

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LEHİMLEME TEKNİĞİNDE OTOMASYON ve İŞLEM
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Makine Müh. Yaşar Özgür KAYA

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTIMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LEHİMLEME SÜREÇLERİ ve LEHİMLEMENİN TEMEL PRENSİPLERİ	3
2.1 Sert Lehimleme, Yumuşak Lehimleme ve Kaynakla Birleştirmenin Karşılaştırılması	3
2.2 Yumuşak Lehimleme.....	4
2.3 Sert Lehimleme.....	5
2.3.1 Sert Lehimlemenin Avantajları	5
2.3.2 Sert Lehimlemenin Sınırlamaları.....	6
2.3.3 Sert Lehimlemenin Mekaniği	7
2.3.4 Sert Lehimlemenin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması	7
2.3.5 Sert Lehimleme Parametreleri	8
2.3.5.1 Dolgu Metali (İlave Metal) Akışı Ve Islatma Kabiliyeti.....	9
2.3.5.2 Ana metalin özellikleri	11
2.3.5.3 İlave metalin özellikleri	11
2.3.5.4 Yüzey hazırlama	11
2.3.5.5 Birleştirme dizaynı ve boşluğu	12
2.3.5.6 Sıcaklık ve uygulama süresi	13
2.3.5.7 Isıtma yöntemi ve ısıtma hızı.....	14
2.3.5.8 Dekapanlar ve Koruyucu Atmosferler:.....	14
2.4 Sert Lehimlemede Kullanılan İlave Metaller	15
2.5 Sert Lehimlemede Kullanılan Dekapanlar ve Koruyucu Atmosferler	20
3. SERT LEHİMLEME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ	24

3.1	Üfleç Sert Lehimlemesi	24
3.2	Fırın Sert Lehimlemesi	30
3.3	İndüksiyon Sert Lehimlemesi	33
3.4	Direnç Sert Lehimlemesi	39
3.5	Daldırma Sert Lehimlemesi	43
3.6	Ekzotermik Sert Lehimleme	48
3.7	Difüzyon Sert Lehimlemesi	52
3.8	Diğer Sert Lehimleme Yöntemleri	55
3.8.1	Optik Sert Lehimleme:	55
3.8.2	Elektron Demeti Sert Lehimlemesi	56
3.8.3	Lazer Sert Lehimlemesi	56
3.8.4	Ark Sert Lehimlemesi	57
3.8.5	Elektrolitik Sert Lehimleme	57
3.8.6	Kızıl Ötesi Sert Lehimlemesi	58
4.	SERT LEHİMLEME SÜREÇLERİNİN BİRLEŞTİRİLEN MALZEMELER AÇISINDAN İNCELENMESİ	59
4.1	Dökme Demirlerin Sert Lehimlenmesi	59
4.2	Karbon Çelikleri, Düşük Alaşımli Çelikler Ve Takım Çeliklerinin Sert Lehimlenmesi	61
4.3	Paslanmaz Çeliklerin Sert Lehimlenmesi	68
4.4	Alüminyum ve Alaşımlarının Sert Lehimlenmesi	72
4.5	Bakır ve Alaşımlarının Sert Lehimlenmesi	78
4.6	Magnezyum ve Alaşımlarının Sert Lehimlenmesi	89
4.7	Isıya Dayanıklı Alaşımların Sert Lehimlenmesi	93
4.8	Reaktif ve Refrakter Metallerin Sert Lehimlenmesi	97
4.9	Seramiklerin Sert Lehimlenmesi	108
5.	UYGULAMADA KULLANILAN SERT LEHİMLEME OTOMASYONU SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ	112
5.1	Döner (Rotary) Lehimleme İstasyonları	112
5.2	Doğrusal Hareketli (Konveyörlü-Raylı) Lehimleme İstasyonları	119
5.3	Tek veya Çift Hücreli Lehimleme Makineleri	124
5.4	Örnek Sert Lehimleme Otomasyon Sistemi: Mikro Matkap Ucu ve Gövdesinin Birleştirilmesi	128

6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	135
6.1	Verimlilik.....	135
6.1.1	Otomatik Lehimleme İstasyonunda Lehimleme İşlemi ve İşlem Parametreleri .	135
6.1.2	Elle Lehimleme İşlemi ve İşlem Parametreleri	138
6.1.3	Karşılaştırma ve Analiz	141
6.2	Lehimleme Kabiliyeti ve Ürün Kalitesi.....	148
6.2.1	Çekme Deneyi	150
6.2.1.1	Ana Malzeme ve Lehim Teli Özellikleri	150
6.2.1.2	Numunelerin Lehimlenme Parametreleri ve Hazırlanması	151
6.2.1.3	Çekme Testi Parametreleri ve Testin Yapılışı	155
6.2.1.4	Çekme Deneyi Sonuçları ve Analiz.....	155
6.2.2	Mikro Yapı İncelemesi	157
6.2.3	Mikro Sertlik İncelemesi	165
6.2.4	Lehimleme Sonrası Ortaya Çıkan Kaçak Hatalarının İncelenmesi	168
7.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA	174
	KAYNAKLAR.....	177
	ÖZGEÇMİŞ.....	178

SİMGE LİSTESİ

Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
Au	Altın
B	Boron
Ba	Baryum
Be	Berilyum
C	Karbon
Cd	Kadmiyum
Cl	Klor
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
H	Hidrojen
Li	Lityum
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
Nb	Niobium
Ni	Nikel
O	Oksijen
P	Fosfor
Pd	Paladyum
Pt	Platin
Si	Silisyum
Sn	Kalay
Ta	Tantal
Ti	Titanyum
W	Wolfram (Tungsten)
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum
°C	Derece (Celcius)
°F	Derece (Fahrenheit)
Ø	Çap
ΔP	Basınç farkı

KISALTMA LİSTESİ

AISI	American Iron and Steel Institute
ASM	American Society for Metals
ASTM	American Society for Testing and Materials
Atm	Atmosfer
AWS	American Welding Society
Btu	British thermal unit
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	European Norms
HV	Vickers Sertliği
JIS	Japanese Industrial Standards
Kcal	Kilo kalori
LNG	Sıvı doğal gaz
LPG	Sıvı petrol gazı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Su dolu bir kaba yerleştirilmiş iç içe iki bakır borudaki suyun seviyesi, kapilarite (Degarmo vd., 2003).....	10
Şekil 2.2 Sert lehimlemede aralığın kapilariteye etkisi (Degarmo vd., 2003)	10
Şekil 3.1 Oksi-asetilenle üfleç lehimlemesinde alev tipleri (Degarmo vd., 2003).....	26
Şekil 3.2 Solda oksi-asetilen alevinin yanma kademeleri; sağda Oksi-asetilen alevi boyunca sıcaklık dağılımı (Degarmo vd., 2003)	27
Şekil 3.3 Nötr alevde sıcaklıklar ve (a) oksitleyici alev, (b) normal alev ve (c) karbürleyici alev eksenini boyunca oksi-asetilen alevi sıcaklığındaki değişimler	27
Şekil 3.4 Üç parçadan oluşan bir birleştirme işleminin fırında lehimlemeyle gerçekleştirilmesi. (ASM Handbook V.6, 1993)	31
Şekil 3.5 İndüksiyon lehimlemesinde kullanılan bobin ve bağlantı tiplerine örnekler (ASM Handbook V.6, 1993).....	35
Şekil 3.6 Direnç sert lehimlemesi için uygulamalar (ASM Handbook V.6).....	40
Şekil 3.7 Daldırma sert lehimlemesi için temel ergimiş tuz banyosu tipleri (ASM Handbook V.6)	45
Şekil 3.8 Boru şekilli parçaların ekzotermik sert lehimlemesi için kullanılan sistem (ASM Handbook V.6).....	50
Şekil 3.9 Ekzotermik sert lehimlemede ısınma süresi eğrileri (AWS Welding Encyclopedia, 1997)	51
Şekil 3.10 Ekzotermik sert lehimlemede ısınma ekzotermik bileşik kütesine bağlı olarak ulaşılan maksimum sıcaklıklar. (AWS Welding Encyclopedia, 1997).....	51
Şekil 3.11 Difüzyon sert lehimlemesi birleşme bölgesinin ortadan kalkmasıyla sonuçlanmaktadır (ASM Handbook V.6, 1993)	54
Şekil 4.1 Alüminyum alaşımları için önerilen birleştirme tasarımları (Oğuz, 1988).....	74
Şekil 5.1 Örnek bir döner indeks tezgahı (Fusion Inc.).....	112
Şekil 5.2 Örnek döner indeks tezgahının proses akışı (Fusion Inc.)	113
Şekil 5.3 Solda yarı otomasyonlu (operator tarafından malzeme besemesi yapılan); sağda ise tam otomasyonlu lehimleme istasyonları (Fusion Inc.).....	114
Şekil 5.4 10 istasyonlu otomatik lehimleme makinesi (Fusion Inc.).....	114
Şekil 5.5 3 adet tabanca ile önceden belirlenmiş miktarda lehim pastasının birleşme bölgelerine verilmesi. (Fusion Inc.).....	115

Şekil 5.6 Hassas yerleştirilmiş üfleçlerle lehim alaşımının ergitilmesi (Fusion Inc.).....	115
Şekil 5.7 Döner tablalı bir diğer otomatik lehimleme makinesi (Precision Engineered Systems, LLC.).....	116
Şekil 5.8 Distribütör yapımında kullanılan bir döner lehimleme istasyonu.....	116
Şekil 5.9 Al teneke kutu yapımında kullanılan bir döner lehimleme istasyonu (Fusion Inc.)	117
Şekil 5.10 Seri imalat için uygun 4-12 istasyonlu döner tablalı bir otomatik lehimleme makinesi (Daishin Ind.).....	117
Şekil 5.11 Tam otomatik PLC kontrollü bir daire testere dış-uç lehimleme makinesi (Diex Corp.)	118
Şekil 5.12 Daire testere dişlerini ve şerit testere dişlerini ana gövdeye lehimlemek için kullanılan otomatik lehimleme makineleri. (Gerling Automation)	118
Şekil 5.13 Bir raylı lehimleme makinesi örneği (Fusion Inc.)	119
Şekil 5.14 1) Bitmiş evaporatör 2) Lehim bölgelerine lehim pastası uygulanması.....	120
Şekil 5.15 Parça yükleme-boşaltma işlemleri için çeşitli otomatik lehimleme makinelerine eklenebilecek (Precision Engineered Systems, LLC.).....	120
Şekil 5.16 Lehmlenecek parçaların bir konveyör ile transport edildiği doğrusal lehimleme istasyonları (Precision Engineered Systems, LLC.)	121
Şekil 5.17 T bağlantılı manifold imalatında kullanılmak üzere tasarlanmış doğrusal hareketli bir lehimleme istasyonu ve lehimlemenin yapılışı (Precision Engineered Systems, LLC.)	122
Şekil 5.18 Isı eşanjörü imalatında kullanılan konveyörlü bir otomatik lehimleme istasyonu. (Precision Engineered Systems, LLC.).....	123
Şekil 5.19 Isı eşanjörü imalatında kullanılan konveyörlü bir diğer doğrusal hareketli otomatik lehimleme istasyonu (Best Partner Industrial Co.)	123
Şekil 5.20 Isı eşanjörü imalatında kullanılan konveyörlü bir diğer doğrusal hareketli otomatik lehimleme istasyonu (SK Brazing Co.)	124
Şekil 5.21 Örnek tek istasyonlu ve çift istasyonlu otomatik lehimleme makineleri (Fusion Inc.).....	125
Şekil 5.22 Tek ve çift hücreli lehimleme makineleri (Precision Engineered Systems, LLC.)	126
Şekil 5.23 Hücre tipi lehimlemede üfleçlerin ve parçanın hareket yönleri (Precision Engineered Systems, LLC.)	126
Şekil 5.24 CBN, PCBN, PCD ve carbide takım uçlarının lehimlenmesinde kullanılan bir sistem (BrazeSolutions Inc.)	126
Şekil 5.25 180° dönebilen bir tablaya sahip 2 hücreli otomatik lehimleme makinesi (Daishin	

Ind.).....	127
Şekil 5.26 Döner tablalı (Fusion Inc.) ve düşey döner hücreli lehimleme makineleri (Precision Engineered Systems, LLC.)	127
Şekil 5.27 İmal edilen matkap uçlarının parçaları.....	128
Şekil 5.28 Birleştirilecek parçalar, lehim teli ve sistemdeki tutucu aparat.....	129
Şekil 5.29 İşlem aşamaları ve istasyonları.....	130
Şekil 5.30 Kullanılan otomatik lehimleme makinesinin montaj diyagramı	131
Şekil 5.31 1. istasyonun mekanizması ve çalışma adımları	131
Şekil 5.32 2. istasyonun mekanizması ve çalışma adımları	132
Şekil 5.33 5. istasyonun mekanizması ve çalışma adımları: a) indüksiyon ısıtıcısının yapısı b)istasyonun işlem aşamaları	133
Şekil 6.1 C şekilli bakır boruların U şekilli bakır borulara otomatik lehimleme öncesi montajı	135
Şekil 6.2 Isı değiştiricilerin lehimlenmek üzere konveyör ve palet üzerinde otomatik lehimleme istasyonuna taşınması.....	136
Şekil 6.3 Isı değiştiricilerin lehimlenmek üzere konveyör ve palet üzerinde otomatik lehimleme istasyonuna girişi.....	136
Şekil 6.4 Isı değiştiricilerin otomatik lehimleme istasyonundan geçerek lehimlenmesi.....	137
Şekil 6.5 Elle lehimleme işleminin operatör tarafından gerçekleştirilmesi.....	140
Şekil 6.6 Bir C bakır boru lehimleme işleminin süresi (operator-1)	141
Şekil 6.7 Bir C bakır boru lehimleme işleminin süresi (operator-2)	142
Şekil 6.8 Artan sayıda C bakır boru lehimleme işleminin süresi (operator-1)	142
Şekil 6.9 Artan sayıda C bakır boru lehimleme işleminin süresi (operator-2).....	143
Şekil 6.10 Artan sayıda C bakır boru lehimleme işlemindeki aşamalar ve süreleri (operatör1)	143
Şekil 6.11 Nozul ucunun lehimlenecek bölgeye göre yükseklik konumu.....	150
Şekil 6.12 Numune almak için hazırlanmış ısı değiştiriciler.....	152
Şekil 6.13 Numune olarak kullanılmak üzere lehimlenmek için hazırlanmış düz bakır borular ve halka lehim tellerinin bu borulara bağlanması.....	153
Şekil 6.14 Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması	154
Şekil 6.15 Çekme deneyi cihazı ve deneylerin yapılışı	155
Şekil 6.16 İç yapı incelemesi öncesinde numunelerin hazırlanması	158
Şekil 6.17 Elle ve lehim teli elle beslenerek lehimlenmiş bakır boruların 100X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları.....	159
Şekil 6.18 Elle ve lehim teli elle beslenerek lehimlenmiş bakır boruların 400X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları.....	160

Şekil 6.19 Elle ve bakır boru üzerindeki halka lehim teli kullanılarak lehimlenmiş bakır boruların 100X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları.	161
Şekil 6.20 Elle ve bakır boru üzerindeki halka lehim teli kullanılarak lehimlenmiş bakır boruların 400X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları.	162
Şekil 6.21 Otomatik lehimleme istasyonunda lehimlenmiş bakır boruların 100X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları.....	163
Şekil 6.22 Otomatik lehimleme istasyonunda lehimlenmiş bakır boruların 400X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları.....	164
Şekil 6.23 Mikro sertlik test cihazı ve ölçümlerin alınması	165
Şekil 6.24 Elle lehimlenmiş numuneden alınmış sertlik değerleri	166
Şekil 6.25 Otomatik lehimleme istasyonunda lehimlenmiş numuneden alınmış sertlik değerleri	166
Şekil 6.26 Kaçak test cihazı (üstte) ve kontrol paneli (altta).....	169

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Kaynak, sert lehimleme ve yumuşak lehimlemeyle birleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması (ASM Handbook V.6, 1993).....	4
Çizelge 2.2 Sert lehimlemede kullanılan temel yöntemler ve karakteristik özellikleri (ASM Handbook V.6, 1993).....	14
Çizelge 2.3 Endüstride yaygın olarak kullanılan sert lehim alaşımlarının özellikleri ve uygulama alanları (www.fortebraze.com; ASM Handbook V.6, 1993).....	16
Çizelge 2.4 AWS B2.2 spesifikasyonuna göre sert lehimlemede kullanılan dekapanlar.....	22
Çizelge 2.5 AWS B2.2 spesifikasyonuna göre sert lehimlemede kullanılan koruyucu atmosferler	23
Çizelge 3.1 Çeşitli iş parçası alaşımları için kullanılan banyolar ve işlem parametreleri (ASM Handbook V.6).....	46
Çizelge 3.2 Karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çelikler için kullanılan lehim malzemeleri ve uygun banyolar (ASM Handbook V.6).....	47
Çizelge 3.3 ısıtmada kullanılan bazı ekzotermik karışım örnekleri (Oğuz, 1988).....	49
Çizelge 4.1 AWS'ye göre karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çeliklerin lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller (Oğuz, 1988)	62
Çizelge 4.2 Karbonlu ve alçak alaşımlı çeliklerin ergimis tuz içinde daldırma sert lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller ve uygun tuz banyosu özellikleri (ASM Handbook V.6, 1993).....	63
Çizelge 4.3 Sık kullanılan alüminyum alaşımlarının ergime aralıkları ve lehimleme kabiliyetleri (ASM Handbook V.6, 1993)	73
Çizelge 4.4 Alüminyum parçalardan sertlehimleme dekapanını temizlemek için kullanılan kimyasallar (ASM Handbook V.6, 1993)	77
Çizelge 4.5 AWS normlarına göre bakır ve alaşımlarının sert lehimleme parametreleri (Oğuz, 1988)	82
Çizelge 4.6 Sertlehim ilave metalleri için önerilen maksimum çalışma sıcaklıkları (°C).....	87
Çizelge 4.7 Bakırın bindirme birleştirmesinde çekme dayanımı	87
Çizelge 4.8 Lehimlemeye uygun magnezyum alaşımları ve bu alaşımlarla kullanılan ilave metaller (Oğuz, 1988)	90
Çizelge 4.9 Magnezyum ve alaşımlarının lehimlenmesinde kullanılan BMg-1 ve BMg-2a ilave metallerinin özellikleri (Oğuz, 1988).....	91
Çizelge 4.10 Refrakter malzemelerin sert lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller (ASM	

Handbook V.6, 1993).....	99
Çizelge 4.11 Reaktif metallerin sert lehimlemeyle birleştirilmesinde kullanılan ilave metaller (ASM Handbook V.6, 1993).....	105
Çizelge 4.12 Seramiklerin sert lehimlemeyle birleştirilmesinde kullanılan ticari ilave metaller (ASM Handbook V.6, 1993).....	109
Çizelge 6.1 Elle Lehimleme İşleminde Üretim Süreleri.....	140
Çizelge 6.2 24K evaporator ısı değiştirici için otomatik ve elle lehimleme proseslerindeki üretim sürelerinin karşılaştırılması	144
Çizelge 6.3 18K evaporator ısı değiştirici için otomatik ve elle lehimleme proseslerindeki üretim sürelerinin karşılaştırılması	145
Çizelge 6.4 15K evaporator ısı değiştirici için otomatik ve elle lehimleme proseslerindeki üretim sürelerinin karşılaştırılması	146
Çizelge 6.5 7K evaporator ısı değiştirici için otomatik ve elle lehimleme proseslerindeki üretim sürelerinin karşılaştırılması	147
Çizelge 6.6 Kullanılan LPG gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	148
Çizelge 6.7 Ana malzeme kimyasal bileşimi.....	149
Çizelge 6.8 Lehim teli malzemesi kimyasal bileşimi	149
Çizelge 6.9 Ana malzemenin mekanik özellikleri.....	151
Çizelge 6.10 Lehim teli malzemesi mekanik özellikleri	151
Çizelge 6.11 Halka lehim telli bakır borunun otomatik ve elle lehimleme sonrasındaki mekanik özellikleri.....	156
Çizelge 6.12 Lehim telinin elle beslenmesi ve halka şeklinde boruya montajlı olarak kullanılması durumundaki mekanik özellikler.....	156
Çizelge 6.13 C şekilli bakır borunun otomatik ve elle lehimleme sonrasındaki mekanik özellikleri	156
Çizelge 6.14 Kesit alınmış numune üzerinden ölçülmüş ergimiş lehim ve ana malzeme bölgesi sertlikleri	167
Çizelge 6.15 Konveyör hızının kaçak oranına etkisinin incelenmesi (diğer değişkenler sabit)170	
Çizelge 6.16 Ürünün nozullara doğru sallanmasının kaçak oranına etkisinin incelenmesi (diğer değişkenler sabit).....	170
Çizelge 6.17 Üfleçler (Nozullar) arasındaki uzaklığın kaçak oranına etkisinin incelenmesi (alevin mızrak boyu 15 mm., yelpaze boyu 25 mm. ve diğer değişkenler sabit)171	
Çizelge 6.18 O2 basıncının kaçak oranına etkisinin incelenmesi (diğer değişkenler sabit)...	171
Çizelge 6.19 LPG basıncının kaçak oranına etkisinin incelenmesi (diğer değişkenler sabit)	171

Çizelge 6.20 Alevin mızrak kısmının (iç koni) uzunluğunun kaçak oranına etkisinin incelenmesi (nozullar arası uzaklık 80 mm., diğer değişkenler sabit).....	172
Çizelge 6.21 Alevin yelpaze kısmının (dış koni) uzunluğunun kaçak oranına etkisinin incelenmesi (nozullar arası uzaklık 80 mm., diğer değişkenler sabit).....	172

ÖNSÖZ

Günümüzde lehimleme, birleştirme teknikleri arasında önemli bir yer tutan ve endüstriyel kullanımı sürekli yaygınlaşan geniş kapsamlı bir süreçler bütünü haline gelmiştir. Özellikle sert lehimleme, otomasyon sistemlerinin de büyük etkisiyle, makine – imalat sektörlerinde sıklıkla başvurulan bir birleştirme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada sert lehimleme süreçleri ve parametreleri ile otomasyon sistemlerinin bu süreçlere uygulanması ve etkileri incelenmiştir.

Bu tez çalışmasının hazırlanması aşamasında bana çok büyük destek veren ve katkı sağlayan hocam Sn. Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI'ya, deneysel çalışmalarım için gereken numuneleri sağlayan ve deneylerin önemli bir bölümünün gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Arçelik-LG A.Ş.'ye ve bana her türlü desteği sağlayan çalışanlarına, yine deneysel çalışmalarımın bir kısmının gerçekleşmesindeki yardımlarından dolayı Y.T.Ü. Makine Malz. ve İmalat Tekn. Anabilim Dalı'ndaki arkadaşlarım Arş. Gör. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM ile Arş. Gör. Oktay ŞAHİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

LEHİMLEME TEKNİĞİNDE OTOMASYON ve İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Y. Özgür KAYA

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

İmalat endüstrisi özellikle 20. yüzyılda, artan tüketim ihtiyaçlarına cevap verebilmek için varolan üretim süreçlerini iyileştirme ve yeni süreçler geliştirme konularında ciddi bir devinim göstermiştir. Lehimlemeyle birleştirmenin gelişimi ve sert lehimleme yöntemlerinin makine – imalat sektörlerinde kullanımının yaygınlaşması da bu devininin bir sonucudur.

Tüm imalat süreçlerinde olduğu gibi lehimlemede de ürün kalitesinin ve üretim verimliliğinin artırılması başta gelen hedeflerdir. Lehimleme süreçlerinin otomasyona uygun olması bu hedeflere ulaşılmasını kolaylaştırır.

Bu tez çalışmasında da ağırlıklı olarak makine – imalat sektörlerinde kullanılan sert lehimleme süreçleri incelenmiş ve bu doğrultuda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, (ASTM) C12200 fosforla dezokside edilmiş ve (AWS) BCuP-2 ilave metallerle sert lehimlenmiş bakır boru numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler elle ve otomasyonla üfleç sert lehimlemesi kullanılarak ayrı ayrı imal edilmiş; otomasyonlu lehimleme süreçleriyle elle yapılan lehimleme süreçleri ürün kalitesi ve üretim verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. Ürün kalitesi yönünden yapılan karşılaştırmada, numunelerin çekme dayanımı ile, mikro sertlik ölçümleri ve iç yapı incelemeleri yapılmış; sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Üretim verimliliği yönünden yapılan karşılaştırmada ise, referans ürünlerin işletmedeki otomasyonlu üretim hatlarında ve elle operatör tarafından sert lehimlendiklerinde elde edilen üretim süreleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bunlara ek olarak otomasyonun sert lehimleme kabiliyeti ve sert lehimleme parametreleri üzerindeki etkileri, bitmiş ürünlerin sızdırmazlık testine tabi tutulmasıyla elde edilen kaçak hatalı ürün üretim oranları gösterge alınarak analiz edilmiştir.

Sonuçlar, beklendiği gibi, otomasyonlu sistemlerin üretim verimliliği ve ürün kalitesi açısından çok daha üstün olduğunu göstermektedir. Ayrıca otomasyon sistemleriyle, sert lehimleme parametrelerinin hassas ve kararlılık sağlayacak şekilde kontrol edilebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sert Lehimleme, Otomasyon

J JÜRİ:

1. Prof. Dr., Selahattin YUMURTACI
2. Prof., Nurullah GÜLTEKİN
3. Doç. Dr., Ahmet KARAASLAN

Kabul tarihi: 08.10.2008
Sayfa Sayısı: 194

ANALYSIS OF BRAZING AUTOMATION and EFFECTS OF THE PROCESS PARAMETERS

Y. Ozgur KAYA

Mechanical Engineering, M.S. Thesis

Manufacturing industry has shown a serious and rapid progression in the 20th century for developing new manufacturing processes and improving the existing ones, in order to answer to the ever growing needs. Advancement of brazing and soldering and increasing usage of brazing in the machine – manufacturing industries are the results of this progression.

As for all manufacturing processes, the ultimate aim of the brazing and soldering is reaching to the optimum product quality and productivity. Suitability to automation, which is a feature that brazing and soldering processes possess, eases to reach this aim.

Brazing, which is generally used in machine – manufacturing industries, has been analyzed theoretically and practically in this thesis study. Experimental studies have been realized by using samples which consists of (ASTM) C12200 phosphorus-deoxidized copper tubes and (AWS) BCuP-2 filler metal brazements. Samples have been manufactured by both manually and automated torch brazing and compared to each other in terms of product quality and productivity. Stress analysis, micro hardness evaluation and micro structure analysis have been made on both samples by the means of product quality comparison. For the productivity comparison, production cycle times of the reference products are measured separately for automated and manual brazing. In addition to these, automations' effects on the several brazing parameters and brazing ability have been analyzed by the leakage defect ratio (defected product quantities / total lot production quantities) index.

As expected, all the results have shown that the automated brazing is superior to the manual brazing in every aspects. Besides, it has seen that the automation systems let precise control and stability over the brazing process parameters.

Keywords: Brazing, Automation

J JÜRİ:

4. Prof. Dr., Selahattin YUMURTACI
5. Prof., Nurullah GÜLTEKİN
6. Doç. Dr., Ahmet KARAASLAN

Kabul tarihi: 08.10.2008
Sayfa Sayısı: 194

1. GİRİŞ

Mevcut yöntemlerle imal edilmesi çok zor ya da imkansız olan konstrüksiyonları üretme isteğiyle harekete geçen eski metal işçileri, iki metal parçası arasındaki boşluğu ergimiş bir metalle doldurup katılaştırabildiklerini farkettiler. Bu aşamada zanaatkar olarak tanımlanabilecek bu insanlar kısa bir süre içinde, iyi bir bağlantı elde edebilmek için birleştirilen metallerle ilave metallerin oksitlerden arındırılmış olması ile ilave metallerin daha düşük ergime sıcaklığına sahip olması gerektiğini ve buna ek olarak herhangi bir dolgu malzemesinin tüm metalleri birleştirmek için kullanılamayacağını anladılar. Bundan sonraki ilerleyen zaman içerisinde lehimleme, bu temel gereksinimlerin anlaşılmasıyla sürekli gelişen bir birleştirme yöntemi olmuştur.

Düşük ergime noktalı ilave metallerin geliştirilmesi de, yeni lehimleme tekniklerinin gelişimine koşul olarak zaman içerisinde deneyimlere dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Metal işçileri ilk olarak kurşun, kalay, gümüş ve bakır-arsenik madeni gibi halihazırda mevcut olan düşük ergime noktalı malzemeleri kullanmışlardır. Daha ilerleyen zamanlarda ise pirinç geliştirilmiştir. Pirincin geliştirilmesi özellikle sert lehimleme için önemli bir dönüm noktası olmuş; pirinçle daha yüksek mekanik ve ısıl dayanım gösteren birleştirmeler yapılabildiği anlaşılmış ve bu alaşımın bakır, gümüş ve çelik yapıları birleştirmek için daha uygun olduğu görülmüştür.

Büyük olasılıkla başlangıçta sadece estetik kaygılardan ötürü beyaz renkli birleşme bölgeleri isteyen eski metal işçileri, pirinç ile gümüşü beraber eritmiş ve oluşan alaşımın pirinçten daha düşük ergime noktası ile, daha iyi bağlama yeteneği ve daha yüksek korozyon direncine sahip olduğunu görmüşlerdir. Bununla beraber lehimleme için gümüş, bakır ve kalayın sayısız birleşiminin geliştirilmesine rağmen, kuşaklar boyunca ağırlıklı olarak bu malzemeler kullanılmıştır.

Günümüzde lehimleme, elektrik – elektronik sektörden makine – imalat endüstrilerine; uzay ve havacılık uygulamalarından günlük tesisat işlerine kadar birçok alanda kullanılan önemli bir birleştirme tekniği haline gelmiştir.

Lehimleme yöntemlerinin hızla gelişip yaygınlaşmasının bir diğer önemli nedeni de, bu yöntemlerin otomasyon sistemlerine çok uygun olmasıdır. Lehimlemede otomasyon uygulamaları, seri imalat ve kütle imalatını kolaylaştırmakta, üretim maliyetlerini azaltıp ürün kalitesini arttırmaktadır.

Bu çalışmada lehimleme, ağırlıklı olarak makine – imalat sektörlerinde kullanılan sert

lehimleme süreçleri açısından incelenmiş ve otomasyonun bu süreçlere etkisi araştırılmıştır.

2. LEHİMLEME SÜREÇLERİ ve LEHİMLEMENİN TEMEL PRENSİPLERİ

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.

Lehimleme ile birleştirmenin kaliteli ve emniyetli bir bağlantı oluşturması, birçok bilimsel ve mühendislik uygulamanın 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 dekapların 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. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997)

2.1 Sert Lehimleme, Yumuşak Lehimleme ve Kaynakla Birleştirmenin

Karşılaştırılması

Çizelge 2.1'de kaynak, sert lehimleme ve yumuşak lehimlemeyle birleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 2.1 Kaynak, sert lehimleme ve yumuşak lehimlemeyle birleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması (ASM Handbook V.6, 1993)

Parametre	Yöntem		
	Yumuşak Lehimleme	Sert Lehimleme	Kaynak
Oluşturulan birleştirme bölgesi	Mekanik	Metalurjik	Metalurjik
Dolgu metali ergime sıcaklığı (°C)	< 450	> 450 ^(A)	> 450 ^(B)
Ana metal	Ergimez	Ergimez	Ergir
Ana metal yüzeyini korumak ve ilave metalin ıslatma kabiliyetini arttırmak için kullanılan dekapanlar	Gerekli	İsteğe bağlı	İsteğe bağlı
Tipik ısı kaynakları	Ultrasonik, direnç, fırın, havya	Fırın, kimyasal reaksiyon, üfleç, indüksiyon, infrared vb.	Plazma; elektron bombardımanı; elektrik arkı, lazer, direnç vb.
Şekil bozukluğuna eğilim	Değişken	Değişken	Potansiyel bozulma ve ana metalin çarpılması
Artık gerilim	-	-	Kaynak bölgesi etrafında olası artık gerilimler

(A) Ana metalin ergime noktasından daha düşük

(B) Ana metalin ergime noktasından daha düşük veya ergime noktasına eşit (ASM Handbook V.6, 1993)

2.2 Yumuşak Lehimleme

Yumuşak lehimleme ilave metalin ergime sıcaklığının 450°C'nin altında olduğu lehimleme yöntemlerini kapsamaktadır. Tüm lehimleme yöntemlerinde olduğu gibi ana malzemeler arasındaki bağlantı, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerinin, ergimiş lehim malzemesi tarafından ıslatılması ve bu durumda katılaşana kadar soğutulmasıyla sağlanmaktadır. Yumuşak lehimlemenin diğer yöntemlere göre avantajları şöyle özetlenebilir:

- Yumuşak lehim bağlantıları sıvı metalin akışı, ıslatması ve takip eden kristalizasyonun doğası gereği kendi kendilerini oluşturur. Bu olgu, ısı kaynağı ve lehim malzemesinin birleştirilecek bölgelere hassasça uygulanmadığı durumlarda bile geçerlidir.
- Lehim malzemeleri yapıştırıcıların tersine yalıtkan malzemelere tutunmadığından, birleşme bölgesine fazla miktarlarda uygulanabilir.
- Yumuşak lehimleme sıcaklıkları düşük olduğundan kaynak yöntemlerindeki gibi

bölgesel ısıtmaya gerek kalmamaktadır.

- Yumuşak lehimleme birleşme bölgesinin boyutlandırılmasında yüksek serbestlik sağlar. Dolayısıyla çok farklı tipte parçaların birleştirilmesinde bile iyi sonuçlar alınır.
- Yumuşak lehimlenmiş birleştirmeler gerektiğinde tamir için sökülebilir.
- Elle ve teçhizatla yumuşak lehimlemede kullanılan ekipmanlar nispeten basittir.
- Otomasyona uygundur.

Yumuşak lehimleme, ağırlıklı olarak elektrik – elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. Doğası gereği makine mühendisliğinin çalışma alanına çok uygun olmaması nedeniyle, yine bu alanda fazla kullanılmamaktadır. Makine ve endüstriyel imalat mühendisliği uygulamalarında ağırlıklı olarak sert lehimleme yöntemleri kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında sert lehimleme süreçleri incelenmiş, bu süreçlerin teorik ve pratik analizleri yapılmıştır. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997)

2.3 Sert Lehimleme

Bu bölümde sert lehimlemenin avantajları, sınırlamaları, temel prensipleri ve işlem parametreleri incelenecektir.

2.3.1 Sert Lehimlemenin Avantajları

Günümüzde birçok ürün, birbirinden farklı iki ya da daha fazla iş parçasının, sert lehimlemeyle sağlam ve kalıcı olarak birleştirilmesi sayesinde imal edilebilmektedir. Sert lehimlemeyle birleştirmenin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Karmaşık ve çok bileşenli ürünlerin ekonomik olarak imal edilebilmesi
- Geniş bir birleşme boyu ve alanının basitçe elde edilebilmesi
- Ana metale yakın birleşme bölgesi sıcaklık kapasitesi
- Mükemmel gerilim dağılımı ve ısı transfer özellikleri
- Koruyucu metal kaplama ya da giydirmenin uzun süre korunabilmesi
- Döküm malzemeleri, talaşsız şekillendirilmiş malzemelerle birleştirebilme
- Metal dışı malzemeleri metallerle birleştirebilme
- Kalınlık farkları fazla olan metalleri birleştirebilme

- Birbirinden farklı metalleri birleştirebilme
- Gözenekli metal bileşenleri birleştirebilme
- Gerilim oluşturmeyen şartlarda büyük boyutlu birleştirmelerin yapılabilmesi
- Birleştirilen metallerin iç yapı vb. metalurjik özelliklerini uzun süre koruyabilmesi
- Fiber ve dispersiyonla güçlendirilmiş kompozit malzemelerin birleştirilebilmesi
- Güvenilir ve tekrarlanabilir kalite kontrol tekniklerinin kullanılabilmesi

Güçlü, homojen, sızdırmaz bağlantılar sert lehimlemeyle hızlı ve ucuz olarak elde edilebilmektedir. Kolay ulaşılamayan birleşme bölgelerine sahip olan ya da diğer yöntemlerle birleştirilemeyen parçalar genellikle sert lehimlemeyle birleştirilebilir. Kalın veya ince bölgeler, farklı şekiller içeren karmaşık parçalar; birbirlerinden farklı döküm ve hadde alaşımlarından oluşan ana metaller, bir fırında ya da daldırmayla tek seferde birleştirilebilmektedir. 0,01 mm. – 150 mm. arasındaki kalınlıklara sahip metaller sert lehimlenebilir.

Sert lehimlemede birleşme bölgesinin mekanik dayanımı yüksektir. Birleştirme bölgesi iyi tasarlandığında ve işlem uygun olarak yapıldığında oluşan intermetalik bağlantı; ana metallerinkine eşit, hatta daha fazla olabilen mekanik dayanıma sahip olmaktadır. Katılmış lehim yüzeyleri doğal olarak çok düzgün şekilli ve köşesizdir. Lehim malzemesinin iş parçası köşeleri ve birleşme bölgelerinde oluşturduğu bu bükey form yorulmaya karşı da iyi bir direnç sağlamaktadır. (Bununla birlikte ötektik tip ilave metaller kullanıldığında, katılmış lehim malzemesi yüksek miktarda kırılğan intermetalik bileşen içerir ve dolayısıyla lehim bölgesinde çatlak başlangıcı oluşma riski vardır.)

Farklı şekillerden oluşan bölgelere sahip karmaşık biçimli parçalar çok küçük bozulmalarla ve hassas olarak sert lehimlenebilirler. Küçük alanlara yüksek sıcaklıkların uygulandığı ve bu nedenle yüksek gerilim ile iş parçalarının geometrik konumlarının bozulabildiği kaynağın tersine; sert lehimlemede ısıtma daha homojendir ve iş parçalarının konumlanması daha kolaydır. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

2.3.2 Sert Lehimlemenin Sınırlamaları

Sert lehimlemede birleşme bölgesi ana malzemelerle benzer bir yapıda değildir. Yapı daha çok farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip fazlardan oluşan heterojen bir yapıdır. En temel durumda birleşme bölgesi ana metallerle farklı bir malzeme olan ilave metalden

meydana gelir. Bununla birlikte ana metalin kısmen çözünmesi, difüzyon süreciyle birleştiğinde kompozisyonu; dolayısıyla da ana metalle ilave metal arasındaki ara yüzeydeki kimyasal ve fiziksel özellikleri değiştirebilir. Bu değişiklik sıklıkla tüm birleşme bölgesine de yansır. Bu nedenle en temel durumda iki farklı malzemedan oluşan birleşme bölgesinin, çok daha karmaşık ve tamamen farklı yapılardan oluşmuş olabileceği dikkate alınmalıdır.

Bu tür heterojen bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için elastisite ve plastisite teorilerinin basit temel kavramları (homojen metalik yapılar için geçerli olan ve gerilmelerin uniform olarak bir yüzeyden diğerine aktarıldığı kabul edilen) yetersiz kalmaktadır. Farklı deformasyon dayanımı ve hızlarına sahip birkaç malzemedan, sert lehimlemeyle oluşturulmuş bir birleşme bölgesine uygulanan dış gerilmeler, düzensiz bir şekilde dağılır. (ASM Handbook V.6, 1993)

2.3.3 Sert Lehimlemenin Mekaniği

Sert lehimlemede ana metaller sınırlı miktarda da olsa çözünür ve plastik deformasyona maruz kalır. Sert lehimleme temel olarak şu aşamalarla gerçekleşir:

- İş parçalarının birleşme bölgesinin en az 450°C'ye kadar ısıtılması
- Birleştirilecek parçalar ve ilave metalin, yine ilave metali (folyo, tel, halka, pasta vb. şeklindeki) ergitecek; ancak ana metalleri ergitmeyecek olan bir sıcaklığa ulaşması
- Yüzey gerilimiyle birleşme bölgesinde tutulan ergimiş dolgu metalinin, birleşme bölgesinin içine doğru yayılıp ana metal yüzeyini ıslatması
- Parçaların ilave metalin katılma sıcaklığına soğutulması (ergimiş metal kapiler etkiyle birleşme bölgesi içerisinde kalır ve iş parçalarını metalurjik reaksiyonlar ve atomik bağlama ile bir arada tutar.) (ASM Handbook V.6, 1993)

2.3.4 Sert Lehimlemenin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Sert lehimlemeyle birleştirmede sadece ana metallerin ergimemesi bile diğer 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.

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 ve kütle imalatı 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.

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.

Sert lehimlemede ana metaller ergimese de uygulanan ısı nedeniyle iç yapı değişimleri ortaya çıkabilir. Örneğin soğuk işlemeyle imal edilmiş bir ana malzeme rekristalizasyon 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. (ASM Handbook V.6, 1993)

2.3.5 Sert Lehimleme Parametreleri

Bir sert lehimleme birleştirmesinin tasarımı, mekanik dayanım, yorulma dayanımı, korozyona duyarlılık, yüksek sıcaklık dayanımı gibi faktörlerle kullanılacak yöntem, ilave metal ve işlem parametrelerinin seçimine bağlıdır. Kaliteli birleştirmeler elde edilmesi için aşağıdaki faktörlerin dikkatle değerlendirilmesi gereklidir:

- Dolgu metali (ilave metal) akışı ve ısıtma kabiliyeti

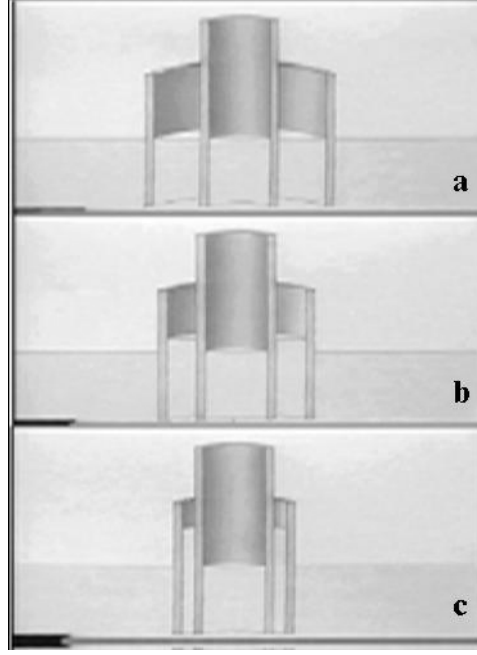
- Ana metalin özellikleri
- İlave metalin özellikleri
- Yüzey hazırlama
- Birleştirme dizaynı ve boşluğu
- Sıcaklık ve uygulama süresi
- Isıtma yöntemi ve ısıtma hızı
- Koruyucu atmosfer veya dekaplanla koruma (ASM Handbook V.6, 1993)

2.3.5.1 Dolgu Metali (İlave Metal) Akışı ve Islatma Kabiliyeti

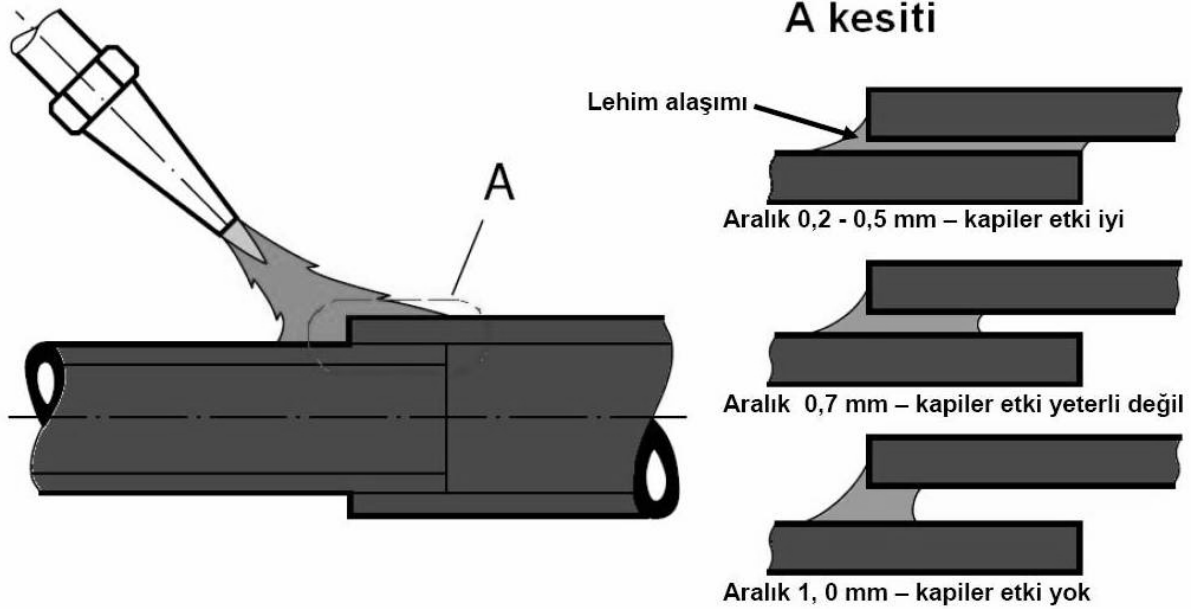
İlave metalin ıslatma ve akış özellikleri iyi bir sert lehimleme için çok önemlidir. Islatma ve akışı etkileyen faktörler, başta kapilarite olmak üzere katı yüzeylerin durumu (oksit tabakalarının vb.'nin varlığı ıslatma ve akışı etkiler), yüzey pürüzlülüğü, ana metal – ana metal ve ana metal – ilave 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 işlemini tamamlar. Bu şekilde katılaşmış lehim malzemesi titreşime veya şok darbelerine maruz kalsa dahi sızdırmazlık özelliğini sürdürür. Dolayısıyla kapiler çekim, sızdırmaz birleştirmelerin yapılmasını kolaylaştırır. Kapiler çekim etkisi aynı zamanda, sıvıların küçük ve dar alanlarla sınırlanmış yüzeylerdeki akışını da belirleyen etkidir. En temel biçimiyle kapiler etkinin tanımlanması ve sert lehimlemedeki etkisi Şekil 2.1 ve 2.2'de görülmektedir. (ASM Handbook V.6, 1993; Degarmo vd., 2003)



Şekil 2.1 a) Su dolu bir kaba yerleştirilmiş iç içe iki bakır borudaki suyun seviyesi, boru çapları yeterince büyükse bileşik kaplar prensibine uyar b) Dıştaki boru çapı küçüldükçe kapiler etki ortaya çıkar ve iki boru arasındaki suyun seviyesi kaptaki seviyenin üzerine çıkar c) Yeterince küçük bir aralıkta kapiler etki en üst seviyesine çıkararak iki boru arasındaki boşluğu doldurur (Degarmo vd., 2003)



Şekil 2.2 Sert lehimlemede aralığın kapilariteye etkisi (Degarmo vd., 2003)

Ötektik bileşime yakın ve dar ergime aralıklarına sahip sert lehimleme alaşımları genellikle geniş ergime aralıklı ilave metallere göre daha düşük viskozitelidir. Düşük viskozite kapilarite etkisiyle sıvı metalin lehim boşluğunda daha hızlı yol almasını sağlar.

Genellikle sıvıların ve katıların bileşimleri ile yüzey enerjilerinin sabit olduğu düşünülür. Buna rağmen gerçek sistemlerde oluşan şu etkileşimler bunun tersi yönde sonuçlara yol açar:

- Sıvı ilave metal ve ana metal arasındaki alaşımlanma
- Ana metalin ilave metale difüzyonu
- İlave metalin ana metal tanelerine difüzyonu
- İlave metalin tane sınırları boyunca penetrasyonu
- İntermetalik bileşiklerin oluşması

Pratikte bu etkileşimler uygun lehim alaşımının seçilmesi, lehimleme sıcaklığının mümkün olduğu kadar düşük (ancak akış sağlayacak derecede), lehimleme sıcaklığında tutma süresinin kısa ve işlem sonrası soğutmanın mümkün olduğu kadar hızlı (çatlama veya şekil bozukluğu oluşturmadan) tutulması ile en aza indirilir. (ASM Handbook V.6, 1993; Degarmo vd., 2003)

2.3.5.2 Ana metalin özellikleri

Birleştirilecek metallerin özellikleri lehimleme işlemi ve özellikle de birleştirmenin mekanik özellikleri üzerinde en önemli etkiye sahiptir. Tüm ana metal malzemelerin sert lehimleme üzerine etkileri 4. bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

2.3.5.3 İlave metalin özellikleri

Birleştirmenin yapısına etki eden ikinci önemli faktör ilave metalin özellikleridir. İlave metaller özellikle belirli bir birleşme bölgesi dayanımı elde edilecek şekilde seçilemez. Doğru sert lehimleme yöntemi seçilir ve doğru birleştirme dizaynı yapılırsa, neredeyse tüm iyi ticari ilave metallerle güçlü birleştirmeler elde edilebilir. İlave metallerin özellikleriyle ilgili ayrıntılı bilgi 2.4. bölümde, seçim kriterleriyle ilgili ayrıntılı bilgi ise 4. bölümde verilmiştir.

2.3.5.4 Yüzey hazırlama

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 laminerden türbülansa çevirir ve dolayısıyla akış süresini uzatarak alaşımın ve diğer etkileşimlerin oluşma olasılığını artırır. Bazı durumlarda yüzey pürüzlülüğü birleşme bölgesindeki homojenliği sağlar. (ASM Handbook V.6, 1993)

Yüzey hazırlama işlemleri arasında ana metalden farklı malzemelerle kaplama ya da giydirmeye yöntemleri de kullanılabilir. Çeşitli malzemelere özgü hazırlık ve temizleme işlemleri 4. bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

2.3.5.5 Birleştirme dizaynı ve boşluğu

Sert lehimlemeyle birleştirmede birleşme boşluğunun kapilariteye büyük etkisi vardır. Bu nedenle genellikle küçük birleştirme boşlukları kullanılır. Birleştirme boşluğu küçüldükçe kapilarite artar ve lehim metali soğurken çökme ya da boşluk oluşma riski azalır. Çoğunlukla birleştirme boşluğu 0,03 mm. – 0,08 mm. arasında olduğunda en iyi kapilarite ve birleşme dayanımına ulaşılır.

Birleşme bölgesinin dizaynı engelsiz ve düzgün bir kapileri akış sağlamalı, dekapanın kaçmasına izin verirken dolgu metalinin boşluğu tamamen doldurmasını sağlamalıdır. Dolgu metalinin çubuk veya tel olarak elle beslendiği durumlarda birleşme bölgesi rahat görülebilir ve ulaşılabilir olmalıdır.

Birleştirme dizaynını etkileyen en önemli faktörlerden bazıları üründen istenen mekanik özellikler, korozyon direnci, elektriksel ve ısı iletkenlik, birleştirme sonrası muayene ihtiyaçları ve ilave metalin uygulanma şeklidir. Ayrıca basınca dayanıklılık, görünüm, kullanılan lehimleme yöntemi de birleştirme dizaynı kriteri olabilmektedir.

Ana metallerin sünekliği, birleşme bölgesindeki gerilme dağılımı ve birleştirilecek yüzeylerin lehimleme esnasında birbirlerine göre hareket etmeleri (ısı genleşme gibi faktörlerle), şekil bozukluklarına yol açabilir.

Isı genleşmeler özellikle farklı ana malzemelerin kullanıldığı durumlarda ve parçaların her yerinin ısıtıldığı fırın sert lehimlemesi gibi yöntemlerde kesinlikle göz önüne alınmalıdır. Bu gibi durumlarda birleşme bölgesi dizaynının, katılan ilave metal üzerinde basınç

oluşturabilecek şekilde yapılması tercih edilir. Örneğin silindirik birleştirmelerde daha yüksek ısı genleşme katsayısına sahip parça mümkünse dış tarafta tutulmalıdır. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997)

2.3.5.6 Sıcaklık ve uygulama süresi

İlave metalin sıcaklığı ve bu sıcaklıkta tutulma süresi, ıslatma ve alaşımlanma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve sıcaklık arttıkça bu özellikler de artmaktadır. Lehimleme sıcaklığı ilave metalin ergime noktası üzerinde; ancak ana metallerin ergime sıcaklıkları altında malzemelere, yonteme ve üründen beklenen özellikleri sağlayacak şekilde seçilmelidir.

Genellikle ısıtma enerjisi maliyetlerini azaltmak, ana metaller üzerindeki ısı etkisini en aza indirmek (tane büyümesi, temperleme, çarpılma, vb.), ana metal – ilave metal etkileşimlerini azaltmak ve fikstür vb. lehimleme ekipmanlarının ömrünü arttırmak için mümkün olduğu kadar düşük sert lehimleme sıcaklıkları ve sıcakta tutma süreleri tercih edilir. Yüksek sert lehimleme sıcaklıkları ise şu durumlarda istenmektedir:

- Daha ekonomik ancak daha yüksek ergime noktalı bir ilave metal kullanılabilmesinin istenmesi
- Çeşitli ısı işlemlerin sert lehimlemeyle birleştirilmesi istendiğinde
- Lehimlemeyi takip eden daha yüksek sıcaklıklardaki işlemlerin yapılabilmesini sağlamak
- Ana metal – ilave metal etkileşimleriyle alaşımlanma oluşmasını sağlamak (Bu teknik genellikle birleşme bölgesinin yeniden ergime sıcaklığını ve sünekliğini arttırmak için kullanılır)
- Korumucu atmosfer içerisindeki lehimleme yöntemlerinde yüzeylerdeki yabancı maddeleri etkili bir şekilde uzaklaştırmak için
- Gerilme çatlamasını önlemek için

İlave metallerin ergimesi sürecinde lehimlemeyi etkileyen önemli bir faktör de likidasyondur. Ergime sırasında sıcaklık solidus noktasından likidus noktasına doğru artarken, sıvı ve katı ilave metal fazlarının bileşimleri değişir. Eğer ilk ergiyen ilave metal parçaları akıp birleşme bölgesinden uzaklaşırsa, kalan katı fazlar orijinal bileşimden daha büyük bir ergime derecesine sahip olur ve ergimedenden bölgede kalabilir. Bu olaya likidasyon adı verilmektedir.

Dar ergime aralıklı ilave metaller ayrışma eğilimi göstermez ve ana metalde çözünme ve difüzyon hızları düşük olduğu sürece aşırı dar birleşme boşluklarında çok serbestçe akıp ilerlerler. Geniş ergime aralıklı ilave metallerin hızlı ısıtılması veya birleşme bölgesine ana metaller lehimleme sıcaklığına çıkarıldıktan sonra uygulanması bu ayrışmayı (likidasyonu) en aza indirmektedir. Bununla beraber likidasyon tamamen ortadan kaldırılamaz. Dolayısıyla daha yavaş akış eğilimi gösteren geniş ergime aralıklı lehim malzemeleriyle çalışıldığında, daha geniş birleşme boşluklarına ihtiyaç duyulur. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997)

2.3.5.7 Isıtma yöntemi ve ısıtma hızı

Sert lehimlemeyle birleştirmede, en iyi kapiler birleştirmeyi sağlayabilmek için seçilebilecek farklı ısıtma yöntemleri bulunmaktadır. Çizelge 2.2’de sert lehimlemede kullanılan temel yöntemler ve karakteristik özellikleri görülmektedir. (ASM Handbook V.6, 1993)

Çizelge 2.2 Sert lehimlemede kullanılan temel yöntemler ve karakteristik özellikleri (ASM Handbook V.6, 1993)

Yöntem	Karakteristik ^(A)					
	Kurulum Maliyeti	İşletme Maliyeti	Temel Çıktı	Dekapan Gereksinimi	Kullanım Esnekliği	Operatör Becerisi İhtiyacı
Üfleç (alev)	D/O	O/Y	D	VAR	Y	VAR
Elektrik direnci	O	O	O/Y	VAR	D	YOK
İndüksiyon	O/Y	O	O/Y	DEĞİŞKEN	O	YOK
Fırın (atmosfer)	O/Y	O/Y	Y	DEĞİŞKEN	O	YOK
Fırın (vakum)	Y	D	Y	YOK	O	YOK
Daldırma (dekapan banyosu)	D/O	O/Y	D/O	VAR	D	VAR

(A) Y: Yüksek, O: Orta, D: Düşük

3. bölümde bu ısıtma yöntemlerinin ayrıntıları; yine 3. bölümde ve 4. bölümde yöntemlerin ve ısıtma hızlarının çeşitli malzemeler üzerindeki etkileri verilmiştir.

2.3.5.8 Dekapanlar ve Koruyucu Atmosferler:

Dekapanlar ilave metalin akışını kolaylaştırmak ve atmosferin zararlı etkilerinden (oksitlenmeden) korumak amacıyla kullanılan kimyasallardır. Koruyucu atmosferler ise iş parçalarının etrafını saran, oksitlenmeyi önleyici asal ya da inert gaz bileşimleridir. Dekapanlar ve koruyucu atmosferlerle ilgili daha ayrıntılı bilgi 2.5. bölümde ve 4. bölümde verilmiştir.

