

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

85089

SERT LEHİMLEMENİN GENEL İNCELENMESİ
ve ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Mak. Müh. İbrahim SÖNMEZ

F.B. E . Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Doç. Dr. Selahattin YUMURTACI



Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selahattin YUMURTACI

Prof. Nurullah GÜLTEKİN



Prof. Dr. Nilşan SÖNMEZ



İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. TANIMLAR , SERT LEHİMLEMEDE GENEL PRENSİPLER ve BİRLEŞME OLAYI, SINIFLANDIRMALAR	3
2 . 1 Sert Lehimlemeye İlişkin Standartlarda Yer Alan Tanımlar	3
2 . 2 Sert Lehimleme / (Yumuşak) Lehimleme Karşılaştırması	4
2 . 3 Sert Lehimleme / Lehim Kaynağı Karşılaştırılması	5
2 . 4 Sert Lehimlemede Genel Prensipler ve Birleşme Olayı	7
2 . 5 Çeşitli Kriterlere Göre Sert Lehimlemenin Sınıflandırılması	10
2 . 5 . 1 Isı kaynağına göre sınıflandırma	10
2 . 5 . 2 Çalışma sıcaklığına göre sınıflandırma	11
3 SERT LEHİMLEMEDE İLAVE MALZEMELER, DEKAPANLAR ve KORUYUCU ATMOSFERLER	14
3 . 1 İlave Malzemeler	14
3 . 2 Dekapanlar	18
3 . 3 Koruyucu Atmosferler	21

4	SERT LEHİMLEMEDE İŞLEM AŞAMALARI	25
4 . 1	Uygun İşlem Boşlukları	25
4 . 2	Temizlik İşlemleri	26
4 . 3	Parçaların Dekapanlanması	27
4 . 4	Parçalarda Montaj	28
4 . 5	Sert Lehimleme İşlemi	29
4 . 6	Birleşme Bölgesinin Temizlenmesi ve Kalite Kontrolü	29
5	SERT LEHİMLEME YÖNTEMLERİ	31
5 . 1	Fırında Sert Lehimleme	31
5 . 2	Üfleçle Sert Lehimleme	37
5 . 3	Endüksiyonla Sert Lehimleme	42
5 . 4	Elektrik Direnci ile Sert Lehimleme	51
5 . 5	Daldırma Yöntemi ile Sert Lehimleme	55
5 . 6	Diğer Sert Lehimleme Yöntemleri	59
5 . 6 . 1	Vakum Ortamında Sert Lehimleme	59
5 . 6 . 2	Laser ile Sert Lehimleme	60
5 . 6 . 3	Kızıl Ötesi Işın ile Sert Lehimleme	61
5 . 6 . 4	Optik Yöntem İle Sert Lehimleme	62
6	ÇEŞİTLİ MALZEMELERİN SERT LEHİMLENMESİ	63
6 . 1	Demir Esaslı Malzemeler	66
6 . 1 . 1	Düşük karbonlu ve az alaşımlı çelikler	66
6 . 1 . 2	Yüksek karbonlu çelikler ve yüksek hız çelikleri	66
6 . 1 . 3	Paslanmaz çelikler	67
6 . 2	Al ve Al Alaşımları	68
6 . 3	Cu ve Alaşımları	70

7	SERT LEHİMLEMEDE TASARIM ESASLARI ve BİRLEŞTİRMENİN DAYANIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	73
7.1	Temel Tasarım Esasları	73
7.2	Sert Lehimleme Birleştirmelerinde Gerilme Yoğunluğu	76
7.3	Çalışma Boşluğu	82
7.4	Birleştirilecek Yüzeylerin Durumu	87
8	SERT LEHİMLEMeye İLİŞKİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ÖRNEKLERİ	88
8.1	Sert Metallerin Sert Lehimlenmesi	101
9	SERT LEHİMLEME HATALARI, KALİTE – KONTROL ve GÜVENLİK - ÇEVRE	104
9.1	Sert Lehimleme Hataları	104
9.2	Kalite Kontrol	107
9.2.1	Tahribatsız muayeneler	107
9.2.2	Tahribatlı muayeneler	110
9.3	Güvenlik ve Çevre	112
10	SONUÇ ve DEĞERLENDİRME	114
	KAYNAKLAR	116
	ÖZGEÇMİŞ	117

SİMGE LİSTESİ

D	Boşluk Miktarı
g	Yerçekim İvmesi
α	Ergiyik – Ana Malzeme Arası Temas Açısı
ΔP	Basınç Farkı
γ_{LV}	Ergiyik – Ortam Arası Yüzey Enerjisi
ρ	İlave Malzeme Yoğunluğu
γ_{LV}	Ergiyik – Ortam Arası Yüzey Enerjisi
η	Ergiyiğin Viskozitesi



KISALTMA LİSTESİ

ASM	American Society for Metals
AWS	American Welding Society
DIN	Deutches Instutite fur Normung



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Sert lehimlemeye ait ilk kullanımlar	1
Şekil 1.2 Sert lehimlemeye ait son kullanımlar	2
Şekil 2.1 Lehim kaynağı	5
Şekil 2.2 Kapiler lehimleme	5
Şekil 2.3 Kapiler lehimleme, lehim kaynağı ve ergitme kaynağında sıcaklık dağılımları	6
Şekil 2.4 Denge halinde bir sert lehim ilave malzemesine ait yüzey gerilimlerinin durumu	7
Şekil 2.5 Sert lehimlemede birleşmenin şematik gösterimi	9
Şekil 4.1 Çalışma boşluğunun kapiler basınç ve yükselme miktarı ile ilişkisi	25
Şekil 4.2 Sert lehimlemede bazı kendi kendine tespit yöntemleri	28
Şekil 5.1 Şematik olarak fırında sert lehimleme	31
Şekil 5.2 Fırında sert lehimlemede sıcaklık çevrimi	32
Şekil 5.3 Beton delme matkabının fırında sert lehimlenmesi	33
Şekil 5.4 Dış kabuk, yakınlık ve halka etkisi	43
Şekil 5.5 Endüksiyon ile sert lehimlemede kullanılan bazı ilave malzeme formları	46
Şekil 5.6 Endüksiyon ile sert lehimlemede kullanılan bazı endüktörler ve bunların meydana getirdikleri manyetik alanlar	47
Şekil 5.6 Endüksiyon ile sert lehimlemeye bir örnek	48
Şekil 5.7 Endüksiyon ile sert lehimlemede kullanılan bazı endüktörler	49
Şekil 5.8 Şematik olarak elektrik direnci ile sert lehimleme	53
Şekil 5.9 Dıştan ısıtmalı fırınlar	56
Şekil 5.10 İçten ısıtmalı fırınlar	57
Şekil 7.1 Sert lehimlemede temel birleştirme tarzları	73
Şekil 7.2 Bindirme boyu/kalınlık ile bindirme miktarının kopma dayanımı ile değişimi	74
Şekil 7.3 Bindirme boyu/kalınlık ile bindirme miktarının kopma dayanımı ile değişimi	74
Şekil 7.4 Bindirme boyu / kalınlık ile bindirme miktarında kopma bölgeleri	75

Şekil 7.5	Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarda gerilme yoğunluğu	76
Şekil 7.6	Sert lehimleme bağlantılarında boru / fittings vb. uygulamalarda değişik tasarımlarda gerilme yoğunlukları	77
Şekil 7.7	Bir ısı eşanjöründe boru / ayna bağlantısında sert lehimleme uygulaması	77
Şekil 7.8	Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması	78
Şekil 7.9	Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması	78
Şekil 7.10	Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması	79
Şekil 7.11	Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması	79
Şekil 7.12	Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması.....	80
Şekil 7.13	Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması	80
Şekil 7.14	Sert lehimleme bağlantılarında termal gerilmelere bir örnek	81
Şekil 7.15	Çalışma boşluğu / kesme dayanımı ilişkisi	82
Şekil 7.16	Birleşme kalınlığı / çekme dayanımı ilişkisi	83
Şekil 7.17	Çalışma boşluğu / çekme dayanımı ilişkisi	84
Şekil 7.18	Çeşitli malzemelerin sert lehimlenmesinde çalışma boşluğunun belirlenmesinde kullanılan nomogram	86
Şekil 7.19	Sert lehimleme bağlantılarında yüzey işleme izlerinin ilave malzeme akışına etkisi	87
Şekil 8.1	Belirli boyuta sahip sert metal plakette parçalı kullanım	102
Şekil 8.2	Açılacak plaket yuvasındaki değişikliklerle gerilmelerin azaltılması	102
Şekil 9.1	DIN 8515'e göre tipik sert lehimleme hataları ve kodları.....	106
Şekil 9.2	AWS Normlarına göre sert lehimleme bağlantıları için kesme : deneyi numunesi	111

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Çeşitli kriterlere göre sert lehimleme yöntemleri	13
Çizelge 3.1 AWS'ye göre sert lehimleme ilave malzemeleri	17
Çizelge 3.2 AWS'ye göre sert lehimleme dekapanları	19
Çizelge 3.3 DIN'e göre ağır metal sert lehimleme ve lehim kaynağı dekapanları	20
Çizelge 3.4 DIN'e göre hafif metal sert lehimleme ve lehim kaynağı dekapanları	20
Çizelge 3.5 AWS'ye göre sert lehimleme atmosferleri	23
Çizelge 6.1 DIN normlarında A grubu malzemeler için dekapan, ilave malzeme, yöntem seçimi	64
Çizelge 6.2 DIN normlarında B ve C grubu malzemeler için dekapan, ilave malzeme, yöntem seçimi	65
Çizelge 6.3 Sert lehimlenebilir Al ve alaşımları, kimyasal kompozisyonları	69
Çizelge 6.4 BAlSi Esaslı ilave malzemelerin kim. kompozisyonları ve ergime sıcaklıkları	70
Çizelge 6.5 AWS'ye göre çeşitli malzeme çiftleri için ilave malzeme seçimi.....	72
Çizelge 7.1 Çeşitli ilave malzeme gruplarına göre tavsiye edilen çalışma boşlukları	83
Çizelge 8.1 W esaslı sert metallerin çeliğe sert lehimlenmesinde çalışma boşluğu ve max. kesme dayanımları değişimi	103
Çizelge 9.1 Sert lehimlemede tipik hatalar, sebepleri ve önleme yolları	104

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamlanmasında, en başından beri her türlü yardım, yönlendirme ve önerileri esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Selahattin YUMURTACI'ya teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Her zaman olduğu gibi bu tezin tamamlanmasında da yardım ve manevi desteklerini daima yanımda hissettiğim sevgili aileme ve arkadaşlarıma, çalışma hayatımda eğitimim ile ilgili olarak her türlü esnekliği gösteren işyerimin değerli yetkililerine de ayrıca şükranlarımı sunarım.



ÖZET

Sert lehimleme, çok eski tarihlerden itibaren metallerin birleştirilmesi amacına yönelik olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu birleştirme tekniği, sağladığı çeşitli mühendislik avantajları nedeni ile önemini giderek arttırmış ve günümüz endüstrisi için vazgeçilmez bir konuma ulaşmıştır. Bu çalışmada sert lehimleme genel olarak ele alınmış; öncelikle standartlarda yer alan tanımlar esas alınarak diğer birleştirme yöntemleriyle olan farklılıklar ortaya konulmuş, tekniğe ait temel esaslar, kullanılan ilave malzeme, dekapan gibi yardımcı bileşenler ve bir sert lehimleme sürecinde olması gereken adımlar kısaca incelenmiştir. Daha sonra da bu birleştirme tekniğinin endüstriyel uygulamalarına yönelik olarak kullanılan metotlar, belli başlı malzeme gruplarının sert lehimleme uygulamaları ve iyi bir sert lehimleme birleştirmesi için tasarım açısından dikkat edilmesi gerekli işlem değişkenleri ve bu değişkenlerin sert lehimleme bağlantılarının dayanımlarına olan etkileri irdelenmiştir. Son olarak ise, endüstride çok kullanılan sert lehimleme uygulamalarına yer verildikten sonra bu teknikteki tipik hatalar, kalite kontrol ve güvenlik/çevre konularına ele alınmıştır.

ABSTRACT

Brazing is one of the most important joining method and has been used succesfully since ancient times. The importance of this method increases day by day because of its engineering advantages. The major advantages of brazing, unlike welding, there is no melting on base metals and the heat density of joint area is not as high as in welding operations. Therefore, the joint area is not exposed to either thermal or mechanical distortions and / or strains. In this study, the brazing process examined generally. The definations, main principles and features, differencies from other similar joining methods and basic components including filler metals, fluxes etc. are discussed in the beginning chapters. And than different types of brazing technics and applications (furnace brazing, induction brazing etc.) are investigated in the following sections. To obtain reliable brazed joint, some conditions should be completed and the six basic step of normal brazing process followed. The clearence, overlap distance and many other parameters influence the properties of joint and this kind of process parameters, some designing practies and typical industrial application are given in the related chapters.

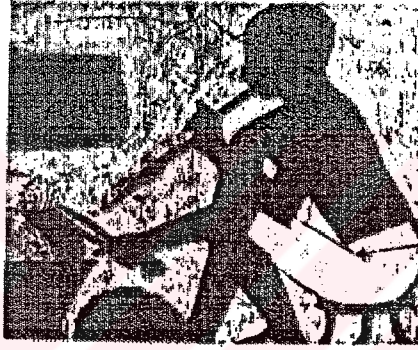
1. GİRİŞ

Uygarlık tarihinin başlangıcından itibaren, insanoğlunun en önemli çalışmalarının temel amacı yaşamı kolaylaştırmaya dönük olup bu doğrultudaki uğraşların devamlı artan bir ivme ile süreceği açıktır.

Söz konusu uğraşların en önemli aşamalarından biri, insanların metallere hükmetmeye başlaması olmuştur ve bu noktada metallerin birleştirilmesinin büyük önemi vardır.

Metalleri birleştirmenin değişik yolları mevcuttur ve sert lehimleme bu yollardan biri olarak M.Ö 2000 – 3000 yıllarından beri insanlığın kullanımındadır.

Sert lehimlemenin kullanımına ait ilk örnekler Mısır, Eti , Pers gibi uygarlıklarda süs ve takı eşyası ile silah – zırh gibi konularda olmuştur.



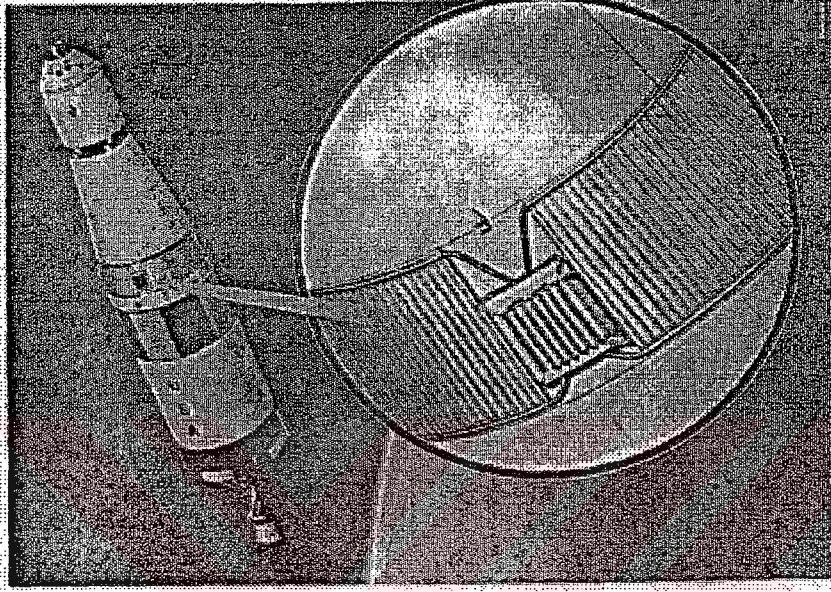
Şekil 1.1 Sert lehimlemeye ait ilk kullanımlar (AWS, 1991)

Daha sonraki bölümlerde ayrıntıları ile ele alınacak sert lehimlemenin kullanım çeşitliliğinde, malzeme teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak önemli artışlar görülmüş; başlangıçta süs eşyaları ve bazı silah uygulamaları ile sınırlı olan bu tekniğin kullanımı, günümüzde otomotiv endüstrisinden uzay teknolojisine kadar uzanan çok geniş bir yelpazeye yayılmıştır.

Günümüz teknolojik hayatında, metalsel malzemelerin birleştirilmesi hala çok önemli endüstriyel faaliyetlerden biridir ve bu konuda özellikle en yaygın tekniklerden olan kaynak, tekniği gereği yapısal dönüşümlere, mekanik ve ısıl gerilme ve çarpımalara karşı kullanıcılara önemli zorluklar yaşatırken, sert lehimleme uygulamalarında bahsedilen zorluklar asgari düzeyde kalmaktadır.

Artan rekabet koşullarında, her ne konuda olursa olsun, yeni teknikler ortaya konulmalı ve mevcut olanlar da güçlendirilerek kullanıcıların beğenisine sunulmalıdır.

İşte bu bakış açısı ile 'Sert Lehimleme', özellikle metallerin birleştirilmesi ile ilgili endüstriyel ve akademik çevrelerde hakkettiği şekilde ele alınıp irdelenmelidir.



Şekil 1.2 Sert lehimlemeye ait son kullanımlar (Schwartz , 1969)

2 TANIMLAR , SERT LEHİMLEMEDE GENEL PRENSİPLER ve BİRLEŞME OLAYI, SINIFLANDIRMALAR

2.1 Sert Lehimlemeye İlişkin Standartlarda Yer Alan Tanımlar

Sert Lehimlemenin tanımına ilişkin tüm standartların ve akademik çevrelerin tam bir anlayış birliği mevcut değildir. Bu konuda özellikle yaygın bir etkinlik sahası olan AWS ve DIN tarafından yapılan çalışmalar yeterince açıklayıcı niteliklerdedir.

AWS 'nin tanımına göre sert lehimleme şu şekilde ifade edilmektedir * : Sert lehimleme, ergime sıcaklığı 800 °F 'ın (427 °C) üzerinde ve ergime sıcaklığı ana malzemenin ergime sıcaklığının altında olan bir ilave malzeme kullanılarak ana malzemenin uygun sıcaklıklara ısıtılarak birleşmenin sağlandığı bir birleştirme (kaynak işlemi) grubudur. İlave malzeme ise birbirine yakın durumda bulundurulmuş yüzeyler arasında kapilerite etkisi ile yayılır. (AWS, 1991)

DIN 8505'de bu konu ile ilgili yer alan tanımlamada ise sert lehimleme 'Metal malzemelerin ergitilmiş bir ilave metal (lehim) yardımıyla, gereğinde bir dekapan (flux) ve/veya koruyucu gaz kullanılarak yapılan bir birleştirme yöntemidir. Lehimin ergime sıcaklığı birleştirilecek ana malzemenin/malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında bulunur, ana malzemeler ergimedenden ısılanırlar.' şeklinde ifade edilmektedir. (Oğuz, 1988) Her iki tanımda genel olarak birbirine yakın anlamlar taşıyorsa da AWS' nin tanımında daha sonra ele alınacak olan sert lehimleme ve (yumuşak) lehimleme arasındaki temel farklılık olan 800 °F 'ın (427 °C) sınırı açıkça belirtilmiştir. Bu sıcaklık sınırı ise çok da bilimsel temellere oturtulmuş değildir; ancak oldukça geniş bir kabul görmüş bir sınırdır. Ayrıca standart tanımda yer alan bu sınır uygulamada ve literatürde çoğunlukla daha kolay hatırlanabilir olması açısından 840 °F'ın (450 °C) olarak kabul edilmektedir. (Smith, 1989)

* AWS'nin Orijinal Tanımı: A group of welding processes which produces coalescence of materials by heating them to a suitable temperature and by using a filler metal having a liquidus above 840 °F and below the solidus of the base metal. The Filler metal is distributed between the closely fitted faying surfaces of the joint by capillary action.

Yukarıdaki bilgiler ışığında sert lehimleme ile ilgili özellikle şu hususlara dikkat edilmelidir:

- a. Ana malzemeler ergimeden birleştirilmelidir.
- b. İlave metal 450 °C'nin üzerinde ise bir ergime sıcaklığına sahip olmalıdır.
- c. İlave metal ana metal yüzeylerini ıslatmalı, birleşme bölgesine kapilarite etkisi ile orada tutulmalıdır.

Burada, yukarıda belirtilen (a) ifadesi sert lehimlemenin kaynaktan olan en belirgin farkını, (b) ifadesi sert lehimlemenin (yumuşak) lehimlemeden farkını ve (c) ifadesi de lehim kaynağı ile sert lehimlemenin farklarını ortaya koymaktadır.

2.2 Sert Lehimleme / (Yumuşak) Lehimleme Karşılaştırması

Esas itibari ile lehimleme ve sert lehimleme birbirlerine çok yakın yöntemlerdir. Lehimleme ile ilgili AWS'nin tanımı şöyledir * : Lehimleme, ergime sıcaklığı 800 °F 'ın (427 °C) altında ve ergime sıcaklığı ana malzemenin ergime sıcaklığının altında olan bir ilave malzeme kullanılarak ana malzemenin uygun sıcaklıklara ısıtılarak birleşmenin sağlandığı bir birleştirme (kaynak işlemi) grubudur. İlave malzeme ise birbirine yakın durumda bulundurulmuş yüzeyler arasında kapilarite etkisi ile yayılır.

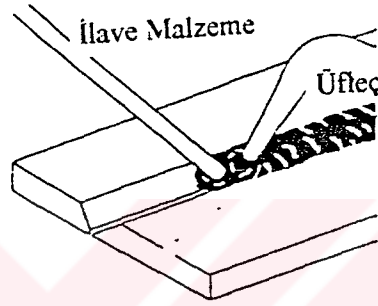
Buradan da görülebileceği gibi sert lehimleme ile lehimlemenin birbirlerinden en belirgin farkı 450 °C 'lik sınırdır.

Lehimleme ile elde edilen bağlantılar genellikle mekanik uygulamaların gerektirdiğinden daha az dayanım vermektedirler ve çalışma sıcaklıkları da genellikle 150-450 °C arasındadır. Bu nedenle lehimleme yöntemi mekanik uygulamalardan ziyade elektrik, elektronik gibi alanlarda kendine uygulama sahası bulmuştur.

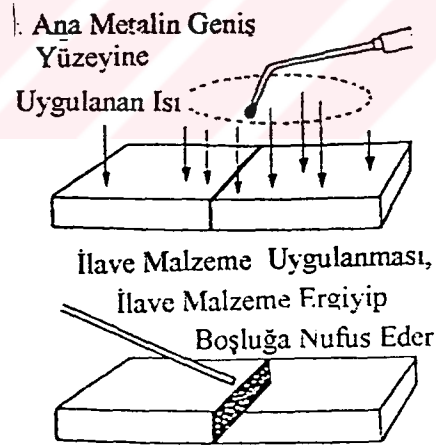
* AWS'nin Orijinal Tanımı: A group of welding processes which produces coalescence of materials by heating them to a suitable temperature and by using a filler metal having a liquidus not exceeding 840 °F and below the solidus of the base metal. The Filler metal is distributed between the closely fitted faying surfaces of the joint by capillary action.

2.3 Sert Lehimleme / Lehim Kaynağı Karşılaştırması

Uygulama açısından Lehim Kaynağı ile Kapiler Lehimleme birbirlerinden oldukça farklıdır. Kapiler lehimlemede aralarında belli bir boşluğu sağlayacak şekilde hazırlanmış parçalar birleştirme pozisyonuna getirilir ve birleştirme malzemesi iki yüzey arasından kapilerite etkisi ile ilerler. Lehim kaynağında ise birleştirilecek parçalara V veya X şeklinde bir birleştirme ağızı hazırlanır ve burası erimiş lehim ile doldurulur. Çalışma açısından ergitme kaynağına benzediğinden bu yöntem ergitme kaynağı olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.1 Lehim kaynağı



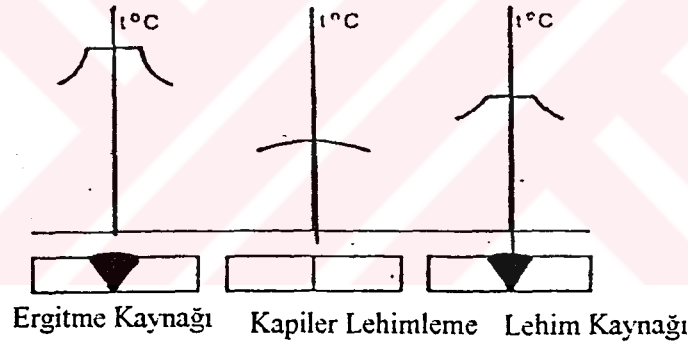
Şekil 2.2 Kapiler lehimleme

Özellikle lehim kaynağı uygulamalarında birleştirme malzemesi türüne göre pirinç kaynağı gibi isimlendirmelerle de anılmaktadır. Lehim kaynağında kullanılan birleştirme malzemesi genellikle $450 - 1000^{\circ}\text{C}$ 'ergitme sıcaklıklarına sahip pirinç alaşımlarıdır.

Lehim kaynağı, uygulama basitliğine rağmen bazı dezavantajlara sahiptir. Öncelikle kullanılan ilave malzemenin niteliğine bağlı olarak ancak belli bir sıcaklığa kadar çıkabilecek uygulamalarda kullanılabilir : Çünkü ilave malzemelerin belli bir sıcaklık değerinden sonra dayanımlarının düşmesi kaçınılmazdır. İlave malzemenin çoğunlukla pirinç olduğu göz önüne alınırsa söz konusu servis sınır sıcaklığı $250 - 260^{\circ}C$ olduğu söylenebilir.

Lehim kaynağı açısından ikinci en önemli dezavantaj da bazı kimyasal ortamların ilave malzeme üzerindeki yıkıcı etkisidir. Bunu örneklemek gerekirse sodyumhidroksit (NaOH) ortamında pirinç kaynaklı birleştirmeler çok kısa zamanda korozyona uğrayabilirler.

Yukarıda sıralanan hususlara lehim kaynağında muhtemel iç boşluklarının tespitinin çok olması, renk uyumundaki olumsuzluklar ve ilave malzeme maliyeti gibi faktörler katılabilir. (AWS, 1991)



Şekil 2.3 Kapiler lehimleme, lehim kaynağı ve ergitme kaynağında sıcaklık dağılımları

Konunun 2.3 kısmında da ele alındığı gibi lehim kaynağının , AWS'nin tanımı esas alınırsa, ilave malzemenin ortama ulaşmasında kapilarite etkisi söz konusu olmadığından gerçek bir sert lehimleme olmadığı ortaya çıkar. Ancak ana malzemenin ergimemesi sebebi ile gerçek bir kaynak da değildir.

Lehim kaynağının yukarıda sıralanan bazı sınırlamaları ve kapiler lehimleme ile aralarındaki uygulama açısından olan fark belirtildikten sonra şu hususlara da dikkat çekilebilir:

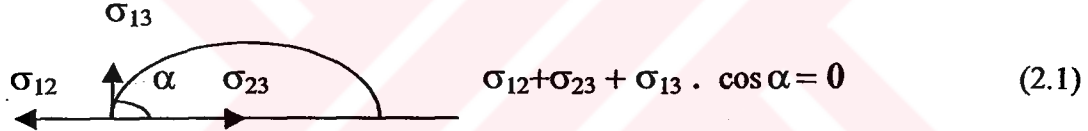
- a. Lehim kaynağında birleştirme kısmının hazırlanmasında işlem hassasiyetinin kapiler lehimlemede olduğu kadar yüksek olmasına gerek yoktur.
- b. Kapiler lehimlemede, özellikle fırında sert lehimlemede, birleşme yeri tasarımında ilave malzemenin dolduracağı boşluğa göre uygun bir konumlandırma gereklidir.

2.4 Sert Lehimlemede Genel Prensipler ve Birleşme Olayı

Sert lehimlemede birleşme olayının en önemli mekanizması difüzyondur. Ergiyik haldeki ilave metal kapilarite etkisi ile birleşme boşluğunda ilerlerken ıslattığı ana metal bünyesine yayılır ve soğuma sonunda da yer değişimi yapmış olan atomlar yeni yerlerinde kalarak birleşmeyi sağlamaktadırlar.

Kısaca yukarıdaki gibi izah edilebilecek birleşme olayında, ilave metalin ana metal bünyesine difüzyonunda, ilave malzemenin ergiyik halde iken ana metali çok iyi bir şekilde ıslatabilmesi gerekmektedir.

Islatma, akışı ve kapilariteyi etkileyecek olan yüzey gerilimlerinin öncelikle belirlediği ve sert lehimleme süreçlerinde çok önemli bir parametredir .



$$\sigma_{12} + \sigma_{23} + \sigma_{13} \cdot \cos \alpha = 0 \quad (2.1)$$

Şekil 2.4 Denge halinde bir sert lehim ilave malzemesine ait yüzey gerilimlerinin durumu. (1: Ana Malzeme, 2:İlave Malzeme, 3:Ortam)

Yukarıdan da görülebileceği gibi ergiyik halde bir sert lehim ilave malzemesi ana metale α temas açısı ile temas eder. Eğer bu temas, ergiyik sert lehimlemenin bir gereği olarak dar bir aralıkta olmak zorunda ise, düz iki plakanın arasında olduğu gibi, iki temas açısından oluşan bir eğrisel form oluşmak zorunda olacaktır. Bu eğrisellik yüzey boyunca olan basınç farklılıklarından dolayıdır. (AWS, 1971 ve Schwartz, 1969)

Sert lehimleme esnasında ergiyik haldeki ilave metal birleşme boşluğunda yüzey enerjilerine de bağlı olan kapilarite etkisi ile ilerlerken bu ilerleme miktarı, yüzey enerjileri etkisi ile oluşan basınç farkının hidrostatik basınç farkına eşit olmasına kadar devam edecektir. . (AWS, 1971 ve Schwartz, 1969)

Ergiyik eğrisel yüzeyi boyunca olan basınç farkı şu şekilde formüle edilebilir:

$$\Delta P = (2\gamma_{LV} \cdot \cos \alpha) / D \quad (2.2)$$

ΔP : Basınç Farkı

γ_{LV} : Ergiyik – Ortam Arası Yüzey Enerjisi

α : Ergiyik – Ana Malzeme Arası Temas Açısı

D : Boşluk Miktarı

Denklem 2.2 Ergiyik eğrisel yüzeyi boyunca olan basınç farkı

Düşey iki plaka arasında sıvı haldeki ilave metalin yükselebileceği maksimum mesafe ise H ise ;

$$H = (2\gamma_{LV} \cdot \cos \alpha) / (\rho \cdot g \cdot D) \quad (2.3)$$

γ_{LV} : Ergiyik – Ortam Arası Yüzey Enerjisi

α : Ergiyik – Ana Malzeme Arası Temas Açısı

D : Boşluk Miktarı

ρ : İlave Malzeme Yoğunluğu

g : Yerçekim İvmesi

Denklem 2.3 Düşey iki plaka arasında sıvı haldeki ilave metalin yükselebileceği maksimum mesafe

Bu yükselme miktarı t zamanında H_t ise ;

$$H_t = (D \cdot t \cdot \gamma_{LV} \cdot \cos \alpha)^{1/2} / 3\eta \quad (2.4)$$

Denklem 2.4 t anında Düşey İki Plaka Arasında Sıvı Haldeki İlave Metalin Yükselebileceği Maksimum Mesafe

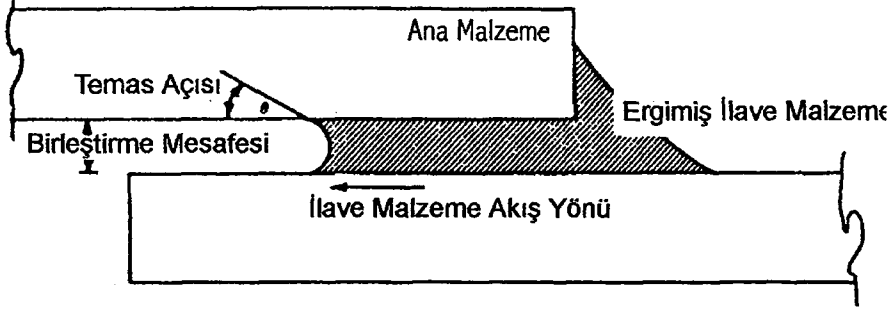
γ_{LV} : Ergiyik – Ortam Arası Yüzey Enerjisi

α : Ergiyik – Ana Malzeme Arası Temas Açısı

D : Boşluk Miktarı

η : Ergiyiğin Viskozitesi

Buradan da rahatlıkla görülebileceği gibi yüksek yüzey gerilimi, düşük temas açısı ve düşük viskozite iyi bir ilerleme oranı için istenen durumlardır. Ancak düşük temas açısının ıslatma açısından avantajlı bir durum sağlarken ilerleme (yükselme, akış) açısından ise dezavantaj getirmektedir. (AWS 1971, 1991 ve Schwartz, 1969)



Şekil 2.5 Sert lehimlemede birleşmenin şematik gösterimi

Sert lehimlemede bu birleşme olayının tam anlaşılması için ayrıca çalışma sıcaklığı ve sulanma sıcaklığı gibi tanımların da anlaşılması gerekir.

