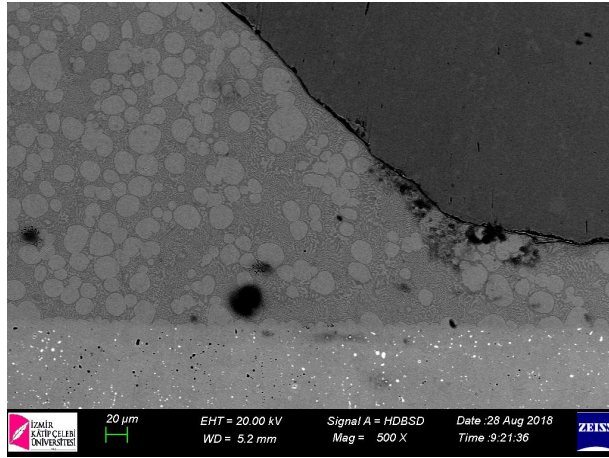
4.4.1. BCuP-1 (1'nolu) Dolgu teli

Mikroyapı incelemelerinde Şekil 4.48' de 1 no.lu dolgu telinin yani Ag ilavesiz dolgu telinin pirinç ve çelik malzemeler ile birleşim bölgesi görülmektedir. Dolgu telinin pirinç ile geçiş bölgesinde nispeten homojen bir yapı gösterse de çelik ile geçiş bölgesinde dikiş boyunca kesintiye uğrayan bölgeler görülmektedir. Şekil 4.49' da Ag ilavesiz dolgu metalinin küresel yapıda olduğu görülmektedir.



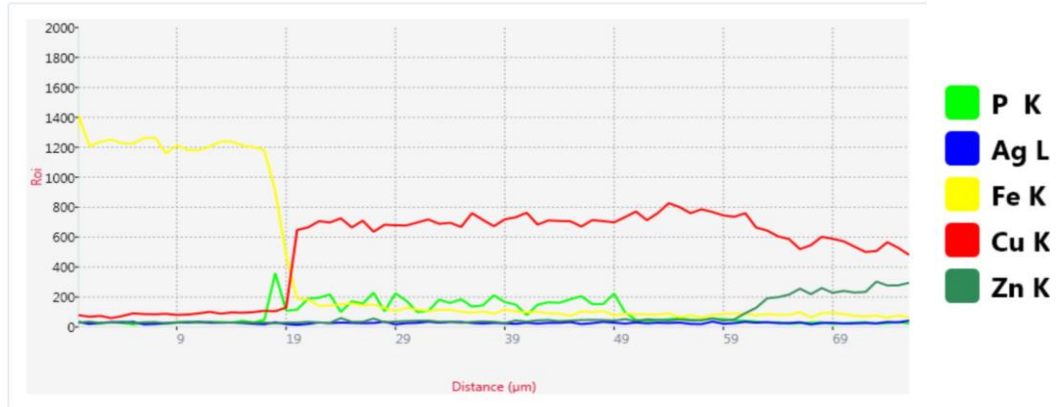
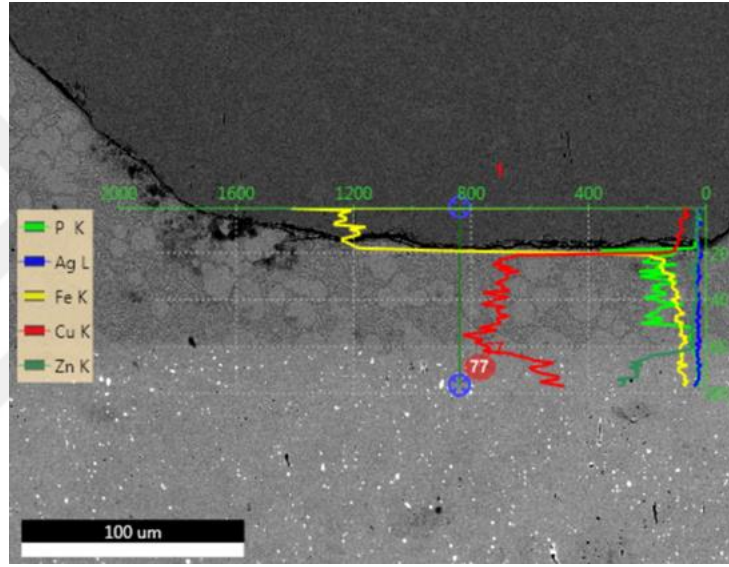
Şekil 4.48. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü

Şekil 4.49. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.50. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

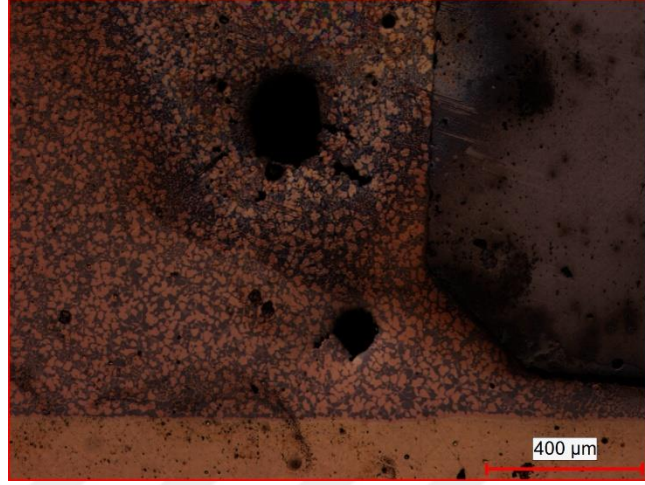
Şekil 4.51’ de görüleceği gibi çelik boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine çizgi tarama analizi yapılmıştır. Çelik boru kesitinde yoğun şekilde Fe elementi görülürken, lehim bölgesine yaklaşılrken P elementi miktarının yükseldiği görünmektedir. Bunun sebebi çelik-lehim arayüzeyinde reaksiyon tabakası oluşmamıştır. Lehim sınırında ötektik faz vardır. Bu malzemede P elementi ise ötektik fazını oluşturduğu için o bölgede yükselmesi anlamlıdır.



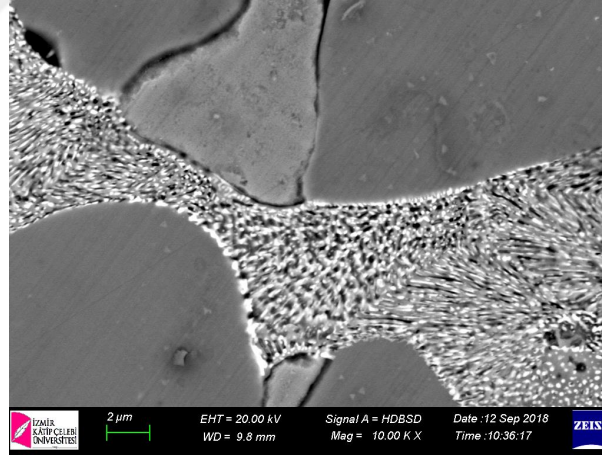
Şekil 4.51. 1 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.4.2. BCuP-3 (2’nolu) Dolgu teli

Şekil 4.52’de 2 no.lu dolgu telinin yani %4.8 Ag içeren dolgu telinin çelik ile olan birleşim yerinde kesintiler görülmektedir. Şekil 4.53’ de SEM görüntüsü verilmiştir.



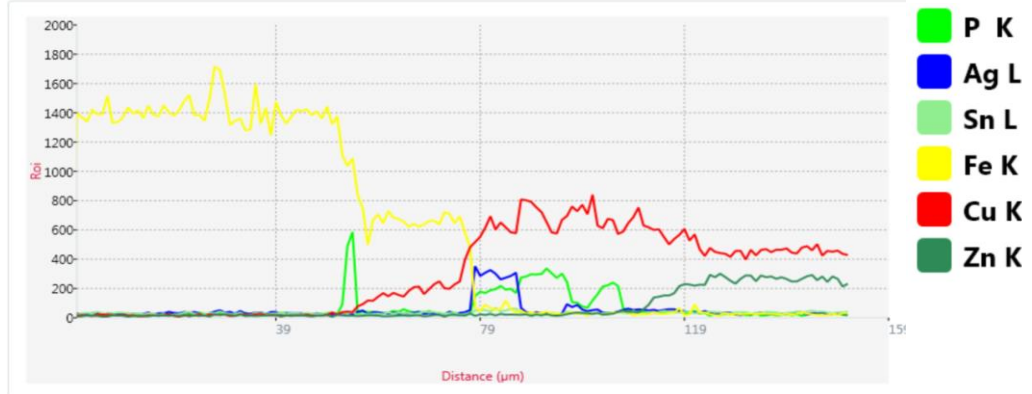
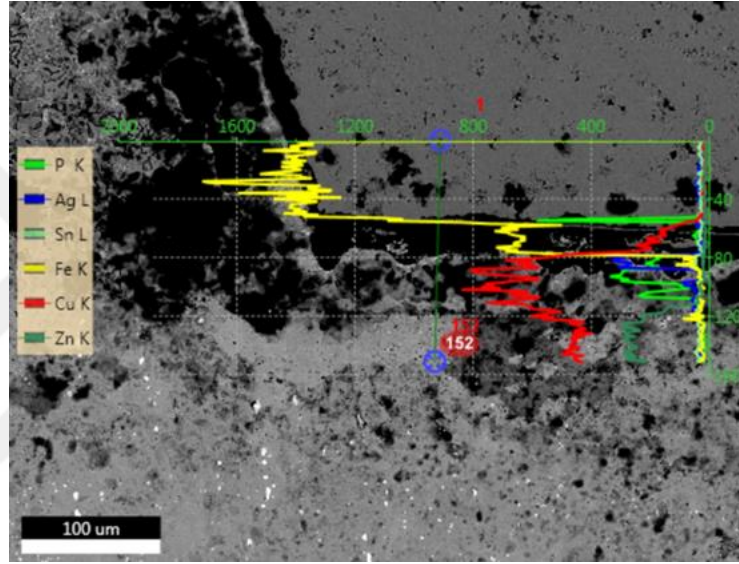
Şekil 4.52. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.53. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

Şekil 4.54' de çelik-lehim bölgesi ve pirinç kapak kesiti boyunca yapılan çizgi tarama grafiği gösterilmiştir. Çizgi analizinde kullanılan SEM fotoğrafında SEM görüntüleme uzmanına bağlı olarak görüntü kalitesi kötüdür ancak yorumlarda sadece elemen analiz sonuçları değerlendirilmiştir. O nedenle görüntü kalitesinin kötü olması bir sorun teşkil etmemektedir. Beklendiği gibi, çelik boru kesitinden lehimleme bölgesine

yaklaşıldıkça Fe miktarının kademeli olarak azaldığı, Cu miktarının da tersine arttığı görülmüştür. Lehim sınırında ötektik faz vardır. Çeliğin lehim bölgesine en yakın olduğu noktada P miktarı maksimum seviyededir. Bu malzemede P elementi ise ötektik fazını oluşturduğu için o bölgede yükselmesi anlamlıdır. Bunun sebebi çelik-lehim arayüzeyinde reaksiyon tabakası oluşmamıştır. Lehim bölgesi boyunca Cu-P-Ag fazları görülmektedir. Pirinç bölgeye ulaşıldığında Cu-Zn elementleri görülmektedir.

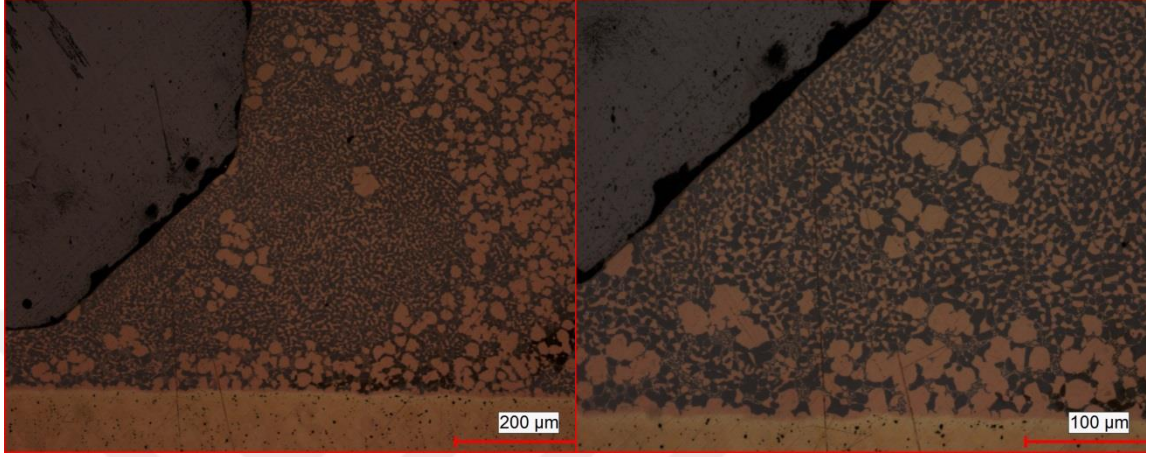


Şekil 4.54. 2 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.4.3. BCuP-4 (3'nolu) Dolgu teli

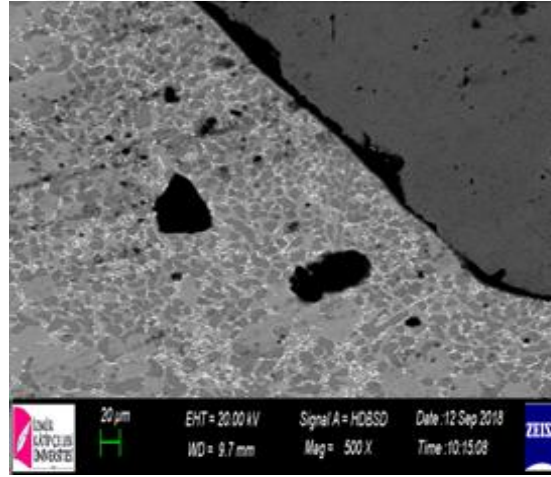
Şekil 4.55'de 3 no.lu dolgu telinin yani %6 Ag içeren dolgu telinin dolgu metalinin mikroyapıdaki α tanelerinin dendritleştiği görülmektedir. Şekil 4.56'da optik mikroskop görüntüsünde çelik ile dikiş bölgesi boyunca bir reaksiyon tabakası oluşmadığı, aksine

süreksiz bir bağlantı bölgesi olduğu, çoğu yerde nüfuziyetin sağlanamadığı görülmektedir. Şekil 4.57' de SEM görüntüsünde lehim bölgesi içerisindeki boşluklar göze çarpmaktadır.