2.4 Sert Lehimlemede Kullanılan İlave Metaller

Gümüş, kalay, bakır, çinko, kadmiyum gibi elementleri içeren birçok alaşım, sert lehim malzemesi olarak kullanılmaktadır. Birleştirilecek malzemeler; kullanılacak birleştirme yöntemi, birleştirme dizaynı, kullanılacak dekapan veya atmosferler ve imal edilmiş parçanın kullanım şartları, ilave metal seçimini etkileyen önemli faktörlerdir. Günümüzde, hemen hemen tüm bu değişkenlerin ve bileşimlerinin doğurduğu ihtiyaçları karşılayacak, uygun bileşim ve şekillerdeki (folyo, tel, çubuk, dekapanlı ya da dekapansız pasta, pul, halka vb.) ilave metaller ticari olarak mevcuttur. Bununla birlikte tüm ilave metallerde aranan ortak temel özellikler şöyle sıralanabilir:

- Lehimleme sıcaklıklarında kapilariteyi ve iyi bir yayılmaya sağlayabilecek düzgün akış özelliklerine sahip olması
- Alaşımında bulunan düşük ergime dereceli elementlerin uzaklaşmasına engel olabilecek stabiliteye sahip olması
- Birleşme bölgesi yüzeyini ıslatma yeteneğinin olması
- İşlem sıcaklıklarında ilave metalin alaşım elementlerinin düşük buharlaşma özelliği göstermesi
- Ana metalle birleşme veya alaşımlanma yoluyla daha yüksek ergime dereceli bir alaşım oluşturma
- Kullanılan yöntemin operasyon sınırları içerisinde ana metalle arasında oluşabilecek erozyon veya yıkama etkisinin kontrol edilebilmesi

İlave metallerin ana metallerle etkileşimleri ve ana metallere nüfuz etme yetenekleri, yine bu metallerin karşılıklı difüzyon süreçlerinin yoğunluğuna bağlıdır. Güçlü bağlantılar istenilen uygulamalarda genellikle ana metale difüzyon ve çözünme kabiliyeti yüksek olan ilave metallerin kullanılması tercih edilmelidir. Bunun yanında çok ince ana metalleri içeren iş parçaları için, ana metale kıyasla daha düşük difüzyon özelliğine sahip alaşım elementleri içeren ilave metaller seçilmelidir. Çizelge 2.3 endüstride yaygın olarak kullanılan sert lehim alaşımlarını, bileşimlerini, ergime aralıklarını ve uygulama alanlarını göstermektedir. (www.fortebraze.com; ASM Handbook V.6, 1993)

Çizelge 2.3 Endüstride yaygın olarak kullanılan sert lehim alaşımlarının özellikleri ve uygulama alanları (www.fortebraze.com; ASM Handbook V.6, 1993)

Kadmiyum ve Gümüş İçeren Sert Lehim Alaşımları								
Standartlar			Bileşim (%)				Ergime Aralığı (°C)	Uygulamalar
EN 1044	AWS 5.8	DIN 8513	Ag	Cu	Zn	Cd		
-	-	L-Ag12Cd	12	50	31	7	620-825	Çelikler, değerli metaller, bakır ve alaşımları, nikel ve alaşımları, temperlenmiş dökümler
-	-	-	15	43	30	12	760-780	
AG 309	-	L-Ag20Cd	20	40	25	15	605-765	
AG 307	BAG-33	L-Ag25Cd	25	30	27	18	605-725	
-	BAG-27	-	25	35	26	14	605-745	
AG 306	BAG-33	L-Ag30Cd	30	28	21	21	600-690	
-	BAG-2	-	34	25	22	19	610-680	
AG 304	-	L-Ag40Cd	40	19	21	20	595-630	
AG 302	BAG-1	L-Ag45Cd	45	16	16	23	620-635	Çelikler, değerli metaller, bakır ve alaşımları
AG 301	BAG-1a	L-Ag50Cd	50	15	17	18	620-640	

Kadmiyum İçermeyen ve Gümüş İçeren Sert Lehim Alaşımları								
Standartlar			Bileşim (%)			Ergime Aralığı (°C)	Uygulamalar	
EN 1044	AWS 5.8	DIN 8513	Ag	Cu	Zn			
AG 208	-	L-Ag5	5	55	40	820-870	Çelikler, bakır ve	

AG 207	-	L-Ag12	12	48	40	800-830	alaşımları, nikel ve alaşımları, temperlenmiş dökümler
AG 206	-	L-Ag20	20	45	35	790-810	
AG 205	-	L-Ag25	25	41	34	700-780	
AG 204	BAG-20	L-Ag30	30	38	32	690-765	
-	-	-	33	34	33	690-750	
-	-	-	33	37	30	690-750	
-	-	-	40	30	30	660-720	
AG 203	BAG-5	L-Ag44	44	30	26	675-735	
AG 202	-	L-Ag60	60	26	14	695-730	Değerli metaller, gümüş ve gümüş alaşımları
AG 201	BAG-9	L-Ag64	64	21	15	690-720	

Kadmiyum İçermeyen, Kalay ve Gümüş İçeren Sert Lehim Alaşımları

Standartlar			Bileşim (%)				Ergime Aralığı (°C)	Uygulamalar
EN 1044	AWS 5.8	DIN 8513	Ag	Cu	Zn	Sn		
AG 108	-	L-Ag25Sn	25	40	33	2	680-760	Çelikler, bakır ve alaşımları, nikel ve alaşımları, temperlenmiş dökümler
AG 107	-	L-Ag30Sn	30	36	32	2	650-750	
AG 106	-	L-Ag34Sn	34	36	27	3	630-730	
-	BAG-34	-	38	32	28	2	650-720	
AG 105	BAG-28	L-Ag40Sn	40	30	28	2	640-700	
AG 104	-	L-Ag45Sn	45	30	28	2	640-680	
AG 103	-	L-Ag55Sn	55	21	22	2	620-660	Çelikler, bakır ve alaşımları, nikel ve alaşımları
AG 102	BAG-7	L-Ag55Sn	55	22	18	5	620-660	
AG 101	-	L-Ag60Sn	60	23	14	3	620-685	Gümüş ve alaşımları

Gümüş İçeren Özel Sert Lehim Alaşımaları									
Standartlar			Bileşim (%)					Ergime Aralığı (°C)	Uygulamalar
EN 1044	AWS 5.8	DIN 8513	Ag	Cu	Zn	Ni	Diğer		
AG 503	-	L-Ag27	27	39	21	5	8,5 Mn	680-830	Çelikler, sert metaller, tungsten, molibden
AG 502	BAG-22	-	49	17	22	5	7 Mn	625-705	
-	-	-	49	28	21	0,5	2,5 Mn	625-705	
-	BAG-3	L-Ag50CdNi	50	15	16	3	16 Cd	633-688	
AG 403	-	L-Ag56InNi	56	26	-	4	14 In	620-730	Krom, krom-nikel çelikleri
AG 401	BAG-8	L-Ag72	72	28	-	-	-	778	Bakır ve alaşımları, nikel ve alaşımları
-	BAG-23	L-Ag85	85	-	-	-	15 Mn	960-970	Çelikler, nikel ve alaşımları

Bakır-Fosfor ve Bakır-Fosfor-Gümüş İçeren (Bakır Esası) Sert Lehim Alaşımları									
Standartlar			Bileşim (%)				Ergime Aralığı (°C)	Uygulamalar	
EN 1044	AWS 5.8	DIN 8513	Ag	Cu	P	Sn			

CP 203	-	L-CuP6		94	6		710-880	Kızıl Pirinç, Bakır ve Bakır-Çinko alaşımları, Bakır-Kalay alaşımları
CP 202	BCuP-2	L-CuP7		93	7		710-820	
CP 201	-	L-CuP8		92	8		710-770	
CP 105	-	L-Ag2P	2	92	6,5		650-810	Kızıl Pirinç, Bakır ve Bakır-Çinko alaşımları, Bakır-Kalay alaşımları
CP 105	-	L-Ag2P	2	94	4,5		650-810	
-	BCuP-6	-	2	91	7		650-800	
CP 104	BCuP-3	L-Ag5P	5	89	6		650-810	
-	BCuP-5	-	5	88	7		650-790	
CP 102	BCuP-7	L-Ag15P	15	80	5		650-800	
CP 101	-	-	18	75	7		645	
CP302	-	-		86	6,8	7	650-700	
-	-	-		90	6,2	4	650-700	

Kızıl Pirinç Sert Lehim Alaşımları

Standartlar		Bileşim (%)							Ergime Aralığı (°C)	Uygulamalar
AWS 5.8	DIN 8513	Cu	Zn	Si	Ni	Mn	Sn	Fe		
RBCuZn-A	L-CuNi10Zn42	60	38,5	0,3	-	-	0,2	-	875-895	Bakır ve bakır alaşımları, kalay alaşımları, her türlü çelik ve alaşımları
RBCuZn-D	L-Ag40Sn	49	41,3	0,2	9,5	-	-	-	890-920	
-	L-CuZn39Sn	60	38,3	0,2	-	0,8	0,4	-	870-890	
RBCuZn-B	L-CuZn39Sn	59,5	38,1	0,3	0,4	0,3	0,8	0,2	870-890	

Alüminyum İçeren Sert Lehim Alaşımları							
Standartlar			Bileşim (%)			Ergime Aralığı (°C)	Uygulamalar
EN 1044	AWS 5.10	DIN 8513	Al	Si	Zn		
AL 101	-	L-AlSi5	Kalan	5	-	570-630	Alüminyum ve alaşımları
AL 104	ER 4047	L-AlSi12	Kalan	12	-	570-630	
ZnAl4	-	-	4	-	Kalan	385-418	Alüminyum ve bakırın birleştirilmesinde

Nikel Esaslı Sert Lehim Alaşımları								
Standartlar			Bileşim (%)				Ergime Aralığı (°C)	Uygulamalar
EN 1044	AWS 5.8	DIN 8513	Ni	Cr	Si	Diğer		
NI 107	Bni-7	L-Ni7	76	14		10 P	980	Pirinçler ve paslanmaz çelikler
NI 105	Bni-5	L-Ni5	70,9	19	10		1080-1135	Paslanmaz çelikler
NI 102	Bni-2	L-Ni2	82,4	7	4,5	3,1 B; 3 Fe	970-1000	

2.5 Sert Lehimlemede Kullanılan Dekapanlar ve Koruyucu Atmosferler

Dekapanların ve koruyucu atmosferlerin tanımlanması ve kullanılma amaçlarının açıklaması daha önceki bölümlerde yapılmıştı. Bu bölümde sert lehimlemede kullanılan dekapan ve koruyucu atmosferler daha ayrıntılı incelenerek endüstride yaygın olarak kullanılanları verilecektir.

Dekapanlar, sert lehimleme sırasında ana metal üzerinde oksit oluşmasını önleyerek, ilave metalin birleşme yüzeylerini ıslatma kabiliyetini arttırmaları. Bazı durumlarda oda sıcaklığında oluşan oksitleri redüklemek veya gidermek için de kullanılabilirler. Ayrıca aynı etkileri ilave metaller için de gösterirler. Bazı durumlarda dekapanlar, ilave metallerdeki yüksek buhar basınçlı bileşenlerin buharlaşmasını durdurmak amacıyla da kullanılabilir.

Bunların yanında dekapanlar, ilave metal ile birleştirme yüzeyleri arasındaki yüzey gerilimini azaltarak ta ilave metalin akışını kolaylaştırır. Bazı dekapanlar lehim malzemesini alaşımlandıran elementler içerebilir. Dekapanlar sadece sıvı durumda etkili olabildiklerinden, ergime sıcaklıkları daima kullanılan ilave metallerin ergime sıcaklığından düşük olmalıdır.

Fosfor-bakır bileşimli olan veya lityum içeren ilave metaller, bazı alaşımlar üzerinde kendi kendilerini dekapanlayıcı etki gösterir. Örneğin fosfor-bakır alaşımlı ilave metaller düşük alaşımlı veya saf bakır malzemelerle kullanıldığında dekapan gibi davranış gösterir. Bu tür ilave metaller sadece ergimiş halde kendi kendilerini dekapanlar ve kendileri de ısıtma çevrimi sırasında oksitlenirler. Dolayısıyla geniş kesitlerin sert lehimlenmesinde ve uzun ısıtma süresinin gerektiği durumlarda, ilave dekapanın kullanılması önerilmektedir.

Kimyasal olarak dekapanlar sıvı boraks, flüorürler ve klorürler (sodyum, potasyum, lityum vb.), alkaliler (potasyum hidroksit, sodyum hidroksit), boratlar (sodyum, potasyum, lityum vb.), floratlar (potasyum, sodyum vb.) ve asitler (borik, kavrulmuş borik) gibi bileşiklerden oluşmaktadır.

Kontrollü atmosferler de dekapanlar gibi sert lehimleme sırasında oksitlerin oluşmasını önlemek ve mevcut oksitleri redüklemek için kullanılır. Ancak koruyucu atmosferlerin oksit redükleme veya ortadan kaldırma amacıyla kullanılması dekapanlardan daha fazladır. Kontrollü atmosfer altında yapılan sert lehimleme, yüksek kaliteli birleştirmelerin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Tıpkı dekapanlar gibi, kontrollü atmosferler de sert lehimlenecek kısımlardan oksitlerin, kaplamaların, gres, yağ, kir ve diğer yabancı maddelerin temizlenmesi amacıyla kullanılmaz. Ön temizleme ayrı bir işlemdir. Kontrollü atmosferler genellikle fırın sert lehimlemesinde kullanılmakla birlikte, indüksiyon ya da direnç sert lehimlemesinde de kullanılır. Kontrollü atmosferlerin kullanımı, iş parçaları üzerinde oksit oluşumunu önleyerek birçok uygulamada lehimlemeden sonra yapılacak olan son işlemlerin, sert lehimlemeden önce yapılabilmesine olanak sağlar.

Kontrollü atmosferlerde argon, helyum gibi asal gazların yanı sıra hidrojen, karbondioksit,

karbonmonoksit, azot gibi gazlar ya da uygun bileşimleri kullanılabilir. Bunun yanında vakum atmosferiyle koruyucu bir lehimleme ortamının oluşturulduğu sistemler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5’de AWS B2.2 spesifikasyonuna göre sert lehimlemede kullanılan dekapanlar ve koruyucu atmosferler görülmektedir. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

Çizelge 2.4 AWS B2.2 spesifikasyonuna göre sert lehimlemede kullanılan dekapanlar

AWS Sert Lehimleme Dekapanı No.	Tavsiye Edilen Ana Metaller (A)	Tavsiye Edilen İlave Metaller	Tavsiye Edilen Uygun Sıcaklık Aralığı (°C)	Tavsiye Edilen Uygun Sıcaklık Aralığı (°F)	Bileşenler
1	Tüm sert lehimlenebilir alüminyum alaşımları	BAISi	370-645	700-1190	Floridler
2	Tüm sert lehimlenebilir magnezyum alaşımları	BMg	480-650	900-1200	Kloridler, Floridler
3A	(B)	BCuP, BAg	565-870	1050-1600	Borik Asit, Boratlar, Floridler, Floboratlar, Islaticı Sıvı
3B	(B)	BCu, BCuP, BAg, BAu, RBCuZn, BNi	730-1150	1350-2100	Borik Asit, Boratlar, Floridler, Floboratlar, Islaticı Sıvı
4	Alüminyum bronz, alüminyum pirinci, alüminyum ya da titanyum içeren demir esaslı ve nikel esaslı alaşımlar	BAg, BCuP(C)	565-870	1050-1600	Kloridler, Floridler, Boratlar, Islaticı Sıvı
5	(B)	(D)	760-1205	1400-2200	Boraks, Borik Asit Boratlar, Islaticı Sıvı

(A) Bazı durumlarda titanyum ve zirkonyum esaslı ana metallere uygulanabilir dekapanlar bulunamayabilir

(B) 1, 2, ve 4 hariç tümü

(C) Sadece bakır esaslı alaşımlar

(D) 3B ile aynı (Bag-1 ile Bag-7 arasındaki ilave metaller hariç)

Çizelge 2.5 AWS B2.2 spesifikasyonuna göre sert lehimlemede kullanılan koruyucu atmosferler

AWS Sert Lehimleme Atmosferi No.	Elde Ediliş Biçimi	Maksimum Çiğ Noktası (A)		Basınç		Bileşim (%)				
		°C	°F	Pa	Torr	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	Diğer
1	Yanmış Yakıt Gazı	OS	OS	-	-	1-5	87	1-5	11-12	-
2	Yanmış Yakıt Gazı	OS	OS	-	-	14-15	70-71	9-10	5-6	-
3	Yanmış Yakıt Gazı	-40	-40	-	-	15-16	73-75	10-11	-	-
4	Yanmış Yakıt Gazı	-40	-40	-	-	38-40	41-45	17-19	-	-
5	Ayrıştırılmış Amonyak	-54	-65	-	-	75	25	-	-	-
6	Hidrojen	OS	OS	-	-	97-100	-	-	-	-
7	Hidrojen	-59	-74	-	-	100	-	-	-	-
8	Isıtılmış Uçucu Maddeler	-	-	-	-	-	-	-	-	(B)
9	Saflaştırılmış İner Gaz	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Vakum	-	-	>265	>2	-	-	-	-	-
10A	Vakum	-	-	>65-265	>0.5-2	-	-	-	-	-
10B	Vakum	-	-	>0.13-65	>0.001-0.5	-	-	-	-	-
10C	Vakum	-	-	£ 0.13	£ 0.001	-	-	-	-	-

(A) OS: Oda sıcaklığı

(B) İnorganik gazlar (örneğin Zn, Cd, Li, Mg, Floridler)

3. SERT LEHİMLEME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde sert lehimlemede kullanılan birleştirme yöntemleri; bir başka deyişle ısıtma metotları incelenecektir.

3.1 Üfleç Sert Lehimlemesi

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 bekle donatılabilir. Elle üfleç sert lehimlemesi özellikle, farklı kütleli parçaların birleştirilmesinde faydalıdır. İşlem yarı-mekanizasyona ve tam otomasyona uygundur. Üretim miktarının elvermesi halinde işlem mekanize edilebilir ve tek veya çok alevli bekle donatılmış tek ya da çok üfleç kullanılabilir. Mekanizasyon ya iş parçasını veya üfleçleri veya her ikisini hareket ettirecek şekilde tertiplenebilir. Karıştırılmış havagazı-hava alevleri için, refrakter tipte bekler kullanılır.

3.1.1 Avantajlar ve Sınırlamalar

Üfleçle sert lehimleme birçok farklı tipte ana malzeme ve farklı boyutta birleştirmeler için kullanılabilir. Yöntemin avantajları:

- Esneklik; birden fazla uç ve bir tek üfleçle birçok farklı tipteki birleştirme kolaylıkla gerçekleştirilebilir.
- Düşük ilk kurulum maliyeti (otomasyonsuz lehimleme için)
- Tüm parçaların ısıtılmasına gerek yoktur; büyük parçalardaki küçük birleşme bölgeleri yerel olarak ısıtılabilir.
- Otomasyona uygundur.
- Metallerin çoğu uygun dekapan kullanılarak üfleçle sert lehimlenebilir.

Yöntemin sınırlamaları ve dezavantajları da şöyle sıralanabilir:

- Uygun ve yeterli miktarda dekapan kullanılmadığında parçaların yüzeyinde oksidasyon ve renk bozukluğu oluşabilir.
- Lehimlemeden sonra dekapan artıkları temizlenmelidir.
- Ti ve Zr gibi reaktif malzemeler uygun dekapan olmadığından bu yöntemle

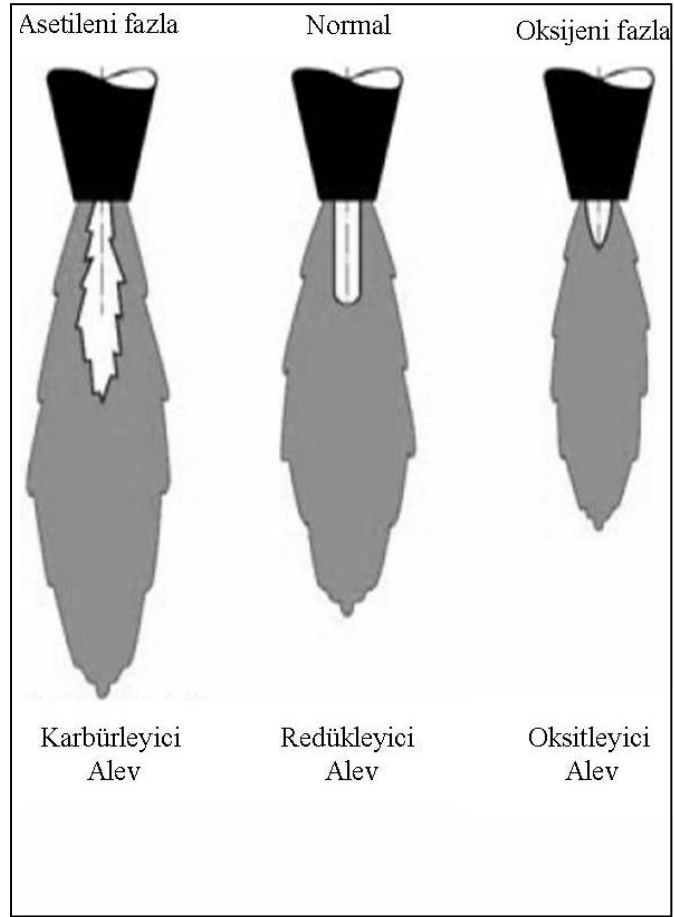
lehimlenemez.

- İşlemin bölgesel ısıtma özelliğinden dolayı büyük birleştirmelerde lehimleme bölgesini ısıtmak zordur. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

3.1.2 Temel Prensipler

Sert lehimleme işlemlerinde genellikle bir hafif redükleyici alev kullanılmakla beraber diğer alev şekilleri de (nötr, oksitleyici, karbürleyici), yerine göre kullanılır. Şekil 3.1'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). Oksi-asetilen alevi için sonuçlar şöyle özetlenir:

1. O_2/C_2H_2 oranı 1,1/1 - 1,2/1 arasında olduğunda, ara bölge azami miktarda CO(%60 - %66) ve H_2 (%34 - %40) taşır.
2. O_2/C_2H_2 oranı arttığında, ara bölgede CO ve H_2 miktarı azalır ve CO_2 ile H_2O miktarı artar.
3. Alev molekülleri hidrojenden çok atomik hidrojen içerir.
4. Hem alev boyunca hem de bunun enine iç koniden uzaklaştıkça, CO ve H_2O miktarı azalır ve CO_2 ve N_2 miktarı artar.
5. Ara (redükleyici) bölge, nötr alevde sadece birkaç milimetre uzunlukta olup oksijen fazlalığında kısalır.



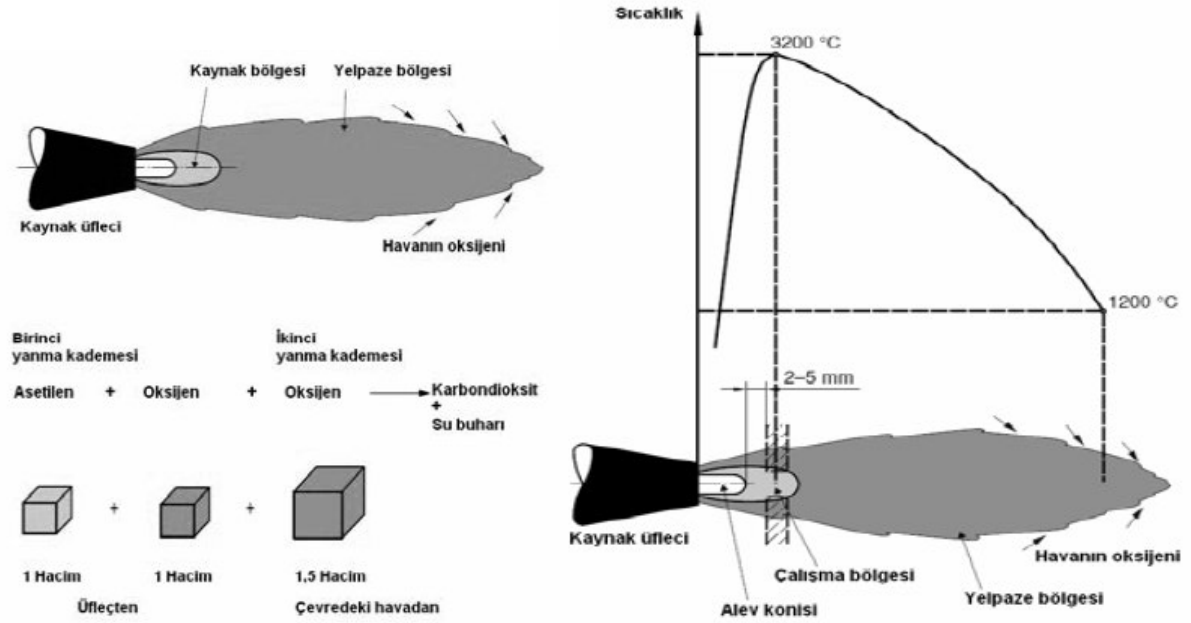
Şekil 3.1 Oksi-asetilenle üfleç lehimlemesinde alev tipleri (Degarmo vd., 2003)

Normal (redükleyici) alev, parlak, iyice belirlenmiş konisiyle hacim olarak eşit miktarda (veya buna yakın) asetilen ve oksijenin yanmasıyla oluşur. Ana metalin üzerinde bulunan herhangi bir oksit üzerinde redükleyici etki yapar. Kabaca 3200°C'lık bir maksimum sıcaklık, alev konisinin birkaç milimetre ötesinde mevcuttur.

Karbürleyici alev (asetilen fazlalı) de koni yeşilimsi bir "tüy" ile uzunluğunun iki üç katı kadar uzanır ve ana metalin üzerine karbon boşaltır. Bu alev tipi, en az ısı verenidir.

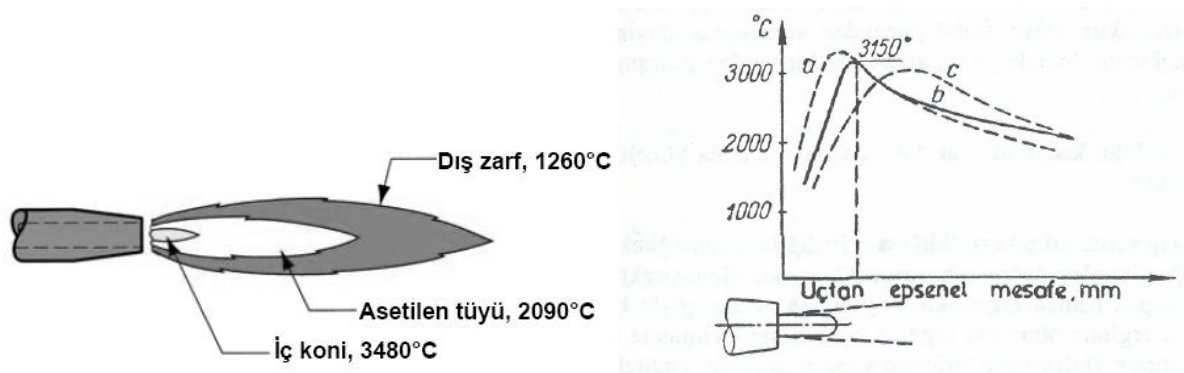
Oksitleyici alev (oksijen fazlalı), belli keskin bir koniye sahiptir. Koni ve dış alev normal ayardakinden daha kısa olup en sıcak alevi sağlar ve ana metali oksitleyebilir.

Alev sıcaklığı, alev boyunca sabit olmayıp alevin bileşimiyle aksnel ve radyal olarak değişir. Oksijenle yakıldığında bir iç koni oluşturan hidrokarbonlu gazların çoğunluğunda en yüksek sıcaklık, iç koniden hemen sonra, ara bölgede bulunur. (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3)



Şekil 3.2 Solda oksii-asetilen alevinin yanma kademeleri; sağda Oksii-asetilen alevi boyunca sıcaklık dağılımı (Degarmo vd., 2003)

Bu bilgiler ışığında ana metalin fazla ısınmasını ya da ergimesini önlemek için üfleç ucu iş parçasının uzağında tutulmalı; yani alevin iç konisi (mızrağı) parçaya yaklaşmamalıdır. Maksimum sıcaklığa, iç koninin ucunda ulaşılır. Dış zarf ise parça yüzeyine yayılır ve kaynak bölgesini, çevreleyen atmosferden korumak üzere örter. Isıtma, dış alev zarfıyla olmalı ve yerel fazla ısınmaları önlemek üzere üfleç, hareket halinde tutulmalıdır. Birleşmeyi oluşturacak parçaların her birinin uniform olarak sert lehimleme sıcaklığına getirilmesi çok önemlidir. (Oğuz, 1988; Degarmo vd., 2003)



Şekil 3.3 Solda nötr alevde sıcaklıklar; sağda (a) oksitleyici alev, (b) normal alev ve (c) karbürleyici alev eksenel boyunda oksii-asetilen alevi sıcaklığındaki değişimler

3.1.3 Uygulama Alanları

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.

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. (ASM Handbook V.6, 1993)

3.1.4 Uygulama Tekniği

Üfleçle sert lehimleme işleminin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar şöyle sıralanabilir:

- Farklı kütleli parçaların birleştirilmesinde önce büyük parça, dekapanın ergimesinin sert lehimleme sıcaklığına varıldığını göstermesine kadar ısıtılmalı; daha sonra küçük parça sert lehimleme sıcaklığına getirilmelidir.
- Birleştirme en sonunda ısıtılmalı ve fazla ısıtmamaya dikkat edilmeli, ilave metal, eğer önceden yerleştirilmişse, bütün birleşme yerinin çevresinden akmalı ve birleşme kenarlarında belirmelidir. Bunu takiben alev uzaklaştırılmalı, ilave metal yüzeyden veriliyorsa alevin parçalara çarptığı noktanın önünde ya da arkasında bir yerden birleşme aralığına verilmelidir.
- Mümkün olduğu kadar üflecin doğruca ilave metala yöneltmesinden kaçınılmalıdır.
- Dekapan, ergiyerek çalışma sıcaklığına gelindiğini gösterdiğinden, yukarda söylendiği gibi alev doğruca bunun üstüne yöneltmemelidir. Aksi halde dekapan hemen ergimekle kaynakçıyı aldatır şöyle ki parçalar, dekapanın ergimiş olmasına rağmen gerekli sert lehimleme sıcaklığına ulaşmamıştır. Dolayısıyla birleşme yerinin ısıtılması dolaylı olacak, parçalar yeterli miktarda çalışma sıcaklığına çıkarılmamış olacaktır.
- Bazı uygulamalarda büyük kütleli parça ısının bütünü alıp küçük parça tamamen kondüksiyonla ısıtılabilir. Farklı metallerin (örneğin çelikle bakırın) birleştirilmesinde, daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olan metal, daha büyük kütleli parça gibi

düşünülebilir.

- Bir birleştirmede iç ve dış parçalar arasında alıştırma, sert lehimleme için yeterli derecede sıkı değilse, alev önce iç parçaya yöneltilir ve böylece onun genişmesiyle sert lehimleme aralığı daraltılmış olur. Bundan sonra ısı dış parça üzerine yoğunlaştırılır ve iç parça bundan sonar gerekli ısıyı kondüksiyon yoluyla alır. Sert lehimleme aralığı, ilk ısıtma ile daraltılmamışsa, kondüksiyon da zayıf olur.
- Isıtma, iş parçaları ilave metalin akma sıcaklığının çok az üstüne çıkıncaya kadar sürmelidir. Fazla ısıtmadan kaçınılmalıdır. Dekapanda bozulma ve etkisi azalması meydana gelebilir.

Gerçekten dekapanlar, beraber kullanıldıkları ilave metallerden biraz aşağı sıcaklıklarda ergirler ve ergiyerek de sert lehimleme sıcaklığına varıldığına işaret ederler. Dekapan ısıtıldığında Önce su kaybeder ve geriye toz halinde yığıntı bırakır. Isıtma devam edince dekapan berrak, ince bir sıvı halinde ergir, birleşme yerinin arasından akar ve yüzeyleri etkin şekilde oksitlenmeden korur. Yüzeyden beslenen ilave metalin ana metalle teması sonunda ergiyip akmaması halinde, birleştirmenin sert lehimleme sıcaklığına varmadığına hükmedilir; bu takdirde ısıtmaya devam edilmelidir.

- Birleşme yerinin sert lehimleme sıcaklığına varmasından önce ilave metali alevle ergiterek sert lehimleme yapılamaz; çünkü bu durumda kapiler akış oluşamaz. Bunun yerine ilave metal yüzeye yığılır. Akışı teşvik etmek amacıyla ilave metali ısıtmaya devam etmek ise alaşımın bileşimini bozabilir. Bu hatalı davranış, başarısız sert lehimleme sonuçlarının çok sık rastlanan nedenlerinden biridir. İş parçasının içindeki ısı daima ilave metali ergitmede kullanılmalıdır.
- Birleştirme yerindeki sıcaklığın uniform tutulması çok önemlidir. Sert lehimlemenin de, sıcaklık farkına rağmen, kaynakta olduğu gibi, bir ısıl darbe meydana getirdiği ve başarımın büyük ölçüde ısıl dengenin sağlanmasına bağlı olduğu bilinmektedir. Uniform sıcaklığın sağlanması ve korunması için yardımcı veya çok alevli üfleçler gerekebilir.
- Üfleç boyu, işlem 3 dakika içinde bitecek şekilde seçilmelidir zira 5 dakikayı aşan sert lehimlemelerde dekapanın gaz ve yanma ürünleriyle doyması olasılığı ortaya çıkmakta; buna karşılık fazla büyük üfleç de dekapan, ana ve ilave metallerin fazla ısınmasına sebep olmaktadır.

Dar ergime aralıklı (solidusla likidus arasında en çok 28°C) saf metal ve alaşımlar, dar

birleştirme aralıklı sert lehimlemelere en uygun olanlarıdır. Bu ilave metaller için ısıtma rejimi kesin olarak sınırlayıcı değildir. Buna karşılık geniş ergime aralıklı bazı bileşimler, yavaş ısıtmaya duyarlı olabilmektedir. Bir ilave metal, ergime aralığında, solidusun üstünde ancak likidusun altında bir sıcaklığa çıkarıldığında, bu ilave metalin bazı bileşenleri sıvı haline geçer, bazıları da katı halde kalır. Bu tipten bir ilave metal, ısıtmaya başlamadan önce yerine konup birleştirme ergime aralığının ortalarında bir sıcaklığa ısıtıldığında ve bu sıcaklıkta bir süre tutulduğunda; ilave metalin sıvı bölümü, birleşme yerine akacak zaman bulur; gerisinde de daha yüksek sıcaklıkta ergiyen bölümü bırakır. Bu sıvı bölüm kapiler çekim ya da ana metalle reaksiyon sonucu yayılabilir ve bu bileşenden yoksun kalmış diğer yüksek sıcaklıkla ergiyen kısım, likidus noktasının ötesinde de katı halde kalabilir.

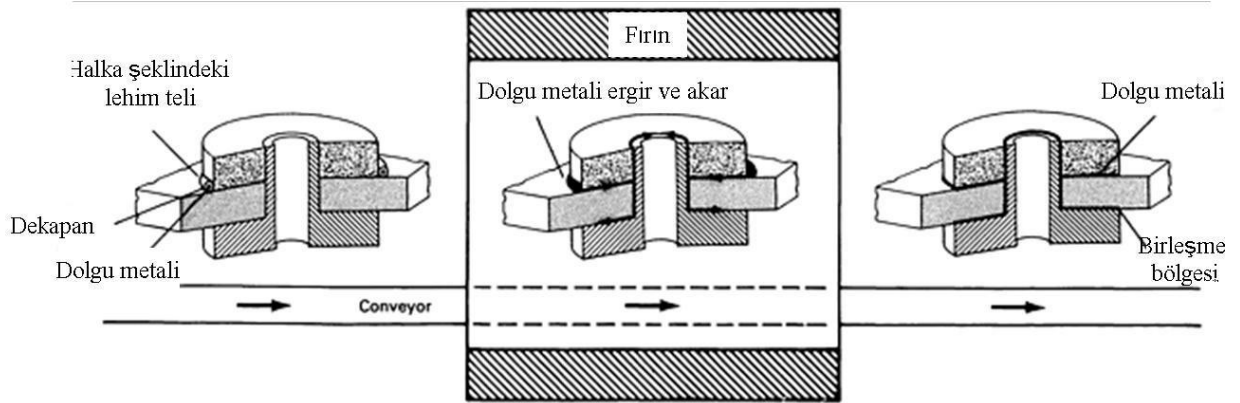
- Katı ve sıvı bileşenler arasında gerçekleşen ayrılmaya likidasyon adı verilir. Bunu hafifletmenin yolu ilave metali ergime aralığının üst noktasına getiren hızlı ısıtmadır. Likidasyon etkisine daha çok, ilave metalin sert lehimlemeden önce birleşme yerine yerleştirildiği durumlarda rastlanır. Ana metal sert lehimleme sıcaklığına varduktan sonra ilave metalin tatbik edilmesi halinde bu olay ortaya çıkmaz. Buradan da uygun boyda üfleç seçiminin önemi görülmektedir.
- Alevin karakteristikleri geniş ölçüde, metali eritmek veya ısıtmak için gerekli enerjiyi serbest bırakan oksitlenme sürecine bağlıdır. Uygulamaların çoğunda kritik olan, ısının meydana getirilme ve parçaya verilme hızıdır.
- Yakıt gazının oksitlenme reaksiyonundan meydana gelen enerji, yanma gazlarının sıcaklığını ve ışınlanma, konveksiyon ve kondüksiyon yoluyla da dış çevreninkini yükseltir. Dolayısıyla alevin sıcaklığında bir düşme meydana gelir.
- Belli bir uygulama ya da süreç için en etkin alevin seçimi konusunda tek kriter sıcaklık değildir. Yakıt gazının bir başka karakteristiği alevin gücüdür.
- Özgül güç, alevin iç konisinin (mavi mızrağının) birim zaman ve birim yüzey başına kalorifik üretim değeri olarak tanımlanır. Alevin gücü yakıt gazının değerlendirilmesinde faydalı bir faktör olmakla beraber; ısı iletim hızı daha belirleyici bir parametredir. (Oğuz, 1988)

3.2 Fırın Sert Lehimlemesi

Fırın sert lehimlemesi çoğunlukla küçük parçaların seri imalatında, dolgu malzemesi olarak lehim alaşımları, ısı kaynağı olarak ta bir fırının kullanıldığı yöntemdir. Lehimleme kapalı

ortamda gerçekleştiğinden dekapana ihtiyaç duyulmayan ve tamamen otomasyona yönelik bir işlemdir. Yöntemin bir diğer önemli avantajı da kalifiye iş gücüne gereksinim duymamasıdır.

Fırın sert lehimlemede lehimlenecek parçalar temizlenmiş, birleştirilmiş ve lehim malzemesi uygulanmış şekilde fırına girer ve burada lehimleme sıcaklığına gelmesi için gerekli ısıyı alır. Bu nedenle fırında sert lehimleme sadece lehim malzemesinin fırına girmeden önce ana malzemeler üzerine konulabildiği ve ergime süresine kadar bu konumunu muhafaza edebildiği birleştirmelerde uygulanabilir. Isıtma hızı, lehimleme sıcaklığı, lehimleme süresi, soğutma hızı ve fırın içerisindeki atmosfer kontrol edilen parametrelerdir. Fırın içerisindeki atmosfer genellikle düşük yoğunluklu, inert veya vakum olarak düzenlenmektedir.



Şekil 3.4 Üç parçadan oluşan bir birleştirme işleminin fırında lehimlemeyle gerçekleştirilmesi. Dolgu metali teli (Dekapanla kaplanmış dolgu metali) fırında eriyerek parçalar arasındaki boşluklara akar ve fırından çıktığında soğuyup katılarak parçaları birleştirir. (ASM Handbook V.6, 1993)

3.2.1 Avantajlar ve Sınırlamalar

Yöntemin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Birçok parametrenin, işlem tekrarlanabilirliğinin ve yüksek kaliteli birleşmenin sağlanması amacıyla kolayca kontrol edilebildiği bir yöntemdir.
- Isıtma hızı, lehimleme sıcaklığı, lehimleme süresi, soğutma hızı kolaylıkla kontrol edilip izlenebilmektedir. Fırın içerisindeki atmosfer de kolaylıkla düzenlenebilmektedir.
- Tüm lehimleme parametreleri uygun şekilde ayarlandıktan sonra kalifiye olmayan iş gücü kullanılarak üretim yapılabilir.
- Dışarıdan dekapana uygulaması gerektirmediğinden birleşme bölgesi tasarımında

esneklik sağlar. Bununla birlikte lehimlenmiş parçanın ve fırının işlem sonrasında temizlenmesine gerek kalmamaktadır.

- Birleştirilecek tüm parçalar beraber ısıtıldığından çarpılmalar ve şekil bozuklukları en aza indirilir veya tamamen ortadan kalkar. Bazı durumlarda lehimleme çevrimine ısıtılma işlemi de eklenebilir.
- İş parçası başına birden fazla birleşme bölgesi, tek bir çevrim içinde lehimlenebilir. Aynı lehimleme şartlarını gerektiren birçok farklı birleştirme işlemi de aynı anda yapılabilmektedir.

Yöntemin sınırlamaları ve dezavantajları ise şöyle sıralanabilir:

- İlk kurulum maliyetleri yüksektir. Aynı şekilde ekipmanın bakımı kritik öneme sahiptir ve diğer lehimleme tekniklerinden daha pahalı olabilmektedir. Özel atmosferi oluşturma ve işletme maliyetleri de dikkate alınmalıdır.
- Tüm montaj ısıtıldığından, ısıtma maliyeti diğer lehimleme işlemlerinden daha fazladır. Buna ek olarak ana malzemelerde lehimleme sıcaklığına ve malzeme özelliklerine bağlı olarak iç yapı değişimleri meydana gelebilir.
- Lehimleme fırın içerisinde gerçekleştiğinden birleşme bölgesi tasarımı önemlidir. Lehimlenecek parçaları bir arada tutacak olan fikstür ekstra ısı ihtiyacı gösteren bir küttür. Bu da üretim maliyetlerini artırır. İyi bir birleşme bölgesi tasarımıyla karmaşık fikstür kullanma ihtiyacı azaltılabilir ya da ortadan kaldırılabilir. (ASM Handbook V.6, 1993)

3.2.2 Temel Prensipler

Sert lehimleme fırınları oksijen-gaz alevi ya da elektriksel yöntemlerle ısıtılabilir. Isıtma yöntemi ve ısıtma biçimi ne olursa olsun fırınlar uniform bir çalışma sıcaklığı sağlamalıdır. Örneğin nikel tabanlı yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımların lehimlenmesi 1095 °C ve üzerinde yapılır ve genellikle ± 8 °C toleranslı sıcak bölge uniformluğu gerektirir. Alüminyum lehimlemesinde bu tolerans ± 3 °C olmalıdır. Bu nedenle her iş parçasının; uygun şekilde bağlanmış termokupullarla dikkatlice izlenmesi önemli olmaktadır.

Temel olarak 3 tip fırın vardır. Bunlar sürekli, yarı-sürekli ve grup tipi fırınlardır. Sürekli fırınlara örnek olarak konveyörlü sistemler verilebilir. Lehimleme şartları konveyör hızı ve sıcaklık ayarı parametrelerine bağlıdır. Bu tür fırınlar uzun sürelerde rejim sıcaklığına ulaştığından çalışmaya başlama süreleri uzundur. Dolayısıyla bu fırınlar nadiren kapatılır ve iş

parçası yüklemesi olmadığında işletme sıcaklığının hemen hemen birkaç yüz derece aşagısında çalıştırılırlar. Bu nedenle az sayıda parça üretiminde işletme maliyetleri çok yüksek olmaktadır. Bu tip fırınlar sadece kütle imalatı için kullanıldığında verimli ve düşük maliyetli olmaktadır. Ayrıca fırın içerisinde oluşturulan atmosfer de maliyet yükü getirmektedir.

Yarı-sürekli fırınlara örnek olarak çan tipi fırınlar gösterilebilir. Bu tip fırınlarda iş parçaları bir muhafazayla kapatılır ve içeri özel atmosfer sağlayıcı bir gaz verilir. Daha sonra muhafaza fırına yerleştirilerek birleştirme gerçekleştirilir. Yarı-sürekli sistemlerde 2 veya daha fazla muhafaza kullanılır. Bir muhafaza lehimleme çevrimindeyken diğeri soğutma, lehimlenmiş parçaları boşaltma ve yeni parçaların yüklenmesi çevriminde olabilir. Bu tip sistemlerde fırın sıcaklığını kontrol etmek için mikroişlemciler kullanılmaktadır.

Vakum tipi fırınlar çoğunlukla grup halinde lehimleme işlemleri için kullanılmaktadır. Bu tip fırınlarda lehimleme işlemi parçaların hareketli bir tabla üzerinde fırına verilmesi; lehimleme için gerekli ısının verilerek birleşmenin sağlanması ve fırının açılarak tablanın dışarı alınması şeklinde gerçekleştirilir. Sistem diğeri fırın tiplerine göre daha basittir; ancak üretim hızı daha düşüktür. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997)

3.2.3 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.

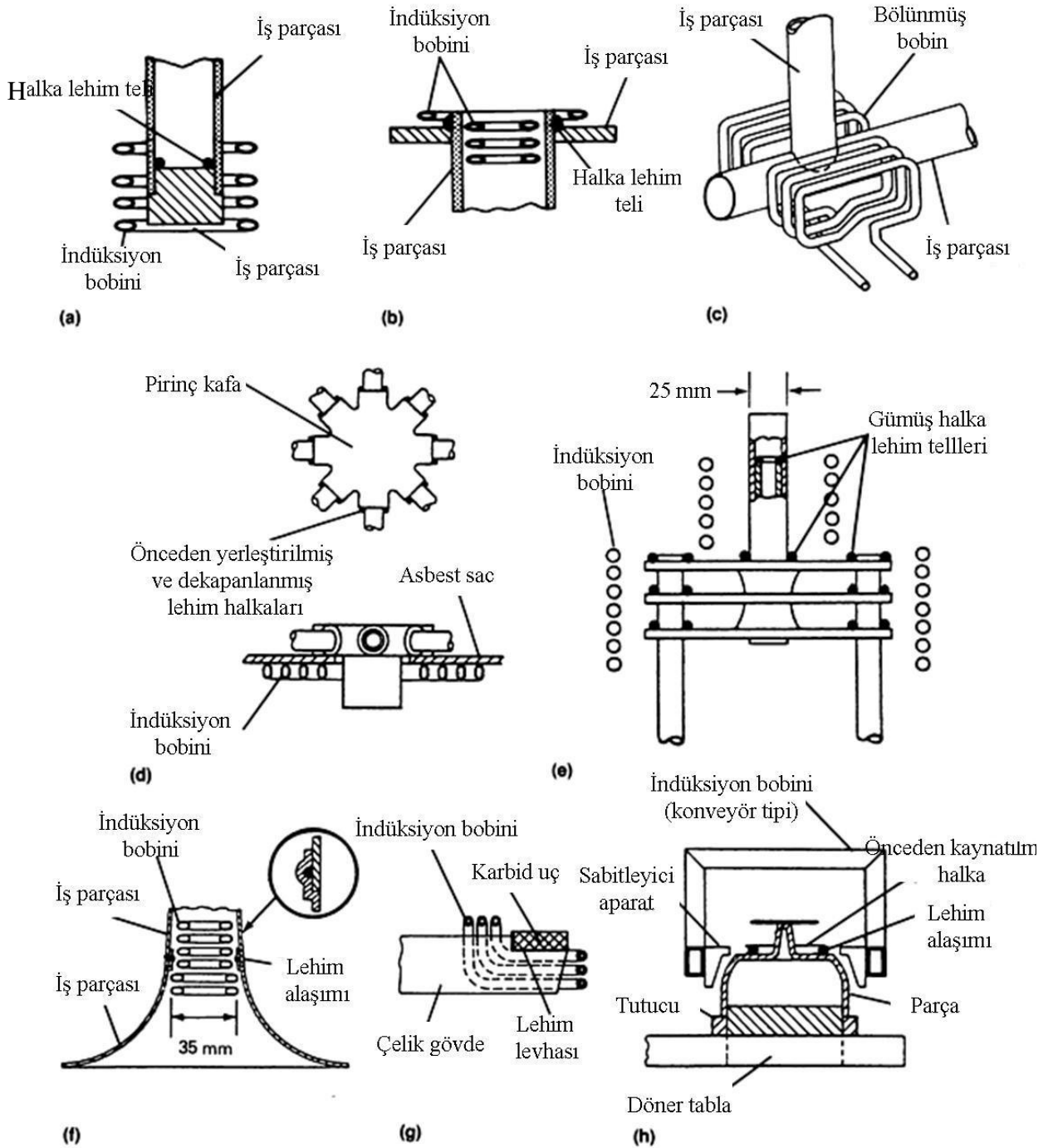
Jet motoru endüstrisinde ise lehimleme prosesinin kalitesi ve lehimlenmiş parçaların boyutsal kontrolü kritik olduğundan, çoğunlukla vakum fırın sert lehimlemesi kullanılmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde ağırlıklı olarak konveyörlü (sürekli) lehimleme fırınları kullanılır. Yöntem otomasyona çok uygundur ve kütle imalatında üretim maliyetlerini düşürmektedir. (ASM Handbook V.6, 1993)

3.3 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. (ASM Handbook V.6, 1993)



Şekil 3.5 İndüksiyon lehimlemede kullanılan bobin ve bağlantı tiplerine örnekler a) Boru-tapa birleşimi için selonoid bobin b) Flanş – boru birleştirmesi için iç ve dış bobinler c) T boru lehimlemesi için bölünmüş bobin d) 8 adet bakır borunun pirinç kafaya aynı anda lehimlenebilmesi için için kullanılan dilim şekilli bobin e) Aynı anda birden fazla lehim bağlantısını yapabilmek için kullanılan dış bobinler f) Parça geometrisine uygun olarak özel şekillendirilmiş iç bobin; burada lehim telinin uygulama dizaynı dış yüzeyde pürüzsüz bir bağlantı sağlamaktadır g) Karbür uçların takım gövdesine lehimlenmesinde kullanılan açık uçlu bir bobin h) Döner bir fikstür üzerindeki sigorta montajlarını seri olarak birleştirmek için kullanılan konveyör tipi bir bobin (ASM Handbook V.6, 1993)

3.3.1 Avantajlar ve Sınırlamalar

Diğer yöntemlere göre indüksiyon sert lehimlemesinin seçimi, parçaların sadece birleşme yerine hemen komşu olan bölgesel alanın ısıtılmasının sağlayacağı belirli avantajlar varsayımına dayanır. Bu avantajlar:

- Birleştirilecek parçaların lehimleme bölgesine komşu kısımlarının ısıtmadan etkilenmemesi (örneğin su verilmiş bir bölümü, ek ısıtmayla yumuşayabilir)
- Parçaların tümünü ısıtmak ekonomik olmayabilir ve istenmeyebilir.
- Sadece birleşme yerinin ısıtılması, şekil bozulmasını önlemede faydalı olabilir.
- Çok hızlı ısıtma sonucu, havada alevle veya hava ile çalışan elektrik fırınlarında sert lehimlemeye göre iş parçasının yüzeyi daha az ölçüde oksitlenir veya daha az renk değişikliği oluşur.
- Uniform ve kaliteli birleşme bölgeleri elde edilir; dolayısıyla bitirme işlemlerine gerek kalmaz.
- Uygun tipte indüksiyon bobinleri kullanılarak aynı iş parçasındaki birden fazla birleşme bölgesi bir çevrimde lehimlenebilir.
- Önceden belirlenmiş miktarda lehim malzemesi (halka; toz veya levha şeklinde) kullanıldığından; malzeme maliyetleri düşürülmüş olur.
- Yöntem hızlı çevrim süreleriyle mekanizasyona çok uygundur.

Yöntemin sınırlamaları ise şöyle sıralanabilir:

- Karmaşık şekilli birleştirmelerin ısıtılması zordur.
- Birleştirilecek parçalar arasında göreceli olarak uniform boşluk olmalıdır.
- Ekipman ilk kurulum maliyetleri yüksektir.
- Sistem dizaynı için özel bilgi gerekmektedir.
- Karmaşık şekilli ve birden fazla birleşme bölgesi içeren parçalarda yonteme uygun fikstür dizaynı zor olabilmektedir. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988; Haus, 2008)

3.3.2 Temel Prensipler

İndüksiyonla elde edilen ısıtma şekillerini etkileyen değişkenler şunlardır:

- Magnetik alanı oluşturan indüktörün biçimi
- İndüktördeki sargı sayısı
- İndüktör sargıları arasındaki mesafe
- Sargılarla iş parçası arasındaki mesafe (hava aralığı)
- Magnetik alan içinde bulunan iş parçasındaki keskin köşeler
- İndüktör içindeki veya çevresindeki metalik kılıfların (muhafazaların) etkisi
- Çalışma frekansı
- Alternatif akım güç girişi

Üretim miktarı indüktör dizaynını etkiler. Parçalar bir konveyör ya da döner tabla üzerinde taşınırken, takılmadan ısıtma bölgesine girip çıkabilen yassı ya da firkete tipi indüktörlerle sert lehimlenebilirler. (Oğuz, 1988)

İndüksiyon lehimlemesi genellikle birleşme bölgesinden yüksek mekanik dayanım ve ısı direnç istenen parçalar için kullanılır. Birleşme bölgesinin dayanımı birleşmenin dizaynına, lehim alaşımına, ana malzemelerin dayanımına ve ana malzemeler arasındaki boşluğa bağlıdır. 0,038 mm. – 0,050 mm. arasındaki bir boşluk uygundur. (ASM Handbook V.6, 1993)

Lehimleme operasyonlarının çoğunda ısıtılacak olan kütlelerin hassas olarak belirlenmesi zordur. İndüksiyonla lehimlemede de aynı olgu geçerlidir. Isı, birleşme bölgesinden kondüksiyonla yayılmakta ve indüksiyonla ısıtılmış bölgenin ötesine doğru uzanan bir sıcaklık gradyanı oluşmaktadır. Bu da birleştirme için sisteme verilmesi gereken ısı enerjisini artırır. Bunun yanında bir miktar ısı da radyasyonla kaçan enerjiyi karşılamak için kullanılır; ancak indüksiyonla lehimlemede sıcaklıklar (620 °C - 815 °C arası) genellikle çok yüksek değildir. Dolayısıyla radyasyonla ısı kaçıışı da göreceli olarak düşüktür ve ihmal edilebilir.

Yüksek güç kullanarak büyük ısıtma hızlarına çıkmak verimliliği artırırken sorunlara da yol açabilmektedir. Çok hızlı ısıtma elektrik direnci ve ısı gerilim etkilerini büyütür. Diğer taraftan düşük ısıtma hızları, farklı tipteki ve kütledeki ana malzemeleri birleştirirken çıkabilecek sorunların telafi edilmesini sağlayabilir.

Kullanılan elektrik kaynağının akım frekansı da indüksiyonla lehimlemenin önemli parametrelerinden biridir. Lehimleme işlemlerinde 10 - 450 kHz arasındaki akım frekansları kullanılabilir. Birleştirilecek parçalardan birinin kütlesi büyük olduğunda düşük

frekanslar daha derin ve uniform ısıtma sağlamaktadır. Yüksek frekanslar ise demir dışı metallerin veya çeliğin bir demir dışı metale lehimlenmesinde daha iyi sonuç verir. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997)

3.3.3 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. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

3.3.4 Uygulama Tekniği

İndüksiyonla lehimlemede birleşme bölgesinin tasarımı önemlidir. Birleşme bölgesi tasarımında özellikle dikkat edilmesi gereken noktalar şöyle özetlenebilir:

- Isıtma şekli (bobin şekli), ısıtma hızı
- Lehim malzemesini lehimleme bölgesine yerleştirme metodu
- Birleştirilecek parçalar arasındaki (birleşme bölgesindeki) boşluk
- Birleştirilecek parçaların ısı iletim, ısıl gerilim ve ısıl genleşme karakteristikleri

İndüksiyon sert lehimlemesi için ilave metalde aranan farklı nitelik, dar ergime aralığıdır. Geniş ergime aralıklı ilave metaller daha yavaş akar ve likidasyona daha eğilimli olurlar. İndüksiyon sert lehimlemesinde çevrim süreleri kısa olduğundan, hızlı akış özellikle aranır.

Daha önce de belirtildiği gibi yöntem otomasyona uygundur ve tam ve yarı otomasyonlu birçok sistemde kullanılmaktadır. Tam otomasyonlu sistemlerde operatör sadece işlemin sürekliliğini kontrol ederken; yarı otomasyonlu sistemlerde parça yükleme ve bitmiş parçayı sistemden boşaltma aşamalarında görev alır. Her iki durumda da kalifiye bir operatöre ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla beraber kontrollü atmosferlerde lehimlenmesi gereken karmaşık parçaların (örneğin elektron tüpleri) imalatı için kalifiye operatör veya özel eğitimler gerekebilir. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

3.4 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.

Yukarıda da belirtildiği gibi bu yöntemde iş parçaları bölgesel olarak ısınır ve bunların arasına önceden yerleştirilmiş lehim malzemesi, elektrotlarla parça arasından elektrik akımının geçişine gösterilen dirençten elde edilen ısıyla ergir. Uygulamada, ısıtma akımı birleşmenin kendisinden geçer. İşlem için direnç kaynağı donanımı kullanılır ve birleşme yerinde elektrik temasını sağlayacak gerekli basınç, elektrotlar tarafından uygulanır. Elektrot basıncı aynı zamanda kapiler davranış için gerekli sıkı alıştırmayı da sağlar. Direnç sert lehimlemesi için ısı, elektrik direncine ve boyutlarına bağlı olarak iş parçalarında, elektrotlarda veya her ikisinde birden yaratılabilir.

3.4.1 Avantajlar ve Sınırlamalar

Yöntemin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Çok hızlı ve bölgesel ısıtma
- Isıtma için alev kullanılmayan; temiz operasyon
- Kontrolü kolay ve hassas lehimleme
- Kalifiye elemana ihtiyaç olmadan yüksek kaliteli birleşme sağlanabilmesi
- Düşük ekipman maliyetleri (Bir transformatör ve bir çift elektrot ile birçok farklı tipte birleştirme yapılabilir)

Yöntemin dezavantajları ise kullanım sınırlamalarından ortaya çıkmaktadır. Direnç sert lehimlemesi aşağıdaki hallerde kullanışlı değildir:

- 1300 mm²'yi geçen birleştirme yüzey alanları
- Büyük veya ağır iş parçaları
- Değişken kalınlıklı veya karmaşık şekilli iş parçaları (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

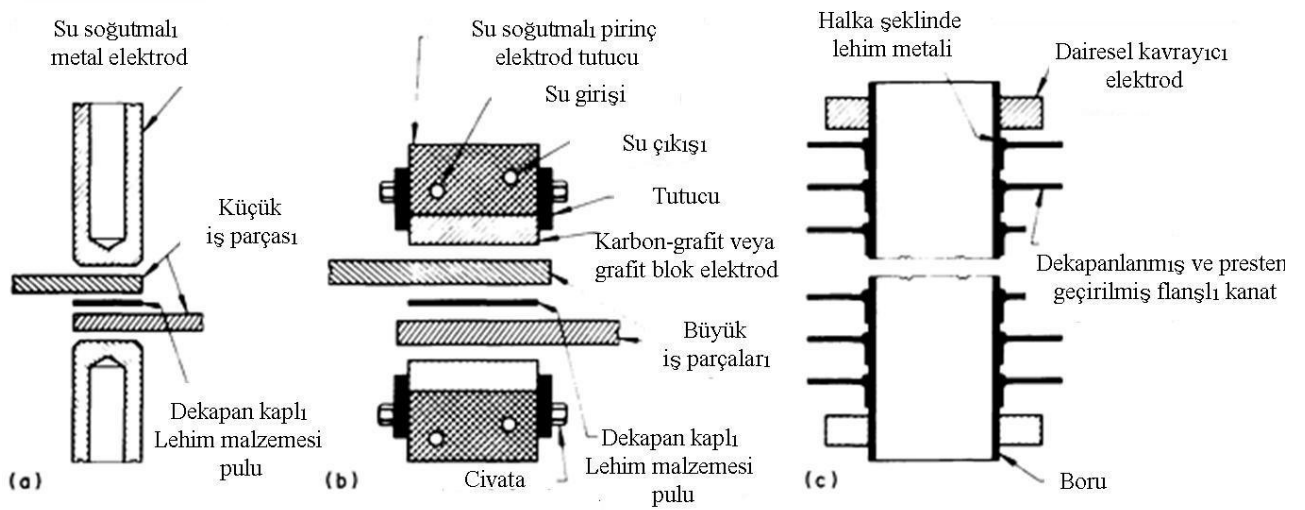
3.4.2 Temel Prensipler

Direnç sert lehimlemesinde en önemli parametreler iş parçası malzemesi, iş parçası boyutları,

iş parçası şekli ve birleşme bölgesi dizaynıdır. İş parçası malzemesi, kullanılacak elektrot ve lehim malzemesinin seçilmesinde en belirleyici faktördür.

Yüksek elektrik direncine sahip iş parçalarının düşük dirençli elektrotlarla birleştirilmesi gerekirken; düşük elektrik direncine sahip iş parçalarında durum tam tersine olmalıdır. İş parçalarından en az biri yüksek elektrik dirençli bir malzemeyse ve yeterli kütleye sahipse elektrotlar yüksek kondüktiviteli (düşük dirençli) seçilebilir. Böyle bir iş parçası kombinasyonuna elektrik verildiğinde sıcaklık artışı yüksek elektrik direncine sahip olan iş parçasında oluşur. Bunun tersine, tüm iş parçaları düşük elektrik direncine sahipse sistemin sıcaklığını arttırmak zor olmaktadır. Bu durumda parçalar üzerinden geçen elektrik akımı yeterli ısının oluşmasını sağlayamaz; elektrotlar kendi elektriksel dirençleriyle gerekli olan ısıyı sağlamalıdır. Sonuç olarak yüksek kondüktiviteli malzemelerin direnç sert lehimlemesinde grafit; bazı durumlarda da tungsten veya molibden elektrotlar kullanılır. Elektrotlarda oluşturulan ısı, elektrot – iş parçası temas noktalarından malzemelere aktarılır.

Direnç sert lehimlemesi otomasyona uygun bir yöntemdir. Bununla beraber yaygın olarak otomasyonsuz sistemlerde kullanılmaktadır. Ekipman açısından elektrik direnç kaynağından bir farkı yoktur; ancak direnç sert lehimlemesinde, kaynağa göre, daha az basınçla daha uzun akım geçişi süresi gereklidir. Elle direnç sert lehimlemesinde elektrotlar yüksek dirençli parçalar için genellikle krom-pirinç, gümüş-tungsten veya pirinç-tungsten tutuculara bağlanır. Düşük elektrik dirençli parçalar için ise grafit, molibden veya tungsten tutucular kullanılır. Grafit elektrotların malzeme ve işleme maliyetleri düşüktür; ancak atmosfer etkisiyle oksitlenmeye maruz kalırlar. Çok nadir olmakla beraber çelik elektrotlar da kullanılabilir. (ASM Handbook V.6, 1993; Degarmo vd., 2003)



Şekil 3.6 Direnç sert lehimlemesi için uygulamalar: (a) karşılıklı suyla soğutulmuş metal

elektrotlar (normal direnç kaynağı tipi) kullanan küçük yassı parçalar; (b) suyla soğutulmuş bakır alaşımından taşıyıcılara bağlanmış karşılıklı karbon blok elektrotları kullanan büyük yassı parçalar, (c) dairesel olarak kavrayan elektrotların kullanıldığı boruya kanat sert lehimlenmesi. (ASM Handbook V.6)

3.4.3 Uygulama Alanları

Direnç sert lehimlemesi çoğunlukla basit görünüşlü birleştirmelere uygulanır. Sert lehimlenecek alanın geniş ya da süresiz veya bir eksende çok daha uzun olması halinde uniform akım dağılımı, ve dolayısıyla, uniform ısıtma elde etmek güçtür. Direnç sert lehimlemesinin uygulanacağı parçalar, sert lehimleme sıcaklığında şekil bozulmasına uğramadan basınca dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Daha önce de belirtildiği gibi dirençle sert lehimlenebilecek iş parçalarının lehimleme yüzeyleri 1300 mm²'ye kadar çıkabilir.

Yöntem, maksimum yerel sıcaklığın iş parçalarının ergime noktasından aşağı olmasının gerektiği yerlerde ele alınır. 600°C - 820°C arasında akan ilave metaller sıradan birçok metalin direnç sert lehimlenmesinde kullanılır.

Direnç sert lehimlemesiyle en sık birleştirilen metal bakır olup yüksek elektrik dirençli elektrotlarla çalışma, ana metal ergimeden 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.

Bu yöntem nadiren olmakla beraber çelik ve alaşımı metallerden yapılmış birleştirmelere de uygulanır. Isı eşanjörleri için alçak karbonlu çelik borulara çelik veya başka metalden kanallar direnç sert lehimlemesiyle birleştirilmektedir.