Çalışma sıcaklığı, ilave malzeme ergiğinin ana malzeme ile temas yüzeyinde yayılıp ana malzemeyi ıslatabildiği minimum sıcaklıktır. Islatma sıcaklığı ise ana metalin yüzeyinde ilave malzemenin yayılabildiği bir sıcaklıktır.

Bu iki büyüklük arasındaki temel farklılık ıslatma sıcaklığının ana metalin üst yüzeyinde ve ilave metal uygulamasından önce, çalışma sıcaklığının ise yine ana metalin yüzeyinde ama ilave metal uygulamasından sonra ölçülecek olmasıdır. Ayrıca çalışma sıcaklığı ilave metale bağlı, ıslatma sıcaklığı ise ana metali ilave metal ve yöntemle bağlı bir büyüklüktür. Diğer bir yaklaşımla da çalışma sıcaklığı ıslatma sıcaklığının üst sınırındır. Belli değerler arasında olabilen ıslatma sıcaklığının alt sınırı da ilave metalin ana metale bağlanabileceği anda ana metalin olması gereken minimum sıcaklığı ifade eden birleşme sıcaklığıdır. (Oğuz, 1988)

2.5 Çeşitli Kriterlere Göre Sert Lehimlemenin Sınıflandırılması

Sert lehimlemede olayı etkileyen çok sayıda parametre olduğu için değişik sınıflandırmalar yapılması mümkündür. Bu sınıflandırmalardan bazıları kısaca aşağıda ele alınmıştır.

2.5.1 Isı kaynağına göre sınıflandırma

Özellikle değişen parça boyutu, geometrisi ve malzeme teknolojisi gibi faktörler sert lehimleme uygulamalarında değişik ısı kaynakları kullanımını zorunlu hale getirmiştir.

Isı kaynağına göre sert lehimlemede sınıflandırma yapılması durumunda Bölüm 5' te daha ayrıntılı ele alınacak şu yöntemler karşımıza çıkar:

- Fırında Sert Lehimleme
- Üfleçle Sert Lehimleme
- Endüksiyonla Sert Lehimleme
- Elektrik Direnci İle Sert Lehimleme
- Daldırma Yöntemi İle Sert Lehimleme
- Vakum Yöntemi İle Sert Lehimleme
- Özel Sert Lehimleme Yöntemleri
 - Lazer Işını İle Sert Lehimleme
 - Optik Yöntem İle Sert Lehimleme
 - Elektron Işın Demeti İle Sert Lehimleme
 - Ark İle Sert Lehimleme
 - Ekzotermik Yöntemle Sert Lehimleme
 - Elektrostatik Yöntemle Sert Lehimleme
 - Kızılötesi Işın İle Sert Lehimleme

2.5.2 Çalışma sıcaklığına göre sınıflandırma

Sert lehimlemede en önemli parametrelerden biri olan sıcaklık, beraberinde çalışma sıcaklığına göre sınıflandırmayı da getirmiştir.

Bu kritere göre sınıflandırmada düşük ve yüksek sıcaklık sert lehimlemesi olmak üzere iki grup karşımıza çıkar ;

a-Düşük sıcaklık sert lehimlemesi

Bu gruba dahil sert lehimleme işlemlerinde çalışma sıcaklığı 450-950 ° C dir. Genellikle Cu ve alaşımları, düşük karbonlu ve paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi gibi uygulamalarda kullanılır. Söz konusu malzeme gruplarına ait sert lehimleme işlemlerinde 610 - 880 ° C arasında ergime sıcaklıklarına sahip gümüş esaslı ilave malzemeler yaygın bir kullanıma sahiptir. Özel ilave malzeme kullanımı ile Al ve alaşımları da düşük sıcaklıkta sert lehimlemeyle birleştirilebilir. Ayrıca Cu-Zn ve Cu-P ilave malzemeleri de yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

b-Yüksek sıcaklıkta kontrollü atmosfer kullanımı ile sert lehimleme

Özellikle kritik parçaların birleştirilmesinde oksitlenme vb. oluşumları önlemek için koruyucu atmosfer ortamı kullanılması gerekebilir. Bu ortam diğer işlem parametrelerine de bağlı olmak üzere nötr ya da redükleyici veya vakumlu olabilir.

Vakum ortamı içinde ve dışında ısıtıcı elemanların bulunduğu uygun şekilde dizayn edilmiş kabinlerde oluşmaktadır. Parçaların tamamının ısıtılmasına gerek yoktur. Bir çok durumda ilave metalin ergime sıcaklığının 100 ° C üzerinde ısıtılır. Isıtma için değişik yöntemler mevcuttur ve aşağıdaki kriterler özellikle ısı sağlama yönteminin belirlenmesinde önemlidir ;

- Parça Adedi
- Parça Boyutları
- Çalışma Sıcaklığı
- Birleştirilecek Malzeme
- Ekonomiklik

Koruyucu ortamlar, fırın ortamları ve vakumda sert lehimleme konununun akışı içerisinde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır. (Bodur, 1994 ; Oğuz, 1988)

c - Uygulamaya göre

Sert lehimleme uygulamalarının ilginç bir örneği de pirinç kaynağı veya sarı kaynağı denen uygulamadır. Uygulama açısından sert lehimlemede, lehim kaynağı çok ayrı bir yere sahiptir. Normalde sert lehimleme işlemlerinde birleştirilecek parçalar belli bir boşluğa sahip olacak şekilde hazırlanarak uygun konuma getirilir ve ilave malzeme birleşme yüzeyinden kapilarite etkisi ile yükselir. Lehim kaynağında ise birleştirilecek parçalara X veya V şeklinde hazırlanmış birleştirme ağzına ergimiş ilave malzeme doldurulur. Çalışma açısından ergitme kaynağına benzediğinden bu yöntem kaynak işlemi olarak da algılanmaktadır.

İlave malzeme olarak çoğunlukla pirinç kullanıldığından bu yöntem pirinç kaynağı olarak da bilinir.

Aşağıdaki çizelgede çeşitli kriterlere göre sert lehimleme yöntemleri verilmiştir.



Çizelge 2.1: Çeşitli Kriterlere Göre Sert Lehimleme Yöntemleri

SERT LEHİMLEME YÖNTEMLERİ**İLAVE MALZEMENİN ERGİME SICAKLIĞI**

- Ergime Sıcaklığı 450⁰ C'den fazla
- Ergime Sıcaklığı 900⁰ C'den fazla

AMACA GÖRE

- Birleştirme Sert Lehimlemesi
- Dolgu Sert Lehimlemesi
- Aralık Sert Lehimlemesi
- Lehim Kaynağı

OKSİT GİDERME TARZINA GÖRE

- Dekapan ile
- Redükleyici Gaz ile
- Koruyucu Soy Gaz ile
- Vakum ile

İLAVE MALZEMENİN UYGULANIŞINA GÖRE

- Sert Lehimleme Anında
- Önceden Yerleştirilmiş İlave Malzeme
- İlave Malzeme ile Kaplanmış Ana Malzeme
- Daldırma Sert Lehimlemesi

UYGULAMA YÖNTEMİNE GÖRE

- Elle Sert Lehimleme
- Yarı Otomatik Usullerle Sert Lehimleme
- Tam Otomatik Yöntemlerle Sert Lehimleme

ENERJİ SEVKİNE GÖRE

- Katı Cisimlerle
- Sıvı ile
- Gaz ile
- Elektrik Arkı İle
- Işınım ile
- Hareket ile
- Elektrik Akımı ile

3 . SERT LEHİMLEMEDE İLAVE MALZEMELER, DEKAPANLAR ve KORUYUCU ATMOSFERLER

Sert lehimleme işlemlerinde en önemli işlem parametrelerinden birini de yardımcı bileşenler olarak adlandırabileceğimiz ilave malzemeler, dekapanlar ve koruyucu atmosferler oluşturmaktadır. Bunların yeterli ve uygun niteliklerde seçilmiş olması elde edilecek birleştirmenin kalitesine olumlu etkilerde bulunurken eğer isabetsiz seçimler söz konusu ise, diğer tüm şartlar yeterli olsa bile, iyi bir sonuca ulaşmak mümkün olmayacaktır. Bundan dolayı sert lehimleme süreçlerinde bu denli öneme sahip bu bileşenlerin çok iyi bilinmesi ve analiz edilmesi gereklidir.

3.1 İlave Malzemeler

Sert lehimleme süreçlerinde parçalar arası birleşmeyi sağlamak üzere kullanılan toz, tel, çember, halka gibi formlarda standartlaştırılmış malzemelerdir. İlave malzemeler, birleştirilecek parçalar arasına ergiyik halde nüfuz ederek difüzyon sonucu bu parçaların birleşmesini sağlarlar. Bu görevlerini yerine getirebilmeleri için sert lehimleme ilave malzemeleri kısaca şu niteliklere sahip olmalıdır;

- Elde edilecek birleştirmenin çalışma şartlarına uygun mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmalıdır.
- Ergime sıcaklığı veya bu sıcaklık aralığı, ana metallerin birleşmesi için hazırlanmış birleşme bölgesine kapiler etki ile ilerlemesine ve buralarda uygun bir şekilde yayılmasına uygun olmalıdır.
- Ergiğin homojenliği sert lehimleme süreci boyunca dengede kalmalı, bozulmamalıdır.
- Birleştirilecek ana malzemelerin yüzeylerini ıslatacak ve güçlü sınırlar oluşturacak nitelikte olmalıdır. (AWS,1971 ve 1991, Oğuz 1988)

Ergime ve Akıcılık:

Sert lehimleme ilave malzemelerinde genellikle birden fazla elementin katılımı ile bir bileşime ulaşılabacağından, bu elementlerin oluşturacağı alaşımın ergimesi de kompleks olmaktadır. Ergime için sert lehimleme açısından istenen durum, ilave malzemenin işlem şartlarına uygun (ana malzemenin ergime sıcaklığı, soğuma koşulları, vb) bir ergime sıcaklığında yada minimum olabilecek bir sıcaklık aralığında ergimesidir.

(AWS, 1971 ve 1991, Oğuz 1988)

Aksi durumda çok yönlü bir ergime ve katılma süreci meydana geleceğinden, ergiyiği oluşturan elementlerden düşük sıcaklıkta ergiyeni, bulunduğu konumu terkedip birleşme bölgesine hareket edecek; yüksek sıcaklıkta ergiyeni de - belki ana malzeme bile ergimeye başladıktan sonra - ergimeye başlayacaktır. Bu oldukça olumsuz bir durumdur. Çünkü sözkonusu ergime sürecinde, ilk ergiyen atomlar belli bir süre ilerleyerek belli bir yerde duracak ve aynı anda soğuma / katılma süreci devam ettiğinden arkasından gelecek atomların akıcılığını engelleyecektir. Bunun getireceği sonuç ise ilave malzemenin henüz yeterli bir akıcılık (çalışma boşluğuna doğru ve ana malzemenin içine doğru) ve difüzyon derecelerine ulaşmadan birleşme sürecinin bitmiş olması demektir. (AWS, 1971 ve 1991, Oğuz 1988)

Islatma ve Birleştirme:

Uygun niteliklerde bir birleştirmenin sağlanması için ana malzemede istenmeyen difüzyon, erozyon ve gevrek ara yapılar oluşmadan iyi bir ıslatma olayının varlığı gereklidir. Bu ise ana ve ilave malzemeler arası karşılıklı çözünürlük, ilave malzeme miktarı, işlem sıcaklığı ve zamanına bağlıdır.

Kapileritenin artırılması açısından ıslatmanın mümkün olduğunca yüksek olması istenen bir durumdur; ancak eğer ıslatma olması gerekenden fazla ise bu kez de karşımıza aşırı difüzyon sonucu ana malzeme bileşiminde hissedilir sapmalar ve karşılıklı çözünme ile ana malzemede erozyon gibi durumlar ortaya çıkar.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında iyi bir ilave malzeme seçiminde şu hususların dikkate alınması gereklidir.

- Ana malzeme ile birleşme yerine uyumluluk,
- Elde edilecek birleştirmenin servis şartlarında, birleştirme yerinin fonksiyonunu yerine getirmesi için gerekli minimum özelliklerini koruyacak, muhtemel ısı işlem, yükleme durumu, korozyon durumu gibi faktörlere uygunluk,
- Enerji tasarrufu, ana malzeme üzerinde ısı dönüşümler ve mevcut ekipman ve donanımına uyumluluk,

Sert lehimlemede kullanılan ilave malzemeler gerek AWS gerekse de DIN tarafından sınıflandırılmışlardır. Bu sınıflamalara ilişkin tablolar aşağıda görülebilir. AWS, 1971 ve 1991 , Oğuz 1988)

İlave malzeme isimlendirilmelerinde bileşenlerinin oranları dikkate alınır: Eğer bileşenlerden biri %50'den fazla bir orana sahipse bu bileşenin adı ilave malzemenin isimlendirilmesinde baz alınır.

Kullanılacak ilave malzemelerin hangi sıcaklık aralıklarında kullanılacağını tespit edilmesi önemlidir. Çünkü bu aralık ne kadar dar ise ilave metallerin sert lehimleme aralığı içinde akıp yayılma kabiliyetleri o derecede iyidir.

Aşağıda sert lehim ilave malzemelerinin serbest ergime sıcaklığına göre sınıflandırılması görülebilir:

$T_e < 145 \text{ } ^\circ\text{C}$	çok alçak ergime noktalı
$145 \text{ } ^\circ\text{C} < T_e < 150 \text{ } ^\circ\text{C}$	alçak ergime noktalı
$450 \text{ } ^\circ\text{C} < T_e < 1100 \text{ } ^\circ\text{C}$	orta ergime noktalı
$1100 \text{ } ^\circ\text{C} < T_e < 1850 \text{ } ^\circ\text{C}$	yüksek ergime noktalı
$T_e > 1850 \text{ } ^\circ\text{C}$	çok yüksek ergime noktalı (Oğuz 1988)

Çizelge 3.1 : AWS'ye göre sert lehimleme ilave malzemeleri (AWS, 1971)*

AWS Kodu	Sert Lehimleme Sıcaklığı		Kimyasal Bileşim (%)
	F°	C°	
Al- Si , Alaşımaları			
BAiSi-2	1110-1150	599-621	92.5 Al, 7.5 Si
BAiSi-3	1060-1120	571-601	86 Al, 10 Si, 4 Cu
BAiSi-4	1080-1120	582-604	88 Al, 12 Si
BAiSi-5	1090-1120	588-604	90 Al, 10 Si
Mg , Alaşımaları			
BMg-1	1120-1160	604-627	89 Mg, 2 Zn, 9 Al
BMg-2a	1080-1130	582-610	83 Mg, 5 Zn, 12 Al
Cu – P , Alaşımaları			
BCuP-1	1450-1700	788-927	95 Cu, 5P
BCuP-2	1350-1550	732-843	93 Cu, 7 P
BCuP-3	1300-1500	704-816	89 Cu, 5 Ag, 6 P
BCuP-4	1300-1450	704-788	87 Cu, 6 Ag, 7 P
BCuP-5	1300-1500	704-816	80 Cu, 15 Ag, 5 P
Cu – Cu / Zn Alaşımaları			
BCu-1	2000-2100	1093-1149	99.9 Cu (min)
BCu-1a	2000-2100	1093-1149	99.0 Cu (min)
BCu-2	2000-2100	1093-1149	86.5 Cu (min)
RBCuZn-A	1670-1750	910-954	57 Cu, 42 Zn, 1 Sn
RBCuZn-D	1720-1800	938-982	47 Cu, 11 Ni, 42 Zn
Ag , Alaşımaları			
BAg-1	1145-1400	618-760	45 Ag, 15 Cu, 16 Zn, 24 Cd
BAg-1a	1175-1400	635-760	45 Ag, 15 Cu, 16 Zn 24 Cd
BAg-2	1295-1550	700-843	45 Ag, 26 Cu, 21 Zn, 18 Cd
BAg-2A	1310-1550	710-843	30 Ag, 27 Cu, 23 Zn, 20 Cd
BAg-3	1270-1500	688-816	52 Ag, 15 Cu, 15 Zn, 15 Cd, 3 Ni
BAg-4	1435-1650	780-899	40 Ag, 30 Cu, 23 Zn, 2 Ni
BAg-5	1370-1550	743-843	45 Ag, 30 Cu, 25 Zn
BAg-6	1425-1600	774-871	53 Ag, 31 Cu, 16 Zn
BAg-7	1205-1400	651-760	56 Ag, 22 Cu, 17 Zn, 5 Sn
BAg-8	1435-1650	780-899	77 Ag, 23 Cu
BAg-8a	1410-1600	766-871	77 Ag, 23 Cu
BAg-13	1575-1775	857-635	54 Ag, 40 Cu, 5 Zn, 1 Ni
BAg-13a	1600-1800	871-982	56 Ag, 42 Cu, 2 Ni
BAg-18	1325-1550	718-843	60 Ag, 40 Cu
BAg-19	1610-1800	877-982	92 Ag, 8 Cu
Değerli Metaller			
BAu-1	1860-2000	1016-1093	37 Au, 63 Cu
BAu-2	1635-1850	890-1010	79.5 Au, 20.5 Cu
BAu-3	1885-1995	1030-1090	34 Au, 62 Cu, 4 Ni
BAu-4	1740-1840	949-1004	82 Au, 18 Ni
Ni , Alaşımaları			
BNi-1	1950-2200	1066-1204	14 Cr, 3 Br, 4 Si, 4 Fe, 75 Ni
BNi-2	1850-2150	1010-1177	7 Cr, 3 Br, 4 Si, 3 Fe, 83 Ni
BNi-3	1850-2150	1010-1177	3 Br, 4 Si, 2 Fe, 91 Ni
BNi-4	1850-2150	1010-1177	1 Br, 3 Si, 2 Fe, 94 Ni
BNi-5	2100-2200	1149-1204	19 Cr, 10 Si, 71 Ni
BNi-6	1700-1875	927-1025	11 Br, 89 Ni
BNi-7	1700-1900	927-1038	13 Cr, 10 Br, 77 Ni

*: AWS' nin standartlaştırdığı tüm ilave malzemeler bu listede yoktur, sadece en yaygın kullanıma sahip olanlar burada verilmiştir.

3.2 Dekapanlar

Sert lehimleme işlemlerinde dekapanlar, birleştirilecek yüzeylerde olabilecek oksitleri giderme amacına yönelik olarak kullanılan metalik olmayan malzemelerdir.

Ergiyik haldeki ilave metalin birleştirme fonksiyonu, ancak bu malzemenin ana malzemeyi ıslatması ve difüzyon ile olmaktadır. Ergiyik ilave metal ile ana malzeme arasında oksitler gibi başka maddeler de olması durumunda yukarıda bahsedilen ıslatma ve difüzyon ya olmayacak ya da olsa bile uygunsuzluklar olacaktır. İyi bir birleşme isteniyorsa, yukarıda bahsedilen bu tür durumların giderilmesi gereklidir. İşte dekapanlar bu aşamada devreye giren, sert lehimleme süreçlerinin vazgeçilmez bileşenleridir.

Dekapanların en temel görevleri şöyle sıralanabilir:

- Isıtma ve sert lehimleme sırasında ana metal üzerinde oluşabilecek oksitlerin oluşmasını önlemeli böylece iyi bir ıslatmanın gerçekleşmesine yardımcı olmalıdır.
- İlave metal üzerinde oksit oluşmasını önlemelidir.
- Birleşme bölgesinin hızlı soğumasına engel olmalıdır..
- Akışı kolaylaştırmak üzere ilave malzemenin yüzey gerilimini azaltmalıdır.
- Direnç sert lehimlemesinde dekapanın elektrik iletkenliği olmalıdır.
- Daldırma sert lehimlemesinde sudan kaçınılmalıdır.
- Temizliği kolay olmalıdır.
- Ana ve ilave malzeme üzerinde korozif etkileri olmamalıdır.
- Ergime sıcaklığı, ilave malzemenin ergime sıcaklığından 50 – 100 °C kadar düşük olmalıdır. (AWS, 1971 ve 1991, Oğuz 1988)

Bu son husus özellikle operatör için işleme hazır olunduğunun bir işaretidir. Dekapanların görevleri arasında asla bir yüzey temizliği yoktur. Yüzey temizliği mutlaka ayrıca bir görev olarak düşünülmeli ve kesinlikle ihmal edilmemelidir.

Dekapanlar çok sayıda madde içerirler. Bu maddelerin oluşturulduğu bileşikler karıştırıldıktan ya da ısıtıldıktan sonra ilk özelliklerinden çok farklı niteliklere sahiptir. Aşağıda dekapanların imalinde kullanılan başlıca malzemeler görülebilir:

Boratlar, Flüoboratlar, ergimiş Boraks, ıslatma Maddesi, Flüorürler, Klorürler, Borik Asit, Alkaliler ve Su.

AWS ' ye göre dekapanların sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.2 : AWS'ye göre sert lehimleme dekapları (AWS 1971, Oğuz 1988) *

AWS Tip No	Esas Metal	İlave Metal	Uygun Sıc. Aralığı (°C)	Bileşenler	Formları
1	Tüm Sert Lehimlenebilir Al ve Alaşımaları	B Al Si	371 – 643	Florürler Klorürler	Toz
2	Tüm Sert Lehimlenebilir Al ve Alaşımaları	B Mg	482 – 649"	Florürler Klorürler	Toz
3A	1,2 ve 4 Dışında Hepsi	B Cu P B Ag	566 – 871	Borik Asit, Boratlar, Florürler, Floraboratlar İslatma Bil.	Toz, Pasta, Sıvı
3B	1,2 ve 4 Dışında Hepsi	B Cu, BCu P, B Ag B Au RB Cu Zn	732 – 1149	Klorürler, Borürler Boratlar İslatma Bil.	Toz, Pasta
4	Al Bronzu, Al Pirinci, Az Miktarda Al ve Ti içeren Fe ve Ni Esaslı Alaşımalar	B Ag (Hepsine) B CuP (Sadece Cu esaslı Alaş.)	566 – 871	Boraks, Borik Asit Boratlar İslatma Bileşenleri	Toz, Pasta
5	1,2,4 dışında Hepsi	B Ag Hariç, 3B 'nin aynı	760 – 1024		Toz, Pasta Sıvı

*: AWS' nin standartlaştırdığı tüm dekapları bu listede yoktur, sadece en yaygın kullanıma sahip olanlar burada verilmiştir.

AWS'nin sınıflandırmasından başka DIN normlarında da dekapanlar, ağır ve hafif metaller için olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.3 : DIN'e göre ağır metal sert lehimleme ve lehim kaynağı dekapanları

F- SH 1	550 – 800 °C 'e kadar sıcaklıklar için dekapanlar. Bunlar bor bileşikleri, basit ve kompleks florürler içerirler ve 600 °C'nin üzerinde çalışma sıcaklığındaki sert lehimlemelerde kullanılırlar.
F- SH 2	750 – 1100 °C kadar sıcaklıklar için dekapanlar. Bunlar bor bileşikleri içerir ve 800 °C'nin üzerinde çalışma sıcaklıklarında kullanılırlar.
F- SH3	1000 °C 'ye kadar olan sıcaklıklar için dekapan. Genellikle bor bileşikleri, fosfat, silikat vb. içerirler ; yüksek sıcaklık erime noktalı ilave metallere uygulanır.
F- SH4	600 – 1000 °C 'ye kadar olan sıcaklıklar için dekapan. Genellikle klorürler ve florürler içerirler ve 600 °C'nin üzerinde çalışma sıcaklığındaki sert lehimlemelerde kullanılırlar.

Çizelge 3.4 : DIN'e göre hafif metal sert sehimleme ve lehim kaynağı dekapanları

1 . Grup	F – LH 1 Klorürler, florürler ve özellikle lityum esaslı dekapanlar. Dekapan artıkları sulandırılmış nitrik asit ve/veya sıcak su ile yıkanarak temizlenmelidirler.
	F – LH 2 Florür esaslı dekapanlar. Dekapan artıkları iş parçası üzerinde kakabilir. Sert lehimleme yeri rurubetten arındırılmalıdır.
2 . Grup	F – LW Hafif metallerin yumuşak lehimlenmesi için dekapanlar

(F : Dekapan, S: Ağır Metal , H: Sert Lehim, W : Yumuşak Lehim)

3.3 Koruyucu Atmosferler

Sert lehimleme süreçlerinde koruyucu atmosferler ana malzeme üzerinde oksitlerin oluşumunu önlemek amacıyla yönelik olarak kullanılırlar.

Kontrollü atmosferlerin en yaygın kullanıldığı alanlar fırında sert lehimleme ve bazen de endüksiyonla sert lehimlemedir. Kullanımlarında sağladıkları en büyük kolaylık, işlem sonrası temizlik gereksinimlerini ortadan kaldırmalarıdır. Özellikle elektronik tüpü imali gibi kritik uygulamalar, işlem sırasındaki temizlik ve işlem sonrası parça üzerindeki temizlik işlemi olmayışı açısından, kontrollü atmosferlerin kullanımına iyi bir örnek olarak verilebilir.

Sağladığı avantajlarına rağmen kontrollü atmosferlerin sert lehimleme süreçlerinde aktif kullanımı, ilgili atmosferin hazırlanması ile bunların sürekliliklerinin sağlanması ve emniyetin temini gibi amaçlara yönelik olarak ek donatımlar bulundurulması gibi dezavantajlar da getirecektir.

Kontrollü atmosferlerde kullanılan belli başlı gazlara ilişkin olarak kısaca şu bilgiler verilebilir;

CO_2 : Genellikle bir karışım gazı olarak da kullanılan CO_2 , özellikle karbonlu çeliklerin sert lehimleme uygulamalarında kullanılır. Kullanımında daima CO ve O_2 'ye ayrışması ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

CO : Zehirli bir gaz olduğu için kullanımında mutlaka iyi bir havalandırma sağlanmalıdır. Fe , Ni , Co gibi bazı metallerin oksitlerinin redüklenmesinde etkilidir. Özellikle karbonlu çeliklerde kullanımı ile istenmeyecek bir şekilde C yada O_2 ayrışması söz konusu olabilir.

N_2 : Sert lehimleme koruyucu atmosferlerinde tek başına yada karışım gazı olarak kullanılır. Özellikle nitrür oluşması gibi bir ihtimal varken kullanılmamasına özen gösterilmelidir.

H_2 : Bir çok metal oksidinin çözülmesinde kullanılabilir. En büyük dezavantajı kullanımın getirebileceği gevrekleşme etkisidir.

S : Ortama temizle işlemlerinden yada fırın duvarları gibi kanallarla gelebilen, ilave malzemenin akışını zorlaştırma ve gevrekleştirici özellikleri dolayısı ile koruyucu atmosfer ortamında özellikle istenmeyen bir gazdır.

NH_4 : Patlayıcı özelliğinden dolayı özellikle istenmeyen bir bileşendir. Uygun olmayan temizleme işlemleri bu gazın varlığının en temel sebebidir. Dekarbürasyon gibi işlemlerde özellikle kullanımları söz konusu olacaktır.

Su Buharı : Oksitlenmeyi hızlandırarak ilave malzeme akışını güçleştirdiğinden istenmeyen bir bileşendir.

Asal Gazlar : He ve Ar gibi asal gazlar çok nadiren de olsa sert lehimleme atmosferi oluşumunda kullanılırlar. Özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışılması durumunda ana ve ilave malzemedeki uçucu malzemelerin kaybının önlenmesi ile muhtemel bileşim sapmalarının önüne geçilmesinde yararlı bir olmaktadır. (AWS, 1971 ve 1991, Oğuz 1988)

Aşağıda AWS'ye göre sert lehimleme atmosferleri görülebilir:



Çizelge 3.4 : AWS' ye göre sert lehimleme atmosferleri

AWS Tip No	Atmosferler	Max. Çiğ Noktası	% Bileşim				Uygulama		Etki
			H	Z	O	Ö	İlave Mal.	Esas Met.	
1	Yanmış Oda Gazı	Oda Sıcaklığı	5-1	87	5-1	11-12	B Ag, B Cu P, R Cu Zn	Bakır Piring	
2	Yanmış Yakıt Gazı	Oda Sıcaklığı	14-15	70-71	9-10	5-6	B Cu, B Ag, R Cu Zn, B Cu P	Bakır Piring, Nikel, Monel, Düşük Karb. Çelik	Dekarbüre edici
3	Yanmış Yakıt Gazı, Kurutulmuş	-40 ° C	15-16	73-75	10-11	—	2 ile aynı	2 ile aynı, Yüksek Kar. Çelik Ni, Al	
4	Yanmış Yakıt Gazı, Kurutulmuş (Karbürleyici)	-40 ° C	38-40	41-45	17-19	—	2 ile aynı	2 ile aynı, Yüksek Kar. Çelik	Karbüre Edici
5	Ayrılmış Amaonyak	-54 ° C	75	25	—	—	B Ag B Cu P R Cu Zn B Cu, B Ni	1, 2, 3, 4 ile aynı + Cr'lu alaşımlar	
6	Hidrojen	Oda Sıcaklığı	97-100	—	—	—	2 ile aynı	2 ile aynı	Dekarbüre Edici

7	Oksijeni Alınmış ve Kurutulmuş Hidrojen	-59 ° C	100	—	—	5 ile aynı, Co, Cr, Wo Alaş.	Özel Dekapan Kullanılmamak için 1+7 Birlikte
8	Istisilmiş Uçucu Malzemeler	Inorganik Buharlar (Cd, Li, Uçucu Florürler)				B Ag Pirinçler	Özel Amaçlı Parçalar İçin Çok Temiz ve Saf Atmosfer
9	Safleştirilmiş Asal Gaz		A	Basıncı	Helyum, Argon, ..)	5 ile aynı, Ti, Zr	
10	Vakum	2 torr'un üstünde vakum				B Cu P, B Ag Cu	
10A	Vakum	0,5 – 2 torr				B Cu, B Ag Düşük Kar. Çel.	
10B	Vakum	0,001 – 0,5 tor				B Cu, B Ag Karbonlu Çel., Düşük Alaşımli Çelik ve Cu	
10C	Vakum	0,001 tor ve aşağısı				B Ni, B Au Al, Ti, Zr ve B Al Si Ti Alaş., Ref. Mal. Paslanmaz Çel.	