Şekil 4.55. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü

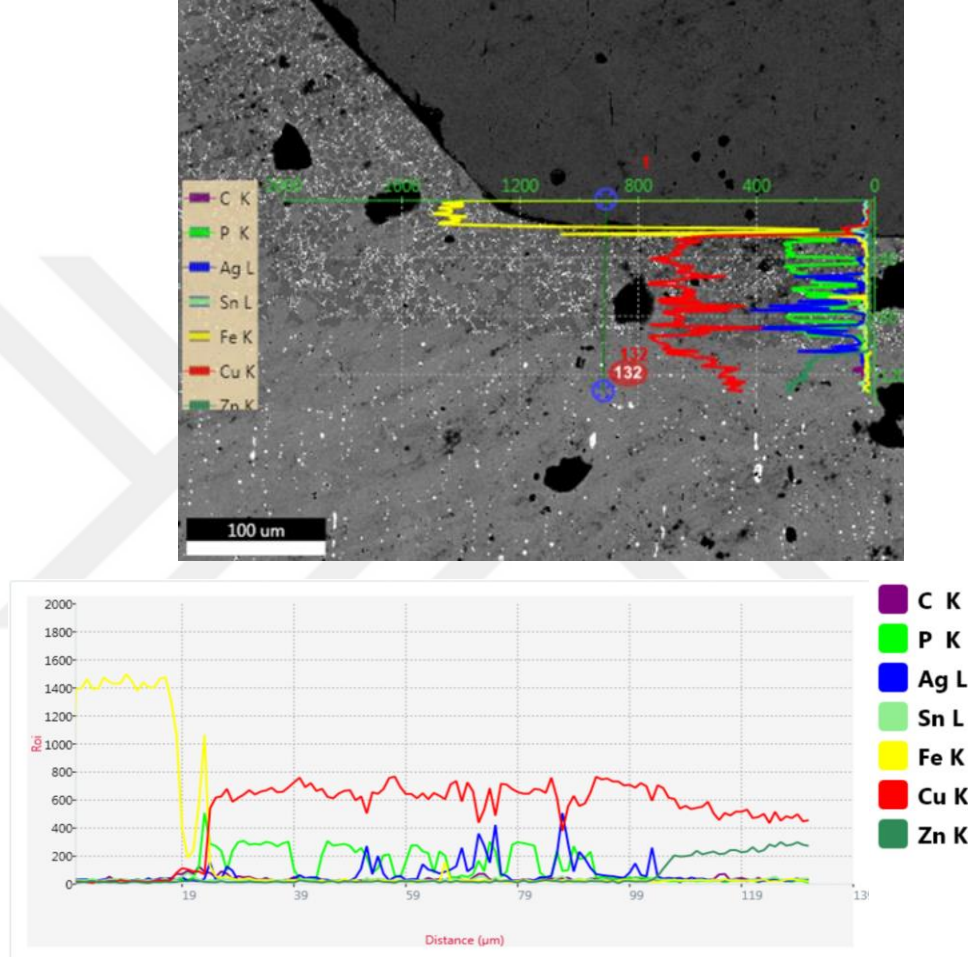
Şekil 4.56. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.57. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

Şekil 4.58' de çelik-lehim bölgesi ve pirinç kapak kesiti boyunca yapılan çizgi tarama grafiği gösterilmiştir. Çelik boru kesitinden lehimleme bölgesine yaklaşıldıkça Fe miktarının ani azaldığı birleşmeye çok yakın kısımda bir miktar artış gösterip tekrar azaldığı görülmektedir. Tam da bu noktada P miktarı önemli ölçüde artış göstermiştir. Bunun sebebi yine arayüzeye yakın lehim bölgesinin ötektik fazca yoğun olmasıdır.

Lehim bölgesi boyunca açık renkli fazlarda Ag, koyu renkli küresel fazlarda ise Cu-P fazları görülmektedir. Pirinç bölgeye ulaşıldığında beklendiği gibi Cu-Zn elementleri görülmektedir.

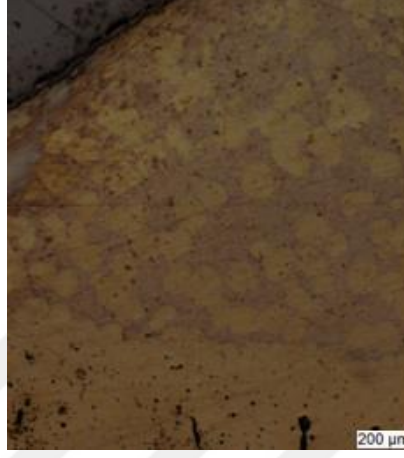


Şekil 4.58. 3 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

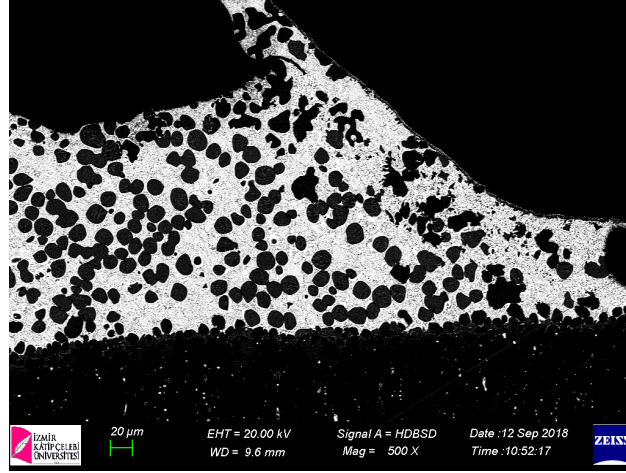
4.4.4. BAg-2a (4'nolu) Dolgu teli

Şekil 4.59' da BAg-2a dolgu metalinin çelik ile pirinç malzemelerinin birleşim bölgeleri ve lehim bölgesi görülmektedir. Ag oranının artışına bağlı α tanelerinin

incelerek yaygınlaştığı görülmektedir. Şekil 4.60' da yapının SEM görüntüsü görünmektedir. Ötektik yapı da son derece incedir.

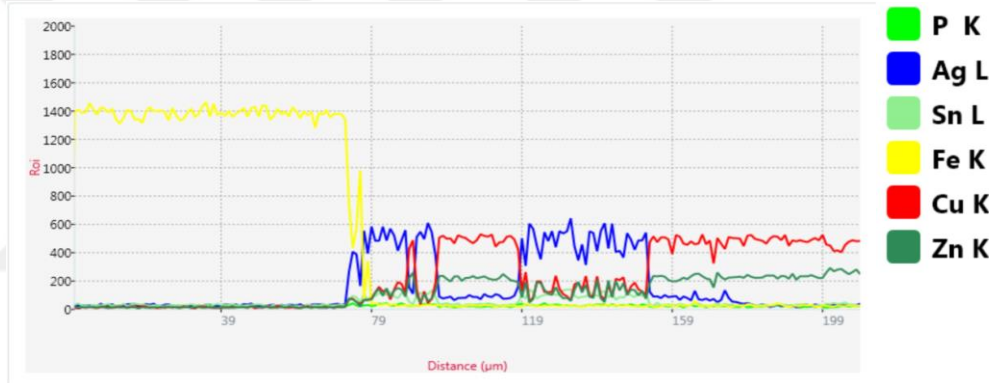
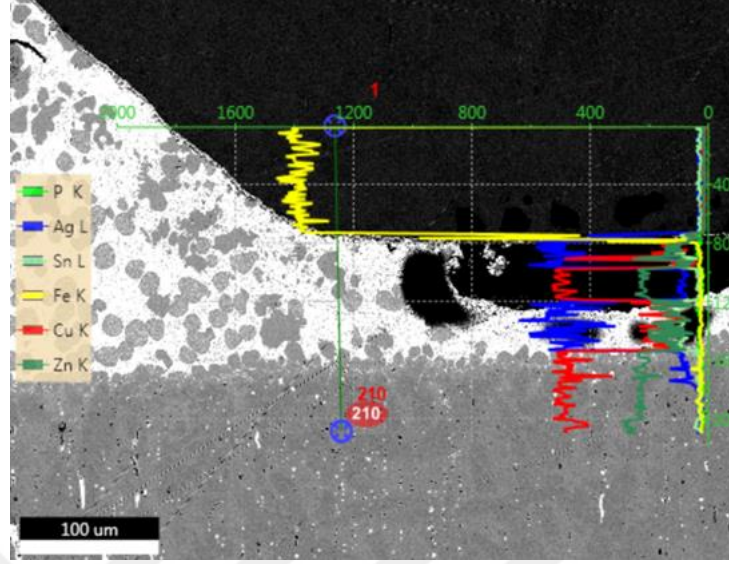


Şekil 4.59. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



Şekil 4.60. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)

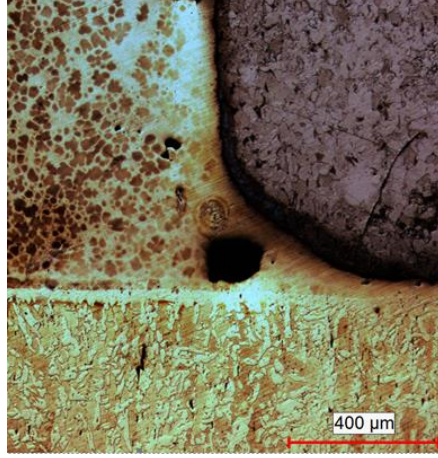
Şekil 4.61' de görüleceği gibi çelik boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine çizgi tarama analizi yapılmıştır. Lehim bölgesinde Cu-Zn-Cd-Ag elementleri yer almasına karşın, tarama yapılırken Cd elementi seçilmediği için görülememektedir. Ancak 5 no.lu tel için yapılan noktasal analizlerde (Şekil 4.20) yüksek Cd oranına bağlı oluşan fazlar açıkça görülmüştür.



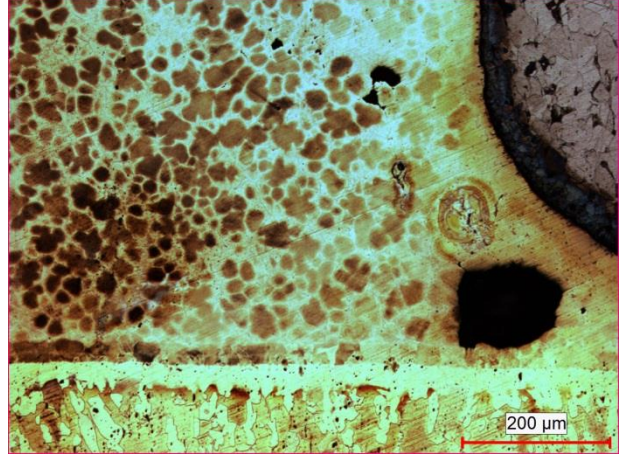
Şekil 4.61. 4 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.4.5. BAg-28 (5' nolu) Dolgu teli

Şekil 4.62'de %40 Ag içeren 5 no.lu dolgu telinin çelik ve pirinç malzemeleri arasında birleşim bölgesindeki tane yapısının nispeten homojen olduğu ve Ag miktarının artışı ile Şekil 4.63' da α tanelerindeki yaygınlaşmanın arttığı görülmektedir. Şekil 4.64 'de SEM mikroyapısında lehim bölgesindeki boşluk göze çarpmaktadır. Bu boşluklara pek çok lehim bölgesinde farklı malzemelerde de rastlanmıştır.



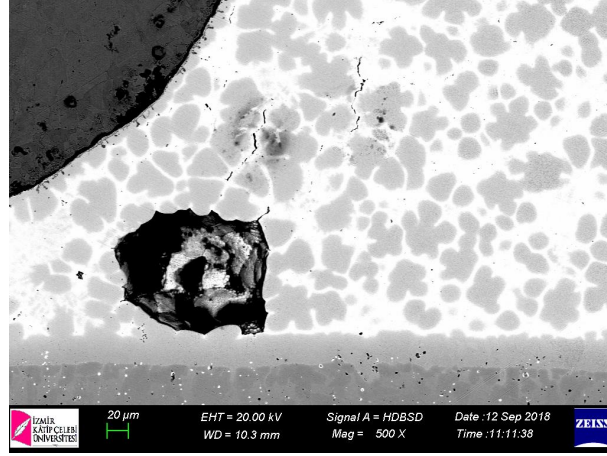
Şekil 4.62. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı ve arayüzey OM mikroyapısı genel görünümü



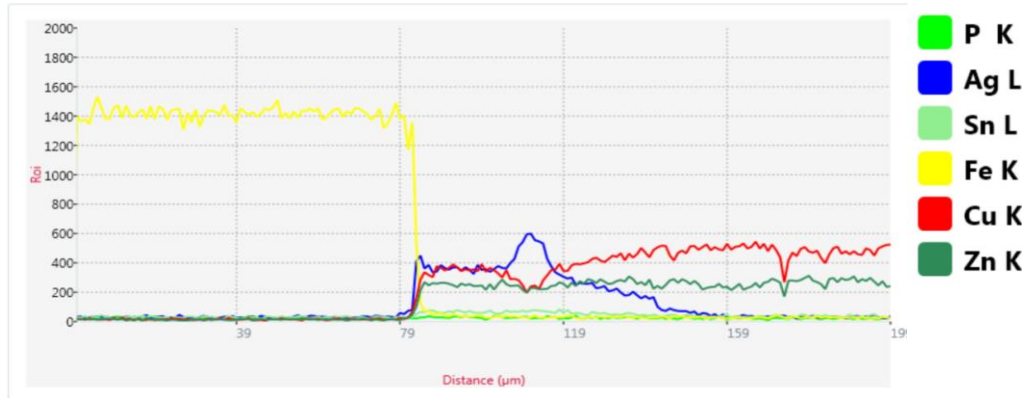
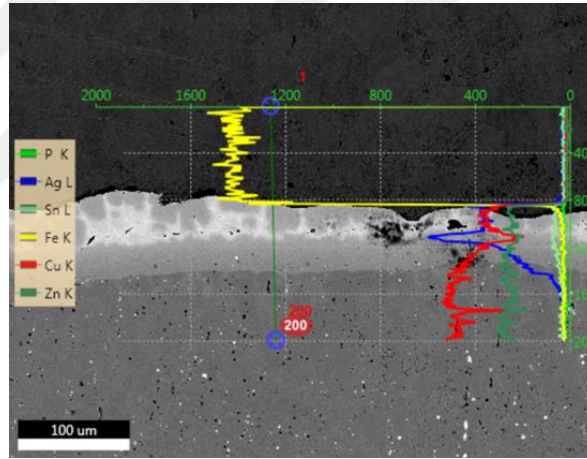
Şekil 4.63. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı OM mikroyapısı genel görünümü

Bu numunelerde (Şekil 4.62 ve 4.63) dağlama sonrasında lehim sınırında ancak pirinç malzemesi bölgelerinde tabaka şeklinde bir faz oluşumu görülmüştür. EDX çizgi analizi sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.65) o bölgenin Cu-Zn fazı olduğu görülmektedir. Dağlama sıvısı (1 g FeCl₃, 2ml HCl ve 100ml CH₃CH₂OH) sadece bu numunelere uygulandığından yüksek sıcaklığa çıkan pirinç birleşme bölgesinde Cu-Zn fazı oluştuğu farkedilmiştir. Beklendiği üzere Ag yoktur.

Şekil 4.65' de görüleceği gibi çelik boru, lehim ve pirinç kapak bölgelerine çizgi tarama analizi yapılmıştır. Çizgi boyunca element dağılımına bakıldığında pirinç arayüzeyindeki reaksiyon tabakasında Ag oranının yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca lehim bölgesi boyunca Cu, Fe, Zn, Sn elementleri görülmektedir.



Şekil 4.64. 5no.lu dolgu teli kullanılan bağlantı morfolojisi (SEM mikroyapısı)



Şekil 4.65. 5 no.lu dolgu teli kullanılan bağlantıda çizgi tarama

4.5. Lehim Bölgesinde Arayüzey Reaksiyon Tabakası İncelemeleri

Pirinç kapak-bakır boru, pirinç kapak-pirinç boru ve pirinç kapak-çelik boru malzeme çiftlerinin 5 adet farklı kompozisyondaki tellerle lehimlenmelerinin ardından arayüzey bağlantıları SEM ile incelenmiştir. Arayüzey bağlantıları tüm malzemelerde farklı reaksiyonlarla sonuçlandığı görülmüştür. Reaksiyon tabakası bağlantı mukavemetinde rol oynamaktadır [34].

Reaksiyon tabakası lehim metali ile ana metal arasındaki geçiş bölgesinde oluşan bir bölgedir ve metallerearası bileşik tabakası olarak da anılır. Ag ilavesi ile ve tellerin içerisindeki diğer alaşım elementlerinin etkisiyle yeni fazların metallerearası bileşiklerin oluşması söz konusudur. Özellikle 4 nolu ve 5 nolu tellerde oluşan Ag-Zn ve Ag-Sn fazlarının dispersiyonu matris yapısını inceltir ve bu da lehim bölgesinin mekanik özelliklerini geliştirir [34].