Paslanmaz çelik, nikel alaşımları ve alüminyum, direnç sert lehimlenmesiyle sınırlı ölçüde birleştirilir. (Oğuz, 1988)

3.4.4 Uygulama Tekniği

Tüm işlem parametreleri uygun olarak seçildiğinde direnç sert lehimlemesinin kalitesini etkileyen en önemli faktörler şöyle sıralanabilir:

- İş parçası ve lehim malzemesinin yüzeylerinin temizliği
- Uygun birleştirme bölgesi tasarımı
- Lehimleme sıcaklığına ulaşmada uniform ısıtma
- Lehimleme işlemi sırasında sıcaklığı sabit ve uniform tutma
- İş parçalarını belirlenen lehimleme süresinden daha uzun süre ısıtmamak
- İş parçaları üzerinde uygun basıncı sağlamak ve devam ettirebilmek

İş parçası ve lehim malzemesi temizliği direnç sert lehimlemesinde diğer tüm lehimleme yöntemlerinden daha fazla ön plana çıkmaktadır. Üfleç, fırın, indüksiyon sert lehimlemelerinde lehimleme bölgesinin etrafındaki atmosfer daha kolay kontrol edilebilmekte ve yüzey oksitlerinin oluşumu daha kolay önlenebilmektedir. Neredeyse tüm yabancı maddeler (yağ, toz, aşındırıcı parçacıklar, oksitler vb.) lehim malzemesinin akışını etkili bir şekilde engeller. Lehimleme sıcaklığında bu yabancı maddelerin birçoğu buharlaşır. Buharlaşmayla genleşen yabancı maddeler lehimleme bölgesinde hapsolursa (büyük birleşme bölgelerinde bile) iyi bir birleştirmeyi engeller. Direnç sert lehimlemesinde bu risk fazladır.

İş parçaları ya da elektrotların elektriksel kondüktiviteleri ne olursa olsun, birleşim bölgesinde maksimum elektrot – iş parçası temas yüzeyini sağlayacak elektrot yerleşiminin sağlanması gereklidir. Temas yüzeyinin en uygun boyutu lehim malzemesinin alanı kadar olmalıdır; ancak konstrüktif sınırlamalardan dolayı temas yüzeyinin küçültülmesi gerekirse lehim malzemesi alanının yarısından daha aza indirilmemelidir.

Yüksek kondüktiviteli elektrotlar için maksimum temas yüzeyi en iyi şartı sağlar. Bunun sebepleri:

- Elektrot – iş parçası ara yüzey direnci en aza indirilerek elektrot ömrü uzatılır ve iş parçası yüzeyinde bölgesel fazla ısınmaların oluşması engellenir.
- İş parçasına akım geçişi daha homojen dağılımlı olur ve daha uniform ısıtma sağlanır.

Düşük kondüktiviteli elektrotlar kullanıldığında maksimum temas yüzeyi daha da önemlidir. Çünkü iş parçası elektrot yüzeylerindeki ısının geçişiyle ısıtılmaktadır.

Ergimiş lehim malzemesi en sıcak bölgeye akma eğilimi gösterdiğinden uniform ısıtma

önemlidir. Bu nedenle elektrot şeklinin lehimleme bölgesi konturuna uygun olması gereklidir.

Lehimleme bölgesinde çok fazla basınç uygulandığında ergimiş dolgu metali birleşme bölgesinin dışına kaçabilir ve lehimleme merkezi etrafında yörüngesel bir birleşme bölgesi ortaya çıkabilir. Diğer taraftan yetersiz basınç uygulandığında çok kalın bir lehim tabakası oluşur ve birleşme bölgesinde düşük mekanik dayanıma ulaşılır.

Taşınabilir kaynak kısıkaçları (elektrot tutucular) kullanılarak, iri parçaların ya da standart direnç kaynağı makinelerinin ulaşamadığı konstrüksiyonların sert lehimlenmesi sağlanabilmektedir.

Az çok bütün direnç sert lehimlemelerinde bir dekapan gereklidir, öbür sert lehimleme yöntemlerindeki işlevlerine ek olarak burada akımın birleştirme arasından geçmesine müsaade eden bir iletken olarak da iş görür. Kuru dekapanların çoğu iletken olmayıp akımı geçirmeleri için suyla karıştırılmalıdırlar. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

3.5 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.

Yöntem en eski sert lehimleme yöntemlerinden biridir. Modern sert lehimleme yöntemlerine kıyasla daha basit olmakla beraber; parçaların ve fikstürün tamamen dekapanla ya da lehim alaşımıyla kaplanması önemli bir dezavantajdır. Dekapan fikstür ve etrafındaki metal yapılarda korozyona sebep olabilmektedir. Ancak buna rağmen yöntem, daldırmayla ısıtmanın yüksek hızı nedeniyle günümüzde de yoğun olarak kullanılmaktadır. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

3.5.1 Avantajlar ve Sınırlamalar

Daldırma sert lehimlemesinin yararları şöyle sıralanabilir:

- Isıtma süresi, kontrollü atmosferli fırındaki ısıtma süresinin yaklaşık dörtte biridir.
- Çıkıntılı birleştirmeler, sadece o kısımlar daldırılarak sert lehimlenebilir.
- Soğuk parçalar ergimiş tuza daldırılınca etraflarında aniden donmuş bir tuz kozası oluşur ve bu, geçici bir yalıtkanlık meydana getirerek genellikle lehim alaşımının

erken ergimesini önler.

- Uygun bir tuz bileşimi seçilerek çoğu kez iş parçasının ısıtılma ve dekapanlanması beraberce yapılabilir. Dekapan, birleşme yerine önceden de sürülüp kurutulabilir.
- Genellikle sert lehimleme işlemi, ayrıca bir yeniden ısıtmaya gerek olmadan, sementasyon ya da sertleştirme işlemleriyle birleştirilebilir.
- Aynı anda birden fazla birleştirme gerçekleştirilebilir; parça sayısı sınırlaması sadece ocağın boyut ve ısıtma kapasitesine bağlıdır.
- İş parçası, tuz banyosundan çıkarıldığında üzerine yapışmış olan ince tuz filmi tarafından tufalleşme ya da dekarbürasyondan korunur.
- Tuz filminin temizlenmesi suya daldırma veya yıkama işlemleriyle olur. Dekapan temizlemeye gerek kalmaz. Dekapan ya sert lehimleme işlemi sırasında yok olur ya da yıkamada tuz filmiyle birlikte erir.
- Yöntem esas itibariyle sürekli ve seri üretime uygundur.

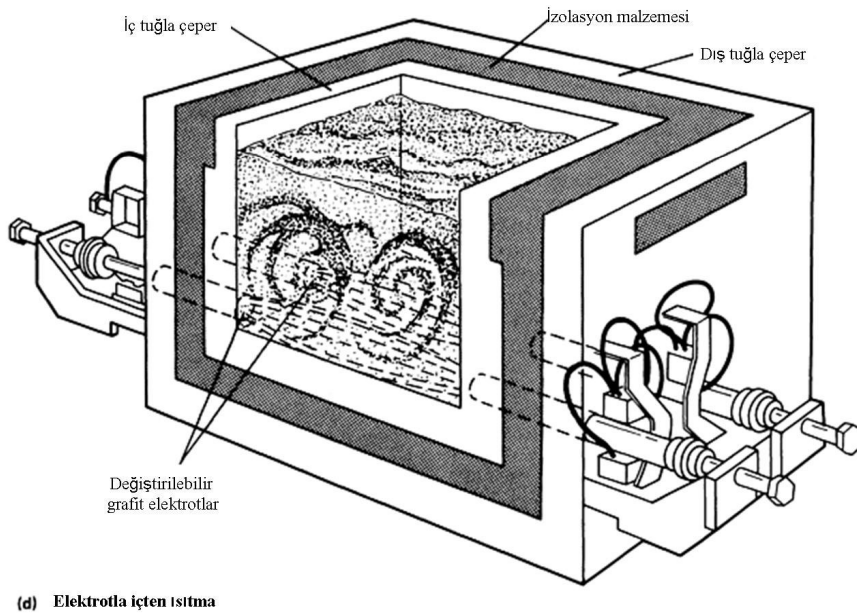
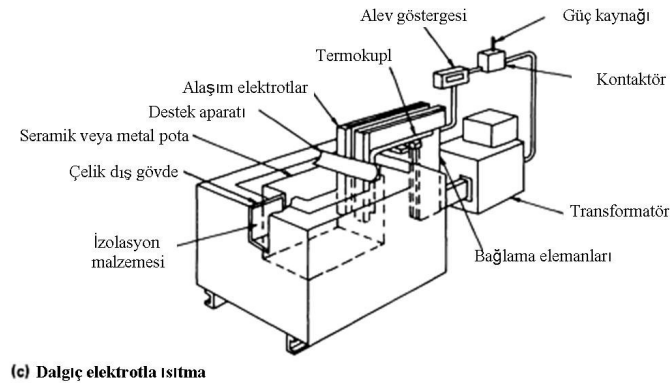
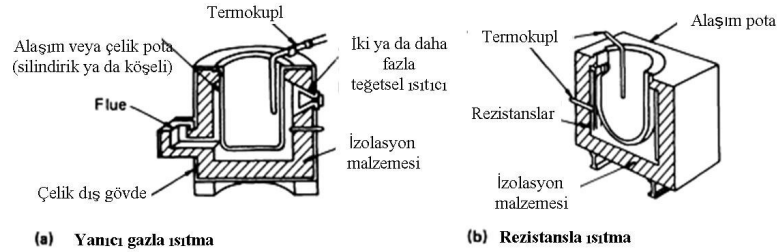
Sınırlamaları ise şunlardır:

- Yöntem seri üretim için kullanılmadığında yüksek maliyetlidir.
- Çıkıntılı olmayan bölümler kısmi daldırmayla sert lehimlenemez; parçaların bütününe daldırılması ve ısıtılması gerekir.
- Banyo olarak ergimiş tuz kullanıldığında iş parçaları kuru ve rutubetten arındırılmış olmalıdır. Ergimiş tuz rutubetle şiddetli reaksiyona girer, sıçrar ve hatta patlayabilir. Bu nedenle rutubetten kuşku edilen durumlarda bütün iş parçaları önceden ısıtılmalıdır.
- Şamandıra-flotör gibi parçalar kolayca batırılmadıklarından bunların daldırmayla sert lehimlenmeleri zordur.
- Parçalar, araya hava veya tuz sıkıştırmayacak ve banyodan çıkarıldıklarında tamamen süzülebiyecek biçimde olmalıdır. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997)

3.5.2 Temel Prensipler

Daldırma sert lehimlemesi sistemleri fırın tipi, ısıtma yöntemi ve kullanılan ısıtıcı ekipmanlara göre tanımlanabilir. Bir lehimleme banyosu ocağı esas itibariyle, ergimiş banyo

kabı görevini yapan bir metal ya da seramik (refrakter) potadan ibarettir. Isıtma elektrik veya yanıcı gaz yöntemleriyle gerçekleştirilebilir. Ergimiş dekapan kullanılan yöntemlerde elektrikle ısıtma tercih edilir. Bunun sebebi ergimiş dekapanın yüksek elektrik direncidir. Ayrıca dalgıç elektrotlarla içten ısıtılan fırınlar, aralıklı işlemlerden çok sürekli üretime daha uygundur.



Şekil 3.7 Daldırma sert lehimlemesi için temel ergimiş tuz banyosu tipleri: (a) ve (b) dıştan ısıtmalı (c) ve (d) içten ısıtmalı (ASM Handbook V.6)

Ergimiş metal banyosunda sert lehimlenecek parçalar önceden temizlenmeli, çoğu kez de daldırılmadan önce bir dekapanla korunmalıdır. Dekapan banyosuna daldırmada herhangi bir dekapan artığı, soğumadan sonra suda yıkanarak veya kimyasal yollarla temizlenmelidir.

Ergimiş tuzlar ya da metaller içinde sert lehimleme süresi nadiren iki dakikayı aşar. Bu nedenle yöntem otomasyona uygundur. Sıvı ortam içinde bu uniform ve hızlı ısıtma, parçaların çarpılma, tane büyümesi, dekarbürasyon vb. düzeyini ciddi şekilde azaltmaktadır. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de çeşitli iş parçası alaşımları için kullanılan banyolar ve işlem parametreleri görülmektedir. (ASM Handbook V.6, 1993; Degarmo vd., 2003)

Çizelge 3.1 Çeşitli iş parçası alaşımları için kullanılan banyolar ve işlem parametreleri (ASM Handbook V.6)

İş Parçası Malzemesi	Sıcaklık (°C)	Lehim Malzemesi	Banyo
Alüminyum	1000-1140	(A)	Florid-Klorid Tabanlı
Pirinç	1500-1600	BCUP(B)	Klorid Tabanlı
Demir Esaslı	1675-1750	RBCUZN	Klorid Tabanlı + Boraks (C)
Demir Esaslı ve Demir Dışı	1800-2200	BNI	Siyanid Tabanlı
	2050	BCU	Klorid Tabanlı
	1250-1850	BAG (D)	Klorid Tabanlı

- (A) Tuz banyosu hem dolgu malzemesi hem de ısıtma görevi yapar.
- (B) Kendi kendine dekapanlama
- (C) Pirinç yaşlanma korozyonu oluşmaz
- (D) Ayrı dekapan gereklidir

Çizelge 3.2 Karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çelikler için kullanılan lehim malzemeleri ve uygun banyolar (ASM Handbook V.6)

Lehim Malzemesi	Banyo Tipi	Uygun Kimyasal Bileşim (%)	Sıcaklık (°C) (A)
BAG-1	Nötral	55 BACL ₂ , 25 NACL, 20 KCL	620-870
ve BAG- 8 arası, BAG-18	Siyanidleme - dekaplanlama	20-30 NA ₂ CO ₃ , 20-30 KCL, 30-40 NACN	650-870
	Nötral	50 NACL, 50 KCL	730-870
RBCUZN-A	Nötral	80 BACL ₂ , 20 NACL	915-940
	Dekapanlama	79 BACL ₂ , 20 NACL, 1 Boraks	915-940
	Karbürleme – dekaplanlama (suda çözünebilen)	30 NACL, 30 KCL, 20 Karbonat, 15-20 NACN, Aktivatör	915-940
	Karbürleme ve kendini dekaplanlama	50 Karbonat, 50 Klorid ve grafit ilavesi (B)	815-925
RBCUZN-D	Nötral	90 BACL ₂ , 10 NACL	1040-1050
BCU-1 ve 1A	Nötral	95 BACL ₂ , 5 NACL	1095-1150
	Nötral	100 BACL ₂	1095-1150

- (A) Gösterilen sıcaklıklar tuz banyosu sıcaklıklarıdır.
- (B) Mekanik çalkalamayla kullanılır.

Nötral tuzlar iş parçası yüzeyine herhangi bir etkide bulunmaz; sadece yüzeyi havanın oksitleme etkisinden korur. Nötral tuz banyosuna daldırılmadan önce parça yüzeylerine uygulanmış ve kurumuş dekaplan, banyoya daldırıldığında çözünür ve yüzeyden kaçır. Bu nedenle tuz banyosunda lehimleme işleminde dekaplan temizlemeye genellikle gerek kalmaz.

Boraks ve kriyolit gibi dekaplanlama kimyasalları nötral klorid tuz banyolarına eklenerek dekaplanlayıcı etkisi olan bir ortam elde edilir. Karbürleyici ve siyanürleyici tuzlar kendi dekaplanlama özelliklerine sahiptir. Bu banyolar parça yüzeyine karbon veya karbon – azot

beslemesi de yaparlar.

3.5.3 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.

3.5.4 Uygulama Tekniği

Lehim malzemesinin iyi bir akış ve doldurma özelliği göstermesi için dekapan içeren bir ortam kullanılması şarttır. Dekapan iş parçalarına lehimlemeden önce veya lehimleme esnasında; fırçalama, daldırma veya püskürtme gibi yöntemlerle uygulanabilir. Dekapan uygulanmasından sonra iş parçaları üzerinde nem kaldığında, tuz banyosuna daldırmadan önce kurutma yapılmalıdır.

Çizelgede belirtilen lehim malzemeleri daldırma sırasında birleşme bölgesiyle temas halinde olmalıdır. Bunu sağlamak için tel, plaka, parçacık, macun veya kılıf şeklinde lehim malzemeleri kullanılır. Özel birleşme bölgesi şekilleri için halka şekilli veya diğer farklı biçimlerde lehim malzemesi de kullanılabilir. (ASM Handbook V.6, 1993)

3.6 Ekzotermik Sert Lehimleme

Ekzotermik sert lehimlemede ısı, uygun katı, sıvı veya gaz halindeki maddeler arasında oluşturulan ekzotermik kimyasal bir reaksiyon tarafından meydana getirilir. Bu yönüyle termit kaynağına benzetilebilir; ancak ekzotermik sert lehimlemede dolgu malzemesi ekzotermik ısı kaynağının bir parçası değildir. Dolayısıyla lehim bölgesi, reaksiyondan kalan artık maddeleri içermez. Birleştirme alanının sıcaklığı, uygun bir metal-metal oksidin ekzotermik karışımının bileşenleri arasında oluşturulan bir ekzotermik reaksiyondan ortaya çıkan ısı tarafından yükseltilir.

Bileşimine bağlı olarak karışım, sadece ısıtma amacıyla kullanılabilmesi gibi ilave metali de oluşturabilir. Bu takdirde ilave metal reaksiyon ürünleri arasında bulunmalıdır. Böyle bir durumda ekzotermik reaksiyon, iki ya da daha fazla ergime noktası düşürücü element arasında, daha yüksek ergime noktalı bir bileşik meydana getirmek üzere oluşur. Bu ise, heterojen dolgu metalini meydana getiren intermetalik bir bileşiktir. Bu tip bir reaksiyon sırasında yüzey oksitleri ortamdan uzaklaşır ya da parçalanarak yok olur. Dolayısıyla koruyucu atmosfer ya da dekapana da ihtiyaç kalmaz. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz,

1988)

3.6.1 Avantajlar ve Sınırlamalar

Yöntemin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Hızlı çevrim süresi (20 – 30 sn.)
- Bölgesel ısı girdisi
- Ekipman basitliği ve kolay taşınabilirliği
- Dolgu metalinin önceden yerleştirilmesi

Yöntemin sınırlamaları ise şunlardır:

- Farklı birleşme bölgesi tasarımlarını etkili bir biçimde lehimleyebilmek için fiili üretimden önce deneme yapmak gereklidir
- Yanıcı ve yüksek ısı üreten maddeler kullanıldığında uygulama için gerekli güvenlik önlemleri ayrıntılı olarak değerlendirilip ele alınmalıdır.
- Dolgu malzemesi seçimi ekzotermik malzemenin termodinamik özelliklerine bağlı olduğundan sınırlıdır. (ASM Handbook V.6, 1993)

3.6.2 Temel Prensipler

Refrakter metaller ile demir ve pirinç alaşımlarını birleştirmede kullanılan konvansiyonel lehim alaşımlarını eritmeye yetecek kadar ısı üreten ekzotermik bileşikler geliştirilmiştir. Heterojen bir dolgu metali oluşturan alüminyum bileşikleri de alüminyum alaşımlarının ekzotermik sert lehimlenmesinde kullanılabilir.

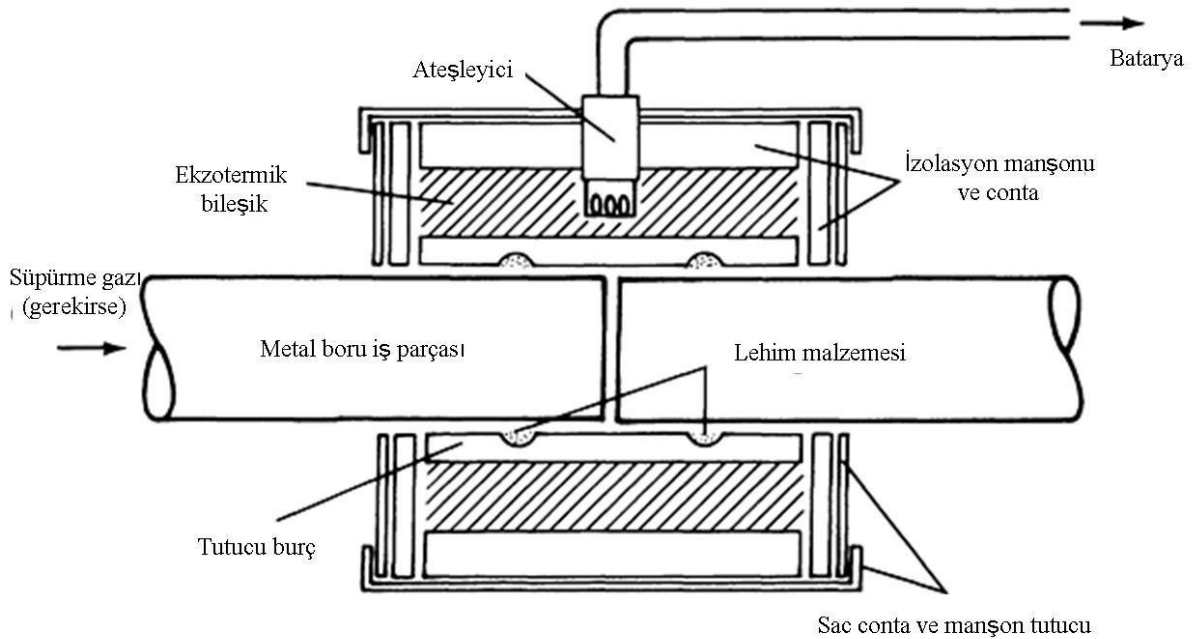
Aşağıdaki çizelgede ısıtmada kullanılan bazı ekzotermik karışım örnekleri görülmektedir.

Çizelge 3.3 ısıtmada kullanılan bazı ekzotermik karışım örnekleri (Oğuz, 1988)

Oksit	Toz halinde metal - metal oksit karışımının yanma sıcaklıkları					
	Mg	Al	Ti	Zn	B	Fe
CuO	565	899	521	590	499	460
MnO	549	899	—	560	582	—

Fe_2O_3	616	927	804	574	577	—
V_2O_5	843	473	543	—	560	—

Birleştirme sırasında karışım tabletler şeklinde konabilir veya sert lehimlenecek yüzeye sürülebilir. Bu tekniğin bir sakıncası, ince cidarlı ana metallerin ekzotermik reaksiyon ısısının etkisiyle çok fazla çarpılmasıdır. Şekil 3.8’de boru şekilli parçaların ekzotermik sert lehimlemesi için kullanılan sistem şematik olarak görülmektedir. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)



Şekil 3.8 Boru şekilli parçaların ekzotermik sert lehimlemesi için kullanılan sistem (ASM Handbook V.6)

3.6.3 Uygulama Alanları

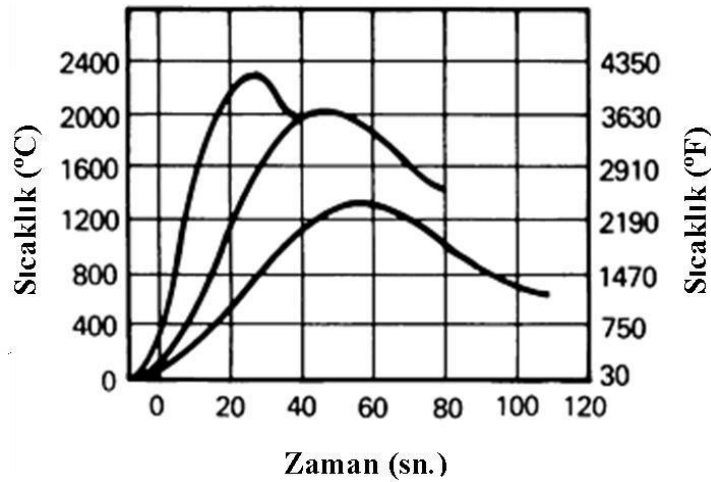
Ekzotermik lehimleme işlemi çoğunlukla ulaşılamayan bölgelerdeki birleştirmeler, fiziksel olarak karmaşık olan yapılar ve kısa bir süre içerisinde bölgesel ısıtma gerektiren uygulamalarda kullanılır. (ASM Handbook V.6, 1993)

3.6.4 Uygulama Tekniği

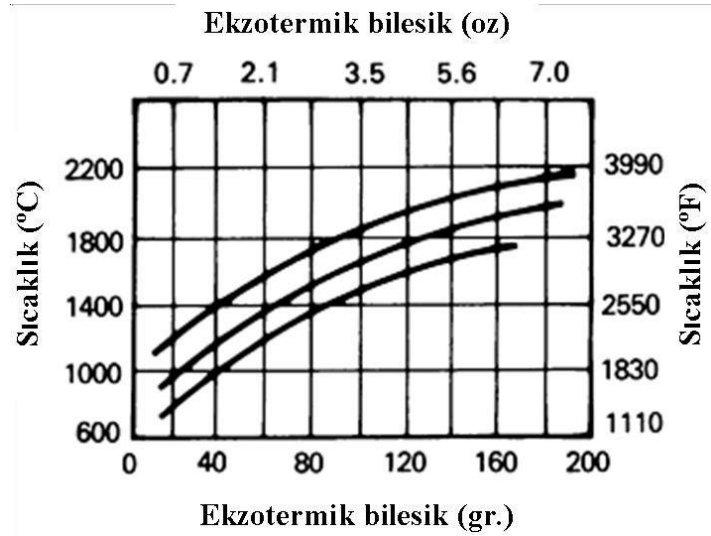
Ekzotermik lehimleme işleminde dikkat edilmesi gereken noktalar ve uygulama adımları (birleşme bölgesi tasarımı, malzeme seçimi, yüzey hazırlama vb.) temel olarak diğer sert lehimleme yöntemleriyle aynıdır. Ancak bunlara ek olarak ekzotermik bileşiğin ve

kullanılacak bileşik miktarının seçilmesi ile birleşme montajı düzenlemesinin yapılması gerekir.

Birleşme bölgesi kütlesinin ısınma zamanına etkisi ve istenilen sıcaklığa ulaşmak için gerekli ekzotermik bileşik kütlesi Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da görülmektedir. Ekzotermik malzeme genellikle birleştirilecek bölgenin etrafına veya üzerine uygulanır ve elektrikli ateşleyici ekzotermik bileşiğe gömülür. İş parçaları ve birleşme bölgesi de genellikle seramik veya seramik – fiber malzemeyle izole edilir ve metal sac ya da folyo ile kaplanarak sabitlenir. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997)



Şekil 3.9 Ekzotermik sert lehimlemede ısınma süresi eğrileri. Büyük kütleler daha uzun ısınma zamanlarına gereksinim duymakta ve sabit miktarda ekzotermik bileşik için daha düşük maksimum sıcaklıklara ulaşmaktadır. (AWS Welding Encyclopedia, 1997)



Şekil 3.10 Ekzotermik sert lehimlemede ısınma ekzotermik bileşik kütlesine bağlı olarak ulaşılan maksimum sıcaklıklar. Belli bir ekzotermik bileşik sabit bir birleşme bölgesi kütlesi için tek bir karakteristik eğri oluşturmaktadır. (AWS Welding Encyclopedia, 1997)

3.7 Difüzyon Sert Lehimlemesi

Difüzyon sert lehimlemesinde ergimiş dolgu malzemesi, kapiler etkiyle veya yüzeyler arasında lehimleme esnasında oluşan sıvı faz formun akışıyla, lehim boşluğunu doldurur ve ana malzemelere difüze olur. Lehim malzemesinin difüzyonu, ana malzemeyle lehim malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri neredeyse tamamen aynı olana kadar devam eder. İşlem sırasında basınç uygulanabilir.

Birleşmenin, ilave metalin solidus sıcaklığının üstünde bir noktada katılaştığı kapiler sert lehimleme süreci de, difüzyon sert lehimlemesi olarak adlandırılır. Böyle bir difüzyon sert lehimlemesinde ilave metalin alçak ergime noktalı bileşenleri, birleşme yerinden atılmadan difüzyon sert lehimlemesi meydana gelmez. Bu bileşenlerin atılması; ana metal içine difüzyonları, buharlaşmaları veya refrakter kimyasal birleşikler halinde ana malzemelere bağlanmaları ile gerçekleştirilebilir. (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

3.7.1 Avantajlar ve Sınırlamalar

Difüzyon sert lehimlemesinin birleştirme tekniği olarak kullanılmasındaki amaç, birleşme iç yapısını mümkün olduğu kadar dengeye yakın bir hale getirmek, sert lehimin sökülme sıcaklığını, birleşme mukavemet ve sünekliğini, elektriksel iletkenliğini artırmak; iç yapıda zayıf ve gevrek metaller arası ara tabaka oluşması olasılığını ortadan kaldırmak ve ana metallerin özelliklerinde ciddi kayıplara yol açmadan korozyon direncini arttırmaktır. Yöntemin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Ana malzemelerin mikro yapısına ve özelliklerine çok benzer mikro yapıya ve özelliklere sahip birleşme bölgeleri elde edilebilir. Özellikle hafif konstrüksiyonlar için bu önemlidir.
- İş parçaları minimum şekilsel bozulma ile ve lehimleme sonrası işleme – şekillendirmeye ihtiyaç kalmadan birleştirilebilir.
- Bir iş parçasındaki birden fazla lehimleme işlemi aynı anda yapılabilir.
- Büyük iş parçalarının birleştirilmesinde bölgesel ısıtma yeterli olmaktadır.

Yöntemin sınırlamaları ise şunlardır:

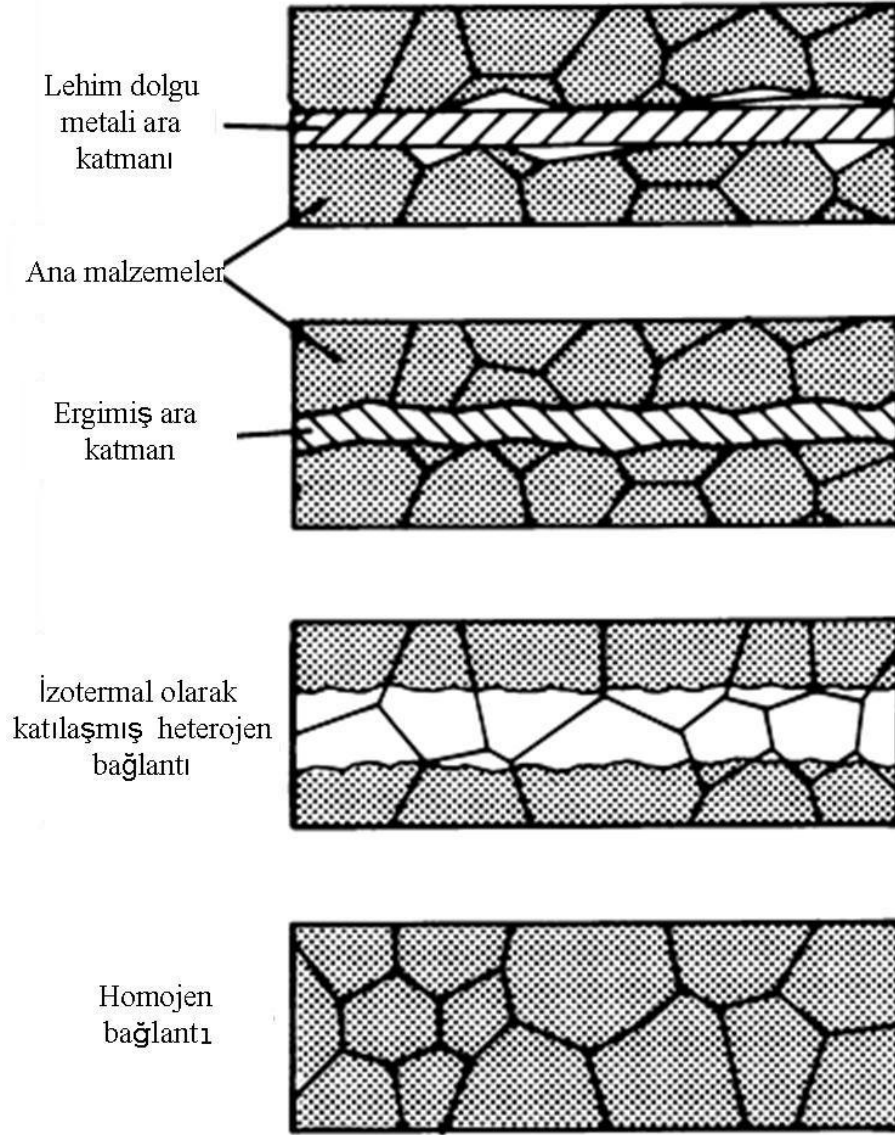
- Termal çevrim süresi diğer yöntemlerden daha uzundur.
- Ekipman maliyetleri yüksektir ve bu nedenle birleştirilecek parça boyutları belli bir sınırın üstüne çıkarılamaz.

- Birçok birleşme bölgesi aynı anda lehimlenebilse de yöntem yüksek üretim hızlarına ve otomasyona uygun değildir.
- Kalite kontrol için gerekli tahribatsız muayene yöntemleri kullanılamamaktadır.
- Tüm malzemeler için uygun dolgu metalleri henüz geliştirilememiştir.
- Birleşme yüzeylerinin hazırlanması ve iş parçalarının konumlanması genellikle diğer lehimleme yöntemlerinden daha hassas olarak yapılmalıdır. Yüzey pürüzsüzlüğü, difüzyon lehimlemesinin kalite kontrol aşamasında önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Isı ve basıncın beraber uygulandığı durumlarda vakum veya koruyucu gaz atmosferi kullanılmalıdır. Bu da özel ekipman gerektiren bir faktördür. (Degarmo vd., 2003)

3.7.2 Temel Prensipler

Difüzyon lehimlemesinde iki önemli nokta bulunmaktadır. Bunlardan birincisi birleşme bölgesinde sıvı bir dolgu metali oluşturulması ve aktifleştirilmesidir. İkinci önemli nokta ise bu dolgu metalinin ana malzemeler içine geniş bir biçimde difüze olabilmesidir.

Difüzyon sert lehimlemesi genellikle orijinal birleşme bölgesinin tamamen ortadan kalkmasına sebep olur. Şekil 3.11’de yöntemin uygulanması ve iş parçalarına etkisi şematik olarak görülmektedir. (ASM Handbook V.6, 1993)



Şekil 3.11 Difüzyon sert lehimlemesi birleşme bölgesinin ortadan kalkmasıyla sonuçlanmaktadır (ASM Handbook V.6, 1993)

İlave metal bileşenlerinin ana metale aktarılmasıyla meydana getirilen difüzyon sert lehimlemesinin birinci aşamasında kapiler sert lehimleme tekniklerinde alışılmış olan katı ve sıvı fazlar arasındaki kısmi etkileşim yer alır. İkinci aşamada, sıvı faz yavaşça katılır. Üçüncü aşama ise, katı difüzyonun yayılma ve homojenleşme süreçleridir.

3.7.3 Uygulama Alanları

Difüzyon sert lehimlemesi havacılık ve uzay endüstrisinde, jet motoru parçalarının imalatında; ağırlıklı olarak titanyum, nikel, kobalt ve alüminyum alaşımlarının lehimlenmesinde kullanılır. Bununla birlikte birçok benzer ve farklı metal kombinasyonlarının birleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bunun sebebi difüzyonun tüm

lehimleme işlemlerinde az veya çok gerçekleşiyor olmasıdır. (ASM Handbook V.6, 1993)

3.7.4 Uygulama Tekniği

Difüzyon sert lehimlemesinde kullanıldığı şekliyle ilave metal, kısmen ya da tamamen ergimiş olabilir. Bu ergime bazen, ana metalle farklı metallere bir ya da daha çok ara tabaka arasında yüzey arasında temas reaksiyon ergimesi olup bu ara tabakalar kaplama, püskürtme vb. ile tatbik edilir veya parçalar arasına önceden yerleştirilir.

Bazı özel durumlarda yüksek sert lehimli sökme sıcaklığına sahip birleşmeler, ana metalin rekristalizasyonunun sonucu olarak tane büyümesine götürmeyen sıcaklıklarda difüzyon sert lehimlemesiyle gerçekleştirilebilirler. Bu ısıtma yolu özellikle titanyum, molibden ve tungsten alaşımlarının sert lehimlemesinde kullanılır.

Difüzyon sert lehimlemesi çoğunlukla özel fırınlarda gerçekleştirilir. Bununla beraber iki iş parçasını fırınlamadan önce indüksiyonla veya üfleçle ısıtarak, daha hassas bir difüzyon çevrimi elde etmek mümkündür. Ancak bu gibi durumlarda lehimleme süresi 30 dk.'dan 80 saate kadar çıkabilir.

Difüzyonla yapılan lehimleme işleminin kalitesi, lehim malzemesinin ana malzeme içersine ne miktarda difüze olduğuna bağlıdır. Oluşan difüzyon miktarı da aşağıdaki parametrelerin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır:

- Lehimleme sıcaklığı
- İş parçalarının lehimleme sıcaklığında tutulma zamanı
- Difüzyona için kullanılabilen dolgu metali miktarı
- Lehim malzemesi ve ana malzemenin karşılıklı çözünebilirlikleri (ASM Handbook V.6, 1993; Oğuz, 1988)

3.8 Diğer Sert Lehimleme Yöntemleri

3.8.1 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. (Oğuz, 1988)

3.8.2 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. (Oğuz, 1988)

3.8.3 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.

Lazer demetinin bir diğer avantajı, basit optik sistemlerle bile odaklaştırılabilmesinin kolay olmasıdır. Lazer demeti şeffaf (cam, kuvarz vb.) cisimlere nüfuz eder ve sızdırmaz (örneğin argonla dolu bir tüp gibi) bir cam kap içine konmuş iş parçasının sert lehimlenecek kısmına yöneltilir.

Bununla birlikte günümüz uygulamasında bu ısıtma tekniğinin ciddi bir sınırlaması vardır. Bu sınırlama, lazer emisyonunun mekan ve zaman anlamında uniform olmayışından ileri gelen çıkış enerjisi karşılığının istikrarlı olmayışındadır. Bu özellik, lazer üretiminin kristalin bütün kesit alanı boyunca değil; sadece belli bazı alanlarında oluşmasına sebep olur. Bunun sonucunda mozaik yapı olarak bilinen olgu ile ısıtılan yüzey alanında uniform olmayan bir sıcaklık

dağılımı meydana gelir.

Lazer demeti ağırlıklı olarak, mikro elektronik parçaların galium ilave metaliyle birleştirilmelerinde uygulama alanı bulmuştur. (Oğuz, 1988)

3.8.4 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 ısı 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.

Sert lehimlenecek parçaların arasına 4-6 cm²'lik ilave metal folyoları yerleştirilir. Sırasıyla 10 - 12 mm. veya 6 - 8 mm. çapında karbon veya grafit elektrotlar, iki çap boyunca uçları konikleştirilmiş olarak kullanılır.

Orta ve yüksek ergime noktalı ilave metallerle sert lehimlemeye ek olarak ark ısıtması, alçak ergime noktalı ilave metallerle lehimlemede de kullanılabilir. Ancak bu durumda lehim alaşımları çinko ve kadmiyum gibi yanıp, ark ısısının etkisiyle buharlaşan yüksek buhar basınçlı bileşenler içermemelidir. (Oğuz, 1988)

3.8.5 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 ısıtmayla 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.

Çelik, alüminyum ve pirincin ısıtılması yeterince yüksek voltajlar ve doğru akım şiddetlerini, yani yüksek güç jeneratörlerini gerektirir. Örneğin 100 cm² yüzey alanına sahip bir çelik silindiri 700°C'den 800°C'a çıkarmak için 400kVA'lık bir doğru akım jeneratörü gerekir.

Elektrolitik ısıtmada akım yoğunluğu dağılımı tekdüze olmaz. Özellikle keskin kenarlar ve çıkıntılı kısımları olan karmaşık şekilli parçalarda bu daha fazla görülür. Çıkıntı ve kenarlarda akım yoğunluğu diğer kısımlara göre daha fazladır. Akım yoğunluğunun uniform olmayışı

keskin kenarlı veya çıkıntılı bölümlerin fazla ısınmasını ve ergimesine sebep olabilir. Dolayısıyla akım yoğunluğunu azaltmak için bu bölümler bir kılıfla koruma altına alınır. Kılıf, ateş tuğlası gibi ateşe dayanıklı ve elektriksel olarak yalıtkan olan malzemelerden yapılır. Kılıfın şekli değiştirilerek ısıtılan parçanın yüzeyi üzerinde akım yoğunluğu uniform hale getirilebilir. Kılıfın parçaya hassas alıştırılması gerekmez; kılıf parçadan 2-3 mm uzakta olabilir ve onun kabaca şeklini almış olması yeterlidir. Ancak metallerin elektrolitik ısıtmasında elektriksel erozyon ortaya çıkar.

Yöntemin diğer sert lehimleme tekniklerine göre avantajları, otomatik çalışmada hızlı ısıtma, yüksek birleşme bölgesi kalitesi ve yüksek üretim hızları elde etmeye olanak sağlamasıdır. Ancak bu teknik sadece basit şekilli ve nispeten küçük boyutlu parçaların birleştirilmesine uygundur. (Oğuz, 1988)

3.8.6 Kızıl Ötesi Sert Lehimlemesi

Uygun reflektörler ve bazen parabolik odaklama düzenlemeleriyle birlikte yüksek şiddetli kuvartz 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. (Oğuz, 1988)

4. SERT LEHİMLEME SÜREÇLERİNİN BİRLEŞTİRİLEN MALZEMELER AÇISINDAN İNCELENMESİ

4.1 Dökme Demirlerin Sert Lehimlenmesi

Kır, maleabl (temper dökümü) ve küresel grafitli dökme demirlerin sert lehimlenmesi, çeliklerin sert lehimlenmesinden iki şekilde ayrılır:

- Dökme demirin yüzeyinden grafiti temizlemek için özel ön temizleme yöntemleri gereklidir.
- Dökme demirin sertlik ve mukavemetindeki azalmayı önlemek üzere sert lehimleme sıcaklığı mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır.

4.1.1 Dökme Demirlerin Sert Lehimlenme Kabiliyetleri

Yüksek silisyum içeriği ve dökümden çıkmış yüzeylerde kum girdilerinin dökme demirin sert lehimlenebilme kabiliyeti üzerinde olumsuz etkileri vardır. Grafit, ister talaş kaldırılarak işlenmiş yüzeylerde, ister dökümden çıkmış yüzeylerde olsun aynı ters etkiyi yapar. Beyaz dökme demir nadiren sert lehimlenir.

Adi kır dökme demirin gümüş alaşımı ilave metaller kullanılarak sert lehimlenmesi iyi bir yüzey ön işleminin yapılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısıyla basit dökümlerden karmaşık şekiller meydana getirilebildiği gibi bu dökümler borular, hadde mamulleri gibi standart ürünlerle de birleştirilebilmektedir.

Maleabl ve sfero (küresel grafitli) dökme demirlerin sert lehimlenmelerinde bazı önlemler alınmalıdır. Bu malzemeler 760°C'nin üstündeki bir sıcaklığa ısıtıldıklarında iç yapıları zarar görebilir; dolayısıyla sert lehimleme bu sıcaklığın altında yapılmalıdır.

Maleabl dökme demir, bu üç tip dökme demir arasında en iyi sert lehimlenebilen malzeme olarak kabul edilir. Bunun nedeni, karbon oranının nispeten daha alçak (nadiren %2,7'nin üstünde) oluşu ve grafitin de hemen hemen yuvarlak şekiller halinde bulunması olup; bu şekillerin temizlenmesi veya kapatılması (abrazif püskürtme ile olduğu gibi) kolaydır. Bununla birlikte maleabl dökme demir, diğer dökme demirlere göre silisyum içeriği daha az olduğundan sert lehimlemeye daha uygundur.

Küresel grafitli (sfero) dökme demir, kır dökme demirinkine yakın bir bileşime sahiptir; ancak grafit zerrelere pul şeklinde değil, küreseldir. Bu özellik küresel grafitli (sfero) dökme demiri

sert lehimlemeye daha uygun bir hale getirir. Çelik tane ya da kum püskürtme, yüzeye çıkmış grafit zerreciklerinin üzerine metal yığmakta etkilidir.

Kır dökme demir geniş grafit pullarıyla karakterize olan ve en zor sert lehimlenen dökme demir türüdür.

4.1.2 İlave metaller

Uygun bir yüzey hazırlanmasıyla çelikte kullanıma elverişli herhangi bir ilave metal dökme demirler için de kullanılabilir. Bununla birlikte, tercih edilen ilave metaller alçak ergime noktalı BAg ilave metalleridir. Fosfor içeren ilave metaller (BCu-P) dökme demirlere uygun değildir. Bunun sebebi gevrek demir-fosfor bileşenleri oluşması ve böylece birleşme bölgesinin yüksek düzeyde gevrekleşmesidir.

4.1.3 Birleştirme Dizaynı

Perlit veya serbest karbür içeren dökme demirler yüksek sıcaklıklarda grafitize olup mukavemet kaybına uğrarlar. Optimum sonuç için önerilen sert lehimleme aralıkları 0,05mm ile 0,13 mm arasında olup 0,25 mm.'yi geçmemelidir.

Dökme demirlerin orta - yüksek ısıl genleşme katsayısı ve göreceli olarak düşük ısıl iletkenliği göz önüne alındığında, üfleç veya indüksiyon sert lehimlenmesinden önce, sıcaklık farklarını azaltmak amacıyla tüm birleştirmenin 200°C ile 425°C arasında bir sıcaklığa ısıtılması önerilir.

4.1.4 Dökme Demirlerin Sert Lehimlemesinde Kullanılan Yöntemler

Dökme demirlerin sert lehimlenmesi için kullanılan süreçler çelikler için kullanılan süreçlerin (fırın, üfleç, indüksiyon, daldırma, fırın) aynıdır. Süreç seçimi, yine diğer metallerde olduğu gibi, sert lehimlenecek parçaların boyut ve şekilleri, birleştirilecek parça sayısı ve ekipmana bağlıdır. Karbon çeliklerinin sert lehimlenmesi kısmında daha ayrıntılı bilgi verilmiştir.

4.1.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Dökme demirlerin sert lehimlenmesinde dekapan ya da koruyucu atmosfer kullanılması zorunludur. Bu malzemelerle kullanılan dekapanlar genellikle borat ve floridlerden oluşur. Bazı durumlarda ıslatma özelliğini artırmak için boron ilavesi kullanılabilir. BAg ilave metalleriyle sert lehimlemede AWS 3A ve B dekapanları, RBCuZn ile AWS FB3D dekapanları kullanılır.

Hidrojen veya çözünmüş amonyak atmosferleri, BCu ya da başka bir yüksek ergime noktalı bakır alaşımı ilave metal kullanıldığında uygun olmaktadır. BAg ilave metalleriyle daha düşük sıcaklıklardaki sert lehimlemelerde de bu atmosferler tercih edilebilir. İyi temizlenmiş dökme demirlerle % 14 - % 16 hidrojen içeren ve endotermik olarak oluşturulmuş atmosferler kullanılabilir. Daha yüksek maliyetli olmasına rağmen vakum da tercih edilebilir. Koruyucu atmosfer altında yapılan sert lehimlemelerde çinko içeren ilave metaller kullanılırsa; çinkonun buharlaşmasını engellemek için dekapan da kullanılmalıdır.

4.1.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Dökme demirlerde bulunan grafit halindeki karbon, ilave metal tarafından ıslatılmaz ve iyi bir metalürjik bağlantıya engel olur. Bu, kır dökme demirde güçlük yaratırsa da maleabl ya da sfero dökümlerde çok olumsuz bir etki göstermez. Islatma zorluklarının baş gösterdiği yerlerde, yüzeyi grafit, kum, silisyum, oksitler vb.'den arındırmak için kullanılabilecek birçok temizleme yöntemi bulunmaktadır.

Buna ek olarak sert lehimleme süresini en aza indirmek ve bir fırın ya da tuz banyosunda sert lehimleme yapılıyorsa dekapanı kurutmak için bir ya da daha fazla dökme demir parçayı içeren birleştirmelerin ön ısıtması önerilir. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

4.2 Karbon Çelikleri, Düşük Alaşımli Çelikler Ve Takım Çeliklerinin Sert Lehimlenmesi

Karbon çelikleri ana alaşım elementleri karbon olup, diğer elementleri az miktarda içinde barındırır. Karbon çeliklerinde karbon dışında sadece manganez(en fazla %1,65), bakır (en fazla %0,60) ve silisyum (en fazla %0,60) elementleri alaşım elementi olarak bulunabilmektedir.

Düşük alaşımli çelikler az miktarlardaki alaşım elementleriyle (manganez, nikel, krom, molibden vb.) karbon çeliklerinden daha iyi mekanik özelliklere sahip olan çeliklerdir. Toplam alaşım miktarı % 2,07'den yüksek alaşımli çeliklerinkine olabilir. Çoğu düşük alaşımli çelik için alaşımlandırmanın amacı mekanik özelliklerin iyileştirilmesidir.

Takım çelikleri sert lehimleme açısından karbon çelikleri ve yüksek hız takım çelikleri olarak iki gruba ayrılabilir. Karbon çelikleri yüksek karbon (% 0,60-1,40) içerikleri dolayısıyla serttirler. Isıl işlemde şekil bozulmalarını azaltmak, aşınma mukavemetini ve tokluğu artırmak ve iyi yüksek sıcaklık özellikleri elde etmek üzere karbonlu çeliklere alaşım elementleri

eklenebilir.

Her ne kadar yüksek hız çeliklerinin mantıken alaşım çelikleri grubuna dahil olmaları gerekse de, bu malzemeler ayrıca sınıflandırılmışlardır. Bu malzemelerin nitelikleri nispeten yüksek alaşım elementleri (W, Mo, Cr ve Va) içermelerinden ileri gelmektedir ve karbon oranları, genellikle karbon takım çeliklerinininkinden çok daha düşüktür.

4.2.1 Karbon Çelikleri, Düşük Alaşımlı Çelikler ve Takım Çeliklerinin Sert Lehimlenme Kabiliyetleri

Karbon çelikleri birçok ana malzeme ve lehim alaşımıyla, geniş bir lehimleme yöntemi yelpaze içerisinde lehimlenebilmektedir. Ancak lehimleme yöntemi seçilirken ısı işlem özellikleri ve parçanın kullanım koşulları dikkate alınmalıdır. Ayrıca karbon çeliklerinin farklı metallerle birleştirilmesinde ana metallerin ısı genleşme özellikleri de dikkate alınmalıdır.

Anı şekilde düşük alaşımlı çelikler ve takım çelikleri de birçok uygun lehimleme yöntemi ve lehim malzemesiyle, endüstride sıklıkla sert lehimlenmektedir.

4.2.2 İlave Metaller

Gümüş ve bakır-çinko alaşımları, alçak karbon ve alçak alaşımlı çeliklerin üfleç sert lehimlemesinde kullanılan ilave metallerdir. BAg-1 ile BAg-7 arasındaki gümüş alaşımları, birçok çelik tipini kendi aralarında ve alüminyum ile magnezyum dışında kalan diğer metallerle birleştirmede kullanılır. En sık kullanılanları ise BAg-1, BAg-1a ve BAg-3 olup ilk ikisi çok iyi derecede akıcılık, alçak ergime sıcaklığı ve dar ergime sıcaklığı aralığı özelliklerine sahiptir. BAg-3 alaşımı nikel içerir ve böylece de tungsten karbürünün (takım ucu) sert lehimlemesinde ısılatılma kabiliyetini artırır. Daha geniş birleştirme aralıklarını doldurmak için daha düşük akıcılığı sahiptir.

Bakır-çinko ilave metaller alçak karbon ve alçak alaşımlı çeliklerin üfleçle sert lehimleme ve lehim kaynağında geniş ölçüde kullanılır. Bu ilave metaller nikel esaslı malzemeleri ve bakır-nikel alaşımlarını kendi aralarında ve çeliğe birleştirmede kullanılabilirler. Aşağıdaki çizelgede AWS'ye göre karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çeliklerin lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller görülmektedir.

Çizelge 4.1 AWS'ye göre karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çeliklerin lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller (Oğuz, 1988)

Gümüş Alaşımları		Nominal bileşim (%)										Sıcaklık (°C)		
AWS Tanımı	Kullanım şekli	Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	Sn	Fe	Mn	Si	P	Solidus	Likidus	Sert Lehimleme Aralığı
Bag-1	Şerit, Tel, Toz	45	15	16	24	-	-	-	-	-	-	607	618	618-760
Bag-1a	Şerit, Tel, Toz	50	15,5	16,5	18	-	-	-	-	-	-	627	635	635-760
Bag-2	Şerit, Tel, Toz	35	26	21	18	-	-	-	-	-	-	607	702	701-843
Bag-2a	Şerit, Tel, Toz	30	27	23	20	-	-	-	-	-	-	607	710	710-843
Bag-3	Şerit, Tel, Toz	50	15,5	15,5	16	3	-	-	-	-	-	632	688	688-817
Bag-4	Şerit, Tel	40	30	28	-	2	-	-	-	-	-	672	780	780-900
Bag-5	Şerit, Tel	45	30	25	-	-	-	-	-	-	-	677	743	743-843
Bag-6	Şerit, Tel	50	34	16	-	-	-	-	-	-	-	688	774	774-871
Bag-7	Şerit, Tel	56	22	17	-	-	5	-	-	-	-	618	652	651-760
Bakır-Çinko Alaşımları		Nominal bileşim (%)										Sıcaklık (°C)		
AWS Tanımı	Kullanım şekli	Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	Sn	Fe	Mn	Si	P	Solidus	Likidus	Sert Lehimleme Aralığı
RBCuZn-A	Şerit, Çubuk, Tel	-	59	40	-	-	0,6	-	-	-	-	888	899	899-960
RBCuZn-D	Şerit, Çubuk, Tel	-	48	41	-	10	-	-	-	0,15	0,25	921	935	935-993
RBCuZn-B	Çubuk	-	58	38	-	0,5	0,95	0,7	0,25	0,08	-	865	882	-
RBCuZn-C	Çubuk	-	58	39	-	-	0,95	0,7	0,25	0,08	-	866	888	-

Her ne kadar bakır-çinko ilave metaller daha yüksek ergime ve sertlehimleme sıcaklığına sahip iseler de, yüksek çinko içerikleri dolayısıyla fazla ısıtmadan kaçınılmalıdır. Fazla ısıtma yapıldığında çinko buharlaşır ve birleştirmede boşluklar kalır.

Karbonlu ve alçak alasmalı çeliklerin ergimis tuz içine daldırma sertlehimlenmesinde kullanılan ilave metaller, Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Karbonlu ve alçak alasmalı çeliklerin ergimis tuz içinde daldırma sert lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller ve uygun tuz banyosu özellikleri (ASM Handbook

V.6, 1993)

İlave Metal	Tuz Banyosu Tipi	Tuz Banyosu Bileşimi (%)	Sert Lehimleme Sıcaklık Aralığı (°C)
Bag-1 ile Bag-8 arası ve Bag-18	Nötr	55 BaCl ₂ , 25 NaCl, 20 KCl	618-871
	Siyanürleyen - dekapanlayan	20-30 NaCO ₃ , 20-30 KCl	650-871
		30-40 NaCN	732-871
	Nötr	50 NaCl, 50 KCl	910-938
RBCuZn-A	Nötr	80 BaCl ₂ , 20 NaCl	910-938
	Dekapanlayan	79 BaCl ₂ , 20 NaCl, 1 boraks	910-938
	Karbürleyici - dekapanlayan (suda erir)	30 NaCl, 30 KCl, 20 karbonat	
		15-20 NaCN, aktivatör	
RBCuZn-D	Nötr	90 BaCl ₂ , 10 NaCl	1038-1052
Bcu-1 ve 1a	Nötr	95 BaCl ₂ , 5 NaCl	1093-1149
	Nötr	100 BaCl ₂	1093-1149

Çeliklerin indüksiyonla sert lehimlenmesinde ise genellikle AWS BAg-1, BAg-2, BAg-3, RBCuZn ilave metalleri kullanılır.

Takım çelikleri için ilave metalin seçimi, lehimlenecek takım çeliğinin özellikleriyle tabii tutulacağı ısıl işleme bağlıdır. Pratik olarak bütün BAg, BCu ve RBCuZn sınıflarının ilave metalleri kullanılabilir.

4.2.3 Birleştirme Dizaynı

Çeliklerin üfleçle sert lehimlenmesinde aralık açıklığı 0,05 mm. ile 0,13 mm. arasında olup iyi bir birleştirme etkinliği bakımından bindirme uzunluğu en az, ince parça kalınlığının üç katı kadar olmalıdır.

Uniform olmayan ısıtma ve soğumadan kaçınmak için üfleç birleşme bölgesine çok yakın tutulmamalı, alev ayarı nötr ya da hafifçe redükleyici olarak yapılmalıdır. Fazla ısıtma ve ana

metalin ergimesini önlemek üzere üflecin ucu iş parçasının uzağında tutulmalı; alevin iç konisi parçaya fazla yaklaşmamalıdır. Isıtma, alevin dış zarfı tarafından gerçekleştirilmelidir. Elle üfleç sert lehimlemesinde, bölgesel fazla ısınmayı önlemek üzere üfleç hareket halinde tutulmalı ve alev, her iki parçanın uniform sert lehimleme sıcaklığına çıkmasını sağlayacak şekilde uygulanmalıdır.

Demir dışı malzemelerin çeliklere indüksiyonla sert lehimlenmelerinde ısıtma derecesindeki fark açısından en az iki yöntem mevcuttur. Biri, daha kolay ısıtılan iş parçasının daha büyük kütlede dizayn edilmesi, diğeri de indüktör tasarımının yine daha kolay ısıtılan komponentin, magnetik alanın zayıf tarafına gelecek şekilde yapılmasıdır.

Çeliğin çeliğe sert lehimlenmesinde komponentler arasındaki kütle farkı çoğu kez anlamlı olur. Kalın kesitli olan parçaya çok daha fazla enerji verilerek, ince parçayla aynı ısı yükselmesine getirilmesi sağlanır. Aradaki kütle farkının çok büyük olması halinde ise bütün ısıtma enerjisi kalın parçaya yöneltilir; ince parça ısıyı kondüksiyonla kalın parçadan alır.

Çeliğin bakıra sert lehimlenmesinde, ısıtma temposunu eşitleştirmek için önlem alınmazsa çelik parça çok daha hızlı ısınacaktır. Pratikte önlem, indüktörün bakıra daha yakın olması ya da bakır tarafına daha fazla sargı eklenmesidir. Aynı şey çeliğin pirinç ve magnetik olmayan paslanmaz çeliğe sert lehimlenmesinde de uygulanır.

Takım çeliklerinin sert lehimlenmesinde genellikle bindirme ya da geçme tipi birleştirmeler kullanılır. BAg veya RBCuZn kullanıldığında en uygun aralık, sert lehimleme sıcaklığında, 0,05 mm. - 0,13 mm.'dir. İlave metalin, ısı kaynağı ile doğrudan temas etmediği bir yere önceden konması önerilir.

Alaşımli karbon çeliklerinin sert lehimlenmesinde ısıl işlem ve sert lehimleme için ısıtılmada büyük davranış farkları vardır. Su verme işlemi çok dik bir sıcaklık gradyanı ortaya çıkarır ki bu, sert lehimlenmiş birleştirmeyi kırılmaya götürebilecek ısıl genleşme ve büzülme farkları meydana getirebilir.

Yüksek hız çelikleri, alışımlı BAg sert lehimleme sıcaklıklarının üstündeki sıcaklıklarda sertleştirme işlemlerini gerektirirler. Bu nedenle çeliklerin sert lehimlenmeden önce sertleştirilmeleri; sert lehimlemenin ikinci meneviş işlemi sırasında veya bundan sonra yapılması çok uygun bir süreç olmaktadır.

4.2.4 Karbon Çelikleri, Düşük Alaşımli Çelikler ve Takım Çeliklerinin Sert Lehimlemesinde Kullanılan Yöntemler

Karbon çelikleri ve düşük alaşımli çelikler ve takım çelikleri üfleçle, daldırmayla, fırında veya indüksiyonla lehimlenebilmektedir. Bu malzemelerin diğer çeliklere ve demir dışı malzemelere indüksiyonla sert lehimlenmeleri başarıyla gerçekleştirilmektedir. Özellikle çeliklerin farklı metallerle birleştirilmesinde indüksiyonla sert lehimleme yöntemi iyi sonuç vermektedir.

Karbonlu ve alçak alaşımli çeliklerle ferritik ve martensitik (400 serisi) paslanmaz çelikler magnetik olup göreceli olarak yüksek elektriksel dirence sahiptirler. Bu nedenle daha az ısı girdisiyle çabuk ısınırlar. Bakır gibi magnetik olmayan, düşük elektrik dirençli metaller daha zor ısınır daha fazla ısı girdisini gerektirirler. Magnetik metallerin ısıtılmasında histerisiz kayıpları ikinci derecede rol oynar.

Bu malzemelerin sert lehimlenmesinde daldırma ve fırın yöntemleri de kullanılabilir. Daldırma sert lehimlemesi bir seferde birçok birleştirmenin yapılması gereken durumlarda uygundur. Daldırma için kullanılacak tuz banyosu ilave metalin ergime ve akma sıcaklığına bağlı olarak seçilir. Bu yöntem malzemelere çeşitli özellikler kazandırmak için de kullanılabilir. Örneğin karbürleyici banyolar kullanılarak çeliklerin karbürlenmesi sağlanabilir. Fırın sert lehimlemesi ise parçalar büyük olduğunda, parça başına birçok birleştirme bölgesi bulunduğu, yüksek üretim adetleri ve koruyucu bir atmosfere ihtiyaç duyulduğunda kullanılır.