4. SERT LEHİMLEMEDE İŞLEM AŞAMALARI

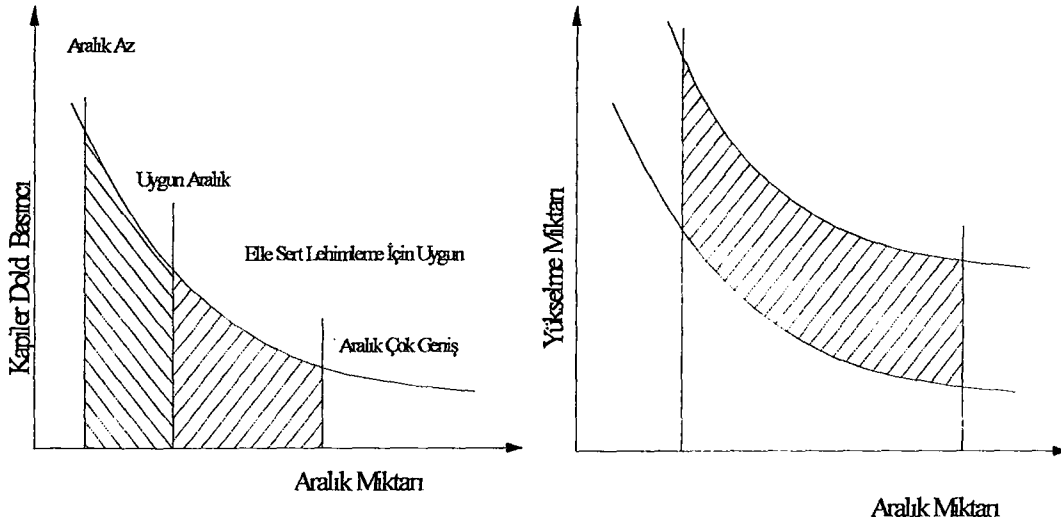
Sert lehimleme ardışık adımlar içeren bir birleştirme yöntemi olduğundan iyi bir birleştirmenin sağlanması için bu ardışık adımların her birinin çok iyi bilinmesi ve uygulanması gerekir. Esasında birden çok parametrenin aynı anda aynı özelliğe etkisinin olabildiği sert lehimleme süreçlerinde her bir adımda gerekli şartlar büyük bir özenle yerine getirilmelidir. Çünkü ihmal edilecek bir işlem basamağı daha sonrasında çok büyük ve hatta uzay yada savunma sanayi gibi uygulamalarda telafisi imkansız durumlara yol açabilir.

Aşağıda gerekli ısı ve ilave malzemenin el ile ortama sürüldüğü bir sert lehimleme süreci ele alınarak söz konusu adımlar incelenecektir.

4.1 Uygun İşlem Boşlukları

Daha önce de belirtildiği gibi sert lehimlemede birleşmenin sağlanmasında kapilarite etkisi en önemli parametrelerden biridir. Bu parametre de, başta çalışma boşluğu olmak üzere değişik parametrelerin bir etkilediği bir büyüklüktür.

Kapilarite açısından gerekli optimum boşluklardan daha düşük boşluklarda çalışılması durumunda ilave malzemenin yeterli derinliklere ulaşmadan birleşmenin bitmesi gibi durumlar ortaya çıkacaktır. Aksi durumda da birleşme bölgesinin dayanımını ilave malzemenin dayanımı belirleyecektir.



Şekil 4.1 : Çalışma Boşluğunun Kapiler Basıncı ve Yükselme Miktarı ile İlişkisi (Anık, 1970)

Çalışma boşluğunu tayin ederken özellikle farklı malzemelerin birleştirilmesini ve bu farklı malzemelerin özellikle yüksek sıcaklıklarda farklı miktarlarda genleşmelere sebep olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Sert lehimlemede aynı veya farklı malzemelerin sert lehimlenmesine ilişkin boşluk değerlerinin belirlenmesine ilişkin olarak ayrıntılı bilgiler daha sonra verilecektir.

4.2 Temizlik İşlemleri

İyi temizlenmiş, oksitlerden ve diğer gayri saflıklardan arındırılmış yüzeyler sert lehimleme işlemlerinde kaçınılmaz birer gerekliliktir. Düzgün bir kapilarite etki, yalnızca bütün gres, yağ, kir, oksit gibi maddelerin birleşme yüzeylerinden giderilmesi ile mümkün olabilecektir.

Burada dikkat edilecek nokta dekapanlama işleminin bir temizlik işlemi olarak görülmemesi, ayrıca bir dekapanlama işleminin kesinlikle ihmal edilmemesi gereğidir.

Temizleme işleminin niteliği ve süresi başta birleştirilecek metallerin cinsine ve yönleme bağlıdır. Temizleme işleminden sonra mümkün olan en kısa sürede sert lehimleme gerçekleştirilmelidir.

Sert lehimlemede temizlik mekanik yada kimyasal olmak üzere iki ana gruba ayrılırsa da dokuz çeşit temizlik yöntemi vardır. Bu yöntemler ve her bir yöntemde kullanılan kimyasal maddeler aşağıda görülmektedir.

- a. Solvent Temizlemesi : Petrol solventleri ve klorlu hidrokarbonlar
- b. Buhar : Stabilize trikloretilen veya stabilize perkloroethilen
- c. Alkalın Temizleme: Silikatlar, fosfatlar, karbonatlar, detarjanlar, sabunlar ve bazen de hidroksitler ile ticari karışımları
- d. Emülsiyon Temizlemesi: Hidrokarbonlar, yağ asitleri, ıslatıcılar, yüzey aktivatörleri
- e. Elektrotik Temizleme: Anodik ve katodik
- f. Asit Temizlemesi : Fosfat tipi asit temizlemesi
- g. Asit Dekapajı : Sülfirik, nitrik ve klorhidrik
- h. Tuz Bonyosu Dekapajı : Elektrolitik ve elektrolitik olmayan
- ı. Ultrasonik Temizleme

Kimyasal temizlemede kullanılacak kimyasal maddenin seçimi, temizlenecek maddenin cinsine, ana malzemeye(malzemelere), yüzey koşullarına ve birleştirmenin tasarımına bağlıdır. Kullanılacak madde ne olursa olsun, temizlenmek istenen tüm maddelerin ve varsa tüm filmin giderilmesine özen gösterilmelidir.

Mekanik olarak da taşlama, zımparalama, fırçalama, kum yada çelik bilya püskürtme gibi yöntemlerle temizleme yapılır. Mekanik temizleme yapılırken yüzeylerin parlatılmaması ve çizilmemesine özen gösterilmelidir.

Püskürtme ile temizleme yapılacak ise püskürtülen malzemenin daha sonra yüzeyde kalmamasına dikkat edilmelidir. (Oğuz, 1988)

4.3 Parçaların Dekapanlanması

Dekapanlama işlemleri sert lehimleme işlemleri için şarttır. Çünkü birleştirme yüzeylerinde önceden olabilecek, temizlik işlemleri ile giderilemeyecek veya işlem sırasında yüksek sıcaklık dolayısı ile oluşabilecek ve akıcılığa güçleştirerek birleşmeye engel teşkil edecek oksitlerin varlığı söz konusu olabilir.

Dekapanlar birleştirilecek parçaları, kaplamada olduğu gibi, tamamen örtecek şekilde sürülebilir. Dekapanların en yaygın kullanımı pasta şeklindedir ve bu şekildeki dekapanın da en yaygın uygulama şekli fırça ile sürme şeklindedir. Pasta halindeki dekapanda bulunan su yada alkol içeriği birleştirme açısından dezavantaj teşkil edecekse toz formunda dekapan kullanılır ve bunlar birleştirme bölgesine serpilir yada ilave malzeme toz içine daldırılır.

Dekapan ister sıvı ister pasta halinde kullanılsın temizlenmiş yüzeye uygulanmalıdır. Eğer dekapanolama işlemi olmadan önce temizlik işlemi yapılmamışsa, birleştirme bölgesinde oksit vb. varsa dekapan yüzeye tam tutunamaz ve akarak fonksiyonunu tam yerine getiremez.

Kullanılacak dekapanın miktarı ısıtma sürecine ve mevcut oksitlerin miktarı ile bunların niteliğine bağlıdır. Örneğin ferro-oksitleri gidermek için çok az dekapan kullanımı yeterli olabileceken Cu ve paslanmaz çeliklerin sert lehimlemelerinde olduğu gibi uygulamalarda daha yoğun dekapanolama gereklidir. Kullanılacak dekapanın miktarı belirlenirken dekapanın oksitleri emen bir sünger gibi olduğu ve bu süngerin ne kadar çok oksit emmiş ise daha sonra temizlemenin de o denli zor olduğu dikkate alınmalıdır.

Dekapan kullanımı olmadan bazı sert lehimleme uygulamaları da mevcuttur. Örneğin Cu – Cu sert lehimlemesinde , özel bir ilave malzeme kullanımı ile, dekapan kullanımı yoktur. Ayrıca kontrollü atmosferde sert lehimleme işlemlerinde de dekapan kullanımı yoktur. (AWS,1991 ; Oğuz 1988 ; Schwartz, 1987)

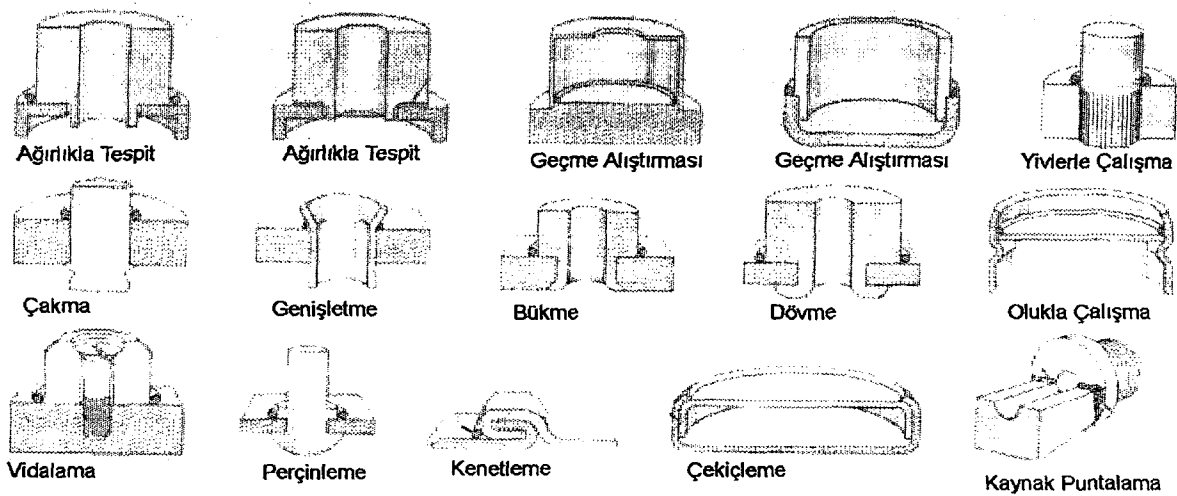
4.4 Parçaların Montajı

Uygun bir şekilde işlenip temizlenen ve dekapanlanan parçaların bir sonraki işlemi montajdır.

Dekapanlama işleminin hemen ardından gelen montaj işlemi ile dekapanlama arasındaki zamanı mümkün olduğunca kısa tutmak dekapanın kurumaması ve parçaların tekrar oksidasyona maruz kalmaması açısından önemlidir.

Montajda en önemli husus parçaların mümkün olduğunca kendi ağırlıkları ile konumlandırılmasıdır. Eğer parçaların yer çekimi ile son konumlarında durması mümkün olmayacak ise tasarımda bazı değişiklikler yapılarak yada bazı basit işlemlerle parçalar amaçlanan konumlarda tutulur.

Eğer sistemde ilave aparat kullanımı söz konusu olacaksa bunların parçalarla temasında ısı iletimini en az seviyede tutacak şekilde noktasal yada çizgisel temas kullanılmalı, ayrıca yine ısı iletimini en az seviyede tutacak şekilde düşük iletimlerde malzeme kullanılmalı ve bu kullanılacak malzeme sert lehimleme koşullarına (sıcaklık ve korozif etkilere) dayanıklı olmalıdır. (AWS, 1991)



Şekil 4.2: Sert lehimlemede bazı kendi kendine tespit yöntemleri (ASM, 1983)

4.5 Sert Lehimleme İşlemi

Yukarıda ifade edilen hazırlık işlemlerinden sonraki bu işlem ısı ve ilave metalin ortama iletildiği ve nihayet birleşmenin sağlanması bu aşamada olmaktadır.

Sert lehimlemede ana malzemeye geniş ölçüde ısı uygulanır. Eğer küçük parçalar sert lehimleniyorsa, bunlarda tüm parça ilave malzemenin akma sıcaklığına kadar ısıtılabilir. Ancak büyük ölçülü bir parça sert lehimleniyorsa, tüm sistemi ısıtmak yerine lokal ısıtma daha uygun olacaktır.

Isıtma yöntemini belirleyen en önemli faktörler parça geometrisi, parça adedi ve malzemedir. Eğer az sayıda parça sert lehimlenecek ise elle üfleç ile ısıtma en uygun yöntemdir. Çünkü bu şekilde ek yatırıma gerek kalmamaktadır.

İlave malzemenin eriyerek birleşmenin sağlanması için parçanın uygun sıcaklığa ısıtılması gereklidir. Ancak parçaların her ikisinin de aynı anda sert lehimleme sıcaklığına ulaşması için ısı kaçışları, parça kesitleri gibi faktörler dikkate alınarak ısıtma yapılmalıdır. Burada en pratik yol dekapanın izlenmesidir. Eğer dekapanın görünümündeki değişim homojen ise parçaların ısınması da homojen olmaktadır.

Ayrıca ilave malzemenin sıcaklığın en yüksek olduğu kesime doğru akacak olmasının mutlaka dikkate alınması gereklidir. Çünkü parçada ilave malzemenin gitmesi gereken yerden daha yüksek sıcaklıkta başka yerler varsa ve bunlar parçanın akışının kolaylıkla olabileceği yerlerde bulunuyorsa, ilave malzeme birleşme yerini doldurmaktan çok buralara yönelecektir.

4.6 Birleşme Bölgesinin Temizlenmesi ve Kalite Kontrolü

Parçaların sert lehimlenmesinden bir sonraki işlem son temizleme ve birleştirmenin kalite kontrolüdür. Kalite kontrol ayrıca ilgili bölümde ayrıca daha detaylı olarak ele alınıp inceleneceğinden bu kısımda sadece sert lehimleme sonrası temizlik işlemi ele alınacaktır. Sert lehimleme sonrası temizlik esas itibarı ile iki adımdan oluşur. İlk adımda dekapan artıkları, ikinci adımda ise sert lehimleme esnasında oluşabilecek oksitler temizlenir.

İlk adımda en çok uygulanan yöntem parçaların sıcak suya daldırılmalarıdır. Burada da ilave malzemenin katılaşmasından sonra 50 °C sıcaklığındaki su kullanılır. Dekapanlar genellikle pul pul olarak dökülür, kalan varsa da fırçalama ile bunlar kolayca giderilebilir. Parçalarda aşırı bir ısıtma yapılmış ise dekapların temizlenmesi biraz daha zorlaşacaktır. Bu durumda parçalar asit solüsyonuna daldırılarak temizlenir. Ayrıca parçaların dekaplarla korunmayan kısımlarındaki oksitlerin kaldırılması da asit ile olmaktadır. Ancak asit kullanımı olduğunda mutlaka ek önlem alınması sağlığın korunması açısından gayet önemlidir.



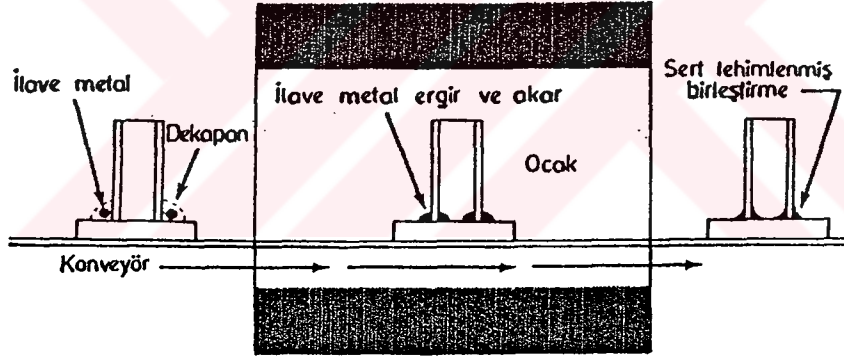
5 . SERT LEHİMLEME YÖNTEMLERİ

5.1 Fırında Sert Lehimleme

Enerji kaynağı olarak fırın ve demir olmayan ilave malzemelerin kullanıldığı küçük parçaların birleştirilmesi için seri bir üretim prosesidir. Eğer lehimlemeden önce ilave malzeme yerleştirilir ve birleştirme sırasında uygun pozisyonda tutulursa fırında sert lehimleme bu tür parçalar için en uygun yöntem olarak ön plana çıkar.

Fırında sert lehimleme çevrimi içinde yapılan sert lehimleme ve soğutma sırasında, çelik parçaları oksidasyon ve dekarbürüzyona karşı korumak üzere uygun bir atmosfer gerekir. Fırında sert lehimleme atmosferinin görevi, (genellikle dekapan kullanmadan) ergimiş ilave metalinin birleştirilecek yerleri uygun bir şekilde ıslatmasını sağlamaktır.

Fırında sert lehimleme işlemlerinde , bakır dışında ilave metaller kullanılabilmesine rağmen, bunlar genellikle düşük maliyet ve birleştirmede gösterdiği yüksek dayanım nedeniyle daha çok tercih edilir.

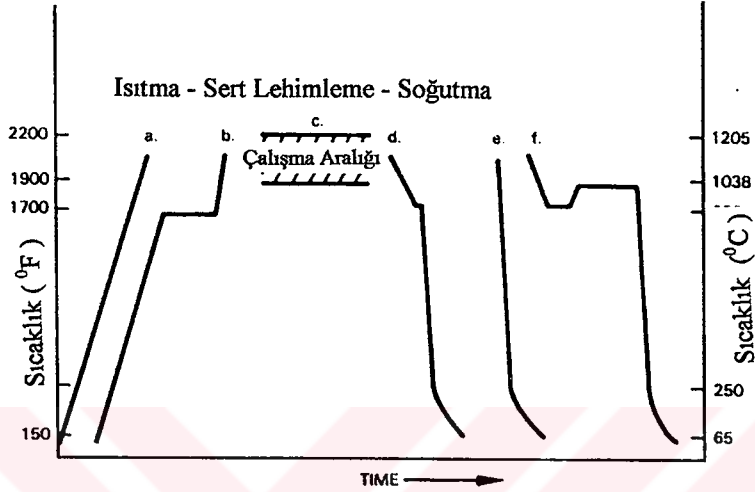


Şekil 5.1 Şematik olarak fırında sert lehimleme (Oğuz, 1988)

Uygulanabilirlik :

Büyük parçalar özel olarak imal edilmiş fırınların yapıldığı bu yöntemde genellikle en etkili ve ekonomik olarak sert lehimlenen parçalar $\approx 1,8$ daN'dan (5 lb.) daha hafiftir ; parçaların ebatları, onları sert lehimleme sıcaklığına getirecek ısı ihtiyacı ile sınırlıdır. Birçok çelik parça $590 - 620^{\circ}\text{C}$ 'de sert lehimlenir. Bu sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık gerektiğinde fırın dizaynı ve işlemlerin sınırları zorlanmaktadır.

Fırında sert lehimlemede bazen tasarım gereği tutma aparatları kullanımı gerekebilir, fakat mümkünse kullanılmamalıdır. Çünkü bunlar ağırlık eklerler ve yüksek sıcaklıklara çıkma tekrarlandıktan sonra boyutsal değişimler gösterebilirler. Kızakla destekleme, baskı, çentik, kenar kıvrırma sıkı geçme ve tutturma kaynağı ile sert lehimleme için uygun bir montaj yapılır.



- a Sert lehimleme sıcaklığına direkt çıkma, genellikle uniform ve ince kalınlıklar için
- b Belirli bir sıcaklığa kadar çıktıktan sonra bir süre bekleme ve sert lehimleme sıcaklığına çıkma, genellikle uniform olmayan kalınlıktaki parçalar için
- c Sert lehimleme aralığı
- d Belirli bir sıcaklığa yavaş, sonra hızlı soğuma
- e Oda sıcaklığına hızlı soğuma
- f Difüzyon

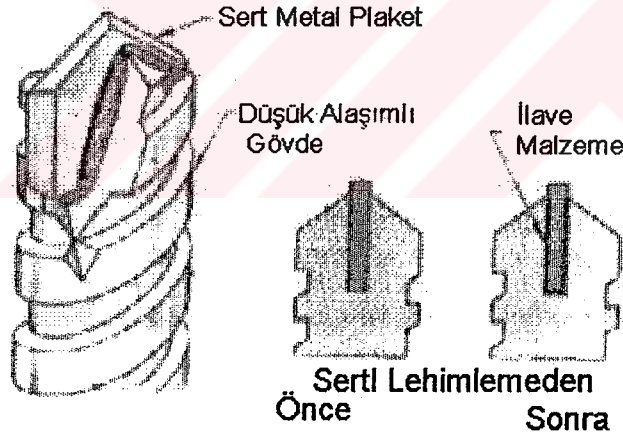
Şekil 5.2 Fırında sert lehimlemede sıcaklık çevrimi (AWS, 1991)

Avantajları :

Fırında sert lehimlemenin diğer sert lehimleme işlemleri üzerindeki temel avantajı; çeşitli koruyucu atmosferlerin kullanımına izin vermesidir. Bunlar zengin egzotermik esaslı, endotermik esaslı ve bazı hazır, ticari nitrojen esaslı atmosferlerdir ve ucuzdurlar; büyük hacimlerde fabrikalarda üretilebilirler veya ticari N₂ esaslı atmosferik tabakalarda olduğu gibi fabrika dışında sıvı olarak depolanabilirler. Bu atmosferik tabakalar oksidasyona karşı çok iyi bir koruma sağlar ve atmosfere bağlı olarak % 0,2 - 1 C arasında değişen herhangi bir karbon potansiyeli ile hazırlanabilirler. Karbon potansiyeli, iş parçasındaki karbon içeriğine uygun bir atmosferik tabaka seçilerek, sert lehimlemecek iş parçasının karbürasyonu veya dekarbürasyonu olmadan birleştirme başarılabilir.

Fırında sert lehimleme için kullanılan koruyucu atmosferler demir oksitleri başarılı bir şekilde azaltırlar. Bu atmosferler iş parçası üzerindeki hafif oksit tabakasını azaltırlar ve sert lehimleme çevrimi sırasında ileride ortaya çıkabilecek oksit tabakalarına engel olurlar. Oksitsiz bir yüzey ergimiş ilave metalin iş parçasının üzerini ıslatmasını destekler. Buna rağmen toplam % 2 – 3 Cr, Mn, Al ve Si'den fazla alaşım içeren bazı düşük alaşımli çelikler daha stabil bir oksit tabakası oluşturur ve bunlar yüksek redükleyici atmosferik tabakalar (örneğin kuru hidrojen veya çözülmüş amonyum gibi....), dekapan veya uygun bir ıslatma etkisi elde edilmesi için Ni kaplama gibi uygulamalar gerekli olabilir.

Fırında sert lehimlemenin diğer bir temel avantajı da, hücre şeklinde olsun veya sürekli tipte olsun, düşük birim maliyetlerde büyük miktarlarda parçaların birleştirilebilmesidir. Fırında sert lehimleme seri imalatta en verimli ve en ekonomik metottur, fakat az sayıda parça üretiminde yeterli esneklikte değildir. Çünkü bu durumlarda birim maliyet yüksek oranlarda olur.



Şekil 5.3 Beton delme matkabının fırında sert lehimlenmesi

Fırında sert lehimleme bazen üretim hızını arttırmak için diğer bir sert lehimleme işleminin yerini alır. Örneğin şekil 5.3 ' te gösterilen beton delme matkabında gümüş alaşımli ilave metal kullanılarak bir sert metal plaket uç, düşük alaşımli çelik gövdeye tamamen endüksiyon sert lehimlemesi kullanılarak birleştirilir. Matkap gövdesinde kesme ucundaki açıklık, sert metalinin tatlı sıkı geçeceği şekilde açılır.

Ancak bu matkaplardan büyük miktarlarda üretildiği zaman fırında sert lehimleme endüksiyonla sert lehimlemenin yerini alır. Sıkı geçme ise, sert metal ucun fırında sert lehimleme sırasında gövdeyle pozisyonda durması için yapılır. Matkaplar sert lehimleme fırınına konveyör ile ilave metalin maksimum yayınımlarını verecek hızda ayarlanarak taşınırlar. Bu yöntemle sert lehimleme 600 ila 610 °C 'de yapıldığında saatte 1000 – 1100 adet 3/16 " çaplı matkap veya 3/8 " çaplı 500 – 600 adet matkaplık bir üretim hızına ulaşılabilirdiği görülmüştür. (ASM, 1983)

Birleştirmeler fırında sert lehimlenmeye uygun şekilde tasarlanmalıdır Mümkünse ilave metal birleşme yerine veya kalın parça üzerine önceden yerleştirilmelidir. Böylece ince olan ilave metalin, parçalar sert lehimleme sıcaklığına varmadan ergiyip akma eğilimi azaltılmış olur.

Üfleç ve bunun gibi parçaları yerel olarak ısıtan diğer yöntemlerin aksine, fırında sert lehimlemede parçaların tümü ısıtılmış olduğundan çalışma sıcaklığında doğru birleştirme aralığı elde etmek için metallerin ısıl genleşmelerindeki farklılıklar mutlaka dikkate alınmalıdır.

Kalın ve hafif kesitli parçaların birleştirilmesinin söz konusu olduğunda, hafif kesitli parçaların fırın hücresinin şiddetli radyasyonundan korunmaları, çoğu kez daha üniform bir sert lehimleme sağlar. Böyle bir koruma, değişik kesitli parçaları yaklaşık aynı zamanda gerekli sıcaklığa getirir.

Fırında sert lehimlemede parçaların kendi kendilerini tespit edecek şekilde tasarlanmaları istenir. Böylece fırın, ayrıca tespit tertibatını ısıtmak zorunda kalmaz ve ekonomik olur. Tespit tertibatının kullanımının zorunlu olduğu hallerde ise, tertibatın malzemesi birbirini takip eden ısıtmalara dayanıklı olmalıdır.

Fırında sert lehimleme, soğutma dahil bütün sert lehim çevrim adımlarında kapalı devre kontrollü ve üniform sıcaklık sağlayabilir. Hem ısıtma hem de soğutma sırasında atmosferik koruma sağlayabilir. Farklı hücrelerde veya fırının farklı bölmelerinde değişik koruyucu atmosferler oluşturabilir. Bu uygulama ticari N₂ esaslı atmosferlerde yaygındır. Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin sert lehimlenmesinde nadir olmasına rağmen özel olarak dizayn edilmiş fırınlarda, kontrollü vakumda sert lehimleme yapılabilir. Vakumda sert lehimleme, genellikle paslanmaz çelik, süper alaşımlar, alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları ve refrakter malzemeler için kullanılır.

Fırında sert lehimleme, sert lehimleme sıcaklığında parçalarda üniform bir ısı dağılımı sağlar. Buna rağmen, eğer sert lehimlenecek parçalarda, kesitlerde kalınlıklar farkı büyükse, bazen parçaları (ilave malzemenin ergime sıcaklığının biraz altında) önceden ısıtmak gereklidir. Aynı parça üzerinde birçok birleştirme tek bir operasyonda da sert lehimlenebilir. Uygun bir atmosferik koruma ile yaklaşık 650 °C' de fırının soğutma hücresinden çıkan sert lehimlenmiş parçalar, temiz ve parlaktır. Ayrıca bir temizleme operasyonuna ihtiyaç duyulmaz.

Fırında sert lehimleme sınırlarının çoğu, Cu esaslı ilave malzemesi ile sert lehimlenecek çeliklerde, yüksek sıcaklık istenmesi ile direkt olarak ilgilidir. Bu sıcaklıklar, Ag esaslı ilave malzemeler ile sert lehimlemede gerekli ortalama sert lehimleme sıcaklığını aşar. Yüksek sıcaklıklarda ise orta karbonlu, yüksek karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerde tane irileşmesine ortaya çıkar ve ayrıca yüksek sert lehimleme sıcaklığı fırın parçalarının ömrünü etkiler.

Diğer tip sert lehimleme cihazları ile karşılaştırılacak olursa;sert lehimleme fırınların ve atmosferik tabaka üretim cihazlarının fiyatı yüksektir. Bu yüzden, eğer üretim miktarı düşük ve diğer sert lehimleme yöntemlerinin kullanımı mümkünse fırında sert lehimleme uygun olmayabilir. Buna rağmen eğer sert lehimleme fırını mevcut ise, az sayıdaki parçalar da ekonomik olarak sert lehimlenebilir.

Ticari ve hazırlanmış atmosfer tabakaları zehirli bileşimler içerebilir. %5 veya daha fazlası yanıcı gaz (H₂ , CO ve CH₄) olan bu tabakalar alevlenme ve patlama felaketine sebep olabilir. Güvenlik önemli ve havalandırma sistemlerinin bakımı mecburidir. Fırının parçalarının ömrü ile ilgili bütün dezavantajlar fırın dizaynı ve malzemelerindeki gelişmelerle azalmaktadır.

Fırında sert lehimleme temel olarak dört aşamaya ayrılabilir; temizleme, montaj ve tutturma, sert lehimleme, soğutma.

(ASM 1983, Oğuz 1988)

Temizleme:

Genellikle mekanik operasyonlarda kullanılan yağların ortadan kaldırılması için kullanılır. Tavsiye edilen temizleme metotları alkalın temizleme, çözücü temizleme ve buharla gresin alınmasıdır. Parçalara alkalın temizlemesi uygulandığı zaman, fırın öncesi parça üzerinde kalan alkalın bileşiklerinin yok edilmesi gerekir. Kurşun içeren dövme bileşikleri genellikle mekanik temizleme metotları ile ortadan kaldırılır. Bunlara, kuru kum savurma veya abrasiv çamuru ile ıslak savurma örnek olarak verilebilir. Eğer bunlar tamamen ortadan kaldırılmazsa, kurşun içeren dövme bileşikleri sert lehimlenmiş birleşmenin kalitesini ve fırın parçalarının ömrünü oldukça kötü yönde etkiler.

Montaj:

Fırında sert lehimlenecek parçalar genel olarak sıkı geçme, baskı veya diğer tutma ihtiyacını azaltacak yöntemlerle monte edilebilecek şekilde dizayn edilirler. Ancak buna rağmen nadiren de olsa tutuculara ihtiyaç duyulabilir. Bu tutucuların görevi, parçaların fırın içinde uygun olarak konumlandırılması ve erimiş ilave metalin gerekli yöne doğru akmasını sağlamaktır.

Temizlenmiş parçalar önceden yerleştirilmiş sert lehimlenecek birleştirme yerinin içine yada yakınına konan ilave metalle birlikte monte edilirler. Daha sonra parçalar fırın konveyörüne yüklenir.

Sert Lehimleme :

Monte edilen parçalar, uygun bir koruyucu atmosferik tabakanın bulunduğu ısıtılan sert lehimleme hücresine taşınır. Parçalar, ilave metalin erime derecesinden daha yüksek bir sıcaklığa ulaştığı zaman, ilave metal metal yüzeyini ıslatır ve akarak birleşme yerini kapilarite etkisi ile doldurur. Bağın oluşumunda, ilave metal eritmeden esas metal yüzeyi ile bir difüzyon olayı gerçekleştirir. Birçok çelik parçada fırında sert lehimleme için ısıtma zamanı 10 – 15 dk. arasındadır.

Soğutma :

Parçalar koruyucu bir atmosferik tabaka altında (genellikle sert lehimleme hücresinde kullanılan tabaka ile aynı) soğutulan soğutma hücresine, taşınırlar. Parçalar soğutma hücresinde genellikle yaklaşık 65 ° C' de havaya çıkartıldıklarında renk değiştirmeyecek kadar soğumuş olurlar.

(AWS,1983 ve 1991 Oğuz, 1988)

5.2 Üfleçle Sert Lehimleme

Üfleçle sert lehimleme, birleştirilecek yere yakın veya üstüne çarptırılan gaz alevlerinden alınan ısıyla sert lehimlemenin yapıldığı prosestir. Bu proseste kullanılan üfleçler elle tutulan tipte veya birkaç alevin çıktığı tipteki hamlaçlar olabilir. Oksijen veya hava ile yanan birçok tip yakıt gazı mevcuttur. Üfleçle sert lehimleme, tamamen elle, yarı mekanize olmuş şekilde ya da tamamen otomatik bir proses şeklinde yapılabilir.

Üfleçle sert lehimleme, düşük karbonlu ve alaşımlı çeliklerde kullanıldığı gibi paslanmaz çelik, dökme demir, bakır ve bakır alaşımlarına hatta sert metallere de uygulanabilir. Yüksek alaşımlı çelikler, ısıya dirençli alaşımlar, alüminyum alaşımları ve reaktif metaller genelde diğer metotlarla sert lehimlenirler. Çünkü bu metaller özel sert lehimleme atmosferlerine, kapalı ısı çevrim kontrollerine yada her ikisine birden ihtiyaç duyarlar.