Bu bölümde Ag ilavesinin bağlantı arayüzeyine olan etkisi incelenmiştir. Şekil (4.66, 4.67, 4.68, 4.69, 4.70)' de pirinç/bakır ve pirinç/pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri verilmiştir. Ag ilavesi olmayan 1 no.lu teli de kapsamak üzere tüm sert lehim dolgu metallerinin pirinç arayüzeylerinde reaksiyon tabakası oluştuğu görülmektedir. Ancak bakır ve çelik arayüzeylerinde Ag içermeyen dolgu metali kullanıldığında arayüzeyde reaksiyon tabakası (metallerearası bileşik tabakası) oluşmadığı görülmektedir. Bakır arayüzeyleri Ag içeren tellerle sert lehimleme yapıldığında ara yüzey tabakası oluşmaya başladığı ve lehim metali içerisindeki Ag oranı arttıkça bu tabaka kalınlığının arttığı dikkat çekicidir, SEM mikroyapı görüntülerinden alınmış ölçüm değerleri Tablo 4.2' de verilmiştir. Bağlantı mukavemetleri bağlantı mikroyapısındaki metallerearası bileşik fazlarının dağılımından fazlaca etkilenmektedir. [34-36]

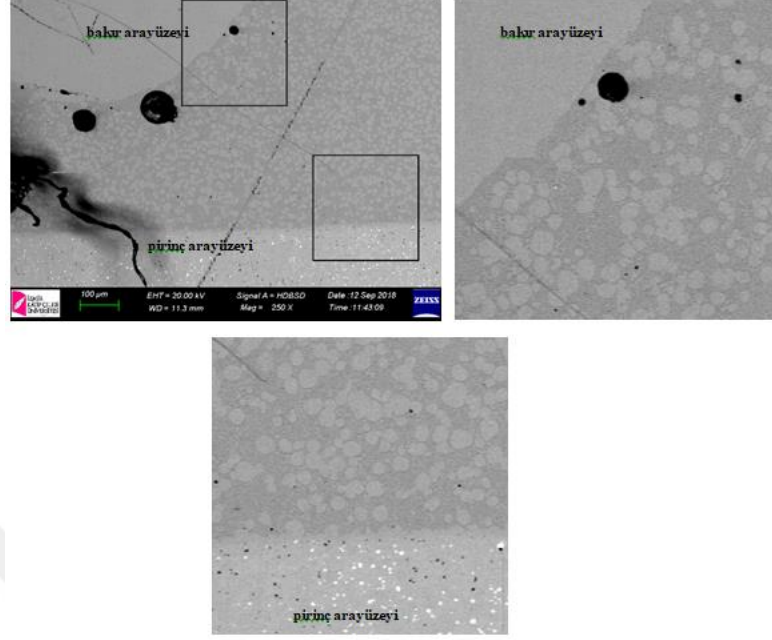
Yapılan çeşitli çalışmalarda, yüksek Ag içeriğine sahip lehimlerde, çekme dayanımı ve deformasyona karşı direnç bakımından üstün performans elde edildiği, düşük Ag içeren tellerde ise termal yorulma deformasyonuna direnç ve sünek deformasyonu sönmülemde iyi olduğu ifade edilmiştir. [37]

Öte yandan lehim bağlantıları yüke maruz kaldığında hasarlar her zaman bu metallerrarası birleşik bölgesinde oluşmaktadır. Ve o nedenle bu metallerrarası bileşik bölgesinin kalınlığı ve morfolojisi kritik olmaktadır, yani bağlantı arayüzeylerinin morfolojileri önemlidir. Ag ilavesi arttıkça hem tabakanın kalınlaştığı hem de daha düz ve pürüzsüz hale geldiği görülebilmektedir (Şekil 4.70). Morfolojinin bu yönde değişmesi ve gelişmesi ilave Ag' nin oluşan metallerrarası bileşikler rafine ederek ve arıtarak daha fazla Ag içeren metallerrarası bileşik fazının oluşmasındandır. [37]

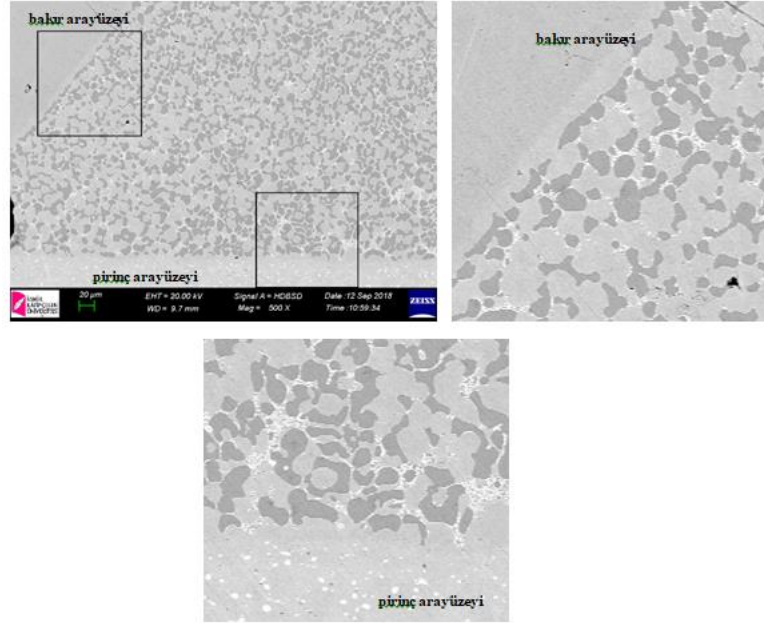
Yapılan inceleme ve araştırmalarda metallerrarası bileşik tabakasının çok kalın olmaması ve düz yapıya sahip olduğu optimum Ag oranının en güçlü lehim bağlantısını getirdiği sonucuna varılmıştır [41]. Şekil (4.67 ve 4.68) de ince ve düz yapıya sahip bağlantı arayüzeyinin 2 ve 3 no.lu tellerde elde edildiği görülmektedir.

Tablo 4.2. Bakır-Pirinç Bağlantıda Dolgu Tellerine Göre Ara Yüzey Oluşumu

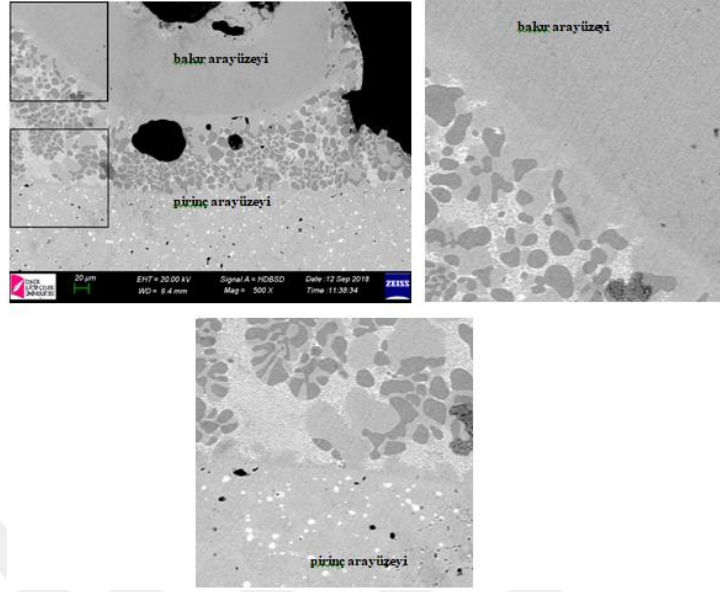
Dolgu Teli No	Bakır Ara Yüzey Tabakası
1	yok
2	8 μ m
3	18 μ m
4	21 μ m
5	70 μ m



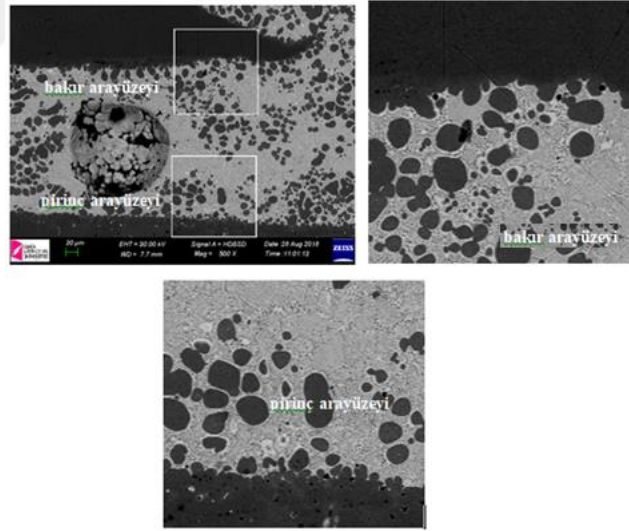
Şekil 4.66. 1 no.lu dolgu teli kullanılarak elde edilen bakır ve pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri



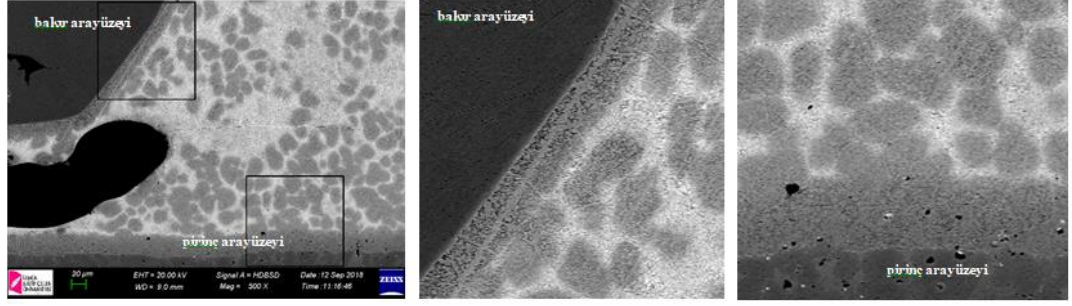
Şekil 4.67. 2 no.lu dolgu teli kullanılarak elde edilen bakır ve pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri



Şekil 4.68. 3 no.lu dolgu teli kullanılarak elde edilen bakır ve pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri

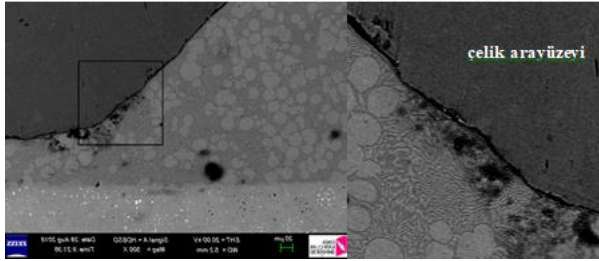


Şekil 4.69. 4 no.lu dolgu teli kullanılarak elde edilen bakır ve pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri

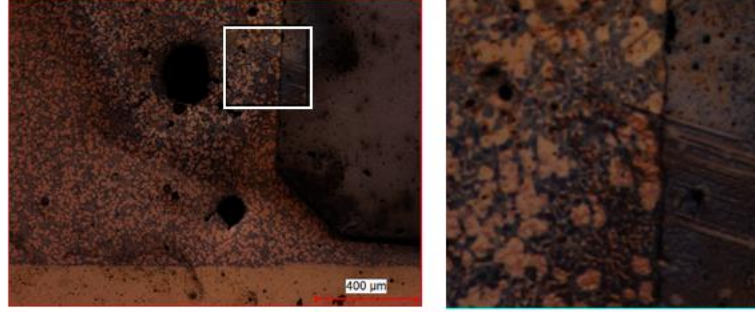


Şekil 4.70. 5 no.lu dolgu teli kullanılarak elde edilen bakır ve pirinç bağlantılarının arayüzey morfolojileri

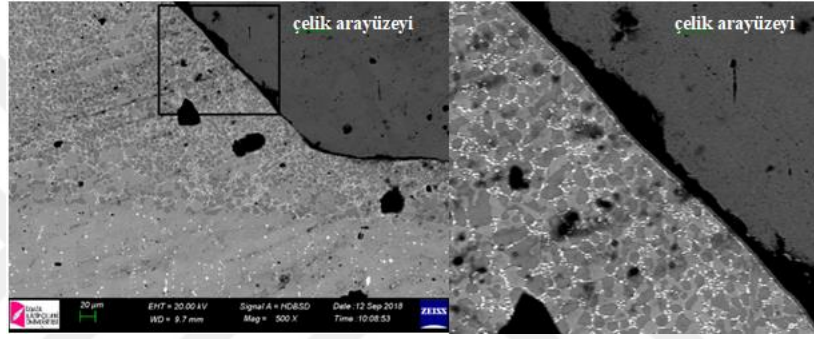
Şekil (4.71, 4.72, 4.73, 4.74, 4.75)' da ise çelik bağlantılarının ara yüzeyleri incelenmiştir. Şekil 4.72 'de SEM görüntüleme esnasında uzmandan kaynaklanan bir hata nedeniyle net görüntü elde edilemediğinden, OM'de elde edilen görüntü verilmiştir. Görüldüğü gibi tam ve sürekli bir arayüzey gelişimi hiçbir durumda yoktur. %30 ve %40 Ag içeren tellerde nispeten daha iyi bir arayüzey oluştuğu söylenebilir. Özellikle %30 Ag içeren telde ara tabaka oluşumu biraz daha dikkat çekicidir ve bağlantının mikroskopik görüntüsünde bazı beyaz alanlar gözlemlenmiştir. Bu tabakaya EDX analizi yapılamamıştır. Ancak, yapılan araştırmalardan Cu, Zn ve Cd elementlerinin çeliğe difüzyonundan kaynaklanan tabaka oluşumu meydana geldiği düşünülmektedir. Bu durumda %40' lık Ag içeriğindeki bağlantı arayüzeyi ile kıyaslama yapılırsa bu duruma Cd' un etkisi olduğu düşünülmektedir. Cd' un çeliğe doğru difüzyonu tabaka oluşumunu tetiklemiştir. Tam ve sürekli bir arayüzey olmasa da Bölüm 5.7'de verilen patlatma sonuçları incelendiğinde yeterli bağın kurulduğu ortadadır. Ancak yinede çoğu kısımda bağlanma ve difüzyon katmanlarının yokluğu belirgindir. Bu kısımlarda mikroskop incelemeleri de yanıltıcı olabilir.