4.2.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Çeliklerin üfleçle sert lehimlenmesinde kullanılan dekaplanlar, BAg-1 ile BAg-7 arasındaki lehim malzemeleri ile uygulanan AWS 3A tipi; BAg-1 ile BAg-7 ve RBCuZn ile kullanılan AWS 3B tipi; RBCuZn ile kullanılan AWS 5 tipidir.

Bazı el ve otomatik üfleç sert lehimleme uygulamalarında, dekaplanın doğrudan gaz alevi içinden verilmesiyle daha verimli bir üretim gerçekleştirilebilir. Buharlaşan dekaplan yakıt gazı tarafından sürüklenir ve üfleç ucuna varır ve alevin içinde yanarak iş parçası üzerinde ince, uniform bir film oluşturur. Su buharından arındırılmış herhangi bir yakıt gazı, gazla dekaplanmada kullanılabilir. Su buharının varlığında dekaplanlayıcı malzeme borik asit beyazına benzeyen, kristalleşmiş bir katı halinde çöker.

Karbon çelikleri ve düşük alaşımli çeliklerin daldırma sert lehimlemesinde, dekaplanlayıcı maddeler (boraks, kriolit) nötr klorür tuzlara ilave edilerek bir dekaplanlayıcı çevre meydana

getirilir. Bu maddeler gümüş alaşımı veya bakır-çinko ilave metalleriyle kullanıldıklarında, banyonun dekapanlama potansiyelini devam ettirmek için periyodik dekapan ilavesi gerekir. Banyo 650°C sıcaklığın üzerinde çalıştığında hava veya sert lehimlenen parçalarla temasla oksitlenmeden dolayı dekapanlama potansiyeli hızla azalır. Bu durumda dekapanlayıcı madde daha sık ilave edilmelidir. Bazen bir nötr klorür banyosu kullanılır ve parçalar önceden dekapanlanır.

Karbürleyici ve siyanürleyici tuzlar kendi öz dekapanlama etkilerini sağlarlar. Buna ek olarak da, çeliğin yüzeyine sert lehimleme sırasında karbon ve azot verirler.

Karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çeliklerin indüksiyonla sert lehimlemesinde genellikle 3A tipi dekapanlar kullanılır.

Takım çeliklerinde genellikle AWS tip 3A ve 3B tipi dekapanlar kullanılır. Kontrollü atmosferlerle çalışıldığında karbürlenme ve dekarbürasyonun önlenmesi için önlenmelidir.

4.2.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Ana metaller lehimlemeden önce her türlü yağ, oksit ve yabancı maddeden arındırılmış olmalıdır. Temizlemede kimyasal yöntemler daha çok tercih edilmektedir. Seçilen temizleme yöntemleri yüzeylerdeki yabancı maddeleri ortadan kaldıracak özelliklere sahip olmalıdır. Kimyasal temizleme için solventler, asitler, deterjanlar ve yağ çözücüler kullanılırken; mekanik temizlemede tel fırçalama, abrazif kumlama, taşlama gibi yöntemlere başvurulur.

Dekapan kullanılan durumlarda işlem sonrasında parçanın temizlenmesi çok önemlidir. Gerekli temizleme yapılmadığında şu sorunlarla karşılaşılabilir:

- Dekapan artığı kaplaması kaldırılmadan birleşme yeri muayene edilemez.
- Sıvı içinde ya da basınç altında çalışacak parçalarda dekapan, hata sayılacak küçük delikleri tıkayarak muayene sonucunu saptırabilir.
- Yerinde bırakılan dekapan, çevrede mevcut rutubeti emerek oksitlenme ve korozyon oluşturur
- Dekapanla kaplı alanlara boya ve kaplama yapılamaz. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

4.3 Paslanmaz Çeliklerin Sert Lehimlenmesi

Paslanmaz çelik sert lehimlemesinde proses kontrolü karbon çeliklerine göre çok daha büyük özen ve dikkati gerektirir. Genellikle iyi kaynak kabiliyetine sahip paslanmaz çelikler iyi sert lehimlenebilirler. Buna ek olarak, istenildiği gibi kaynak edilemeyen farklı metal birleşmelerinin gerçekleştirilebilmesi de lehimleme ile sağlanabilmektedir.

Uygun ısıtma yöntemlerinin kullanılması halinde sert lehimleme kuvvetli, korozyona dayanıklı, sızdırmaz birleşmeler sağlar; küçük veya ince cidarlı parçalarda bunu en az bükülme ve çarpılma ile gerçekleştirir.

4.3.1 Paslanmaz Çeliklerin Sert Lehimlenme Kabiliyeti

Paslanmaz çelikler, sert lehimleme açısından dört grup altında incelenebilir:

- Austenitik (sertleştirilemeyen) çelikler
- Ferritik (sertleştirilemeyen) çelikler
- Martensitik (sertleştirilebilir) çelikler
- Çökelme (sertleşmeli) çelikler

4.3.1.1 Austenitik sertleştirilemeyen paslanmaz çelikler

Bu malzemelerin sert lehimlemesinde, stabilize sınıfların (302 ve 304 gibi) 427°C - 876°C arasında sıcaklıkta tutulmaları halinde karbür çökmesi meydana gelmesi ve bunun sonucu olarak da korozyon dayanımında azalma olması riski bulunmaktadır. Karbür çökmesinin derecesi parçaların bu sıcaklık aralığında tutulma süresine bağlıdır; bu nedenle çökelme, sert lehimleme ısıl çevriminin mümkün olduğu kadar kısa tutulmasıyla en aza indirebilir.

Paslanmaz çeliklerde karbür çökmesinin zararlı etkileri, bu çeliklere karbür stabilize edici titanyum ve niobium ilavesiyle de yok edilebilmektedir.

200 tipi austenitik çelikler, yüksek manganez içerikleri nedeniyle daha zor sert lehimlenir; dolayısıyla alçak çığ noktalı hidrojen atmosferini gerektirirler.

Bütün Cr - Ni çelikleri, ergimiş ilave metal varlığında gerilme korozyonu çatlamasına uğrarlar. Bu olgu ana metalin gerilme altında bulunması halinde ortaya çıkar. Gerilme ise önceden parça içinde kalmış ya da sert lehimleme sırasında uygulanmış olan bir yükten ortaya çıkmış olabilir. Uygulanmış yükün bir şekli, sert lehimleme sırasında oluşan ısıl gradyandır. İlave metal, gerilme noktalarında tane sınırları boyunca ana metala nüfuz eder ve onu büyük

ölçüde zayıflatır. Dolayısıyla, en iyi sonuçlar, gerilimi giderilmiş malzemeler ile alınır. Gerilim gidermesi sert lehimleme işleminden önce ya da işlem sırasında yapılabilir.

4.3.1.2 Ferritik sertleştirilemeyen paslanmaz çelikler

Ferritik sertleştirilemeyen paslanmaz çeliklerin en sık kullanılan tipleri AISI 405, 430 ve 446 çelikleridir. 430 tipi, bazı BAğ ilave metalleriyle sert lehimlendiğinde yüzey arası korozyona uğrayan, ama yine de geniş ölçüde kullanılan bir çelik tipidir. Gümüş esaslı ilave metallere az miktarda nikel eklenmesiyle sert lehimlenmiş birleştirmelerin yüzey arası korozyonunun birçok paslanmaz çelikle önlendiği görülmüştür.

4.3.1.3 Martensitik sertleştirilebilen paslanmaz çelikler

Bu alaşımlardan imal edilmiş parçaların sert lehimlenmesinde dikkat edilecek nokta, sert lehimleme ısıl çevriminin bu alaşımların gerektirdiği ısıl işleme uygun olmasıdır. Bu da, ana metalin austenitleşmesinin sert lehimleme sıcaklığında meydana gelmesini sağlayacak ilave metallerle sert lehimleme sıcaklığının seçilmesi yoluyla gerçekleştirilir. Austenitin istendiği gibi martensite dönüşmesini sağlamak için, sert lehimleme sıcaklığından itibaren nispeten hızlı bir soğumaya ihtiyaç vardır.

4.3.1.4 Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklere örnek olarak AISI 17-7 PH, PH14-8Mo, 15-5PH, AM350, 17-4PH, PH15-7 Mo ve A-286 verilebilir. Martensitik sertleştirilebilir paslanmaz çeliklerde olduğu gibi, bu alaşımları birleştirmede kullanılan sert lehimleme ısıl çevrimi, bunların ısıl işlemleriyle uyum halinde olmalıdır. Dolayısıyla her alaşım için alaşıma özel bir sert lehimleme sürecinin seçilmesi gerekir.

4.3.2 İlave metaller

Ergime noktalarının fark göstermesi, ana metal yüzey arası reaksiyonları, maliyet ve çalışma nitelikleri dolayısıyla ilave metal seçimi, parçanın son kullanımına bağlıdır. Ticari ilave metaller esas ya da ilave elementi olarak Cu, Ag, Ni, Co, Pt, Pa, Mn ve Au içerirler.

427°C çalışma sıcaklığı için uygun ilave metaller BCu tipleridir. 371°C'a kadar ise BAğ tipleri geniş ölçüde kullanılır. Paslanmaz çeliklerde 427°C'den 538°C'ye kadar genel kullanıma uygun ilave metaller Cu - Mn - Ni tipidir. 538°C'ın üstünde BNi ilave metalleri veya değerli altın veya palladyum metallerini içeren bazı tipler kullanılır. 427°C'nin üstünde çalışma için ilave metaller genellikle, yüksek derecede saf redükleyici ya da asal atmosferler

içeren veya vakum altında yapılan fırın sert lehimlemesine tabi tutulur. Bakır esaslı ilave metallere sadece BCu sınıflandırmasına dahil olanlar paslanmaz çeliklerin sert lehimlenmesinde önerilmektedir. Bunlar genellikle düşük rutubet içerikli ve yüksek saflıktaki redükleyici atmosferlerle kullanılırlar. Paslanmaz çeliklerde RBCuZn ve BCuP ilave metallerinin kullanılması tavsiye edilmez.

BAg sınıfından BAg-1 ve BAg-la, iyi sert lehimleme karakteristikli ilave metallere dir. BAg-2 de böyle olmakla birlikte daha yüksek sıcaklığı gerektirir. Özellikle, BAg-1 ve BAg-la için gerekli toleransın sıkı olarak denetlenemediği durumlarda faydalıdır. BAg-2 likidasyona eğilimi nedeniyle aşırı derecede uzun süreli ısıtma yapıldığı durumlarda kullanılmamalıdır. Daha üstün korozyon direnci arandığında nikel içeren BAg-3 ve BAg-4 kullanılır. Daha yüksek sert lehimleme sıcaklıkları için genel kullanım metalleri BAg-5 ve BAg-6 olup, çoğu kez kadmiyumun yasaklanmış olduğu uygulamalarda kullanılırlar. BAg-7, beyaz rengi ve kadmiyum içermemesi nedeniyle besin maddesi işleyen ekipmanların imalatı için faydalıdır. Ag-Cu ötektiği BAg-8, çoğu kez, uçucu kadmiyum ve çinkonun istenmediği vakum ve atmosfer sert lehimlemesinde kullanılır. %0,2 - %0,5 Li'lu BAg - 8a, paslanmaz çeliklerde iyi bir ıslatma kabiliyeti gösterir. BAg-19'un içerdiği lityum, kendini dekapanlamayı teşvik eder. Bu malzeme uçakların hafif ve paslanmaz çelik arı peteği şeklinde olan panolarının sert lehimlenmesinde geniş ölçüde kullanılmaktadır.

Nikel esaslı ilave metaller özellikle çok yüksek ısı ve korozyon dayanımının arandığı yerlerde ve genellikle jet ve roket motorlarının imalinde, kimyasal proses ekipmanlarında ve nükleer reaktör komponentlerinde kullanılırlar. Bunlar normal olarak toz halinde olurlar; ancak sinterlenmiş veya dökme çubuk şeklinde, plastikle bağlanmış levha olarak ya da tel ve şerit halinde de bulunmaktadır. BNi ilave metaller paslanmaz çelikler üzerinde 982°C - 1093°C'a kadar sıcaklıklarda oksitlenmeye mukavemet için çok kullanılır. BNi-1, BNi-2, BNi-3 ve BNi-4, birçok ana metalle karşılıklı etkileşimi dolayısıyla ince levhaları erozyona uğratma eğilimi gösterir. Bu nedenle bunların kullanımı sırasında sert lehimleme sıcaklığında tutma süresi mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Nötronları absorbe edip reaktörün verimini düşürmesi itibariyle nükleer reaktör komponentlerinin imalinde, bor elementinden yoksun BNi-5, BNi-6 ve BNi-7 uygun olmaktadır. Bunların oksitlenmeye mukavemetleri 1093°C'ye kadar iyidir. Bütün nikelli ilave metaller arasında BNi-5, en yüksek ergime noktasını sahip olanıdır.

Altın, platin ve palladyum ile bunların Au-Ni, Au-Ni-Cr, Cu-Pt, Ag-Pa-Mn ve Pa-Ni-Cr gibi alaşımları ısı ve korozyona dayanıklı komponentlerin sert lehimlenmesinde kullanılmaktadır.

4.3.3 Birleştirme Dizaynı

Austenitik paslanmaz çeliklerin lehimlenmesinde parçalar, sert lehimleme işlemi sırasında gerilmeden kaçınılacak şekilde birleştirilmeli ve desteklenmelidir. Aksi halde daha önce de belirtildiği gibi gerilme korozyonu çatlamasına uğrayabilirler.

4.3.4 Paslanmaz Çeliklerin Sert Lehimlemesinde Kullanılan Yöntemler

Paslanmaz çelikler herhangi bir sert lehimleme yöntemiyle birleştirilebilir. Bu malzemelerin birleştirilmesinde kontrollü atmosferli fırın sert lehimlemesi geniş ölçüde uygulanmaktadır. Fırınlarda kullanılan bütün gazlar yüksek saflıkta olmalıdır.

4.3.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Birçok paslanmaz çelik birleştirmesi kuru hidrojen, argon, helyum ve ayrışmış amonyak atmosferlerinde, dekapan yardımı olmadan, gerçekleştirilebilir. Her ne kadar bazı komponentlerin imalinde dekapan kullanılırsa da bazı dekapanlar sert lehimlemeden sonra temizlenmeyi gerektirebilirler ve bunların kullanımı, içeride kalabilecek kalıntılar yüzünden zayıf birleştirme olasılığını artırır.

Paslanmaz çelikler bileşimlerindeki kromun varlığı nedeniyle giderek artan kimyasal stabiliteye sahip bir oksit tabakasıyla yüzeylerini kaplarlar. Bir vakumda ısıtılmada yüzeyde sadece FeO. Me_2O_3 tipinde oksitler oluşurken havada ısıtmada genellikle iki tür, Me_2O_3 ve FeO. Me_2O_3 oksitine rastlanır.

Yüksek sıcaklıklarda oluşan Me_2O_3 oksitleri kromdan yana zengin olup özellikle yüksek krom içerikli çelikler Cr_2O_3 krom oksidi tabakasına sahip olurlar. Bu nedenle artırılmış aktiviteli dekapanlar bu tür çeliklerin birleştirilmelerinde gerekli olmaktadır.

4.3.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Yüzeylere yapışan güçlü oksitler nedeniyle paslanmaz çelikler, karbon çeliklerine göre çok daha şiddetli bir ön temizlemeyi gerektirir.

Önce her türlü yağ ve gres filmi ortadan kaldırılmalı; daha sonra birleştirme yüzeyleri mekanik olarak ya da asit dekapaj eriyikleriyle temizlenmelidir. Mekanik temizlemede, karbonlu çelik tel fırçalar kullanılmamalıdır.

Dekapan ve ilave metal akışını durdurmada kullanılan maddelerin temizlenmesi ve ısıtım işlemler, paslanmaz çeliklerin sert lehimlemesinde gerekli olabilecek başlıca sert lehimleme sonrası işlemlerdir. Dekapanın kullanılmadığı ve kullanılmışsa durdurma maddelerinin

temizlenmesinin gerekmediği durumlarda; redükleyici ya da asal atmosferlerde yapılan sertleştirilemez paslanmaz çeliklerin fırın sert lehimlemesinde hiçbir lehimleme sonrası işlem gerekmez. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

4.4 Alüminyum ve Alaşımlarının Sert Lehimlenmesi

Alüminyum ve alaşımlarının sert lehimlemesinde diğer metallere göre fark, farklı dekapanlar, farklı ilave metaller ve daha alçak çalışma sıcaklıklarının kullanılmasıdır. Bununla beraber bütün alüminyum alaşımları sert lehimlenemez. Yüksek mukavemetli hadde ürünü alüminyum alaşımlarıyla bazı dökme alaşımlar yüksek miktarda alaşım malzemesi içerirler. Bu alaşımlar, uygulamada kullanılan birçok ilave metalden daha aşağı sıcaklıklarda ergirler. Sık kullanılan bazı alüminyum alaşımlarının lehimlenebilirlikleri ve ergime aralıkları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Sık kullanılan alüminyum alaşımlarının ergime aralıkları ve lehimleme kabiliyetleri (ASM Handbook V.6, 1993)

Alaşım	Ergime Aralığı		Lehimlenebilirlik ^(A)
	°C	°F	
Isıl İşlem Uygulanamayan Soğuk Şekillendirilmiş Alaşımlar			
1350	646-657	1195-1215	A
1100	643-657	1190-1215	A
3003 ^(B)	643-654	1190-1210	A
3004	629-652	1165-1205	B
5005	632-652	1170-1205	B
5050	627-652	1160-1205	B
5052	593-649	1100-1200	C
Isıl İşlem Uygulanabilen Soğuk Şekillendirilmiş Alaşımlar			
6053	593-652	1100-1205	A
6061	593-649	1100-1200	A
6063	616-654	1140-1210	A
6951 ^(C)	616-654	1140-1210	A
7005	607-649	1125-1200	B
Döküm Alaşımları^(D)			
443.0	574-632	1065-1170	B
356.0	557-613	1035-1135	B
710.0	596-646	1105-1195	B
711.0	604-643	1120-1190	A

(A) A = Genellikle tüm ticari yöntemlerle lehimlenebilir; B = Özel tekniklerle (çalışma koşullarına ve uygulama şartlarına bağlı olarak belirlenen) lehimlenebilir; C = Sınırlı lehimleme kabiliyeti

(B) Hem düz olarak hem de sert lehimleme levhasının iç tabakası olarak kullanılabilir

(C) Sadece sert lehimleme levhasının iç tabakası olarak kullanılabilir

(D) Sadece kum kalıba ve kokil döküm

4.4.1 Alüminyum ve Alaşımlarının Sert Lehimlenme Kabiliyeti

Alüminyum ve alaşımlarının lehimleme kabiliyetlerini etkileyen en önemli faktör, alüminyumun oksijene karşı yüksek afinitesi nedeniyle oksit oluşumuna çok yatkın olmasıdır. Bu malzemeler atmosfer koşullarında bile hızla bir yüzey oksit tabakası meydana getirir. Atmosfer koşullarında (20°C'de) oluşan oksit filmi iki tabakalıdır. Dış tabaka, oksit-hava filmi olarak adlandırılabilir. Daha geçirgen ve gevşek bir oksitten oluşmuştur; kalınlığı reaksiyon süresiyle atmosferdeki nem oranına bağlıdır. İç tabaka metala hemen komşu olan, daha sıkı ve yapışık olan tabakadır. Bu tabaka amorf olup uzun süre havada veya iki saat süreyle 200°C'in üstünde bir sıcaklıkta tutulduğunda kristal yapısı değişime uğrayabilir.

Sert lehimleme sıcaklığına ısıtmada kafesin yeniden düzenlenmesi ve fiziksel özelliklerdeki değişme nedeniyle, alüminyum oksit filmi bölgesel süreksizlikler meydana getirir ve böylece ergimiş ilave metal, ana metalle temas edebilir.

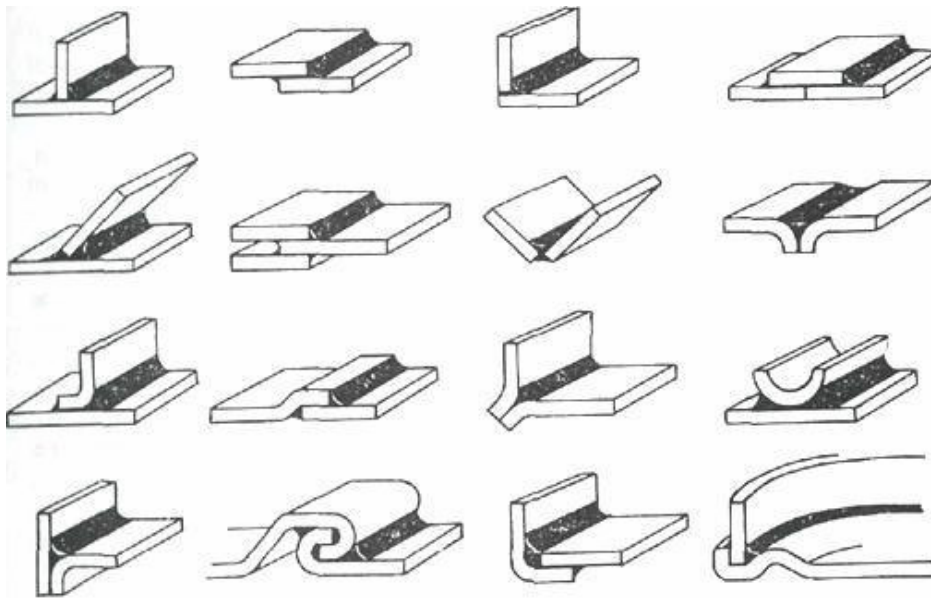
4.4.2 İlave metaller

Alüminyum alaşımlarının sert lehimlemesinde kullanılan ilave metaller toz, pasta, tel veya ince şerit halinde olabilir. Silisyum miktarı yüksek olduğunda ilave metalin levha ve tel şeklinde imali de güçleşir. Sadece BA1Si-2 (alaşım 4343), BA1Si-4 (alaşım 4047) ve alaşım X4003 levha halinde mevcuttur.

Sert lehimleme levhası alüminyum alaşım çekirdeğine haddelemeyle kaplanmış (plake), genellikle bir Al-Si alaşımından oluşan (BA1Si serisi) bir ya da daha fazla ilave metal ara tabakasından meydana gelmektedir. Sert lehimleme levhası, tel, şerit veya toza göre çok daha uygun bir ilave metal besleme yöntemi sağlamaktadır; özellikle seri imalat ve karmaşık birleştirmelere çok uygundur. Sert lehimleme levhası üzerindeki ilave metal kapiler etki ve yerçekimiyle akıp temas yerlerinde birleştirme aralığını doldurur.

4.4.3 Birleştirme dizaynı

Alüminyum ve alaşımlarının sert lehimlemeyle birleştirilmesinde bindirmeli birleştirmeler tercih edilir. İlave metalin akışını kolaylaştırmak ve dekapanın araya sıkışmasını en aza indirmek için pres ya da sıkı alıştırılmalı birleştirmelerden kaçınılmalıdır. Önerilen birleştirme tasarımları Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 Alüminyum alaşımları için önerilen birleştirme tasarımları (Oğuz, 1988)

Alüminyumun farklı metallere sert lehimlenmesinde, çalışma esnasında ortaya çıkabilecek olan galvanik korozyonu en aza indirmek için sert lehimlemeden sonra boyama ya da uygun bir kaplama gerekebilir. Uniform olmayan genişmeden ileri gelen gerilmeler de dikkate alınmalıdır.

4.4.4 Alüminyum ve Alaşımlarının Sert Lehimlemesinde Kullanılan Yöntemler

Alüminyum ve alaşımları ağırlıklı olarak koruyucu atmosfer veya vakum altında fırın sert lehimlemesi ve daldırma sert lehimlemesi ile üfleç kullanılarak birleştirilmektedir. Diğer yöntemler kullanıldığında oksit oluşma riski artmaktadır.

Alüminyum ve alaşımlarının fırın sert lehimlemesi ekipmanı, yine bu malzemelerin ısı işleminde kullanılanlarla hemen hemen aynıdır. Bu tür ekipmanlar 650°C'ye kadar çalışmak üzere tasarlanmış olup elektrik, gaz ya da yakıtla ısıtılır.

Sürekli fırın sert lehimlemesi, ısıtma temposu ve birleşme kalitesini ıslah edip çarpılmayı azaltmak için birkaç kademeli ısıtma bölgelerine ayrılmış fırınları gerektirir. Otomatik operasyonlarda, sert lehimleme bölgesi orta boy olan birleştirmeler için genellikle 2-3 dakikalık geçiş süresi istenir. Dekapan, yaklaşık 30 dakikada aktivitesini kaybettiğinden, bu sınırı aşan ısıtma sürelerini gerektiren iri ve ağır alüminyum birleştirmeleri fırında sert lehimlenmemelidir.

1xxx, 3xxx, 6xxx ve 7xxx serilerinin alaşımları, X4003 ilave metalıyla kaplı X3 ve X5 sert lehimleme levhaları kullanılarak fırın içinde vakumda sert lehimlenebilmektedir. Ek ilave metal gerektiğinde, tel, levha şeklinde X4003 ayrıca kullanılabilir. Dekapanla sert lehimlemede kullanılan birleştirme tasarımları dekapansız vakum sert lehimlemesinde de uygulanır.

Vakum sert lehimlemesi geniş ölçüde otomobil ve uçak ısı eşanjörlerinin imalatında kullanılır. Bununla beraber karmaşık şekilli, dekapanın temizlenmesinin mümkün olmadığı birleştirmeler de fırında vakum altında gerçekleştirilmektedir.

Daldırma sert lehimlemesi, alüminyum radar dalga kılavuzları ve ısı eşanjörleri imalatında geniş ölçüde kullanılır. Ergimiş dekapana daldırılmadan önce sert lehimlenecek parçalar ısıtılır. Parçaları kurutma (hızlı buhar oluşma olasılığını ortadan kaldırmak için) ve soğuk parça banyoya daldırıldığında birleşme üzerinde oluşabilecek olan dekapan katılaşmasını önlemek üzere ön ısıtma yapılır. Ön ısıtma sıcaklığı 482°C ile 574°C arasında, birleştirmenin boyut ve karmaşıklığına göre değişmektedir.

Üfleçle sert lehimleme elle ya da otomasyonla yapılabilir. Bu yöntem özellikle BA1Si-3 ve BA1Si-4 ilave metalleriyle kullanıldığında çok dikkatli sıcaklık kontrolü gerektirmektedir. Üfleç sert lehimlemesinde dikkat edilmesi gereken bir nokta, alüminyumun sıcaklıkla renk değiştirmemesidir. Dolayısıyla sadece ilave metalden daha düşük sıcaklıklarda ergiyen dekapanlar lehimleme sıcaklığı göstergesi olarak kullanılabilir.

4.4.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Dekapansız asal gaz veya dekapansız vakum sert lehimleme süreçleri dışındaki tüm sert lehimleme süreçlerinde dekapan kullanılmalıdır. Dekapanlar inorganik klorür ve florür tuzlarının karışımı olup toz halinde sağlanırlar. Fırça, püskürtme veya daldırma ile kuru veya damıtılmış ya da deiyonize edilmiş su veya alkolle karıştırılmış olarak uygulanırlar. Kuru dekapan birleşecek alanlara ekilir veya kızdırılmış ilave metal çubuğu dekapan kutusuna batırılarak buralara taşınır.

Bazen ilave metalin belli bir alanın ötesine akması istenmez. Bu amaçla kullanılan kimyasallar dekapan durdurucu olarak adlandırılır ve genellikle ağırlık olarak eşit miktarda orta-ağır makine yağı (SAE 30), ince dövülmüş grafit ve benzen veya petrol yağı karışımından oluşur. Karışım fırça ya da püskürtmeyle sürülür ve yağ yakmak için 205-316°C'a fırınlanır. Dekapansız vakum sert lehimlemesi için bu durdurucular genellikle refrakter oksitlerden oluşur ve uzun süre, mekanik olarak kaldırılana kadar iş parçası üzerinde kalır.

4.4.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Sert lehimlemeye hazırlık aşamasında ön temizleme gereksinimi geniş ölçüde metalin yüzey koşulu, malzemenin kalınlığı, sert lehimlenecek alaşım ve bitmiş birleştirmeden beklenen sıvı ya da gaz sızdırmazlığına bağlıdır.

Bununla beraber alüminyumun yüzeyini aktive etmek üzere oksit filmi kaldırılma istendiğinde, asit ve alkaliler kullanılarak kimyasal dekapajla uygulanır. Daha sonra yüzey sıcak ve soğuk suda çalkalanır ve bir fırında 80°C - 100°C sıcaklıkta kurutulur.

Alüminyum alaşımlarının sert lehimlenmesinde kullanılan dekapanlar, parçalar üzerinde kalacak olursa, korozyonu sebep olabilir. Bu nedenle, birleştirmeden sonra temizleme çok önemlidir. Dekapanın temizlenmesinin en etkin yolu suda iyice çalkaladıktan sonra bir kimyasal uygulamaktır. Alüminyum parçalardan sert lehimleme dekapanını temizlemek için kullanılan kimyasallar Çizelge 4.4'de verilmiştir. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

Çizelge 4.4 Alüminyum parçalardan sert lehimleme dekapanını temizlemek için kullanılan kimyasallar (ASM Handbook V.6, 1993)

Kimyasal Tipi	Miktar	Bileşenler (A)	Çalışma Sıcaklığı	Uygulama (B)
Nitrik asit	5 galon	%58 - %62 HNO ₃	oda	10-20 dk. daldırma; sıcak veya soğuk suda çalkalama (C)
	3,4 galon	Su		
Nitrik - hidroflorik asit	4 galon	%58 - %62 HNO ₃	oda	10-15 dk. daldırma; soğuk suda çalkalama; sıcak suda çalkalama; kurutma (D)
	1,14 lt.	%48 HF		
	36 galon	Su		
Hidroflorik asit	5,7 lt.	%48 HF	oda	5-10 dk. daldırma; soğuk suda çalkalama; nitrik asite daldırma; sıcak veya suda çalkalama (D)
	40 galon	Su		
Fosforik asit - krom trioksit	1,5 galon	%85 H ₃ PO ₄	82°C	10-15 dk. daldırma; sıcak veya soğuk suda çalkalama (E)
	7,25 lb.	CrO ₃		
	40 galon	Su		
Nitrik asit - sodyum dikromat	4,5 galon	%58 - %62 HNO ₃	60°C	5-30 dk. daldırma; sıcak suda çalkalama (F)
	32 lb.	Na ₂ Cr ₂ O ₇ ·2H ₂ O		
	36 galon	Su		

(A) Bütün bileşimler ağırlık yüzdesi

(B) Yukarıdaki eriyiklerden herhangi birini kullanmadan önce, dekapanın büyük kısmının kaldırılması için parçaların kaynar suya daldırılması önerilir

(C) Asit içinde dekapan bulaşması, 5 gr. sodyum klorürü aşmamalıdır. Kimyasalın, 0,5 mm. den az kalınlıkta ana metallere uygulanması tavsiye edilmez

(D) Asit içinde dekapan bulaşması, klor hidrik asit olarak ifade edilmiş 3gr/lt klorürü aşmamalıdır. Kimyasal saldırgan olup 0,5 mm. kalınlıktan az ana metallerde önerilmez

(E) Dekapan bulaşması toleransı 100 gr/lt fazlası olup müsaade edilen sınır temizleme

kabiliyetine bağlıdır.

(F) Yüksek daldırma toleransı, ince birleştirmeler için, suyla temizleme sonucundan emin olunmadığı durumlarda önerilir.

4.5 Bakır ve Alaşımlarının Sert Lehimlenmesi

Bakır ve alaşımları yüksek sünekliğe, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliğe sahip, çeşitli çevresel koşullar altında korozyona dayanıklı metallerdir.

Bakır ve alaşımlarının sert lehimlenebilme kabiliyetlerini etkileyen faktörler, oksitlerinin kimyasal stabilitesi, alaşımlarının birçoğunda çinko, kadmiyum, manganez gibi uçucu elementlerin bulunması, oksijen içeren bakır ve bazı alaşımlarının hidrojen gevrekleşmesine eğilimi ve ergimiş ilave metallerle temasta bakır ve alaşımlarının gevrek kırılmaya yatkınlığının artması olarak ortaya çıkmaktadır.

Bakır ve alaşımları, sert lehimleme zorluğu bakımından iki gruba ayrılır:

- Isıtıldıklarında, alçak bir serbest enerji oluşmasına sebep olan; dolayısıyla dekapanlı sert lehimlemede kısmen kolay giderilebilen bir oksit tabakasıyla kendini örten bakır ve alaşımları.
- Isıtmada, yüksek bir serbest enerji oluşmasıyla bir oksit tabakası edinen alaşımlar.

Birinci grup saf bakırla bunun başlıca çinko, kalay, kurşun, fosfor, antimuan, demir, nikel, manganez gibi elementler içeren alaşımlarını kapsar. Oda sıcaklığında bakırın yüzeyi ince bir CuO oksit tabakasıyla kaplanır. Cu-Zn-Sn alaşımları (ve Pb, As, Fe, Ni, Mn içerenlerin) üzerinde oluşan oksitler, alçak oluşma serbest enerjisini sahiptir ve sert lehimleme sırasında kolayca ayrışırlar; ince CuO ve Cu_2O tabakaları reçine içinde erir.

Al, Be, Cr, Si, Zr, Ti ile periyodik sistemin ilk grup elementlerini içeren bakır alaşımları, sert lehimleme sırasında bu elementlerin oksitleri ile kaplanır. Bu oksitler dekapanlar içinde az erir ve başka türlü ayrıştırılırlar.

Silisyumlu bakır alaşımları üzerinde silikatlara, kalay bronzları üzerinde oluşan kabuğun iç tabakasında da $SniO$ oksidine rastlanır. % 7 ve daha fazla nikel içeren Cu-Ni alaşımları üzerinde oluşan kabuğun dış tabakalarında bakır oksidi, iç tabakalarında da NiO oksidi bulunur. Al, Be, Si ve fazla miktarda Zn içeren bakır alaşımları üzerinde yüksek kimyasal stabilite ve serbest oluşma enerjisi ile karakterize olan alaşım elementleri oksitleri bulunur.

4.5.1 Bakır ve Alaşımlarının Sert Lehimlenme Kabiliyeti

4.5.1.1 Oksijen içeren bakırlar

Oksijen içeren bakırlar orta mukavemet ve düşük sertliktedir; bakır oksidinin uniform olarak dağılmış olması halinde bu bakırlar tok ve sünek olup, yüksek derecede haddelenebilirler. Elektriksel ve ısıl iletkenlikleri oksijenden arındırılmış olanların dışındaki tüm bakır alaşımlarının en yükseğidir. 232°C ile 816°C arasında, süre ve sıcaklığa bağlı olarak, yumuşatılabilirler. Hidrojen içeren redükleyici atmosferde tavlanmalarından kaçınılmalıdır. Hidrojen gevrekleşmesi ortaya çıkabilir. Oksi-asetilen alevinde ya da redükleyici ortamda mevcut olabilen karbon monoksit, ortamda su buharının da olması halinde; bu su buharını redükleyip hidrojeni serbest bırakır ve metal içine difüze olmasına sebep olur.

Soğuk işleme, dökme, ya da talaşlı işleme operasyonlarından kalan gerilmeler, sert lehimleme sırasında çatlamalara neden olabilir. Isıtma ve soğutma, uniform olmayan genleşme ve büzülme sonucu, ek gerilmeler ortaya çıkarır. Bütün faktörlerin meydana getirdiği toplam gerilmeler yeterli olunca, yüksek sıcaklıklarda çatlama ortaya çıkabilir.

4.5.1.2 Dezokside veya oksijenden arındırılmış bakırlar

Bu grup fosforla dezokside edilmiş ve oksijenden arındırılmış bakırları içine alır. Fosforla dezokside edilmiş bakır genellikle döküm öncesinde %0,01 ile %0,04 fosfor ilavesiyle oksijeni yok edilmiş bakırdır. Bazı hallerde fosfor, hidrojen gevrekleşmesine karşı daha geniş bir emniyet payı sağlamak üzere, oksijenden arındırılmış bakıra eklenir.

Bütün dezokside edilmiş bakırlar DIN 8513'de gösterilmiş ilave metallerle sert lehimlenebilir. AWS RBCu Zn, BCuP, BAu ve BA_g tiplerinden herhangi biri az çok herhangi bir bakır veya bakır alaşım türü ile kullanılabilir. Sert lehimlemeyi mümkün kılmak için ilave metalin likidus sıcaklığı, ana metalin ergime aralığından yeterince alçak olmalıdır.

Pirinç ilave metaller, en yüksek çalışma sıcaklığına sahip olanlardır. Bunlar sert lehimleme yerinde ana metalle hızlıca alaşımlaşp onu ergitirler. Standart sert lehimleme süreleri içinde çinkonun ana metal içine difüzyonu görülmez.

4.5.1.3 Özel bakırlar

Bu grup, adi bakırlarda elde edilemeyen özel nitelikleri dışında yüksek elektriksel iletkenliğe sahip bazı alaşımları içerir. Kurşun, tellür, selenyum ve kükürtlü bakırların (talaşlı) işlenebilirliği, adi bakırlarının yaklaşık 4 katı kadar daha iyidir. Bunlar büyük ölçüde

irtibat parçalarında kullanılır.

4.5.1.4 Yüksek bakırlar

Bu gruba küçük miktarlarda alaşım elementi ilavesiyle artmış mekanik karakteristikli bakırlar dahil olmaktadır. Kromlu bakırlar 55 KPa/mm²'ye (517 MPa) varan çekme mukavemetinin yanı sıra, yaşlanma sert lehimlemesinden sonra yaklaşık % 80 IACS iletkenliğe sahiptirler. Zirkonyumlu bakır kromlu bakıra göre daha düşük mukavemet göstermekle birlikte iletkenliği % 90 AICS'tir.

4.5.1.5 Kurşunlu pirinçler

% 'li aşmayan küçük gümüş, kurşun, tellür, selenyum veya kükürt ilaveli bakırlar, kendi kendine dekapanlama özelliği olan BCuP ilave metalleriyle lehimlenebilmektedir. Ancak bir dekapanın kullanılması ilave metalin ısılatma etkisini artırır. Berilyum, krom veya zirkonyum içeren bakırlar çökelme sertleşmesine uğrayabilirler. Bu bakırların yaşlanmış koşulda sert lehimlenmesi mekanik karakteristiklerini bozar.

4.5.1.6 Bakır - çinko alaşımları (pirinçler)

Genel olarak pirinçler % 20'den az Zn içerenler, % 20'den çok Zn içerenler ve alaşımlı pirinçler olarak üç kategoriye ayrılır. Yüksek sıcaklıklara ani olarak maruz kalan (kaynak işlemlerinde olduğu gibi) pirinçler ısıl gerilmeler nedeniyle çatlama eğilimi gösterir. Bu gibi olumsuz durumlardan kaçınmak için yüksek derecede gerilmeye sahip malzemeler, sert lehimleme sıcaklığına düşük bir hızla getirilmelidir.

4.5.1.7 Bakır - kalay alaşımları (fosfor bronzları)

Bütün fosforlu bronzlar soğukta iyi şekil alabilme kabiliyetine ve yüksek mukavemete sahiptir. Soğuk çalışmadan sonra meydana gelen sertlik 480°C ile 760°C arasındaki tavlama ile yumuşar ve alaşım maleabl hale gelir. İç gerilmelere sahip fosfor bronzları sert lehimleme sırasında çatlama eğiliminde olduklarından bu metallerde ani ve yüksek ısı uygulanmasından kaçınılmalıdır.

Bazı hadde mamulü bronzlar talaşlı işlenebilirliğin artırılması için %4,5'a kadar kurşunla alaşımlandırılır. Yine aynı amaç ve döküm kabiliyetinin artırılması için birçok dökme bronz da %6'ya kadar kurşun içerir. Kurşun sert lehimleme sıcaklıklarında bu metallerin dışına çökebilir ve gevrek birleşmeler meydana gelebilir.

4.5.1.8 Bakır - alüminyum alaşımları (alüminyum bronzları)

Bu alaşımlar sert lehimlenirken refrakter alüminyum birleşmelerinin oluşması zorluk çıkarır. Bakır-alüminyum alaşımlarının kuru hidrojen atmosferlerinde lehimlenmeleri iyi sonuç vermez. Bunun sebebi alüminyum oksitlerin redüklenmeyip ilave metalin akışını engellemesidir.

4.5.1.9 Bakır - silisyum alaşımları (silisyum bronzları)

Silisyumlu bronzlar sert lehimleme sırasında çatlama eğiliminde olup bu eğilim, artan silisyum oranıyla artar. Bu alaşımların tümü ergimiş ilave metal tarafından gerilme çatlama maruz bırakılırlar, bu yüzden ısıtılma sırasında aşırı gerilmelerini önlemek üzere önlem alınmalıdır.

4.5.1.10 Farklı alaşımların sert lehimlenmesi

Yukarıdaki gruplardan herhangi bir alaşım bir başka grubun bir alaşımıyla sert lehimlenebilir. Ancak uygunluğun sağlanabilmesi için sert lehimlenme sıcaklığı, ilave metal ve dekapanın seçimine dikkat edilmelidir. Örneğin bir bakır parçanın bir alüminyum bronz parçaya sert lehimlenmesinde çalışma sıcaklığı yüksek ergime noktalı bakıra göre değil, alçak ergime noktalı bronza göre seçilmeli ve bakırın bir BCuP serisi ilave metalle dekapansız sert lehimlenebilmesine rağmen, bronza uygun bir dekapan kullanılmalıdır.

4.5.2 İlave metaller

Bakır alaşımlarını birleştirmenin etkin yolu sert lehimleme olup; 618°C ile 871°C sert lehimleme sıcaklığı gerektiren gümüş esaslı ilave metallerle, 704°C ila 816°C sıcaklığı gerektiren bakır – fosfor içeren ilave metaller en çok kullanılan lehim malzemeleridir. Bütün RBCuZn, BCuP, BAu ve BAg ilave metaller, bakır esaslı metallerle kullanılmaya elverişlidirler. BCu ilave metali Cu -Ni alaşımlarını sert lehimlemede kullanılabilir; ancak diğer bakır esaslı metallere uygun olamayacak kadar yüksek bir likidus sıcaklığına sahiptir. AWS normlarına göre bakır ve alaşımlarının sert lehimleme parametreleri Çizelge.4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 AWS normlarına göre bakır ve alaşımlarının sert lehimleme parametreleri (Oğuz, 1988)

Malzeme	Önerilen ilave metaller	AWS sertifikasyonunda atmosferler*	AWS sertifikasyonunda dekaplanlar	Notlar
Bakırlar	BCuP-2**, BCuP-3**, BCuP-5**			Oksijen taşıyan
	RBCuZn, BAg-1a, BAg-1, BAg-2, BAg-5, BAg-6, BAg-18	1 veya 2 veya	3 veya 5	Bakırlar hidrojen içeren atmosferler içinde lehimlenmemelidir
Yüksek bakırlar	BAg-8, BAg-1		3A	
Kırmızı	BAg-1a, BAg-1, BAg-2		3	
	BCuP-5, BCu P-3,	1 veya 2 veya	RBCuZn için	
	BAg-5, BAg-6, RBCuZn			
Sarı pirinçler	BCuP-4, BAg-1a, BAg-1			
	BAg-5, BAg-6	3 veya 4 veya	3	İşlem süresi kısa tutulmalıdır
	BCuP-5, BCu P-3			
Kurşunlu bakırlar	BAg-1a, BAg-1, BAg-2			
	BAg-7, BAg-18	3 veya 4 veya	3	İşlem süresi kısa tutulmalı ve işlemden önce gerilim giderilmelidir
	BCuP-5			
Kalay pirinçleri	BAg-1a, BAg-1, BAg-2			
	BAg-5, BAg-6	3 veya 4 veya	3	

	BCuP-5, BCuP-3			
	(düşük Sn için RBCuZn)			
Fosfor bronzları	BAG-1a, BAG-1, BAG-2			
	BCuP-5, BCuP-3	1 veya 2 veya	3	İşlemden önce gerilim giderilmelidir
	BAG-5, BAG-6			
Silisyum	BAG-1a, BAG-1, BAG-2	4 veya 5	3	İşlemden önce gerilim giderilmelidir. Abrazif temizleme faydalı olabilir.
Al. bronzları	BAe-3, BAG-1a, BAE-1	4 veya 5	4	
Nikelli Bakırlar	BAG-2			
	BAG-1a, BAG-1, BAG-2			
	BAG-18, BAG-5	1 veya 2 veya 5	3	İşlemden önce gerilim giderilmelidir
	BCuP-5, BCuP-3			
Nikel Gümüşleri	BAG-1a, BAG-1, BAG-2			
	BAG-5, BAG-6	3 veya 4 veya 5	3	İşlemden önce gerilim giderilmeli ve uniform ısıtma yapılmalıdır
	BCuP-5, BCuP-3			

* Asal gazlar veya vakum atmosferleri genellikle kabul edilir. (AWS tip 6, 9 veya 10).

** Bakırın sert lehimlemesinde koruyucu atmosfer gerektirmezler.

RBCu Zn ilave metalleri bakırları ve Cu-Ni, Cu-Si ve Cu-Sn alaşımlarını sert lehimlemede kullanılabilir. Bu malzemelerin likidus sıcaklıkları pirinçlerle nikel gümüşlerine elverişli olamayacak kadar yüksektir. Ayrıca bu malzemelerin sert lehimleme sıcaklıkları, alüminyum bronzları için gerekli dekapan tiplerinin etkinliğini azalttığından, bu alaşımlar için de kullanılamaz. BCuP ilave metalleri, Cu-Ni alaşımları da dahil olmak üzere bakır esaslı metallerin çoğuna uygundur.

B_{Ag} ilave metalleri bütün bakır esaslı metallere kullanılabilir. B_{Au} serisi özellikle düşük buhar basıncı ilave metallerin gerekli olduğu durumlarda ve elektronik uygulamalarında kullanılır. Bakır esaslı malzemeler çoğunlukla korozyon dirençleri nedeniyle kullanıldığından ilave metal seçiminde de bu faktör önemli bir etmen olmaktadır. Cu-Ni, Cu-Si, Cu-Sn alaşımlarının kullanıldığı durumda RBCuZn ilave metaller, bu alaşımlarla temasta uygun korozyon direncini göstermezler. Ayrıca oda sıcaklığının üstündeki kükürtlü atmosferlerde, BCuP ilave metallerinin kullanılması önerilmez.

Bakır - çinko içeren sert lehim malzemelerinde çinko miktarı arttıkça lehimin ergime noktası düşer. Çinkonun kaynama noktası atmosfer basıncında 906°C'dir. Düşük sıcaklıklarda çinko buharlaşmaya başlar ve bu olay lehim kalitesi için istenmeyen etkiler ortaya çıkarır. Pirincin sert lehimlenmesi ve kaynağında veya pirinçle sert lehimleme ve kaynakta, ergiyikte mevcut çinkonun %10 - %40'ı buharlaşır ve birleşme bölgesinde malzeme kaybı ile gözenekli bir yapı ortaya çıkar. Çinkonun buharlaşması bazı önlemlerle sınırlandırılabilir:

- Pirinç sert lehimle çalışma redükleyici atmosfer altında yapılmamalıdır. Ergimiş lehim üzerinde geçici ve ince bir çinko oksidi kabuğu oluşur. Bu kabuk, dekapan tarafından hemen çözülmesine rağmen çinko buharının oluşmasına engel olur.
- En fazla çinko buharlaşması tehlikesi arz eden L-Ms60, L-SoMs ve L-Ns ilave metalleri az miktarda silisyumla alaşımlandırılmalıdır. İlave metalin ergimesi esnasında oluşan kısa süreli silisyumdioksit, oksit tabakasının oluşmasını kolaylaştırır.

L-Ms60 ile L-SoMs'in ergime aralıkları farklıdır. L-Ms60'ta ergime aralığı 10°C olduğundan bu malzeme dar (kapiler) aralıkları doldurmaya çok elverişlidir. L-SoMs daha çok kaynak ağızlı sert lehimlemelere (lehim kaynağına) uygundur. Alçak çalışma sıcaklıkları dolayısıyla L-Ms54 ve L-Ms42'de çinko buharlaşması fazla olmaz.

Gri rengi dolayısıyla L-Ms42 ilave metali genellikle nikel içeren bakır alaşımlarında kullanılır. Bu sert lehim malzemesi iki nedenle istenir:

- Fosfor içeriği sert lehimleme sırasında kuvvetli bir redükleyici etki yapar. Dolayısıyla bu malzeme saf bakır ve bazen hafif alaşımlı bakır malzemeler üzerinde kendiliğinden akar; yani dekapana gerek göstermezler.
- Korumucu atmosferli fırın sert lehimlemesinde kullanılabilir. Göreceli olarak alçak çalışma sıcaklıklı sert lehim malzemeleri arasındadır. İçindeki kolay uçucu fosforun buhar basıncı çok düşüktür; dolayısıyla redükleyici atmosferde pratik olarak sert lehimden hiç fosfor kaçmaz.

Belirli bir çalışma sıcaklığının sabit tutulması, daha yüksek ısıtma olanağı, ana metalin rengine uygunluk, yüksek mekanik özellikler ve iyi bir korozyon dayanımı istendiğinde gümüş içeren ilave metaller kullanılır. Alçak çalışma sıcaklıkları ve iyi ısıtma olanakları sayesinde gümüşlü lehim malzemeleriyle daha kısa çevrim süreleri elde etmek ve daha temiz bir işlem yapabilmekle, gümüşün yüksek fiyatı göreceli olarak dengelenir.

L-Ag 25 rengi ve 400°C'ye kadar sıcaklığa maruz sert lehimleme bölgesi dolayısıyla sık kullanılır. L-Ag 44 yine sığağa dayanıklı olarak kabul edilir. Buna karşılık diğer malzemelerle yapılan birleştirmeler 300°C'nin üstünde bir sıcaklığa maruz bırakılmamalıdır.

L-Ag 30 Cd iyi şekil alabilen bir birleştirme bölgesi sağlar ve açık pirinç rengindedir. L-Ag 20 Cd, geniş katılma aralığı ile belirgin olup bu nedenle geniş (kapiler) aralıklarla lehim kaynağına uygundur.

Standart ilave metallerin yanı sıra özel amaçlar için, örneğin kolay buharlaşan çinko ve kadmiyum bileşenlerinin kullanılmadığı yerlerde çok sayıda başka sert lehim malzemesi kullanılabilir. Elektron tüpleri ve vakum kaplarında bakır malzemelerin önemli bir yeri olup buralarda, ötektik L-Ag 72'nin yanı sıra gümüş-bakır-indiyum, gümüş-bakır-altın ve de gümüş-bakır-paladyum içeren ilave malzemeler kullanılır.

Lehimleme sırasında bakır ve bakır alaşımları, ilave metaller tarafından erozyona uğratılabilir; ilave metaller de bakır içinde eriyebilir. 500°C ile 550°C'nin üstündeki sıcaklıklarda kadmiyum ve çinko özellikle erozyon etki gösterir.

Göreceli olarak yüksek erozyon kabiliyetleri dolayısıyla çinko esaslı ilave metaller bakır ve alaşımlarına 500°C ve daha aşağı sıcaklıklarda uygulanır. 500°C'nin üstündeki sıcaklıklarda sert lehimlemede, ergimiş çinko ile ana metalin teması mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. Bu nedenle indüksiyon veya direnç ısıtması en iyi seçim olmaktadır.

Saf bakırın kapiler, kaynak ağızlı (lehim kaynağı), önceden yerleştirilen ve aradan verilen ilave metallerle sert lehimleme yöntemleri için standart gümüş ilave metali olarak L-Ag 20 Cd kullanılır. Diğer gümüş ilave metallerin kullanımı, çalışma sıcaklığı ve sert lehimleme yerinin durumuna göre belirlenir. L-Ag 40 Cd sert lehim malzemesi 620°C'lik alçak çalışma sıcaklığıyla ve dar katılma aralığıyla özellikle kapiler sert lehimlemeye uygundur.

800°C çalışma sıcaklığına varılıp bunun biraz üstünde durmak gerektiğinde L-Ag 5, L-Ag 12 ve L-Ag 12 Cd kullanılır. L-Ag 12 Cd sadece önceden yerleştirilmiş olarak, L-Ag 12 de, dar katılma aralığı nedeniyle sadece kapiler sert lehimlemede kullanılır.

Çalışma sıcaklığının 700°C'nin üstüne çıkması halinde fosfor içeren sert lehimin gevrekleşme

riski ortaya çıkmaktadır. L-Ag 2P ile L-Ag 15P arasındaki ilave metaller kadar, birleşme bölgesinin gevrekliğinde belirgin bir azalma sağlar ve sürekli titreşimlere maruz kalacak olan birleştirmelere uygun olur.

Fosfor içeren ilave metallerin bir başka avantajı da bunların bakır üzerinde dekapana gerek göstermeden kendiliğinden akmaları ve buharlaşan herhangi bir bileşen içermemeleridir.

Çinko veya kadmiyum içeren ilave metaller nadiren gözeneksiz sert lehim yeri sağlarlar. Genellikle gözeneklilik, çalışma sıcaklığıyla artar. Daha önce belirtilmiş olan önlemlerin alınmasıyla boşluk alanları toplamı, tüm sert lehimleme alanının %10'unun altında tutulabilir. Bu sınır içinde kaldığı sürece pratikte mekanik özelliklerin korunduğu kabul edilebilir.

Elektriksel iletkenliğin ön plana çıktığı hallerde L-Ag 72 ya da saf gümüş kullanılır. Bunların iletkenliği $32Q/m.mm^2$ olup saf bakırın iletkenliğinin %56'sı kadardır.

4.5.3 Birleştirme Dizaynı

Tasarım için temel kural, tavllanmış bakırın bindirmeli birleştirilmesinde en büyük bağlantı kuvvetinin, bindirme uzunluğunun en ince parça kalınlığının üç katı olduğu zaman elde edildiğidir. Dezokside bakır bindirme birleştirmesi, ana metalin tüm kuvvetini daha az bir bindirmeyle sağlamaktadır. Çekme mukavemeti - bindirme mesafesi ilişkisi üzerine yapılan deneyler, ince parça kalınlığının iki katı bindirmede, kırılma yerinin değiştiğini göstermiştir. İki katı bindirmede kırılma, birleşme bölgesinden ana metala kaymaktadır. Daha büyük bindirmede kırılma, genellikle ana metalde, birleştirme yüzeyine paralel bir düzlemde oluşmaktadır. Bunun nedeni, BAg ve BCuP sert lehim malzemelerinin oda sıcaklığındaki mukavemetinin, tavllanmış ana metalinkinden yüksek oluşudur. Yüksek sıcaklıklarda sert lehim malzemelerinin mukavemeti bakırın mukavemetinden daha hızlı düşer ve kırılma muhtemelen bu malzemelerde olur. İlave metaller için önerilen sıcaklıklar Çizelge 4.6'da, elektrolitik bakırla fosforla dezokside edilmiş bakırın birleştirmelerindeki mekanik özellikleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Sert lehim ilave metalleri için önerilen maksimum çalışma sıcaklıkları (°C)

Lehim Malzemesi	Çalışma Sıcaklığı (°C)	
	Sürekli Çalışma	Kısa Süreli Çalışma
BCuP	149	204
BAg	204	316
BAu	427	538
RBCuZn	204	316

Çizelge 4.7 Bakırın bindirme birleştirmesinde çekme dayanımı

Lehim Malzemesi	Çekme Dayanımı (MPa)			
	Elektrolitik Bakır		Dezokside Bakır	
	Oda Sıcaklığı	196°C	Oda Sıcaklığı	204°C
BAg	124-138	165-207	117-131	69-76
BCuP	124-138	117-152	124-138	69-76

4.5.4 Bakır ve Alaşımlarının Sert Lehimlemede Kullanılan Yöntemler

Bakır ve alaşımları az çok bütün sert lehimleme yöntemleriyle birleştirilebilir. Ancak bazı önlemlerin alınması zorunlu olmaktadır:

- Fırın sert lehimlemesi, ana ve ilave metallerin aynı ergime alanlarına sahip bulunmaları ya da bu metallerin birbirleri içinde hemen ergiyebilmeleri halinde uygun olmayabilir. Uzun süren ısıtma, aşın reaksiyona ve yerel ergime meydana gelecek kadar ana metalin ergime alanının düşmesine neden olabilir.
- Soğuk çalışma koşullarında fosfor bronz, silisyum bronz ve nikel gümüşleri gibi metaller sert lehimlenirken ısıl darbeden kaçınılmalıdır; aksi halde çatlama meydana gelir. Dolayısıyla direnç, indüksiyon, daldırma ve oksii-asetilenle ısıtma süreçleri, ısıtmanın çok hızlı olması halinde, zorluklar çıkarabilirler.

- Oksijen içeren bakırların hidrojenli atmosferlere maruz kalmaları, bakırın gevrekleşmesine neden olur. Büyük parçaların üfleçle birleştirilmesi ve hidrojenli atmosferlerde fırın sert lehimlemesinden kaçınılmalıdır. Hidrojenle gevrekleşme, sıcaklık ve süreye duyarlıdır: sıcaklık ve süre arttıkça hidrojen gevrekleşmesinin etkisi de artar.
- % 2,5'dan fazla kurşun içeren bakır alaşımları uzun süre ısıtıldıklarında gevrekleşme ve tam olmayan bağlantıdan doğan kusurlu birleştirmeler meydana getirir. Dolayısıyla büyük iş parçalarının üfleçle veya fırında sert lehimlenmesi, uzun çevrim süresi nedeniyle sorun yaratabilir.
- Kükürt içeren bakırların fırın sert lehimlemesi hidrojen ya da asal gazlar içinde yapıldığında kükürt buharı ıslatmayı engelleyebilir.

4.5.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Alüminyum bronzları dışında bütün bakır esaslı metalleri sert lehimlemede AWS tip 3A ve 3B dekapanları, BCuP ve BAg ilave metallerle kullanılmaya elverişlidir. Alüminyum bronzları üzerinde kolaylıkla refrakter oksitler oluştuğundan daha aktif tip 4 dekapanları etkili olabilir. 3A dekapanının etkinliği RBCu Zn ilave metallerine gerekli olan işlem sıcaklıklarında hızla azalabilir, BCu ile sert lehimlemede ise tamamen yok olur. Bu ilave metallerle tip 5 dekapan, (alüminyum bronz ve berilyumlu bakır ana metalleri dışında) kullanılabilir. Daha aktif dekapanların gerektiği durumlarda tip 4 ve tip 5 karışımları ihtiyacı karşılayabilir.

DIN 8511 de verilmiş dört tip dekaptan F-SH3, yüksek aktivite sıcaklığı dolayısıyla bakır içeren malzemelerde kullanılamaz. F-SH4 de, F-SH1 gibi alçak ergime noktalı gümüş ve fosfor ilave metallerine uygun olmakla birlikte; bakır malzemeler için F-SH1 daha çok tercih edilir.

Yanmış yakıt gazları, bakır esaslı alaşımların çoğunu sert lehimlemek için ekonomik ve faydalıdır. Bununla beraber yüksek hidrojen içerikli 2, 3 ve 4 tipleri gevrekleştirici etkileri nedeniyle oksijen içeren bakırlarda kullanılmamalıdır. Bu bakırlarla ayrışmış amonyak da kullanılmaz. Argon, helyum ve azot gibi asal gazlar, bütün bakır esaslı alaşımlarda kullanılabilir. Vakum, alaşımlar sert lehimleme sıcaklığında yüksek buhar basıncına sahip elementler (kurşun, çinko vb.) içermediğinde iyi bir atmosferdir.

4.5.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Ön temizleme ve yüzey hazırlanması için, standart solventler ve alkalilerle yağdan temizleme yöntemleri bakır esaslı metallerin temizlenmesine uygun olup mekanik yollar, tel parçalar, kum püskürtme vb. yöntemler de oksitlerin atılmasında kullanılabilir. Oksitlerin tam kimyasal yolla atılması, dekapaj eriyiğinin uygun şekilde seçilmesini gerektirir. Sert lehimlemeden önce yüzey bakır oksidi filmi, mekanik yolla kolayca temizlenir. Geniş alanlar söz konusu olduğunda % 5 - %15 (hacmen) soğuk sülfürik asit dekapajı kullanılabilir.

Bakırlar ile pirinç ve nikel alaşımları soğuk sülfürik asit, alüminyum bronzları ile bakır-silisyum alaşımları hidroflorik ve sülfürik asit, kromlu ve nikelli bakırlar sıcak sülfürik asit kullanılarak temizlenebilir.

Bakır ve alaşımlarının sert lehimleme sonrası işlemleri dekapanın kaldırılması ve son temizlikten ibarettir. Dekapan artıkları bir korozyon kaynağı olabilir ve kaldırılmaları hem birleşmiş parçalar üzerinde sonradan yapılacak işler için, hem de iyi görünüm elde etmek için genellikle istenir. Bu artıklar, sıcak suya daldırılarak hemen erirler. Oksitlerin yok edilmesi ise mekanik temizleme (tel fırça) veya yukarıda sözü edilen eriyiklerle dekapaj yapılarak sağlanır. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

4.6 Magnezyum ve Alaşımlarının Sert Lehimlenmesi

Magnezyum alaşımlarının sert lehimlenmesinde karşılaşılan en büyük zorluk, bu malzemelerin yüksek kimyasal stabiliteye sahip ve pratik olarak argon, vakum veya benzeri aktif atmosferlerde ayrışmayan bir MgO oksit filmiyle kaplanmalarıdır. Bu oksit filmi lityum, potasyum, sodyum klorür ve florürleri kullanılarak kaldırılabilir. Ayrıca alçak ergime noktalı ilave metallerin kullanılması, abrazif ön kalaylamayı gerektirir.