Ekipman maliyeti düşük olduğundan elle üfleç sert lehimlemesi, küçük üretim miktarlarına en uygun yöntemdir. Diğer sert lehimleme metotları ile yapılması zor veya imkansız olan fiziksel ölçüler ya da konstrüksiyondan gelen zorluklar olduğu zaman üfleçle sert lehimleme kullanışlı olabilir. En önemli dezavantajı ise; yüksek işçilik ve iyi bir üretim için hünere ihtiyaç duyulmasıdır. Üretim miktarları daha fazla olduğunda, üretimi saatte 400 – 1400 parça olan otomatik üfleçlerle sert lehimleme kullanılır.

Kullanılan Gazlar :

Asetilen, doğal gaz, propan ve gaz karışımları çeliklerin üfleçle sert lehimlenmesinde sık kullanılan petrol gazı tipleridir. Hidrojen, bütan gazı nadiren kullanılır. Elle üfleç sert lehimlemesinde, hızlı ısıtmasından dolayı oksijen ana yanma aracı olarak kullanılır. Eğer düşük alev sıcaklığı ve ısıtma hızı sorun teşkil etmez ise, daha ucuz oksijen kaynağı olarak sıkıştırılmış hava veya yüksek hacimde düşük basınçlı vantilatör uygun olabilir. Her iki yöntem de üfleç sert lehimlemesinde kullanılabilir.

Sıkıştırılmış hava kullanımı otomatik operasyonlarda maliyet açısından bir avantaj teşkil eder. Sıkıştırılmış hava doğal / gaz ikilisinin kullanılmasındaki önemli bir avantaj da otomatik uygulamalarda eğer konveyör ve döner tabla ekipmanları devre dışı kalsa bile iş parçalarının aşırı ısınmaları ihtimali daha azdır.

Prensipler ve Teknikler :

Üfleçle sert lehimleme prensipleri diğer sert lehimleme proseslerinden sadece teknikte farklıdır. Sert lehim bağı aynıdır; uygun ilave metal, ısıtılan fakat erimeyen esas metal parçalar arasındaki birleşme yerine yakın yerleştirilip kapilarite etkisi ile burayı doldurması sağlanır.

Kullanılan İlave Metaller:

Çelik parçaların sert lehimlenmesine en uygun iki tip ilave malzeme gümüş alaşımları ve bakır – çinko alaşımlarıdır. Gümüş alaşımları bakır alaşımlarından daha pahalı olmasına rağmen daha düşük sıcaklıkta erirler. Gümüş alaşımlarından yapılan ilave metallerin gerilme dayanımı düşük karbonlu çeliğinkinin yaklaşık yarısı kadardır, bununla beraber bu alaşımlar doğru olarak dizayn edilmiş birleşmelerde kullanıldıkları zaman oldukça büyük dayanımlar elde edilebilir. Bakır – çinko ilave metallerinin gerilme dayanımı düşük karbonlu çeliklerinkiyle yaklaşık aynıdır.

Tasarım:

Çeliğin üfleçle sert lehimlenmesinde, en çok kullanılan ilave malzemeleri 0,025 ila 0,127 mm' lik (0.001 – 0.005 ") bir birleşme aralığına (sert lehimleme sıcaklığında) ihtiyaç duyarlar. Böylece iyi bir kapilarite akışı sağlanabilir. Isıl genişlemenin büyük olduğu durumlarda oda sıcaklığı ölçümlerinde bu aralığın sağlanması gereklidir.

Birleştirmeler ya yüzeyden beslenecek yada ilave malzemenin önceden yerleştirildiği şekilde tasarlanmış olmalıdır. Önceden yerleştirme; otomatik sert lehimlemede, büyük alana sahip birleşmelerde yada yüzeyden besleme ile penetrasyon güçlüğü olan şekillerde kullanılır.

Kesme yükleri için dizayn edilen bindirme birleşmeleri genelde çekme yükleri için dizayn edilen alın birleştirmelerine tercih edilir.

Dekapanlama :

Isıtmadan önce, akışın desteklenmesi ve üfleçle sert lehimlenecek birleşme üzerine ilave metalin bağ oluşturmalarını sağlamak için birleşme yerine dekapan uygulanır. Dekapan parçaları temiz tutmak içindir, kirli parçaları temizlemek için kullanılmaz. Dekapanın üç temel fonksiyonunu; oksijeni dışarıda tutarak ısıtma sırasında metal yüzeylerin oksitlenmesini önlemek, ısıtma sırasında oluşabilecek yüzey oksitlerini çözmek ve absorbe etmek, erimiş ilave metalin temiz yüzeyler üzerinde akışını sağlamak şeklinde ifade edilebilir. Dekapan; toz, pasta, sıvı, ince çamur veya dekapanla ilave metalin karıştırıldığı bir pasta şeklinde uygulanabilir. Gaz alevi ile buhar şeklinde kullanmakta mümkündür.

Isıtma :

Sert lehimlemede ısıtma, düzensiz ısıtma ve soğutmalarından kaçınacak şekilde yapılmalıdır. Çelikleri sert lehimleme sıcaklığına getirmek için üfleç çok az redükleyici veya normal aleve ayarlanır. Aşırı ısınmadan ve esas metalin erimesinden korunmak için üfleç ucu, alevin içindeki çekirdek bölge iş parçası yüzeyine çok yaklaşmayacak konumda tutulmalıdır. Isıtma dış bölgedeki alev çevresi ile yapılır. Elle sert lehimlemede bölgesel aşırı ısınmalardan kaçınmak için üfleç sürekli hareket halinde olmalıdır. Her iki birleşme parçasının üniform bir sert lehimleme sıcaklığında olması için alev aşağıdaki sıra ile uygulanmalıdır.

- Birleşecek parçalar eşit olmayan kütlelerde ise; dekapanın erimesi ile sert lehimleme sıcaklığına ulaşıldığını gösterene kadar ısı daha ağır olan parçaya uygulanır.
- Sonra sert lehimleme sıcaklığına erişene kadar daha hafif parça ısıtılır.
- Son olarak birleşme yeri ısıtılır, aşırı ısınmanın olmamasına dikkat edilmelidir. Eğer ilave malzeme önceden yerleştirilmiş ise bütün birleştirme boyunca akar, birleşme uçlarından görünür ve alev kaldırılır. Ya da ilave malzeme önden doldurma ise, ilave metal alevin parçalara çarptığı yerin öncesine veya arkasına yerleştirilmelidir.
- Eğer mümkünse, üfleç ısısının ilave metale direkt olarak uygulanmasından kaçınılmalıdır.

Bazı uygulamalarda, ağırlığı fazla olan parça verilen enerjinin hepsini alabilir, daha küçük parça tamamen kondüksiyonla ısıtılır. Isıl iletkenlikleri farklı parçaların sert lehimlenmesinde ısıl iletkenliği yüksek olan parça, aynı türden malzemedeki parçaların sert lehimlenmesinde daha ağır parçaymış gibi bünyesine daha çok enerji alır.

Sert lehimleme için tüp veya geçme parçalar ısıtıldığı zaman, alev ilk önce içteki parçaya uygulanmalıdır; böylece iç parça genişler ve sıkı olarak yerleştirilir. Sonra ısı dış parçaya veya daha ağır parçaya sevk edilir. İç parçanın daha sonraki ısınması dış parçadan kondüksiyon yoluyla olur. Yerleştirme gibi sıkı değilse kondüksiyon zayıf olur. Isıtma ilave metalin akış sıcaklığından biraz daha fazla olana kadar devam ettirilir. Aşırı ısınmadan kaçınılmalıdır, fazla ısı dekapanı bozar ve etkisini yok eder. Sert lehimleme dekapanları ilave metallerin erime derecesinden daha düşük sıcaklıkta erirler. Dekapanın erimesi sert lehimleme sıcaklığına erişildiğinin göstergesidir. Dekapan ısıtıldığında ilk önce su bileşeni buharlaşır, toz çökeleği kalır. İleri ısıtmalarda dekapan erir ve temiz, ince bir sıvı görünümü alarak birleşme yerine akar dolayısıyla yüzeyleri oksidasyondan korur. Eğer işlemler yukarıda anlatıldığı gibi gerçekleşirse sıcaklık sert lehimleme sıcaklığındadır ve temastan sonra ilave metal eriyerek hızlı bir şekilde birleşme yerine akar. Eğer kontakten sonra ilave metal erimez ve akmazsa birleşme sert lehimleme sıcaklığında değildir, yani ısıtma işlemine devam edilmesi gerekir.

İlave Malzemenin Beslenmesi :

Üfleçle çeliğin sert lehimlenmesinde kullanılan iki ana ilave metal gümüş ve bakır – çinko alaşımıdır. Bunlar çeşitli çaplarda çubuk ve tel, çeşitli kalınlıklarda şerit ve toz gibi formlarda hazır olarak bulunabilir. Birleştirmedeki ilave metal miktarı doldurulacak birleşme boşluğu, hacmi ve istenilen yuvarlaklık hacmine bağlıdır. Genelde ilave metalin kendini çekmesinden dolayı biraz taşacak şekilde doldurulur. Çubuk veya teli elle beslemede, kullanılan ilave metalin büyüklüğü birleşme tamamlanmadan önce yeni uzunluğa başlamak için sert lehimleme kesilmesinden kaçınacak kadar büyük olmalıdır. İnce malzemeler için çubuk veya tel çapı daha ince olmalıdır. Kalın ilave metaller yavaş erirler hatta zayıf akışa veya fazla ısınmaya yol açıp ince parçanın zarar görmesine dahi sebep olabilirler.

Üfleçle Sert Lehimleme Ekipmanları :

Elle üfleç sert lehimleme ekipmanları, elle oksijen - asetilen kaynağında kullanılan ekipmanların aynı veya çok benzeridir. Bunlar gaz üretici, regülatör, hortum ve gaz üfleci olarak sıralanabilir. Bu bölümde ekipmanlar geniş çapta anlatılmayacaktır.

Kaynak işlemlerinde gerekli olan oksijen - asetilen alevindeki yüksek ısı yoğunluğu sert lehimlemede gerekli değildir. Diğer gazlar; örneğin doğal gaz, propan ve çeşitli karışımlardaki gazlar oksijenle hava ile yanmada kullanılır. Oksijen - asetilen alevinin yüksek ısısı daha kısa sert lehimleme ısısı ve işçilik masrafını azalttığı için yüksek seri üretimlerinde avantaj sağlayabilir. Oksijen - asetilen ısıtması pahalı olduğu için bazen hava / propan veya hava doğalgaz ısıtması ile kombine olarak kullanılır. Örneğin ağır çelik üfleçle sert lehimlenmesinde, parçalar sert lehimlemeden önce 250 °C 'ye kadar ön ısıtılır.

Oksijen - yakıt gaz kombinasyonunun seçilmesi gaz üretim ekipmanını ve regülatör dizaynını belirler; aynı zamanda kullanılan hortumların niteliğine de etki eder. Üfleç parçalarının, hortumların, regülatörlerin ve gaz üreticilerinin büyüklükleri gerekli ısıtma kapasitelerini ile yakından ilgilidir.

Elle üfleç sert lehimlemesi için ekipmanlar genel kaynak ve kesme operasyonlarına ilaveler içerir. Tüplerde petrol gazı kullanıldığı zaman; el ekipmanları portatiftir, aksesuarlar, ısıtma üfleçleri ve uçları, gaz tutucular, gaz dekapanlama ekipmanlarıdır.

Elle üfleç sert lehimlemesi genelde, refrakter tuğla üzerine ateşe dayanıklı, çimento sıvanmış duvarla çevrili bir iş masasında yapılır. Refrakter tuğlalar elde mevcut olarak bulundurulmalıdır. Bunlar parçaların pozisyonunda durması için yardımcı olabilirler ve parçalar sert lehimlenirken üflece destek görevi görebilirler. Çıkan ısı sert lehimleme için beklenen parçaların ön ısıtılmasında da kullanılabilir. Fiberglas, plastik ve seramik yüzeyler, ısı kalkanları personeli ve çevredeki ekipmanları üflecin ısısından korumak için bunun yanında üfleçten yayılan ısının muhafaza edilmesi için kullanılır.

(ASM,1983 ; Oğuz, 1988)

5.3 Endüksiyonla Sert Lehimleme

Endüksiyonla sert lehimleme, bobin veya endüktörler kullanılarak direkt bir elektriksel temas olmadan enerjinin endüksiyon yolu ile iş parçalarına geçtiği ve birleştirilecek parçaların birleşme yerlerinin ya da buralara yakın kısımların sert lehimleme sıcaklığına çıkartıldığı bir prosestir.

Birleşmeyi sağlayacak ısı iş parçalarının elektriksel öz dirençleri ve iş parçası üzerinden indüklenmiş alternatif akımın geçmesi sonucu üretilmektedir. İş parçası ferromagnetik olduğu zaman (çelik gibi), manyetik gecikmeden (histerisis) dolayı ek ısı oluşur. Manyetik gecikme sonucunda oluşan bütün ısı iş parçaları 'Küri' (yaklaşık 771 °C) noktasına ulaştığında kesilir. Bu sıcaklığın üstünde, sıcaklık arttıkça elektriksel direnç sonucu ısınma azalan hızla artmaya devam eder.

Endüksiyonla ısıtmanın derinliği temelde alternatif akımın frekansına bağlıdır. Frekans arttığı zaman, hem akım geçme derinliği ve iş parçasında ısınma alanının derinliği azalır. Örneğin , 3 kHz frekansta teorik olarak akım penetrasyonu yaklaşık 0,9 mm iken 500 kHz de 0,075 mm' ye iner.

Temel olarak endüksiyonla sert lehimlemenin avantajları kısaca şöyle sıralanabilir.

- Birleşecek olan parçalarda bazı yerlerinin ısıtılması istenmeyebilir. Bu durum , örneğin fırında sert lehimlemede, önemli bir sorun iken endüksiyon ile sert lehimlemede böyle bir sorun yoktur.
- Parçanın tümünün ısıtılması ekonomik olmamaktadır.
- Yalnız birleşme yerinin ısıtılması, deformasyonları ve oksidasyonları önleme açısından önemli avantajlar sağlayabilir.
- Çok hızlı ısıtma sonucunda, havada, alevle veya hava ile çalışan elektrikli fırınlarda sert lehimlemeye göre iş parçasının yüzeyi daha az oksitlenir. Hızlı ısıtma ana metalin hızlı tane büyümesi ve rekristalizasyonunu önler.
- İşlem parametrelerinin makinaya bağlı olması operatörün çok maharetli olması gereğini ortadan kaldırır.

Endüksiyonla sert lehimlemede iş parçasının diğer alanlarına ısı yayılması kondüksiyona bağlıdır. Genelde, kondüksiyon ile akan ısı endüksiyonun çok hızlı gerçekleşmesi nedeniyle en az düzeydedir.

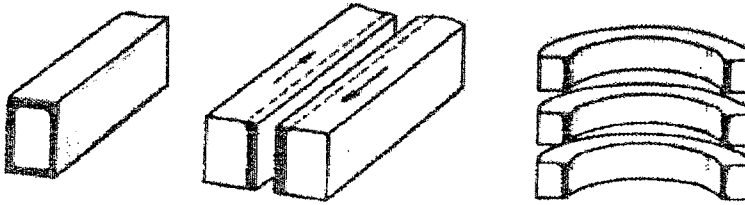
Her alternatif akımda olduğu gibi, endüklenmiş akım yoğunluğu ve buradan da iletkene ısı girişi, kesiti boyunca üniform olmayıp komşu iletkenlerin elektromanyetik ve magnetik alanları tarafından saptanır. Burada, dış kabuk etkisi, yakınlık etkisi ve halka sargı etkisi olmak üzere üç etki tipi rol oynamaktadır.

Dış kabuk etkisi, bir iletkenin içinden geçen bir alternatif akım yoğunluğunun iletkenin yüzeyinde azami olup eksenine doğru hızla azalması şeklinde ifade edilebilir. Akımın, içinde endüklendiği iletkenin elektrik iletkenliği ve magnetik nüfuziyeti kabiliyetinin yüksekliği arasında bu etki belirgin olur.

Yakınlık etkisi, birbirlerine yakın iletkenler arasında; bunların içinde akım akışı yönünde üniform olmayan akım yoğunluğuna bağlıdır: alternatif akımın azami yoğunluğu, akım geçiş yönünün aynı yada farklı olması halinde iletkenlerin sırasıyla birbirlerine ters yada komşu yanlarında görülür. Yakınlık etkisi iletkenler birbirlerine yaklaştırıldıklarında daha kuvvetli olur.

Halka etkisi, halka şeklinde sarılmış bir iletkenin elektromagnetik alanının simetrik olmayışından ileri gelir: alan çizgileri birbirlerine, halkanın iç yüzeyine daha yakın, dış yüzeyinde daha uzak olurlar.

Sözü edilen her üç etki, yüksek akım frekansında, daha kuvvetli olur. Bu birleşik etkilerin sonuçları birbirine eklenebilir yada birbirinin etkilerini azaltabilir.



a Dış Kabuk

b Yakınlık ve

c Halka Etkileri

Şekil 5.4 Dış kabuk, yakınlık ve halka etkisi

Frekans Aralığı:

Endüksiyon sert lehimlemesi için kullanılan frekanslar güç hatları frekansı 60 Hz'den yaklaşık 450 kHz' e kadar değişebilirler. Daha yüksek frekans aralığı ısı penetrasyonu istendiğinde seçilmelidir. Çeliklerin yüzey sertleştirilmesi için endüksiyon ısıtmasında, yüksek güç girdisinde sıg ısı penetrasyonu gereklidir. Böylece hızlı ısıtma ve ısının derinliğinin kontrolü gerçekleşir. Çelik parçaların sert lehimlenmesinde, birleştirilerek yüzey çiftlerinin ısıtılmasında daha derin ve uniform olması tercih edilebilir. 450 kHz gibi yüksek frekansların avantajı, demir olmayan metallerin sert lehimlenmesi veya çeliğin demir olmayan metale sert lehimlenmesi veya manyetik olmayan (ostenitik) çeliklerin sert lehimlenmesinde daha uygun olmasıdır. Genelde sert lehimleme uygulamaları için frekans nadiren 10 kHz' in altındadır.

Proses Kapasitesi:

Diğer birleşme işlemlerine göre endüksiyon sert lehimlemesinin temel avantajı oksidasyonu minimize eden ve böylece sert lehimleme sonrası temizliği azaltan yüksek hızlı bölgesel ısıtmadır. Çünkü ısıtma bölgeseldir, deforme olma tüm sistemin ısıtılmasından daha azdır. Endüksiyon ile sert lehimlemede değişkenlerin çoğu makina kontrolüdür. Bu yüzden, minimum eğitim ve hünere ihtiyaç duyan endüksiyonla sert lehimleme ile temiz ve düzgün birleşmeler elde edilir. Birleşme yerinde aşırı sıçramalar veya ilave metalin istenilmeyen veya ihtiyaç olmayan yerlere akması gibi sorunlar gözükmez.

Sert Lehmlenen Metaller:

Al ve Mg hariç diğer sert lehimleme prosesleri ile birleştirilen metallerin çoğu havada endüksiyon sert lehimlemesi ile başarılı bir şekilde birleştirilebilir. Endüksiyon sert lehimlemesinin çoğu koruyucu atmosfer olmadan yapıldığı için ısıtma ve soğutma çabuk yapılmalıdır.

Benzer olmayan metaller endüksiyonla sert lehimlenebilir. Manyetik bir metal manyetik olmayan bir metalle endüksiyonla sert lehimlendiği zaman ısınma hızı farkları özel tekniklerle eşitlenmelidir. Bu tür özel teknikler aynı zamanda endüksiyonla sert lehimlenecek benzer olmayan metallerin ısıl genleşme katsayılarındaki farkların eşitlenmesinde de kullanılabilir.

Boyut Sınırlandırması:

Endüksiyonla sert lehimleme çoğunlukla küçük ve orta büyüklükte parçalara uygulanır. Büyük parçaların sert lehimlenmesi dizayn ve montaj problemleri yaratır, ayrıca uygun güç ihtiyacı problemi vardır. Sert lehimleme sıcaklığı, endüksiyonla sert lehimlenebilecek sistemlerin boyutlarında sınırlamalar meydana getirir.

Normal olarak, endüksiyonla sert lehimlenecek maksimum sıcaklık sınırı, fırında sert lehimlenmedeki sıcaklık sınırını aşar. Fırında sert lehimlemede bütün parça sert lehimleme sıcaklığına çıkartılır. Endüksiyon sert lehimlemesinde ise endüktör ısının birleşme alanında sınırlanmasına göre dizayn edilir.

Şekil Sınırları:

Endüksiyonla sert lehimlemede hemen her parça - endüktör tasarımı, endüktör empedansı ile uygunluk, güç kaynağının karakteristikleri gibi bazı değişkenlere de bağlı olmak üzere birleştirilebilir. Birçok düzensiz, karışık dizaynların endüktörleri yapılabilmesine rağmen, pratik sınırlar verilen çapta ve kalınlıkta bakır tüplerin bükülmesi ve form verilmesindedir. Endüktörün tasarımında aşırı ısınmadan korumak için su soğutması ve empedans uygunluğu mutlaka göz önünde tutulmalıdır.

Isıtmada maksimum verim genellikle, dış yüzeyde dönen bir veya daha fazla basit halka endüktörü kullanılması, ile silindirin dış yüzeyinin ısıtıldığı durumlarda elde edilir. İçine endüktör yerleştirilerek içi boş silindirlerin iç yüzeylerinin ısıtılması uygundur ve genellikle ısı transferi ve ısı genleşme nedeniyle bir avantajdır.

Yüksek operasyon frekanslarında, keskin köşelere sahip iş parçaları endüksiyonla sert lehimlemede zarar görme açısından hassas olabilirler. Çünkü tepeler veya noktalar sert lehimleme sıcaklığına ulaşılmadan önce aşırı ısınabilirler. Buna rağmen bazı tekniklerle parçaların zarar görmesi önlenir.

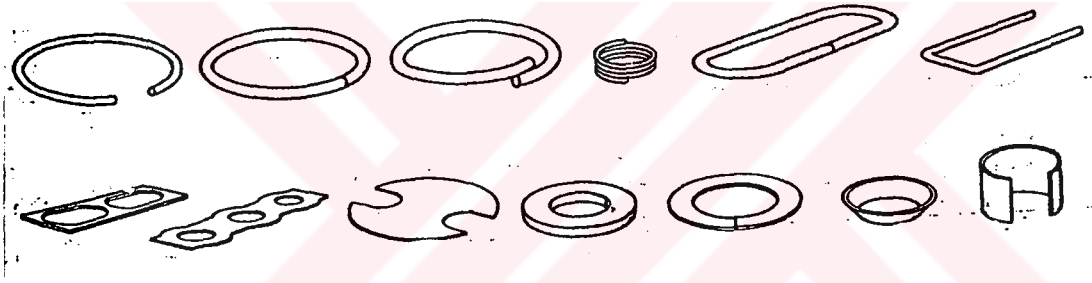
Endüksiyonla sert lehimlemede tutturma tertibatı kullanımı yaygın değildir, ancak bazı özel durumlarda gerekli olabilirler. Endüktörün bir parçasına 50 mm'den daha yakın veya temasta bulunan tutturma tertibatları için ısıya dayanıklı metal olmayan malzemeler örneğin yalıtkan fiberglas, seramikler, ve kuvarz tercih edilir. Alüminyum, bakır ve titanyum tutturma tertibatı endüktörden uzak oldukları ve endüktör tarafından ısıtılmadığı durumda kullanılır.

Miktar Sınırlaması:

Endüksiyonla sert lehimlemede seri üretim problem değildir. Çünkü birçok endüktörün yapılması basittir ve pahalı değildir, ayrıca tutma tertibatlarının ne hazırlanması zordur nede pahalıdır. İşlem elle, çeşitli büyüklüklerdeki ve şekillerdeki parçalara uygundur. Aynı endüksiyonla ısıtma makinaları ısıl işlemde de kullanılabilirdiği için ısıl işlem ve sert lehimleme birbirlerine adapte olabilirler.

Endüksiyonla sert lehimleme ve ısıl işlem sıcaklığı çoğunlukla yakın olduğundan dolayı iki operasyon benzer şekilde yada sırayla yapılır. Bazı uygulamalarda sert lehimleme, sertleştirme ve temperleme bir otomatik operasyonda yapılarak maliyetten tasarruf sağlanır.

Üretim miktarları arttığı zaman endüksiyon sert lehimleme düzeneği kısmi veya tam olarak otomatikleştirilir.

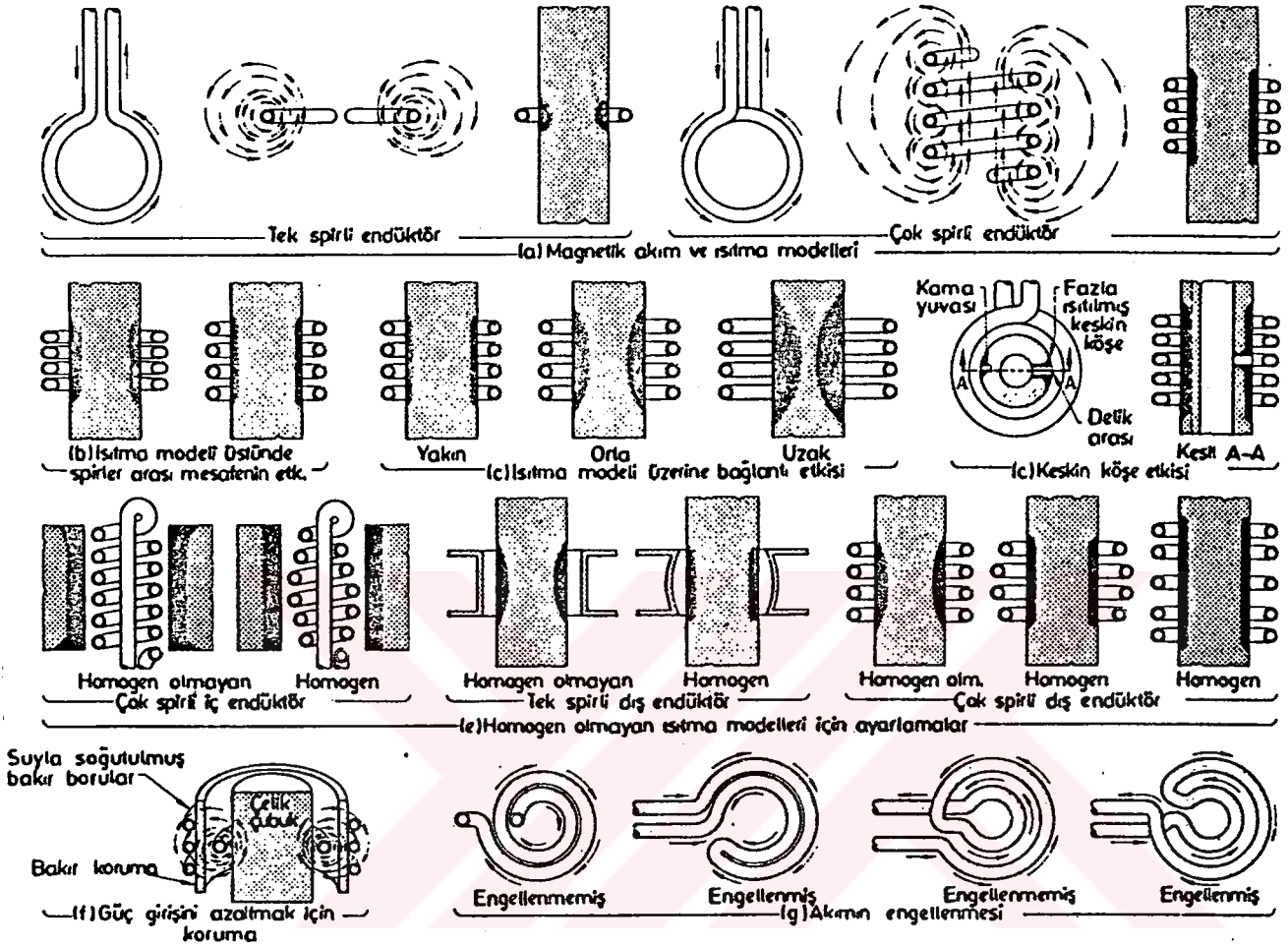


Şekil 5.5 Endüksiyon ile sert lehimlemede kullanılan bazı ilave malzeme formları

Endüktörler:

Endüksiyonla elde edilen ısıtma şekillerini etkileyen değişkenler şunlardır.

- Magnetik alanı oluşturan endüktörün biçimi,
- Endüktörde sargı sayısı,
- Endüktör sargıları arasındaki mesafe,
- Sargılarla iş parçası arasındaki mesafe (hava aralığı),
- Magnetik alan içinde veya buna yakın metalik kılıfların varlığı,
- Endüktör içinde veya buna yakın metalik kılıfların varlığı,
- Çalışma frekansı ve
- Alternatif akım güç girişi.



Şekil 5.6 Endüksiyon ile sert lehimlemede kullanılan bazı endüktörler ve bunların meydana getirdikleri manyetik alanlar

Burada,

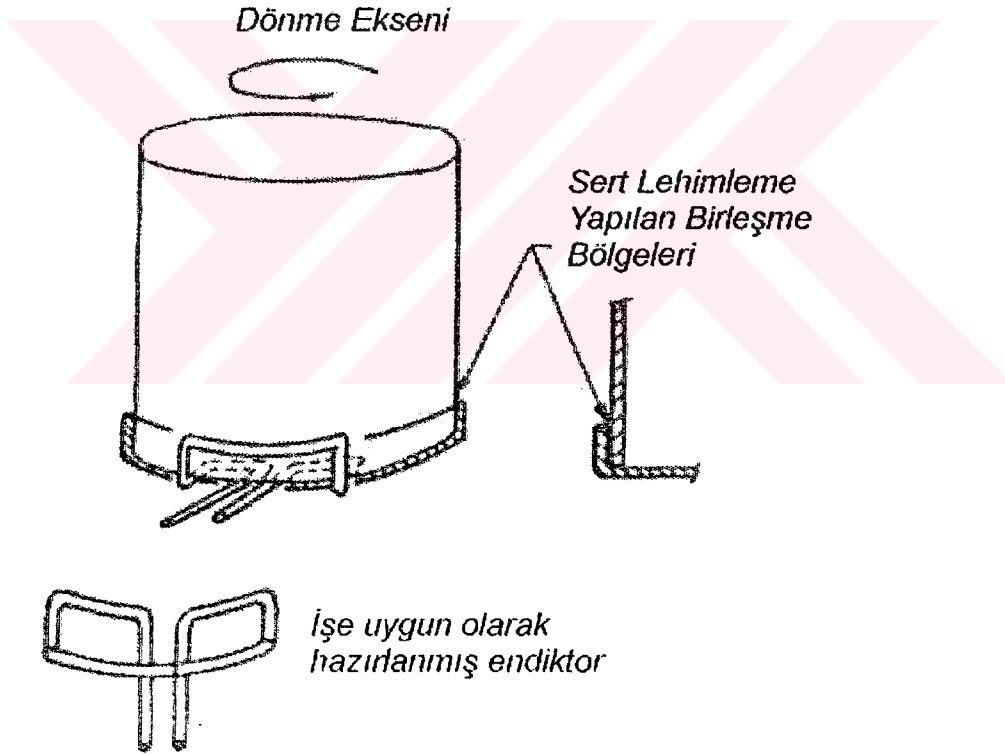
- Tek ve çok sargılı meydana getirdiği ısıtma biçimi boyunca magnetik akış şekilleri
- Isıtma şekli üzerinde endüktör sargı hatvesinin etkisi
- Daha sık (küçük hatveli) sargıların daha derin bir sıvı türü hasil etmeleri ve iş parçasıyla endüktör arasındaki hava aralığının etkisi
- Bir kama yuvasında olduğu gibi keskin köşelerin etkisi
- İçten ısıtma amaçlı bir çok sargılı endüktörde sargı çevresi değişmesinden meydana gelen ısıtma şekli değişimleri, tek sargılı bir endüktörde bağlantı, bobin çevresi ve hatvesi

(f) Endüktörün güç girişinin bir miktarını ve böylece de ısıtma derece ve şiddetini dağıtmak için bir dış bakır kılıf kullanılmasının etkisi

(g) Akış alanlarının gelişmesi ve engellenmesi (bir endüktörün sargıları akımı aynı yönde sevkedecek şekilde yapıldığında bir akış alanı gelişir, akımı karşıt yönlerde taşıyacak gibi yapıldığında magnetik alan engellenir) gösterir.