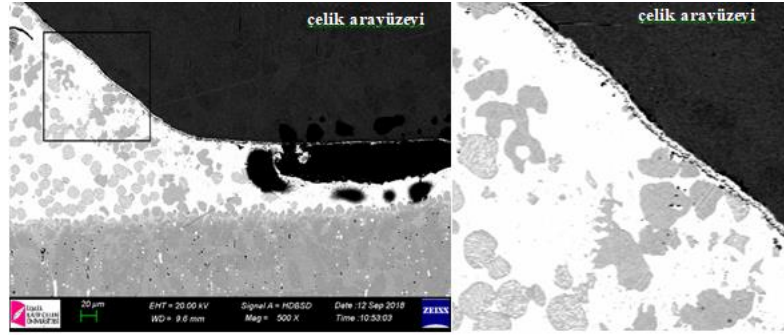
Şekil 4.71. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (1no'lu dolgu teli)



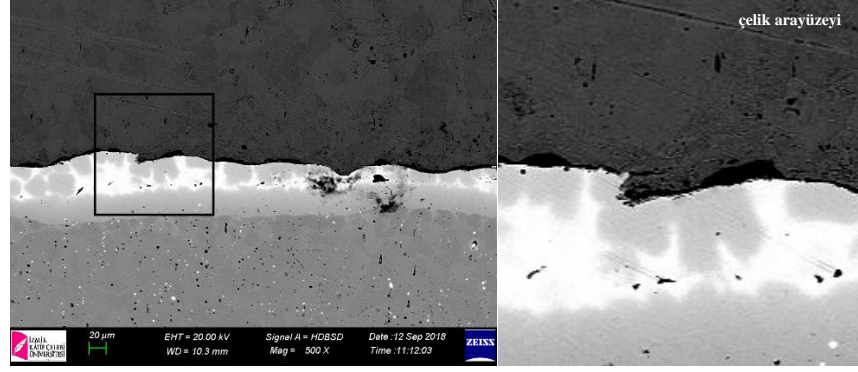
Şekil 4.72. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (2no'lu dolgu teli)



Şekil 4.73. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (3no'lu dolgu teli)



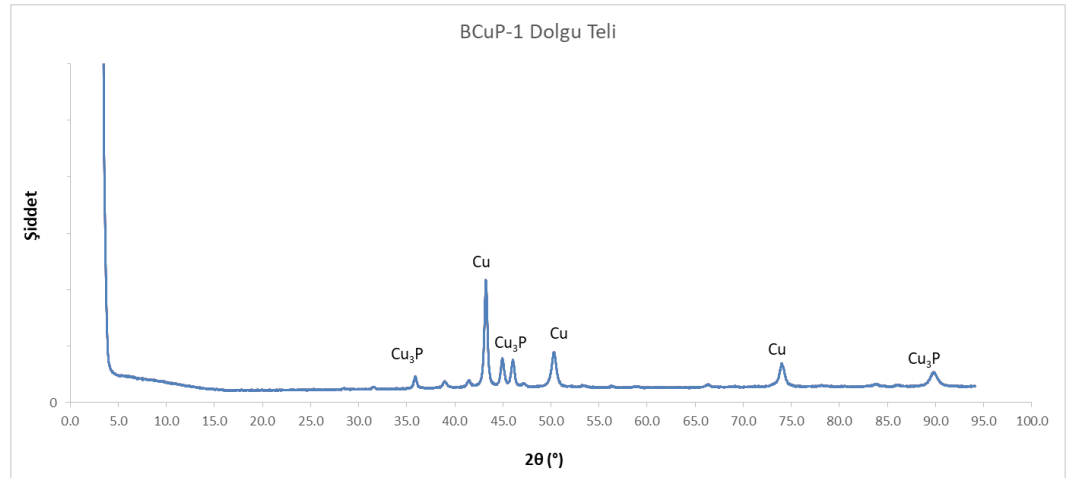
Şekil 4.74. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (4no'lu dolgu teli)



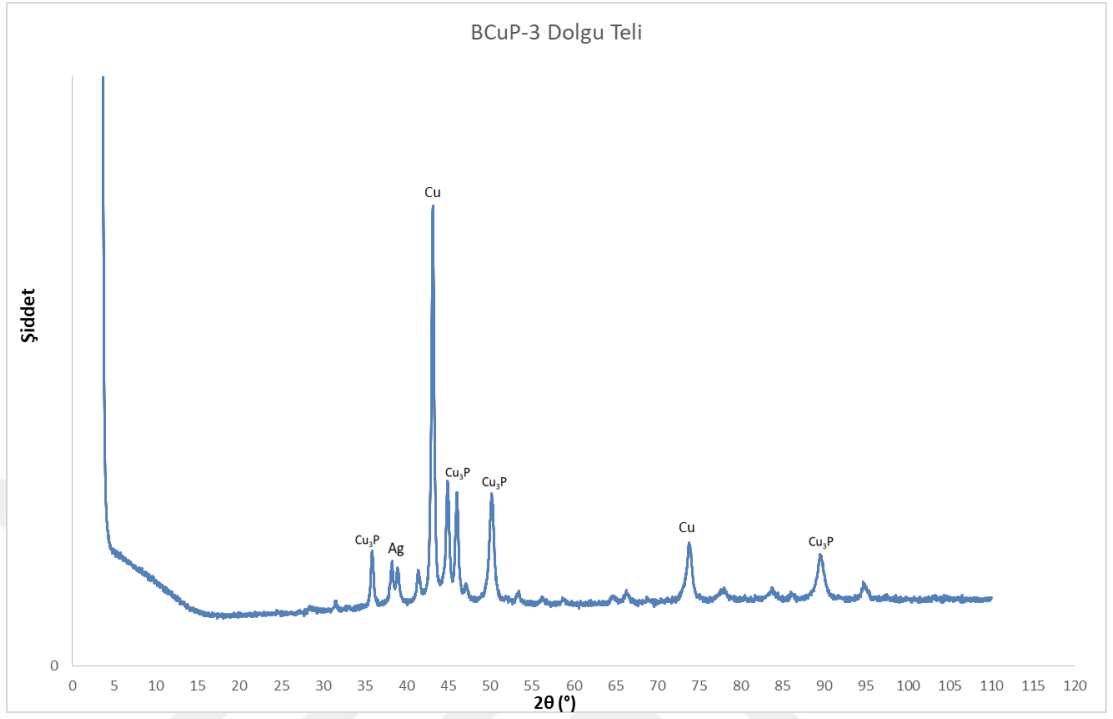
Şekil 4.75. Çelik bağlantılarının ara yüzey morfolojileri (5no'lu dolgu teli)

4.6.Xrd Sonuçları

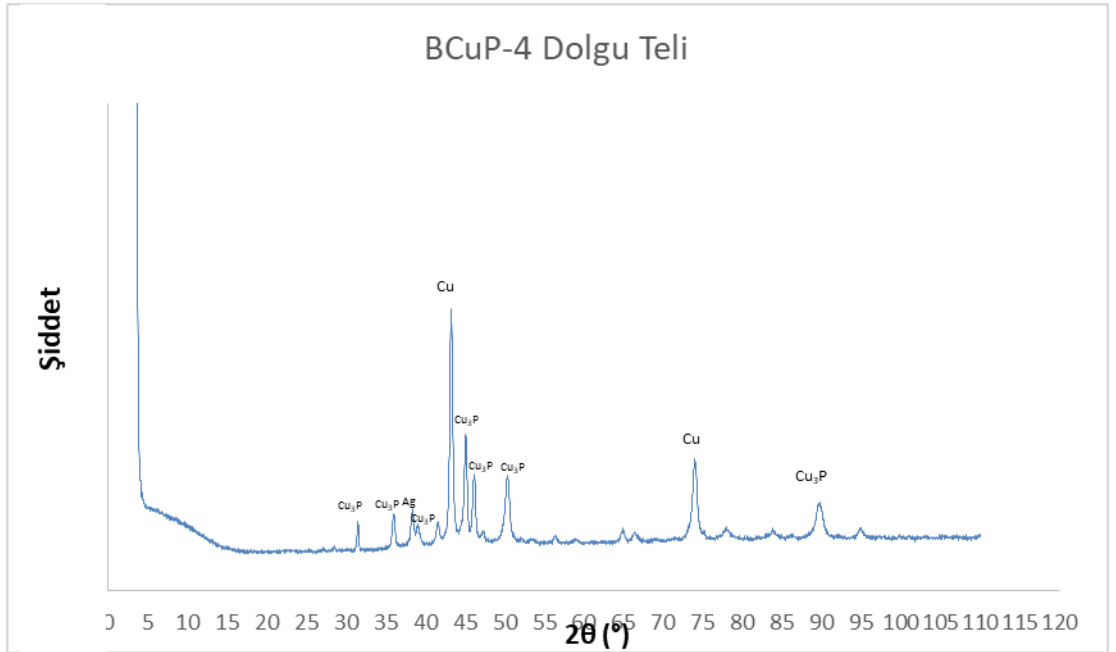
Şekil 4.76' de Xrd sonucunda 1 nolu dolgu telinde oluşan fazlar gösterilmiştir. Cu_3P ve Cu fazları tespit edilmiştir. Şekil 4.77 'de 2 no'lu telde Cu_3P , Cu ve Ag fazlarının olduğu görülmektedir. Şekil 4.78' de 3 no'lu dolgu telinde Cu_3P , Cu ve CuP fazları , Şekil 4.79' de 4 nolu dolgu telinde Ag, Cd, CuZn fazları ve Şekil 4.80' de 5 nolu dolgu telinde CuSn, Cu, Fe, Zn, Ag, CuZn₃ ve AgZn₃ fazları gözlemlenmiştir. Tüm lehim telleri Şekil 4.81'de ortak bir grafik altında gösterilmiştir.



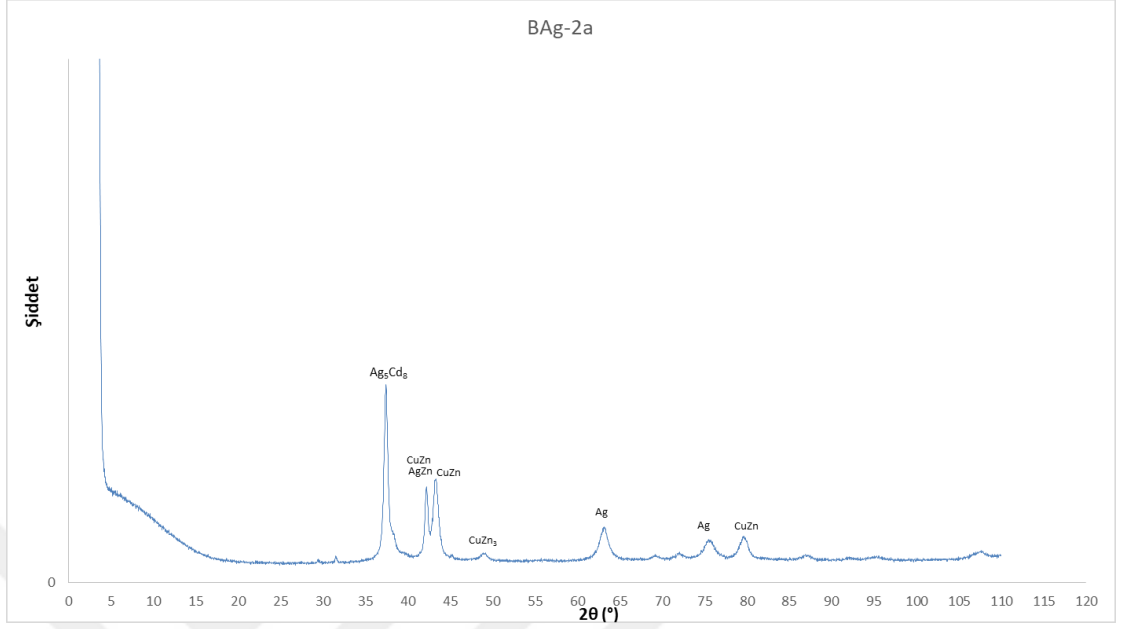
Şekil 4.76. 1 no'lu dolgu teli xrd grafiği



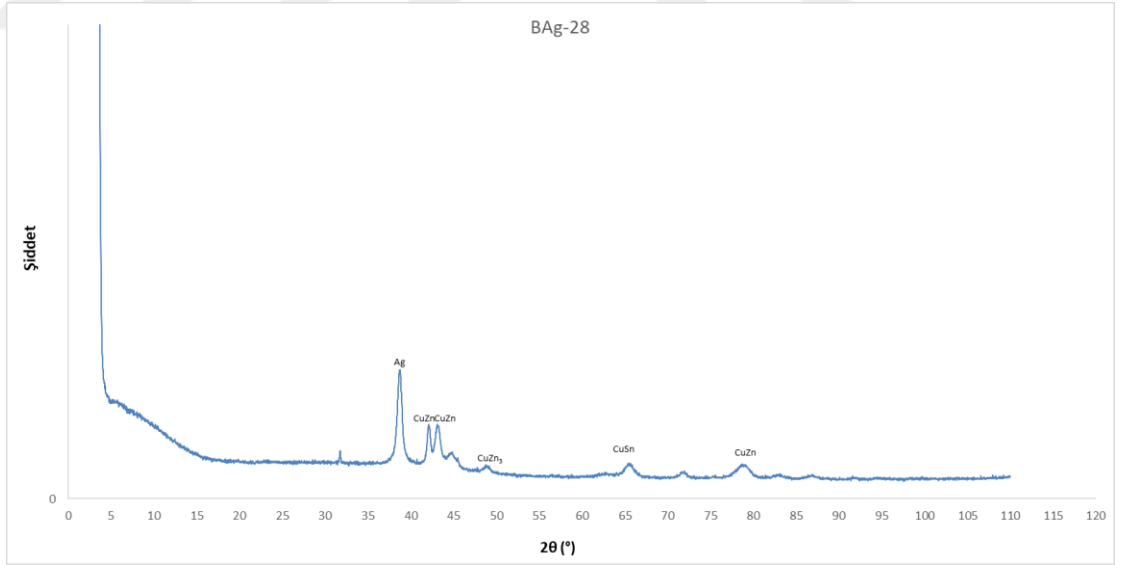
Şekil 4.77. 2 no'lu dolgu teli xrd grafiği



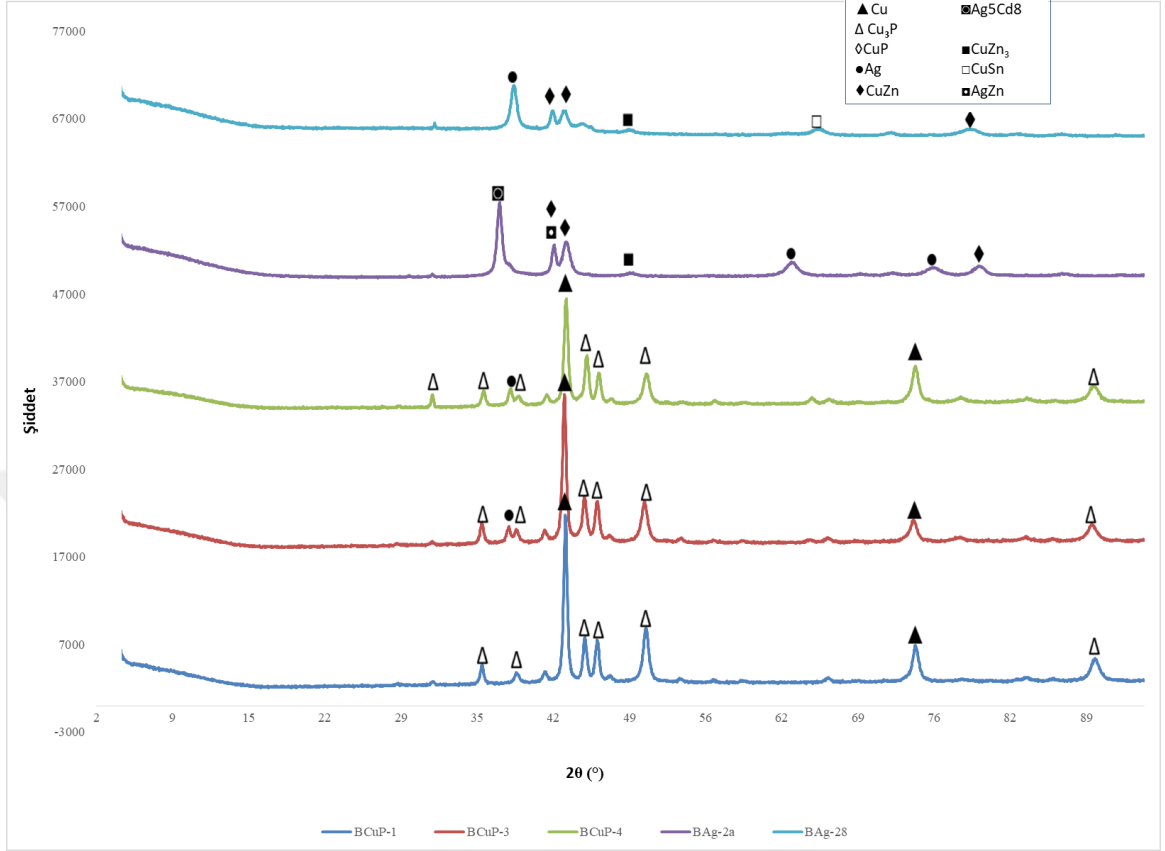
Şekil 4.78. 3 no'lu dolgu teli xrd grafiği