Lehimlemeden sonra iş parçaları üzerinde kalan dekapan birleşme bölgesinde ağır korozyona sebep olduğundan, birleştirilen parçalar işlem bittikten sonra 30 dakika içinde temizlenmelidir. Dekapanların yoğunluğu, magnezyum esaslı ilave metalinkinden daha fazladır. Bu nedenle sert lehimleme sürecinin hızlı olmasına rağmen birleştirme içine dekapan girmesi problemiyle karşılaşılabilir. Birleştirme talaşlı işlendiğinde yüzey tabakası kaldırılmış olduğundan gözenekler açığa çıkabilir; dolayısıyla sert lehimlenmiş birleştirmelerin temizlenmesi gerekli olmaktadır.

4.6.1 Magnezyum ve Alaşımlarının Sert Lehimlenme Kabiliyeti

Magnezyum ve alaşımları nispeten alçak (640°C - 655°C) sıcaklıklarda ergidiklerinden bakır,

gümüş ve altın esaslı ilave metallere sert lehimlenemezler. Alüminyum esaslı lehim malzemeleri de, magnezyumla hemen reaksiyona girip birleştirme bölgesinde metaller arasında gevrek bir yapı oluşturduklarından uygun olmamaktadır. Bu nedenlerle magnezyum alaşımları sadece magnezyum esaslı alaşımlarla sert lehimlenir.

Magnezyum ilave metaller, likidus sıcaklıklarını düşürmek için Al, Zn, Cd; korozyon mukavemetini artırmak için Mn; yanmaya karşı koyması için Be; daha üstün ıslatma kabiliyeti için ise Ga ile alaşımlandırılır. BMg-1, BMg-2a'daki gibi yüksek alüminyum miktarı (%8,3 - %13) içeren ilave metaller, düşük korozyon mukavemetine sahiptir ve ana metal üzerinde yüksek bir erozyon etkisi oluştururlar. Dolayısıyla bu malzemeler kullanıldığında yüzeyden 1 - 1,5 mm.'ye kadar olan derinliklerde erozyon gözlenebilir.

Bakır, kurşun ve silisyum, magnezyum alaşımının korozyon mukavemetini belirgin şekilde azaltır. Bu nedenle magnezyum esaslı ilave metaller en fazla % 0,1 Cu, % 0,001 Fe ve % 0,3 Si içermelidir. Lehimlemeye uygun magnezyum alaşımları ve bu alaşımlarla kullanılan ilave metaller Çizelge 4.8'de görülmektedir.

Çizelge 4.8 Lehimlemeye uygun magnezyum alaşımları ve bu alaşımlarla kullanılan ilave metaller (Oğuz, 1988)

ASTM Alaşım Sembolü	Kullanım Şekilleri	Kimyasal Bileşim (%Mg + % olarak)				Yoğunluk (kg/m ³)	Solidus Sıcaklığı (°C)	Likidus Sıcaklığı (°C)	Sert Lehimleme Aralığı (°C)	Uygun İlave Metal
		Al	Zn	Mn*	Zr					
AZ10A	E	1,2	0,4	0,2	-	1760	632	643	582-616	BMg-1, BMg-2a
AZ31B	E,S	3	1	0,2	-	1790	566	627	582-593	BMg-2a
K1A	C	-	-	1,2	-	1760	649	650	582-616	BMg-1, BMg-2a
M1A	E,S	-	1,2	-	-	1760	648	650	582-616	BMg-1, BMg-2a
ZE10A	S	-	2,3	-	0,6	1760	593	646	582-593	BMg-2a
ZK21A	E	-	-	-	-	1790	626	642	582-616	BMg-1, BMg-2a

E = Hadde ürünleri, S = Levha ve sac, C = Döküm; * = minimum

4.6.2 İlave metaller

Magnezyum ve alaşımlarının sert lehimlenmesinde ağırlıklı olarak kullanılan ilave metaller

BMg-1 ve BMg-2a'dır. Bu malzemeler üfleç, fırın ve daldırma süreçlerine uygundur. Alçak ergime aralığı dolayısıyla uygulamaların çoğunda BMg-2a tercih edilmektedir. Çizelge 4.9'da BMg-1 ve BMg-2a'nın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.9 Magnezyum ve alaşımlarının lehimlenmesinde kullanılan BMg-1 ve BMg-2a ilave metallerinin özellikleri (Oğuz, 1988)

AWS A5.8 Sınıflandırması	ASTM Alaşım Sembolü	Kimyasal Bileşim (%Mg + % olarak)					Yoğunluk (kg/m ³)	Solidus Sıcaklığı (°C)	Likidus Sıcaklığı (°C)	Sert Lehimleme Aralığı (°C)
		Al	Zn	Mn*	Zr	Be				
BMg-1	AZ92A	9	2	0,1	-	0,00005	1850	443	599	604-616
BMg-2a	AZ125A	12	0,5	-	-	0,00005	1900	410	566	582-610

* = minimum

4.6.3 Birleştirme Dizaynı

Magnezyumla hem alın, hem de bindirme birleştirmeleri yapılabilir. Birleştirme boşluğu 0,10 mm. - 0,25 mm. aralığında olmalıdır. Dekapanların korozif etkileri nedeniyle, birleşme bölgesinin içinde sıkışacağı ve orada kalacağı şekilde birleştirme tasarımları yapılmamalıdır.

Magnezyum tutuşma riski olan bir metaldir. Bu malzemenin tutuşma kolaylığı geniş ölçüde malzemenin boyut ve şekline bağlıdır. Şerit, talaş halinde ince parçalar bir kıvılcımla bile ateş olabilir. İngot ve kütükler gibi iri parçalar, ısıyı hızla dışarı attıklarından, zor tutuşurlar.

Magnezyumun sert lehimlenmesinde üfleçle ısıtma kullanıldığında tutuşma riski beklenir. Ancak sadece birleştirilecek alanın ısıtılması ve bölgeyi yanmadan koruyan dekapanın kullanılmasıyla üfleç sert lehimlemesi sırasında da yanma olasılığı çok düşüktür.

4.6.4 Magnezyum ve Alaşımlarının Sert Lehimlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Magnezyum ve alaşımları üfleçle, daldırma ile ya da fırın sert lehimlemesiyle birleştirilebilir. Üfleç sert lehimlenmesinde nötr alev kullanılmalıdır. Ana metalin solidus sıcaklığı ile ilave metalin likidus sıcaklığının birbirine yakın olması nedeniyle BMg-1 ile üfleç sert lehimlemesi çok güçtür. İlave metali yüzeyden vermek zor olduğundan BMg-2a genellikle ısıtmadan önce dekapanlanarak yerleştirilmelidir.

Daldırma sert lehimlenmesinde ilave metal önceden yerine konduktan sonra sert lehimlenecek

parçalar fikstür aparatı içinde toplanır. Aparatlar, dekapanın korozif etkisine nedeniyle çoğunlukla paslanmaz çelikten yapılır. Daldırmadan önce, toplanmış parçalar bir fırında 455°C -485°C ta ısıtılarak rutubetten arındırılır ve ısı darbe ile dekapan sıkışmalarından kaçınılmış olur. Dekapan banyosuna daldırma süresi 1,6 mm kalınlıkta ana metaller için yaklaşık 30 - 45 sn., daha büyük kütleli parçalarda ise 1 - 3 dk. arasındadır.

Fırın sert lehimlemede herhangi bir özel atmosfer gerekli değildir. Bununla birlikte yanmış gaz ve SO₂ (ilave metalin akışı kabiliyetini azalttıklarından) kullanılmamalıdır. Ayrıca su veya alkolle ıslatılmış dekapan pastaları, ilave metal akışını geciktirirler. Dekapan pastaları bir kurutma fırınında kurutulmalıdır. Sert lehimleme süresi, tüm ilave metalin akmasını sağlayacak en düşük süre olarak alınmalıdır. Böylece ilave metalin aşırı difüzyonu ve magnezyumun yanma riski en aza indirilebilir.

4.6.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Magnezyum ve alaşımlarının sert lehimlenmesinde AWS Tip-2 dekapanları kullanılır. Daha önce de belirtildiği gibi bu dekapanların korozif etkileri nedeniyle lehimlemeden sonra tamamen temizlenmeleri son derece önemlidir.

4.6.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Birleştirilecek parçalar çok temiz ve çapaktan arındırılmış olmalıdır. Yağ, kir ve gres sıcak alkali banyosu veya buhar ya da solventler kullanılarak yok edilmelidir. Kromat veya oksitlerin oluşturduğu yüzey filmleri sert lehimlemeden önce mekanik ya da kimyasal yolla, kaldırılmalıdır. Mekanik temizleme olarak alüminyum oksit bezi (zımpara bezi) veya çelik yünü iyi sonuç kullanılabilir. Kimyasal temizleme içinse uygun kromik asit, ferritik nitrat ve potasyum florür karışımı, kısa süreli olarak (15 sn. – 3 dk.) iş parçasına uygulanır ve daha sonra iş parçası yıkanarak kurutulur.

Kullanılan sert lehimleme süreci ne olursa olsun her türlü dekapan kalıntısının yok edilmesi son derece önemlidir. Parçalar önce yüzeylerindeki dekapanın atılması için akar sıcak suda iyice çalkalanır. Sert bir fırçayla bu atma işi kolaylaştırılabilir. Bundan sonra 1-2 dk. krom dekapajına, daha sonra da 2 saat kaynar sert lehimleme sonrası temizleyiciye (suda çözülmüş sodyum dikromat) daldırılır. Krom dekapajı uygun miktarlarda sodyum dikromat ve yoğun nitrik asit içeren bir kimyasaldır. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

4.7 Isıya Dayanıklı Alaşımların Sert Lehimlenmesi

Isıya dayanıklı alaşımlar yüksek mekanik dayanımları, korozyon dirençleri ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilme kabiliyetine sahip alaşımlardır. Süper alaşımlar olarak da adlandırılan bu alaşımlardan en çok kullanılanları nikel ve kobalt esaslı olanlardır. Bu çalışmada da nikel ve kobalt esaslı alaşımların sert lehimlenmesi incelenmiştir.

Sert lehimleme açısından nikel ve alaşımları aşağıdaki sınıflara ayrılabilirler:

1. Ticari saf nikel
2. Nikel-bakır alaşımları
3. Nikel-krom-demir alaşımları
4. Nikel-krom-molibden alaşımları
5. Toryumlu nikel alaşımları

(1) ve (2) gruplarındaki alaşımlar özellikle, korozyon direncinin önemli olduğu ya da malzeme saflığının korunmasının gerektiği uygulamalarda kullanılır. (3), (4) ve (5) gruplarındakiler de birçok ortamda iyi bir korozyon direnci gösterir. Buna ek olarak da yüksek sıcaklıkta yüksek mekanik ve oksidasyon dayanımına sahiptirler. Bu özellikleri etkili olarak kullanabilmek için, çalışma koşullarının lehimlenmiş birleştirme üzerindeki etkisini saptamak önemlidir.

Nikel ve nikel alaşımları sert lehimlemede birçok bakımdan demir esaslı alaşımlara benzer. Dolayısıyla demir esaslı metallerin lehimlenmesinde geçerli olan parametreler nikel ve alaşımları için de geçerlidir. Bununla beraber nikel esaslı malzemelerin bakırla sert lehimlenmesinde dikkat edilmesi gereken önemli noktalar bulunmaktadır. Bakır, Nikel 200 veya Monel 400 ile kolayca alaşımlanır ve birleştirme malzemesinin ergime noktasını yükseltmeye ve dolayısıyla akmayı engellenmeye yetecek kadar nikeli bünyesine alır. Bu nedenle sıcaklık altında tutma süresi kritik olmaktadır. Krom, titanyum, alüminyum gibi alaşım elementlerinin varlığı, bakırla birleştirmeyi çok güçleştiren refrakter oksitler oluşmasına sebep olur.

Birçok özelliğiyle nikel çok benzeyen kobaltın dahil olduğu alaşımlar, genellikle korozyon ve ısıya dayanıklılık nitelikleri için kullanılırlar. Kobalt içeren demir esas malzemelerinin bazıları, metal-cam sızdırmazlık elemanı olarak uygulama alanı bulmaktadır. Kobaltın kullanıldığı üç sıradan alaşım grubu vardır. Bunlar demir esaslı, nikel esaslı, kobalt esaslı alaşımlardır. Genel olarak nikel ve yüksek nikelli alaşımlar için geçerli olan lehimleme

parametreleri kobalt içeren alaşımlar için de uygundur.

4.7.1 Isıya Dayanıklı Alaşımların Sert Lehimlenme Kabiliyeti

Saf nikel, bir oksitleyici atmosferde herhangi bir sıcaklıkta sadece bir NiO oksit tabakasına bürünür. Nikele krom (nichrome), alüminyum ve titanyum eklenmesiyle ise üç ayrı yapıda ve iç yapı olarak izomorf olan oksitler meydana gelir. Nichrome esaslı alaşımlar alçak sıcaklıklarda (500°C'ye kadar) bir NiO oksidi tabakasıyla veya mevcut alaşım ilavelerine göre, daha yüksek sıcaklıklarda diğer oksitlerle kaplanır. 1200°C ve daha yukarı sıcaklıklarda karmaşık nikel alaşımları üzerinde oluşmuş rekrystalize NiO oksidi bir ısıl dayanımda kayba yol açar. Dolayısıyla lehimleme işlemi sonrasında iş parçasının çalışma özelliklerini bozmuş olma riski ortaya çıkmaktadır.

800°C'nin üstünde yürütülen sert lehimleme işlemlerine yüksek sıcaklık sert lehimlemesi adı verilmektedir. Yüksek sıcaklık sert lehimlemesi, ergitmeli kaynak süreçleriyle kolayca birleştirilemeyen alaşımlarda ya da kalın kesitlerde kaynak edilemeyen Nimonic alaşımlarında kullanılmaya özellikle uygundur. Nilo gibi nikel esaslı alaşımların kendileriyle ve seramiklerle birleştirilmesi için elektronik endüstrisinde geniş ölçüde kullanılır. Bütün nikel alaşımları bu yöntemle birleştirilebilirlerse de pratikte bu daha çok ısıya dayanıklı alaşımlara uygulanır.

Aşırı derecede yüksek bir sert lehimleme sıcaklığı ana metalin nitelikleri üzerinde ciddi ölçüde olumsuz etki yapabildiğinden ilave metal olarak, istenilen sonucu verecek en düşük ergime noktalı malzeme seçilmelidir. Ayrıca, sert lehimleme çevrimi sırasında iç yapısal değişimleri en düşük düzeyde tutmak için sert lehimleme sıcaklığına ısıtma ve sonraki soğutma hızı, mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Ortamda bulunabilecek kükürt ve alçak ergime noktalı metallerin etkileriyle gerilme çatlama sorunu ortaya çıkabilmektedir. Yaşlanma sertleşmeli nikel alaşımları da gerilme çatlama eğilimlidirler. Dolayısıyla bu metaller tavlanmış ya da eriyik işlemine tabi tutulmuş olarak lehimlenmelidir.

4.7.2 İlave Metaller

Demir esaslı malzemeler için normal olarak kullanılan ilave metaller nikel ve yüksek nikel alaşımlarına da uygundur. Seçim, bitmiş birleşmenin çalışma koşullarına bağlıdır. Bunun yanında ana metal için gerekebilecek herhangi bir ısıl işlem de dikkate alınmalı; sert lehimlenmiş birleştirme, uygulanacak olan ısıl işlem sıcaklığına dayanabilmelidir.

BAg serisi, nikel ve yüksek nikel alaşımlarını kendileriyle ve birçok başka metal ve alaşımla

birleştirmede kullanılabilir. Uygun dizayn ve teknikle, sert lehimlenmiş birleştirme ana metalin tüm mukavemetini sergileyebilir. Alçak ergime noktalı BAg-1, BAg-la ve BAg-3 genellikle kullanılmakla birlikte birçok korozif ortam için en az % 50 gümüş içeren ilave metaller yeğlenir. BAg-7, gerilme çatlağı riski olan durumlarda faydalıdır.

Yüksek nikel alaşımlarının çoğu çelikle aynı tekniği (sert lehimleme sürecinde bazı ikincil değişmelerle) kullanarak BCu ilave metalleriyle sert lehimlenebilirler. BCu ilave metaller, çelikle olduğundan daha çabuk nikel alaşımlarıyla alaşımlanır. Bu nedenle doğabilecek sorunları ortadan kaldırmak için ilave metal birleştirme yerine mümkün olduğu kadar yakın bir yere konmalı ve az miktarda kullanılmamalıdır.

BNi ilave metalleri (zellikle BNi-6 ve BNi-7), nikel esaslı ve yüksek nikelli ısıya dayanıklı alaşımların sert lehimlenmesinde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu ilave metallerle uygun şekilde sert lehimlenme yapıldığında, çok yüksek oksitlenme, korozyon ve yüksek sıcaklık dayanımına sahip birleştirmeler elde edilebilmektedir. Ancak uygun şartlar sağlanmadığında, içerdikleri bor nedeniyle ana metalde kristaller arası kimyasal erozyona sebep olabilirler. Bu erozyon, alaşımların yüzeyleri nikellenerek önlenebilmektedir. Yine aynı özellikleri sağlamak için yüksek nikel alaşımlarının sert lehimlenmesinde paladyum veya platin ilaveli nikel esaslı ilave metallerle, altın esaslı, paladyum esaslı ve platin esaslı metaller de kullanılabilir.

Bor ilaveli nikel alaşımları, bor içeren ilave metaller tarafından en ağır kimyasal erozyona uğratılırlar. Bu nedenle ince cidarlı nikel alaşımlarının bu tür ilave metallerle sert lehimlenmesi önerilmez.

Ni-Mn-Cr ilave metallerin nikel alaşımları üzerine ciddi bir erozyon etkisi yoktur. Ancak bu alaşımların, uzun süre ve fazla ısıtılmaları ya da uzun süre ergimiş ilave metalle temas halinde kalmaları, kuvvetli kimyasal erozyona sebep olabilir. Nikel alaşımları en az erozyona 1250°C'nin altında ergiyen Pd-Ni ve Pd-Ni-Cr ilave metalleriyle uğrar ve bu malzemelerle meydana getirilmiş birleştirmeler 500°C - 800°C'ye kadar yüksek sıcaklıklara dayanıklı olur.

Inconel tipi Ni-Cr-Fe alaşımları en iyi nikel esaslı ilave metallerle sert lehimlenir. Inconel tipi alaşımlarda % 0,5 ve daha fazla oranda bulunan alüminyum ve titanyum gibi elementler son derece stabil oksitler oluşturup, yüzeyin ıslatılmasına engel olurlar. Bu durumda metal yüzeyi taşlanmak ve dağlanmak suretiyle bu oksit filmi kaldırılır. Nikellemeyle de ıslatılma iyileştirilebilir.

Kobalt ve kobalt içeren malzemelerde BAg ve BCu ilave metalleri kullanıldığında, çalışma

sıcaklığı arttıkça mekanik dayanım ve oksitlenmeye dayanıklılık düşmektedir. Çalışma sıcaklığının yüksek olduğu hallerde BNi serisi ilave metaller kullanılmalıdır.

4.7.3 Birleştirme Dizaynı

İlave metal olarak BAg ve dekapan kullanıldığında birleşme aralığı 0,05 mm. - 0,13 mm arasında olmalı; kontrollü atmosferlerde ise en iyi kaliteyi elde etmek için 0,01 mm.'ye indirilmelidir. Kural olarak, geniş aralıklar, daha düşük birleşme dayanımına sahip olur.

İlave metal olarak BCu kullanıldığında birleştirme tasarımı birçok bakımdan çelikte olduğu gibidir. Birleşme aralığı 0,05 mm.'ye kadar olabilir. Uygun aralığın verilmesi halinde alın birleştirmesi, tavllanmış ana metalin dayanımına yakın bir dayanım gösterir.

BNi tipi ilave metaller için genel olarak BAg ile aynı tasarım şartları benimsenebilir. 0,005 mm.'den daha az aralıklarla daha iyi mekanik dayanım değerlerine ulaşılır. Bunun yanında, geniş aralıklara (0,25 mm.'ye kadar) özgü ilave metaller de bulunmaktadır. Genel olarak BNi ilave metalleri kullanıldığında, sert lehimleme, uygun bir atmosferle çalışan bir fırında yapılır. Bu ilave metaller genel olarak; akrilik reçine gibi uçucu bir aracı ile birlikte fırça, püskürtme veya ekstrüzyonla uygulanır. Aracıyı kullanırken herhangi bir zararlı artığın kalmamasına dikkat edilmelidir. Uygun şekilde kullanıldığında aracının ısıtma süresi içerisinde tamamen yok olması gerekir. İlave metaller kaplama, toz, folyo vb. şekillerde kullanılabilir.

Yaşlanma sertleşmesine uğratılmış alaşımlar, standart alaşımlardan bakırla (Inconel tipi alaşımlar dışındakiler) ya da nikelde kaplanarak refrakter oksitlerin oluşmasını önlenebilir. Kaplama kalınlığı bakırda 0,008 mm., nikelde 0,01 mm. - 0,05 mm. arasında olmalıdır.

4.7.4 Isıya Dayanıklı Alaşımların Sert Lehimlemesinde Kullanılan Yöntemler

Nikel ve kobalt alaşımlarının sert lehimlenmesinde en çok kullanılan süreçler üfleç, fırın, indüksiyon ve direnç sert lehimlemeleri olup, daldırma yöntemi sınırlı olarak uygulanmaktadır. BAg serisinin lehimlenmesi üfleçte yapılırken, BCu ve BNi serileri genellikle kontrollü atmosfer sert lehimlemesinde uygun olmaktadır. Fırın sert lehimlemesinde, sıcaklığın dikkatli kontrolü önemlidir. Tam sızdırmaz metalik fırında vakum sert lehimlemesi, yaşlanma sertleşmesine tabi tutulmuş alaşımlar için geniş ölçüde kullanılır.

4.7.5 Dekapanlar ve Atmosferler

BAg ilave metaller kullanıldığında, alüminyum içermeyen alaşımlar için AWS tip 3A ve 3B dekapanlar uygundur.

Alüminyum ve titanyum gibi elementlerin meydana getirdikleri inatçı oksitler normal fırın atmosferiyle redüklenemezler. Bu nedenle kuru, oksijenden arındırılmış atmosferler çoğu oksidin oluşmasını önlemek ve birçok durumda da, oluşmuş olanları redüklemekte kullanılır. Ancak lehimlemenin 0,15 Pa veya daha az basınçtaki bir vakum atmosferi altında yapılması daha etkilidir. Argon veya helyum gibi asal gazlar kullanıldığında parçalar ocağa konulurken yüzey oksidinden arındırılmış durumda olmalıdır. Bazı hallerde saf hidrojen kullanılabilir. Atmosferin çığ noktası, oluşabilecek ya da redüklenmesi gereken oksidin türü tarafından belirlenir.

4.7.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Nikel ve kobalt alaşımları üzerinde oluşan oksit filmleri çok karardır ve tel fırçayla kaldırılamazlar. Zımpara bezi veya taşlama bu daha etkili olmaktadır. Kobalt ve yüksek nikel alaşımları, tüm yabancı maddelerden arındırılmadan, dekapajla oksit tabakasının uniform şekilde kaldırılabilmesi beklenmemelidir. Sabun, sıcak suyla temizlenir. Eriyebilen yağlar, donyağı ve yağ asit bileşimleri için sıcak su (82°C - 93°C), %10 - %20 eşit oranda sodyum karbonat ve trisodyum fosfat veya kostik soda kullanılır. Parçalar bu kimyasala yarım saat kadar daldırılır ve sonra suda çalkalanır. Madeni yağlar ve gresler trikloretilen ve diğer solventlerde kolayca erirler.

Birçok uygulama, herhangi bir sert lehimleme sonrası işleme gerek göstermez. Oksitlenme meydana gelmişse, bir dekapaja başvurulabilir. Dekapan kullanılmışsa, bir temizleme işlemi gerekebilir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda ya da korozif çevrelerde çalışacak olan parçalarda dekapanın temizlenmesi önemlidir. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

4.8 Reaktif ve Refrakter Metallerin Sert Lehimlenmesi

Refrakter metaller, ergime noktaları demir, nikel ve kobalttan daha yüksek olan veya 2000°C'yi geçen metallerdir. Molibden, tungsten, niobium ve tantal gibi metaller bu malzemelere örnek olarak verilebilir. Reaktif metaller ise titanyum, zirkonyum ve berilyum gibi genellikle stabil oksit oluşturma eğilimi gösteren malzemelerdir.

4.8.1 Refrakter Metallerin Sert Lehimlenmesi

Endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan refrakter metaller molibden, tungsten, niobium ve tantaldir. Bu malzemelerin ve alaşımlarının lehimlenmesi, yüksek ergime noktaları ile kendilerine özgü mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle özelleşmiş ve

karmaşıktır. Molibden elektronik sistemlerde ve yüksek sıcaklığa dayanım istenen yerlerde kullanılır. Tungsten genellikle lamba filamanlarında, ısıtıcı parçalarda ve kaynak elektrotlarında kullanılır. Niobium havacılık endüstrisinde itme sistemlerinde ve korozyon direnci istenen yerlerde geniş çapta kullanılmaktadır. Tantalın ise en büyük kullanım alanı kapasitörlerdir. Tantal ayrıca kimyasal işlem ekipmanlarında da kullanılır.

4.8.1.1 Refrakter Metallerin Sert Lehimlenme Kabiliyetleri

Molibden ve tungsten alaşımları preslenmiş, sinterlenmiş, ark-dökümle dökülmüş ve haddelenmiş olarak bulunur. Tungsten bilinen metallerin arasında 3410°C ile en yüksek ergime sıcaklığına sahip olanıdır. Her iki metal de yüksek elastikiyet modülüne, çok iyi yüksek sıcaklık özelliklerine sahiptir ve Mo hemen hemen çelik kadar kuvvetlidir.

Mo'nin yoğunluğu tungstenin yoğunluğunun yarısı kadar olup iyi bir ısı iletkenliğe sahiptir. Bununla birlikte zayıf olan oksitlenme dayanımı, yüksek sıcaklıklarda koruyucu kaplama yapmayı gerektirir. Çok az miktarda oksijen, azot ve karbonun varlığı bile molibdenin sünekliğini azaltır. Aynı şekilde rekristalize olmuş molibdenin de mukavemet ve sünekliği azalır. Bazı Mo alaşımları oda sıcaklığında gevrek olmakla birlikte ılımlı yüksek sıcaklıklarda (149°C - 260°C) şekillendirilebilirler. Tungsten oda sıcaklığında gevrek ve bu halde üzerinde çalışılması zordur.

Tantal ve kolombiyum oda sıcaklığında kolayca işlenebilir. Tantalın ısı iletkenliği molibdeninkinin dörtte biri, genleşme katsayısı üçte bir kadar daha fazladır. Yüksek sıcaklıkta mukavemeti, tungsten ve molibdene göre düşüktür. Korozyon direnci sıcak sülfürik asit eriyikleri dışındaki kimyasalların çoğunda oldukça iyidir. Saf tantal, soğuk işleme miktarına bağlı olarak yaklaşık 1204°C'de rekristalize olur. Saf Cb'ın rekristalizasyon sıcaklık aralığı ise 982°C - 1093°C'dir.

Tantal, çeliğin yaklaşık iki katı ağırlığında (özgül ağırlığı 16,6 gr/cm³), yüksek ergime noktasına sahip ve bütün özel metaller gibi gazlara duyarlı bir malzemedir. Bu nedenle tantalın yüksek sıcaklık dayanımı (1650°C'de 17 - 20 KPa/mm²) sadece vakum altında ya da sürekli koruyucu atmosfer altında kullanılabilir.

Niobium tantala çok benzer. Refrakter metaller arasında en alçak ergime noktasına (2416°C), en alçak elastikiyet modülüne (tavlanmış levhanın akma sınırı 207 MPa, kopma gerilmesi 345 MPa, uzaması % 35) ve en yüksek ısı genleşme katsayısına sahip olanıdır.

Uygun süreçlerin kullanılması halinde refrakter metaller kendileriyle ve diğer metallerle ve

sert lehimlenebilir.

4.8.1.2 İlave Metaller

B_{Ag}-3, B_{CuP} ve B_{Cu} gibi alçak ergime noktalı ilave metaller tungsteni, elektrik uygulamalarında lehimlemek için kullanılır; ancak yüksek sıcaklıklarda çalışma istenilen durumlarda kullanım alanları sınırlıdır. Nikel ve manganez esaslı yüksek sıcaklık dayanımına sahip ilave metaller, uzay uygulamalarında tungstenin birleştirilmesi için kullanılır. Platin ve bor esaslı ilave metaller, nispeten alçak sıcaklıklarda lehimlemeye ve bu tür birleştirmelerin yaklaşık 3038°C'ye kadar kullanılmasına olanak sağlar.

Mo rekristalizasyon sıcaklığının üstünde sert lehimlendiğinde, işlem süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır. Parçalardan yüksek sıcaklıkta çalışma istenmiyorsa bakır ve gümüş esaslı ilave metaller kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklıkları gerektiren elektronik parçaları gibi uygulamalarda Cu-Au, Ni-Au, Ni-Cu ilave metalleri kullanılabilir. Daha da yüksek sıcaklıklar için saf metaller kullanılabilir.

982°C'nin altında çalışacak tantal iş parçalarının lehimlenmesinde nikel esaslı ilave metaller (Ni-Cr-Si alaşımları gibi) kullanılabilir. % 40'dan az altınlı Cu-Au alaşımları da ilave metal olarak kullanılabilir; ancak %40 ile %90 arasında olan altın miktarları, gevrek olan yaşlanma sertlikli birleşmeler oluşturma eğilimindedir. Gümüş esaslı ilave metaller de ana metali gevrekleştirme eğilimi gösterir.

Niobiumun sert lehimlenmesi için tantalın sert lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller aynen kullanılır. Bunlara ek olarak Ti, Pt, Pd gibi saf ilave metaller de niobiumu birleştirmede kullanılır. Çizelge 4.10'da refrakter malzemelerin sert lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller verilmiştir.

Çizelge 4.10 Refrakter malzemelerin sert lehimlenmesinde kullanılan ilave metaller (ASM Handbook V.6, 1993)

İlave Metal Alaşımları	Lidus Sıcaklığı		Solidus Sıcaklığı		Açıklama
	°C	°F	°C	°F	
Sık Kullanılan Ana Malzemeler					
25CR-20NI-FE	1454	2650	-	-	25-20 paslanmaz çelikler
55CO-20NI-15W-10NI	1427	2600	-	-	L-605 kobalt alaşımı
18CR-8NI-FE	1427	2600	-	-	Paslanmaz çelikler
54CO-27CR-6MO-5NI	1400	2550	-	-	Alaşım 21
80NI-14CR-6FE	1393	2539	-	-	Inconel

67NI-33CU	1349	2460	-	-	Monel
Gümüş Esaslı Ticari Lehim Alaşımları					
75AG-20PD-5MN	1072	1962	1008	1846	
AG	961	1762	961	1762	
54AG-21.3CU-24.7PD	950	1742	900	1652	Düşük ergime noktalı çeşitli Ag-Cu-Pd alaşımları mevcuttur
72AG-28CU	780	1436	780	1436	
82AG-9GA-9PD	880	1616	845	1553	
71.5AG-28.1CU-0.75NI	795	1463	780	1436	
54AG-42CU-2NI	893	1639	771	1420	
68AG-27CU-10SN	760	1400	743	1369	
Altın Esaslı Ticari Lehim Alaşımları					
92AU-8PD	1240	2264	1200	2192	
50AU-25PD-25NI	1121	2050	1102	2016	Düşük ergime noktalı birçok Au-Pd-Ni kompozisyonu mevcuttur
73.8AU-26.2NI	1010	1850	990	1814	
50AU-50CU	970	1778	955	1751	
82AU-18NI	950	1742	950	1742	
Saf İlave Metaller					
RE	3186	5767	-	-	Tungsten Sert Lehimlemesi, Difüzyon işlemi yapılmadığında 2830 °C'de (5126 °F) tekrar ergime
TA	3020	5468	-	-	Tungsten Uygulamaları
NB	2471	4480	-	-	Tungsten Uygulamaları
RU	2254	4089	-	-	Tungsten Uygulamaları
RH	1963	3565	-	-	Tungsten Uygulamaları
PT	1768	3214	-	-	Molibden ve Tungsten Uygulamaları
PD	1552	2826	-	-	Molibden ve Tungsten Uygulamaları
Diğer Ticari Sert Lehim Alaşımları					
80MO-20RU	2275	4127	2125	3857	Molibden ve Tungsten Uygulamaları
60PT-20RH	1990	3614	1950	3542	Molibden ve Tungsten Uygulamaları
75PT-20PD-5AU	1695	3083	1645	2993	Molibden ve Tungsten Uygulamaları
65PD-35CO	1220	2228	1220	2228	Molibden ve Tungsten Uygulamaları
Diğer Sert Lehim Alaşımları (Ticari olarak mevcut olmayıp, özel olarak üretilen)					
W-50MO-3RE	2900(A)	5252(A)	-	-	
MO-50S	2600(A)	4712(A)	-	-	
W-250S	2600(A)	4712(A)	-	-	
V-50MO	2257(A)	4095(A)	-	-	
TI-25CR-21V	1482(A)	2700(A)	-	-	1921 °C (3490 °F)'de tekrar ergime
84NI-16TI	1288(A)	2350(A)	-	-	1000 °C (1830 °F)'de yüksek mekanik dayanım
FE-15MO-4C-1B	1200(A)	2192(A)	-	-	Sıvı bizmut ve sodyum içerisinde korozyon dayanımı
52NB-48NI	1190(A)	2174(A)	-	-	1000 °C (1830 °F)'de yüksek mekanik dayanım
AG-30PD	1148(A)	2098(A)	-	-	Minimum molibden erozyonu
TI-25CR-3BE	1110	2030	993	1819	Difüzyon işlemi yapılmadığında 1600 °C (2912 °F)'de yeniden ergime

PT-B	1100(A)	2012(A)			Boron içeriği 1-4.5%; Difüzyon işleminden sonra 2100 °C (3812 °F)'de tekrar ergime
------	---------	---------	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------

4.8.1.3 Birleştirme Dizaynı

Toplama ve fikstürleme işlemleri sırasında tungsten parçalar, doğal gevreklikleri nedeniyle, kırılma riski altındadır. Daha önce yapılmış olan talaşsız şekillendirme şekillendirme veya kaynak işlemlerinden kalan iç gerilmeler, tungsten parçalar lehimlenmeden önce gerilim giderme

işlemiyle giderilmelidir.

Molibdenin düşük ısıl genleşme katsayısı, birleştirme tasarımıda, özellikle farklı metallere birleştirilmesinde dikkate alınmalıdır. Birleştirme aralıkları 0,05 mm. ile 0,13 mm. arasında olmalıdır.

Tantal ve niobiumun düşük elastiklik modülü ve göreceli olarak yüksek olan ısıl genleşme katsayıları da özellikle farklı metallere birleştirmede dikkate alınması gereken faktörlerdir.

4.8.1.4 Refrakter Metallerin Sert Lehimlemesinde Kullanılan Yöntemler

Refrakter metaller, fırın (asal gaz, redükleyici atmosfer veya vakum), üfleç, direnç ve induksiyon ısıtmasıyla sert lehimlenebilir. Fırın birleştirmesine genellikle parçaların induksiyon ve direnç sert lehimlemelerine uygun olamayacağı kadar büyük olmaları halinde başvurulur.

Molibdenin oksii-asetilen kullanılarak üfleçle sert lehimlenmesi, gümüş ve bakır esaslı ilave metaller ve uygun bir dekapanla gerçekleştirilebilir.

4.8.1.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Tungsten asal gaz (helyum - argon) atmosferi, redükleyici atmosfer (hidrojen) vakumda vakumda sert lehimlenebilir. Vakum atmosferinde sert lehimleme için, ilave metalleri oluşturan elementlerin buhar basınçlarının, kullanılan sıcaklık ve basınçlara uygun olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca gaz tahliyesinin ana metallere ilave metalin özellikleri üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır. Tungsten elektrik kontaktörlerinin sert lehimleme uygulamalarında gümüş ve bakır esaslı ilave metaller kullanılması halinde, alçak sıcaklık dekapanları kullanılır.

Molibdenin lehimlenmesinde oksii-asetilen üfleci kullanıldığında, ticari borat esaslı bir

karışım veya gümüş dekapanı (AWS tip 3A ve 3B) ile kalsiyum flüorürü içeren bir yüksek sıcaklık dekapanı karışımı kullanılarak iyi bir koruma elde edilebilir. Dekapanlar 566°C ile 1427°C arasındaki sıcaklıklarda aktiftirler. Molibden önce ticari gümüş dekapanı ile kaplanır; sonra yüksek sıcaklık dekapanı uygulanır. Gümüş sert lehimleme dekapanı, aktif sıcaklık aralığının alt sınırında aktif olup bundan sonra, 1427°C'ye kadar aktif olan yüksek sıcaklık dekapanı devreye girer. Saflaştırılmış kuru hidrojen ve asal gaz (helyum ve argon) atmosferleri de molibdenin sert lehimlenmesi için uygundur. Saf molibdenin sert lehimlenmesinde hidrojenin saflığı kritik bir faktör değildir.

Tantal ve niobium için sadece asal gazlar (argon ve helyum) ve vakum kullanılır. Bu metalleri gevrekletiren O, N ve H gibi bileşenlerden kaçınılacaktır. Sert lehimleme, kullanılan ilave metallere uygun dekapanlar kullanılarak havada yapılabilir. Bununla birlikte tantal nikel veya bakır elektro kaplama gibi bir koruyucu kaplamayı gerektirir.

4.8.1.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Sert lehimlemeden önce çok iyi temizleme esastır ve ön temizleme için hem mekanik hem de kimyasal yöntemler kullanılabilir. Tungsten için kullanılan temizleme yöntemleri kaynar % 20 potasyum hidroksit karışımına daldırma veya bu karışım içinde elektrolitik dekapaj, hacim olarak %50 HNO₃ ve %50 HF karışımı içinde kimyasal dekapaj, ergimiş sodyum hidroksit ve sodyum hidrürü içine daldırma olarak sıralanabilir.

Molibdenin yüzeyinden oksidin kaldırılması kesinlikle zorunludur. Temizleme işlemi sert lehimlemeden hemen önce yapılmalıdır. Yağ, parmak izi ve gresin temizlenmesi için mekanik ya da kimyasal yollara başvurulur. Kum püskürtme, sıvı abrazyon temizleme veya abrazyon, basit parçaların üzerinden oksit filminin kaldırılması için kullanılabilirse de kimyasal temizleme, özellikle karmaşık şekilli parçalarda daha uygundur. Hafif yüzey oksit filmleri tuz banyosundan sonra uygun bir işlemle yok edilir. Basit parçalardan bu yüzey oksitlerinin kaldırılması için elektrolitik dekapaj sıvıları kullanılabilir; ancak molibdenin tane sınırlarına atak ciddi olabilir.

Tantal hem mekanik hem de kimyasal yollarla temizlenebilir. Sıcak kromik asit iyi sonuç verir; ancak sıcak kostik eriyikler metali atake ettiği için kullanılmamalıdır. Kromik asit temizlenmesinden önce tantal püskürtmeyle temizlenebilir; ancak bu işlemden sonra, yüzeye gömülmüş demir zerrelerini eritmek için tantal parça bir HCl'ye daldırılmalıdır. Sıcak kromik asit bundan sonra etkin olur. Abrazyon ve diğer mekanik temizleme yöntemleri de kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Tantal, herhangi bir temizleme işleminden hemen

sonra, hava veya buhara maruz kalınca, yeniden oluşan bir yapışkan oksit filmiyle kaplanır. Tantalı, sert lehimlemeden önce hazırlamanın başka bir yolu, asitle temizlenmiş yüzey üzerine bakır ve nikel elektro kaplama yapmaktır. Kaplama tabakası tantala difüzyonla bağlanır Sert lehimleme bundan sonra, kaplanmış yüzeyler temel alınarak gerçekleştirilir.

Niobiumun ön temizliği sırasıyla yağdan arındırma, alkalın bir temizleyici içine 5 - 10 dk. daldırma, suda çalkalama, oda sıcaklığında 2 - 5 dk. %35 - 40 HNO₃ çözeltisine daldırma, önce normal, sonra damıtık suda çalkalama ve basınçlı havada kurutma işlemleri uygulanır. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

4.8.2 Reaktif Metallerin Sert Lehimlenmesi

Reaktif metaller içerisinde özelleşmiş kullanımı en az olan titanyum ve alaşımlarıdır. Titanyum uzay ve havacılık endüstrisinden tıbbi uygulamalara kadar birçok alanda konstrüktif malzeme olarak kullanılmaktadır. Zirkonyum genellikle nükleer santrallerde kullanılır. Berilyum düşük yoğunluğu ve yüksek elastiklik modülü nedeniyle birçok özel havacılık uygulamasında kullanılırken; ancak saf halde ağırlıklı olarak X ışını pencerelerinde kullanılmaktadır. Sadece titanyum ve berilyum yüksek sıcaklıklar ve oksitleyici atmosferlerde özellikleri bozulmadan kalabilir.

4.8.2.1 Reaktif Metallerin Sert Lehimlenme Kabiliyetleri

Titanyum ve alaşımlarının lehimleme kabiliyetleri, O, H, N gibi elementlere olan büyük kimyasal eğilimleriyle belirlenir. Özellikle titanyum oksitleri yüksek kimyasal ve ısı stabiliteye sahiptir. Ticari olarak saf ya da alaşım şeklinde bulunabilen titanyum iç yapısına göre 4 kategoriye ayrılabilir. Bunlar:

- Ticari saf titanyum (hekzagonal sıkı paket kristal)
- Alfa alaşımları (hekzagonal sıkı paket kristal)
- Alfa - Beta alaşımları
- Beta alaşımları (Hacim merkezli kübik kristal)

Saf titanyum stabil olmak üzere 882°C'in altında alfa, üstünde ise beta kristal yapısına sahip olur. Dolayısıyla polimorfik (çok şekilli) bir mikro yapıya sahiptir. Bu çok şekilliliğin sert lehimlenme özelliklerine, oksitlerinin yok edilebilme kabiliyeti ve sıcaklık alçaltıcılarının birleştirme yerinden ana metal içine difüzyonu açısından ciddi etkisi vardır. Ara katı eriyikler meydana getiren C, H, O, N elementleri, titanyumu gevrekletiren zararlı öğelerdir ve ergiyik

halinde bulduklarında, sonradan ortaya çıkan gevrek kırılmaların nedeni olabilirler. Korozyon direnci ve yapısal dayanım istenilen uygulamalarda kullanılırlar.

Alfa alaşımları alüminyum ve zirkonyumla stabilize edilirler. Tüm-alfa alaşımlar 30 - 90 kg / mm²'lik bir mekanik dayanıma sahiptir; sürünme dayanımları alfa-beta ve beta alaşımlarınınkinden daha iyidir ve kolaylıkla sert lehimlenebilirler. Ancak dövülme kabiliyetleri düşüktür ve ısı işleme tabi tutulamazlar.

Alfa - beta alaşımları (iki fazlı alaşımlar), oda sıcaklığında ağırlıklı alfa fazı ve % 2'ye kadar beta stabilizatör elementleriyle (genellikle vanadyum, molibden ve manganez) alaşımlandırılmış olup, 70 - 100 kg/mm²'lik bir mekanik dayanım gösterirler. Bu malzemeler daha sünektir ve kolaylıkla sert lehimlenebilirler. Isıl işleme mekanik dayanımları ve korozyon dirençleri arttırılabilir.

Beta dokusunun fazla olduğu titanyum alaşımları, 20°C'de çok sünek olup ısı işleme sertleşebilirler. Bu malzemeler havada hızlı tempoyla derinlemesine oksitlenir ve dekapajda ise kısa sürede hidrojenlenirler. Beta alaşımlarından özellikle % 2'den fazla beta-stabilize edici element içerenler, alfa-beta alaşımlarına göre, difüzyon bağlantısından sonra çok daha yavaş homojenleşir. Bu malzemeler havacılık ve uzay sektörlerinde yapısal eleman olarak kullanılmaktadır.

Titanyum atmosfere açık olarak ısıtıldığında, düşük süneklikli bir alfa fazı yüzey katı ergiyik tabakası meydana getirir. Hidrojen, bu alfa alaşımıyla bileşerek, gevrekleşmeye yol açan titanyum hidrürleri oluşturur. Dolayısıyla azot ve hidrojenli redükleyici atmosferler, titanyum ve alaşımlarının sert lehimlenmelerine uygun değildir.

Sert lehimlenmiş parçaların yüzeyinde oksit filmi ve alfa-alaşmış tabaka oluşmasını önlemek için, parçalar akan saf argon veya vakumda ısıtılmalıdır.

Zirkonyum esaslı ana metaller, saf metaller ile küçük oranlarda kalay, demir, krom ve nikel içeren birkaç alaşımdır. Soğuk şekillendirmeye yatkındır. Zirkonyum yapısal alaşımlarda, nötron absorpsiyon yetenekleri, iyi mekanik özellikleri ve çok iyi sıcak su – buhar korozyon dirençleri nedeniyle nükleer uygulamalarda, özellikle basınçlı sulu nükleer güç reaktörlerinde kullanılmaktadır. Yüksek korozyon direncinin yanı sıra organik ve inorganik asitlere direnci ile alkalilerden etkilenmemesi, petro-kimya ve yiyecek işleme endüstrilerinde de kullanılmalarını sağlamaktadır.

Saf zirkonyum 870°C'nin altında sıkı paket hegzagonal, üstünde ise hacim merkezli kübik kristal yapısındadır. Niobium beta-stabilizatörü olarak kullanılır ve oda sıcaklığında bir alfa-

beta kristal yapısı oluşturur. Zirkonyum beta kristal yapısında ısı işleme ve su vermeye tabi tutulabilir; ancak beta transferi sıcaklığına yakın veya üstündeki sıcaklıklarda fazla ısıtma korozyon direnci ve mekanik özelliklerin düşmesine sebep olabilir.

Berilyum da, titanyum ve zirkonyum gibi, oksijenle yüksek sıcaklıkta kolaylıkla bileşir ve birçok başka metalle reaksiyona girerek metaller arası gevrek yapılar meydana getirir. Güçlü yüzey oksitleri, bu metalin sert lehimlemeden önce özenle temizlenmiş olmasını gerektirir. Başka metallerle reaktivitesi, ilave metallere sıkı sınırlamalar getirir. Bununla birlikte Ti ve Zr'un H, O, N absorpsiyonu ile gevrekleşmelerine karşılık, berilyum bu gazlardan sadece yüzeysel olarak etkilenir.

4.8.2.2 İlave Metaller

Reaktif metallerin sert lehimlemeyle birleştirilmesinde kullanılan ilave metaller Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Reaktif metallerin sert lehimlemeyle birleştirilmesinde kullanılan ilave metaller
(ASM Handbook V.6, 1993)

İlave Metal Alaşımları	Likidus Sıcaklığı		Solidus Sıcaklığı		Açıklama
	°C	°F	°C	°F	
AL-0.12CU-1.2MN (3003)	649	1200	638	1180	Berilyum ve düşük dayanımlı titanyum uygulamaları
AL-5.2SI (4043)	632	1170	574	1065	Berilyum ve düşük dayanımlı titanyum uygulamaları
AG-30CU-10SN	718	1324	602	1116	Berilyum
AG-28CU-0.2LI	779	1434	779	1434	Berilyum, yüksek sıcaklı uygulamaları
AG-5AL	810	1490	780	1436	Titanyum, zirkonyum
TI-20ZR-20CU-20NI	848	1558	842	1548	Titanyum, zirkonyum
TI-15NI-15CU	850	1562	830	1526	Titanyum, zirkonyum
AG-26.7CU-4.5TI	850	1562	830	1526	Titanyum, zirkonyum
AG-9PD-9GA	880	1616	845	1553	Titanyum, zirkonyum
TI-15CU-15NI	932	1710	902	1656	Titanyum, zirkonyum; daha düşük ergime noktalı alternatif bileşimler mevcuttur

AG-21.3CU-24.7PD	950	1742	900	1652	Titanyum, zirkonyum; daha düşük ergime noktalı alternatif bileşimler mevcuttur
ZR-8CR-8NI	950 ^(A)	1742 ^(A)	-	-	Zirkonyum, ticari bir alaşım değil
ZR-5BE	990 ^(A)	1814 ^(A)	-	-	Zirkonyum, ticari bir alaşım değil
TI-48ZR-4BE	985 ^(A)	1805 ^(A)	-	-	Titanyum, zirkonyum, ticari bir alaşım değil

(A) Lehimleme Sıcaklığı

4.8.2.3 Birleştirme Dizaynı

Paslanmaz çelikler veya bakır alaşımları için kullanılan birleştirme dizaynı parametreleri reaktif (ve refrakter) metaller için de geçerlidir. Lehimleme sıcaklıklarında ve iyi kapiler akış özelliğine sahip ilave metaller kullanıldığında birleşme boşluğu 0,013 mm. – 0,050 mm. arasında olmalıdır. Diğer metallerde olduğu gibi normalden fazla lehimleme boşluklarında porozite ve düşük mekanik dayanım gibi problemlerle karşılaşılabilir. Ana metali ısıtma kabiliyeti düşük olan ilave metaller birleşme bölgesine önceden yerleştirilecek şekilde tasarım yapılmalı ve mümkünse lehimleme sıcaklığında ortaya çıkabilecek boşluğun bir miktar alınması için birleşme bölgesine ek ilave metal uygulanmalıdır.

Bu malzemeler farklı metallerle birleştirildiğinde, düşük olan ısı genleşme katsayıları dikkate alınmalı ve birleşme boşluğu buna göre belirlenmelidir. Borusal birleştirmelerde yüksek genleşmeli malzeme dış tarafta olmalıdır. Böylece bağlantı bölgesi soğuma esnasında basınç altında olacaktır.

İş parçalarının mümkün olduğu kadar kendilerini fikstürleyecek şekilde tasarlanması önemlidir. Artan lehimleme sıcaklıklarıyla fikstür kullanımı da güçleşir. Bu nedenle sabitleme pimleri gibi basit ekipmanların kullanılması faydalı olmaktadır. Düşük sıcaklıklarda paslanmaz çelikler, süper alaşımlar veya molibden kullanılarak yapılmış aparatlar birleştirilecek parçaları pozisyonlamak için kullanılabilir. Ancak yüksek sıcaklıklarda yapılacak işlemler için refrakter metaller ya da seramik kullanılmalıdır.

Lehimleme işlemlerinde çok temiz atmosferler kullanıldığından sabitleme elamanlarının iş parçalarıyla birleşme riski bulunmaktadır. Bunu önlemek için durdurucu malzemeler kullanılmalıdır. Oksit çamurları, seramik pedler veya çeşitli püskürtme kaplamalar durdurucu malzemelere örnek olarak verilebilir. Bu malzemelerin yüksek reaktivitesi nedeniyle durdurucu malzemelerin de lehim bölgesiyle ve ana metalle tepkimeye girmeyecek biçimde seçilmesi gerekir.

4.8.2.4 Reaktif Metallerin Sert Lehimlemesinde Kullanılan Yöntemler

Reaktif metallerin sert lehimlenmesinde, refrakter metallere olduğu gibi lehimleme atmosferinin çok sıkı takip ve kontrol edilmesi gereklidir. Bu malzemeleri lehimlemek için kullanılması en uygun yöntem yüksek vakum fırınları kullanmaktır. Sert lehimleme sıcaklıklarında en az 0,0013 Pa'lık bir vakum ile kaçak oranı en fazla 1 µm/saat olan fırınlar kullanılmalıdır.

Titanyumun vakum fırınında sert lehimlenmesinde, bu malzemeye büyük eğilimi olan karbondan uzak tutulmalıdır. Eğer kullanılmışsa, grafit rezistans çubukları Al_2O_3 ile kaplanmış olmalıdır. Ayrıca fırın iç cidarları paslanmaz çelik olduğunda, temas ergimesi ve Ti-Ni ötektiğinin oluşması riskinden kaçınmak için titanyum parçalar fırın iç cidarlarına temas etmemelidir. Bu amaçla iş parçaları molibden, mika ya da seramikten muhafazalarla korunur.

Zirkonyum birleştirmeleri de titanyumda olduğu gibi, çoğunlukla yüksek vakumda sert lehimlemeyle gerçekleştirilir. Zirkonyumla titanyum kimyasal olarak birbirlerine çok benzer ve genellikle kullanılan sert lehimleme teknikleri her ikisine de uygulanabilir.

Berilyum da asal gaz ya da vakum atmosferinde, indüksiyon ve fırın sert lehimlemesi ile birleştirilebilmektedir. Reaktif metallerin oksii-asetilen (üfleç) ile sert lehimlenmesi zor olup özel önlemleri gerektirir.

4.8.2.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Dekapan kullanılması berilyumun lehimlenmesi dışında önerilmemektedir. Berilyumun özellikle çinko ve alüminyum esaslı ilave metallere lehimlenmesinde dekaplan kullanılır. Dekapan kullanılmadığında, berilyum oksit bu ilave metallere ıslatılmasını engeller. Kullanılan atmosferlerle ilgili bilgiler ise önceki bölümlerde verilmiştir.

4.8.2.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Reaktif ve refrakter metallerin lehimleme öncesi hazırlıkları temizleme ya da yüzey kaplama şeklinde olabilir. Yüzey kaplaması nikel, bakır hatta titanyum gibi metallere yapılabilir. Kaplama yapmanın en önemli sınırlaması, yüksek sıcaklıklarda çalışacak olan malzemelerdeki soyulma-sökülme riskidir.

Zirkonium, bir yüzey arası malzeme olarak titanyumun difüzyon kaynağında birçok avantaj sağlar. Bir nötr pekiştirici olarak metaller arası birleşimlere sebep olmaz. Saf bakır da bir yüzey arası malzeme olarak özellikle yüzey pürüzlülüklerini doldurup sıkı temasa ulaşılmasını kolaylaştırır ve böylece de difüzyon sert lehimlemesinde düşük birleştirme

basınçları uygulanmasına olanak sağlayan bir geçici sıvı faz oluşturur.

Berilyum reaktif metaller içerisinde en refrakter oksitleri oluşturduğundan; nikel, bakır, titanyum gibi metallerle elektrolitik kaplama veya vakum atmosferinde çökeltmeyle kaplama uygulanarak ıslatma kabiliyeti arttırılmaya çalışılır. Toz ilave metaller kullanıldığında, birleşme bölgesine titanyum-hidritler eklenerek berilyum yüzeyinin titanyumla kaplanması sağlanabilir.

Reaktif ve refrakter metallerin yüzeylerinin lehimleme öncesinde temizlenmesi, diğer metallerden çok daha önemlidir. Kimyasal temizleme için şu işlemler kullanılabilir:

- Alkalin temizleme, yüzey kirlerinin solventle temizlenmesinden önce yapılabilir
- Suda yıkama, deiyonize su tercih edilir
- Asit dekapajı, % 30 - % 40 HNO₃, % 1 - % 5 hidroflorik asit, 60°C'de 1/5 su
- Sıcak suda yıkama, deiyonize su tercih edilir
- Kurutma

İş parçaları temizlemeden sonra mümkün olduğu kadar çabuk lehimlenmelidir. Aksi halde yeniden yüzey oksidi oluşması riski belirir. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

4.9 Seramiklerin Sert Lehimlenmesi

Günümüzde seramik malzemeler birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaya başlanmıştır. Uygulamalar, yüksek sıcaklıklarda, korozif ve oksitleyici atmosferlerde çalışacak, iyi mekanik özelliklere sahip seramik - seramik veya seramik - metal birleştirmelerini gerektirmektedir. Dolayısıyla sert lehimleme bu tür konstrüksiyonların imalatı için kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.9.1 Seramiklerin Sert Lehimlenme Kabiliyeti

Seramik malzemeler, genel olarak kullanılan ilave metallerle zor ıslatılır. İlave metallerin çoğu seramiklerin yüzeyinde bölgesel olarak toplanarak bilyalaşır. Dolayısıyla az ıslatma veya hiç ıslatmamayla karşılaşılır. Herhangi bir bağlantı görülürse de ya mekanik ya da kimyasal yollu bir bağlantı yapılmıştır. Mekanik bir bağlantının mukavemeti birbirlerine kilitlenen zerreler, ya da yüzey gözenek ve boşluklarına nüfuziyete bağlıdır. Kimyasal bağlantı ise kuvvetini ana ve ilave metaller arasında meydana gelen malzeme transferinden

alır.

Seramiklerin sert lehimlenmelerinde karşılaşılan bir başka sorun da ana malzeme, ilave metal ve seramik - metal birleştirilmesinde, diğer ana malzeme arasındaki ısı genleşme farkıdır. Buna ek olarak seramikler ısıyı çok kötü iletir; dolayısıyla denge sıcaklığına varmaları daha uzun sürer. Bütün bu etmenler bir araya geldiğinde birleştirmede çatlama oluşma riski fazladır.

Seramiklerin genellikle, metallere göre düşük çekme ve makaslama mukavemetine sahip olmaları nedeniyle, çatlak ilerlemesi nispeten daha alçak gerilmelerde oluşur. Bunun yanında düşük süneklik, gerilmelerin yaydırılmasına da olanak vermemektedir.

4.9.2 İlave metaller

Alüminyum, zirkonyum, magnezyum, berilyum ve toryum oksitleriyle forsterit (Mg_2SiO_4), sert lehimlemeyle birleştirilebilen seramik malzemelerdendir. Islatılması güç olan malzeme üzerine elektron huzme buharlaştırmasıyla metalik buhar kaplamasının yapılması, sert lehimlemede ıslatma, yayılma ve kapiler akışı artırmaktadır.

Islatmayı kolaylaştırmak için seramiğin önceden metalize edildiği sert lehimleme süreçlerinde BCu-1, BAg-8, BAu-8 gibi ilave metaller kullanılabilir. Metalize edilmemiş seramiği sert lehimlemek için kullanılan ticari ilave metal ise Ag-Cu veya Ni kaplı titanyum teldir. Uzay endüstrisi ve nükleer endüstrilerin taleplerini karşılamak üzere, yüksek sıcaklıklarla yüksek ölçüde korozif ortamlarda gerekli nitelikleri sağlayan ticari ürün olarak Ti-Zr-Be kullanılmaktadır.

Ti ve Zr buharı kaplamalarının, ana malzeme üzerinde ıslatma kabiliyetini artırma bakımından en etkin elementler oldukları saptanmıştır. Cr ve Ca kaplamaları da yine ıslatma kabiliyetini artırır; ancak Ti ve Zr'a daha düşük seviyelerdedir. Seramiklerin sert lehimlemeyle birleştirilmesinde kullanılan ticari ilave metaller Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Seramiklerin sert lehimlemeyle birleştirilmesinde kullanılan ticari ilave metaller
(ASM Handbook V.6, 1993)

İlave Metal Alaşımları	İlave Metal Kimyasal Bileşimi (%)	Solidus Sıcaklığı		Likidus Sıcaklığı		Sert Lehimleme Sıcaklık Aralığı	
		°C	°F	°C	°F	°C	°F
AUNITI	96.4AU-3NI-06TI	1003	1837	1030	1886	1025-1030	1880-1886
CUALSITI	92.75CU-2AL-3SI-2.25TI	958	1756	1024	1875	1025-1050	1880-1920

AGCUALTI	92.75AG-5CU-1AL-1.25TI	860	1580	912	1674	900-950	1650-1740
AGCUTI	63AG-35.2CU-1.75TI	780	1436	815	1499	830-850	1525-1560
AGCUSNTI	63AG-34.2CU-1SN-1.75TI	775	1427	806	1483	810-860	1490-1580
AGCUINTI	59AG-27.2CU-12.5IN-1.25TI	605	1121	715	1320	700-750	1290-1380
TICUNI	70TI-15CU-15NI	910	1670	960	1760	960-1000	1760-1830
TICUAG	68.8AG-26.7CU-4.5TI	830	1526	850	1560	810-900	1490-1650
AGTI	96AG-4TI	970	1778	970	1778	1000-1050	1830-1920
AGCUTI	64AG-34.5CU-1.5TI	770	1418	810	1490	850-950	1560-1740
AGCUTI	70.5AG-26.5CU-3TI	780	1436	805	1481	850-950	1560-1740
AGCULNTI	72.5AG-5IN-3TI 19.5CU-	730	1346	760	1400	850-950	1560-1740
PBINTI	92PB-4IN-4TI	320	608	325	617	850-950	1560-1740
SNAGTI	86SN-10AG-4TI	221	430	300	572	850-950	1560-1740
AGCUINTI	61.5AG-24CU-14.5IN + (TI)	620	1148	710	1310	~845	~1555
AGCUNITI	71.5AG-28CU-0.5NI + (TI)	780	1436	795	1463	~927	~1700
AGCUNITI	56AG-42CU-2IN (TI)	770	1418	895	1643	954	~1750

4.9.3 Birleştirme Dizaynı

Seramikler doğal olarak gevrek malzemeler olup çekmeden çok basmaya dayanıklıdır. Metallerin tümüyle kıyaslandıklarında, genleşme katsayıları küçüktür. Bu nedenle çeşitli genleşme katsayılarına uyacak birçok birleştirme tipi geliştirilmiştir. Bu ısıl genleşme sorununa seramik-metal sert lehimlenmesinde sık başvurulan bir çözüm, alçak genleşme katsayısına sahip ara metal kullanmaktır. Örneğin Mo ve Ti, bu amaçla seramiğe birleştirilir. Bu aracı metal, ısıl genleşme gerilmelerini seramik malzemeye aktarmak yerine kendisi olarak (akma sınırına gelerek) yutar.