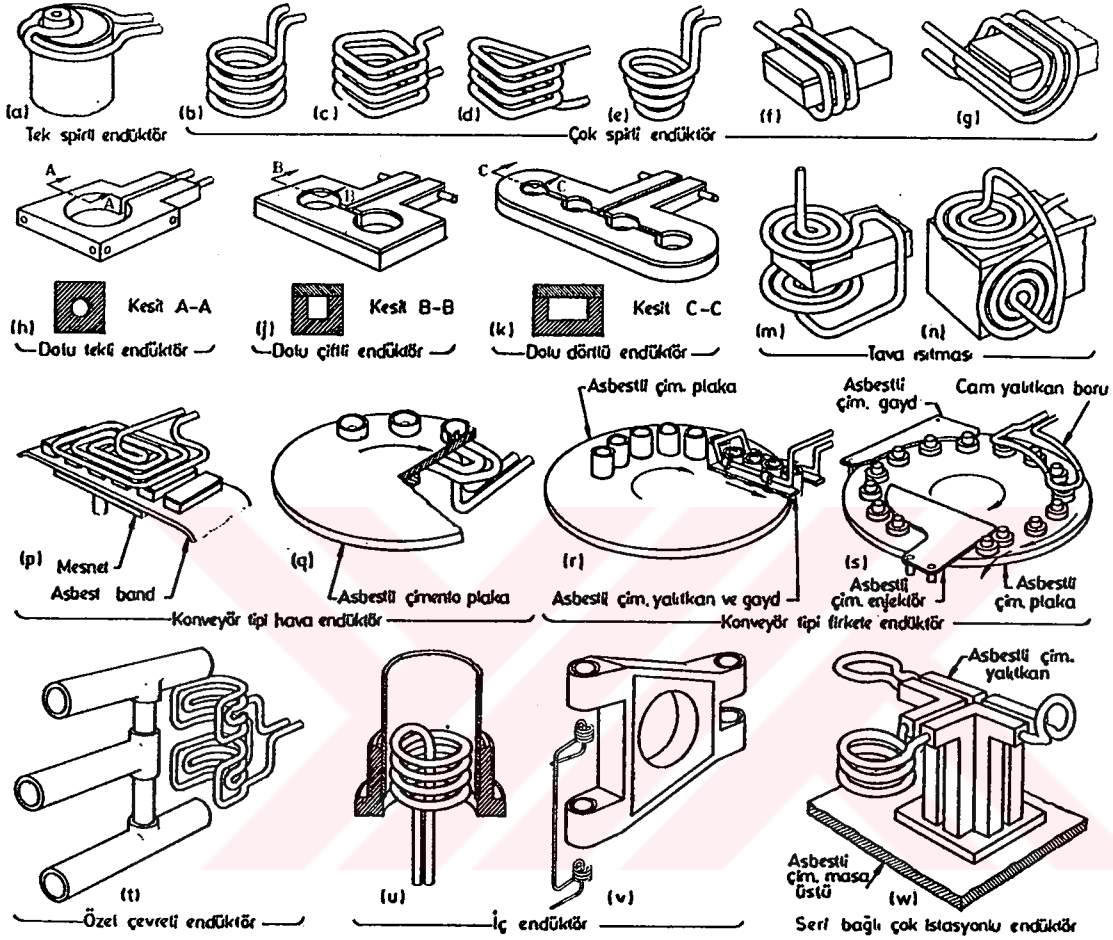
Sert Lehimleme İçin Endüktör Dizayını:

Bir endüksiyonla sert lehimlemenin başarısı büyük ölçüde endüktörün tasarımına bağlıdır; bu da sert lehimlenecek birleşmenin boyut ve görünümüne, istenilen ısıtma modeli, iş parçasının asgari oksitlenmesini sağlayacak ısıtma süresine bağlıdır. Üretim miktarı da endüktör dizaynını etkiler. Parçalar bir konveyör bandı yada tabla üzerinde taşınırken, takılmadan



Şekil 5.6 Endüksiyon ile sert lehimlemeye bir örnek; büyük olan bu silindir ısıtılarak yavaş yavaş döndürülür ve adım adım sert lehimleme ile birleşme sağlanır.

ısıtma bölgesine girip çıkabilen yassı tipte bobinlerle sert lehimlenebilirler. Şekil 5.6' da bir büyük silindirin, küçük bölgeler halinde ısıtılarak yüksek frekans (450 kHz) bobiniyle sert lehimlenmesini gösterir. Silindir yavaş yavaş döndürülür ve birleşme adım adım gerçekleşir.



Şekil 5.7 Endüksiyon ile sert lehimlemede kullanılan bazı endüktörler

Endüksiyon sert lehimleme donanımı üç ana tipe ayrılır: motor-generator, kıvılcım (ark) aralıklı ve vakum tüpü. Sınıflandırma amacıyla motor-generator alçak frekanslı (10 kHz' e kadar), kıvılcım aralıklı orta frekanslı (20-30 kHz) ve vakum tüplü de yüksek frekanslı (200-500 kHz) olarak adlandırılır.

Endüksiyon ısıtma cihazının başlıca parçası endüktör bobini (veya bloğu) olup bunların çoğu kullanıcı tarafından basit olarak imal edilebilir. Bobinler, genellikle boru halinde bakırdan, bazen de içinde soğutucu su kanalı açılmış bakır bloğundan yapılır. Bobinin, çalışma sırasında soğutulması esastır.

Bobinle sert lehimlenecek parça arasındaki açıklık miktarı önemlidir. Bobinle iş parçası arasındaki aralık 2 ila 20 mm. arasında olur. Daha geniş aralıklarda iş parçasının ısınma derecesi düşer. Buna karşılık dar aralıklarda iş parçası veya ergimiş dekapanla bobin sargılarının teması (kısa devre) söz konusu olabilir. Kısa devreyi önlemek üzere sargılar vernik veya silikata batırılmış asbestle yalıtılır.

Yüksek frekansla endüksiyon sert lehimlenmesi dış kabuk ısıtılması şeklinde olup sert lehimlenecek alana uygun ısı kondüksiyonu için bir aralık bırakılmalıdır. Daha alçak frekanslı güç kaynakları daha derin ısıtma sağlayıp çoğunlukla kalın kesitlerin sert lehimlenmesinde kullanılır.

Küçük birleşmeler 10 sn veya daha az bir sürede sert lehimlenir. Endüktörlerin çoğu ticari bakır borulardan yapılır. Düşük güçlü tesislerde Ø 3,5 mm, 20 ila 50 kW'lık tesislerde de Ø 5 - 6 mm' lik boru kullanılır.

Motor-generatör ünitelerinden elde edilen frekanslar (10 kHz'e kadar endüktörler) genellikle iki esas dizaynda olur:

- (a) Yüksek akım yoğunlukları (jeneratörün çıkış akımının 20 ila 50 katı) için tek sargılı bobin, nispeten dar bir şerite ısı sağlamakta kullanılır.
- (b) Alçak akım yoğunlukları (jeneratör çıkış akımının 1 ila 5 katı) için daha geniş şerit yada alanın ısıtılmasında kullanılır. Tek sargılı endüktörler ile generatör arasında genellikle bir düşürücü transformatör bulunur.

Endüksiyonla sert lehimleme geniş ölçüde çeliği bakır ve nikel alaşımlarının, kendi kendini dekapanlayan gümüş ilave metallere, birleştirilmesinde kullanılır. Sıcaklık kontrolü ile yanma tehlikesinin kontrolü güç olduğundan, alüminyum nadiren bu yöntemle sert lehimlenir.

Endüksiyonla sert lehimlemesi için ilave metalde aranının en önemli nitelik, dar ergime aralığıdır. Çünkü geniş ergime aralıklı ilave metallere daha yavaş akarlar. Hızlı akış endüksiyon sert lehimlemesinde , bu durum zamanın az olmasından dolayı aranan bir özelliktir.

(ASM, 1983; AWS1991, Oğuz 1988)

5.4 Elektrik Direnci ile Sert Lehimleme

Elektrik direnci ile sert lehimleme, iş parçası ve elektrotlardan geçen elektriksel akıma malzemenin gösterdiği dirençten dolayı oluşan ısı ile iş parçasının lokal olarak ısıtıldığı ve bu ısı ile önceden birleşme yerine yerleştirilen ilave malzemenin ergimesi ile birleşmenin sağlandığı bir sert lehimleme yöntemidir. Elektrik direnci ile sert lehimleme uygulamalarında akım birleşme yerinden geçer. Kullanılan donanımlar direnç kaynağı ile kullanılanlarla aynıdır. Elektriksel kantağın birleşme yerinde sağlanması için elektrotlara çok düşük bir basınç uygulanır ve bu basınç aynı zamanda kapilarite için gerekli olan sıkı geçme birleşmelerini de sağlar.

Uygulanabilirlik

Elektrik direnci ile sert lehimleme, iş parçalarının birleştirilecek olan yüzeylerinin ya düz ya da yeterli temas alanının sağlanabildiği, parçaların birleşme yerlerinde basınç altında akımın geçmesinin mümkün olduğu ve ilave metalin kapilarite etkisi ile birleşme yerine yayılabildiği birçok farklı şekildeki parçaların birleştirilmesinde kullanılabilir.

Elektrik direnci ile sert lehimleme, bağlantı alanı nokta veya dikiş kaynağındakinden daha büyük ve mukavemeti de daha fazladır. Dirençle sert lehimleme, direnç kaynağı makinalarında, yüksek üretim hızlarında, düşük işçilik maliyetinde ve operatör hüneri gerekmeksizin yapılabilir.

Birleştirilen Metaller

Elektrik direnç ile sert lehimlemede birleştirilen metaller çoğunlukla bakırdır. Yüksek dirençli elektrotlar, elektrot yüzeyleri ile direnç sert lehimlemesi yüksek iletkenliğe sahip malzemede bölgesel bir ısıtma sağlamanın etkili bir yoludur. Bakır ayrıca dekapan kullanmadan havada kendinden dekapanlı ilave metali kullanarak sert lehimlenebilen bir metaldir. Bakır alaşımları elektrik anahtarlarında, elektrik kesici düzeni ve güç dağıtım donanımlarında direnç sert lehimlenerek kullanılır. Dirençle sert lehimlemenin önemli bir uygulaması, ağır iş devre anahtarları ve diğer elektriksel donanımlarının yapımında kullanılan bakır ile dirençle sert lehimlenen gümüş, gümüş-grafit, gümüş-molibden, gümüş-tungsten ve bakır-tungstenden yapılan elektrik kontaklarıdır.

Fabrikalarda çok az uygulamada, bakır ve bakır alaşımları çelik ve diğer metallere dirençle sert lehimlenir. Isı eşanjörleri için çelik veya diğer metallere yapılan kanatlar düşük karbonlu tüplere dirençle sert lehimlemesi ile birleştirilir. Paslanmaz çelik, nikel alaşımları ve alüminyum sınırlı bir alanda dirençle sert lehimlenir. Yukarıda bahsedilmeyen diğer metallere de nadiren dirençle sert lehimleme yapılabilir.

Donanım

Dirençle sert lehimleme basit olarak alışlagelmiş bilinen direnç kaynağı donanımları ile yapılır. Genelde ısıtma ve soğutma zamanları dirençle sert lehimlemede direnç kaynağından daha uzun ve elektrot kuvveti daha azdır.

Direnç nokta kaynağı makinaları, dirençle sert lehimlemeye uygun operasyon durumunu sağlayacak şekilde değiştirilebilir. Direnç kaynağı donanımlarına adaptasyonda gerekli diğer değişiklikler, elektrot tutucular ve elektrotlardır.

Güç Kaynağı

Elektrik dirençle sert lehimleme için güç kaynaklarının çoğu düşük voltaj yüksek amperaj veren klasik direnç kaynağı transformatörleridir. İkinci devrede özellikle yüksek dirençli elektrotlar kullanılırken dirençle sert lehimlemede direnç kaynağından daha yüksek voltaja ihtiyaç vardır.

Kapasitörler veya kapasite düzenekleri, oldukça küçük ısı girdisi ve ısıtma zamanının çok düşük olduğu tellerin veya diğer küçük parçaların dirençle sert lehimlenmesinde güç kaynağı olarak kullanılabilir.

Kontrol

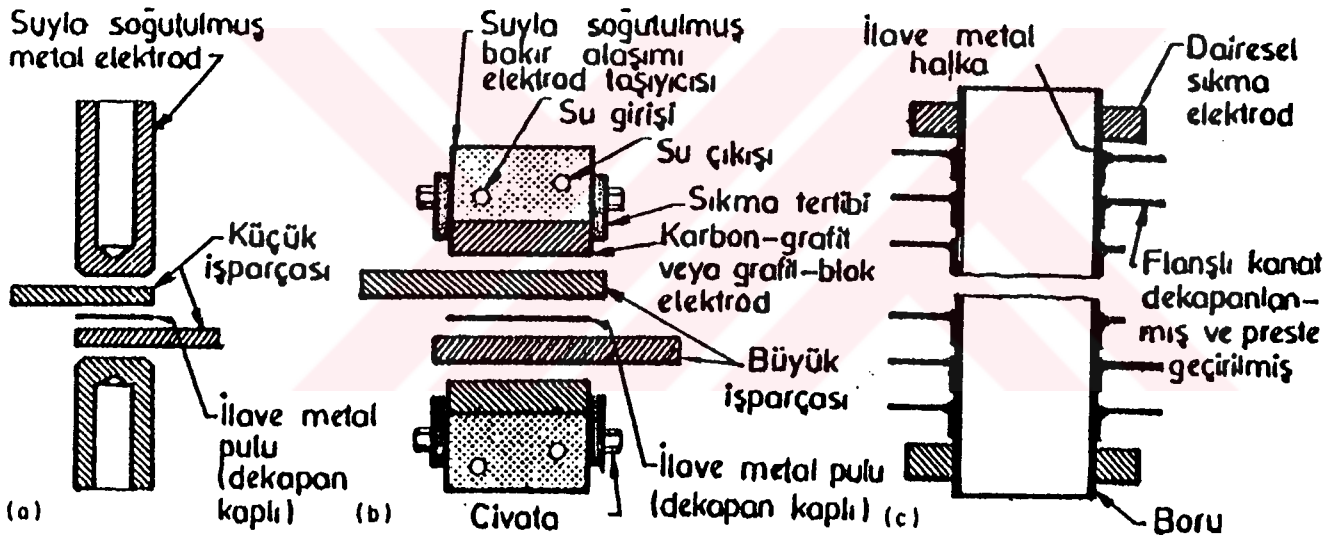
Dirençle sert lehimleme için kontrol direnç nokta ve alın kaynağındakine benzerdir. Sert lehimleme akımı, elektrod kuvveti ve zamanlaması otomatik olarak kontrol edilir. Rampa kontrolü ve puls gerektiği yerde makinaya programlanabilir.

Dirençle sert lehimleme de çoğunlukla basit görünüşlü birleşmelerde kullanılır. Sert lehimlenecek alanın geniş yada süresiz veya bir boyutta çok daha uzun olması durumunda uniform akım dağılımı, dolayısıyla uniform ısıtma elde etmek güçtür. Dirençle sert lehimlemenini uygulanacağı parçalar \varnothing 0,03 - 0,12 mm. telden yaklaşık 65 - 100 cm²

birleşme alanına sahip parçalara kadar değişik ölçülerde olabilir. Bununla birlikte direnç sert lehimlemede yüksek üretim hızlarında birleşme alanı 0,6 - 4 cm² yi aşmamalıdır.

Elektrotlar

Dirençle sert lehimlemede kullanılan elektrotları, karbon veya grafit, tungsten, molibden ve bazı durumlarda yüksek elektrik dirençli iletkenlerden yapılır. Sert lehimleme için ısıyı elektrotlarda oluşturulur ve iş parçalarına kondüksiyon yoluyla geçer. Isı kaynağı olarak sadece iş parçalarının direncini kullanmak genellikle iyi sonuç vermez. Akım, nokta kaynağındaki gibi yüksek olduğundan parçalar fazla ısınmadan ilave metalin akmasını için yeterli zaman vermek güçtür.



Şekil 5. 8 Şematik olarak elektrik direnci ile sert lehimleme

- a- Su ile soğutulmuş küçük yassı parçalar
- b- Su soğutmalı bakır alaşımli blok kullanımı
- c- Dairesel elektrotlarda kanat kullanımı

Akım geçiş süresi küçük ve hassas işler için yaklaşık bir saniyeden, büyük işler için birkaç dakikaya kadar değişir. Basınç, akım geçiş süresince, akım kesildikten sonra ve birleşme hareketine imkan verecek katılaşmaya gelene kadar uygulanmalıdır.

Elektrot Dizaynı

Ticari olarak hazır bulunan dirençle kaynağın elektrodları, iş parçası dizaynı, boyutları ve birleşme izin verdiği durumlarda kullanılır.

Elektrodlar işe uygun uç şekillerini sağlamak için işlenirler. Karbon elektrodlar, parça şekline ve boyutlarına bağlı olarak ya standart metalik elektrodlar şeklinde ya da düz bloklar şeklindedir. Büyüklük genellikle uniform ısı ve soğutmayı elde etmek veya güç kaynağı kapasitesi akımı nedeniyle sınırlıdır.

Yüksek dirençli veya uzun aşınma ömrüne sahip elektrod malzemesi gerektiği zaman, daha ucuz malzemedен yapılmış sapa tutturulan kaplama, geçme şeklinde elektrotlar kullanılır. Elektrod tutucuların ve elektrodların su soğutması direnç kaynağındaki gibidir.

İlave Metaller:

Mevcut ilave metallerden ancak birkaçı dirençle sertlehimlemede geniş ölçüde kullanılır. İlave metalin seçiminde en önemli husus erime sıcaklığının düşük olmasıdır. Çünkü iş parçasının yerel ısınmasının mümkün olduğunca az olması istenir. İlave metaller genelde önceden yerleştirilir.

Dekapanlama:

Tüm dirençle sert lehimleme birleştirmelerinde dekapan gereklidir. Burada dekapan, diğer sert lehimleme işlemlerindeki görevlerinin yanı sıra bir de birleşecek parçalar arasında elektrik iletimine mücade eden bir iletken görevi de görür. Kuru dekapanlar iletken olmadığından suyla karıştırılarak kullanılırlar. Dekapan, genellikle sulandırılmış pasta halinde, parçaların birleştirilmesinden kısa bir süre önce tatbik edilir. Pasta uniform bir tabaka halinde değil de topaklar içerdiği takdirde ark oluşur ve bir patlama söz konusu olabilir. İlave metal toz halinde ise dekapan bununla ince taneli pasta halinde karıştırılabilir.

İki durumda dekapan gerekmez. Direnç sert lehimlemesinin bir vakum yada koruyucu redükleyici bir atmosfer altında yapılması ve BCu-P ilave metali ile sert lehimlenmesi durumlarıdır. Bazı özel durumlarda, sert lehimlemenin temizlenmesinden veya yüzeylerin mekanik olarak sıyırılmasından hemen sonra yapılması durumunda işlem havada ve dekapansız gerçekleştirilebilir.

Temizleme

Diğer sert lehimleme metodlarında olduğu gibi, iş metalinde gres, yağ, kir ve oksit tabakası bulunduğu durumlarda, kimyasal ve mekanik temizleme, direnç sert lehimlemesinden önce ilave telin erimesi ile ıslatma ve kapilarite akışına izin vermek için yapılmalıdır. Direnç sert lehimlemesinden sonra dekapan atıklarının kaldırılması genellikle gereklidir ve sıcak suda yıkayarak giderilebilir. Eğer bu etkili değilse kimyasal ve mekanik yollar da denenebilir.

Sert lehimlenmiş bakır parçalardan dekapan artıklarının kaldırılmasında en çok kullanılan teknik, parçalar hala sıcakken fakat lehim alaşımının katılaşma sıcaklığının altında iken bunları soğuk suya daldırmak veya akan sudan geçirmektir.

(ASM, 1983; AWS ,1971 ve 1991; Oğuz , 1988)

5.5 Daldırma Yöntemi ile Sert Lehimleme

Daldırma sert lehimlemesi birleşecek parçaların ısıtma ve bazen de dekapanlama etkisini sağlayan bir tuz banyosuna daldırılması ile gerçekleştirilir. Banyo sıcaklığı ilave metalin ergime sıcaklığının üstünde fakat ana metalin erime sıcaklığının altındadır.

Avantajları ve Sınırları:

Daldırma yöntemi ile sert lehimlemenin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

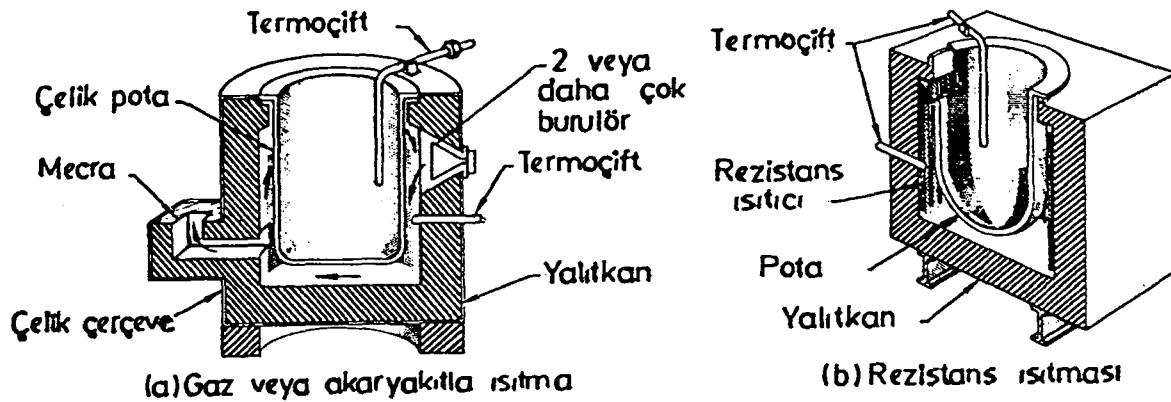
- Isıtma süresi, kontrollü atmosferle fırında sert lehimlemedeki ısıtmanın yaklaşık dörtte biridir.
- Çıktı içeren birleştirmelerde sadece çıkıntılı kısmın bölgesel olarak banyoya daldırılması ile birleşme sağlanabilir.
- Soğuk parçalar erimiş tuza daldırılınca bunların etrafında aniden donmuş tuz filmi oluşur ve böylece geçici bir yalıtkanlık meydana getirilerek genellikle ilave metalin erken ergimesi önlenir.
- Uygun bir tuz bileşimi seçilirse çoğu kez iş parçasının ısıtılması ve dekapanlaması beraber yapılır. Buna rağmen, dekapan birleşme yerine önceden sürülüp kurutulabilir.
- Sert lehimleme işlemi genellikle, yeniden ısıtmaya gerek olmadan, sementasyon yada sertleşme ile birleştirilebilir.
- Aynı anda birçok parça sert lehimleme imkanı vardır. Buradaki belirleyici sınır, parça boyutları, fırının boyutu ve fırın kapasiteleri olmaktadır.

- Tuz banyosundan çıkan iş parçalarının üzerine yapışmış ince tuz filmi bu parçayı dekarbürizasyondan korur.
- Oluşan tuz filminin temizlenmesi suya daldırma veya yıkama işlemleri ile olur. Dekapan kullanılması durumunda bunun temizlenmesi gibi bir sorun yoktur. Çünkü dekapan ya sert lehimleme işlemi sırasında ya yok olur ya da yıkamada tuz filmiyle birlikte erir.

Daldırma yöntemi ile sert lehimlemenin dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Yöntem ancak seri halde üretimlerde uygundur.
- Parçalarda çıkıntı içermeyen bölümler lokal daldırma ile sert lehimlenemez; parçaların tümü daldırılmalı ve ısıtılmalıdır.
- İş parçaları kuru ve nemden arındırılmış olmalıdır. Ergimiş tuz nemle şiddetli reaksiyona girer, sıçrar ve patlama söz konusu olabilir. Bu nedenle nemin olduğu durumlarda iş parçaları önceden ısıtılmalıdır.
- Parçaların şekli, araya hava sıkışmayacak ve banyodan çıkarıldıklarında tamamen süzulebilecek şekilde olmalıdır.
- Parçaların bir araya getirilmesi büyük, karmaşık tertibatları gerektirmemelidir.
- Parça temizlemesi zor olabilir.
- Parçalar özellikle clorid olmak üzere tuz atıkları ile bir film şeklinde kaplanır.
- Erimiş tuz banyosunun normal bakımı zordur.
- Uygun bir havalandırma olmadıkça tuz buharı sağlığa zararlı olabilir.

Fırınlara:

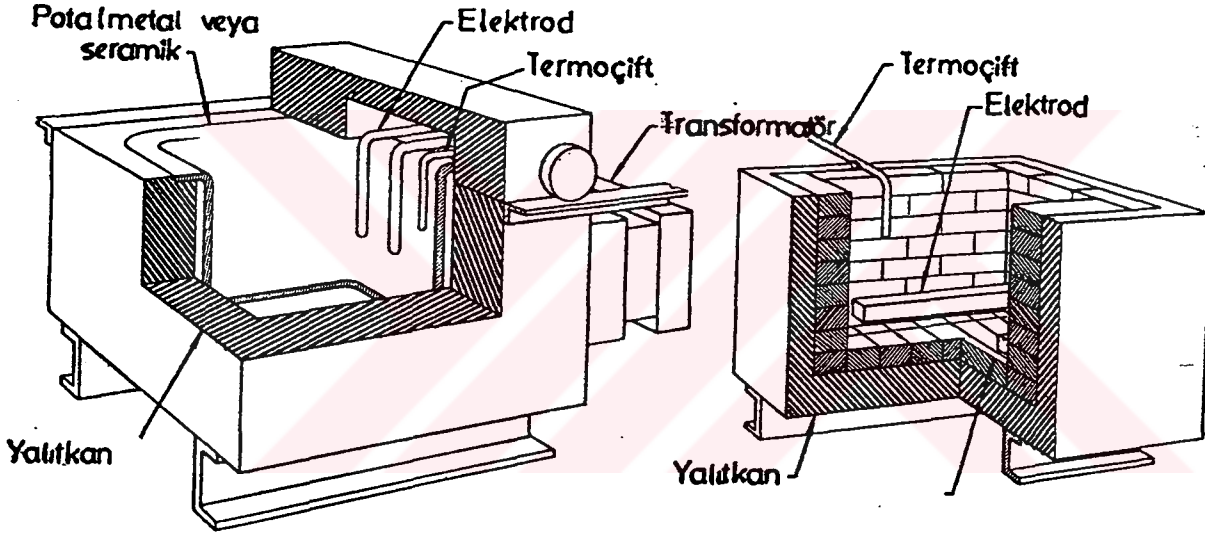


Şekil 5.9 Dıştan ısıtmalı fırınlar

Tuz banyosu fırınları metal yada seramik (refrakter) potadan ibarettir. Banyo fırınları dıştan gazla, akaryakıtla yada elektrik direnciyle ısıtılır. Bu tip fırınlar seri imalata uygun değildir. Bazı fırınlarda dalgıç elektrotlarla içten ısıtılırlar. Bu tip fırınlar aralıklı işlemlerden kullanılmaz seri üretimle kullanılırlar.

Dıştan ısıtılan fırınlar, genellikle gaz veya akaryakıt ve biraz daha az yaygın olarak elektrik direnç elemanları ile ısıtılırlar.

İçten ısıtmalı fırınlar bir transformatörün sekonderinden beslenen 10-15 V'ta alternatif akımla yüklenirler. Erimiş tuz bir elektrik iletkenidir ve ısı elektrotlar arasında tuzdan elde edilir.



Şekil 5.10 İçten ısıtmalı fırınlar

Pota malzemeleri, potanın içereceği tuz bileşimi ile yakından ilgilidir. Örneğin tuğla kaplamalı dalgıç elektrotlu fırınlar, siyanür tuzları, sodyum karbonat veya sodyum siyanür içeren suda erir ve karbürleyici tuzlarla çalışmaya uygun değildir. Çünkü bu kimyasal maddeler, fırın kaplamalarının hızlı bir şekilde erozyona uğramasına sebep olurlar.

Sert lehimlenecek parçalar önceden temizlenirler ve çoğunlukla da daldırılmadan önce dekapanlanır. İlave metaller halka, pul, kurutulmuş alaşım-dekapan karışımları şeklinde önceden yerleştirilir. Parçalar dekapan banyosuna daldırılıyor ise, sert lehimlemeden sonra bir miktar dekapan parçalara yapışır. Bunlar, parçalar daha sıcakken süzdürülmelidir. Dekapan artığı soğumadan sonra suda yıkanarak veya kimyasal yollarla temizlenmelidir.

Erimiş tuzlar yada metaller için de sert lehimleme süresi nadiren iki dakikayı geçer. Sıvı ortam içinde uniform ve hızlı ısıtma sayesinde parçaların çarpılma, tane büyümesi, dekarburizasyon gibi kötü durumlar en düşük seviyededir.

Tuzlar

Bakır ve pirinç sert lehimlemesinde genellikle %20 ila %30 NaCl ve %80 ila %70 BaCl tuz karışımı kullanılır. Çelik parçalar %25 ila %50 sodyum siyanür üçeren bir banyoda sert lehimlenir. Bu durumda çelikte semantasyon ve nitrürlenme ile elde edilmesi güç ince ve sert tabaka oluşur. Bu nedenle çelik parçalar siyanürlü banyoda sert lehimlemeden evvel son ölçülerine işlenmiş olmalıdır. Bakır, pirinç ve bronz gibi ilave metallerde karbonlu çeliklerin dekapansız sertlehimlenmesi mümkündür. Gümüşlü ilave metallerde flüorürlü dekapan kullanılması gerekir. Bu nedenle parçalar daldırılmadan önce dekapanlanır veya dekapan suyu eriyiğine daldırılır, kurutulur ve tuz banyosuna daldırılır.

Pirinç ve bakır parçalar gümüş ilave metali ile sert lehimlenirken, önceden boraksla kaplanır. Bu işlem 3-5 saniye içinde, kaynar bir doymuş boraks sulu eriyiğine daldırılmalıdır.

Nikel ve alaşımlarının tuz banyosunda ısıtılması sırasında, erimiş tuzların çok az miktarda bile olsa kükürt içermemesine dikkat edilmelidir. Çünkü kükürt nikel alaşımlarında çatlama eğilimini artırır.

Sert lehimlenen parçalar ince bir tuz filmi ile kaplıdır. Bu film suyla yıkanarak temizlenir. Tuz sarfiyatı sadece bu kayıpla değil, aynı zamanda erime kayıplarıyla da oluşur. Erime kaybı, banyonun yüzeyine bir grafit yada toz karbon tabakası dökerek önlenir. Ayrıca tuzun buharlaşmasına engel olmak için banyonun üzeri alt kısmı seramikten olan bir kapakla örtülür, parçalar banyoya bu kapaktaki delikten daldırılır.

(ASM, 1983; AWS,1991, Oğuz , 1988)

5.6 Diğer Sert Lehimleme Yöntemleri

5.6.1 Vakum ortamında sert lehimleme

Vakum sert lehimlemesi için birleştirmenin tasarımı fırında sert lehimlemede olduğundan farklı değildir. Vakum sert lehimlenmesi, sıcak cidarlı ve soğuk cidarlı olmak üzere başlıca iki tip donanım ile olur. Bu donanımlardan bazıları, içleri boşaltıldıktan sonra (hava çıkarıldıktan sonra) ısıtılmak üzere tasarlanmışken bazıları da işlem süresince uniform bir sıcaklıkta tutulur. Sıcak cidarlı fırınların sakıncaları tipine bağlıdır. Havanın tahliyesi sırasında ısıtılıp soğutulacak gibi tasarlanmış birimlerde kalın cidarlı kapalı kabın ısıtılıp soğutulması için çok zaman gerektirir.