Şekil 4.79. 4 no'lu dolgu teli xrd grafiği



Şekil 4.80. 5 no'lu dolgu teli xrd grafiği



Şekil 4.81. Lehim telleri için genel xrd grafiği

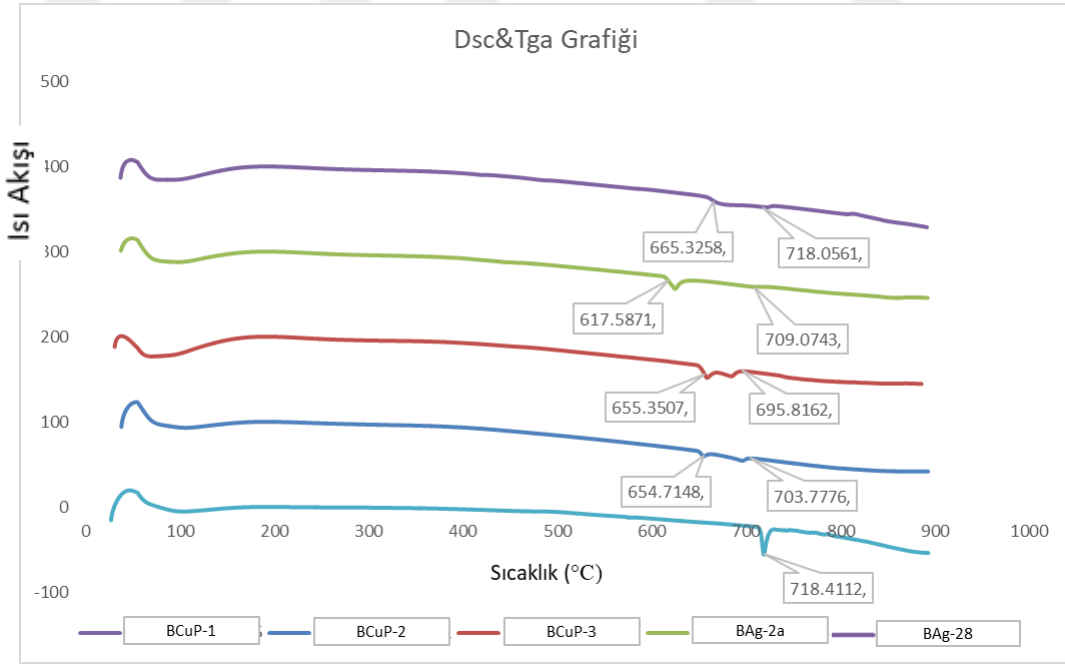
XRD sonuçları incelendiğinde, Ag içeren tellerde Ag piki elde edilmiştir. Ag miktarı arttıkça pikin şiddeti artmıştır. 4 ve 5 no.lu tellerde yani BAg-2a ve BAg-28’ de CuZn fazlarının olduğu görülmüştür. Bu teller P içermediğinden CuP ve Cu₃P fazları sadece 1, 2 ve 3 no.lu tellerde yani sırasıyla BCuP-1, BCuP-3 ve BCuP-4 tellerinde oluşmuştur. Ayrıca BAg-28 telinde farklı olarak CuSn fazına rastlanmıştır.

4.7.DSC&TGA Analiz Sonuçları

DSC&TGA analizleri sonucunda 5 farklı dolgu teli için, ısı akışının sıcaklığa bağlı değişim dataları elde edilerek Şekil 4.82’ deki grafik çizilmiştir. Tellerin likidus ve solidus sıcaklıkları grafik üzerinden tespit edilmiştir. Analizin çalışma aralığı 890°C ‘ye kadar olduğu için 1 no’lu telde likidüs sıcaklığına çıkılamamıştır. Diğer tellerde bulunan likidüs ve solidüs sıcaklıkları daha önce Tablo 3.1’ de verilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.1’ de her tel için DSC&TGA analizinden tespit edilmiş likidüs ve solidüs sıcaklıkları ve

katılaşma aralıkları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde Ag alaşımlı dolgu tellerinin düşük ergime derecelerine sahip oldukları görülmektedir.

Ag içeren dolgu metalleri çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Yaygın olarak kullanılanlar Cu esaslıdır ve genellikle içerisine ergime sıcaklığını düşürmek amacıyla Zn, Ni ve Cd gibi alaşım elementleri eklenir. Ergime sıcaklıklarını düşürebilmek için çoğunlukla üçlü veya çoklu alaşımlar oluşturulmaktadır. Ag elementinin maliyeti yükselttiği açıktır. Gözle görülür biçimde katılaşma ve sıvılaşma sıcaklıkları gümüş ilavesinin artmasıyla azalma eğilimi göstermiştir. Erime sıcaklık aralığının daralması dikkat çekmektedir. Ag elementi Zn ve Cd içeren dolgu metallerine yüksek miktarlarda bile eklendiğinde solidüs ve likidüs sıcaklıklarında bir miktar artış meydana getirir [38]. Sonuç olarak, Ag dolgu metallerinin erime sıcaklığını düşürdüğü ancak çinko ve kadmiyum içeren metallerde erime sıcaklığını az bir miktar arttıracak katı çözeltiler oluşturduğu söylenebilir.



Şekil 4.82. Dolgu tellerinin ısı akışı-sıcaklık grafiği

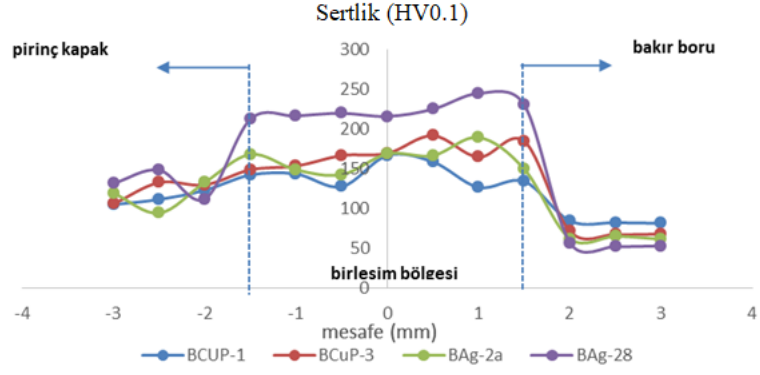
Tablo 4.3. Dolgu tellerinin likidüs, solidüs ve katılaşma aralıklarının karşılaştırılması

Dolgu Teli No	Dolgu Teli	Likidüs Sıcaklığı [12]	Solidüs Sıcaklığı [12]	Likidüs Sıcaklığı (Şekil 4.82)		Solidüs Sıcaklığı (Şekil 4.82)		Katılma Aralığı	
		AWS (American Welding Society)(°C)		DSC&TGA Eğrisi		AWS (American Welding Society)(°C)	DSC&TGA Eğrisi		
1	BCuP-1	924	710	Bulunamadı		718		214	Bulunamadı
2	BCuP-3	720	643	703		654		77	49
3	BCuP-4	718	645	695		655		73	40
4	BAG-2a	710	607	709		617		103	92
5	BAG-28	710	649	718		665		61	53

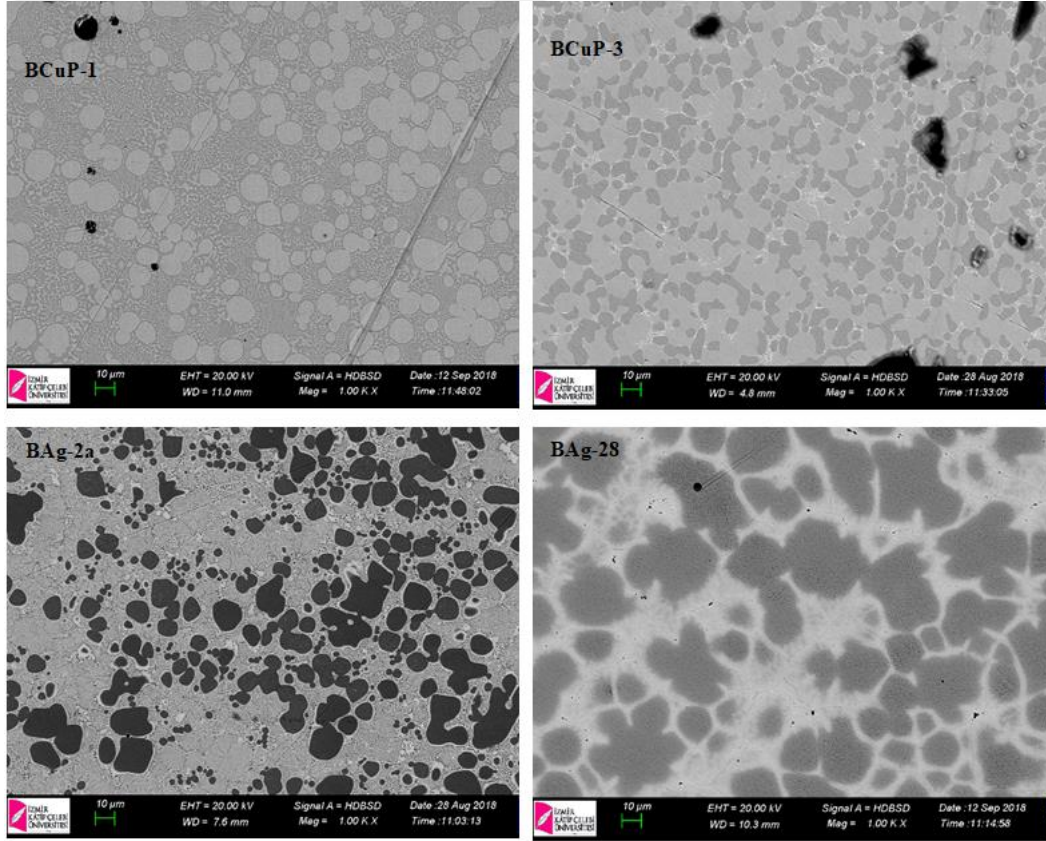
4.8. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma

4.8.1. Pirinç-Bakır Lehimleme Sertlik Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sert lehimlenmiş numunelerin kesitten mikrosertlikleri ölçülmüştür. Pirinç kapaktan başlanarak birleşim bölgesi ve bakır boru kesiti boyunca mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Spektral analiz sonucunda BCuP-3 2 no.lu teli ile BCuP-4 3 no.lu teli arasında Ag içeriğinde %1.17' lik bir fark tespit edilmiştir. Bu sebeple BCuP-4 ile yapılmış olan bağlantılardan mikrosertlik ölçümleri alınmamıştır. 4 adet numune üzerinden alınan mikro sertlik sonuçları Şekil 4.83' de incelendiğinde pirinç kapaktan birleşim bölgesine gelindiğinde sertlik genel olarak artmakta, birleşim bölgesinden bakır boru kesitine gelindiğinde ise azalmaktadır. Şekil 4.84' de dolgu tellerinin 1.0K X yakınlaştırmada SEM görüntüsü verilmiştir. Bu şekilde tane boyutları net olarak görülebilmektedir.



Şekil 4.83. Pirinç kapak-bakır boru sert lehimlenmiş bağlantıda kesite ait sertlik grafiği



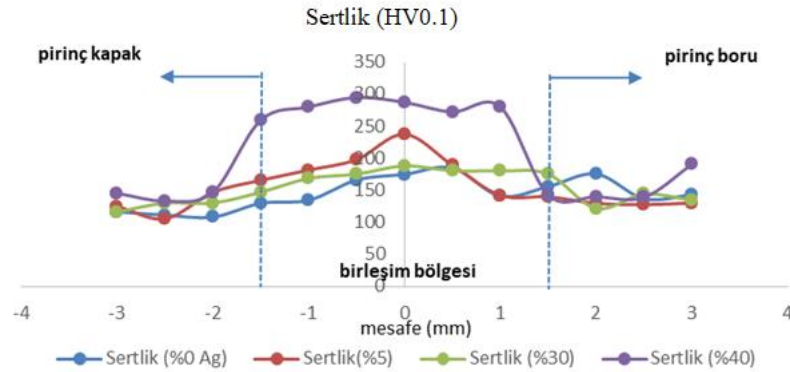
Şekil 4.84. Lehim bölgelerinin 1000x SEM görüntüsü

Yapılan birleştirmelerde birleştirme eksenine dik olarak alınan sertlik grafiğinde 4 grupta da birleştirme bölgesinin sertliğinin ana metal sertliğinden yüksek olduğu görülmektedir. 4 adet numuneden elde edilen sertlik verilerinin genel dağılımı

incelendiğinde pirinç kapak kesitindeki ölçümlerin ortalaması yaklaşık 120.8 HV' dir. Birleşim bölgesine gelindiğinde sertlikteki artış göze çarpmaktadır. Birleşim bölgesinden alınan tüm sertlik ölçümlerinin ortalaması 174 HV' dir. Bakır kesite gelindiğinde ise alınan sertlik ölçümlerinin ortalaması 67.5 HV' dir. 1 no'lu (Ag ilavesiz) dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 143 HV, BCuP-3 (%4.8Ag) içeren dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 168 HV, 4 no'lu (%30Ag,%20Cd içeren) dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 162 HV, 5 no'lu (%40Ag içeren) dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 224 HV' dir. Burada 5 no'lu dolgu metali ile lehimlenen lehim bölgesinin sertliğinin diğer numunelere göre oldukça yüksek olduğu dikkat çekmektedir.

4.8.2. Pirinç-Pirinç Lehimleme Sertlik Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sert lehimlenmiş numunelerin, pirinç kapaktan başlanarak birleşim bölgesi ve pirinç boru kesiti boyunca mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. 4 adet numune üzerinden alınan mikro sertlik sonuçları Şekil 4.85' de grafik olarak verilmektedir.



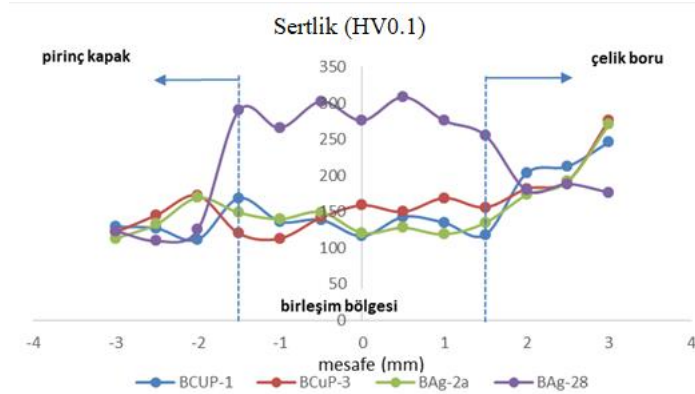
Şekil 4.85. Pirinç-pirinç kesite ait sertlik grafiği

4 adet numuneden elde edilen sertlik verilerinin genel dağılımı incelendiğinde; pirinç bölgede sertlik ortalaması yaklaşık 126.5 HV' dir. Birleşim bölgesinde sertlik ortalaması 190 HV' dir. Pirinç boru kesitinde ise sertlik ortalaması 143 HV' dir.

1 no'lu (%0Ag içeren) dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 155HV, BCuP-3 (%4.8Ag) içeren dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 175HV, 4 no'lu (%30Ag,%20Cd içeren) dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 169HV, BAg-28 (%40Ag) içeren dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 259 HV'dir. Bu birleşmede bakır-pirinç birleşmesine oranla aynı lehim telleri kıyaslandığında sertliğin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu duruma lehimleme işleminin otomasyonla değil manuel yapılması ile ilişkili olarak ısıtılan sıcaklık ve lehim telini tutma süresinde kısmi farklılıklar olması, lehim teli besleme hızının kontrol edilememesi ve buna bağlı olarak da lehim bölgesindeki tane morfolojisindeki kısmi farklılıklar oluşmasının etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu grupta da içerikteki 5 no'lu dolgu metali ile lehimlenen lehim bölgesinin sertliğinin diğer numunelere göre oldukça yüksek olduğu dikkat çekmektedir.