Sinterlenmiş metal tozu tekniği, çok kullanılan bir sert lehimleme yöntemidir. Bir birleştirmeyi meydana getirmek için süreç, birkaç aşamayı gerektirir. Öncelikle seramik üzerinde süspansiyon halinde tutulan metal tozu yakılır. Daha sonra ince bir bakır veya nikel filmi kaplanır veya yerleştirilir. Son olarak seramik - metal birleştirmesini yapmak için klasik yöntemlerle sert lehimleme işlemi uygulanır.

Reaktif ve refrakter metallerin seramiklere eğilimi doğrudan sert lehimleme yaklaşımının esasını oluşturur. Bu durumda, aktif metaller ilave metale bir veya daha fazla bileşen olarak

eklenir. İlave metal de, klasik sert lehimlemede olduğu gibi, birleştirme yerine konur ve lehimleme gerçekleştirilir.

4.9.4 Seramiklerin Sert Lehimlemede Kullanılan Yöntemler

Seramiklerin sert lehimlenmesi genellikle yüksek saflıktaki asal gaz atmosferi fırınlarında ya da vakum fırınlarında yapılır. Yüksek frekans indüksiyon ısıtması da seramikleri metallere birleştirmede kullanılabilir. Seramiklerin kendileriyle indüksiyon sert lehimlenmesinde, indüktörle iş parçası arasına bir grafit veya metal tüp konulması gerekir. Bu tüp sonradan ısı kaynağı görevi yapar.

4.9.5 Dekapanlar ve Atmosferler

Önceden metalize edilmiş seramiklerin sert lehimlenmesinde işlem, yüksek saflıkta asal gaz, hidrojen veya vakum atmosferlerinde yürütülür. Seramiğin doğruca, yani ön metalizasyon olmadan sert lehimlenmesi halinde, vakum atmosferi tercih edilmelidir.

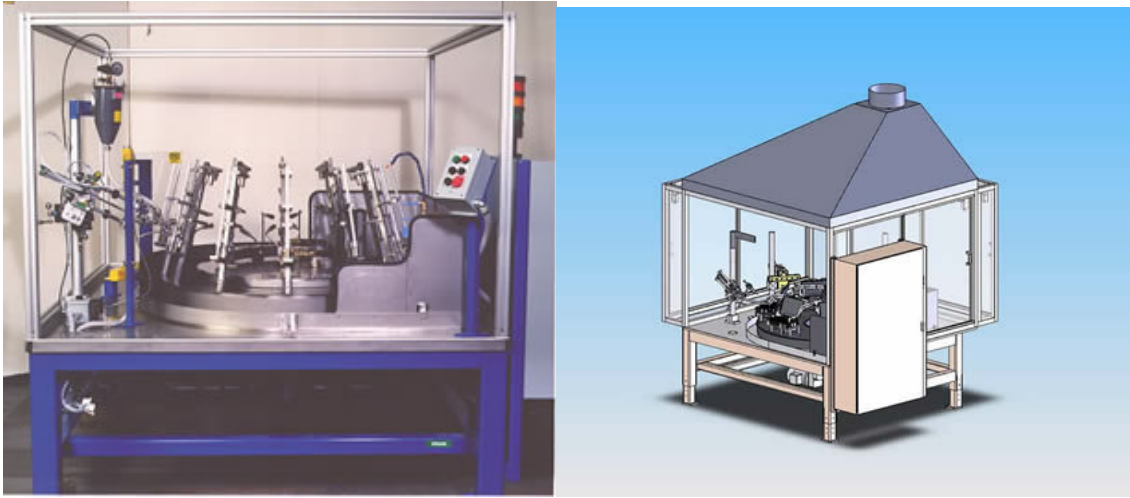
4.9.6 Temizleme ve Ön İşlemler

Birçok seramikte görülen doğal gözeneklik, lehimlemeden önce çok kesin bir temizlemeyi zorunlu kılar. Bu amaçla seramik, öncelikle 800°C ile 1000°C arasındaki havada yakılarak gazlardan arındırılır. Daha sonra sulandırılmış nitrik asite daldırma ve nötralize edici bir eriyik içinde çalkalama işlemleri yapılır. İletken bir kaplama bırakması nedeniyle temizleyici madde olarak trikloretilenden kaçınılmalıdır. Ayrıca taşlama işlemleri sırasında seramikler içine sapanan zerrelere çıkarılmasına da özen gösterilmelidir. (ASM Handbook V.6, 1993; AWS Welding Encyclopedia, 1997; Oğuz, 1988)

5. UYGULAMADA KULLANILAN SERT LEHİMLEME OTOMASYONU SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Önceki bölümde lehimleme ile ilgili verilen bilgilerin ışığında özellikle oksî-gaz; elektrik direnç ve fırın sert lehimleme yöntemlerinin otomasyona oldukça elverişli olduğu görülmektedir. Lehimleme proseslerinin otomasyonu çok çeşitli şekillerde olabilmekle beraber temel olarak şu gruplar altında incelenebilir:

5.1 Döner (Rotary) Lehimleme İstasyonları



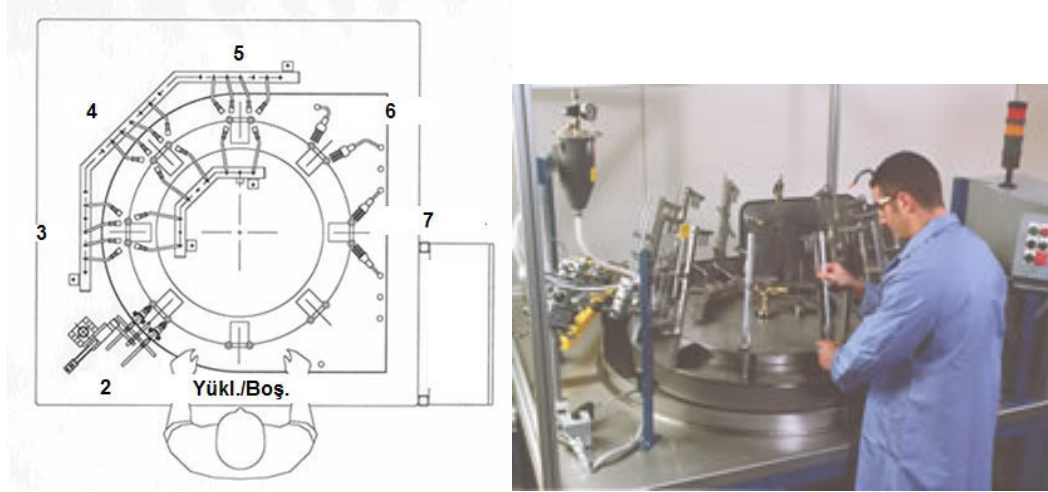
Şekil 5.1 Örnek bir döner indeks tezgahı (Fusion Inc.)

Döner indeks tezgahları lehimleme otomasyon sistemlerinden en yaygın kullanılanlarıdır. Çevrim lehimlenecek parçaların otomatik ya da elle fişbürlere konulmasıyla başlar. Örnek sistemde lehim malzemesi pasta formunda uygulanmaktadır. Bu lehim pastası atomize edilmiş lehim teli alaşımı ve nötral bir bağlayıcı madde ile dekapan kullanılarak elde edilmektedir. Parçaların birleşme bölgelerine döner tabla üzerinde bir veya daha fazla tabanca tarafından lehim pastası uygulanmakta ve devam eden indekslerde (dönüş) bu bölgeler üfleçlerle ısıtılarak lehim alaşımının ergime sıcaklığına getirilmesi sağlanmaktadır. Daha sonraki istasyonlarda hava ve soğutma sıvısı kullanılarak lehimin katılaşması sağlanmakta ve parça oda sıcaklığına getirilmektedir. Tamamlanmış parça yine elle ya da otomatik olarak tezgahdan alınmaktadır. Bu sistemin kapasitesi 24 istasyon ile 1200 parça/saat'e kadar çıkabilmektedir. (www.fusion-inc.com)

Bu tip bir otomasyon sisteminde oksî-gaz alevi ile lehimlemenin yanı sıra indüksiyonla lehimleme ya da rezistansla lehimleme de uygulanabilir. İndüksiyon hızlı ve sınırlandırılmış

bir sıcaklık oluşumu sağlar. Büyük kütleli parçalar için uygun bir yöntemdir. Rezistansla ısıtma ise kuvvetli, sınırlandırılmış ve tavlama etkisi oluşması istenmeyen parçalarda iyi sonuç vermektedir.

Tezgahta İşlem sırası şu şekildedir:



Şekil 5.2 Örnek döner indeks tezgahının proses akışı (Fusion Inc.)

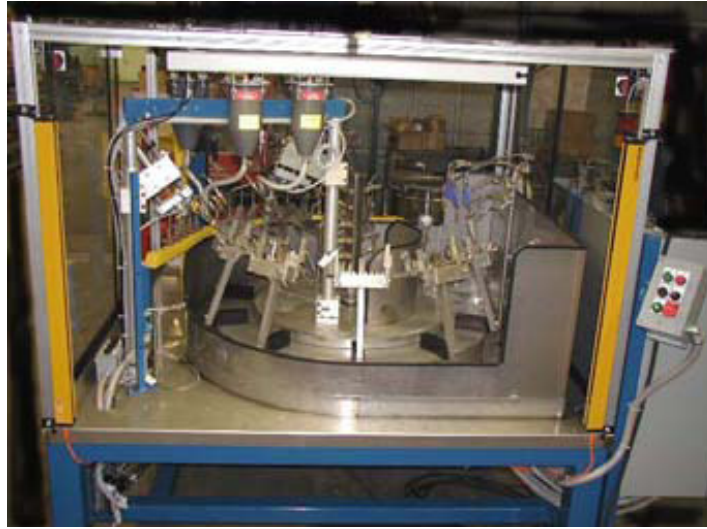
- İstasyon 1 - Yükleme/Boşaltma
- İstasyon 2 - Lehim Pastası Uygulanması
- İstasyon 3 - Isı Uygulama
- İstasyon 4 - Isı Uygulama
- İstasyon 5 - Isı Uygulama
- İstasyon 6 - Hava ile Soğutma
- İstasyon 7 - Su ile Soğutma

Aşağıdaki resimlerden sol taraftaki 12 istasyonlu ve bir operatör tarafından yükleme/boşaltma yapılan bir sistemi; sağ taraftaki ise 16 istasyondan oluşan ve tamamen otomasyonlu bir sistemi göstermektedir. Sağdaki sistemde birleştirilecek parçalar titreşimli bir çanakla sisteme beslenmekte ve bitmiş parçalar otomatik olarak dışarı atılmaktadır. Birincisi 300 parça/saat, ikincisi 600 parça/saat kapasitesindedir. (www.fusion-inc.com)



Şekil 5.3 Solda yarı otomasyonlu (operatör tarafından malzeme beslemesi yapılan); sağda ise tam otomasyonlu lehimleme istasyonları (Fusion Inc.)

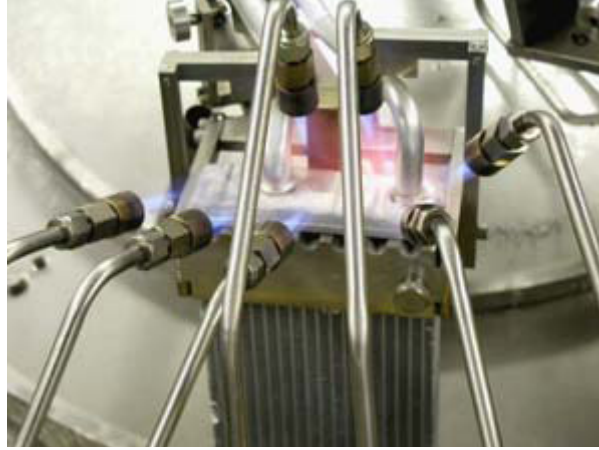
Bu tip bir sistemle bir ısı değıştiricisinin giriş-çıkış boruları ana gövdeyle birleştirilmektedir. Sistemde 10 istasyon bulunmaktadır ve lehim pasta olarak (ergime derecesi 1080°F) uygulanmaktadır.



Şekil 5.4 10 istasyonlu otomatik lehimleme makinesi; kapasite: 180 parça/saat (Fusion Inc.)



Şekil 5.5 3 adet tabanca ile önceden belirlenmiş miktarda lehim pastası birleşme bölgelerine verilmekte. (Fusion Inc.)



Şekil 5.6 Hassas yerleştirilmiş üfleçlerle lehim alaşımı ergitilmekte (Fusion Inc.)

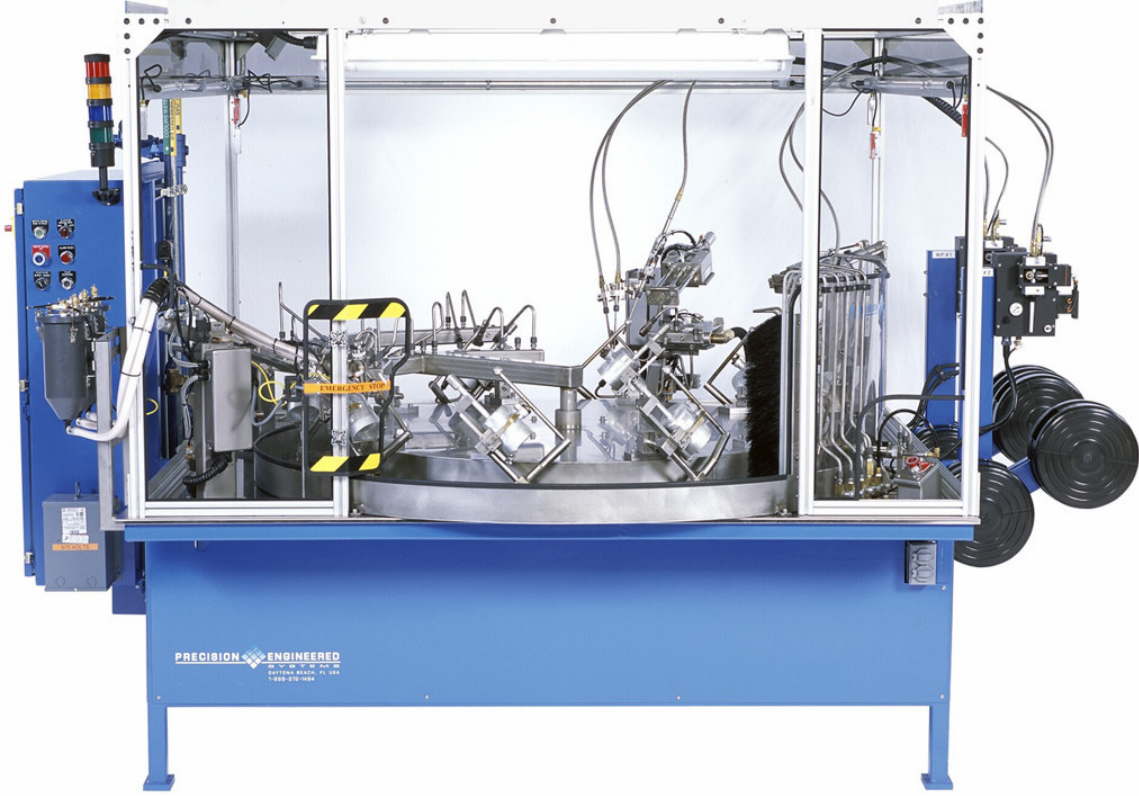
Aşağıda döner sistemlere verilebilecek diğer bazı örnekler görülmektedir: (www.fusion-inc.com; www.brazingsystems.com; www.diex.com; www.gerling-automation.de)



Şekil 5.7 Döner tablalı bir diğer otomatik lehimleme makinesi. Seri üretim için uygun; lehimleme öncesi için tam otomasyonlu bir ön-ısıtma istasyonuna sahip; hava veya su soğutma sistemli; otomatik dekapan ve lehim teli beslemeli lehimleme makinesi (Precision Engineered Systems, LLC.)



Şekil 5.8 Distribütör yapımında kullanılan bir döner lehimleme istasyonu



Şekil 5.9 Al teneke kutu yapımında kullanılan bir döner lehimleme istasyonu (Fusion Inc.)



Şekil 5.10 Seri imalat için uygun 4-12 istasyonlu döner tablalı bir otomatik lehimleme makinesi (Daishin Ind.)



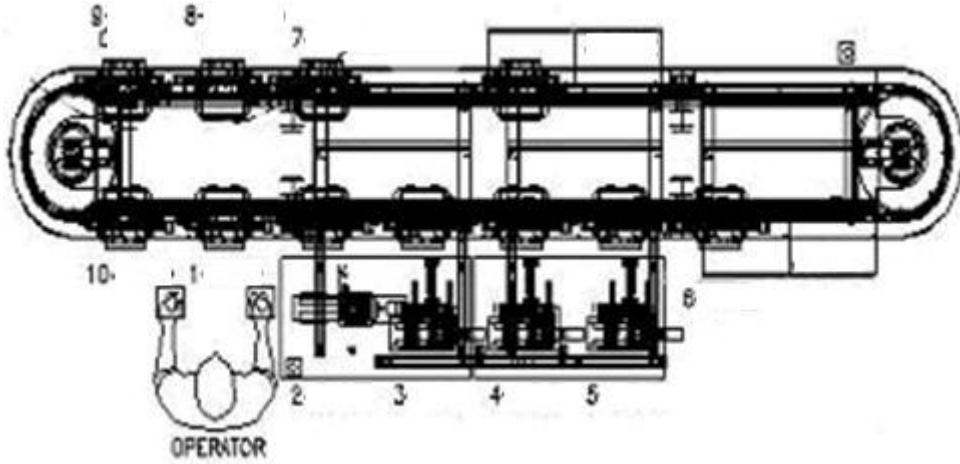
Şekil 5.11 Solda; tam otomatik PLC kontrollü bir daire testere diş-uç lehimleme makinesi. Uç besleme; birleşme bölgesine taşıma; lehimleme; dekapan miktarı ayarlama ve soğutma işlemleri tam otomasyonlu olarak uygulanmaktadır. 400-2000 mm. çaplı daire testere için kullanılabilir. Sağda; bu tezgahın 150-400 mm. arasındaki küçük çaplı daire testere için kullanılan bir türdeşi görülmektedir. (Diex Corp.)



Şekil 5.12 Daire testere dişlerini (1., 2. ve 3. fotoğraf) ve şerit testere dişlerini (4. fotoğraf) ana gövdeye lehimlemek için kullanılan otomatik lehimleme makineleri. Bu makineler dekapan miktarı ayarlama; uçları lehimleme bölgesine taşıma; otomatik soğutma gibi özelliklerinin yanında lehim teli şekli ve boyutlarını istenilen değerlerde otomatik olarak kesme, lehimleme sıcaklıklarını - lehimleme sonrası tavlama sıcaklıklarını otomatik olarak ayarlamaya imkan verme gibi özelliklere de sahiptir. (Gerling Automation)

5.2 Doğrusal Hareketli (Konveyörlü-Raylı) Lehimleme İstasyonları

Bu uygulamada transport sistemi olarak doğrusal hareket sağlayan bir hat kullanılmaktadır. Sistem alüminyum evaporatörlere giriş ve çıkış borularının lehimlenmesi için tasarlanmıştır. Lehimleme için lehim pastası(ergime derecesi 1040°F) kullanılmaktadır. İşlem aşamaları şöyledir:



Şekil 5.13 Bir raylı lehimleme makinesi örneği (Fusion Inc.)

- İstasyon 1 – Operatörün giriş ve çıkış borularını ana gövdeye monte etmesi
- İstasyon 2 – Lehim pastasının lehimlenecek bölgelere uygulanması
- İstasyon 3 - Isı Uygulama
- İstasyon 4 – Isı Uygulama
- İstasyon 5 – Isı Uygulama
- İstasyon 6 – Su ile Soğutma

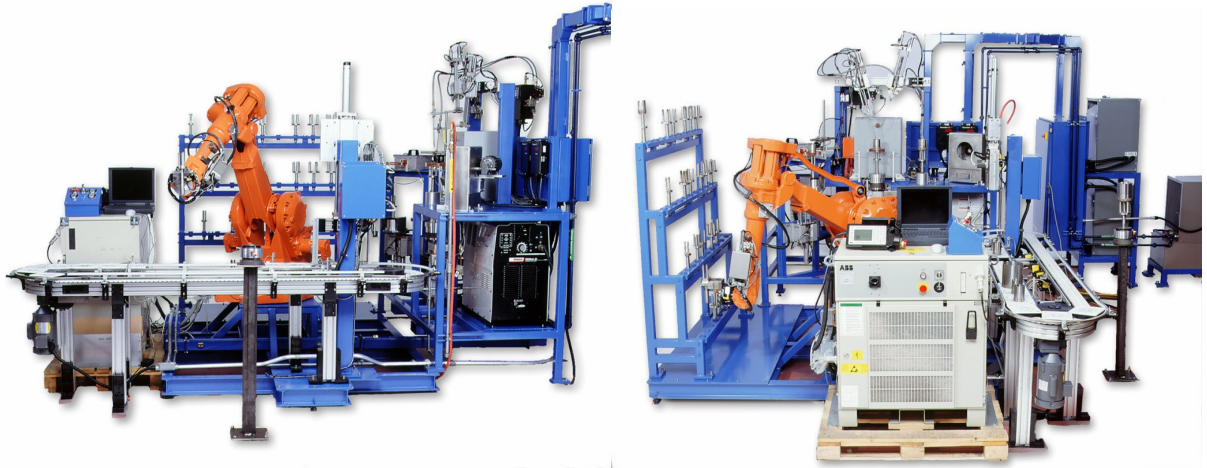
- İstasyon 7 – Girdap hava akımı ile parçayı ve fikstürü soğutma
- İstasyon 8 – Robotun lehimlenmiş parçayı konveyöre yüklemesi
- İstasyon 9 – Robotun ana gövdeleri fikstürlere yüklemesi
- İstasyon 10 – Açma/tutma



Şekil 5.14 Soldan sağa 1) Bitmiş evaporatör 2) Lehim bölgelerine lehim pastası uygulanması
3) Otomatik lehimleme işlemi (Fusion Inc.)

Sistemin kapasitesi 375 parça/saattir. (www.fusion-inc.com)

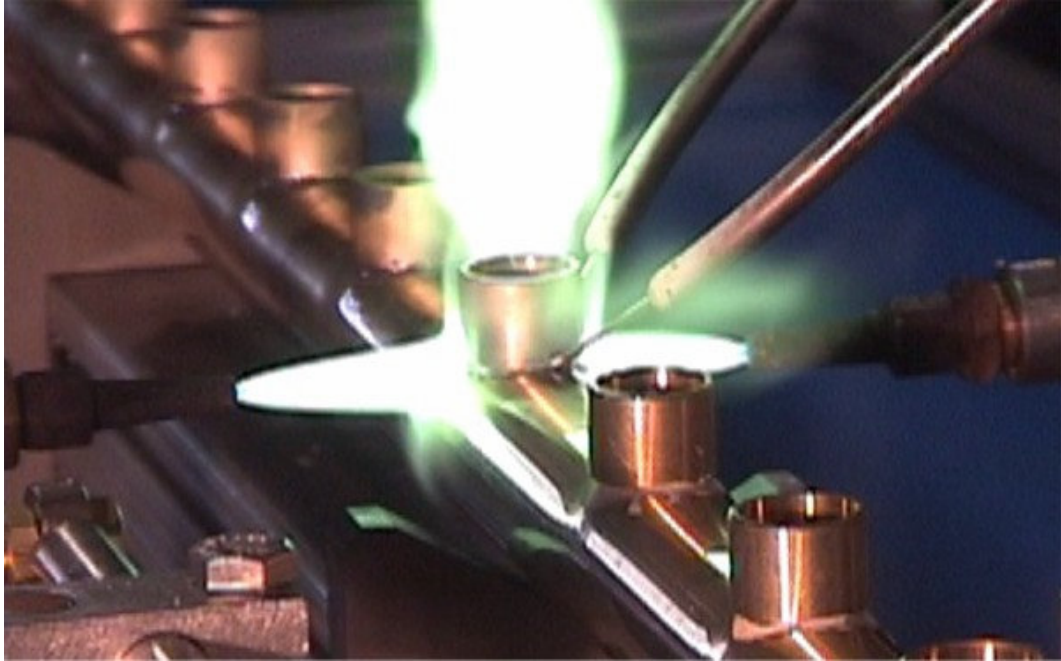
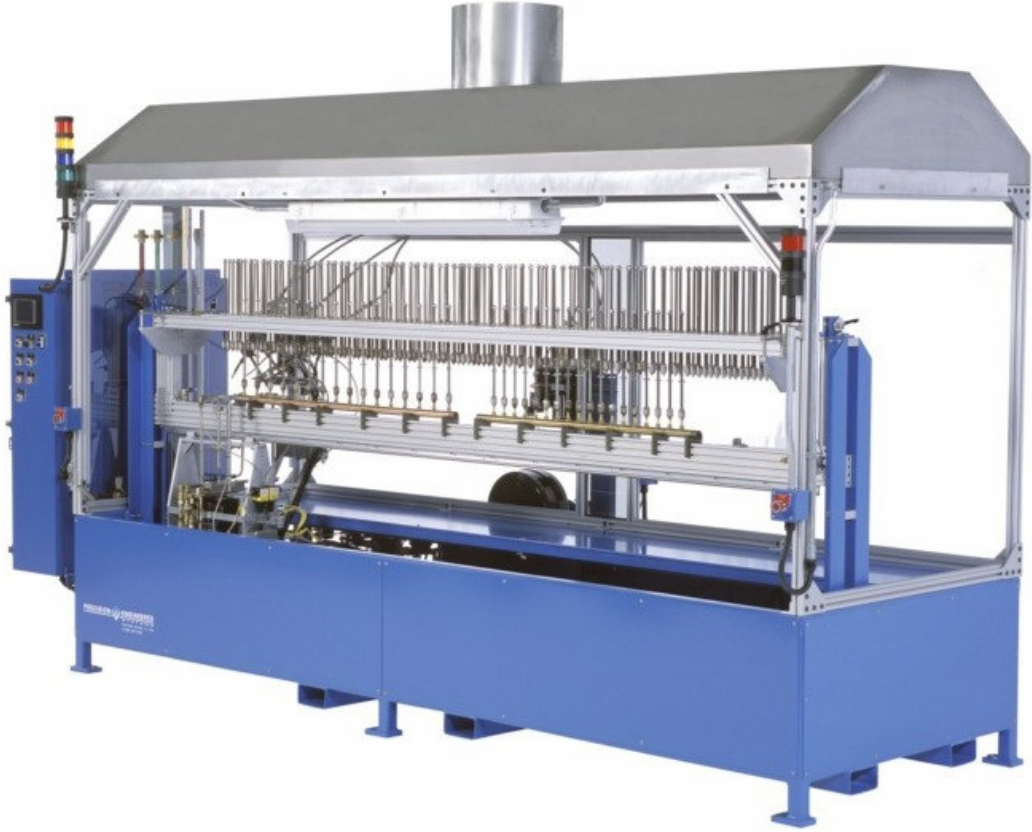
Aşağıda doğrusal hareketli sistemlere verilebilecek diğer bazı örnekler görülmektedir:
(www.brazingsystems.com; www.bestpartner.com; www.skbrazing.com)



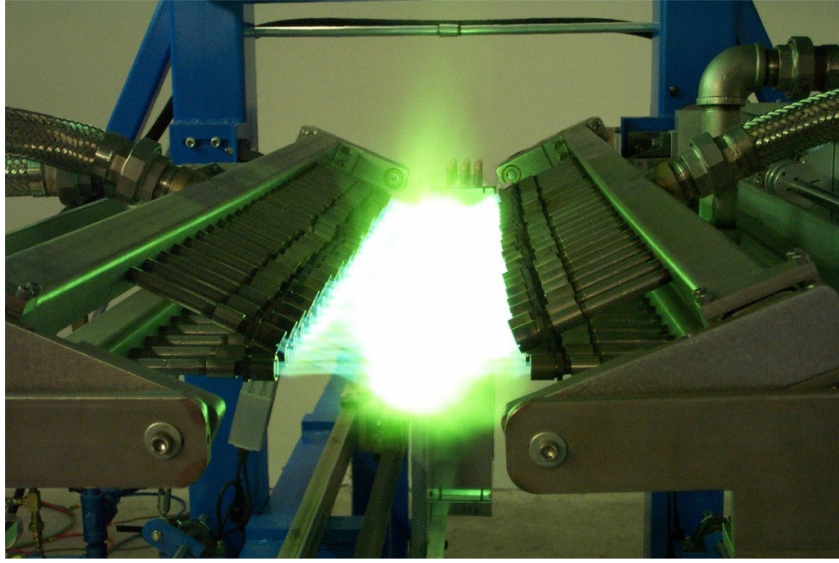
Şekil 5.15 Parça yükleme-boşaltma işlemleri için çeşitli otomatik lehimleme makinelerine eklenebilecek (bu örnekte raylı bir otomatik lehimleme makinesi) robot kol sistemleri (Precision Engineered Systems, LLC.)



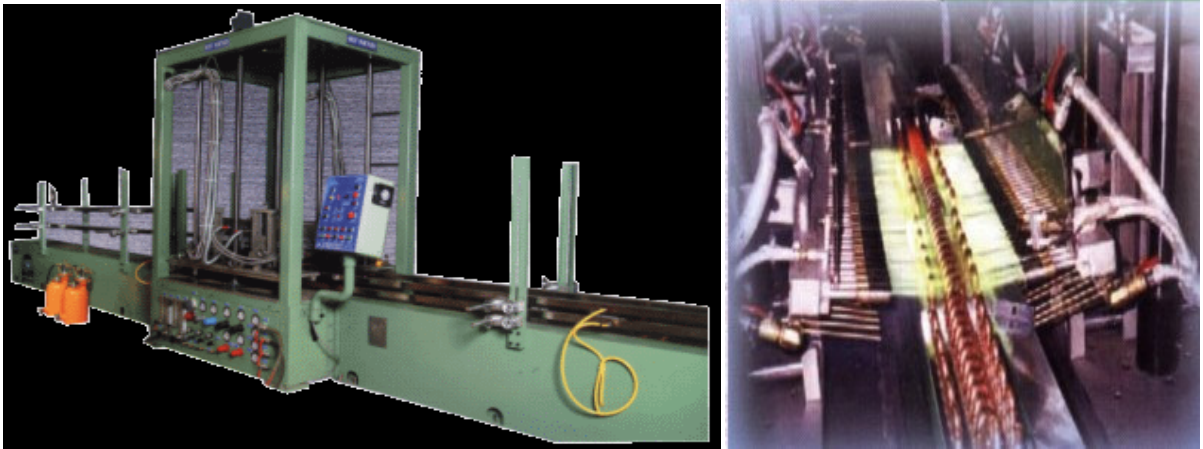
Şekil 5.16 Lehimlenecek parçaların bir konveyör ile transport edildiği doğrusal lehimleme istasyonları (Precision Engineered Systems, LLC.)



Şekil 5.17 T bağlantılı manifold imalatında kullanılmak üzere tasarlanmış doğrusal hareketli bir lehimleme istasyonu ve lehimlemenin yapılışı (Precision Engineered Systems, LLC.)



Şekil 5.18 Isı eşanjörü imalatında kullanılan konveyörlü bir otomatik lehimleme istasyonu. Birden fazla oksji-gaz nozulu arasından geçen parçaların lehimlenmesi sağlanmaktadır. (Precision Engineered Systems, LLC.)



Şekil 5.19 Isı eşanjörü imalatında kullanılan konveyörlü bir diğer doğrusal hareketli otomatik lehimleme istasyonu (Best Partner Industrial Co.) Konveyör hızı, lehimleme açısı, nozul yükseklikleri otomatik olarak ayarlanabilen; her iki tarafında 2 kısma ayrılmış 40'ar adet

nozull bulunan; soğutma sistemli ve seri imalata uygun otomatik lehimleme istasyonu

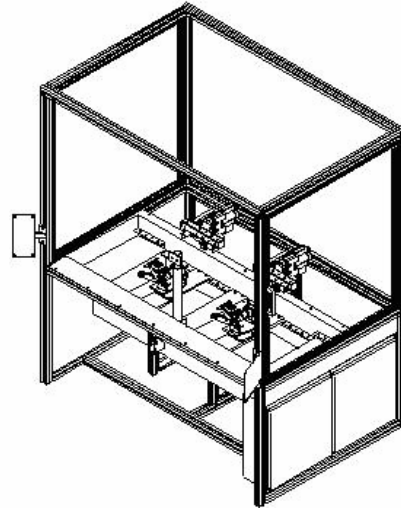
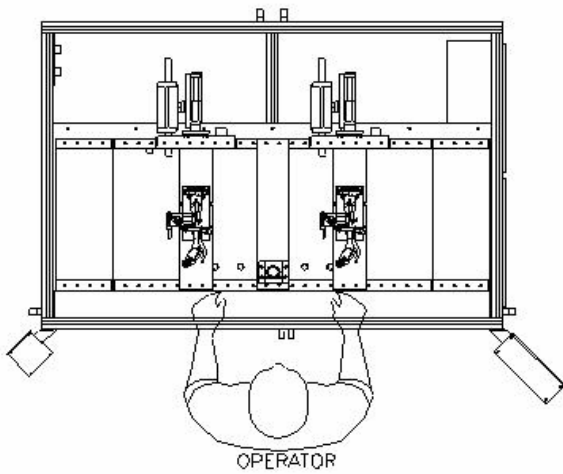


Şekil 5.20 Isı eşanjörü imalatında kullanılan konveyörlü bir diğer doğrusal hareketli otomatik lehimleme istasyonu (SK Brazing Co.)

5.3 Tek veya Çift Hücreli Lehimleme Makineleri

Küçük parçalarda ve yüksek üretim hızının gerekmediği proseslerde bir seferde 1 ya da 2 parçayı lehimleyebilen yarı otomatik sistemler kullanılabilir. Bu örnekte parçayı fikstüre bir operatör bağlamakta ve lehim pastası ihtiyaca bağlı olarak operatör tarafından ya da

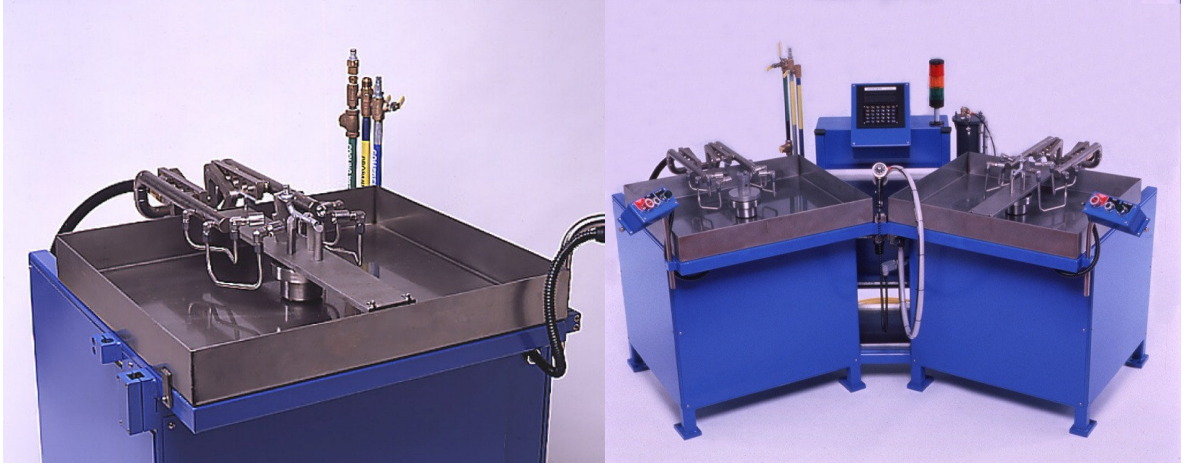
otomasyonla birleşme bölgelerine uygulanmaktadır. Daha sonra operatör ilgili butona basarak çevrimi başlatmakta ve üfleçler otomatik olarak lehim bölgelerine ilerleyerek işlemi gerçekleştirmektedir. Lehimin ergime sıcaklığına ulaşıldıktan sonra üfleçler sönmekte ilk durumlarına geri çekilmektedir. Soğutma yine hava ve su ile yapılmaktadır. (www.fusion-inc.com)



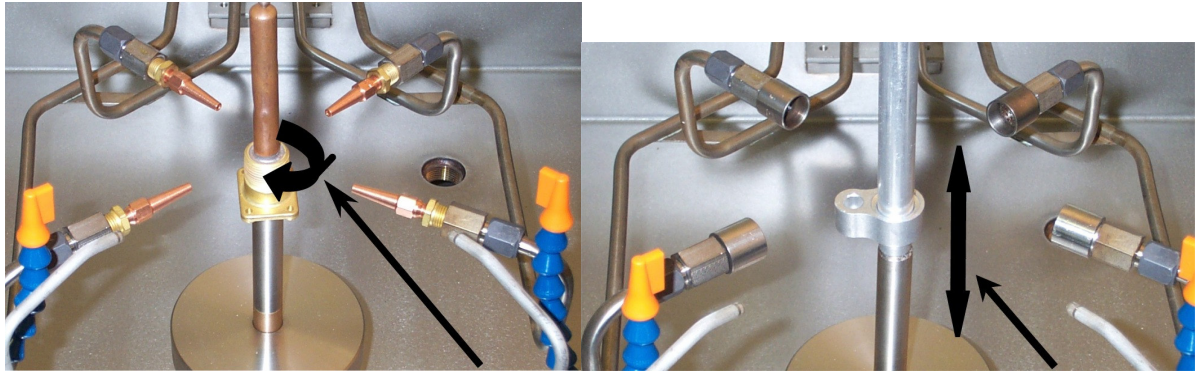
Şekil 5.21 Örnek tek istasyonlu (üstte) ve çift istasyonlu (altta) otomatik lehimleme makineleri (Fusion Inc.)

Aşağıda tek veya çift hücreli lehimleme makinelerine verilebilecek diğer bazı örnekler görülmektedir: (www.fusion-inc.com; www.brazingsystems.com; http://brazesolutions.com;

www.daishinusa.com)



Şekil 5.22 Tek (sağda) ve çift (solda) hücreli lehimleme makineleri. Bu makinelerde parça yükleme – boşaltma işlemleri operatör tarafından yapılmaktadır. (Precision Engineered Systems, LLC.)



Şekil 5.23 Hücre tipi lehimlemede üfleçlerin ve parçanın hareket yönleri (Precision Engineered Systems, LLC.)



Şekil 5.24 CBN, PCBN, PCD ve karbür takım uçlarının lehimlenmesinde kullanılan bir sistem. Bir seferde 40 – 60 uç birden lehimleme kapasitesiyle günde 500 uça kadar işlem yapılabilmesine olanak sağlamaktadır (BrazeSolutions Inc.)



Şekil 5.25 180° dönebilen bir tablaya sahip 2 hücreli otomatik lehimleme makinesi. Bir parça lehimlenirken diğer bir parça makineye bağlanabilir (Daishin Ind.)



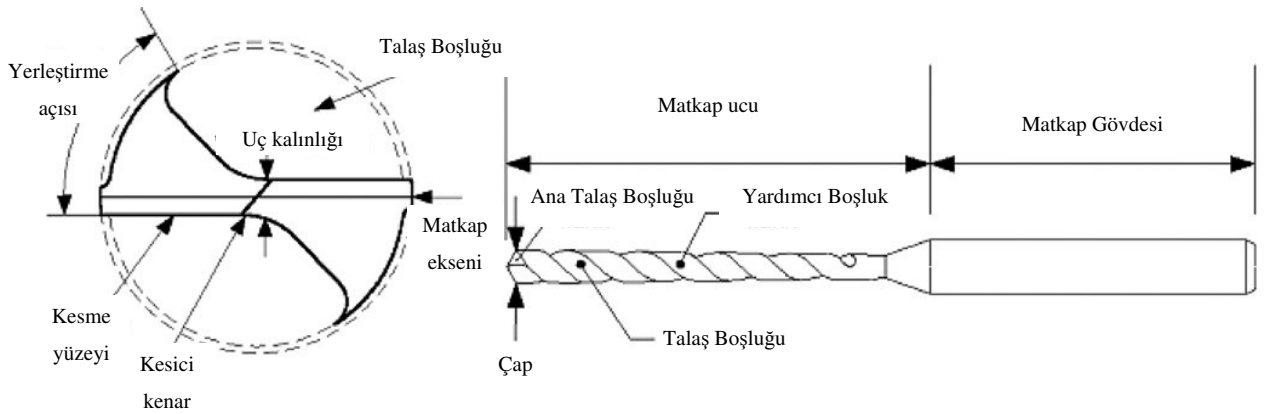
Şekil 5.26 Solda; bir parça lehimlenirken diğerinin operatör tarafından makineye yüklenmesine olanak veren döner tablalı bir lehimleme makinesi görülmektedir. (Fusion Inc.) Sağda ise; aynı parçanın alt ve üstündeki iki ucunu da lehimlemek için kullanılan düşey döner hücreli bir lehimleme makinesi görülmektedir. (Precision Engineered Systems, LLC.)

5.4 Örnek Sert Lehimleme Otomasyon Sistemi: Mikro Matkap Ucu ve Gövdesinin Birleştirilmesi

Burada elektronik devre üretiminde kullanılan küçük çaplı matkap takımlarının imalatı için geliştirilmiş bir otomatik lehimleme sistemi incelenecektir. Matkap uçları yeterli sertliği elde edebilmek amacıyla tungsten karbür malzemeden imal edilmektedir. Tüm takımı yani matkap ucunu ve gövdesini tungsten karbür malzemeden imal etmek maliyeti arttırmaktadır. Bu nedenle matkap ucu tungsten karbürden oluşurken; gövdeyi paslanmaz çelik gibi daha ucuz bir malzemeden imal edip bu iki kısmı birleştirmek üretim maliyetlerini düşürmek için uygun olmaktadır. Bunun gibi iki farklı metalin birleştirilmesi söz konusu olduğunda sert lehimleme en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Birleştirilecek parçaların küçük olması ve birleşmenin hassas bir şekilde yapılmasının gerekliliği (dönerek çalışacak olan takımın eksenden kaçıklık ya da düzensiz ısıl yayılım; ısıl gerilmeler nedeniyle çarpılma; çelik gövdenin iç yapısının değişimi – kristal büyümesi gibi hataların olmaması gereklidir.) otomasyonu neredeyse zorunluluk haline getirmektedir. Bununla beraber yüksek üretim adetleri daha verimli bir imalat yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle de otomasyon gerekli olmaktadır.

Gövde malzemesi olarak Cr bileşimli 410 paslanmaz çelik lehim malzemesi olarak 20Cu – 55Ag – 25Zn seçilmiştir. Lehim malzemesinin ötektik sıcaklığı 677°C'dir ve korozyon dayanımı çok yüksektir. Matkap uçlarının çapı 3 mm.'dir.

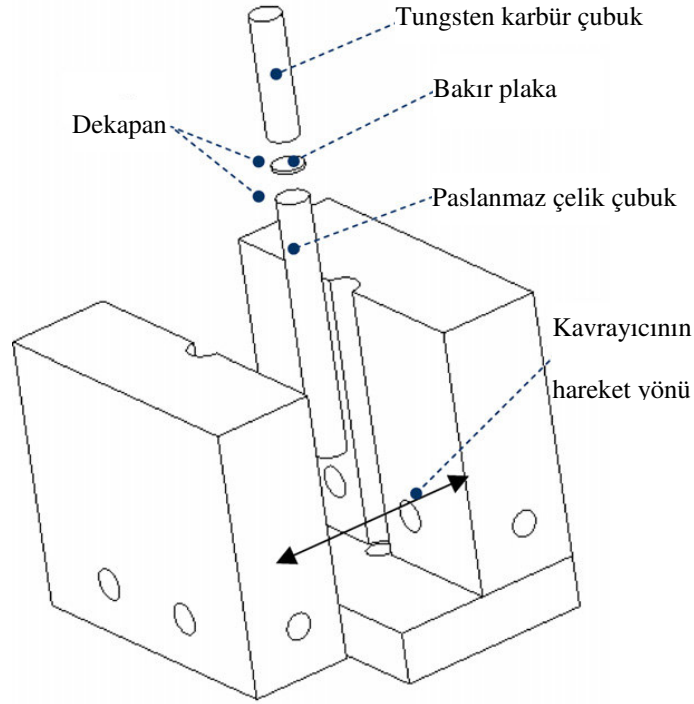


Şekil 5.27 İmal edilen matkap uçlarının parçaları

Şekil 5.4.1'de imal edilen matkap takımı görülmektedir. Isı kaynağı olarak indüksiyon tercih edilmiştir. Bunun sebebi hızlı ısıtma özelliğiyle otomasyona uygun olmasıdır. İndüksiyonla ısıtma aynı zamanda lehimleme prosesi sırasında parçaların birbirine göre hareket etmesini de önlemektedir. Güç kaynağı olarak 500 kHz sabit frekansta alternatif akım kullanılmıştır.

Frekans sabit tutulduğundan ısı girdisi sadece ısıtma (lehimleme) süresinin fonksiyonu olmaktadır.

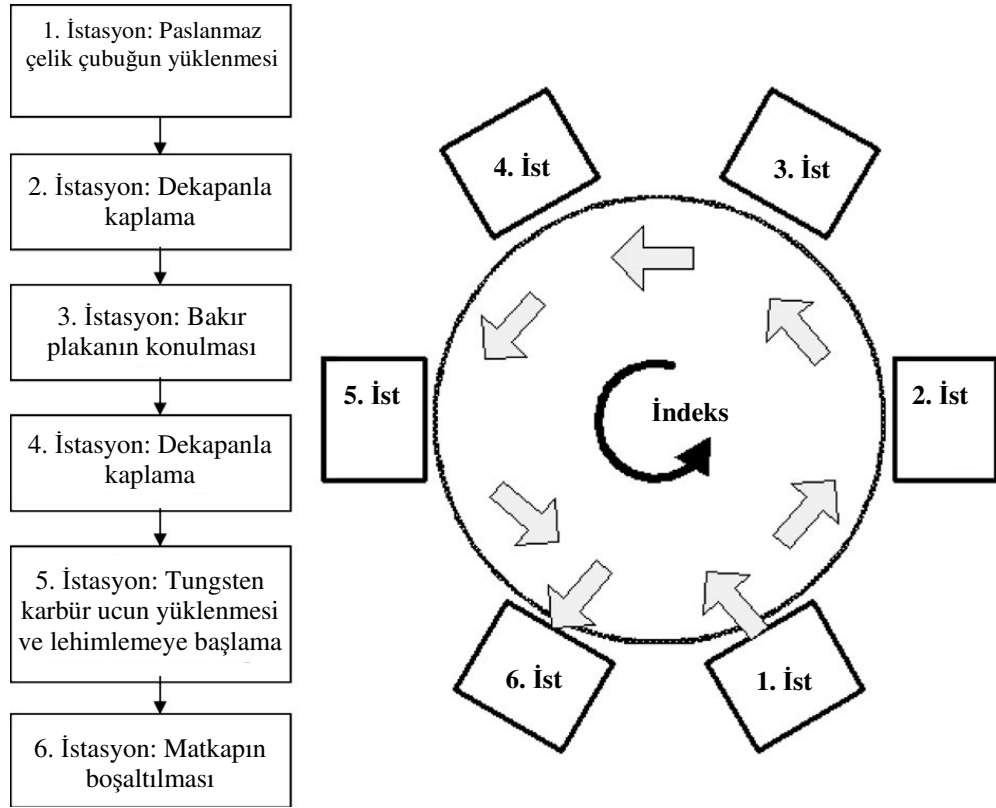
Lehim malzemesi preslenerek 3 mm. çapında ve 0,5 mm. kalınlığında ince dairesel parçalar haline getirilmektedir. Lehimleme kalitesini arttırmak için işlem dekapan uygulanmaktadır. Dekapan ana malzeme ile dolgu malzemesi arasındaki yüzeyde oluşabilecek oksitlenmeyi engeller ve ergimiş lehim telinin akıcılığını artırır.



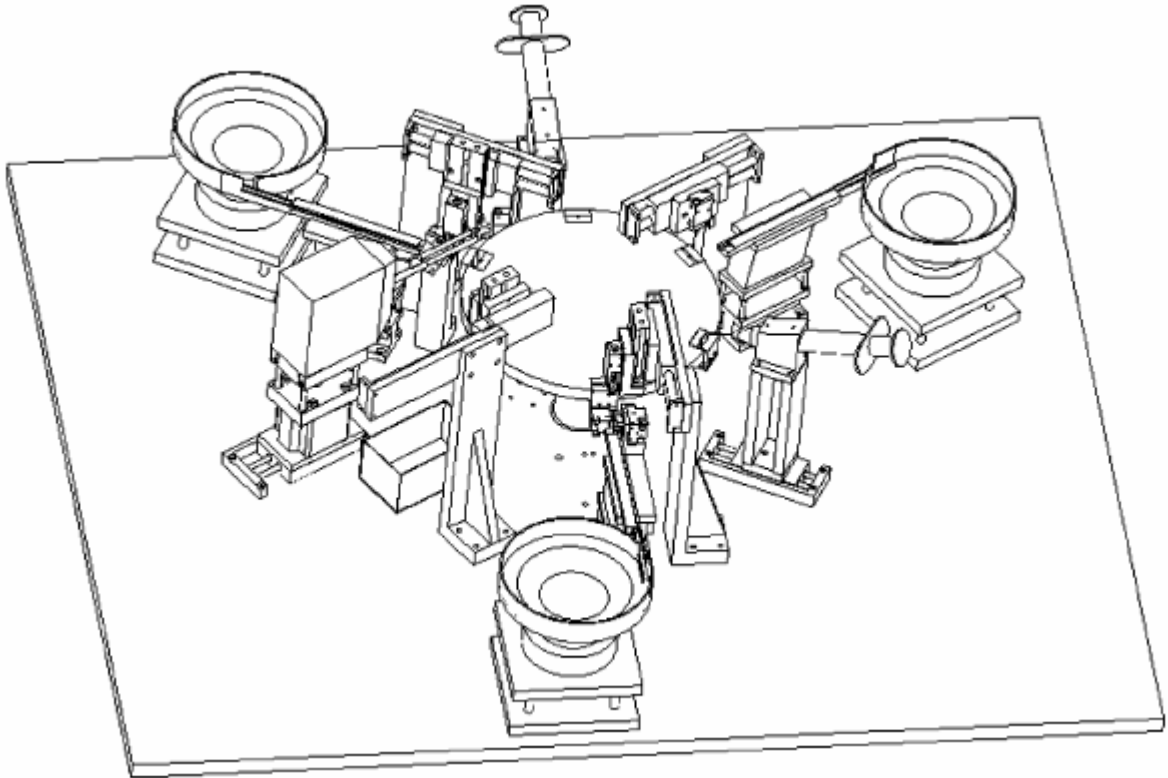
Şekil 5.28 Birleştirilecek parçalar, lehim teli ve sistemdeki tutucu aparat

İmalat aşamaları şöyle sıralanmaktadır:

- 1. Adım: Paslanmaz çelik gövdenin makineye yüklenmesi.
- 2. Adım: Paslanmaz çelik gövdenin birleşme yüzeyinin dekapanlanması
- 3. Adım: Dekapanlanmış yüzeye dairesel lehim malzemesinin konulması
- 4. Adım: Lehim malzemesinin yüzeyinin dekapanlanması
- 5. Adım: Tungsten karbür ucun dekapanlanmış lehim malzemesinin üzerine konulması; lehim malzemesi ergiyene kadar ısı verilmesi ve daha sonra soğutulması
- 6. Adım: Birleştirilmiş takımın makineden alınması

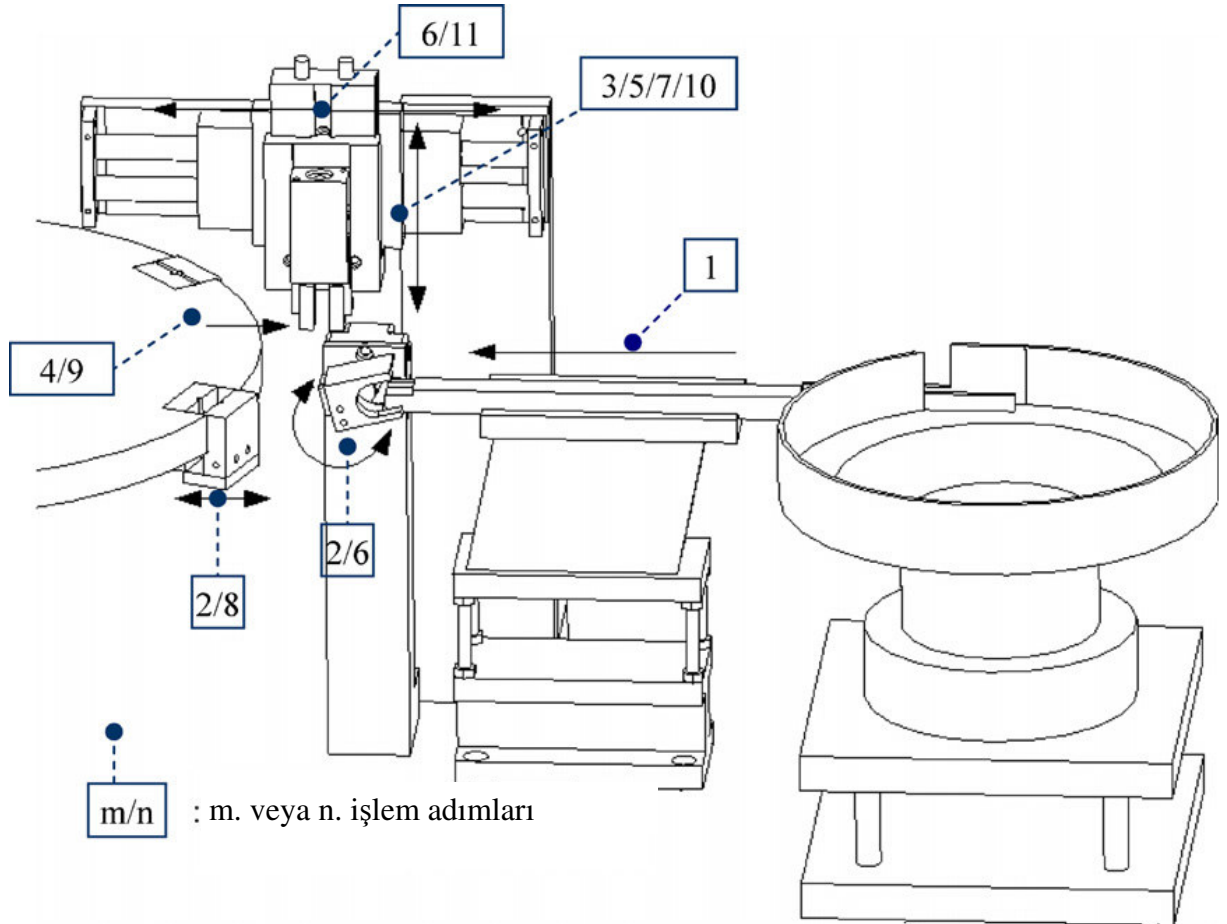


Şekil 5.29 İşlem aşamaları ve istasyonları



Şekil 5.30 Kullanılan otomatik lehimleme makinesinin montaj diyagramı

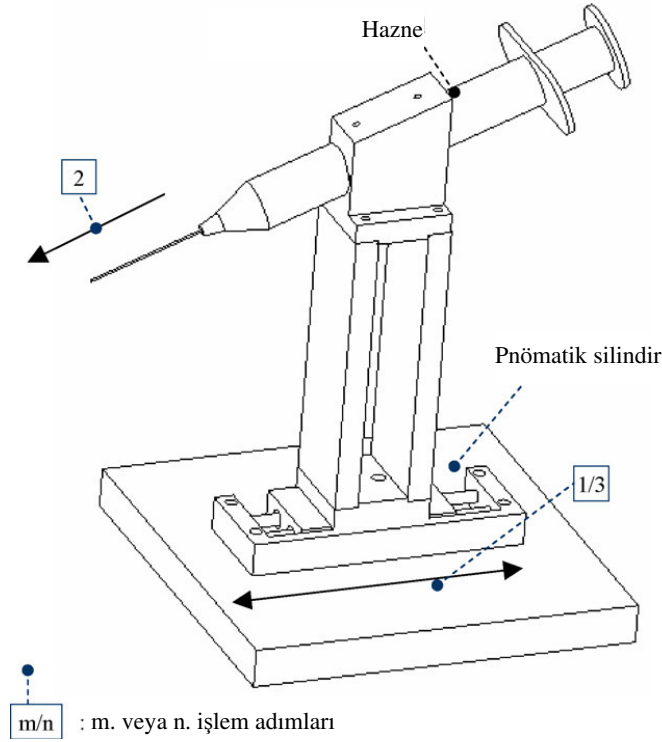
İlk istasyonda çelik gövdelerin makineye yüklenmesi titreşimli besleme üniteleriyle yapılmaktadır. Titreşimli kaptan yine titreşimli düz besleyiciye verilen parçalar tampona gönderilmekte oradan da pnömatrik bir silindirle daha önce açıklanan kavrayıcıya yüklenmekte ve dikey olarak tutulmaktadır. Tampon infrared sensörle donatılmıştır ve yüklenmek üzere bekleyen parça olmadığında sisteme bir uyarı mesajı göndermektedir. Kavrayıcı yükleme pozisyonuna geldiğinde titreşimli besleyiciler malzeme taşınmasını durdurmakta; daha sonra transport mekanizması çelik gövdeyi kavrayıcıya taşıyıp yüklemektedir. Çelik gövde kavrayıcıda rijit bir şekilde tutulduktan sonra taşıma mekanizması orijinal pozisyonunu almakta ve besleyici tekrar parça göndermeye başlamaktadır. Şekil 5.4.5'te birinci istasyonun çalışması görülmektedir.



Şekil 5.31 1. istasyonun mekanizması ve çalışma adımları

İkinci istasyonda otomatik olarak lehim yüzeyine dekapan uygulanmaktadır. Dekapana, viskozitesini azaltmak için belli miktarda su ilavesi yapılmaktadır. Su ilavesi yapılmış olan dekapan hava ile enjeksiyon makinesinin haznesine dolmaktadır. Uygulanacak olan

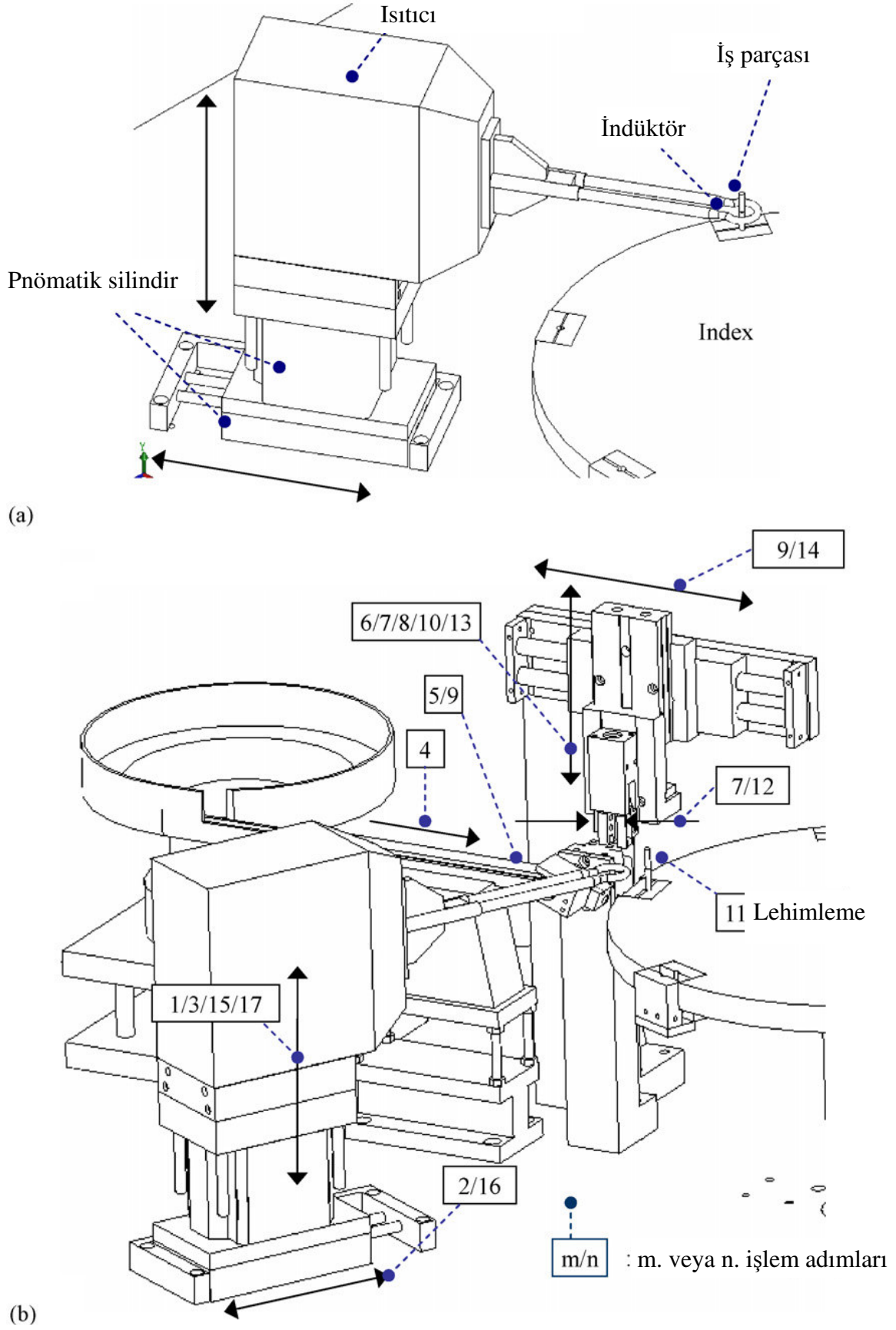
dekapanın miktarı ve süresi havanın basıncı ve uygulama süresi değiştirilerek ayarlanabilir. Şekil 5.4.6’da ikinci istasyonun çalışması görülmektedir.