Vakumda sert lehimleme tekniği, uzay teknolojisinde yerini almış olup bugün vakumda sert lehimlenmiş alüminyum ısı eşanjörlerinde, otomobil ve klima sistemlerinde çok rastlanmaktadır. Bazı paslanmaz çelik alaşımları ile daha aktif metallerin gaz atmosferlerinde sert lehimlenmeleri iyi sonuç vermemektedir. Bir noktaya kadar kuru hidrojen, argon yada helyum atmosferleri iyi sonuç sağlasa bile, bu tür uygulamalarda vakum sert lehimlemesi en etkin çözüm yoludur. Büyük seri imalatta ekonomik olmasının yanı sıra %1' den daha fazla Ti ve Al içeren ana metaller, bazı koşullar altında, vakum ortamında, diğer yöntemlere göre daha iyi bir ısıtılmayla sert lehimlenir.

Bazı yüksek sıcaklığa dayanıklı oksitlerin mevcut olması halinde, sert lehimleme sıcaklıkları ya da vakum bunları ayrıştırmaya yetecek kadar yüksek olmayabilir. Bu koşullar altında ya daha ileri bir vakum yada yüzey filmini parçalayacak bir tertip gerekir. Ti ve Al içeren yüksek sıcaklık alaşımları bulardandır. Genel olarak sert lehimleme basınçları 10 - 15 torr (0,0015-13,5 Pa) arasında bulunur.

Katı ve sıvı dekapanlar vakumda kullanılmaz, nadiren gaz dekapanlar belki bir yere kadar kullanılmıştır: bor triflüorürü buna bir örnektir. Bunun sakıncası, zararlı bir havayı bulaştırıcı oluşundandır. Vakumda bulaşmayı azaltmanın bir yolu, vakum atmosferinde mevcut oksit ve nitrürlerin hacmini azaltmak için lityum, magnezyum, sodyum, potasyum, titanyum ve baryumu vakum odasında buharlaştırmaktır. Bu malzemeler oda cidarları üzerinde yoğunlaşabilirler. Bunların sakıncası önce iş parçalarıyla reaksiyona girmesi, yada atmosfer rutubetine maruz kalınca cidar üzerinde bir kaplama meydana getirmeleridir. Ama en iyisi vakumda sert lehimlenecek malzemelerin temizliğine gerekli özeni gösterip yüksek vakumdan başka bir şey kullanmamaktır.

Bugün vakum sert lehimlemesi uçak motor parçalarının tamir tekniği olarak ta kullanılmaktadır. Hizmet sırasında yüksek ölçüde hasar gören gaz türbin motorunun birinci kademe yüksek basınç nozul - gayd kanatlarının, kenarlarında ağır ısıl çatlama söz konusu olmaktadır. Buna yüksek hızlı korozif ve oksitleyici gazın yüzeye etkilemesi eklendiğinde çatlaklar kenarlarda 0,3 mm genişlik ve 12-13 mm uzunlukta olmaktadır. Bu parçaların, çalışma sırasında maruz kaldıkları üst sıcaklık 1200°C kadardır.

TIG kaynağı ile tamir, çarpılmalar, çoğu durumlarda nozul - gayd kanat malzemesinin kaynağının güç olması nedenleriyle ancak çok küçük uzunluklarda sınırlandırılmıştır. Diğer bir çok alternatif tamir yönteminin denenmesinden sonra, 1969' dan itibaren vakum sert lehimlemesi yapılmaya başlanmıştır. Zaman ilerledikçe, yukarıda sayılan hususlardan başka yararlarında varlığı ortaya çıkmıştır. Bunlar vakum sert lehimlemesinin ekonomikliği (tamir masrafı yeni yedek parça bedelinin yaklaşık %10' u kadardır.

Tamir süreci, buharla sevk edilen alüminyum oksit tanecikleriyle yüzey oksidinin ön temizlenmesi; fırında ilk süreç, parçaların ısıl işlemi ve yüksek sıcaklık temizlemesiyle başlar.

Fırın hücresi 10 torr'a boşaltılır. Isı arttıkça parçaların gazdan temizlenmeleri söz konusu olur. Isıtma 1175°C'a kadar sürdürülür ve bu sıcaklık, vakum altında 1,5 saat tutulur. Sonra fırın yükü 1000°C'a yavaş soğumaya terkedilir ve yükün oda sıcaklığına çabuk soğuması için ithal edilir.

Fırına sokulmadan önce parçalar püskürtme yoluyla sulu nikel esaslı ilave metal eriyiğiyle kaplanır. Ergiyik %20 Cr, %10 Si, gerisi Ni'den oluşan bir karışımdır.

5.6.2 Laser ile sert lehimleme

Lazer çok dar bir ışın halinde hareket ettiğinden diğer elektromanyetik radyasyon tiplerinden ayrılır. Işıklı akının, 1-10 µm boyutunda bir noktada odaklandırılması kolay olup, böylece küçük bir alan üzerinde hızla güç yoğunlaştırması mümkün olmaktadır.

Çeşitli tipte lazerler çok geniş bir dalga uzunluğu yelpazesinde (morötesinden kızılötesi bölgeye kadar yaklaşık 0,1-70 µm içinde) radyasyon yayınlamaktadır.

Bu yelpazede sert lehimleme için önemli olan, yeterince yüksek enerji parametrelerine (sürekli dalga ve pulslu işlemler, vb.) sahip olan 0,4 - 0,6 µm dalga uzunluğunda laser radyasyonudur.

Böylece laser emisyonu ile ısıtma, ana metalin sert lehimlenmiş birleştirmeye komşu bölgesinde en az değişikliğe neden olur.

Laser demetinin bir avantajı, basit optik sistemlerle odaklaştırılabilmesidir. Laser demeti optik olarak şeffaf (cam, kuvarz, vb.) cisimlere nüfuz eder ve bir sızdırmaz, örneğin argonla dolu cam kap içine konulmuş bir parçanın sert lehimlenecek alanına yöneltilebilir.

Bununla birlikte günümüz uygulamasında bu ısıtma tekniğinin ciddi bir sınırlama nedeni mevcuttur; buda, laser emisyonunun mekan ve zaman anlamında uniform olmayışından ileri gelen çıkış enerji karşılığının düzensizliğidir. Bunun sonucunda ısıtılan yüzeyde uniform olmayan bir sıcaklık dağılım meydana gelir.

Laser emisyonunun şiddetinin kontrolü için poz süresi, ısıtılan yüzey alanı ve enerji çıkışı ayarlanır. Laser demeti ile ısıtma temposu 10^{10} °C/sn kadar yüksek olup gradyeni 10^6 °C/cm' ye varabilir. Sert lehimlemede çok daha hafif ısıtmalar kullanılır ve bunun için aynı enerji düzeyinde emisyon süresi artırılır veya ısıtılan yüzey alanında enerji azaltılır. Laser demeti şimdiye kadar mikro elektrik komponentlerin galim ilave malzemesi ile birleştirilmesinde kullanılmıştır.

5.6.3 Kızılötesi Işın ile Sert Lehimleme

Uygun reflektörler ve bazen parabolik odaklama tertipleriyle birlikte yüksek şiddetli kuvarz lambaları, sert lehimleme için çok iyi bir enerji kaynağı olmaktadır. Karşılıklı lamba sıraları kullanılarak petek panolar başarılı bir şekilde sert lehimlenebilmektedir. Küçük parçalar üzerinde parabolik reflektörlerle nokta sert lehimlemesi yapılabilmektedir. Denizaltı borularında yarım kabuk şeklinde reflektörlerle başarılı boru birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Gazlı kızılötesi ısıtıcılar bazen, sert lehimleme öncesinde birleşecek parçaları ısıtmada kullanılmaktadır. Kızılötesi sert lehimlemede küçük alanlar üzerine büyük ısı miktarı toplanabilir.

Petek şeklinde konstrüksiyonların kızılötesi sert lehimlenmesi yüksek şiddetli kuvarz lambaların gelişmesiyle önem kazanmıştır. Kızılötesi lambaların çıkarttıkları ısı, ışık spektrumunun kırmızı çizgilerinin ısınmasıyla meydana gelir. Bugün artık 5000W ışın enerjisinden fazlasını oluşturan ısı kaynakları (lambaları) imal edilebilmektedir. Her ne kadar yutulan ısı miktarı kaynağa mesafesinin karesiyle ters orantılı ise de, lambaların ısıtılacak parçanın çevresine monte edilmesi gerekmez. Bunun için reflektörler kullanılır.

Sert lehimlenecek parçalar, enerjinin bunlara dik yansımalarını sağlayacak şekilde tutulur. Bazı uygulamalarda birleşecek parçalar, içinde ya vakumun yapıldığı yada bir nötr atmosferin bulunduğu bir kap içine konur. Bu durumda sıcaklığı termokupl'lar gösterir.

5.6.4 Optik yöntem ile sert lehimleme

Bir odaklaştırılmış ışın demeti ile ısıtmanın sert lehimleme açısından özel karakteristikleri vardır. Bunlar ana metale temassız gücün iletilmesi, ısı kaynağı ile ısıtılan parçanın birbirinden bulunmalarına imkan verir; metaller, dielektrik ve magnetik özellikleriyle ilgili olmadan ısıtılabilirler ve ısıtma koşullarının ayar ve kontrolü kolay olur; süreç bir kontrollü atmosferde yeterince büyük olması halinde, dekapan uygulamasıyla havada şeffaf bir zarfın altında yürütülebilir.

Kullanılan güç yayım kaynakları , yüksek güçlü xeon ark lambalarıyla, daha düşük güçlü kuvartz (iodin veya halogen)' dir. Odaklaştırıcı tertip, bir eliptik ayna ile bir reflektör, bir karşı reflektör ve bir yoğunlaştırıcıdan ibarettir.

(ASM, 1983; Oğuz , 1988; Schwartz 1969)

6. ÇEŞİTLİ MALZEMELERİN SERT LEHİMLENMESİ

Endüstride kullanılan çok çeşitli malzemelerin her birini kapsayacak , hangi malzemenin hangi yöntem, ilave malzeme ve koşullarda sert lehimleneceğini gösterir tatmin edici bir çalışma yoktur. Aşağıda DIN normlarında bu konu ile ilgili olarak yapılmış bir çalışma ve bunun da devamında en yaygın kullanılan çelik, alüminyum ve bakır ve alaşımları için kısa pratik bilgiler görülebilir.

DIN normlarında hangi malzemelerin hangi sert lehimleme yöntemi ile hangi ilave malzeme, dekapan veya atmosfer ile sert lehimlemeye tabi tutulabileceğini gösterir tablolar yer almaktadır.

Burada malzemeler A, B ve C olmak üzere üç gruba ayrılmışlardır. A grubu malzemeler (bakır ve alaşımları, nikel ve alaşımları, demir esaslı malzemeler, çelikler, kobalt ve değerli metaller) bütün sert lehimleme teknikleri ile universal ilave malzeme ve dekapan kullanılarak birleştirilebilen malzemeler, B grubu özel ilave malzeme ve dekapan kullanımı ve klasik yöntemlerle birleştirilebilen (alüminyum ve alaşımları, sert metaller, stelitler, krom, molibden, tungsten, tantal ve niobyum) malzemeler ve C grubu da sadece özel ilave malzeme ve dekapan ve özel sert lehimleme yöntemleri ile sert lehimleme ile birleştirilen malzemeleri (titanyum, zirkonyum, berilyum, metal oksit seramikler) kapsamaktadır.

Çizelge 6 . 1 : DIN normlarında A grubu malzemeler için dekapan, ilave malzeme, yöntem seçimi

Malzeme	Sert Lehimleme		
	İlave Metal	Dekapan	Yöntem
Bakır	L Ag2P L CuP 6	-	. Üfleçle . Endüksiyonla
	L Ag56 Sn L Ag 44	F SH1	. Dirençle . Fırında . Koruyucu Gazla
Bakır Alaşımları	L Ag2P L Ag56 Sn L Ag44	F SH1	
Ni ve Alaşımları Fe esaslı malzemeler Co	L Ag56 Sn L Ag 44 L 40 Cd	F SH1	. Üfleçle . Endüksiyonla . Dirençle . Fırında
	L CuZn 40 L CuNi10 Zn42	F SH2	
	L Cu	-	. Fırında . Vakumda
Cr ve Cr – Ni Çelikleri	L Ag56 Sn L Ag45 Ni	F SH1	. Üfleçle . Endüksiyonla . Dirençle
	L Ni 7 / L Ni 2 L Ag 72 / L Cu	-	. Fırında . Vakumla
Değerli Metaller	L Ag56 Sn L Ag60 L Ag60 Au ilave metal	F SH1	. Üfleçle . Endüksiyonla . Dirençle . Fırında
Titanyum	L Ag 72 Ag 58Cu Pd*	-	. Kor. Gazla Fırında . Vakum
Zirkonyum / Berilyum	Ag 58Cu Pd*	-	. Kor. Gazla Fırında . Vakum
Grafit / Metal Oksit / Seramik	Ag Cu Ti*	-	. Kor. Gazla Fırında . Vakum

* : Normlaştırılmamış

Çizelge 6.2 : DIN normlarında B ve C grubu malzemeler için dekapan, ilave malzeme, yöntem seçimi

Malzeme	Sert Lehimleme		
	İlave Metal	Dekapan	Yöntem
<i>Al ve Alaşımaları</i>	<i>L AISi 12</i>	<i>F SH1</i>	. Üfleçle . Endüksiyonla . Dirençle . Fırında . Koruyucu Gazla
<i>Sert Metaller</i>	<i>L Ag50 Cd Ni</i>	<i>F SH2</i>	. Üfleçle . Endüksiyonla
	<i>L Ag 49</i>		
	<i>L Ag 27</i>	-	. Dirençle . Fırında . Kor. Gazla
	<i>L CuNi10 Zn42</i>		
<i>Krom</i> <i>Molibden</i> <i>Tungsten</i> <i>Tantal</i> <i>Niobyum</i>	<i>L Ag 49</i>	<i>F SH1</i>	. Üfleçle . Endüksiyonla . Dirençle . Fırında . Kor. Gazla
	<i>Cu 87 Mn Co</i>	<i>F SH2</i>	

6.1 Demir Esaslı Malzemeler

6.1.1 Düşük karbonlu ve az alaşımlı çelikler

Genel tanım itibari ile %0.3 C içeren çelikler düşük karbonlu , %0.3 – 0.45 C içeren çelikler orta karbonlu ve % 0.45 C' dan fazla C içeren çelikler de yüksek karbonlu çelikler olarak adlandırılmaktadır.

Düşük alaşımlı çelik grubu problemsiz bir şekilde sert lehimleme ile birleştirilmektedir. Genellikle fırında sert lehimleme yöntemi ve 1080 °C 'den yüksek sıcaklıklarda BCu ilave malzemesi ve kontrollü atmosfer ya da daha düşük sıcaklıklarda BAg ilave malzemesi ile çalışılmaktadır. BCu ilave malzeme kullanımı ile daha düşük akma ve kopma noktaları ile daha yüksek şekillendirilebilirlik ve daha uzun işlem sürelerinin söz konusu olacağına dikkat edilmelidir.

Bu özellik değişimleri bazı atmosfer tiplerinde dekarbürizasyon ve tane boyutundaki değişikliklerden ileri gelmektedir. Tane boyutu değişimi BCu ilave malzemesinin ergime sıcaklığının daha üstündeki sıcaklıklarda ısıtma işlemi ile önlenir. % C oranındaki değişikliklerin pek önemli olmayan bu çeliklerde özellikle ince kesitli parçalarda yüzeylerde sertlik kaybının olabileceği özellikle dikkate alınmalıdır.

Birleştirme sonrası bir ısıtma işlemi söz konusu olursa kullanılan ilave malzeme seçiminde bu hususa dikkat edilmelidir.

Ayrıca gerek sert lehimleme sonrası birleştirme ve gerekse de muhtemel bir ısıtma işlemi sonrası hem ana malzemenin hem de ilave malzemenin metalurjik özellikleri dikkate alınmalı, örneğin soğuma hızı buna göre belirlenmelidir.

BAg ve BCu ilave malzemelerinin yanı sıra seramik, Al ya da Cr kaplı malzemelerin sert lehimlenmesinde BNi ilave malzemesi kullanımı da mevcuttur.

6.1.2 Yüksek karbonlu çelikler ve yüksek hız çelikleri

Yukarıda da belirtildiği gibi % 0.45 C' dan fazla C içeren çelikler yüksek karbonlu çelikler olarak adlandırılmaktadır. Yüksek hız çelikleri de % 0.6 - % 1.25 C içermektedirler.

Yüksek karbonlu çeliklerin sert lehimlenmesi için en uygun sert lehimleme uygulaması ya sertleştirme sırasında ya da öncesinde olmaktadır. Burada söz konusu olan sıcaklık aralığı

760 - 815 ° C olmaktadır. Bundan dolayı ergime sıcaklıkları 815 ° C' yi aşan ilave malzemeler kullanılmalıdır. Sert lehimleme sırasında işlem sıcaklığının ısıtma işlemi gören veya görececek malzemenin sertliğinin kaybına neden olmayacak şekilde seçilmesine özen gösterilmelidir.

Yüksek alaşımlı çeliklerde ve takım çeliklerinde çok değişik kompozisyonlar söz konusu olacağından ve bu çeşitliliğin getirdiği sert lehimleme işlemi parametrelerindeki değişik durumlar yada davranışlar birbirlerinden çok farklı servis şartları, işlem parametreleri vb. etkilerle daha da artmaktadır. Bu nedenle malzemenin kimyasal bileşimi, sert lehimleme parametreleri , çalışma şartları gibi tüm faktörlerin dikkate alındığı test sonuçlarına göre hareket edilmelidir.

6 . 1 . 3 Paslanmaz çelikler

Paslanmaz çelik ifadesi oldukça geniş bir malzeme grubunu kapsamaktadır. Bundan dolayı zaten çok geniş olan ve değişkenlik gösterebilen işlem şartları ve diğer parametreler dikkate alınarak tıpkı yüksek alaşımlı çeliklerde olduğu gibi uygun bir şekilde düzenlenmiş test sonuçlarına göre hareket edilmelidir.

Tüm paslanmaz çelikler için söylenebilecek en önemli husus, bunların içerdikleri Cr nedeni ile çok zor ısınabildikleridir. Özellikle vakum ortamı veya saf H₂ ortamı paslanmaz çeliklerin sert lehimlenmesi için en uygun yöntemlerdir. Ancak bu ortamlarda çığ noktasının -50 ° C veya daha düşük seviyede tutulması gerekliliği krom oksit ve dolayısı ile artan ısıtma problemi açısından önemlidir.

Bu malzeme grubu için en önemli ilave malzemeler BAg, BCu ve BCuZn olmaktadır. Ni içerikli BAg serisi özellikle korozyon direnci ile ön plana çıkar. BNi ilave malzemeleri paslanmazlık açısından en iyi sonuçları vermektedir. Özellikle gerilmeye maruz kalacak parçalarda birleşme bölgesinde P içeriğinin minimum düzeylerde tutulması gerekliliği bu elementin gevrek kırılmayı teşvik etmesi dikkate alınmalıdır.

Cr – Ni Paslanmaz Çelikleri

Bu malzeme grubu sert lehimleme açısından fazla problemlili değildir. Ancak sert lehimleme süreci sırasında tane sınırlarına yakın bölgelerde krom karbür oluşumu nedeni ile azalan Cr içeriği paslanmazlık özelliğinin zayıflamasına ya da kaybolmasına sebep

olmaktadır. Bu sebeple işlem bu tür oluşumlar meydana çıkmadan en kısa sürede bitirilmelidir. Karbür oluşumu bünyede Ti varlığı yada %C oranının azalması ile azalır. Eğer yüksek sıcaklıklarda ergiyen ilave malzeme kullanımı söz konusu ise sert lehimleme sonrası ısıtma işlemi gerekli olabilir. Bunun yanı sıra ön tavlama da özellikle gerilmeli korozyon ve tanelerarası korozyonun önlenmesi açısından mutlaka dikkate alınmalıdır. Ayrıca parçaların montaj ve desteklenmesinde gerilme oluşturulmasından mutlaka kaçınılmalıdır.

Cr Çelikleri

Özellikle gerilme korozyonuna karşı duyarlı olan bu malzeme grubu (402, 410, 414, 416, 420 ve 431) sert lehimleme sırasında veya sonrasında mutlaka ısıtma işlemi tabii tutulmalıdır.

Ferritik paslanmaz çeliklerde de (405, 406 ve 430) 980 °C' nin aşılması durumunda tane boyutunda büyüme sonucu dayanım değerlerinde düşmeler söz konusudur.

Dökme Demirler

Bu malzeme grubunun sert lehimlenmesi özel bir itina ister. Genellikle sert lehimleme öncesi elektrokimyasal, kimyasal, tane püskürtme vb. sebeplerle bir yüzey temizliği uygulanır. Islatma kabiliyetinin artması açısından SiO ve grafit oluşumunun engellenmesi gereklidir. Ayrıca yine ısıtma kabiliyetinin artması açısından da Ag içerikli ilave malzeme kullanımı yararlı olmaktadır.

6.2 Al ve Alaşımları

Al ve alaşımları arasında 1xxx, 3xxx ve düşük Mg alaşımlı 5xxx serileri (ısıtma işlemi uygun olmayan dövme Al.) sert lehimlemeye en uygun olanlarıdır. Artan Mg oranı ile klasik dekapanlama işlemleri ile zayıf ısıtma ve aşırı penetrasyon sonucu sert lehimleme kabiliyeti azalır.

Isıtma işlemi tabii tutulabilir dövme Al serileri, 6xxx, sert lehimleme açısından problemlidir. 7072 ve 7005 hariç olmak üzere 2xxx ve 7xxx serisi Al alaşımları kolayca sert lehimlenemezler.

590 °C 'den daha yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımlar BAlSi ilave malzeme ile sert lehimlenebilirler. Daha düşük ergime sıcaklıklarına sahip Al ve alaşımlarının sert

lehimlenmesinde artan penetrasyon dikkate alınarak işlemin minimum zamanda bitirilmesine özen gösterilmelidir. Ayrıca kum ve sürekli kalıba döküm Al ve alaşımları da (43, 356 ve 406) sert lehimleme ile birleştirilebilir. Basınçlı döküm Al malzemeler içerdikleri yüksek gaz nedeni ile sert lehimlenemezler.

Al alaşımları arasında sert lehimleme ile en çok birleştirilen malzemeler 1100, 3003, 6061, 6951 ve 7072 kodlu olanlardır.

Çizelge 6 . 3 Sert lehimlenebilir Al ve alaşımları, kimyasal kompozisyonları

Alaşım	%Cu	%Si	%Mn	%Mg	%Zn	%Ni	%Cr
EC	% 99,45 Min Al						
1100	% 99 Min .Al						
3003	-	-	1,2	-	-	-	-
3004	-	-	1,2	1,0	-	-	-
4032	0,9	12,2	-	1,1	-	0,9	-
4043	-	5,0	-	-	-	-	-
5050	-	-	-	1,2	-	-	-
6951	0,25	0,35	-	0,6	-	-	-
6151	-	1,0	-	0,6	-	-	0,25
5052	-	-	-	2,5	-	-	0,25
5053	-	0,7	-	1,3	-	-	0,25
5154	-	-	-	3,5	-	-	0,25
5056	-	-	0,1	5,2	-	-	0,1
6061	0,25	0,6	-	1,0	-	-	0,25
6063	-	0,4	-	0,7	-	-	-
7072	-	-	-	-	1,0	-	-
Döküm 43	-	5,0	-	-	-	-	-
Döküm 356	-	7,0	-	0,3	-	-	-
Döküm 406	-	-	%99 Min Al		-	-	-
Döküm A612	0,5	-	-	0,7	6,5	-	-
Döküm C612	0,5	-	-	0,35	6,5	-	-

Al ve alaşımlarının sert lehimleme ile birleştirilmesinde kullanılan tüm ilave malzemeler Al esaslıdır. Bu ilave malzemeler tel ya da ince plaka / folyo halindedirler. İlave malzeme beslemesi açısından en önemli yollardan biri de Al esaslı bir ana malzemeye (çoğunlukla 3003 ve 6951) ilave malzemenin kaplandığı metottur. Bir diğer metot ise kullanılması durumunda dekapan ile ilave malzemenin karıştırılarak pasta şeklinde kullanıldığı yöntemdir.

Sert lehimleme sırasında bir çok durumda olduğu gibi eğer kullanılan ilave malzemenin ergime sıcaklık değeri ana malzemenin ergime sıcaklığına çok yakın olabilir. Özellikle

üfleçle sert lehimlemede olduğu gibi sıcaklık kontrolünün zor olduğu uygulamalarda belirtilen bu hususa özellikle dikkat edilmelidir.

Çizelge 6. 4 BAISi esaslı ilave malzemelerin kim. kompozisyonları ve erg. sıcaklıkları

Al. Bir. No	AWS No	%Si	%Cu	%Fe	%Zn	%Mg	%Mn	%Cr	Erg. Sic. (°C)
4343	BAISi – 2	6,8-9,2	0,25	0,8	0,2	-	0,1	-	575 - 612
4045	BAISi – 5	9-11	0,3	0,8	0,1	0,05	0,05	-	575 - 598
4145	BAISi – 3	9,3-10	3,3-4,7	0,8	0,15	0,15	0,15	0,15	521 - 585
4047	BAISi – 4	11-13	0,3	0,8	0,2	0,10	0,15	-	575 - 582

Bazen , özellikle Al – Si esaslı ilave malzeme kullanımında Al ve alaşımlarının sert lehimlenmesinde birleşme bölgesinde , ergime sıcaklığı sert lehimleme sıcaklığının altında, bir ara faz oluşumu söz konusu olabilir. Bu duruma sebep aşırı penetrasyondur, önlenmesi sürecin kısaltılması ve sadece gereği kadar ilave malzeme kullanımı ile mümkündür.

Al ve alaşımlarının sert lehimlenmesinde vakum yöntemi ile sert lehimleme korozyon dayanımı yüksek, boşluksuz, temiz birleştirmelerin elde edilmesi açısından özellikle artan bir öneme haizdir.

6.3 Cu ve Alaşımları

Günümüzde endüstriyel olarak kullanılan Cu esas olarak oksijen içerikli ve içeriksiz olmak iki ana gruba ayrılabilir. Oksijen içeren Cu alaşımlarında yüksek sıcaklıklarda belirli bölgelerde O₂ yoğunlaşması ve hidrojen gevrekliği söz konusu olmaktadır. Bu olaylar özellikle 910 °C' den sonra hızlanarak artar ve malzemenin dayanımını olumsuz etkiler. Hidrojen gevrekliğine karşı önlem olarak bünyeye hidrojen nufuziyetini artıracak faktörler önlenmelidir.

Cu – Zn alaşımları

Bu grup malzemeler 400 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda bünyesindeki Zn içeriğini azaltma eğilimindedir. Zn oranındaki azalma ise dayanım ve sertlik değerinde düşme gibi durumlara yol açmaktadır bu azalma koruyucu atmosfer kullanılıyor olsa bile iyi bir dekapanlama ile ancak belirli düzeylere indirilebilir. Ayrıca olabilecek sıcak çatlamlar

açısından da işlem sıcaklığına tedrici artışlar avantaj getirmektedir. Kullanılan ilave malzeme de genellikle Ag esaslı olmaktadır.

Cu – Si Alaşımları

Bu malzemelerde SiO_2 oluşumu ihtimali göz önünde bulundurularak özel tedbirler alınması zorunludur.

Ayrıca bu malzeme grubu, gerilme durumunda ilave malzemenin ana malzemeye aşırı penetrasyonu sonucu mekanik özelliklerde düşmeler görülmektedir. 260°C 'de bir gerilim giderme tavlama genellikle uygun olmaktadır. Bu işlem sert lehimleme sürecinin bir parçası olarak algılanmalı ve parça üzerinde herhangi bir gerilmeye sebep olmadan uygun bir şekilde desteklenmelidir.

Cu – Al Alaşımları

Özellikle Al içeriği ile oluşan Al_2O_3 içeriğine rağmen bu malzeme grubu da sert lehimleme ile birleştirilebilir. Çok yüksek sıcaklıklarda ergiyen Al_2O_3 oluşumu ancak uygun bir dekaplanlama ile etkisiz hale getirilir.

Cu – Be Alaşımları

Bu malzemelerin sert lehimleme ile birleştirilebilmeleri için Ag esaslı, iyi bir dekaplanlama yada uygun kaplamalar yapılması gereklidir. Söz konusu yüzey kaplama refrakter nitelikli bir malzeme olan berilyum oksit oluşumunu önlemeye yönelik olmaktadır.

Cu – Ni Alaşımları

Tüm Cu – Ni alaşımları Ag esaslı ilave malzeme kullanımı ile sert lehimlenebilirler. Bu malzeme grupları gerilmeli korozyona karşı hassastırlar. 427°C civarında sert lehimleme sürecinden ayrı bir gerilim giderme tavlama düşünülmeli uygun olmaktadır.

Ayrıca bu malzemeler BCu ilave malzemesi ile nötr ya da indirgeyici bir koruyucu atmosfere sahip fırınlarda da sert lehimlenebilirler. BCu ilave malzemesi kullanılarak yapılan sert lehimleme birleştirmelerinde Cu ve Ni 'in birbirleri içinde kolay çözünebilmeleri sonucu derin birleştirmeler elde edilemez. Bunun önlenmesi için Cu-Ag, Cu-Mn, Cu-Si gibi ilave malzemelerin kullanımı uygun olmaktadır.

(AWS,1971 ve 1991 , Oğuz 1988)

Çizelge 6. 5 : AWS'ye göre çeşitli malzeme çiftleri için önerilen ilave malzemeler (AWS,1991)

	Al ve Alaşımaları	Mg ve Alaşımaları	Cu ve Alaşımaları	C ve Düşük C Çelikleri	Dökme Demir	Paslanmaz Çelik	Ni ve Alaşımaları	Ti ve Alaşımaları	Be,Zr V ve Alaşımaları, Reaktif Metaller	W, Mo, Ta,Cb ve Alaşımaları, Refrakter Metaller	Takım Çelikleri
Al ve Alaşımaları	BAI- Si										
Mg ve Alaşımaları	X	B Mg									
Cu ve Alaşımaları	X	X	BAG, BAu, BNI BCuP, BNI RBCuZn								
C ve Düşük C Çelikleri	X	X	BAG, BAu, BNI RBCuZn	BAG, BNI BAu, BCu RBCuZn							
Dökme Demir	X	X	BAG, BAu, BNI RBCuZn	BAG, BNI RBCuZn	BAG,, BNI RBCuZn						
Paslanmaz Çelik	BAI- Si	X	BAG, BAu, BNI	BAG, BNI BAu, BCu RBCuZn	BAG, BNI BAu, BNI RBCuZn	BAG, BNI BAu, BCu					
Ni ve Alaşımaları	BAI- Si	X	BAG, BAu, BNI RBCuZn	BAG, BNI BAu, BCu RBCuZn	BAG, BNI BAu, BCu RBCuZn	BAG, BNI BAu, BCu	BAG, BNI BAu, BCu				
Ti ve Alaşımaları	BAI- Si	X	BAG*	BAG*	BAG*	BAG*	BAG*	BAG, BAI- Si*			
Be,Zr V ve Alaşımaları, Reaktif Metaller	Y	X	BAG	BAG	BAG	BAG*	BAG*	Y	Y		
W, Mo, Ta,Cb ve Alaşımaları, Refrakter Metaller	X	X	BAG	BAG, BNI BAu, BCu	BAG	BAG, BNI BAu, BCu	BAG, BNI BAu, BCu RBCuZn	Y	Y	Y	
Takım Çelikleri	X	X	BAG, BAu, BNI RBCuZn	BAG*	BAG, BAu, BNI RBCuZn	BAG, BNI BAu, BCu	X	X	X	X	BAG, BNI BAu, BCu RBCuZn

*: Özel ilave malzemeler mevcuttur ve başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

X: Tavsiye edilmez ancak bazı farklı malzemeler için özel teknikler uygulanabilir.

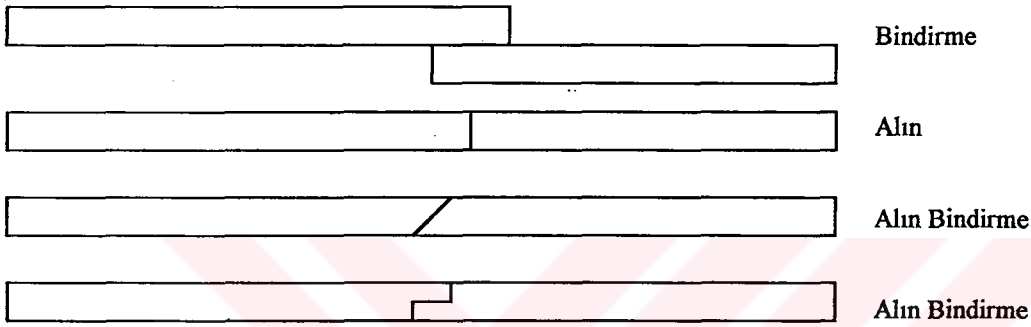
Y: Bu kombinasyonlar üzerinde genellemeler yapılamaz.