4.8.3. Çelik-Pirinç Lehimleme Sertlik Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sert lehimlenmiş numunelerin, pirinç kapaktan başlanarak birleşim bölgesi ve çelik boru kesiti boyunca mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. 4 adet numune üzerinden alınan mikro sertlik sonuçları Şekil 4.86' da verilmiştir.



Şekil 4.86. Pirinç-çelik kesite ait sertlik grafiği

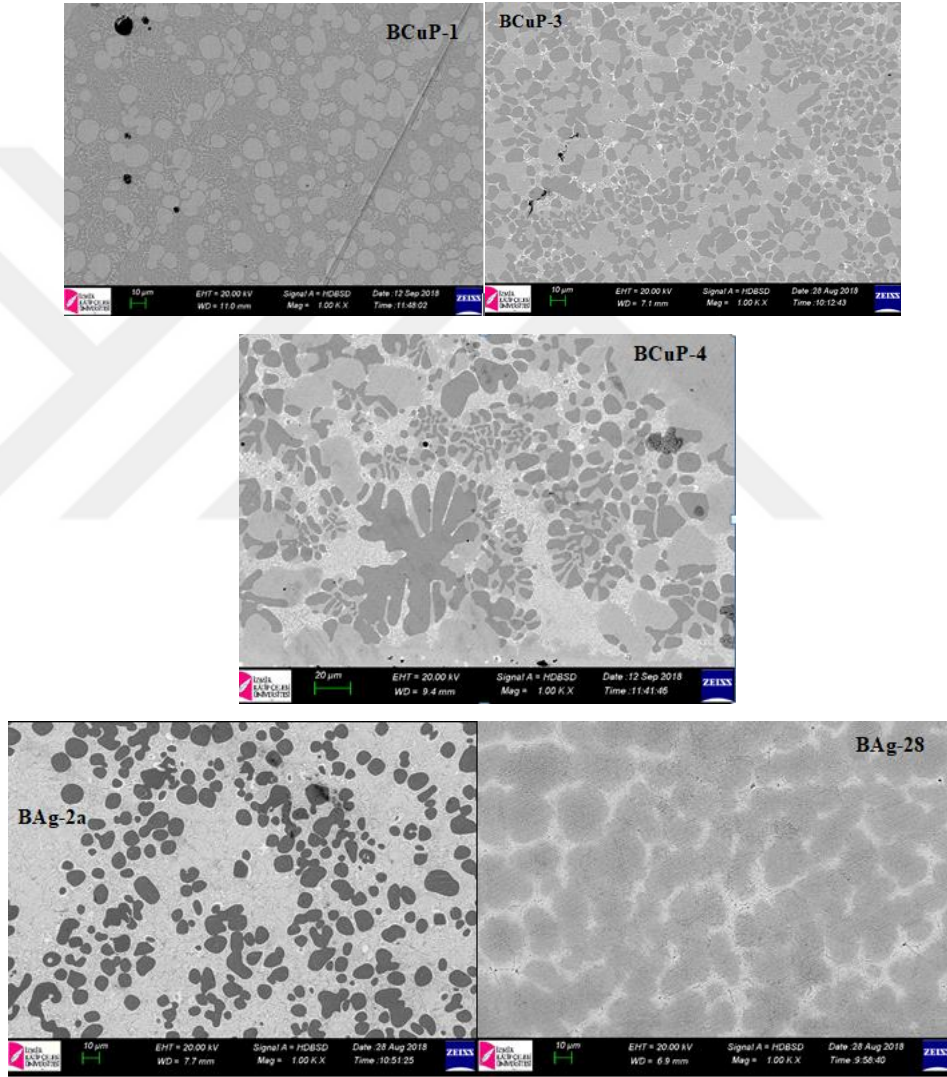
4 adet numuneden elde edilen sertlik verilerinin genel dağılımı incelendiğinde; pirinç bölgede sertlik ortalaması yaklaşık 131.8 HV' dir. Birleşim bölgesinde sertlik ortalamaları 175HV'dir. Çelik boru kesitinde ise sertlik ortalaması 207 HV' dir.

1 no'lu (Ag ilavesiz) içeren dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 136 HV, 2 no'lu (%4.8Ag içeren) dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 144 HV, 4 no'lu (%30Ag,%20Cd içeren) dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 134HV, 5 no'lu (%40Ag içeren) dolgu metali ile lehimlenen numunede lehim bölgesinin ortalama sertliği 282 HV'dir. Özellikle 5 no'lu (%40Ag) dolgu telinde diğer gruplarda olduğu gibi sertlik değerinin maksimum seviyede olduğu görülmektedir.

Her üç grupta da 5 no'lu dolgu teli ile lehimlenen numunelerde yüksek sertlik sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu durumun nedeni SEM 5.0K X büyütmede elde edilen mikroyapı görüntüleri ile açıklanmıştır. Şekil 4.84 'de 1.0K X ve Şekil 4.85'de 5.0K X büyütmedeki SEM görüntüleri incelendiğinde özellikle ötektik yapı morfolojisi dikkat çekmektedir. 5 no'lu ötektik morfolojisi incelendiğinde son derece ince yapısı göze çarpmaktadır. 5.0K X büyütmedeki SEM mikroyapısında bile ötektik lamelleri ayırt edilememektedir. Bu durum sertlik ölçümlerinde 5 no'lu dolgu teli ile lehimlenen yapıda yüksek sertlik değerlerinin elde edilmesi ile sonuçlanmıştır. 1, 2 ve 4 no.lu teller tüm malzeme çiftlerinde benzer sertlik trendinde iken, özellikle 5 no.lu telin sertlik değerlerinde dramatik bir farklılık vardır. Sertliğin artışında tane morfolojisinin yanısıra XRD analizinde kimyasal kompozisyon farklılığına bağlı olarak farklı fazların da varlığı sonucu etkilemektedir. Ancak burada 5 no.lu dolgu telinin son derece incelen ötektik yapısı dikkat çekicidir. Hatta bu içerik ve tane morfolojisinin St 37 çeliğinden daha büyük bir sertlikle sonuçlanması ilgi çekicidir.

Bu çalışmada kullanılan dolgu metallerinden en sert olanı Ag element miktarının %40, %29Cu, %2.3Sn, %28.7Zn elementlerini içeren teldir ve bu sertlik değeri artan Ag oranı ile 300 HV' ye kadar artmıştır. Bu durum bağlantının mekanik dayancı açısından bir iyileşmedir [39].

Bir lehimleme alaşımının sıcak işlenebilirliğe sahip olması dolgu metalinin bir tel veya tabaka şeklinde üretilmesini kolaylaştıracaktır [39]. Sadece sertlik incelemesi sonrası bu konu hakkında yorum getirmek yanıltıcı olabilir. O nedenle çalışmanın ilerleyen dönemlerinde “sıcak deformasyon davranışı”nın çalışılması önerilmektedir.

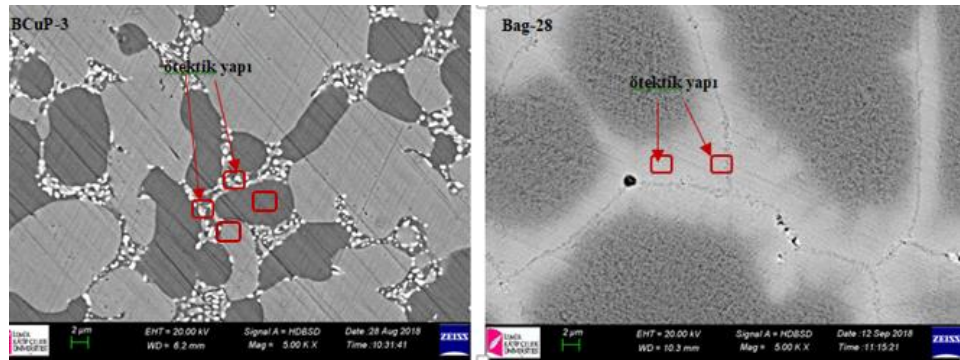


şekil 4.87. Sert lehim dolgu metallерinin tane morfolojilerini gösteren SEM mikroyapıları

şekil 4.87’ de görüldüğü gibi Cu-P dolgu metallерinin özelliklerini Cu matrisi ve Cu_3P fazı belirlemektedir. Dolgu metalinin, az miktarda Ag ilavesi ile dairesel

fosforca zengin fazları eksilirken, dendritik fosfor yönünden zengin fazlar oluştuğu tespit edilmiştir [40].




Dendritik Cu ve Cu-P fazlarının yanısıra Cu-P-Ag ötektik fazlarını içermektedir. Ag ilavesi metal matristeki Cu_3P kırılğan fazları azalmaktadır, Xrd sonuçları da bu durumu destekler niteliktedir. Aslında beklenen Ag oranının yüksek oranlarda ilavesi ile metalin süneklğini ve plastikliğini arttıracak olan Ag bazlı sünek fazların yapıya hakim olmasıdır. Ancak, Zn içeren sert lehim dolgu metallerindeki mikroyapıyı oluşturan fazlar, temelde katı çözeltilerin içinde Ag bulunduğunu ve bunun Zn ve Ag atomlarının karşılıklı difüzyonlarının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Ag ilavesinin artmasıyla birlikte Zn içeren dolgu metallerinin mikroyapısı incelenerek mekanik özellikleri artmaktadır. Bu durum, Ag ve Zn arasındaki elektronegatifliğin büyüklüğünden kaynaklanmaktadır. Zn içeren sert lehim dolgu metallerine Ag ilavesi Zn atomlarının diğer element atomları ile arasındaki karşılıklı difüzyon hızını düşürerek katı çözelti boyutunu azaltmaktadır [38]. Yapıda hem Zn-Cd aynı anda bulunması durumunda mekanik özelliklerdeki artış %40 Ag içeren kadmiyumsuz tel kadar radikal değildir. Cd ve Zn elektronegativitleri benzer atomlara sahip elementlerdir. Bu durumda Cd oranı %20 gibi yüksek mertebelerde olması sebebiyle Zn ve Cd atomları arasında da karşılıklı difüzyon hızlı olacaktır. Bu nedenledirki 4 no.lu teldeki sertlik artışı 5 no.lu tel kadar dramatik değildir.



Şekil 4.88. 2 no'lu (BCuP-3) ile 5 no'lu (BAg-28) dolgu metali kullanılan bağlantı morfolojisi

4.9.Patlatma Testi Sonuçları

Seçilen numunelere patlatma testi esnasında kademeli olarak artan yağ basıncı uygulandı. Buradaki amaç boruların ve lehim yerlerinin dayanımlarını patlama basıncına göre belirlemek ve kullanılan dolgu tellerinin lehim kalitesine etkisini araştırmaktır. Basınç artışı 450 bar'a kadar kademeli olarak arttırılarak sağlanmıştır ve sonuçlar raporlanmıştır. Şekil 4.89' da test esnasında çekilen numune görselleri yer almaktadır.

<p>Düzeneğe bağlanan, teste hazır bakır boru ve pirinç kapaklar</p>	
<p>Düzeneğe bağlanan, teste hazır pirinç boru ve pirinç kapaklar</p>	
<p>Düzeneğe bağlanan, teste hazır çelik boru ve pirinç kapaklar</p>	

Şekil 4.89. Patlatma Testine Hazır Numuneler

4.9.1. Patlatma Basıncının Hasar Gerilmesi (Etkin Gerilme) Değerine Dönüştürülmesi

Wang H. vd. [41] dolgu telindeki gümüş oranı değişiminin sert lehimleme üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada; Ag oranı %0.5 ‘e gelinceye kadar çekme dayanımı bir miktar azalsa da % 0.5’in üzerindeki Ag ilavesinin çekme dayanımını sürekli olarak arttırdığını ispatlamışlardır. Ayrıca Ag ilavesi mikroyapıdaki metallere arası bileşiklerin büyüklüğünü azaltarak mekanik dayanımı arttırdığını ortaya koymuşlardır.

Frank F. Kraft vd. [42] iklimlendirme sektöründe kullanılan ısı değiştirici borularda von Mises gerilme ve iç basınç değerleri arasındaki ilişkiyi aşağıdaki bağıntı ile ortaya koymuşlardır:

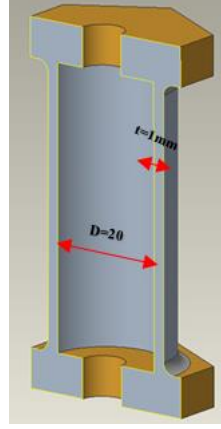
$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} P_i \left(\frac{D}{t} + 1 \right) \quad (1)$$

Eşitlik 1’ de “ σ ” von Mises gerilme değeri iken, “ P_i ” boru iç basıncı, “ D ” borunun iç çapı ve “ t ” ‘ de et kalınlığını ifade eder. Yukarıdaki bağıntıyı kullanarak boruların patladığı andaki basınç değerleri ve boru ölçüleri kullanılarak hasar gerilme (etkin gerilme) değerleri elde edilmiştir.

Gerilme değerleri lehimlenen malzeme çiftlerine göre 3 grupta hesaplanmıştır. Test edilen toplam 7 numunenin maksimum gerilme değeri hesaplanarak yorumlanmıştır.

4.9.1.1. İlk Grup Test Numunelerinin Gerilmeleri (Pirinç-Bakır)

Bu grup altında Tablo 4.4’ de belirtildiği gibi 3 farklı test yapılmıştır. Şekil 4.90’daki bakır boru kesitinden görüleceği gibi borunun et kalınlığı “ t ” 1mm ve borunun iç çapı D “20mm”dir.



Şekil 4.90. Bakır boru kesiti

Test 1: Alaşımı %0Ag olan BCuP-1 dolgu metali ile lehimlenen numune 155 Bar basınca gelindiğinde dolgu yerinde kopma olmuştur. Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen gerilme değeri 281.8MPa' dır.

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} (155) \left(\frac{20}{1} + 1 \right)$$

$$\sigma = 281.8 \text{ MPa 'dır.}$$

Test 2: Alaşımı %4.8Ag olan BCuP-3 dolgu metali ile lehimlenen numune 190 Bar basınca gelindiğinde bakır boru yırtılmıştır. Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen gerilme değeri 345.5MPa' dır.

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} (190) \left(\frac{20}{1} + 1 \right)$$

$$\sigma = 345.5 \text{ MPa 'dır.}$$

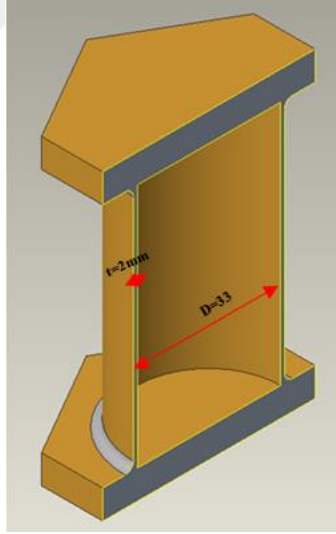
Test 3: Alaşımı %6Ag olan BCuP-3 dolgu metali ile lehimlenen numune 190 Bar basınca gelindiğinde bakır boru yırtılmıştır. Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen gerilme değeri 345.5MPa' dır.

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} (190) \left(\frac{20}{1} + 1 \right)$$

$$\sigma = 345.5 \text{ MPa 'dır.}$$

4.9.1.2. İkinci Grup Test Numunelerinin Gerilmeleri (Pirinç-Pirinç)

Bu grup altında Tablo 4.4 'de belirtildiği gibi 2 farklı test yapılmıştır. Şekil 4.91'deki pirinç boru kesitinden görüleceği gibi borunun et kalınlığı "t" 2mm ve borunun iç çapı D "33mm" dir.



Şekil 4.91. Pirinç boru kesiti

Test 4: Alaşımı %4.8Ag olan 2 no'lu dolgu metali ile lehimlenen numune 290 Bar basınca gelindiğinde dolgu yerinde kopma olmuştur. Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen gerilme değeri 439.5 MPa' dır.