Şekil 5.32 2. istasyonun mekanizması ve çalışma adımları

Üçüncü istasyondaki dairesel lehim malzemesi yüklemesi birinci istasyonda olduğu gibi titreşimli kap ve titreşimli düz-hat taşıyıcılarla yapılmaktadır. Bununla beraber lehim malzemesi 0,5 mm. kalınlığında olduğundan mekanik kavrayıcı yerine vakumla tutularak çelik gövde üzerine konmaktadır. Dördüncü istasyonda gerçekleştirilen dekapanlama sistemi de 2. istasyondaki ile aynıdır.

Beşinci istasyon daha önce de belirtildiği gibi lehimlemenin yapıldığı istasyondur. Parçalar aralarında bulunan lehim malzemesi ve dekapanla beraber bu istasyona hareket eder. Daire şeklindeki rezistanstan oluşmuş bir indüksiyon bobini lehim bölgesinin etrafına ısı vererek ergimeyi sağlamaktadır. Bu istasyonda gövde ve uç kısımlarının hassas bir şekilde eksenlenmesi ve tungsten karbür ucun uygun kuvvetle lehim malzemesine bastırılması önemlidir. İyi bir lehimleme işlemi için uçla gövde arasında 0,1 – 0,5 mm. boşluk olmalıdır. Şekil 5.4.7’de beşinci istasyonun çalışması görülmektedir.



Şekil 5.33 5. istasyonun mekanizması ve çalışma adımları: a) indüksiyon ısıtıcısının yapısı b) istasyonun işlem aşamaları

Altıncı istasyonun çalışma prensibi 1. istasyonunkine benzemektedir. Lehimlenmiş matkap istasyonun kavrayıcısıyla taşınıp bitmiş ürün toplama kutusuna bırakılmaktadır. Bitmiş ürünün çeşitli mekanik kısımlara çarpmamasına dikkat edilmelidir. (Huang1 vd.; 2006)

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

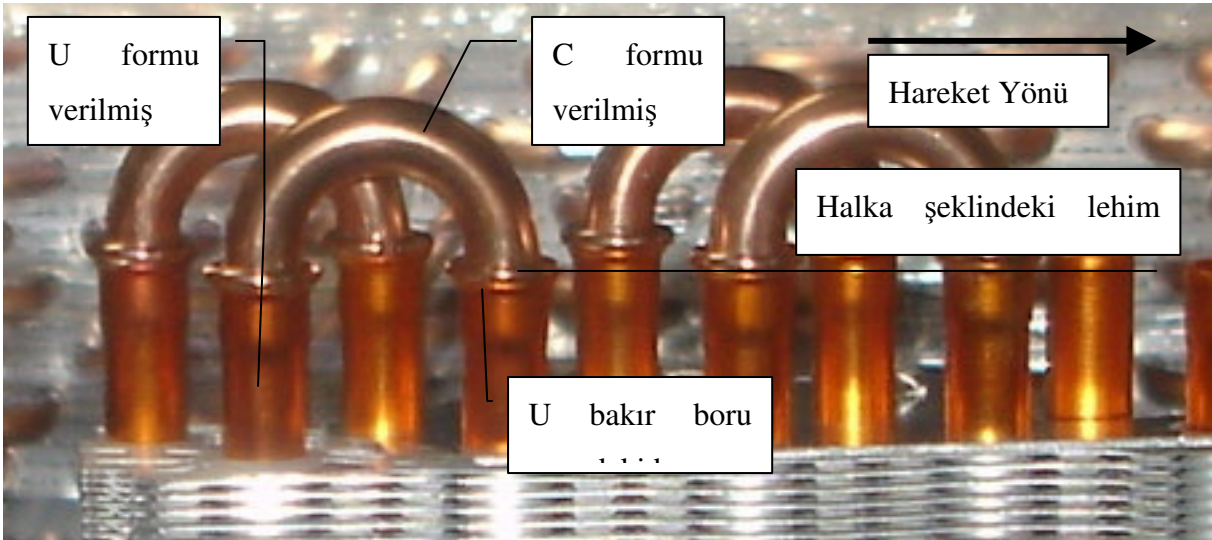
Bu bölümde, lehimleme proseslerinde otomasyon sistemlerinin kullanılmasının ortaya çıkardığı farklar; verimlilik (üretim hızı; maliyetler vb.) ve kalite (son ürünün beklenen yeterlilik sınırları içerisinde olup olmadığı) olmak üzere iki ana başlık altında yapılan deneysel çalışmalarla belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar Arçelik-LG klima işletmesinde; ısı değiştirici üretimi yapılan ısı eşanjörü üretim hatlarında gerçekleştirilmiştir.

6.1 Verimlilik

İşletmede klima üretiminde kullanılan ısı eşanjörleri; üretim hattı üzerinde bulunan doğrusal hareketli otomatik lehimleme istasyonundan geçerek lehimlenmektedir. Burada yapılan işlem C şeklindeki akışkan transfer borularının ısı değiştirici üzerinde bulunan akışkan transfer borularına lehimlenmesi şeklindedir. Her iki malzeme de bakırdır. Kullanılan lehim teli bakır C borunun iki ucuna halka olarak monte edilmiş BCuP-2'dir. Otomatik lehimleme prosesinin verimlilik ve maliyetler açısından elle lehimleme işlemiyle karşılaştırılması için iki farklı durumdaki üretim sürelerinin analizi yapılmıştır.

6.1.1 Otomatik Lehimleme İstasyonunda Lehimleme İşlemi ve İşlem Parametreleri

Daha önce de belirtildiği gibi ısı eşanjörü üzerindeki U şeklindeki bakır borular, açık uçlarına oturtulmuş olan C şeklindeki bakır borularla birlikte; üretim hattı konveyörü üzerinde doğrusal olarak ilerleyerek otomatik lehimleme istasyonuna doğru hareket eder.



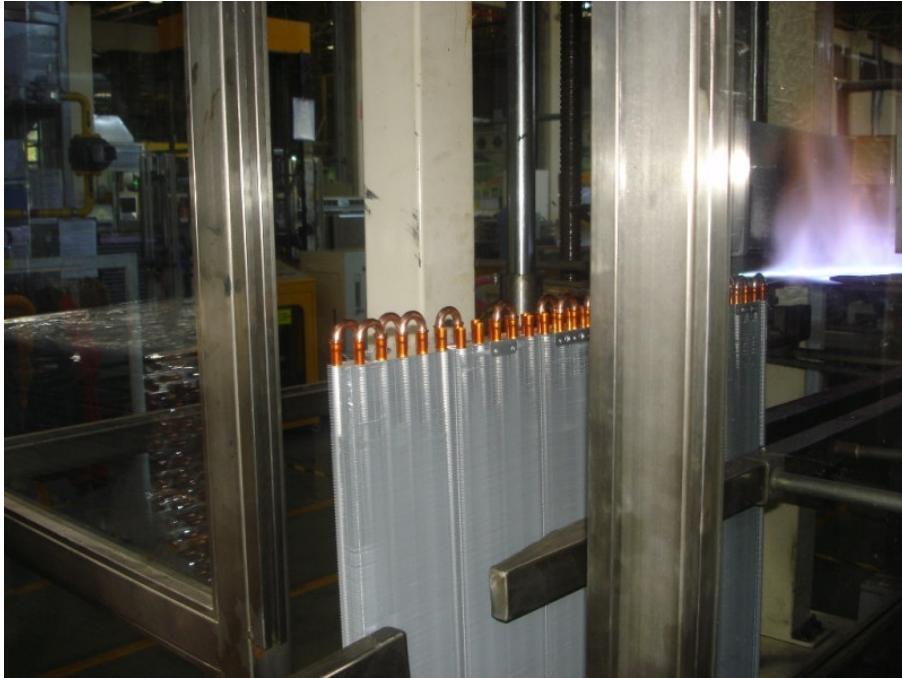
Şekil 6.1 C şekilli bakır boruların U şekilli bakır borulara otomatik lehimleme öncesi montajı

Lehim telleri halka şeklindedir ve her bir C bakır borunun iki ayağına da monte edilmiş olarak

gelmektedir. C şekilli borular bu lehim telleri yardımıyla U şekilli boruların açık uçlarına açılmış havşaların üzerine oturmaktadır.



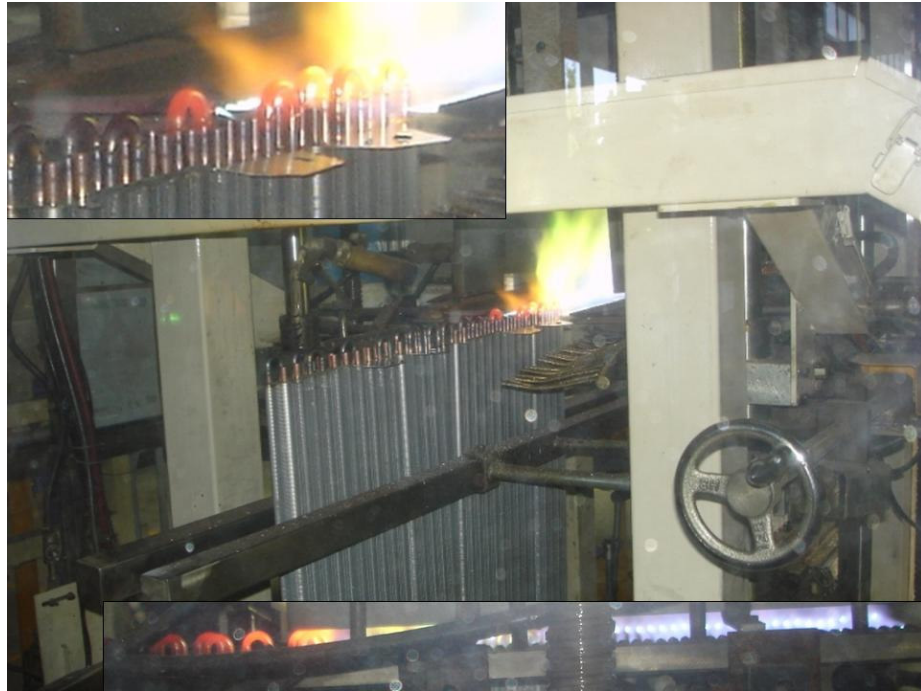
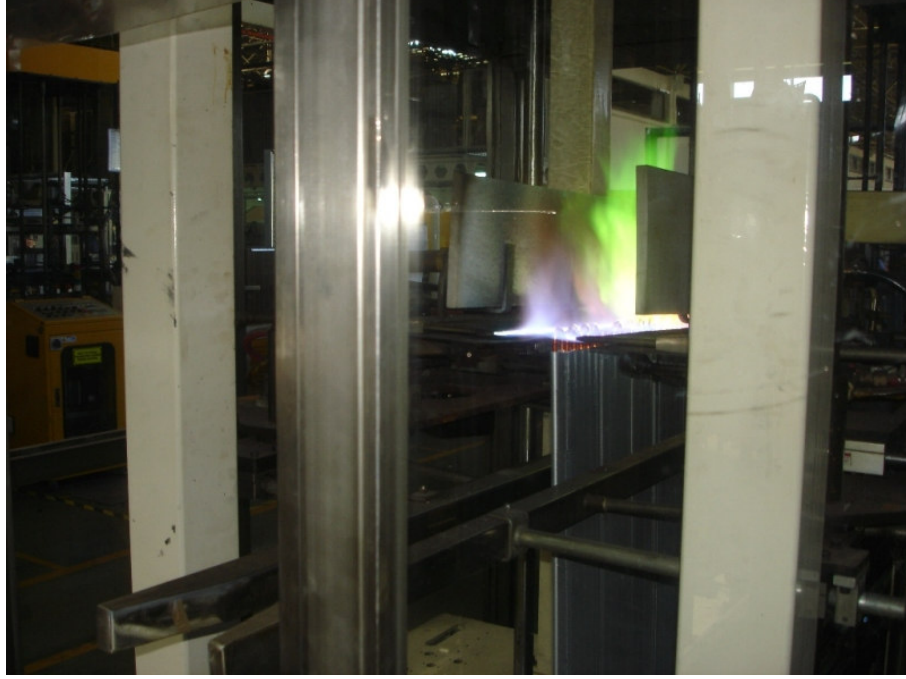
Şekil 6.2 Isı değiştiricilerin lehimlenmek üzere konveyör ve palet üzerinde otomatik lehimleme istasyonuna taşınması



Şekil 6.3 Isı değiştiricilerin lehimlenmek üzere konveyör ve palet üzerinde otomatik lehimleme istasyonuna girişi

Otomatik lehimleme istasyonu hat üzerinde camekanlı bir bölmeyle kapatılmıştır ve karşılıklı

ve yan yana sıralanmış oksii-asetilen üfleçleriyle donatılmıştır. Konveyör üzerinde istasyona giren ürün üfleç sıralarının arasından geçecek şekilde ilerler. Üfleç ağızlarının yüksekliği ürünün C boru lehim telleri hizasına göre ayarlanmaktadır. Böylece ürün üfleç alevlerinin arasından geçerken lehim telleri eriyerek U borulardaki havşaları doldurur ve birleşme sağlanır.



Şekil 6.4 Isı değiştiricilerin otomatik lehimleme istasyonundan geçerek lehimlenmesi

Isı eşanjörlerinin otomatik lehimleme istasyonundan geçirilerek üretilmesi halinde ürün

başına harcanan üretim süresinin analizinin yapılabilmesi için 4 farklı ürünün üretim süreleri alınmıştır. Standart üretim sürelerinin bulunabilmesi için otomatik lehimleme istasyonu ve diğer tüm istasyonların çevrim süreleri ayrı ayrı alınmıştır. Deneysel çalışma esnasındaki çalışma koşulları ve işlem parametreleri şöyledir:

- Oksijen basıncı: 8 bar
- LPG basıncı: 0,8 bar
- LPG gazı bileşimi: % 70 C₄H₁₀ (Bütan) % 30 C₃H₈ (Propan) (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)
- Konveyör hızı: 0,05 m/sn.
- 1. Ana malzeme (U Boru; dış çap Ø7 mm. et kalınlığı 0,28 mm): C1220 JIS H 3300 Temper OL (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)
- 2. Ana malzeme (C Boru; dış çap Ø7 mm. et kalınlığı 0,41 mm – halka lehim teli üzerinde): C1220 JIS H 3300 Temper OL
- Lehim malzemesi (Otomatik ve elle lehimleme için kullanılan): BCuP-2 (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)
- Dekapan: BcuP-2 lehim teli saf bakırı lehimlemek üzere kullanıldığında dekapan gerektirmemektedir. (Detaylı bilgi önceki bölümlerde ve kalite deneyleri kısmında verilmiştir.) Bu nedenle üretim maliyetlerini arttırmamak için işletmede dekapan kullanılmamaktadır. (Durgutlu vd., 2005)
- Üretilen ürün: 7K - 15K – 18K – 24K Btu evaporatör ısı değiştirici
- Nozullar arası uzaklık: 90 mm (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)
- Nozul ucunun lehimlenecek bölgeye göre yükseklik konumu: Nozul ucu U boru üzerine açılan havşanın bitim noktası eksenine çakıştırılarak işlem yapılmaktadır. (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)

6.1.2 Elle Lehimleme İşlemi ve İşlem Parametreleri

Burada ısı eşanjörlerindeki lehimleme işleminin elle yapılması durumunda ortaya çıkan üretim süreleri incelenmiştir. Deney çalışması artan sayıda lehimleme işleminin 2 farklı operatöre elle yaptırılmasıyla uygulanmıştır. Elle lehim teli beslemesi yapılmamış; C borular üzerindeki lehim telleri kullanılmıştır. Burada amaç, üretim hattı üzerinde otomatik

lehimleme istasyonu yerine üfleçle prosesi gerçekleştiren bir operatör olması durumunda ortaya çıkacak çevrim sürelerine ulaşabilmektir. İşlem parametreleri:

- Oksijen basıncı: 8 bar
- LPG basıncı: 0,8 bar
- LPG gazı bileşimi: % 70 C₄H₁₀ (Bütan) % 30 C₃H₈ (Propan) (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)
- 1. Ana malzeme (Ø7 mm. U Boru): C1220 JIS H 3300 Temper OL (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)
- 2. Ana malzeme (Ø7 mm. C Boru – lehim teli üzerinde): C1220 JIS H 3300 Temper OL (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)
- Lehim malzemesi (Otomatik ve elle lehimleme için kullanılan): BCuP-2 (Detaylı bilgi kalite deneyleri kısmında verilecektir.)
- Dekapan: Bölüm 3.1.1.1’de belirtildiği gibi dekaplan kullanılmamaktadır.
- Üretilen ürün: 7K - 15K – 18K – 24K Btu evaporatör ısı değiştirici
- Operatör Deneyimi: Yüksek



Şekil 6.5 Elle lehimleme işleminin operatör tarafından gerçekleştirilmesi

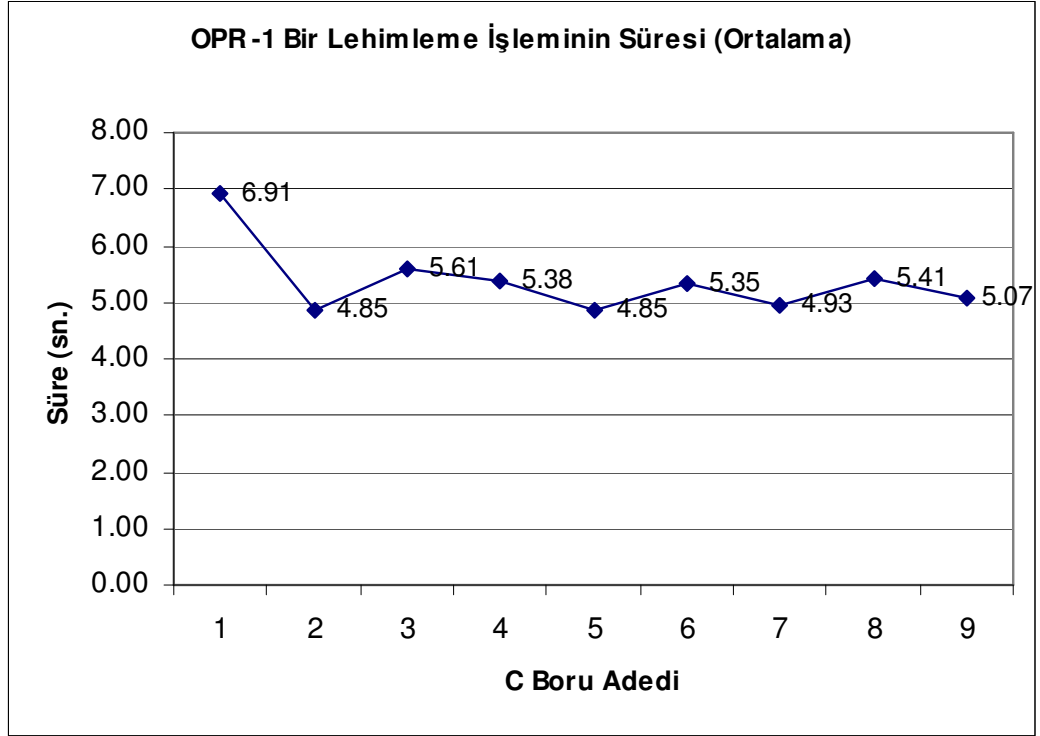
Çizelge 6.1 Elle Lehimleme İşleminde Üretim Süreleri

Operatör - 1'den Alınan Elle Lehimleme Süreleri										
C Boru Adedi	1	2	2	3	4	5	6	7	8	std_sapma
Elle Lehimleme Süresi	6.91	9.69	11.21	16.15	19.38	26.75	29.59	37.87	40.57	
Ort. 1 Adet C Boru Lehimleme Süresi	6.91	4.85	5.61	5.38	4.85	5.35	4.93	5.41	5.07	0.64
Operatör - 2'den Alınan Elle Lehimleme Süreleri										
C Boru Adedi	1	2	2	3	4	5	6	7	8	std_sapma
Elle Lehimleme Süresi	7.66	11.25	12.37	23.28	25.32	35.09	35.59	42.47	43.12	
Ort. 1 Adet C Boru Lehimleme Süresi	7.66	5.63	6.19	7.76	6.33	7.02	5.93	6.07	5.39	0.85

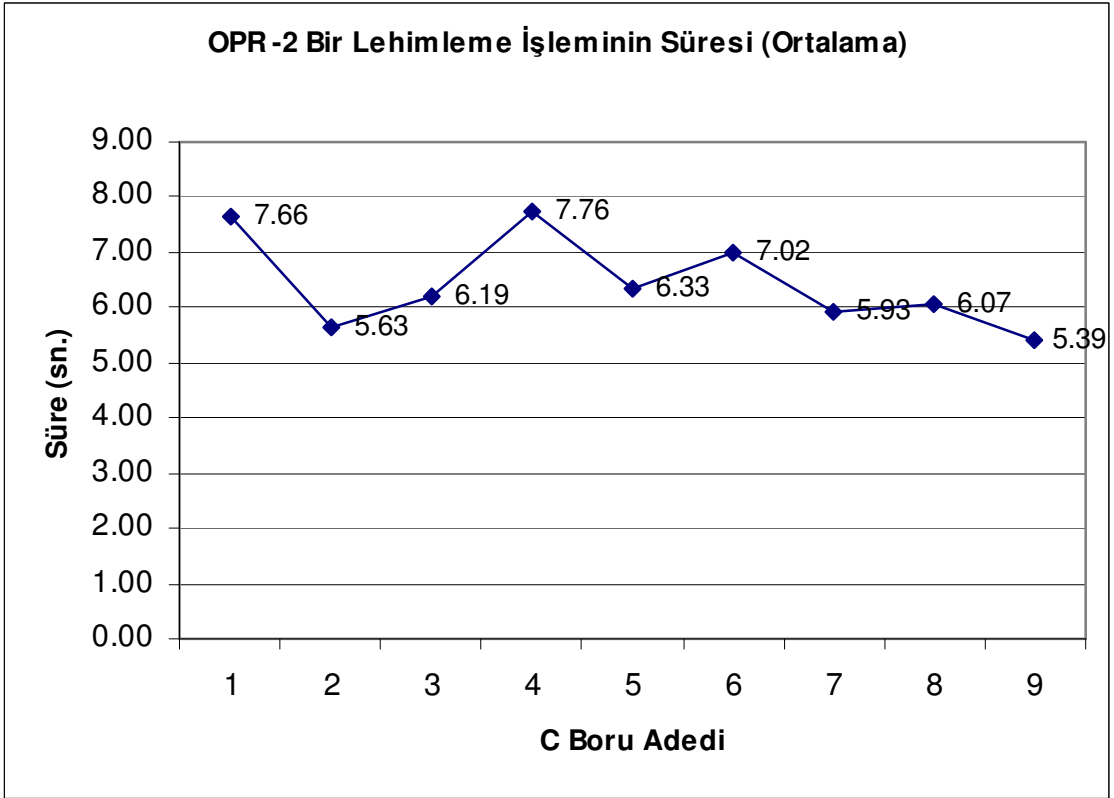
Burada 2 adet C boruyu elle lehimlemede; C boruların üfleç hareketi doğrultusunda yan yana (çizelgedeki soldan 1. değer) ve üfleç alevini beraber alabilecek şekilde arka arkaya (çizelgedeki soldan 2. değer) olduğu iki farklı durum için ayrı olarak ölçüm yapılmıştır.

6.1.3 Karşılaştırma ve Analiz

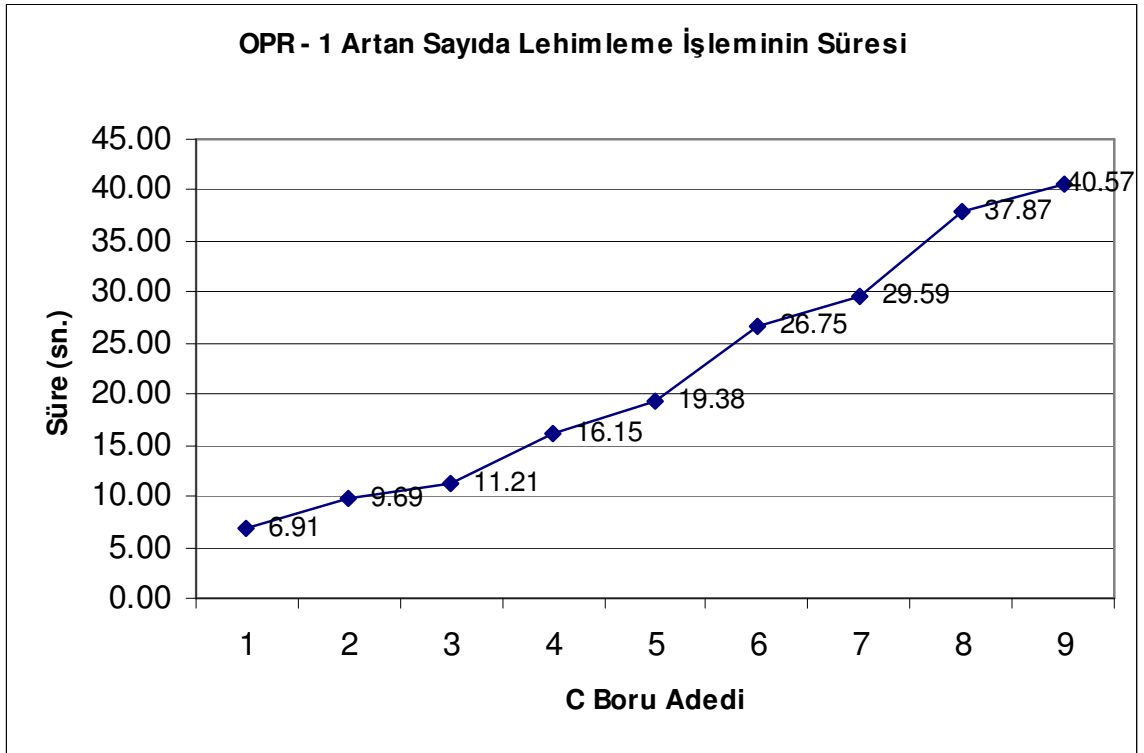
Aşağıdaki grafik ve çizelgelerde otomatik lehimleme ile elle lehimleme proseslerinin maliyetler - verimlilik açısından karşılaştırılması yapılmıştır.



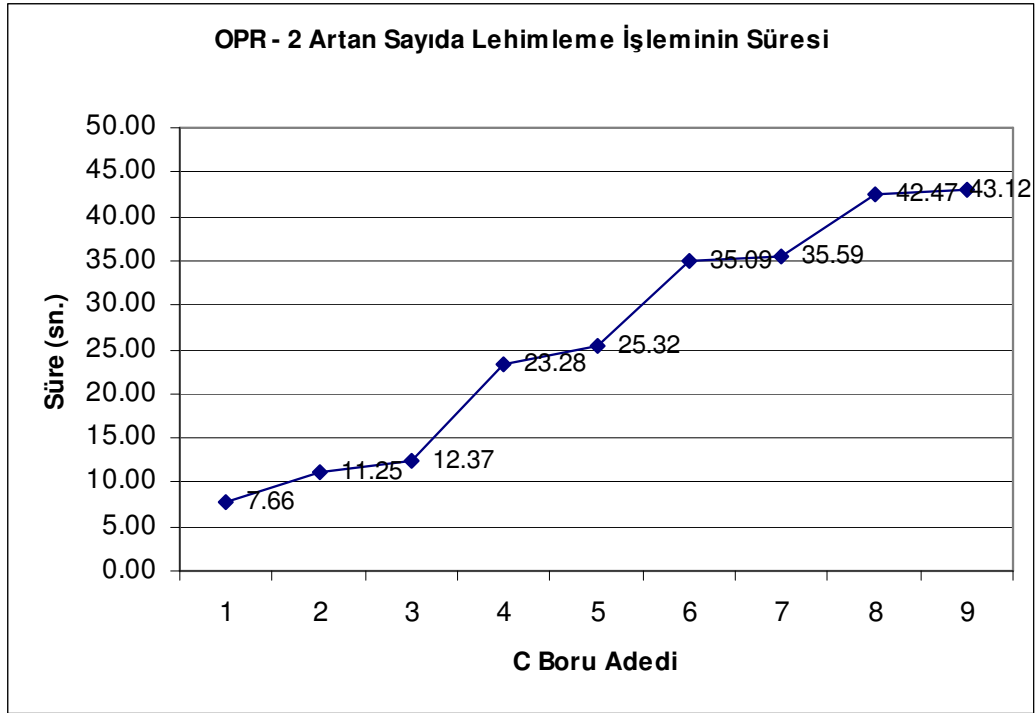
Şekil 6.6 Bir C bakır boru lehimleme işleminin süresi (operatör-1)



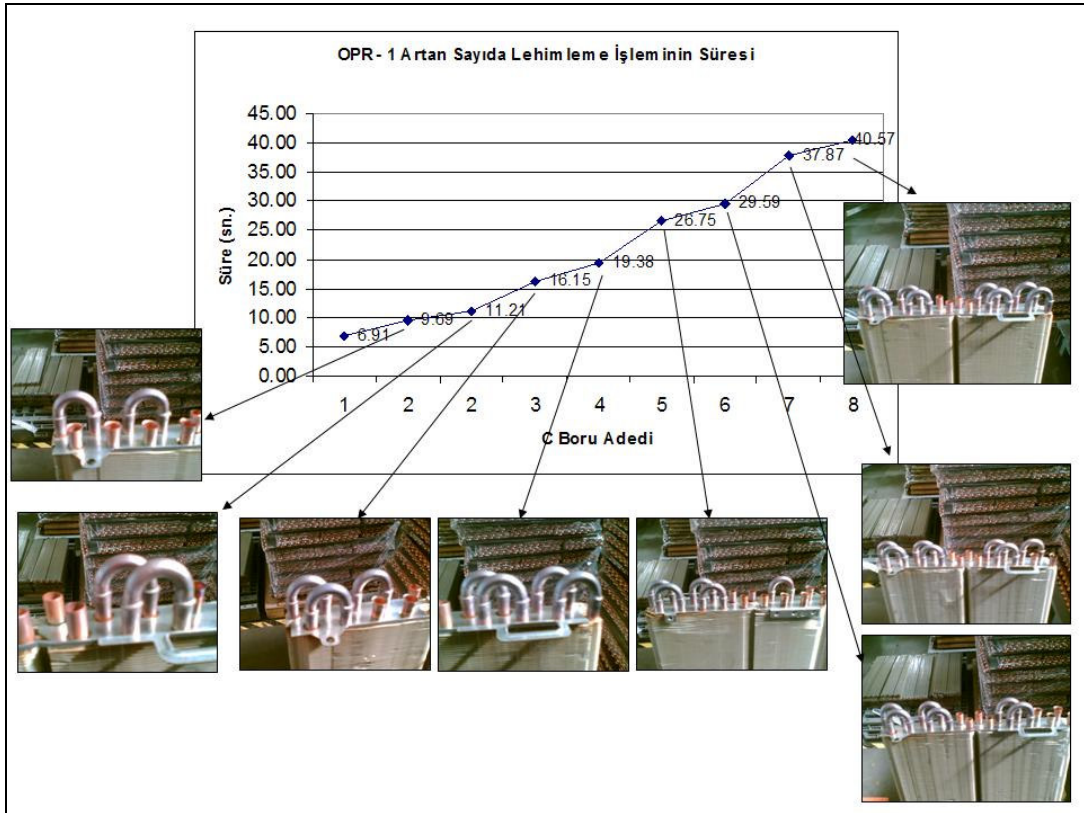
Şekil 6.7 Bir C bakır boru lehimleme işleminin süresi (operatör-2)



Şekil 6.8 Artan sayıda C bakır boru lehimleme işleminin süresi (operatör-1)



Şekil 6.9 Artan sayıda C bakır boru lehimleme işleminin süresi (operatör-2)



Şekil 6.10 Artan sayıda C bakır boru lehimleme işlemindeki aşamalar ve süreleri (operatör1)

Aşağıdaki çizelgelerde 4 farklı ürün için otomatik ve elle lehimleme prosesleri uygulandığında bir vardiyada elde edilen üretim adetlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Her iki durum için üretim hattı üzerinde bulunan en yavaş istasyonun ürün çıktılığı; üretim hattının da ürün çıktılığı olmaktadır. Dolayısıyla ürün adedi karşılaştırması bu kriter göz önünde tutularak yapılmalıdır. Ayrıca birim belirtilmediği sürece çizelgelerdeki zaman birimleri saniyedir.

Çizelge 6.2 24K evaporatör ısı değiştirici için otomatik ve elle lehimleme proseslerindeki üretim sürelerinin karşılaştırılması

OTOMATİK LEHİMLEMEDE ÜRETİM SÜRELERİ VE HAT ÜRETİM ADEDİ							
24K evaporatör (8 adet C Boru - 2 ürün/palet)	Bakır Boru Genişletme İstasyonu	Kurutma Fırını	Azot Şarj İstasyonu-1	C Boru Montaj İst.	Azot Şarj İstasyonu-2	Otomatik Lehimleme İst.	Kaçak Test İst.
1 Palet Üretim Süresi	48.94	21.18	13.82	31.92	14.62	16.82	43.06
1 Ürün için Ort. Üretim Süresi	24.47	10.59	6.91	15.96	7.31	8.41	21.53
Hat Çalışma Süresi (saat)	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Palet Sayısı/Vardiya	521	1204	1845	799	1744	1516	592
Ürün Sayısı/Vardiya	1042	2408	3690	1598	3488	3032	1184
ELLE LEHİMLEMEDE ÜRETİM SÜRELERİ VE HAT ÜRETİM ADEDİ							
24K evaporatör (8 adet C Boru - 2 ürün/palet)	Bakır Boru Genişletme İstasyonu	Kurutma Fırını	Azot Şarj İst.-1	C Boru Montaj İst.	Azot Şarj İst.-2	Otomatik Lehimleme İst.	Kaçak Test İst.
1 Palet Üretim Süresi	48.94	21.18	13.82	31.92	14.62	81.14	43.06
1 Ürün için Ort. Üretim Süresi	24.47	10.59	6.91	15.96	7.31	40.57	21.53
Hat Çalışma Süresi (saat)	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Palet Sayısı/Vardiya	521	1204	1845	799	1744	314	592
Ürün Sayısı/Vardiya	1042	2408	3690	1598	3488	629	1184

24K Evaporatör Ürünü için Karşılaştırma		
Hat Üretim Kapasitesi	Üretim Süresi (1 ürün)	Ürün Adedi (Vard.)
Otomatik Lehimleme İstasyonu	8.41	1042
Elle Lehimleme İstasyonu	40.57	629

Çizelge 6.3 18K evaporatör ısı değiştirici için otomatik ve elle lehimleme proseslerindeki üretim sürelerinin karşılaştırılması

OTOMATİK LEHİMLEMEDE ÜRETİM SÜRELERİ VE HAT ÜRETİM ADEDİ							
18K evaporatör (8 adet C Boru - 3 ürün/palet)	Bakır Boru Genişletme İstasyonu	Kurutma Fırını	Azot Şarj İstasyonu-1	C Boru Montaj İst.	Azot Şarj İstasyonu-2	Otomatik Lehimleme İst.	Kaçak Test İst.
1 Palet Üretim Süresi	65.21	24.00	9.54	31.92	9.54	16.82	57.94
1 Ürün için Ort. Üretim Süresi	21.74	8.00	3.18	10.64	3.18	5.61	19.31
Hat Çalışma Süresi (saat)	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Palet Sayısı/Vardiya	391	1062	2672	799	2672	1516	440
Ürün Sayısı/Vardiya	1173	3187	8016	2396	8016	4548	1320
ELLE LEHİMLEMEDE ÜRETİM SÜRELERİ VE HAT ÜRETİM ADEDİ							
18K evaporatör (8 adet C Boru - 3 ürün/palet)	Bakır Boru Genişletme İstasyonu	Kurutma Fırını	Azot Şarj İst.-1	C Boru Montaj İst.	Azot Şarj İst.-2	Otomatik Lehimleme İst.	Kaçak Test İst.
1 Palet Üretim Süresi	65.21	24.00	9.54	31.92	9.54	121.71	57.94
1 Ürün için Ort. Üretim Süresi	21.74	8.00	3.18	10.64	3.18	40.57	19.31
Hat Çalışma Süresi (saat)	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Palet Sayısı/Vardiya	391	1062	2672	799	2672	210	440
Ürün Sayısı/Vardiya	1173	3187	8016	2396	8016	629	1320

18K Evaporatör Ürünü için Karşılaştırma		
Hat Üretim Kapasitesi	Üretim Süresi (1 ürün)	Ürün Adedi (Vard.)
Otomatik Lehimleme İstasyonu	5.61	1173
Elle Lehimleme İstasyonu	40.57	629

Çizelge 6.4 15K evaporatör ısı değiştirici için otomatik ve elle lehimleme proseslerindeki üretim sürelerinin karşılaştırılması

OTOMATİK LEHİMLEMEDE ÜRETİM SÜRELERİ VE HAT ÜRETİM ADEDİ							
15K evaporatör (7 adet C Boru - 3 ürün/palet)	Bakır Boru Genişletme İstasyonu	Kurutma Fırını	Azot Şarj İstasyonu-1	C Boru Montaj İst.	Azot Şarj İstasyonu-2	Otomatik Lehimleme İst.	Kaçak Test İst.
1 Palet Üretim Süresi	67.94	24.00	9.54	27.93	9.54	16.82	51.32
1 Ürün için Ort. Üretim Süresi	22.65	8.00	3.18	9.31	3.18	5.61	17.11
Hat Çalışma Süresi (saat)	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Palet Sayısı/Vardiya	375	1062	2672	913	2672	1516	497
Ürün Sayısı/Vardiya	1126	3187	8016	2739	8016	4548	1491
ELLE LEHİMLEMEDE ÜRETİM SÜRELERİ VE HAT ÜRETİM ADEDİ							
15K evaporatör (7 adet C Boru - 3 ürün/palet)	Bakır Boru Genişletme İstasyonu	Kurutma Fırını	Azot Şarj İst.-1	C Boru Montaj İst.	Azot Şarj İst.-2	Otomatik Lehimleme İst.	Kaçak Test İst.
1 Palet Üretim Süresi	67.94	24.00	9.54	27.93	9.54	113.61	51.32
1 Ürün için Ort. Üretim Süresi	22.65	8.00	3.18	9.31	3.18	37.87	17.11
Hat Çalışma Süresi (saat)	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Palet Sayısı/Vardiya	375	1062	2672	913	2672	224	497
Ürün Sayısı/Vardiya	1126	3187	8016	2739	8016	673	1491

15K Evaporatör Ürünü için Karşılaştırma		
Hat Üretim Kapasitesi	Üretim Süresi (1 ürün)	Ürün Adedi (Vard.)
Otomatik Lehimleme İstasyonu	5.61	1126
Elle Lehimleme İstasyonu	37.87	673

Çizelge 6.5 7K evaporatör ısı değiştirici için otomatik ve elle lehimleme proseslerindeki üretim sürelerinin karşılaştırılması

OTOMATİK LEHİMLEMEDE ÜRETİM SÜRELERİ VE HAT ÜRETİM ADEDİ							
7K evaporatör (8 adet C Boru - 3 ürün/palet)	Bakır Boru Genişletme İstasyonu	Kurutma Fırını	Azot Şarj İstasyonu-1	C Boru Montaj İst.	Azot Şarj İstasyonu-2	Otomatik Lehimleme İst.	Kaçak Test İst.
1 Palet Üretim Süresi	59.58	24.00	9.54	31.92	9.54	16.82	48.29
1 Ürün için Ort. Üretim Süresi	19.86	8.00	3.18	10.64	3.18	5.61	16.10
Hat Çalışma Süresi (saat)	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Palet Sayısı/Vardiya	428	1062	2672	799	2672	1516	528
Ürün Sayısı/Vardiya	1284	3187	8016	2396	8016	4548	1584
ELLE LEHİMLEMEDE ÜRETİM SÜRELERİ VE HAT ÜRETİM ADEDİ							
7K evaporatör (8 adet C Boru - 3 ürün/palet)	Bakır Boru Genişletme İstasyonu	Kurutma Fırını	Azot Şarj İst.-1	C Boru Montaj İst.	Azot Şarj İst.-2	Otomatik Lehimleme İst.	Kaçak Test İst.
1 Palet Üretim Süresi	59.58	24.00	9.54	31.92	9.54	121.71	48.29
1 Ürün için Ort. Üretim Süresi	19.86	8.00	3.18	10.64	3.18	40.57	16.10
Hat Çalışma Süresi (saat)	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Palet Sayısı/Vardiya	428	1062	2672	799	2672	210	528
Ürün Sayısı/Vardiya	1284	3187	8016	2396	8016	629	1584

7K Evaporatör Ürünü İçin Karşılaştırma		
Hat Üretim Kapasitesi	Üretim Süresi (1 ürün)	Ürün Adedi (Vard.)
Otomatik Lehimleme İstasyonu	5.61	1284
Elle Lehimleme İstasyonu	40.57	629

Çizelgelerden de görüldüğü gibi otomatik lehimleme istasyonu yerine elle lehimleme prosesi kullanıldığında bir vardiyada çıkan ürün sayısında önemli miktarda düşüş olmaktadır. Bunun üretim maliyetlerini arttırmasının yanı sıra; operatör maliyeti ve kalifiye operatör çalıştırma gerekliliği elle lehimleme prosesinin verimliliğini daha da düşürmekte ve üretim maliyetlerini daha da arttırmaktadır.

6.2 Lehimleme Kabiliyeti ve Ürün Kalitesi

Bu çalışma altında; otomasyonlu lehimleme ve elle lehimlemeyle imalatın, ürünün özelliklerine nasıl yansıdığı araştırılmış ve iki yöntemle de imal edilen ürünlerin çeşitli özellikleri açısından kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan deneyler çekme dayanımı, mikro yapı incelemesi, mikro sertlik incelemesi ve proses kalitesi (lehimleme bölgelerinde kaçak olmaması) analizlerini içermektedir. Isı değiştirici imalatında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri gaz kaçağına sebep olan hataların ortaya çıkmamasını sağlamak olduğundan; proses kalitesinin analizi yapılmalıdır. Kaçak testleri dışındaki testler aynı işlem parametreleriyle üretilmiş örnekler üzerinde yapılmıştır. İşlem parametreleri:

- Oksijen basıncı: 8 bar
- LPG basıncı: 0,8 bar
- LPG gazı bileşimi:

Çizelge 6.6 Kullanılan LPG gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri

FİZİKSEL ve KİMYASAL ÖZELLİKLER	BÜTAN (C ₄ H ₁₀)	PROPAN (C ₃ H ₈)	KARIŞIM LPG
Molekül Ağırlığı (gr/mol)	58,12	44,09	% 70 C ₄ H ₁₀ % 30 C ₃ H ₈
Kritik Sıcaklık (°C)	152	96,8	135
Kritik Basınç (atm.)	37,5	42	39

Donma Noktası (°C)	-138	-189,9	-154
Özgül Kütle (1 atm. ve 15°C'de - kg/m³)	585	509	562
Üst Isıl Değer (Gaz Fazı - 1 atm. ve 15°C'de) (kcal/m³)	30400	23000	28180
Alt Isıl Değer (Gaz Fazı - 1 atm. ve 15°C'de) (kcal/m³)	28000	21200	25960
Hava Karışımında Yanma Limitleri (%) - Alt Sınır / Üst Sınır	1,55 / 8,6	2,15 / 9,6	1,73 / 8,9
Oksijen Karışımında Yanma Limitleri (%) - Alt Sınır / Üst Sınır	0,33 / 1,81	0,45 / 2,01	0,36 / 1,87
En Yüksek Alev Sıcaklığı (Oksijende) (°C)	2850	2850	2850
Kükürt Miktarı (en çok) (mg / kg)	140	185	154

- Konveyör hızı: 0,042 m/sn.
- 1. Ana malzeme (Ø9,52 mm. U Boru) ve 2. Ana malzeme (Ø9,52 mm. C Boru): JIS H 3300 C1220 Temper OL

Çizelge 6.7 Ana malzeme kimyasal bileşimi

Alaşım	ASTM	BS EN	JIS	Bileşim
Fosforla dezokside edilmiş bakır	C12200	C106	C1220T-0	Cu: > % 99,90 P: % 0,015 - % 0,040

- Lehim malzemesi (Otomatik ve elle lehimleme için kullanılan): BCuP-2 sert lehimleme teli

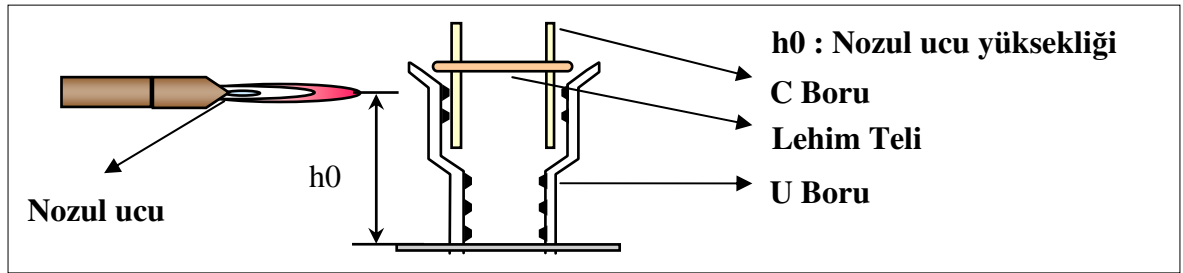
Çizelge 6.8 Lehim teli malzemesi kimyasal bileşimi

Alaşım Elemanları (%)					Çalışma Sıcaklığı	Ergime Aralığı
Cu	P	Ag	Zn	Diğer	710 ° C	710 - 740 ° C
92,75	7,25	-	-	-		

- Dekapan: Daha önce belirtildiği gibi BCuP-2 saf bakırla kullanıldığından dekapan gerekmemektedir. Dar aralıkları (0.051–0.127 mm.) doldurabilme özelliğine sahip

olan BCuP-2 içerdiği fosfor miktarı nedeniyle lehimleme sırasındaki dezoksidasyona karşı koyabilmekte ve iyi bir ıslatma yapılabilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla sağlam bir bağ oluşmaktadır. Bunlara ek olarak BCuP-2 düşük maliyetli ve korozyona dayanıklıdır. (Durgutlu vd., 2005)

- Üretilen ürün: 30K Btu kondenser ısı değıştirici
- Nozullar arası uzaklık: 100 mm
- Nozul ucunun lehimlenecek bölgeye göre yükseklik konumu: Nozul ucu U boru üzerine açılan havşanın bitim noktası eksenine çakıştırılarak işlem yapılmaktadır.



Şekil 6.11 Nozul ucunun lehimlenecek bölgeye göre yükseklik konumu

6.2.1 Çekme Deneyi

Çekme deneyi için otomatik ve elle lehimlemeyle birleştirilmiş standart boru numunelerinin yanı sıra; yine otomatik ve elle lehimlemeyle birleştirilmiş C Boru numuneleri de kullanılmıştır. Lehim teli olarak C borularla beraber gelen (yarı mamul üzerinde gelen) halka BCuP-2 lehim teli kullanılmıştır. Ayrıca lehim telini elle besleme ve C boruların üzerinde hazır geleni kullanma durumları için de çekme deneyleri ve sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

6.2.1.1 Ana Malzeme ve Lehim Teli Özellikleri

1. Ana malzeme (U Boru; dış çap $\text{Ø}9,52$ mm. et kalınlığı 0,34 mm): JIS C1220 H 3300 Temper OL ve 2. Ana malzeme (C Boru; dış çap $\text{Ø}9,52$ mm. et kalınlığı 0,50 mm): JIS C1220 H 3300 Temper OL

Çizelge 6.9 Ana malzemenin mekanik özellikleri

Çekme Testi				Sertlik Testi		
Dış Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Kopma Uzaması (%)	Kalınlık (mm)	HR15T	HRV
4 - 250	0,3 - 30	> 206	> 40	> 0,6	< 65	< 85

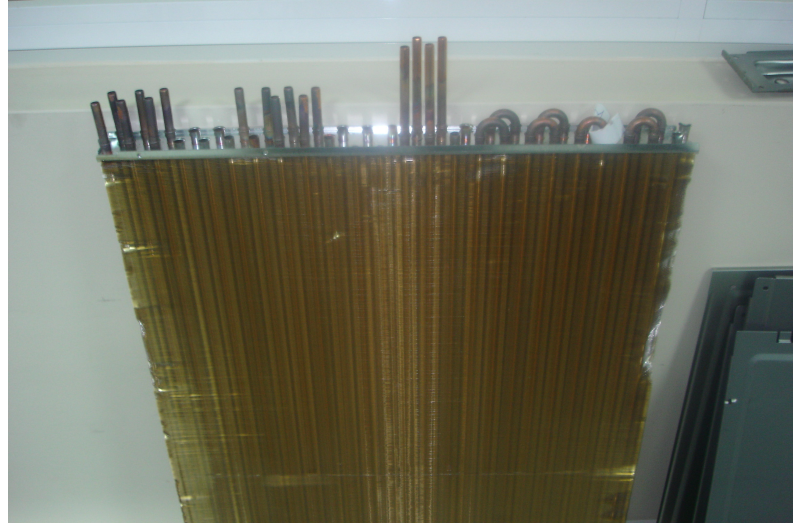
Lehim teli malzemesi: BCuP-2 Sert Lehimleme Teli

Çizelge 6.10 Lehim teli malzemesi mekanik özellikleri

%Cu	%P	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (kg/mm ²)	DIN 8513	EN 1044	AWS A5.8-92
92,75	7,25	8,1	58	L-CuP7	CP 202	BCuP-2

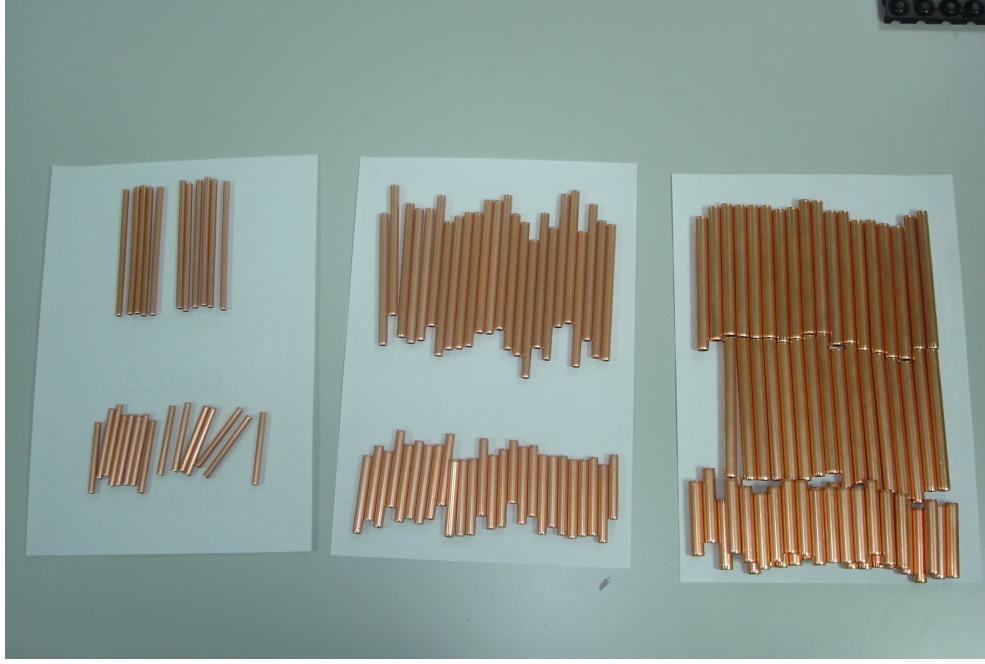
6.2.1.2 Numunelerin Lehimlenme Parametreleri ve Hazırlanması

Deney numunelerini almak için, 2 adet ısı eşanjörü uygun şekil ve boyutlarda düz ve c şeklinde bakır borular bağlanarak hazırlanmış ve işleme sokulmuştur. Birinci ısı eşanjöründeki bakır borular otomatik lehimleme istasyonundan geçirilerek lehimlenmiş; ikinci eşanjördekiler ise elle (lehim telinin de elle beslenmesiyle) lehimlenmişlerdir.



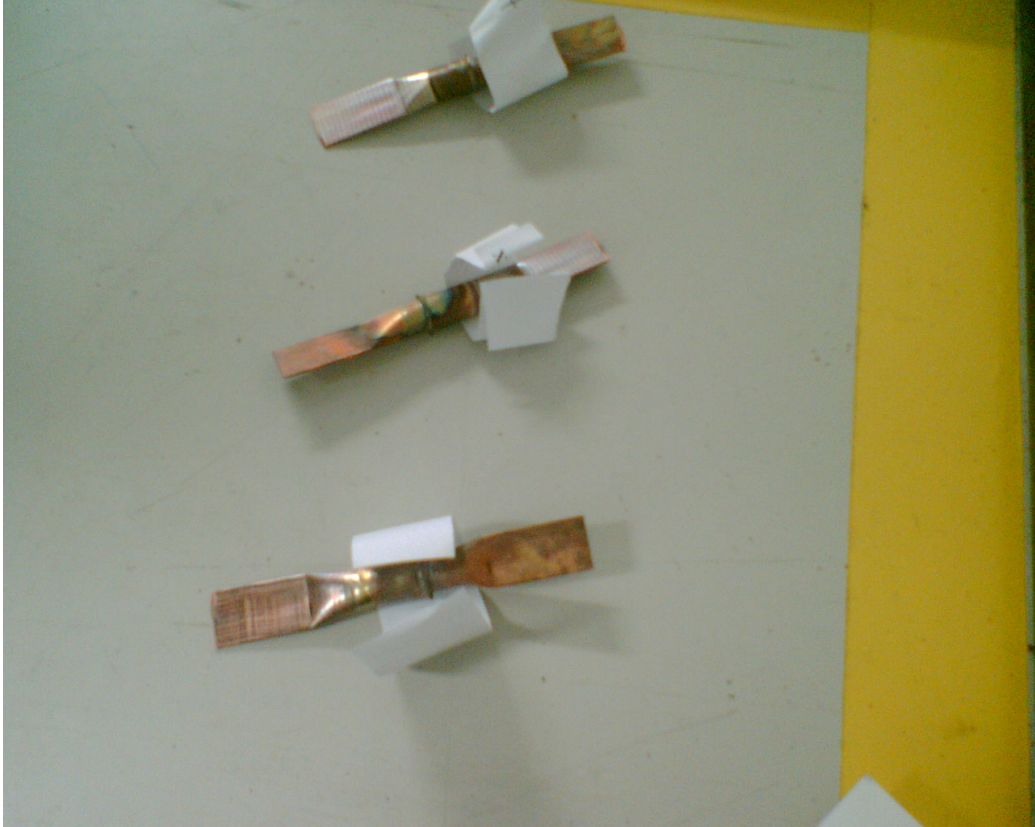
Şekil 6.12 Numune almak için hazırlanmış ısı değiştiriciler

Normalde işletmede üretilen ısı eşanjörleri üzerinde düz bakır boru parçalar bulunmamaktadır. Bu parçalar deneyler için özel olarak hazırlanarak ısı eşanjörüne bağlanmış ve otomatik-elle lehimlemeyle birleştirilmişlerdir. Düz boruların hazırlanması için istenilen boylarda kesilen bakır borular ve onlara bağlanan halka lehim telleri kullanılmıştır.



Şekil 6.13 Numune olarak kullanılmak üzere lehimlenmek için hazırlanmış düz bakır borular ve halka lehim tellerinin bu borulara bağlanması

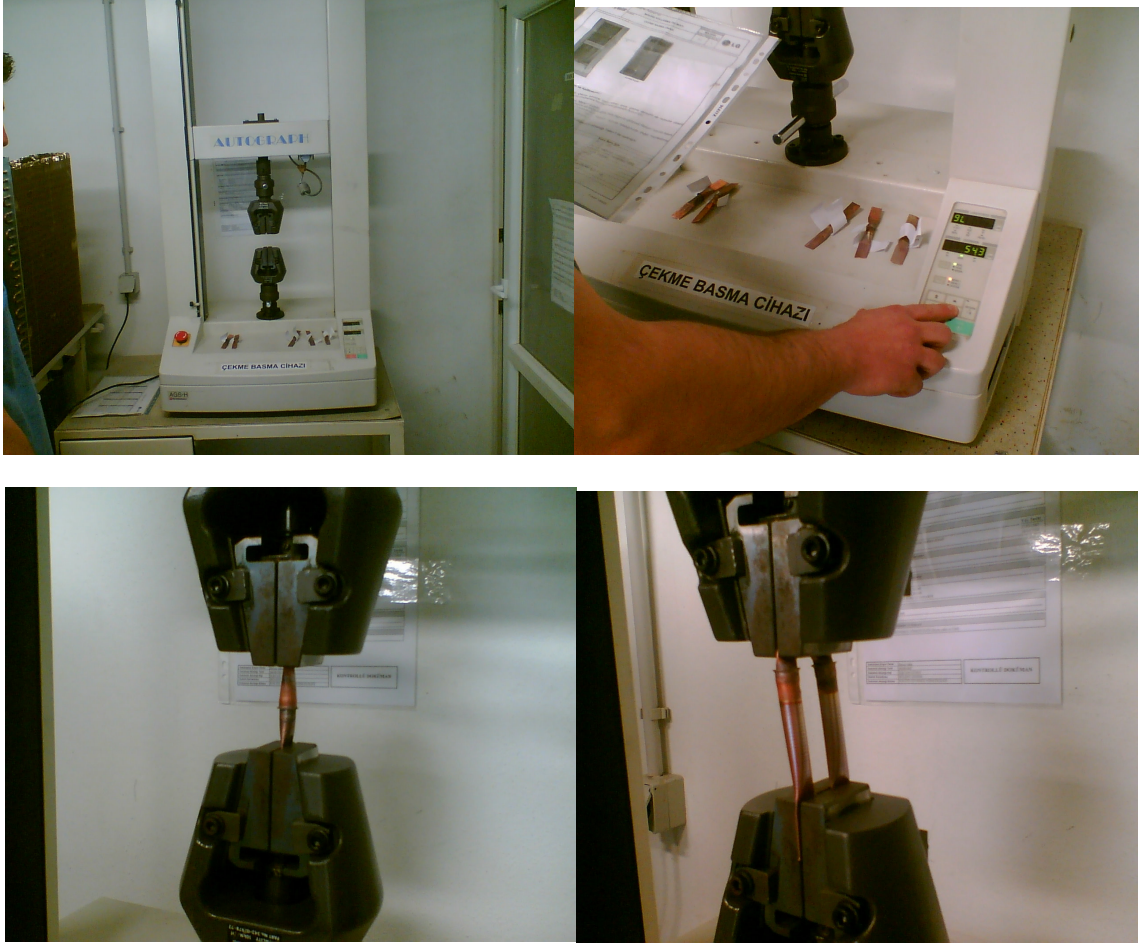
Numunelerin her iki kenarından 25 mm'lik kısımlar ezilerek çekme testi tezgahına bağlanmaya hazır hale getirilir.



Şekil 6.14 Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması

6.2.1.3 Çekme Testi Parametreleri ve Testin Yapılışı

Öncelikle malzemeye uygun çeneler çekme testi makinesine bağlanır. Bakır boru çekmek için 1000 kgf'lik çeneler tezgaha bağlanmıştır. Çekme hızı 80 mm/dk. olarak alınmıştır. Standart numuneler daha önce de belirtildiği gibi her iki kenarından 25 mm.'lik kısımlar ezilerek hazırlanmış 100 mm boyundaki numunelerdir. Buna ek olarak bu çalışma içerisinde iki ayaklı ve C boru lehimlenmiş numunelerin çekme testi de yapılmıştır.