7. SERT LEHİMLEMEDE TASARIM ESASLARI ve BİRLEŞTİRMENİN DAYANIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

7.1 Temel Tasarım Esasları

Sert lehimleme ile yapılan birleştirmelerde kabul edilebilir birleştirmelerin elde edilmesi, için uygun bir tasarım tarzı başta olmak üzere, bazı şartların dikkatle yerine getirilmesine bağlıdır.

Aşağıda temel iki birleştirme tarzı olan alın ve bindirme tarzı ile bu ikisinin birleşiminden oluşmuş alın / bindirme tarzı sembolik olarak görülmektedir.

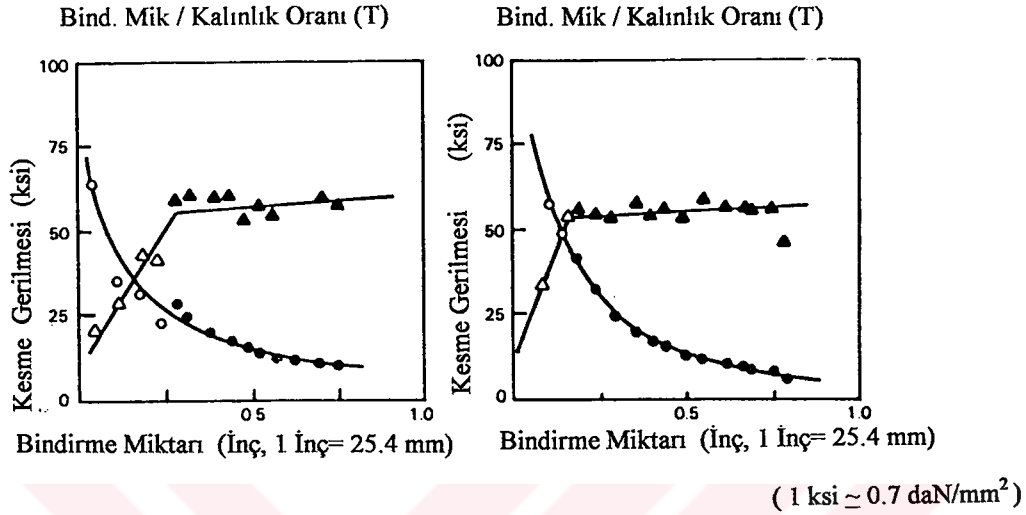


Şekil 7.1 Sert lehimlemede temel birleştirme tarzları

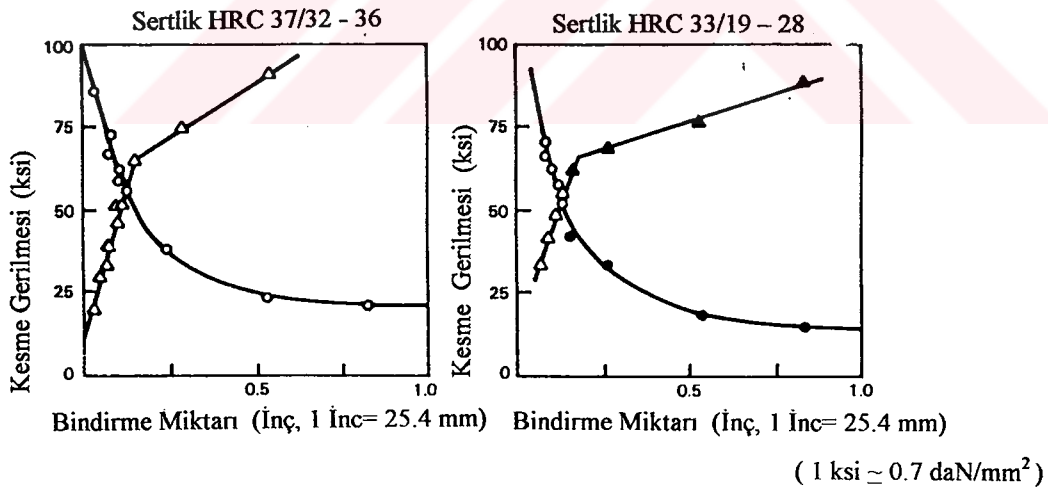
Bindirme ile birleştirme en yaygın kullanılan sert lehimleme yöntemidir. Özellikle ilk zamanlar alın birleştirme ilave malzeme dayanımlarındaki yetersizliklerden dolayı pek tercih edilmemekteydi. Bu iki kombinasyonun birlikte kullanımından ibaret olan alın/bindirme her iki yöntemin avantajları birlikte kullanılabilse de , özellikle birleştirme kesitinin hazırlanması öne çıkan bir sorun olmaktadır.

Sert lehimleme tarihsel süreci göstermiştir ki bunların hiçbiri en iyi veya en kötü uygulama olmamıştır. Sadece bunların kötü uygulamaları vardır. Eğer bir tasarım , ne kadar basit olursa olsun, servis şartlarında çalışıyor ve ihtiyaçları karşılıyor ise o tasarım iyi ve başarılı bir tasarımdır. Eğer servis sırasında bir kopma, kırılma vb. söz konusu ise tasarım tekrar ele alınır ve daha iyi olabilecek yeni bir tasarım ortaya konur. Bunun için dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar birleştirmeye gelen yükün büyüklüğü ve niteliği, çalışma ortamı (korozif etkiler, sıcaklık, ...) gibi etkilerin tek tek ortaya çıkartabilecekleri sonuçlar ile bunların muhtemel kombine etkilerinin kesinlikle dikkate alınması gerekliliğidir.

1950'li yıllardan itibaren AWS sert lehimleme ile yapılan bağlantıların dayanımlarına etki eden faktörlerin ortaya konmasına ilişkin çalışmalar başlattı ve bu çalışmaların sonunda oldukça önemli sonuçlar elde edildi. Bu çalışmalara ait bazı sonuçlar aşağıda görülebilir. (Peaslee, 1992, 1996 ve AWS 1991)



Şekil 7.2 Bindirme boyu/kalınlık ile bindirme miktarının kesme dayanımı ile değişimi* (Peaslee, 1996 ve AWS 1991)



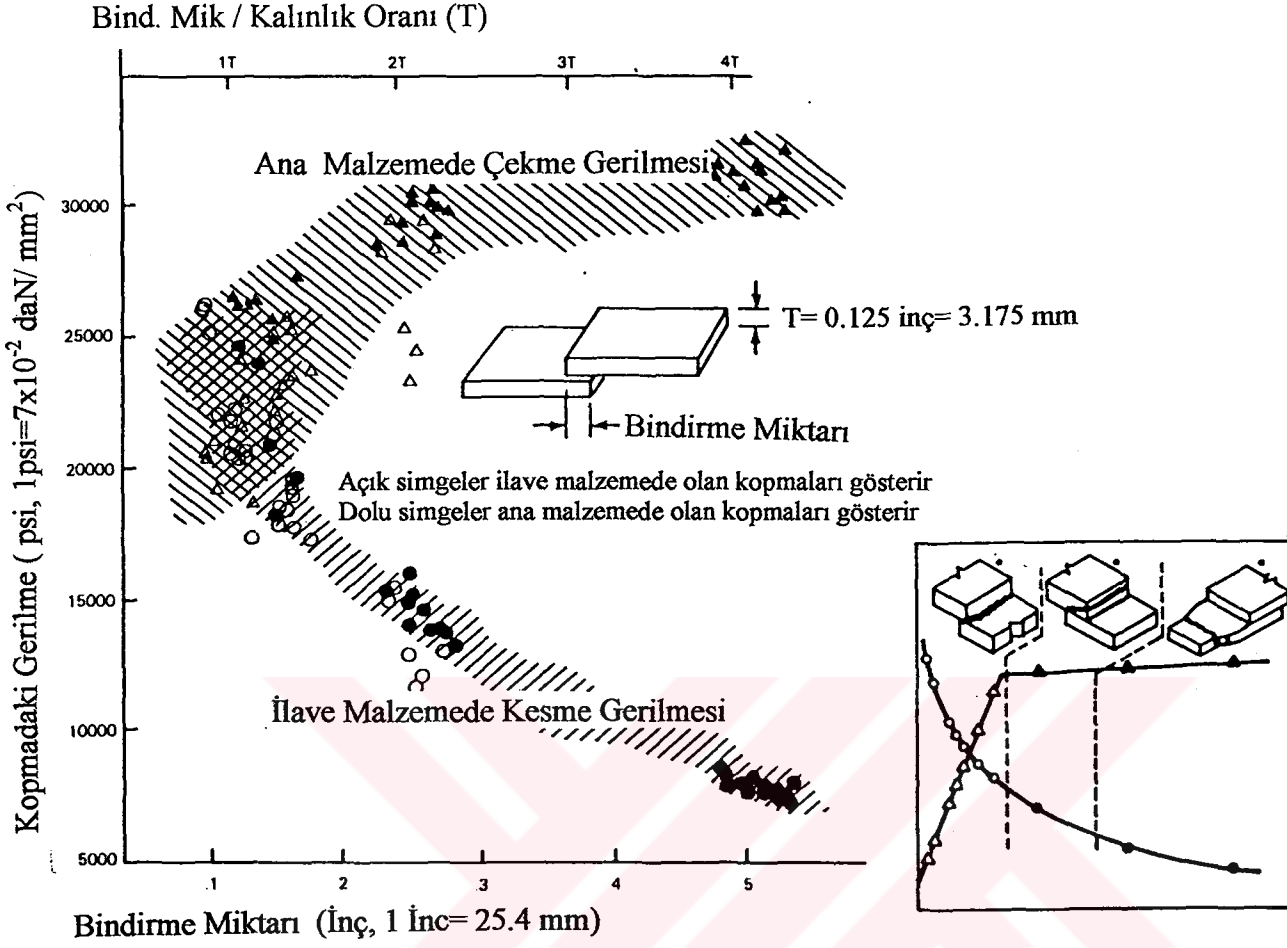
Şekil 7.3 Bindirme boyu/kalınlık ile bindirme miktarının kesme dayanımı ile değişimi** (Peaslee, 1996 ve AWS 1991)

* Ana malzeme: SAE 1010 orta karbonlu çelik, ilave malzeme BAğ-1, Yöntem: Üfleç

** Ana malzeme SAE 410 paslanmaz çelik; ilave malzeme BNİ-1; yöntem fırında sert lehimleme, 1170 °C 30 dk saf H₂ ortamında.

A gerilim gidermesiz sertleştirilmeli, B sertleştirilip 28 HRC' çekilmiş.

*** Dairesel noktaların olduğu değişim bindirme mesafesinin, üçgenlerin olduğu değişim ise Bind. Mi /Mal. Kal. (T) oranının dayanımı ile değişimini vermektedir. İçi boş noktalarda ilave malzemeden olan kopmalar, dolu olan noktalarda ise ana malzemede olan kopmalar meydana gelmektedir.



Şekil 7.4 Bindirme boyu / kalınlık ile bindirme miktarında kopma bölgeleri (AWS, 1991)

Bu grafiklerden çıkartılacak en önemli sonuçlardan biri de düşük bindirme miktarlarındaki kopma geriliminin yüksek bindirme miktarlarına göre çok daha yüksek olduğudur. Öte yandan bindirme miktarında malzeme kalınlığı ile oranlama yapıldığınd; bu oranın (T) 0T-1T arasındaki değerlerinde minimum olan gerilme değeri artış göstermekte, yaklaşık olarak ta 1T değerinden sonra da yaklaşık sabit kalmakta ya da çok az bir artış göstermektedir.

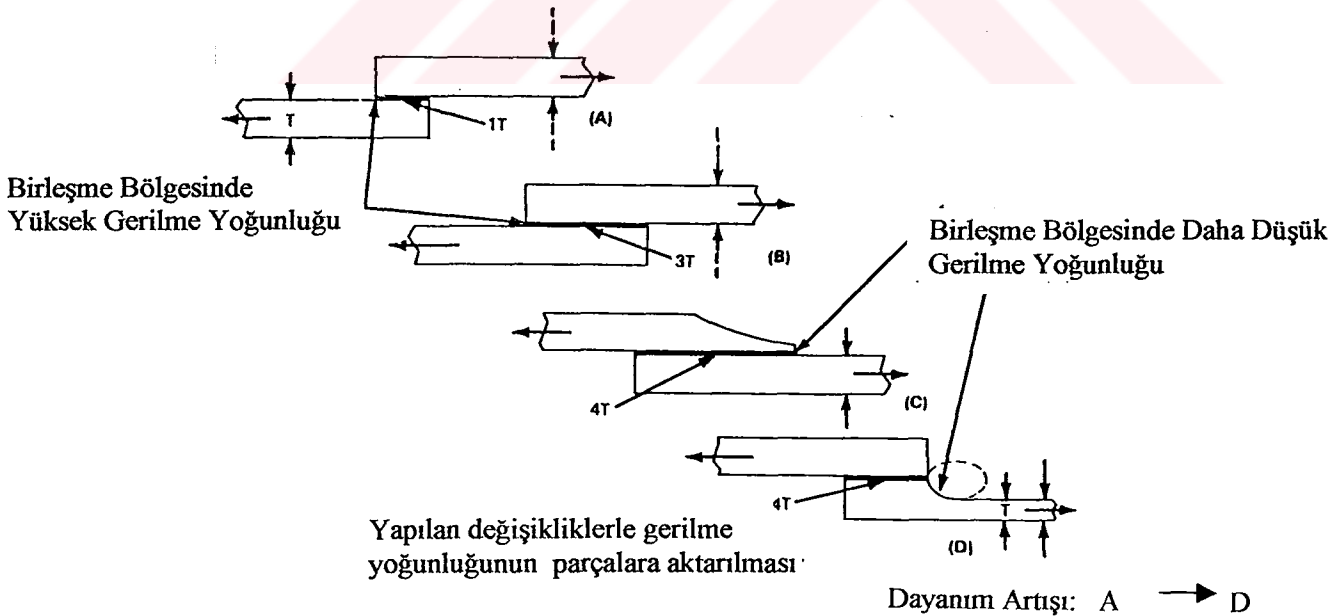
Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise, birleştirmede kopma riskinin ana malzemede yada ilave malzemede olacağı hususunun tespitidir. Yukarıdaki değişimlerde her bir eksen takımında iki eğrinin kesiştiği noktalar, tam olarak ana malzeme/ilave malzeme kopmasının olduğu durumu yansıtır ve tasarım açısından da önemli bir ipucudur.

Eğer seçilen bindirme miktarı değeri bu noktadan sağa düşüyor ise ana malzemedan bir kopma, solunda ise ilave malzemedan bir kopma görülmektedir.

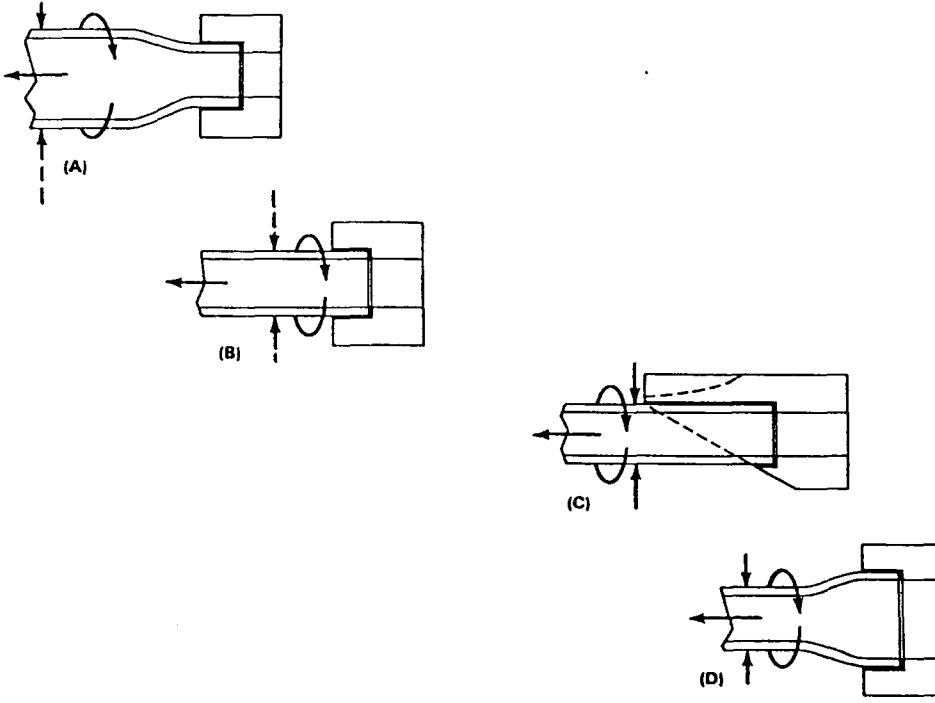
Amerikan sert lehimleme topluluğu, optimum bindirme miktarı olarak 3T oranını tavsiye etmektedir. Eğer emniyet ön planda olacak ise bu oran 4T olabilir, ancak daha fazla artırılmasının pek fazla yararı yoktur. Farklı kalınlıktaki parçaların birleştirilmesinde de ince olan malzeme kalınlığı dikkate alınarak 3T oranının belirlenmesi gerektiğine dikkat ediniz.

7.2 Sert Lehimleme Birleştirmelerinde Gerilme Yoğunluğu

Sert lehimleme bağlantılarında bindirme miktarının yanı sıra başka bir takım tasarım değişkenleri de dikkate alınmalıdır. Şekil 7.5'teki A ve B uygulamalarında 1T .. 3T olan bindirme miktarı vardır ve özellikle bağlantının olduğu kısımlardaki uçlarda ani kesit değişimi nedeni ile önemli gerilme yığılmaları söz konusudur. C ve D tarzı uygulamalar ile bu gerilim yoğunluğunu azaltmak mümkündür. Fakat bu durumda şekilden de görülebilen ağızların hazırlanmasındaki maliyet faktörü nedeni ile ancak A ve B tarzı uygulamaların yetersiz kalması durumunda tercih edilmelidir.

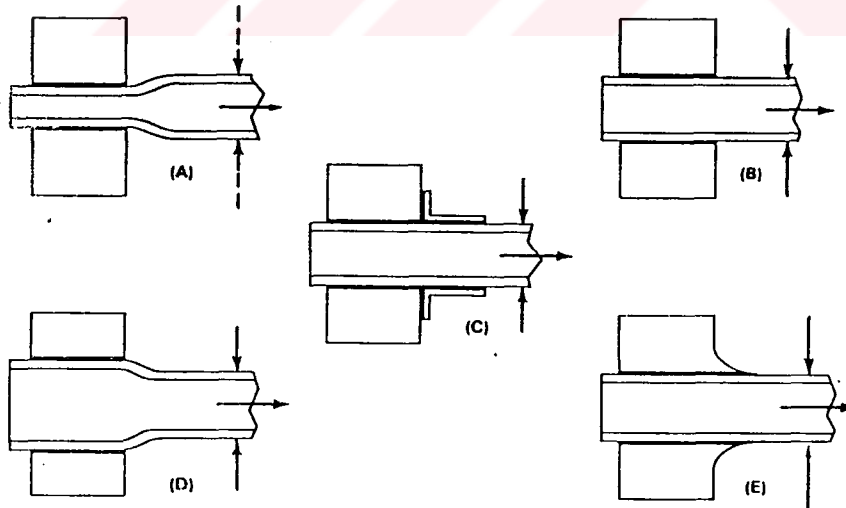


Şekil 7.5 Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarda gerilme yoğunluğu (Peaslee, 1996 ve AWS 1991)



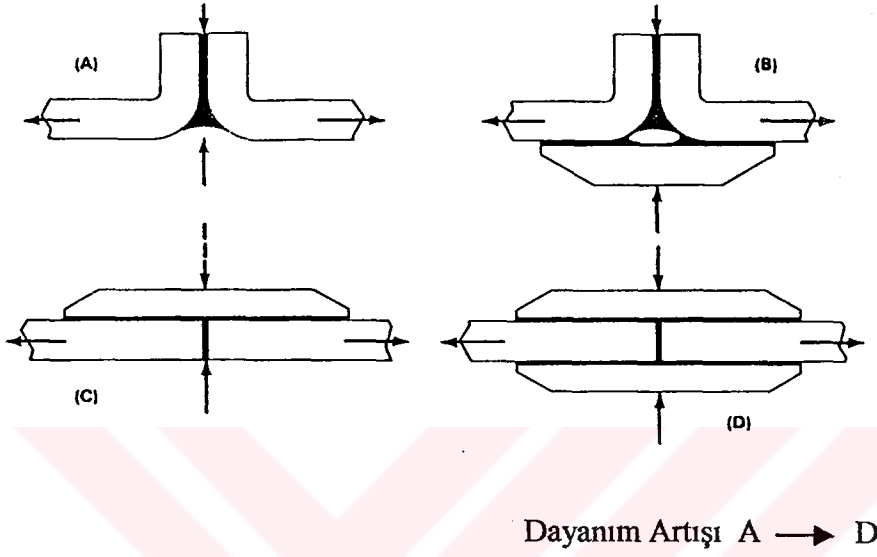
Şekil 7.6 Sert lehimleme bağlantılarında boru / fittings vb. uygulamalarda değişik tasarımlarda gerilme yoğunlukları (AWS 1991)

Şekil 7.6'da da boru ve fitting birleştirmelerinde muhtemel uygulamalar görülmektedir ve bu uygulamalar arasında A'da en yüksek olan gerilme yoğunluğu D'de (E'de) en az düzeydedir.

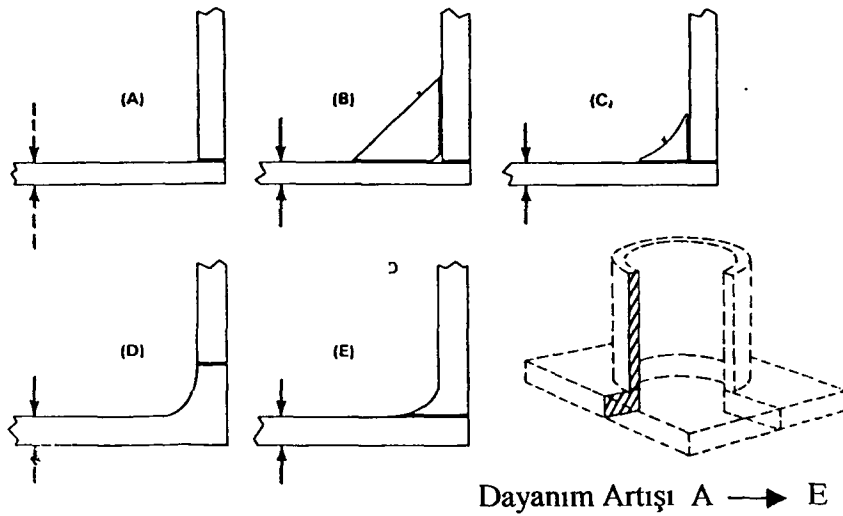


Şekil 7.7 Bir ısı eşanjöründe boru / ayna bağlantısında sert lehimleme uygulaması

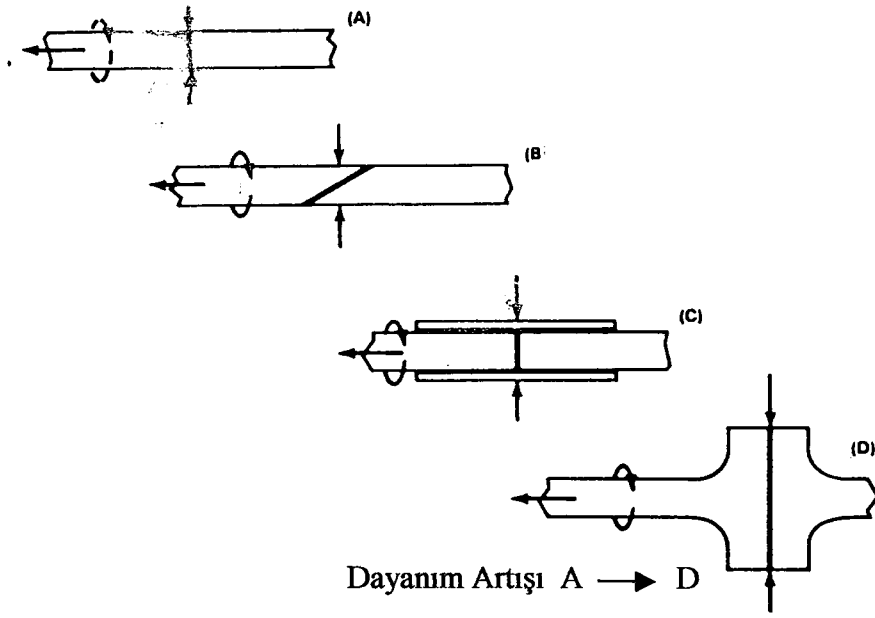
Şekil 7.7'deki uygulamada borunun içinden geçen akışkanın oluşturacağı darbe ve titreşimler borunun aynaya geçtiği kısımlarda yorulma kırılmasına ve bir gerilme yığılmasına yol açmaktadır. Burada A ve B uygulamalarında en üst düzeyde olan bu olumsuzluk C, D ve E uygulamalarında daha alt düzeylerde kalmaktadır.



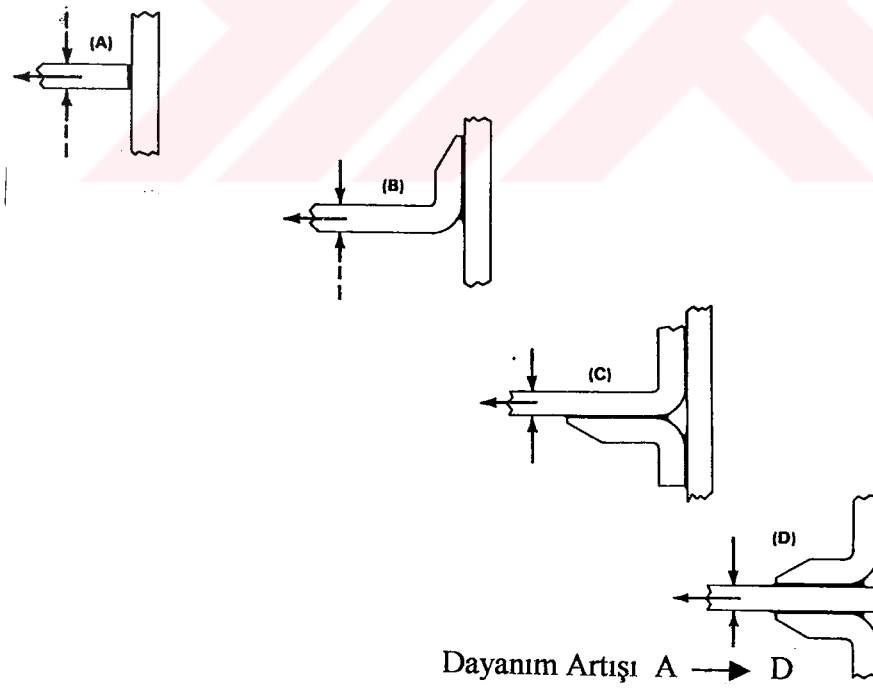
Şekil 7.8 Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması (AWS 1991)



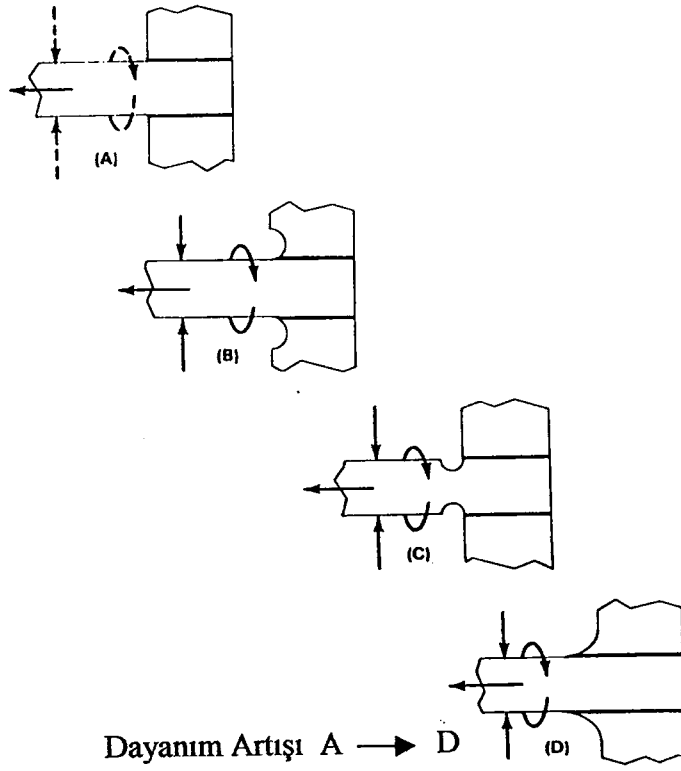
Şekil 7.9 Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması (AWS 1991)



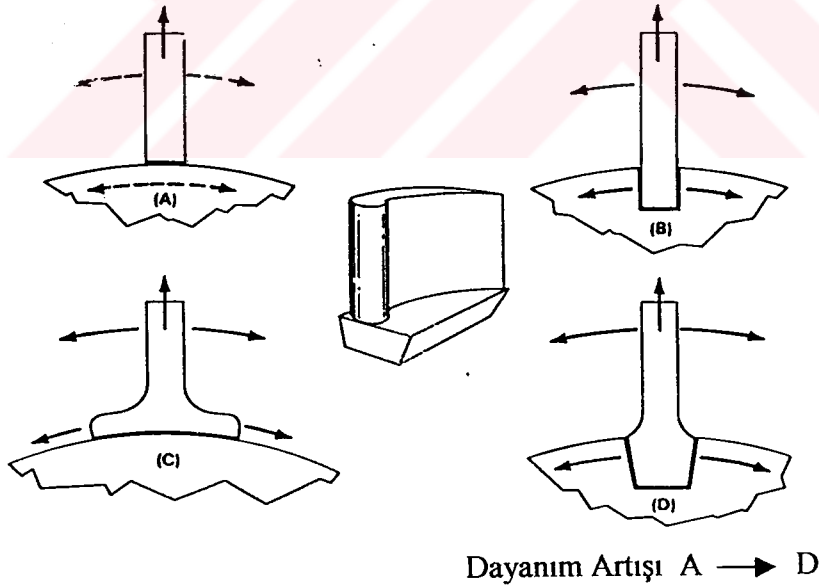
Şekil 7.10 Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması (AWS 1991)



Şekil 7.11 Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması (AWS 1991)

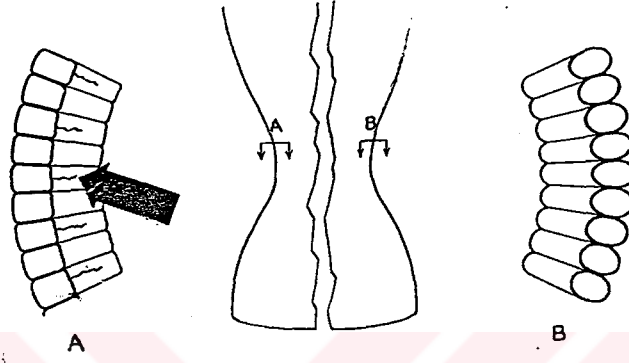


Şekil 7.12 Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması (AWS 1991)



Şekil 7.13 Sert lehimleme bağlantılarında değişik tasarımlarla gerilme yoğunluklarının azaltılması (AWS 1991)

Tasarımın özellikle çalışma şartlarının dikkate alınarak hazırlanmış olması gerekliliğine tipik bir örnek ise bir roket motoruna ait itme odası sert lehimleme bağlantıları ile ilgilidir. Bu tip uygulamalarda önemli boyutlarda termal gerilmeler söz konusudur. Eğer bu gerilmeler dikkate alınmadan üretim ve birleştirme süreçleri devam ettirilirse ilk önce kare yada dikdörtgensel düşünülen kesitler bahsedilen termal etkilere karşı daha zayıf kalacağından daha sonra eliptik yada oval birleştirme tarzı tercih edilmek durumunda kalmıştır.