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} (290) \left(\frac{33}{2} + 1 \right)$$

$$\sigma = 439.5 \text{ MPa 'dır.}$$

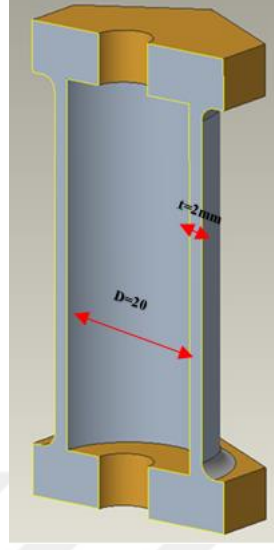
Test 5: Alaşımı %6Ag olan 3 no'lu dolgu metali ile lehimlenen numune 300 Bar basınca gelindiğinde dolgu yerinde kopma olmuştur. Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen gerilme değeri 454.5MPa'dır.

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} (300) \left(\frac{33}{2} + 1 \right)$$

$$\sigma = 454.5 \text{ MPa 'dır.}$$

4.9.1.3. Üçüncü Grup Test Numunelerinin Gerilmeleri (Pirinç-Çelik)

Bu grup altında Tablo 4.4 'de belirtildiği gibi 2 farklı test yapılmıştır. Şekil 4.92 'deki pirinç boru kesitinden görüleceği gibi borunun et kalınlığı “t” 2mm ve borunun iç çapı D “20mm” dir.



Şekil 4.92. Çelik boru kesiti

Test 6: Alaşımı %6Ag olan BCuP-4 dolgu metali ile lehimlenen numune 310 Bar basınca gelindiğinde dolgu yerinde kopma olmuştur. Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen gerilme değeri 295.3MPa'dır.

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} (310) \left(\frac{20}{2} + 1 \right)$$

$$\sigma = 295.3 \text{MPa} \text{ 'dır.}$$

Test 7: Alaşımı %30Ag olan BAg-2a dolgu metali ile lehimlenen numune 400 Bar basınca gelindiğinde dolgu yerinde kopma olmuştur. Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen gerilme değeri 381MPa'dır.

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} (400) \left(\frac{20}{2} + 1 \right)$$

$$\sigma = 381 \text{MPa} \text{ 'dır.}$$





İlk grupta Tablo 4.4' den anlaşıldığı gibi patlatma testlerine, bakır boru-pirinç kapak numuneleri ile başlanmıştır. İçerisinde Ag içermeyen 1 no'lu dolgu metali ile lehimlenen numuneye kademeli olarak artan hidrolik yağ basıncı uygulandı ve manometre 155bar' ı eşitlik (1) kullanılarak 281.8MPa gerilmeye karşılık geldiği elde edilmiştir) gösterdiğinde dolgu yerinde hasar oluşmuştur. İçerisindeki Ag alaşımı %4.8 olan 2 no'lu dolgu metali ile lehimlenen bakır-pirinç numunesinde 190 bar 'da (345.5MPa gerilme) bakır boru üzerinde yırtılma gerçekleşmiştir. Yine de Ag artışının etkisinin olup olmadığını araştırmak için içerisinde %6Ag bulunan 3 no'lu dolgu metali ile test tekrarlanmıştır ve manometre yine 190 bar'ı gösterdiğinde bakır boru üzerinde yırtılma oluşmuştur. Bu sonuç bakır-pirinç birleşiminde yapılan lehim kalitesinde %4.8Ag kullanımının yeterli olduğunu düşündürmektedir. Böylece mekanik dayanç açısından Ag oranını daha fazla arttırmanın maliyeti olumsuz etkileyeceği düşünüldüğünden bu bağlantıda %4.8 Ag oranı kullanımı optimum olarak düşünülmektedir.

İkinci grupta pirinç boru-pirinç kapak numuneleri ilk olarak %4.8 Ag oranındaki BCuP-3 dolgu metali ile lehimlenerek test edilmiştir ve 290 bar' da (439.5MPa gerilme) lehim yerinde hasar meydana gelmiştir. %6Ag oranındaki 3 no'lu dolgu metali ile lehimlenen numune ile test tekrarlandığında 300 bar' da (454.5MPa gerilme) lehim yerinde ayrılma oluşmuştur. Bu sonuçlar ile içerikteki Ag oranı artışının pirinç malzemelerin bağlantısına pozitif etki gösterdiği tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan borular soğutma sistemlerinde maksimum 47bar basınç altında çalışacağı düşünüldüğünde, [43] boru da %4.8Ag oranı içeren 2 no'lu dolgu metalinde sağlanan basınç dayanım değeri oldukça yüksek mertebede ve dayanım açısından yeterlidir. Bu nedenle Ag içeriğinin daha yüksek olduğu dolgu telleriyle yapılmış olan bağlantılara patlatma testi yapılmamıştır. SEM mikroyapılarındaki arayüzeyler incelendiğinde pirinç ile dolgu metali arasındaki reaksiyon tabakası her koşul için mevcuttur. Bu bağlantılara yapılan patlatma testinden elde edilen hasar gerilmesi değeri 439.5MPa gibi yüksek bir değerdir. Pirinç malzemesinin çekme dayanıcı 300 MPa seviyelerinden başlayıp maruz kaldığı soğuk işleme bağlı olarak 600 MPa' a kadar yükselmektedir [25]. Bu nedenle hasarın dolgu metalinde oluşması şaşırtıcı değildir. Elde edilen hasar değeri de piyasada kabul edilen değerlerin yaklaşık 6 katıdır.

Üçüncü grupta %6Ag oranı içeren 3 no'lu dolgu metali ile lehimlenen çelik boru-pirinç kapak numuneleri test edilmiştir ve 310bar (295.3MPa gerilme) basınçta lehim yerinde hasar meydana gelmiştir. %30Ag içeren 4 no'lu dolgu metali ile lehimlenen numune de test tekrarlanmış ve ayrılma bu kez 400 bar' da meydana gelmiştir. Bu durum %30 Ag ilavesinin çelik bağlantılarda dayanımı önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir. Bu patlama basınç değeri yaklaşık 381 MPa' lık bir hasar gerilme değerine tekabül etmektedir.

St 37 çeliğinin ise çekme dayancı 360-490 MPa arası değişmektedir. Bu nedenle 3 no.lu dolgu teli ile yapılan birleştirmede hasarın lehim bölgesinde oluşması şaşırtıcı değildir. Yine de daha yüksek dayanım beklenen yapılar için daha yüksek Ag oranları ile testlerin tekrarlanması sonuçların kesinliği için önem teşkil etmektedir. Ancak maliyetli ve iş güvenliği açısından tehlikeli bir test olan patlatma testi bu tez kapsamında daha fazla numuneye yapılamamıştır. Çalışmanın ilerleyen zamanlarda genişletilmesi durumunda yapılması planlanmaktadır.

Tablo 4.4. Patlatma testi uygulama ve sonuç tablosu

Sınıflandırma	Test No	Dolgu Teli No	Dolgu Teli Ag Oram	Malzeme 1	Malzeme 2	Kopma Basıncı	Gerilme	Sonuç	Test Sonrası Görsel
Grup 1	Test 1	1 No'lu dolgu Teli	%0Ag	Bakır Boru	Pirinç Kapak	155 Bar	281.8MPa	lehim yerinde yırtılma	
	Test 2	2 No'lu dolgu teli	%4.8Ag	Bakır Boru	Pirinç Kapak	190 Bar	345.5MPa	bakır boru üzerinde yırtılma	
	Test 3	3 No'lu dolgu tel	%6Ag	Bakır Boru	Pirinç Kapak	190 Bar	345.5MPa	bakır boru üzerinde yırtılma	
Grup2	Test 4	2 No'lu Tel	%4.8Ag	Pirinç Boru	Pirinç Kapak	290 Bar	439.5MPa	lehim yerinde yırtılma	
	Test 5	3 no'lu dolgu teli	%6Ag	Pirinç Boru	Pirinç Kapak	300 Bar	454.5MPa	lehim yerinde yırtılma	

Grup 3	Test 6	3 no'lu dolgu teli	%6Ag	Çelik Boru	Pirinç Kapak	310 Bar	295.3MPa	lehim yerinde yırtılma	
	Test 7	4 No'lu dolgu teli	%30 Ag (%20Cd)	Çelik Boru	Pirinç Kapak	400 Bar	381MPa	lehim yerinde yırtılma	

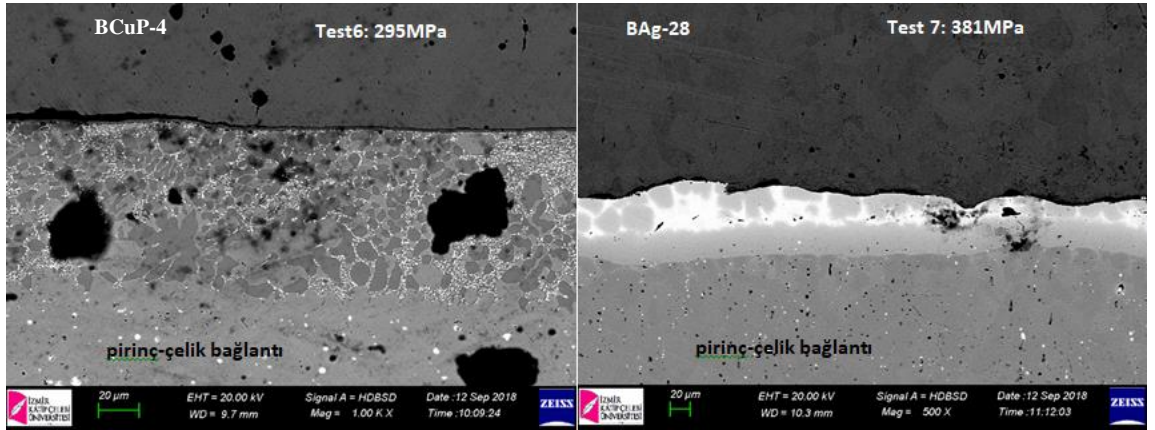
Deneyler sonucunda elde edilen gerilme değerleri ile dolgu tellerinin literatürdeki gerilme değerleri Tablo 4.4 'de karşılaştırılmıştır. 1 numaralı tel ve bakır-pirinç numunede patlatma anındaki maksimum gerilme 281.8MPa olarak hesaplanmıştır. Çekme dayanımı yüksek olan 2 ve 3 numaralı tellerin bakır-pirinç numuneler ile yapılan sert lehimleme sonrası yapılan testlerde (Test 2 ve Test 3) patlama anındaki maksimum gerilme değeri 345.5MPa olarak hesaplanmıştır. Bu iki testte de yırtılma bakır boruda meydana gelmiştir. Bu nedenle lehimin dayanabileceği maksimum gerilme değerine ulaşamamıştır.

Tablo 4.5. Dolgu tellerinin hasar gerilme değerleri ve literatürde yer alan çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Tel No	Dolgu Teli	Kopma Dayanımı	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7
1	BCuP-1	250MPa	281.8MPa						
2	BCuP-3	439MPa		345.5MPa		439.5MPa			
3	BCuP-4	454MPa			345.5MPa		454.5MPa	295MPa	

4	B-Ag2a	372MPa							381MPa
5	B-Ag28	431MPa							

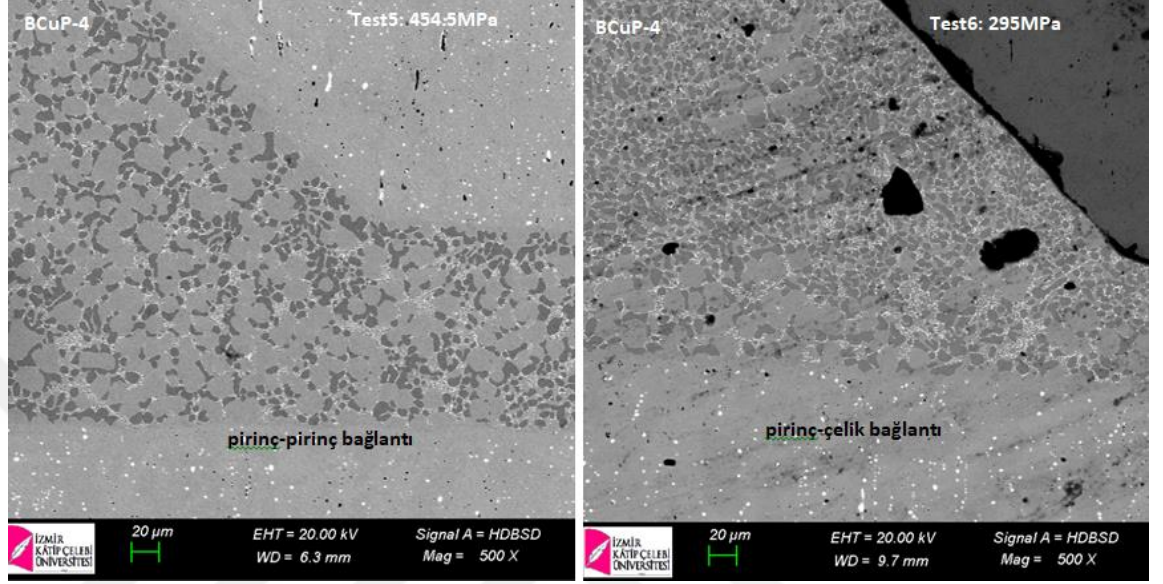
7 testten elde edilen verilerin sonucunda en yüksek gerilme değeri BCuP-4 dolgu metali ile lehimlenen pirinç-pirinç birleşmede olduğu görülmektedir. Aynı dolgu metali ile lehimlenen pirinç-çelik numunede kopma anında maksimum gerilme değerinin daha düşük olması, arayüzde mikroyapının pirinç-pirinç bağlantıda birbirine daha iyi bağlanması ile açıklanmaktadır. Mikroyapılar incelendiğinde pirinç-pirinç lehiminde dikiş boyunca daha homojen bir görünüm göze çarpmaktadır, reaksiyon tabakası da oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.93 'de 3 no'lu dolgu teli çelik-pirinç bağlantıda daha zayıf bir bağlantı oluşturmuştur. Bağlantı arayüzeyi süreksizdir. Öte yandan 4 no'lu dolgu teli ile lehimlenen bağlantıda ara yüzey nispeten daha iyidir, kalın bir reaksiyon tabakası oluştuğu da dikkati çekmektedir. Patlatma testlerinde test 6 ve test 7 incelendiğinde; pirinç-çelik bağlantıda 4 no'lu dolgu telinin, 3 no'lu dolgu teline göre daha iyi dayanım göstermesi mikroyapıdaki arayüzey ile açıklanabilir. Şekil 4.94'de 3 no'lu ile sert lehimlenen pirinç-pirinç ve pirinç çelik bağlantısının kesit görüntüsünün arayüzeyleri SEM'de incelenmiş, pirinç bağlantı arayüzeyinde kolonsal türde fazların büyüdüğü dikkat çekerken çelik arayüzeyinde böyle bir metalurjik bağlantıya rastlanmamıştır. Ayrıca lehim dikişi boyunca pirinç-çelik bağlantıda boşluklar göze çarpmaktadır.



Şekil 4.93. BCuP4-BAg-28 dolgu telleri ile piriñ-çelik bağlantıda SEM görüntüsü

BCuP-3 dolgu metali ile lehimlenen piriñ-bakır numunede ise kopma bakır boru üzerinde gerçekleştiğinden lehim bölgesinin maksimum dayanımı test edilememiştir. Bu

örnek bakır borunun maksimum basınç dayanımının pirinç ve çelik borulara göre daha düşük olmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4.94. BCuP-4 ile sert lehimlenen pirinç-pirinç ve pirinç-çelik numunelerin SEM görüntüsü

BÖLÜM 5

5. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ag içermeyen ve Ag içeren sert lehim dolgu metalleri piyasada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ag içeren sert lehim dolgu metalleri uygun erime ve katılma derecelerine, dar katılma aralığına, iyi mekanik ve işlem performansına çoğu zaman iyi ıslatabilirliğe sahip olmalarına rağmen Ag içeren alaşımların dolgu tellerini analiz etmek ve performanslarını kavrayabilmek için hala detaylı araştırmalara ihtiyaç vardır. Ag içeriğinin artmasının maliyeti arttırdığı kaçınılmazdır. Bu çalışmada optimum Ag seviyesi belirlenmiş yani iyi bağlantı arayüzeyine ve iyi mekanik özelliklere sahip dolgu metali belirlenmiştir. Cd ve Pb içeren lehim telleri insan sağlığına zarar verici unsurlar içermekte ancak piyasada hala kullanılmaktadır. Bu çalışmada Cd içeren bir tel de incelenmiştir.