Şekil 6.15 Çekme deneyi cihazı ve deneylerin yapılışı

6.2.1.4 Çekme Deneyi Sonuçları ve Analiz

Elle ve otomatik lehimlemeyle birleştirilmiş düz bakır boru ve C bakır borunun yanı sıra; lehim telini elle besleme veya bakır boru üzerindeki halka lehim telini kullanma durumlarını karşılaştırmak için de çekme deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 6.11 Halka lehim telli bakır borunun otomatik ve elle lehimleme sonrasındaki mekanik özellikleri

DÜZ BORU - HALKA LEHİM TELLİ	KOPMA UZAMASI (%)	ÇEKME DAYANIMI (N/mm²)
ELLE	12,51	212,4
OTOMATİK	8,3	166,1
ORAN (OTO. / MAN.)	66,35%	78,20%

Çizelge 6.12 Lehim telinin elle beslenmesi ve halka şeklinde boruya montajlı olarak kullanılması durumundaki mekanik özellikler

DÜZ BORU - ELLE LEHİMLEME	KOPMA UZAMASI (%)	ÇEKME DAYANIMI (N)
HALKA LEHİM TELLİ	9,69	189,4
DÜZ LEHİM TELİ	20,32	225,8
ORAN (HALKA/DÜZ)	47,69%	83,88%

Çizelge 6.13 C şekilli bakır borunun otomatik ve elle lehimleme sonrasındaki mekanik özellikleri

C BORU - HALKA LEHİM TELLİ	KOPMA UZAMASI (%)	ÇEKME DAYANIMI (N/mm²)
ELLE	19,34	458,7
OTOMATİK	24,31	367,2
ORAN (OTO. / MAN.)	79,55%	80,05%

Kopma her zaman havşa açılmamış (üstteki) bakır borunun havşa açılmış bakır boruya birleşme noktasının hemen üzerinden gerçekleşmektedir. Birleşme noktası en büyük lehim kütesini içeren kısımdır. Bu bölgenin altında iç içe geçmiş 2 bakır boru ve aralarında da katılmış lehim telinin olduğu düşünüldüğünde; kopmanın üstteki borunun lehimleme bölgesine en yakın komşu bölgede oluşması beklenen bir durumdur. Kopma en büyük ısı

girdisinin olduğu bölgeden; yani ITAB'ın başlangıcından olmaktadır.

Soğuk çekme ürünü olan orijinal bakır boru malzeme, işlem esnasındaki ısı girdisi sebebi ile yeniden kristalleşip, yumuşar. Bu sebepten dolayı bakır malzemenin (yapılan deneylerde kopma noktasının) maksimum çekme dayanımında bir düşüş meydana gelmektedir. Deneylerde kopmanın gerçekleştiği bölge de en yumuşak ve çekme dayanımının en düşük olması beklenen bölgedir.

Kullanılan bakır dezokside edilmiş olduğu için hidrojen gevrekleşmesi riskinin olmadığı düşünülebilir. Ayrıca bakır ana malzemeyle dekapan etkisi gösteren ilave metal de havadan oksijen alınmasını engellemektedir. (Durgutlu vd., 2005; Ersümer, 1976)

Sonuçlara bakıldığında elle lehimlemeyle üretilen ürünlerin otomatik lehimlemeyle üretilen ürünlere kıyasla daha mukavim oldukları ve kopma uzamasının daha fazla olduğu görülmektedir. 3. çizelgedeki deney sırasında 2 ayrı kopma meydana geldiğinden buradaki kopma uzaması oranı 1. çizelgeden farklıdır. Birleştirilen malzemenin dayanımının ve sünekliğinin artması neredeyse tüm imalat sektöründe ürün kalitesi açısından önemli bir faktördür. Ancak referans olarak kullanılan üründe mekanik dayanımdan çok sızdırmazlığa ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte mekanik özelliklerin artışıyla, takip eden üretim aşamalarında veya taşıma esnasındaki çarpma, vurma vb. sebeplerle ısı değiştiricide kaçak oluşturabilecek delik vb. hataların ortaya çıkma olasılığı azaltılabilir. Dolayısıyla mekanik özelliklerin yüksek olması da faydalı olarak görülmelidir.

Çizelge 6.13'e bakıldığında ise lehim telinin elle beslenmesi (düz lehim teli) durumunda ortaya çıkan mekanik değerlerin, hazır halka lehim teliyle çalışılmasına kıyasla daha üstün olduğu görülmektedir.

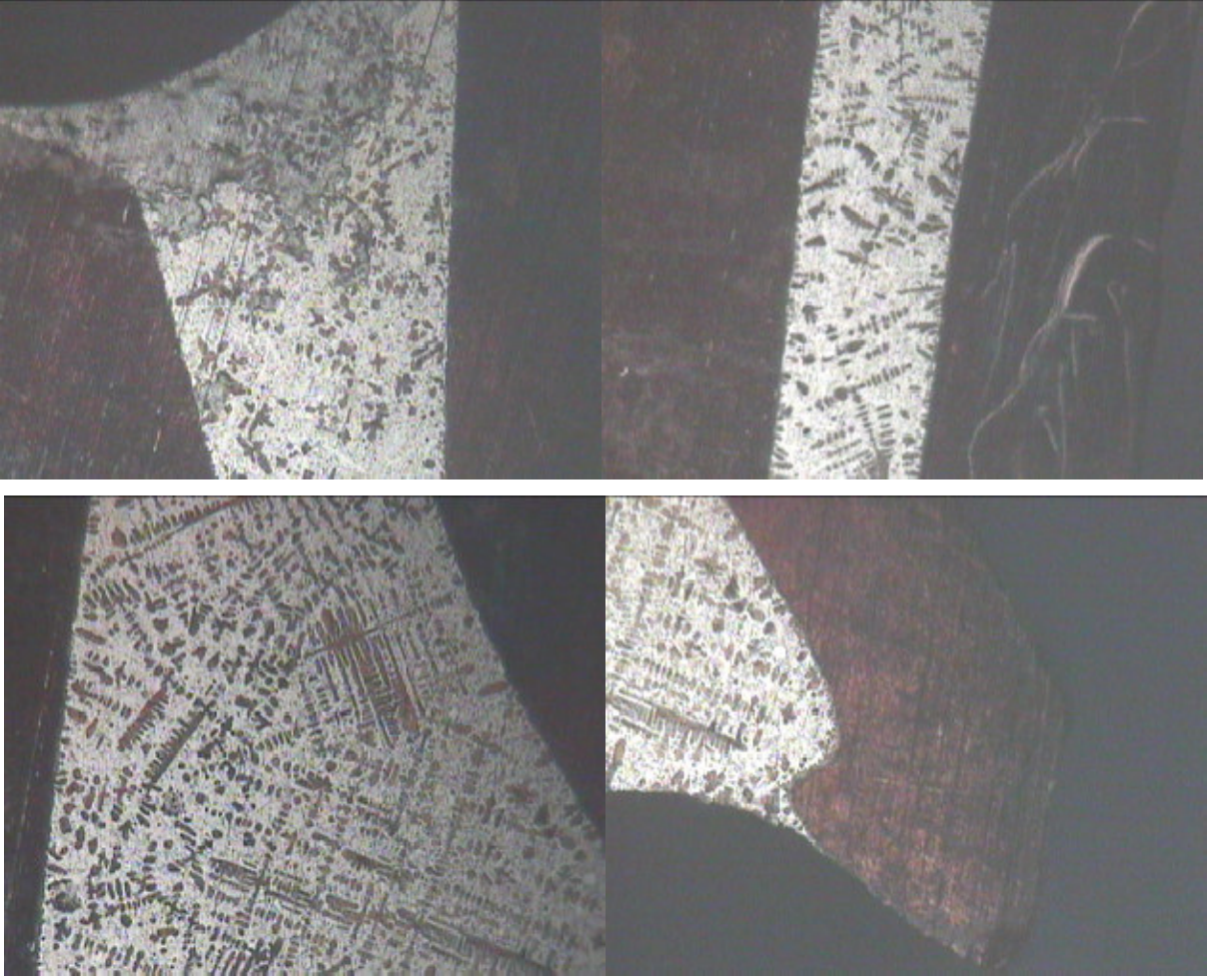
6.2.2 Mikro Yapı İncelemesi

Mikro yapı ve makro yapı incelemesi için otomatik lehimleme istasyonunda ve elle lehimlenmiş numuneler; öncelikle lehimleme çizgisine dik olarak ortadan kesilmiştir. Daha sonra her bir numune termoset plastik malzemeye gömülerek kalıplanmış ve zımparalama, parlatma ve dağlama aşamalarına hazır hale getirilmiştir. Zımparalama işlemi döner zımpara makinesinde sırasıyla 120, 400 ve 800 mesh zımpara kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işleminden sonra döner parlatma tezgahında parlatma macunu kullanılarak parlatma yapılmış ve numuneler asitle dağlanmıştır.

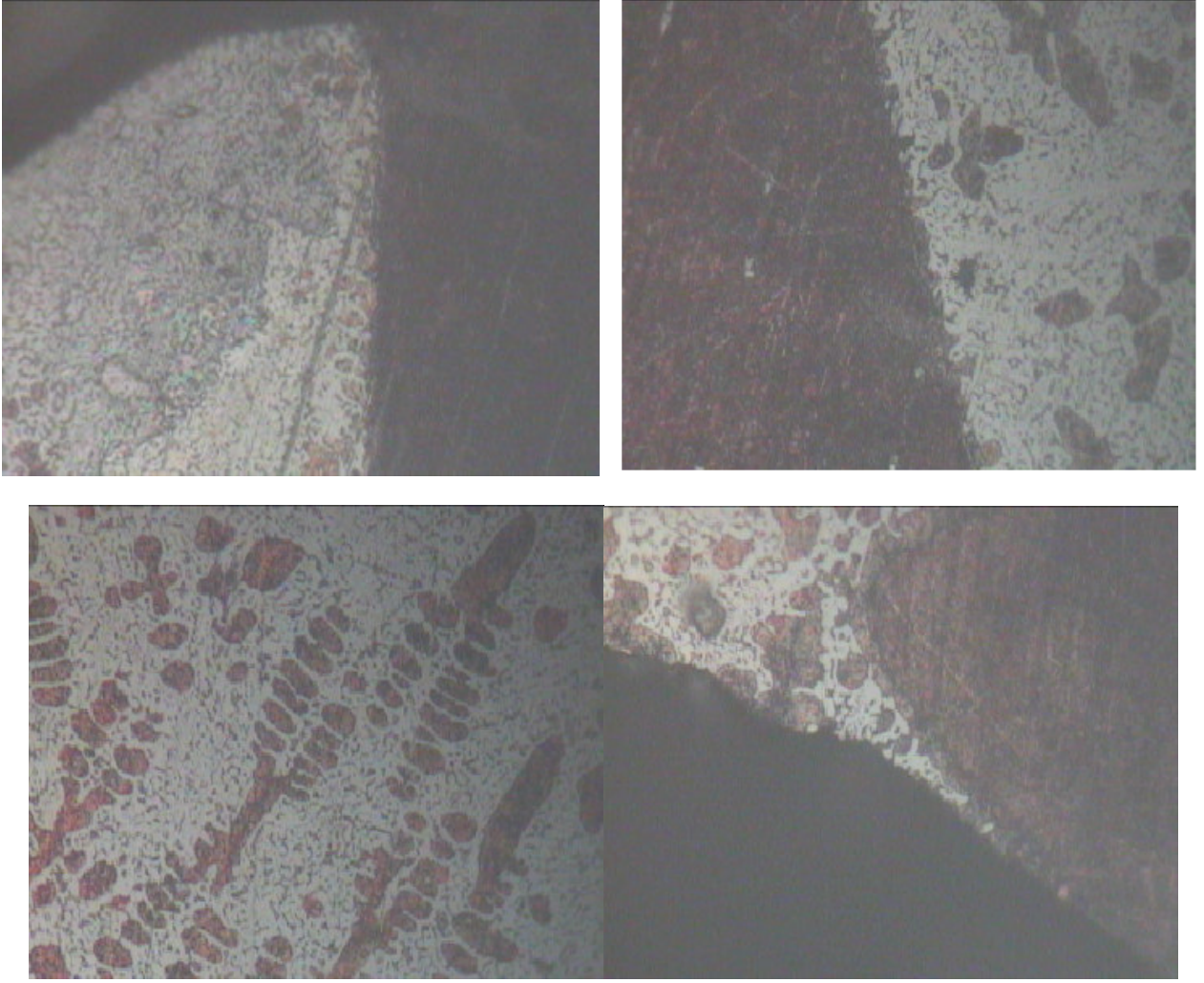


Şekil 6.16 İç yapı incelemesi öncesinde numunelerin hazırlanması

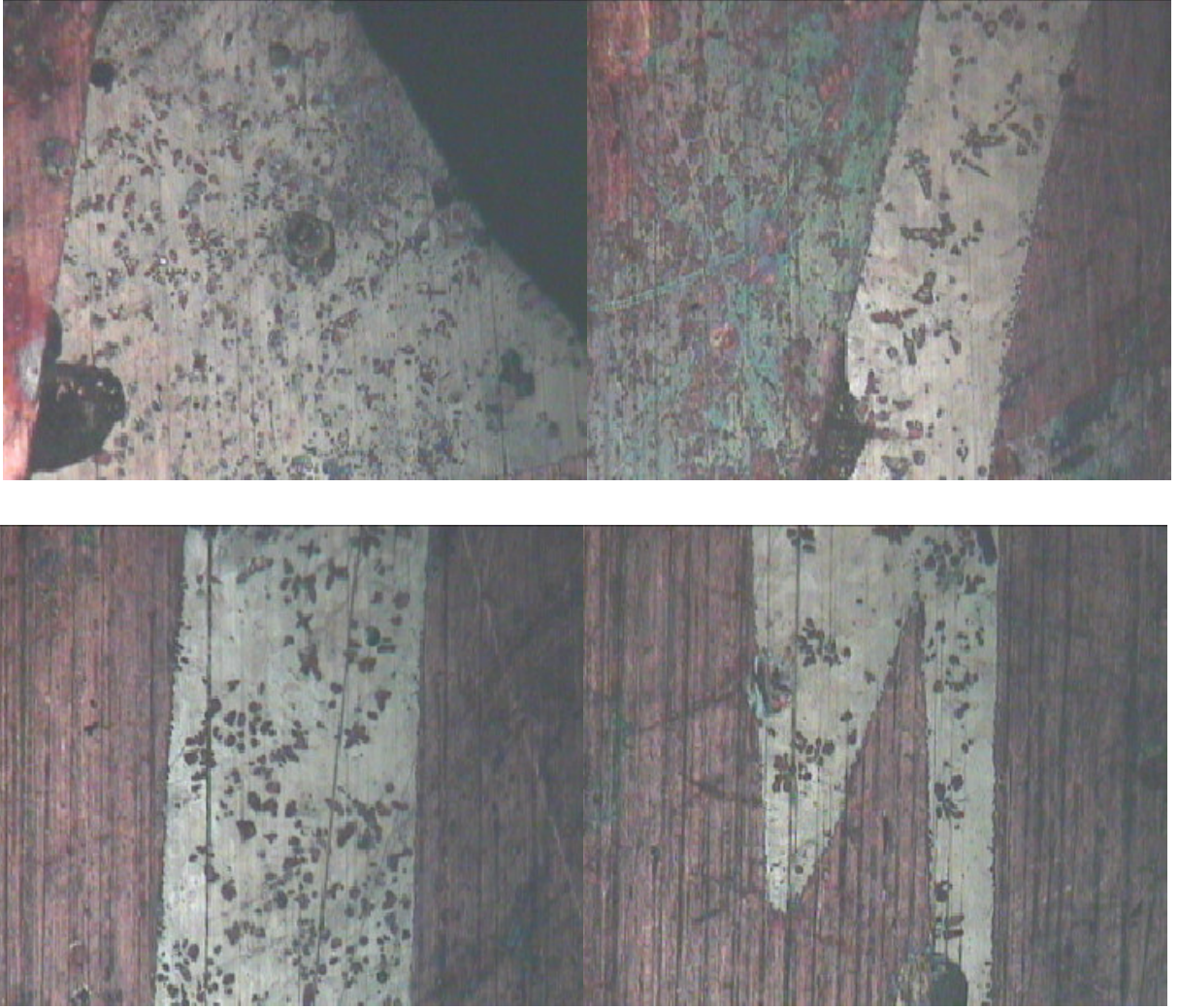
Numuneler elle ve otomatik lehimlemeyle ayrı ayrı birleştirilerek hazırlanmıştır. Elle lehimlemede düz lehim teli ve hazır halka lehim teliyle birleştirilmek üzere iki ayrı numune hazırlanmıştır. Alınan iç yapı fotoğrafları şöyledir:



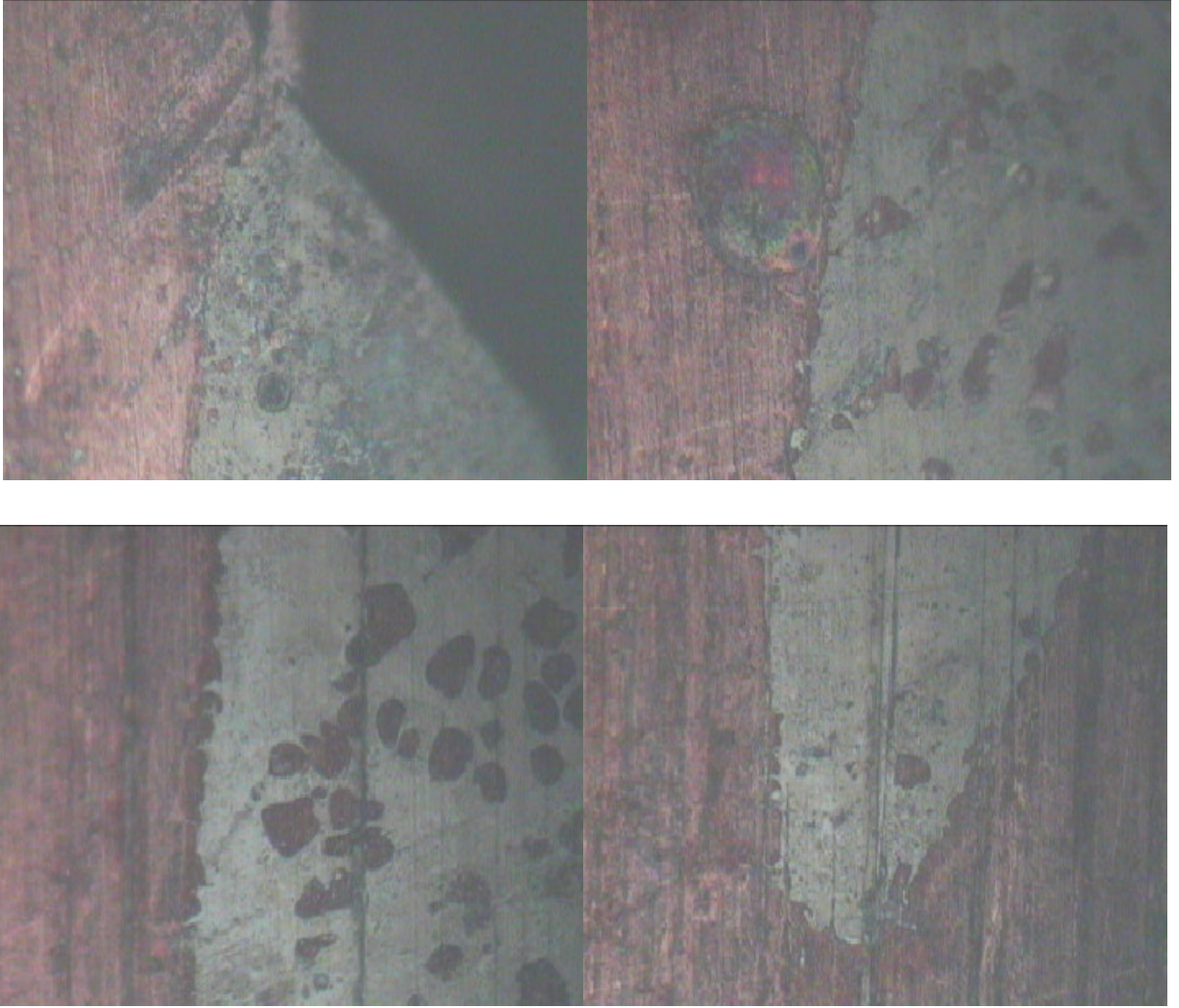
Şekil 6.17 Elle ve lehim teli elle beslenerek lehimlenmiş bakır boruların 100X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları. 1. fotoğraf lehim başlangıcı; 2. ve 3. fotoğraf lehim gövdesi; 4. fotoğraf lehim sonunu göstermektedir.



Şekil 6.18 Elle ve lehim teli elle beslenerek lehimlenmiş bakır boruların 400X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları. 1. fotoğraf lehim başlangıcı; 2. ve 3. fotoğraf lehim gövdesi; 4. fotoğraf lehim sonunu göstermektedir.



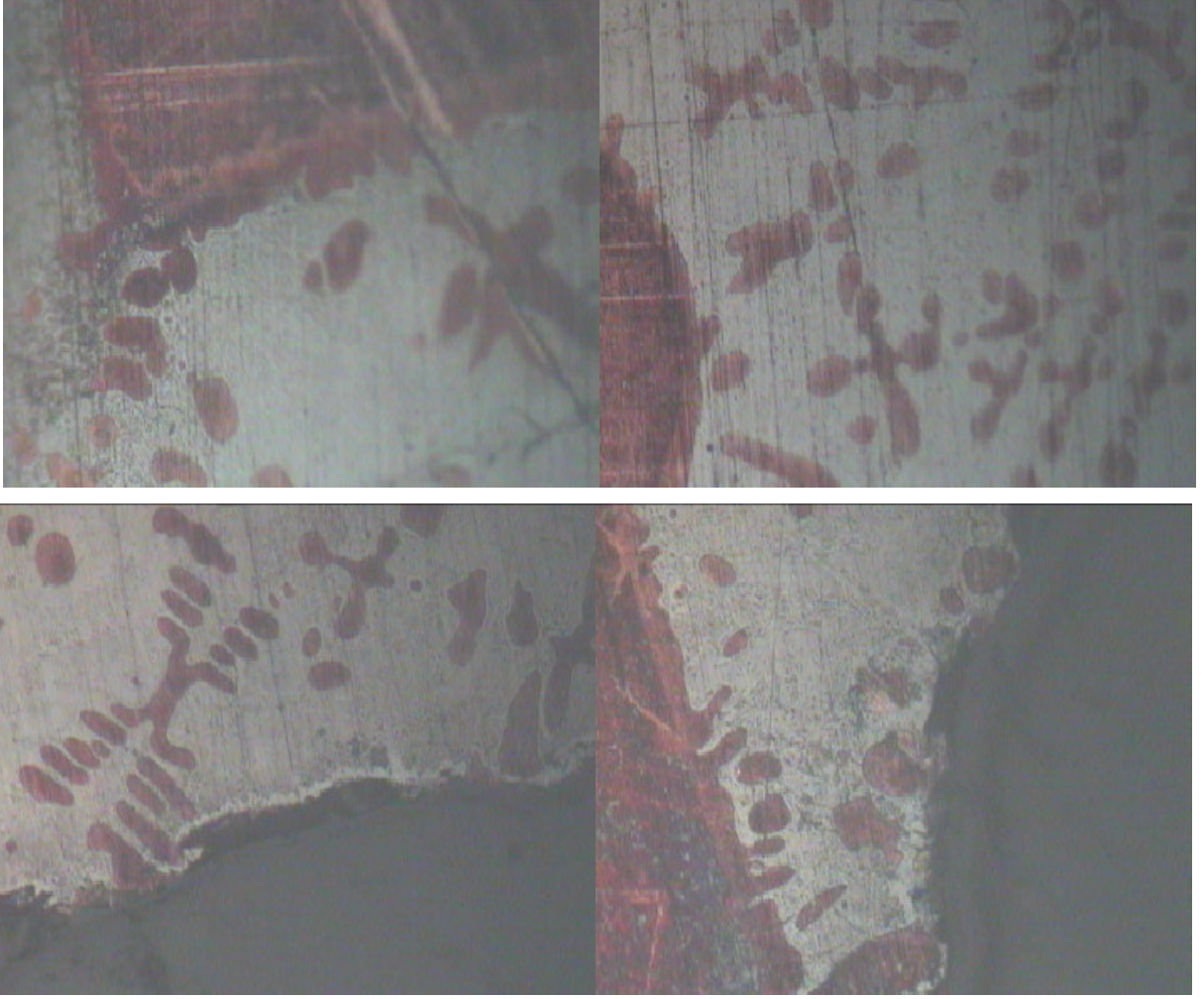
Şekil 6.19 Elle ve bakır boru üzerindeki halka lehim teli kullanılarak lehimlenmiş bakır boruların 100X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları. 1. fotoğraf lehim başlangıcı; 2. ve 3. fotoğraf lehim gövdesi; 4. fotoğraf lehim sonunu göstermektedir.



Şekil 6.20 Elle ve bakır boru üzerindeki halka lehim teli kullanılarak lehimlenmiş bakır boruların 400X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları. 1. fotoğraf lehim başlangıcı; 2. ve 3. fotoğraf lehim gövdesi; 4. fotoğraf lehim sonunu göstermektedir.



Şekil 6.21 Otomatik lehimleme istasyonunda lehimlenmiş bakır boruların 100X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları. 1. fotoğraf lehim başlangıcı; 2. ve 3. fotoğraf lehim gövdesi; 4. fotoğraf lehim sonunu göstermektedir.



Şekil 6.22 Otomatik lehimleme istasyonunda lehimlenmiş bakır boruların 400X büyütme ile alınmış iç yapı fotoğrafları. 1. fotoğraf lehim başlangıcı; 2. ve 3. fotoğraf lehim gövdesi; 4. fotoğraf lehim sonunu göstermektedir.

Tüm numunelerde Cu-P matris içerisindeki yuvarlak ve fosfor bakımından zayıf dendritler görülmektedir. Dendritler yüksek miktarda bakır içerirken, matris ana bileşime (%92,75 Cu; %7,25 P) yakın miktarda bakır ve fosfor içermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta dendritlerin matris içindeki dağılımıdır. Lehimleme koşullarının yeterliliği, doğruluğu ve kararlılığı arttıkça daha homojen bir dağılım ortaya çıkmaktadır. Dendritlerin yönlenmesi ise büyüme yönü ve ergimedeki sıcaklık gradyanına bağlıdır. (Karamış vd., 2003)

Elle yapılan işlemlerde otomasyonla yapılanlara kıyasla daha dağınık bir dağılım gözlenmektedir. Beklenen bir durum olarak otomasyon şartlarının daha kararlı bir lehimleme ortamı oluşturması bunun başlıca sebebidir. Ayrıca otomasyonla yapılan işlemlerde daha düzenli bir matris yapısı dikkat çekmektedir. Elle ve otomasyonla yapılan işlemlerin tümünde dağınık dendrit yönlenmesi görülmektedir.

Bütün numunelerde iyi bir penetrasyon görülmektedir. Lehim telinin dolduramadığı

boşluklara rastlanmamıştır. Bunun sebebi BcuP-2 lehim telinin ergimedeki akış özelliğinin iyi olmasıdır. İyi ısıtma özelliği sayesinde ana metaller arasında sağlam bir bağ oluşturur. Ancak yavaş ısıtma yapıldığında; daha önce ergiyen dolgu metali kısmı boşluğu doldurmak üzere akmak ister ve daha yüksek sıcaklıkta ergiyen kalan kısmı arkasında bırakır. Bu durumda lehim boşluğu iyi doldurulamaz ve kötü bir bağlantı ortaya çıkar. (Karamış vd., 2003)

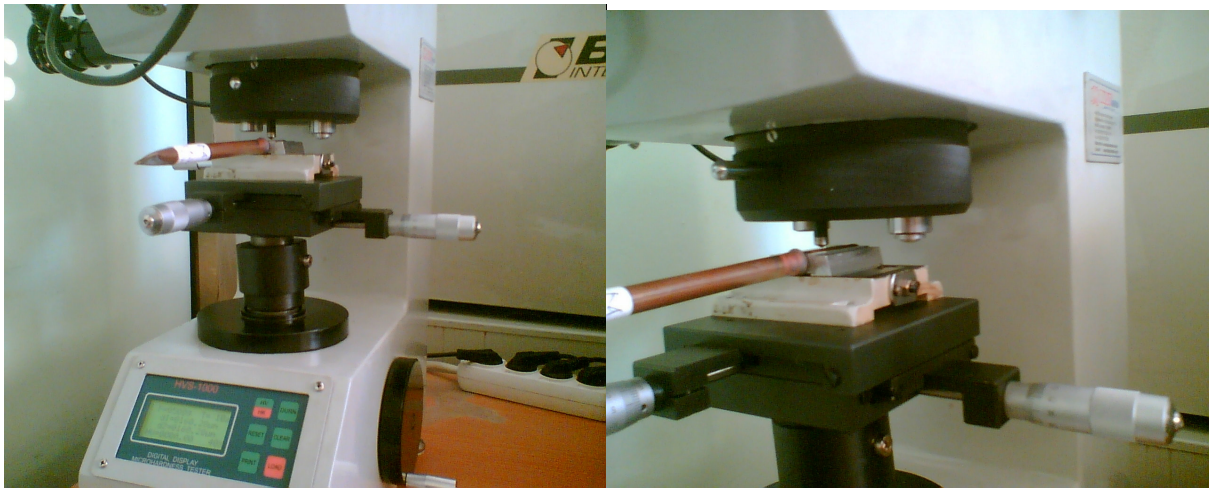
Sık karşılaşılan bir başka hata tipi ise porozitedir. Yavaş akışlı dolgu metallere porozite oluşma olasılığı daha fazladır. Bunun nedeni ortamda bulunan gazların ergimiş metal içinde hapsolmesidir. Buna rağmen akıcılığı yüksek olan lehim telleriyle yapılan işlemlerde de poroziteyle karşılaşılabilir. Bunun akıcılığı yüksek olan dolgu metalleri için başlıca sebebi, lehimleme bölgesinin yeteri kadar temiz olmamasıdır. Yetersiz temizleme lehim telinin akış yeteneğini bozmakta ve porozitelerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Elle ve halka lehim teli kullanılarak yapılan işlemlerde bazı poroziteler görülmektedir.

Bunların yanında lehimlenmiş dolgu metalinin sertliği de kimyasal bileşimine bağlıdır. Fosfor miktarı arttıkça sertlik de artmaktadır. (Karamış vd., 2003)

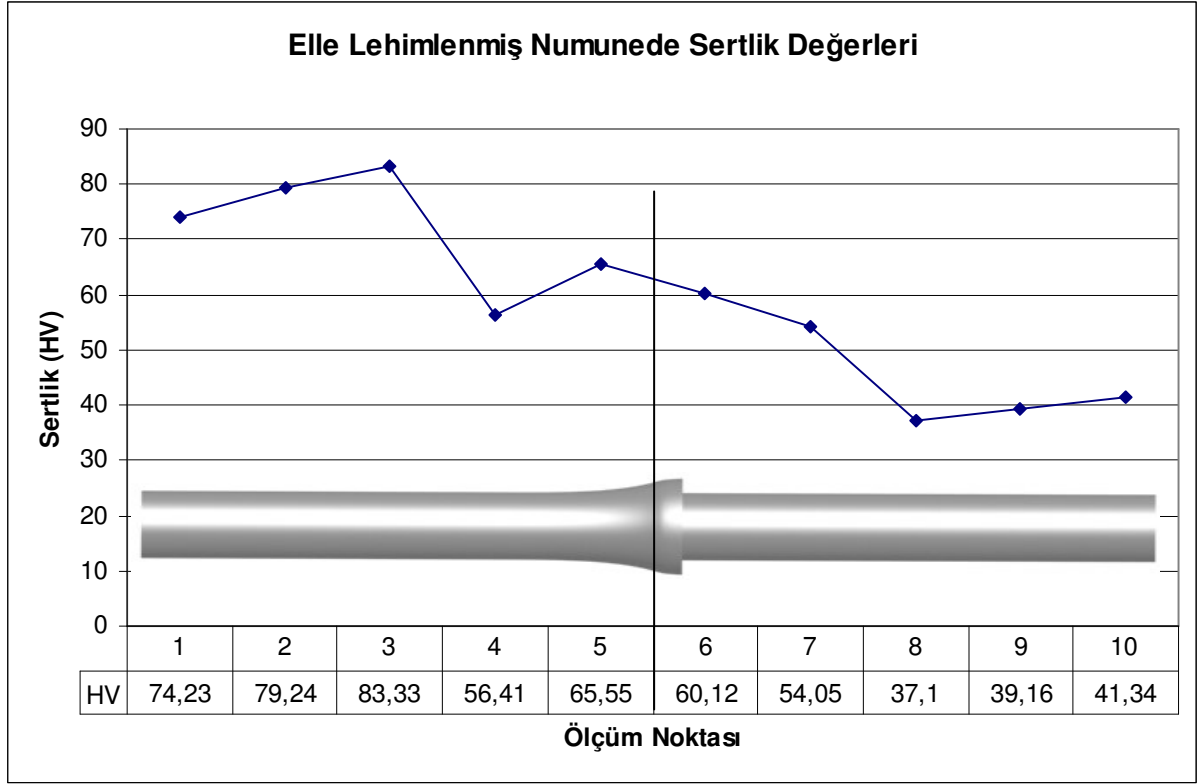
6.2.3 Mikro Sertlik İncelemesi

Otomatik lehimleme istasyonunda ve elle lehimlenmiş numunelerin sertlikleri HV mikro sertlik ölçme cihazında karşılaştırma amaçlı olarak ölçülmüştür. Ölçümler, birbirine lehimlenmiş bakır boruların boyu doğrultusunda ve lehimlemeyle birleştirilmiş kısmın iki tarafından da alınmıştır. Kullanılan kuvvet 500 gr., uygulama süresi 10 sn. olarak uygulanmıştır.

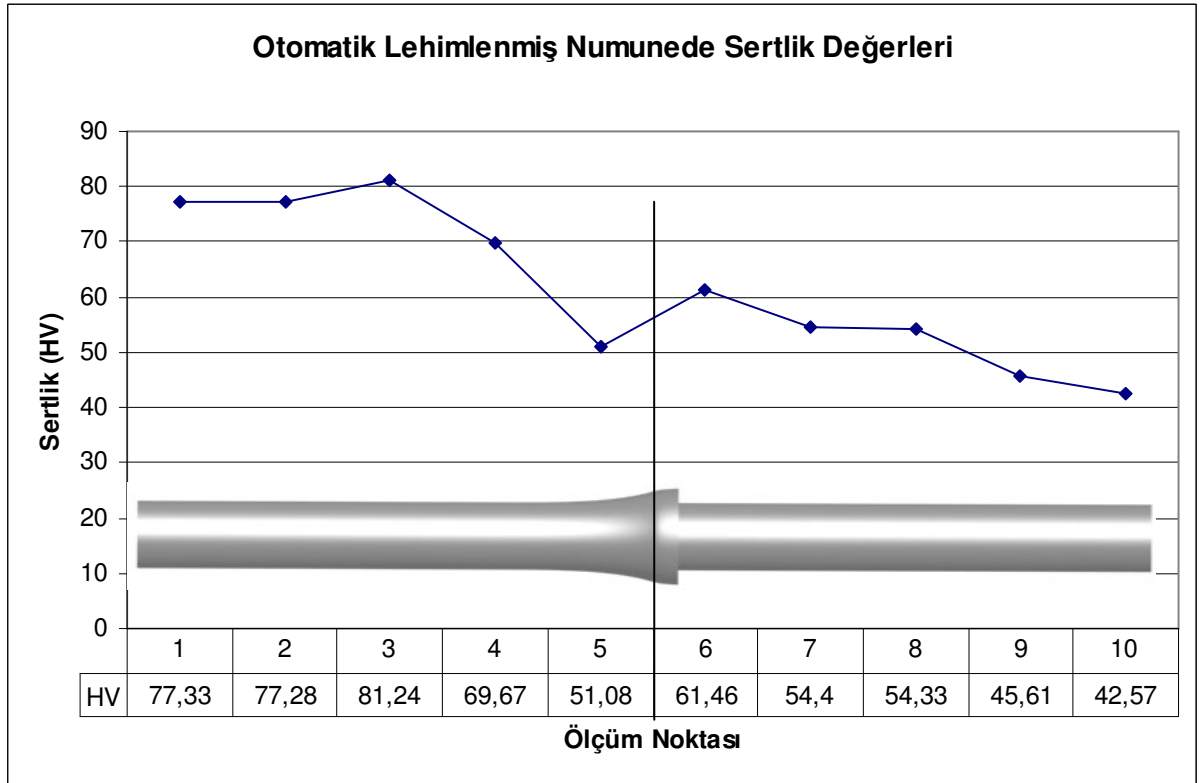


Şekil 6.23 Mikro sertlik test cihazı ve ölçümlerin alınması

Ölçümler aşağıdaki grafiklerde görülmektedir:



Şekil 6.24 Elle lehimlenmiş numuneden alınmış sertlik değerleri



Şekil 6.25 Otomatik lehimleme istasyonunda lehimlenmiş numuneden alınmış sertlik değerleri

Grafiklerde her iki numunenin de 1 bölgesi ile 3 bölgesi arasındaki sertliğin, 4 ve 5 bölgeleri arasındaki sertlikten daha büyük olduğu görülmektedir. 1 - 3 bölgesi arasındaki sertliğin sebebi ana malzemenin soğuk şekillendirmeye imal edilmiş olmasıdır. 4 - 5 bölgesi arasındaki yumuşamanın sebebi ise ısının etkisi altında ana malzemede meydana gelen yeniden kristalleşmedir. Bakırın sert lehimlemede birleşme bölgesinden uzaklaştığında sertliğinin aniden düşmesi beklenen bir olgudur. (Yan vd., 2007)

Soğuk şekillendirme ile sertleşebilen malzemelerin tamamı, ergime noktalarına ısıtıldıklarında yeniden kristalleştiklerinden bu malzemelerin ısı etkisi altındaki bölgelerinde soğuk şekillendirme sertliğinin farkedilir derecede azalmasıyla yumuşama beklenir. Isı etkisi altındaki bazı noktalarda ana metal (iç yapıdaki ince ve eş eksenli tanelerin varlığı ile belirlenebilen) yeniden kristalleşmeye neden olacak kadar yüksek sıcaklıklara ulaşır. Malzeme, özellikle az soğuk şekil değiştirme miktarları için oksijen-gaz alevi gibi yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında yeniden kristalleşme sonucu iri taneli bir iç yapı oluşur. Bu iri taneli ısı etkisi altındaki bölge, soğuk şekillendirmenin sertliğine ve dayanım artırıcı etkisine sahip değildir. Bu yüzden dayanımı ana metalin dayanımından daha düşüktür. (Barbaros, 1987; Weissbach, 2000)

Yine iki numunede de benzer olarak ikinci bakır boruların lehimleme bölgesine en yakın noktaları (6 no.'lu bölgelerinde) diğer bölgelerden daha sert görülmektedir. Bunun sebebi numuneler incelendiğinde anlaşılmaktadır. Ergimiş lehim teli ince bir tabaka halinde ve yaklaşık 3 – 4 mm. yüksekliğe kadar 2. ana malzemenin yüzeyini sarmıştır. Lehim teli malzemesi ana malzemedan daha sert olduğundan bu bölgede yüzeysel sertlik artışı izlenmektedir. 6 bölgesinden 10 bölgesine doğru gidildiğinde yüksek ısı etkisi nedeniyle ortaya çıkan şiddetli yeniden kristalleşme sertliği düşürmüştür. Lehim teli ve ana malzemenin sertliği, kesilmiş numuneler üzerinden ayrı olarak alınmıştır. Değerler Çizelge 6.14'de görülmektedir.

Çizelge 6.14 Kesit alınmış numune üzerinden ölçülmüş ergimiş lehim ve ana malzeme bölgesi sertlikleri

Lehim Teli ve Ana Malzeme Sertlikleri	Elle Lehimleme	Otomatik Lehimleme
Lehim bölgesi Ort. Sertlik (HV)	143,93	154,64
Malzeme bölgesi Ort. Sertlik (HV)	50,89	46,37

6.2.4 Lehimleme Sonrası Ortaya Çıkan Kaçak Hatalarının İncelenmesi

Isı değiştirici imalatında ürünün kalitesini ve hatta kullanılabilirliğini belirleyen en önemli faktör; lehimlemenin kaçak oluşmasına sebep olacak şekilde hatalı yapılmamasının sağlanmasıdır. Lehimleme sonrası kaçak oluşması; işlem parametrelerinin doğru seçilmemesine bağlı olabileceği gibi işlem sırasında ve öncesinde meydana gelen hatalardan kaynaklı da olabilmektedir. Örneğin konveyör hızının çok yüksek olması lehim telinin çeşitli noktalarda ergimemesine; ürünün palet üzerindeki geometrik konumunun herhangi bir sebepten dolayı bozulması ergimiş lehimin boşluğu tam doldurmamasına; havşa açma istasyonunda doğru açılmamış U boru havşaları ergimiş lehimin dışarı akmasına sebep olabilmektedir.

Ergimiş lehimin lehimleme boşluğunu tam doldurmamasının birçok sebebi olmakla beraber temel olarak belli tipte hatalar görölmektedir. Bunlardan ilki ergimiş lehimin borunun içine doğru akması; dolayısıyla lehimleme bölgesinde açık bir cep oluşmasıdır. Bazen bu sebeple borunun içinde de (C borunun ayağına yakın kısımlarda toplanıp katılaşması nedeniyle) kısmen tıkanma meydana gelebilmektedir. Bir diğer karşılaşılan hata ergimiş dolgu metalinin U borunun dışına akmasıdır. Bu hata genellikle U boru havşasındaki ve C boru ayaklarındaki geometrik uygunsuzluklardan meydana gelmektedir. C boru üzerindeki lehim telinin ergimemesi de kaçak oluşmasına sebep olan bir diğer önemli faktördür. Üfleç ağızlarının lehimleme bölgesine göre konum yanlışlığı, alevin gerekli özellikte olmaması veya konveyör hızı gibi faktörler bu tip hatanın oluşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca C boru – U boru montaj bölgesinin kirli olması da porozite ve dolayısıyla kaçak oluşması açısından tehlikelidir.

Bütün bunların yanında üründe kaçak hatası oluşmasına sebep olan; ancak dolgu metaline bağlı olmayan önemli bir hata tipi de C boru ergimesidir. Bu hata; C borunun bir noktasının yüksek alev sıcaklığı, çok düşük konveyör hızı veya ürünün otomatik lehimleme istasyonu içerisinde bir taraftaki nozullara doğru eğim yapması gibi sebeplerden ergimesiyle ortaya çıkmaktadır.

Kaçak hatalarına lehimleme parametrelerinin etkisini analiz edebilmek için; tüm işlem parametreleri ayrı ayrı değiştirilerek üretim yapılmış ve çıkan ürünlerden kaçında kaçak olduğu incelenmiştir. Üretim hattında imal edilen ürünlerin kaçak hatası içerip içermediğini görmek amacıyla vakum test cihazı kullanılmaktadır. Cihaz; ürün içerisinde vakum oluşturarak belli bir süre içerisinde bu vakumun düşüp düşmediğini izlemeye dayalı olarak test yapmaktadır. Cihaz, S1 süresi olarak adlandırılan süre boyunca vakum pompasını çalıştırarak, ısı değiştiricinin içinin vakumlanması sonucu elde edilen basıncı kaydeder. Daha

sonra vakum pompası durdurulur ve ürün içerisindeki vakum bir süre muhafaza edilir. S3 süresi olarak adlandırılan bu süre, tüm valflerin kapatılıp ısı değiştiricinin iç basıncında değişiklik olup olmadığını ölçmek için kullanılan süredir. Vakum muhafaza süresinden önce bekleme istendiğinde S2 süresi olarak adlandırılan süre ayarlanır; ancak ideal şartlarda bu bekleme süresi 0 olmalıdır. Vakum muhafaza süresi sona erdiğinde, cihaz vakum oluşturma ve vakum muhafaza aşamalarında oluşturulan vakumların farkını hesaplar. Bu ΔP değeri, ürün için belirlenmiş eşik değerinin altında ise üründe kaçak hatası olmadığı sonucuna varılmaktadır. Tüm ürünlerde S1 ve S2 süreleri 30 sn., S3 süresi 10 sn. olarak ayarlanmıştır. ΔP değeri modele göre değişmekle beraber 2 N/m^2 'nin altında olmalıdır. Şekil 6.26'da kaçak test cihazı görülmektedir.



Şekil 6.26 Kaçak test cihazı (üstte) ve kontrol paneli (altta)

Lehimleme kabiliyeti ne kadar iyi olursa; kaçak hatası oluşma olasılığının o kadar az olması beklenir. Dolayısıyla bu aşamada otomasyona bağlı olarak lehimleme kabiliyetini etkileyen faktörler incelenecektir. Bu faktörler; işlem (konveyör) hızı, alevin şekli ve yapısı, alev ile parçanın birbirine göre geometrik konumu, kullanılan yakıcı ve yanıcı gazların basınçları olarak ele alınmıştır.

Deneyle her bir faktör için ve diğer tüm parametreler sabit tutularak yapılmıştır. Yapılan deneylerde alınan sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde görülmektedir:

Çizelge 6.15 Konveyör hızının kaçak oranına etkisinin incelenmesi (diğer değişkenler sabit)

Konveyör Hızının Kaçak Oranına Etkisinin İncelenmesi			
Hız (m/dk.)	Toplam Ürün (Adet)	Hatalı Ürün (Adet)	Hatalı Ürün Oranı (ppm)
2,5	8	4	500000
3,0	200	15	75000
3,5	8	0	0

Çizelge 6.16 Ürünün nozullara doğru sallanmasının kaçak oranına etkisinin incelenmesi (diğer değişkenler sabit)

Ürünün Sallanmasının Kaçak Oranına Etkisinin İncelenmesi			
Dayamalar Arası Uzaklık (mm)	Toplam Ürün (Adet)	Hatalı Ürün (Adet)	Hatalı Ürün Oranı (ppm)
100	7	5	714286
60	105	6	57143

Çizelge 6.17 Üfleçler (Nozullar) arasındaki uzaklığın kaçak oranına etkisinin incelenmesi
(alevin mızrak boyu 15 mm., yelpaze boyu 25 mm. ve diğer değişkenler sabit)

Üfleçler (Nozullar) Arasındaki Uzaklığın Kaçak Oranına Etkisinin İncelenmesi			
Nozullar Arası Uzaklık (mm)	Toplam Ürün (Adet)	Hatalı Ürün (Adet)	Hatalı Ürün Oranı (ppm)
70	38	5	131579
80	280	6	21429
90	247	10	40486

Çizelge 6.18 O₂ basıncının kaçak oranına etkisinin incelenmesi (diğer değişkenler sabit)

O₂ Basıncının Kaçak Oranına Etkisinin İncelenmesi			
O₂ Basıncı (bar)	Toplam Ürün (Adet)	Hatalı Ürün (Adet)	Hatalı Ürün Oranı (ppm)
7	40	24	600000
8	270	8	29630

Çizelge 6.19 LPG basıncının kaçak oranına etkisinin incelenmesi (diğer değişkenler sabit)

LPG Basıncının Kaçak Oranına Etkisinin İncelenmesi			
LPG Basıncı (bar)	Toplam Ürün (Adet)	Hatalı Ürün (Adet)	Hatalı Ürün Oranı (ppm)
0,7	24	4	166667
1	150	1	6667

Çizelge 6.20 Alevin mızrak kısmının (iç koni) uzunluğunun kaçak oranına etkisinin incelenmesi (nozullar arası uzaklık 80 mm., diğer değişkenler sabit)

Alevin Mızrak Kısmının (İç Koni) Uzunluğunun Kaçak Oranına Etkisinin İncelenmesi				
Alev mızrak (iç koni) boyu (mm)	Alev yelpaze (dış koni) boyu (mm)	Toplam Ürün (Adet)	Hatalı Ürün (Adet)	Hatalı Ürün Oranı (ppm)
10	15	9	1	111111
15	15	50	3	60000

Çizelge 6.21 Alevin yelpaze kısmının (dış koni) uzunluğunun kaçak oranına etkisinin incelenmesi (nozullar arası uzaklık 80 mm., diğer değişkenler sabit)

Alevin Yelpaze Kısmının (Dış Koni) Uzunluğunun Kaçak Oranına Etkisinin İncelenmesi				
Alev mızrak (iç koni) boyu (mm)	Alev yelpaze (dış koni) boyu (mm)	Toplam Ürün (Adet)	Hatalı Ürün (Adet)	Hatalı Ürün Oranı (ppm)
15	25	10	0	0
15	20	5	5	1000000

Konveyör hızı temel olarak lehimleme hızını; yani lehimlenecek bölgenin alevle maruz kalma süresini belirleyen parametredir. Nozullar arasındaki uzaklık oksijen-gaz alevinin lehimleme bölgesine olan uzaklığını belirlemektedir. Ürünün hareket yönüne dik olarak sağa ve sola sallanması ise, sırasıyla iki taraftaki nozullara yaklaşım uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla sallanma fazla olduğunda lehimleme bölgesi alevin içinde geniş bir alanda hareket etmektedir. Lehimleme bölgesi alevle göre yukarı ve aşağı yönlerde hareket etmediğinden bu faktörler alev ile parçanın birbirine göre geometrik konumu belirleyen temel faktörlerdir. Oksijen-gaz alevini oluşturan O₂ ve LPG basınçları ile alevin iç ve dış konisinin uzunlukları da lehimleme kabiliyetini etkileyen teknolojik parametreler olarak ele alınmıştır.

Deney sonuçları incelendiğinde konveyör hızının düşük olmasının kaçak oranını arttırdığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi lehimleme bölgesinin normalden uzun bir süre alevle maruz kalması ve bu nedenle ana malzemelerde bölgesel ergimeler-delikler meydana gelmesidir. Aynı şekilde konveyör hızı normalden fazla olduğunda da lehim telinin ergimeme riski ortaya çıkmaktadır. Bu da kaçak hatasına sebep olmaktadır.

Ürün, üfleçler arasında hareket ederken sağa ve sola doğru sallanmasını engellemek için iki taraftan hareket doğrultusuna paralel dayamalarla sabitlenmektedir. Teorik olarak en iyi koşul ürünün hiç sallanmamasıdır; ancak konveyör üzerindeki hareket sırasında çarpma ve zedelenme riski nedeniyle ürüne doğrudan temas eden dayamalar kullanılamamaktadır. Dolayısıyla dayamalar arası uzaklık mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Deney sonuçları da bunu desteklemektedir. Dayamalar arası uzaklık 60 mm.'den 100 mm.'ye çıkarıldığında kaçak hatası da yaklaşık 12 kat artmıştır. Buna ek olarak iki taraftaki alev karakteristiklerinin birbirinden farklı olmaması ve alevin C boru lehim bölgelerine homojen bir şekilde temas etmesi gereklidir.

Lehimlenecek olan ürünün aralarından geçtiği karşılıklı nozulların arasındaki uzaklık ile alevin mızrak ve yelpaze kısmının boyları beraber olarak lehimleme kabiliyetini etkileyen diğer geometrik faktörlerdir. İki taraftaki nozullar arasındaki uzaklık 80 mm., alevin iç koni kısmının boyu 15 mm. ve alevin dış koni kısmının boyu 25 mm. olarak alındığında en düşük kaçak oranına ulaşılmıştır. Nozullar arasındaki uzaklık arttırıldığında ve azaltıldığında kaçak oranı artmaktadır. Bunun nedeni de malzemenin yanması-delinmesi ya da lehim telinin ergimemesidir. Bununla birlikte alevin mızrak kısmının boyunun 15 mm.'den 10 mm.'ye indirilmesi kaçak oranını yaklaşık 2 katına çıkarmıştır. Bu, O₂ gazı basıncının azaltılmasıyla paralel bir etkidir. Kaçak oranının artmasının sebebi yetersiz ergimedir. Alevin dış koni boyunun 25 mm.'de 20 mm.'ye indirilmesi ise alevin oksitleyici özelliğini arttırmakta; dolayısıyla oksitlenme yanma ve delinme olasılığını arttırmaktadır. Bu da, LPG gazı basıncının azaltılmasıyla paralel bir etkidir. O₂ gazı basıncının 8 bardan 7 bara; LPG gazı basıncının 1 bardan 0,7 bara indirilmesiyle yapılan deneylerde kaçak oranlarının artması da bu sonucu desteklemektedir.

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Sert lehimlemede otomasyonun işlem parametrelerine etkilerinin araştırılması ve otomasyonlu lehimleme süreçleriyle otomasyonsuz lehimleme süreçlerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan deneylerde alınan sonuçlar bu bölümde incelenecektir.

Üretim verimliliği ve maliyetleri açısından bakıldığında otomasyonlu lehimleme sisteminin beklendiği gibi öne çıktığı görülmektedir. Elle lehimleme işleminde son derece kalifiye operatörler kullanılmasına rağmen, referans ürünün otomasyonla sert lehimleme süresinin, elle sert lehimleme süresinin %13,4 - %20,1'i (referans ürünlerden en hızlı üretilen ile en yavaş üretilen ürünler için) kadar olduğu tespit edilmiştir. Birim zamandaki üretim adetlerinin düşmesi, üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Bununla birlikte her bir üretim hattı için kalifiye bir operatör çalıştırma gerekliliği de elle lehimleme prosesinin üretim maliyetlerini arttırmaktadır.

Üretim hızı ve birim zamandaki üretim sayısı seri imalat ve kütle imalatı yapan işletmeler için çok önemlidir. Ancak hızlı ve çok sayıda üretmek iyi kalitede ürün elde etmekle karıştırılmamalıdır. Bir üretim işletmesinin en büyük hedefi; üretim hızını en yükseğe çıkarırken, istenilen kalite sınırlarının dışına çıkmadan üretimine devam etmektir. Dolayısıyla genel ürün kalitesi, verimlilikten sonra ikinci önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Üretim kalitesi ve elle yapılan uygulamalarla otomasyonlu sistemdeki lehimleme parametrelerinin ürün kalitesine etkileri deneysel olarak incelendiğinde, otomasyonun işlem parametreleri üzerine olan etkileri de görülmüştür.

Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde elle lehimlemeyle üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin otomatik lehimlemeyle üretilen ürünlere kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür. Otomasyonla imal edilen ürünlerden alınan numunelerin çekme dayanımı, elle lehimlenen ürünlerden alınan numunelerinkinin % 78,20'si, kopma uzaması ise % 66,35'i kadardır. Buna sebep olarak, elle sert lehimlemedeki ısı girdisinin daha fazla olması ve IEB'de daha şiddetli bir rekristalizasyonun oluşması düşünülebilir. Mekanik özelliklerin, referans olarak alınan ürün için birincil öneme sahip olmamasıyla birlikte; ürün kalitesine dolaylı etkileri (taşımada oluşabilecek çarpma, vurma vb. faktörlere dayanım) bulunabilmektedir. Burada elle sert lehimlemede daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Ayrıca ilave metalin halka olarak kullanıldığı ve birleşme bölgesine önceden yerleştirildiği durumda ortaya çıkan mekanik değerlere bakıldığında, tel olarak kullanıldığı ve işlem sırasında elle beslendiği durumdaki değerlerin % 80'ine ulaşabildikleri görülmektedir. Lehim

telinin elle beslenmesi mekanik özellikleri iyileştirmektedir; ancak lehim malzemesinin bu şekilde kullanımı daha kontrolsüz olmaktadır. Dolayısıyla bu tür kullanımla ilave metal harcama miktarları ve maliyetleri artar.

Lehim bölgesinin iç yapı incelemelerinde, elle ve otomasyonla lehimlenen numuneler arasında, elle lehimlenmiş numunelerde görülen bazı poroziteler dışında ciddi bir fark görülmemektedir. Tüm numunelerde iyi bir penetrasyon oluşmuştur. Yine tüm numunelerde, Cu-P matris içerisinde düzensiz yönelmiş, yuvarlak ve fosfor bakımından zayıf dendritler bulunmaktadır. Ancak elle lehimlenmiş numunelerdeki dendritler otomasyonla lehimlenmiş numunelere göre biraz daha dağınık görünmektedir. Sonuç olarak otomasyonun ana malzemeler üzerindeki etkisinin ilave metal üzerindeki etkiden daha fazla olduğu düşünülebilir.

Mikro sertlik incelemelerinde, ana metalin IEB'indeki yeniden kristalleşme nedeniyle ortaya çıkan yumuşama etkisinin, iki tip numunede de oluşmakla beraber, elle lehimlenen numunede biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, elle lehimlenen numunenin IEB'de, daha yüksek ısı girdisi sebebiyle daha şiddetli bir rekristalizasyonun meydana gelmiş olmasıdır.

Sert lehimlemeyle birleştirmenin önemli avantajlarından biri olan yüksek sızdırmazlık, deneyler için kullanılan numunelerin alındığı ürünlerde de (ısı değiştiriciler) aranan en önemli özelliktir. Dolayısıyla sert lehimlemede otomasyonun işlem parametrelerine etkileri, bitmiş ürünün iyi bir sızdırmazlık özelliğine sahip olup olmadığı açısından incelenmiştir. Başka bir deyişle otomasyona bağlı olarak lehimleme kabiliyetini etkileyen faktörler (konveyör hızı, alevin şekli ve yapısı, alev ile parçanın birbirlerine göre geometrik konumları, kullanılan yakıcı ve yanıcı gazların basınçları), bitmiş ürünlerdeki kaçak hatası oranları gösterge alınarak analiz edilmiştir.

Test sonuçları incelendiğinde (Bölüm III – Konu 5.3.4) otomasyon sistemlerinin sert lehimleme parametreleri üzerinde hassas ve kolay kontrol sağlamayı mümkün kıldığı görülmektedir. Dolayısıyla yapılan deneylerde olduğu gibi, lehimleme kabiliyetinin ve ürün kalitesinin en iyi olduğu işlem parametrelerinin, hassas bir çalışma aralığında belirlenebilmesi otomasyonla mümkün olmaktadır. Bundan belki de daha önemlisi, otomasyonla işlem parametrelerinin kararlılığının ve devamlılığının sağlanabilmesidir. Dolayısıyla dış etkiler olmadığı sürece aynı parametrelerle üretilen tüm ürünler aynı kaliteye sahip olmaktadır. Elle yapılan sert lehimlemede bu koşulların hiçbirinin sağlanması mümkün değildir.

Sonuç olarak otomasyon sistemleri, malzeme ve işçilik maliyetlerini azaltıp üretim

kapasitesini arttırırken, lehimleme süreçlerini kolaylaştırmakta ve insan faktörüne bağı uygulama hatalarını saf dışı bırakarak bitmiş ürünün kalitesini yükseltmektedir.

KAYNAKLAR

Barbaros, Y. H. (1987), “Bakır Ve Alaşımlarının Örtülü Elektrodla Kaynağında Isı Etkisi Altındaki Bölgenin Yapısal Ve Boyutsal İncelenmesi”, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Degarmo, E. P.; Black, J. T.; Kohser, R. A. (2003), *Materials and Processes in Manufacturing Ninth Edition*, John Wiley & Sons, U.S.A.

Durgutlu, A.; Kahraman, N.; Gülenç, B. (2005), “Bakır Ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod Ve Tig Kaynak Yöntemleri İle Birleştirilmesi Ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 2:183-189.

Ersümer, A. (1976), *Bakır Alaşımlarının Dökümü ve Isıl İşlemleri*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul

Haus, J. P. (2008); “Induction Brazing – Old Process with Potential Innovations”, Taylor & Francis, *Welding International*, Vol. 22, No. 5:329–334

Huang1, C.K.; Lin, Y.C.; Tarng, Y.S. (2006), “An Auto-Brazing Of Composite Material Rod With Small Diameter” *Journal of Materials Processing Technology*, 184:261–271.

Karamış, M. B.; Taşdemirci, A.; Nair, F. (2003), “Microstructural Analysis and Discontinuities in the Brazed Zone of Copper Tubes”, *Journal of Materials Processing Technology*, 141:302–312.

O’Brien, R. (1997), *AWS Welding Encyclopedia Eighteenth Edition*, American Welding Society, U.S.A.

Oğuz, B. (1988 - 1997), *Sert Lehim Uygulamaları*, Oerlikon Yayınları, İstanbul.

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.

Yan, J. C.; Li, Y. N.; Liu, X. S.; Zhang, Y.; Yu, H. C.; Yang, S. Q. (2007), “Microstructure and Mechanical Performance of GTA Weld Brazed Joints of Copper Thick Plates” *Materials Science and Technology*, Vol 23:6

Weissbach, W. (2000), *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

www.bestpartner.com

www.brazesolutions.com

www.brazingsystems.com

www.daishinusa.com

www.diex.com

www.fusion-inc.com

www.gerling-automation.de

www.inductionatmospheres.com

www.skbrazing.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	26.01.1980	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1994–1998	Şişli Kurtuluş Lisesi (Y. Dil Ağırlıklı)
Ön Lisans	2000-2002	İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi Makineleri İşletme Yüksekokulu
Lisans	2002-2005	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurumlar

2005-2006	Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi
2006-Devam ediyor	Arçelik-LG Klima A.Ş.