Sert lehimleme için çok sayıda alaşım elementi içeren çoklu ve karmaşık Ag içeren alaşımlar yukarıda sayılan nedenlerden dolayı ilgi çekicidir. Ag içeren alaşımları incelemek, sadece maliyete bağlı olarak Ag içeriğini minimum tutabilmek için değil aynı zamanda daha iyi mekanik özellikler ve ıslanabilirlik elde edebilmek için de caziptir.

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- Cu-P alaşımına Ag içeriğinin düşük oranda ilavesi tane morfolojisini dendritimsi olarak değiştirmektedir. Ag' nin Cu-Zn içeren alaşımlarda yüksek oranlarda bulunması ile küresel tane yapısı ve ince ötektik yapı elde edilmektedir.

2- Bağlantı arayüzeylerinde reaksiyon tabakaları oluşumu pirinç/lehim arayüzeyinde her durumda var iken, bakır/lehim arayüzeyinde sadece Ag içeren tellerde olduğu görülmüştür. Öte yandan Ag içeriğini arttırdıkça reaksiyon tabakası kalınlaşmaktadır. Reaksiyon tabakası (metaller arası bileşik tabakası) çok kalın olmadığı ve nispeten düz bir yapıda olduğunda iyi mekanik ve bağlantı özelliklerini verdiği bilinmektedir. Buna göre bakır için lehimli bağlantıda %4.8

ve %6 Ag içeren BCuP-3 (2 no.lu tel) ve BCuP-4 (3 no.lu tel) telleri önerilmektedir. Çelik ara yüzeyine bakıldığında tam ıslanabilirlik olmadığı ve bağlanma/difüzyon katmanlarının yokluğu söz konusudur. Ancak %30 Ag ve %20 Cd içeren telde (BAg-2a yani 4 no.lu tel) tam bir arayüzey oluşmasa da beyaz renkli ara tabakanın oluşumu dikkati çekmiştir. Bu tabakanın hem Zn hem Cd etkisiyle difüzyonla gelişmiş olduğu düşünülmektedir. Buna göre St37 çeliği için lehim bağlantısında %20 Cd ve %30 Ag içeren BAg-2a dolgu metali (4 no.lu tel) önerilmektedir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında Cd gibi elektronegatifliği düşük ancak sağlığa zararlı olmayan bir alaşım elementi ile çelik üzerine çalışma yapılması planlanmaktadır.

3- Mikrosertlik incelemelerine göre, ötektik yapının içinde Ag bulunan katı çözeltilerin ince morfolojilerinin bir sonucu olarak %40 Ag içeren telin sertliği son derece yüksektir. Bu durumun Zn ve Ag alaşımlarının karşılıklı difüzyonlarının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ag'nin artmasıyla Zn içeren dolgu metallerinin mikroyapısı incelmış, mikrosertlik artmıştır.

4- Ag ilavesi ile likidüs ve solidüs sıcaklıkları düşmektedir ve katılaşma aralığı daralmaktadır. Dar bir katılaşma aralığına sahip ve fazla düşük olmayan solidüs sıcaklığına sahip özellikler lehim alaşımlarından beklenen özelliklerdendir. Bu çalışmada kullanılan Ag ilaveleri ile likidüs sıcaklığına fazlaca düşmüştür bu da katılaşma aralığını daraltmıştır. Öte yandan buna bağlı olarak solidüs sıcaklıkları düşse de likidüs sıcaklıklarındaki azalma trendi kadar yüksek değildir. Bu durum lehim bölgesinde genellikle daha az kalıntı termal gerilme oluşumunu getireceğinden ve bunun bir sonucu olarak da daha iyi yorulma performansına sahip olacağından düşük erime noktalı alternatif lehim alaşımları caziptir.

5- Pirinç/pirinç, pirinç/bakır ve pirinç/çelik kapak ve boru malzemelerinin mekanik özellikleri, lehimli kompresör çıkış borularında ve filtre borularındaki sistemlerin çalışma koşulları için değerlendirilmiştir. Bu amaçla, patlatma testinde bazı lehimli bağlantıların maksimum dayanabildiği basınç değerleri tespit edilmiş ve bu değerler hasar gerilme değerlerine dönüştürülmüştür. Böylece servis çalışma

koşullarını yakından simüle etmeye çalışan bir test ortamı oluşturulmuştur. Bakır boru/pirinç kapak Ag içermeyen BCuP-1 dolgu metali yapılan bağlantıda hasar, lehim bölgesinden 281 MPa ile oluşmuştur. Ag içeriği %4.8 olan BCuP-3 dolgu metali ile yapılan bağlantıda hasar bakır borudan meydana gelmiştir. Pirinç/bakır bağlantısı için zor çalışma koşullarının simüle edildiği ortamda bu telin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Pirinç/pirinç kapak boru bağlantısında Ag içeriği %4.8 olan BCuP-3 dolgu metali ile yapılan testte 439.5 MPa hasar gerilmesi değerinde lehim bölgesinden hasar meydana gelmiştir. %6 Ag içeren BCuP-4 dolgu metali ile yapılan testte benzer değerde 454.5 MPa' da yine lehim yerinden ayrılma meydana gelmiştir. Pirinç ve bakır malzemelerde standart çekme dayanımı verileri, borunun ve kapağın iç duvarlarında oluşan etkin gerilme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, hasarın lehim yerinden olması makuldür çünkü ana metallerin dayanç değerlerine bu lehim alaşımı sahip değildir. Ancak kötü çalışma koşullarını simüle eden test sonrası hasar oluşturan gerilme değerleri son derece yüksektir. Söz konusu dolgu metalleri birçok kötü koşul için pirinç/bakır malzeme çiftinde kullanılabilir. Çelik/pirinç boru kapak bağlantısında %6 Ag içeren BCuP-4 dolgu metali kullanıldığında hasar 295 MPa ile lehim bölgesinde oluşmuştur. %30 Ag içeren BAg-2a dolgu metali kullanıldığında yine lehim bölgesinden ancak 381 MPa' lık bir hasar gerilme değerinde meydana gelmiştir. Pirinç ve çelik malzemelerinin statik koşullardaki çekme dayançları ile kıyaslandığında bu hasar gerilmesi değerinin ana malzemeleri hasara uğratmaması olağandır. Bu dolgu telinden elde edilen hasar dayanç değeri son derece yüksek olduğu için bu malzeme çifti için uygundur ve daha yüksek Ag içeren tel kullanmaya gerek yoktur. Arayüzey reaksiyon tabakası incelemelerinde de çelikle lehim bölgesi arasındaki tabaka oluşumu bu dolgu telinde söz konusu olmuştur. İy yapı incelemeleri de bu sonucu destekler niteliktedir.

6- Geleneksel lehim tellerinden daha düşük erime noktasına sahip, sağlam bir bağlantı üreten çevre dostu bir Ag esaslı dolgu teli kullanıldığında Ag ilavesi ile maliyeti yüksek bir tel elde edilmiş olsa da lehimleme esnasındaki ısıtma maliyeti düşmüş olacaktır.

Sonuç olarak Ag eklemek genel performansı arttırabilir. Farklı malzemeler için farklı Ag içeren teller en iyi olabilmektedir. Bununla birlikte Ag içeriği arttıkça bazı sert lehim dolgu metallerinin özellikleri aynı trendte gelişmemekte veya gereksiz yere maliyet oluşturabilmektedir. Bu da çoğu zaman yapılarla ilişkilidir. Ag'nin yüksek fiyatı yüksek Ag içeren dolgu metallerinin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle daha fazla bilim insanı nadir bulunan toprak elementlerini eklemek gibi Ag oranını azaltıcı yönde çalışmalara yönelmeye başlamıştır. Bu proje Ag içeren sert lehim dolgu metallerinin araştırma ve geliştirilmesine katkıda bulunmuş ve Ag içeriğinin minimum tutulabilmesi için öneriler sunmuştur.

KAYNAKLAR

1. <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Soldering> (Ares, Jose Antonio. 2006. Metal: Forming, Forging, and Soldering Techniques. Barron's Educational Series. ISBN 0764158961)
2. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997).
3. Robert, W., ve Messler Jr. Brazing: A Subclassification of Welding. Joining of Materials and Structures. 2004, 349-387.
4. Miller, V. R., & Schwaneke, A. E., Interfacial Compositions of Silver Filler Metals on Copper, Brass, and Steel. Weld. J. 1978, 57(10).
5. Long, W., Zhang, G., & Zhang, Q., In situ synthesis of high strength Ag brazing filler metals during induction brazing process. Scripta Materialia. 2016, 110, 41-43.
6. Zaharinie, T., Huda, Z., Izuan, M. F., & Hamdi, M. Development of optimum process parameters and a study of the effects of surface roughness on brazing of copper. Applied Surface Science. 2015, 331, 127-131.
7. Shabtay, Y., Ainali, M., ve Lea, A., New brazing processes using annealresistant copper and brass alloys. Materials and Design. 2004, 1 (25), 83-39.
8. Ma, C., Xue, S., & Wang, B., Study on novel Ag-Cu-Zn-Sn brazing filler metal bearing Ga. Journal of Alloys and Compounds, 2016, 688, 854-862.
9. Çınar S., Bakır Ve Alaşımlarının Sert Lehiminde Farklı Kimyasal Kompozisyonlara Sahip İlave Tellerin Bağlantının Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, Ankara, 2010, 73-76 (Yüksek Lisans Tezi).
10. Tosun M., Galvanizli Saçların Mıg-Sert Lehimleme Yöntemiyle Birleştirilmesinin Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2013, (Doktora Tezi).
11. Jadidi, A. "Karbon Çelik Malzemelerin Fırında Sert Lehimlemesine Etki Eden Parametrelerin Deneysel Olarak Optimizasyonu", Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, 2013(Yüksek Lisans Tezi).

12. Andersson, R., ve Holm, T., ve Wiberg, S., ve Astrom, A., *Furnace Atmospheres No. 4: Brazing of Metals*. Linde Gas, 2011.
13. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı “Sert Lehimleme” http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/521MMI203.pdf, 2006.
14. Jacobson, D. M., “Principles of brazing”, ASM international, United States of America,15, 2005.
15. Kaya Y, Lehimleme Tekniğinde Otomasyon ve İşlem Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2008, 7-25, 38, 43. (Yüksek Lisans Tezi).
16. Carter, F., Donald, E., “Materials science and Engineering”, ASM international, USA, 60-70, 2007.
17. Fischer, U., “Tabellenbuch metall”, Verlag Europa – Lehrmittel Nourney, Vollmer Gmbh Co., 1-6, 1992.
18. Oğuz, B., “Sert lehimleme teori uygulama”, İsis Yayıncılık, İstanbul, 250-300, 1988.
19. Bodur, O., “Lehim alaşımlarının sınıflandırılması, kısa gösterilişleri ve Türkiye“deki durum”, Mühendis ve Makine, 26-30, 1994.
20. Yıldız, İ., “Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Nikel Esaslı Malzemelerin Konvensiyonel ve Mikrodalga Radyasyonu Isıtma Yöntemleri Kullanılarak Sert Lehimlenebilirliğinin İncelenmesi”. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, 22, 2012, (Doktora Tezi)
21. Manko, H. H., “Soldering Handbook”, Kluwer Academic Publishers Group, USA, 98-104, 1998.
22. Humpstone G., ve Jacobson., Principles of Soldering and Brazing. ASM International Materials Park., 1993.
23. Roberts, P., “Industrial Brazing Practice”, CRC Press, 177 – 190, 270 – 272, 2003.
24. Koçak, H., “Bakır alaşımları el kitabı”, Sağlam Metal, İstanbul, 1-32, 2006.

25. Rood, J., "Sculpture with a torch", University Of Minnesota, Minnesota, 26-30, 1968.
26. Degarmo, E. P.; Black, J. T.; Kohser, R. A. (2003), Materials and Processes in Manufacturing Ninth Edition, John Wiley & Sons, U.S.A.
27. Olson, D. L.; Siewert, T. A.; Liu, S.; Edwards, G. R. (1993), ASM Metals Handbook Volume 6, Welding, Brazing and Soldering, ASM International; U.S.A.
28. (AWS A5.8M/A5.8:2011-AMD 1 An American National Standard second printing)
29. Gülenç, B., "Difüzyon Sert Lehimlemesi ile Titanyum ve Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Makine Tasarım ve İmalat Dergisi, 5 (1): 22-28 (2003).
30. Gale, W.F. ve Totemeier, T. C. (Ed.). 2004. Smithells Metals Reference Book (8). Elsevier.
31. <http://logoskimya.com/patlama-basinci-testi-burst-pressure-test/#>
32. V. E. Bazhenov (2013). Investigating Crystallization Processes while Brazing Copper by Copper–Phosphorus Brazing Alloy with the Purpose of Controlling the Structure of the Brased Seam, (46).
33. Phase Diagrams of Cu-Ag-P and Cu-Sn-P Ternary Brazing Filler Metals
34. Hanson, W. B., Ironside, K. I., & Fernie, J. A. (2000). Active metal brazing of zirconia. Acta Materialia, 48(18-19), 4673-4676.
35. Kang SK, Lauro P, Shih DY, et al. Microstructure and mechanical properties of lead-free solders and solder joints used in microelectronic applications. IBM J. Res. Dev. 49 (4.5), 607–620 (2005);
36. G. Zeng, S. Xue, L. Zhang et al., A review on the interfacial intermetallic compounds
37. Cho M G, Park Y S, Seo S K, et al. Effect of Ag addition on the ripening growth of grains at the interface of Sn-xAg-0.5 Cu/Cu during a reflow. IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol. 1(12), 1939–1946, 2011.
38. J Mater Sci: Mater Electron (2016) 27:1–13; Y.H. Zhu, S. To, W.B. Lee et al., Effects of dynamic electropulsing on microstructure and elongation of a Zn–Al alloy. Mater. Sci. Eng., A 501(1), 125–132 (2009)

39. Watanabe, T., Yanagisawa, A., & Sasaki, T. (2011). Development of Ag based brazing filler metal with low melting point. *Science and Technology of Welding and Joining*, 16(6), 502-508.
40. Y. Li, C. Wang, Z. Peng et al., Dissolution behavior of Cu in Cu–Ag and Cu–P brazing alloys using weld brazing. *Trans. Nonferrous Metals Soc. China* 21, 394–399, 2011.
41. Wang H., Effect of Ag on the properties of solders and brazing filler metals, 2016.
42. Frank F. Kraft (2007) Processing effects in aluminum micro-channel tube for brazed R744 heat exchangers
43.
https://my.jci.com/:w:/r/sites/QMS_EMEA/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7BCBF8492B-2C58-4AD3-A11C5BC109A1194C%7D&file=T162%20YLAE%20Diren%C3%A7%20ve%20Ka%C3%A7ak%20Testi%20Talimat%C4%B1.doc&action=default&mobileredirect=true&DefaultItemOpen=1

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan Şafak

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1989

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : gokhan.safak@cbu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Karşıyaka Şemikler Lisesi (YDA), 2007

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2012

Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Konstrüksiyon Ana Bilim Dalı Devam Ediyor

Mesleki Deneyim

Vestel Elektronik A.Ş. 2011-2013

Franke Banyo ve Mutfak Sistemleri 2013-2016

Johnson Controls A.Ş. 2016-..... (halen)