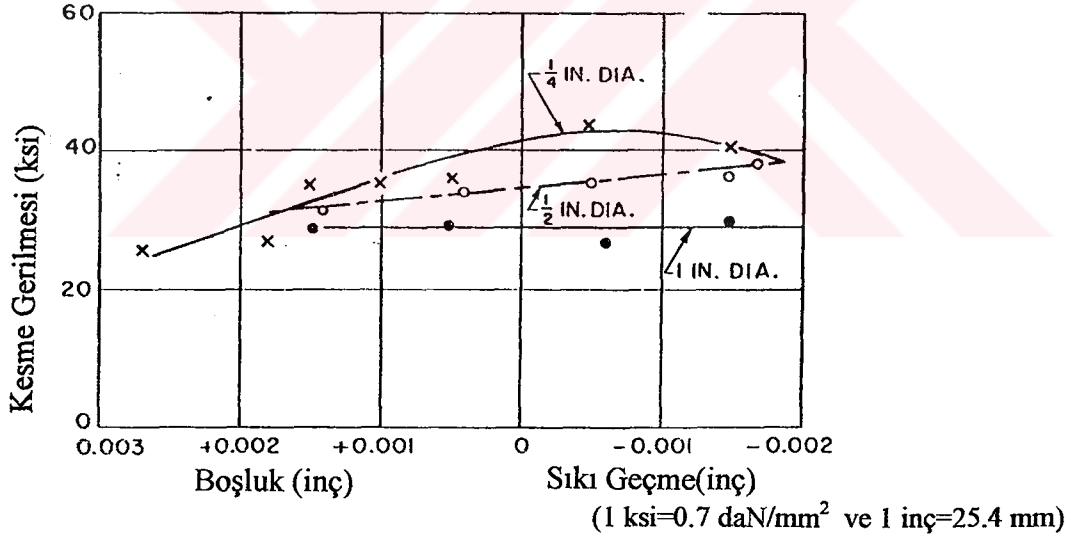


Şekil 7.14 Sert lehimleme bağlantılarında termal gerilmelere bir örnek

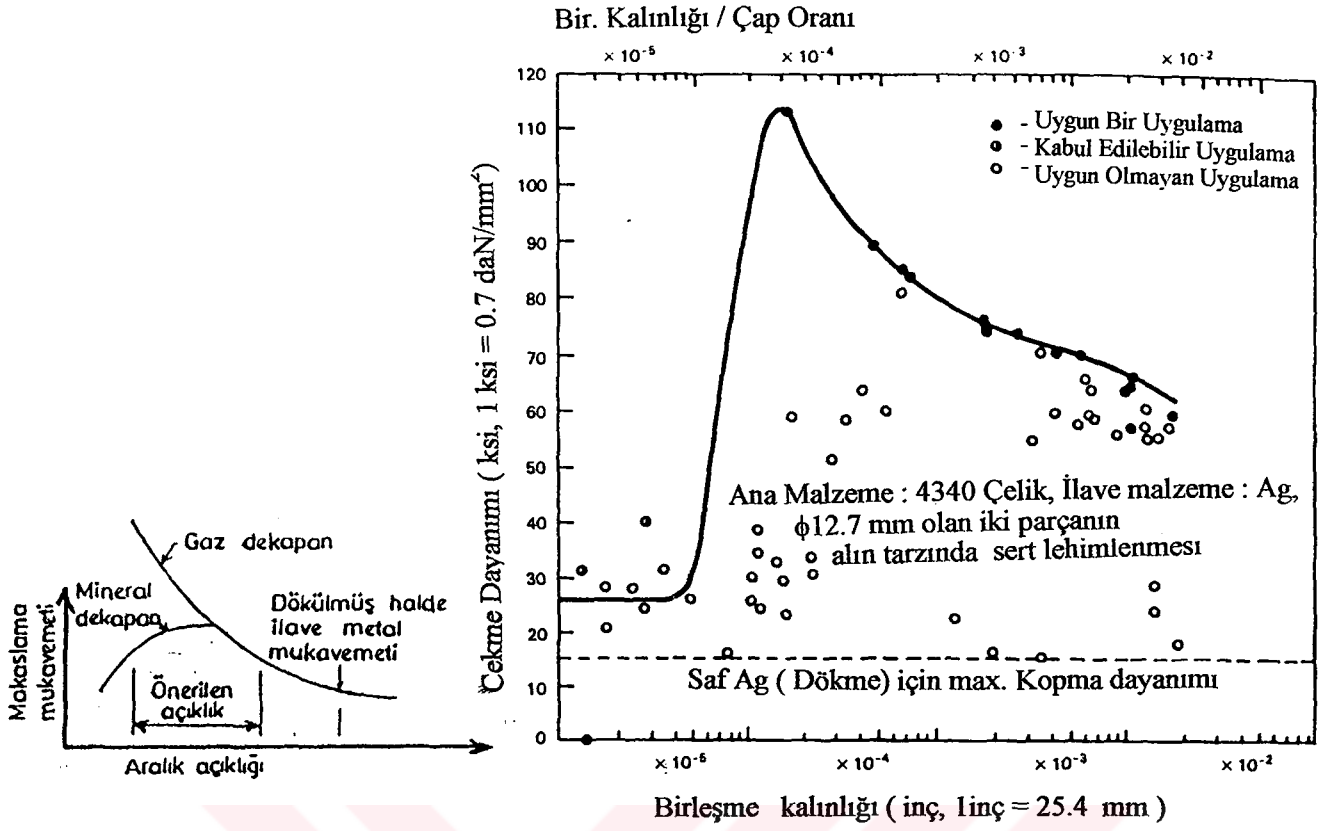
7.3 Çalışma Boşluğu

Sert lehimleme süreçlerinde birleştirilecek yüzeyler arasındaki boşluğu ifade eden çalışma boşluğu bağlantının dayanımına etkiyen oldukça önemli bir faktördür. Çünkü tanım gereği kapiler bir etki ile olacak olan ilave metal yayılması ve ilerlemesinde bu boşluk değerinin oldukça önemli bir yeri vardır. Söz konusu değer olması gereken değer altında olur ise ilave ilave malzeme birleşme boşluğu içinde rahat ilerleyemez ve ilave malzeme katılması sonucu yeterli derinliklerde birleştirmeler elde edilemez. Bunun tersi durumunun gerçekleşmesi durumunda da birleşimin dayanımı ilave malzeme dayanımı ile kısıtlanır ve bünyede boşluk kalması, dekapan kalması, ilave malzeme kullanım miktarı açısından olumsuzluk gibi durumlar ortaya çıkabilecektir.

Aşağıdaki grafikte çalışma boşluğu / kesme dayanımı ilişkisi şematik olarak gösterilmiştir. Çalışma boşluğunun çekme dayanımına olan etkisi kesme dayanımına olan etkisinden daha azdır.



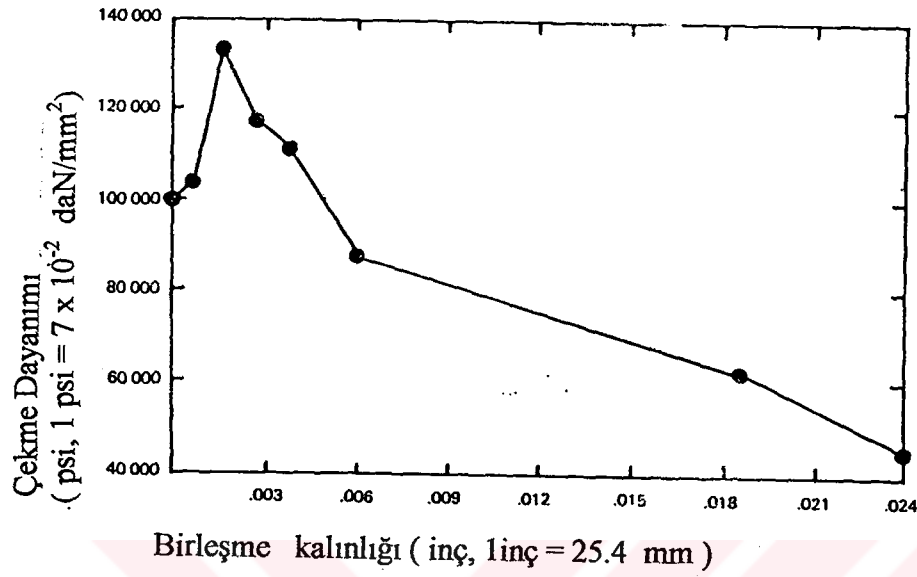
Şekil 7.15 Çalışma Boşluğu / Kesme Dayanımı ilişkisi



Şekil 7.16 Birleşme Kalınlığı / Çekme Dayanımı İlişkisi

Çizelge 7.1 Çeşitli ilave malzeme gruplarına göre tavsiye edilen çalışma boşlukları

AWS'ye Göre İlave Malzeme	Tavsiye Edilen Çalışma Boşluğu (mm)	Açıklama
BAISi Grubu	0,05 – 0,2	6 mm'den az bindirme uzunlukları için
BCuP Grubu	0,2 – 0,25 0,03 – 0,13	6 mm'den fazla bindirme uzunlukları için dekapsız veya dekapanlı (mineral dekapanlar)
BAG Grubu	0,05 – 0,13 0 - 0,05	dekapanlı (mineral dekapanlar) atmosferli (gaz dekapanlar)
BAu Grubu	0,05 – 0,13 0 - 0,05	dekapanlı (mineral dekapanlar) atmosferli (gaz dekapanlar)
BCu Grubu	0 - 0,05	atmosferli (gaz dekapanlar)
BCuZn Grubu	0,05 - 0,13	dekapanlı (mineral dekapanlar)
BMg	0,10 – 0,25	dekapanlı (mineral dekapanlar)
BNi Grubu	0,05 – 0,13 0 – 0,05	genel uygulamalar (dekapan / atmosfer) serbest akan tipler, atmosfer sert



Şekil 7.17 Çalışma Boşluğu / Çekme Dayanımı İlişkisi

Yukarıdaki grafikte alın birleştirmeli bir sert lehimleme bağlantısında çalışma boşluğu değeri ile çekme dayanımı değerinin değişimi görülebilir. Bu grafikte dikkat edilecek durum artan çalışma boşluğunun belli bir değerinden sonra ile çekme dayanımı sürekli bir artış gösterirken belirli bir tepe değerinden sonra bu artışın bir düşmeye dönüştüğüdür. Bir diğer husus ta çok küçük birleşme boşluklarında değişim olmadığı şeklindedir. Bu durumda çalışma boşluğunun belirli bir değer altındaki tutulmasının daralan tolerans sınırları söz konusu olması sebebi ile artacak işleme maliyetlerinden dolayı gereksiz olduğudur.

Burada yine özellikle belirtilmelidir ki, özellikle kritik parçalar, mümkün olan en iyi şekilde tam çalışma şartlarını taşıyan şartlarda test edilerek gerekli parametreler belirlenmelidir. Çünkü yukarıdaki değişimde Ag esaslı bir ilave malzeme kullanılmıştır ve diğer ilave malzemelere ait değerler ve dolayısı ile yukarıdaki değişimler farklı olacaktır. Ayrıca yöntem, dekapan gibi diğer işlem parametreleri de tek tek ve etkileşimli olarak birleşimin çalışma şartlarındaki davranışını belirlemede etkili olurlar.

Dekapanın etkisi şu şekilde olmaktadır: Toz, pasta veya bazen gaz yada bunların kombinasyonu şeklinde olan dekapan kullanımı olabilir. Toz, pasta yada bu ikisinin karışımı şeklinde olabilen dekapan kullanımı durumunda ilave malzemedan daha önce ergiyen dekapan birleşme bölgesine akarak buraları birleşmeye hazırlar. Eğer söz konusu birleşme bölgesi çok dar ise dekapan ile ilave malzeme yer değişimi ya çok güç olacak, yada olmayacaktır. Açıklığın gereğinden fazla olması ise bu bünyede dekapan kalmasına önemli bir sebeptir. Sonuç olarak her iki durumda da bağlantı dayanım ve korozyon direnci açısından zayıflayacaktır.

Gaz halinde dekapan kullanımında ise daha iyi bağlantıların elde edilmesi toz yada pasta formunda dekapan kullanımında olduğundan daha küçük çalışma boşluklarında çalışılmasını gerekli kılmaktadır.

Söz konusu çalışma boşluğunun elde edilmesinde bir diğer önemli sorun da değişen sıcaklıkla bu boşluk değerinin de değişeceğidir. Bir bağlantı için çalışma boşluğu belirlenecek ise ya oda sıcaklığı ya da sert lehimleme sıcaklığı referans alınarak hep buna göre, en azından aynı parça için, hareket edilmelidir. Aynı malzemelerin sert lehimleme işlemleri için genellikle oda sıcaklığı referans alınmaktadır.

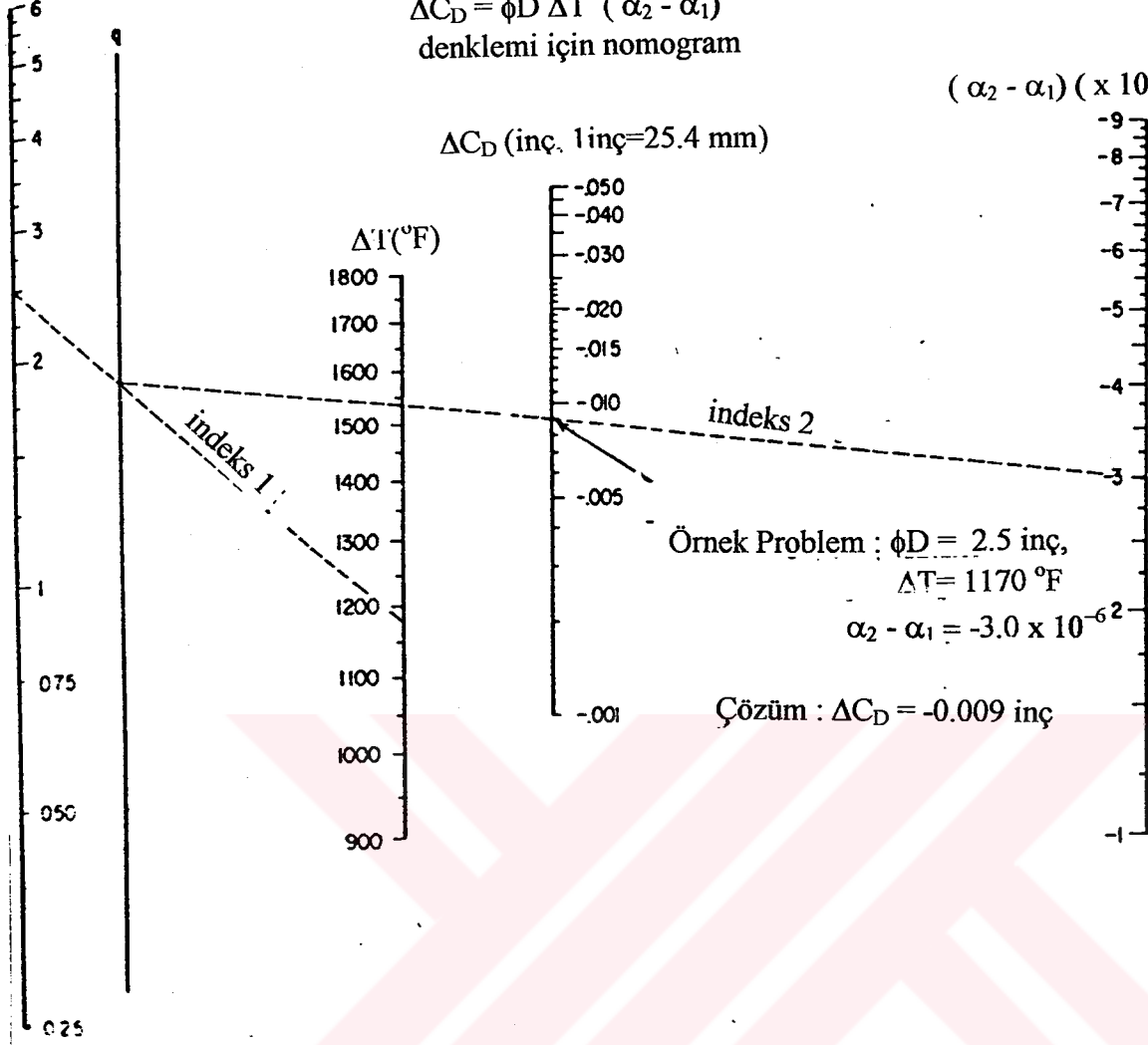
Benzer olmayan malzemelerin sert lehimleme işlemleri için ise sert lehimleme sıcaklığı referans alınmaktadır. Benzer olmayan malzemelerde ve kesit farklılıklarının yüksek olduğu durumlarda da en kritik kesit dikkate alınarak işlem yapılmalıdır.

Farklı malzemelerin sert lehimlenmesi için malzemelerin genişleme katsayıları ve sıcaklık farklılıkları dikkate alınarak çalışma boşluklarının belirlenmesine yardımcı olan nomogramlar geliştirilmiştir.

(inç, 1 inç=25.4 mm)

$$\Delta C_D = \phi D \Delta T (\alpha_2 - \alpha_1)$$

denklemini için nomogram

 ΔC_D (inç, 1 inç=25.4 mm) $(\alpha_2 - \alpha_1) (x 10^{-6} \text{ inç/inç } ^\circ\text{F})$ 

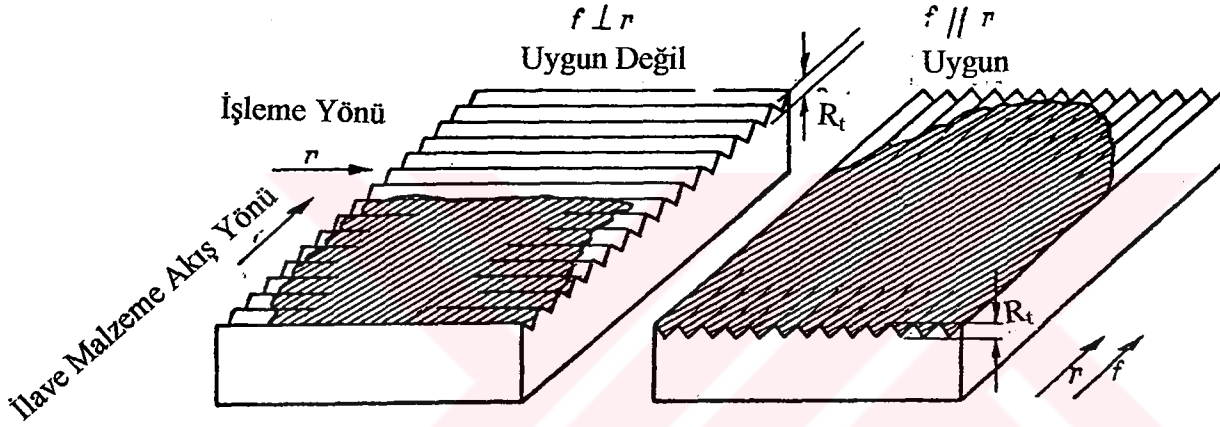
- Bu nomogram sıcaklık değişiminden dolayı olan çap değişimini verir. Sert lehimleme ilave malzemesinin kapiler akışını sağlayacak boşluk sert lehimleme sıcaklığında sağlanmış olacaktır.
- ϕD : Birleştirmede anma çapı, inç
 ΔC_D : Boşluk değişmesi, inç
 ΔT : Sert lehimleme sıcaklığı ile oda sıcaklığı farkı
 α_1 : Erkek parçanın ortalama ısıl genleşme katsayısı, inç/inç $^\circ\text{F}$
 α_2 : Dişi parçanın ortalama ısıl genleşme katsayısı, inç/inç $^\circ\text{F}$
- Burada $\alpha_1 > \alpha_2$ durumu kabul edilmiştir. Böylece $(\alpha_2 - \alpha_1)$ değeri (-) olmaktadır ve ΔC_D değeri de (-) olmakta yani sıcaklık artışı ile boşluk azalmaktadır. $(\alpha_2 - \alpha_1)$ değerinin (+) olması ise sıcaklık artışı ile boşluğun arttığı anlamındadır.

Şekil 7. 18 Isıl genleşmeleri farklı malzemelerin sert lehimlenmesinde çalışma boşluğunun saptanmasında kullanılan nomogram

7.4 Birleştirilecek Yüzeylerin Durumu

Sert lehimleme açısından birleştirilecek yüzeylerin durumları da oldukça önemli etkilere sebep olmaktadır. Yüzey pürüzlüğüne ait R_t değerinin belirli sınırlarda olması, pratik olarak 50 – 200 μm , gerekmektedir. Yüzey pürüzlülük değerinin gereğinden düşük olması ilave malzemenin tüm birleşme alanına yayılmasına engel olur. 200 μm 'den daha yüksek bir yüzey pürüzlülüğü durumunda da ortalama çalışma boşluğu artmakta ve pürüzlülük en üstlerinde noktasal yada lokal birleştirmeler söz konusu olmaktadır.

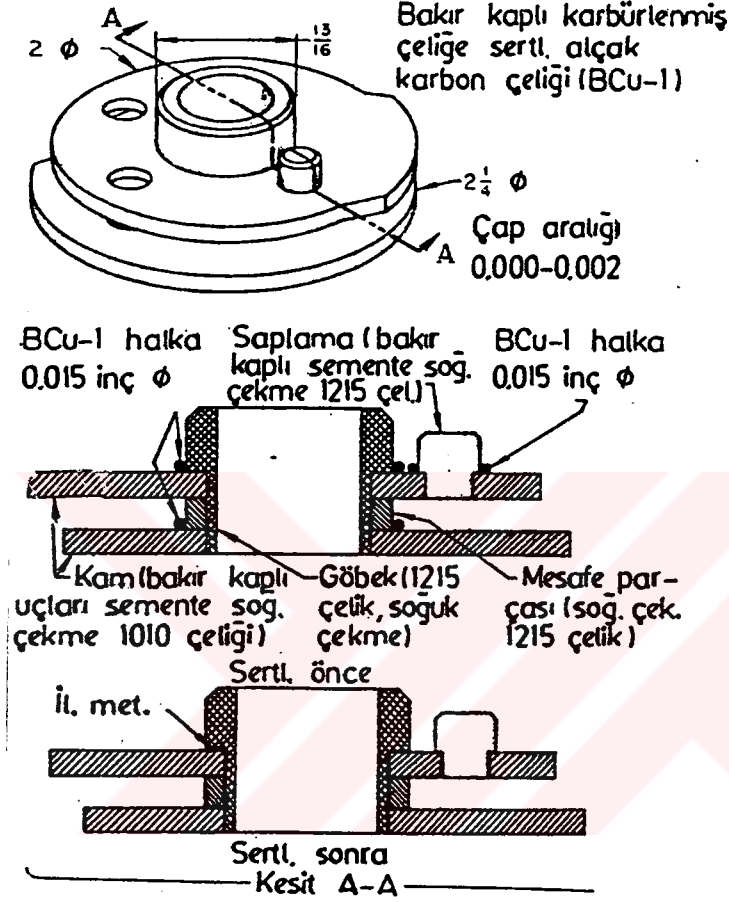
Ayrıca ilave malzeme akış yönünün de işleme yönü ile aynı olması önemli avantajlar getirebilecektir.



7. 19 Sert lehimleme birleştirmelerinde yüzey işleme yönünün ilave malzeme akışına etkisi

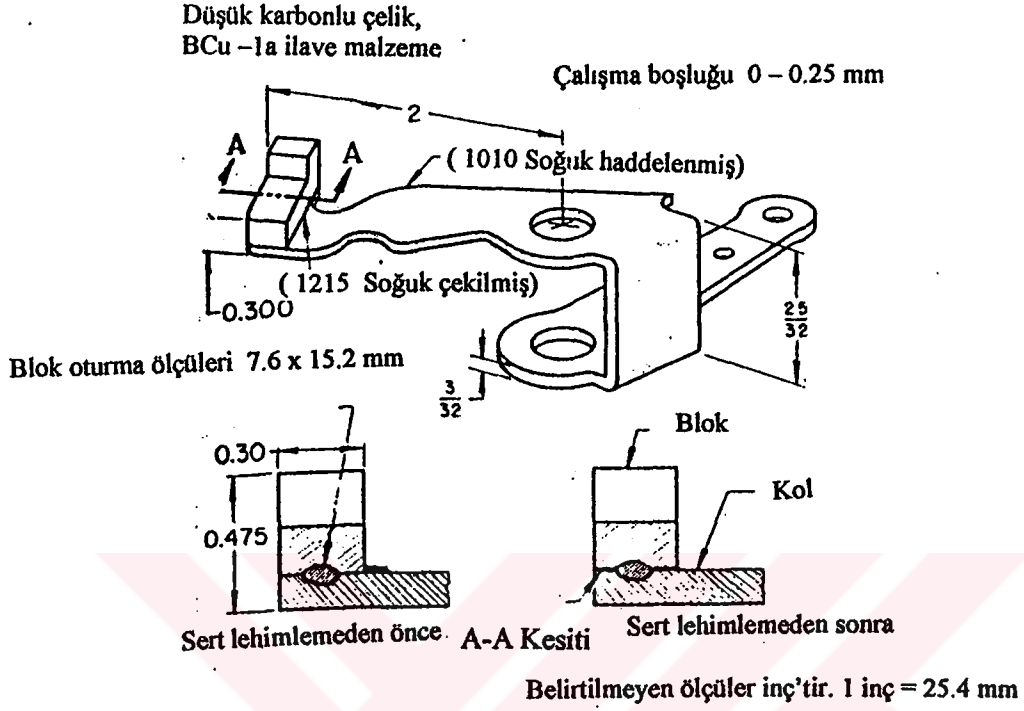
8. SERT LEHİMLEMEYE İLİŞKİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Uygulama 1



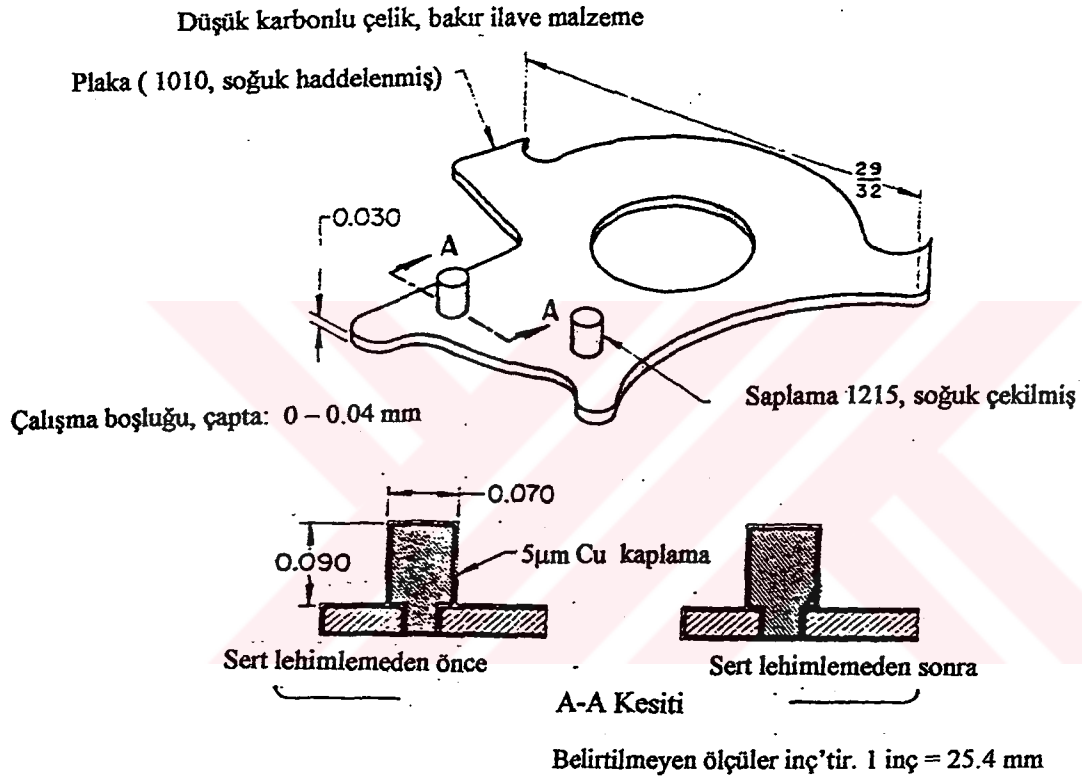
Ana Malzeme	:
Kamlar	: SAE 1010, Düşük Karbonlu Çelik
Göbek	: SAE 1215 , Bakır Kaplı Soğuk Çekilmiş Çelik
İlave Malzeme	: B Cu - 1
İşlem Sıcaklığı	: 1132 °C
Yöntem	: %0,3 - 0,4 C içerikli atmosferli fırında sert lehimleme
Açıklamalar	: Bu montajda kam ve saplamaya sementasyon uygulanmış ve Cu kaplanmıştır. Atmosfer ise özellikle, dekarburizasyonun önüne geçmek üzere yüksek C içerikli olarak seçilmiştir. (Oğuz, 1988)

Uygulama 2



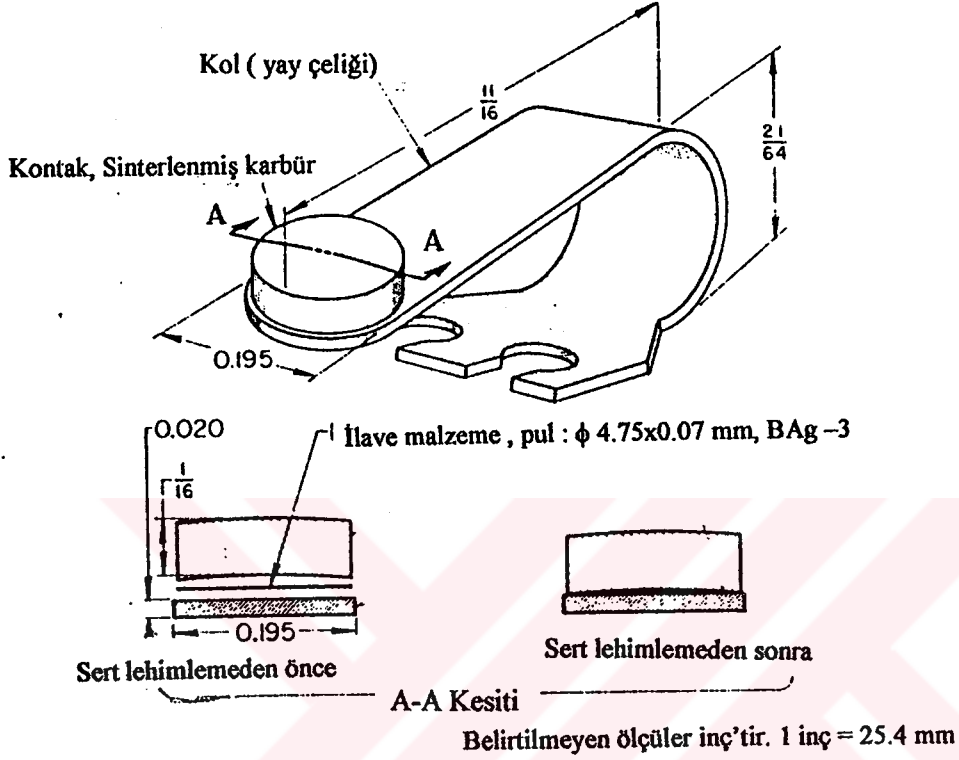
Ana Malzeme	: 1010 Düşük Karbonlu Çelik ve 1215 Çelik
İlave Malzeme	: B Cu - 1a
İşlem Sıcaklığı	: 1132 ° C
Yöntem	: 900 birleştirme / saat kapasiteli fırında sert lehimleme
Açıklamalar	: Bu uygulamada kaynakla birleştirilmiş malzemelerde servis ömrünü artırmak amacı ile sert lehimleme ile kaplama yapılmıştır. Parçada pasta formunda ilave malzeme kullanımı , düşük sayıda parçadan dolayı zorunlu olmuştur. (ASM, 1983)

Uygulama 3



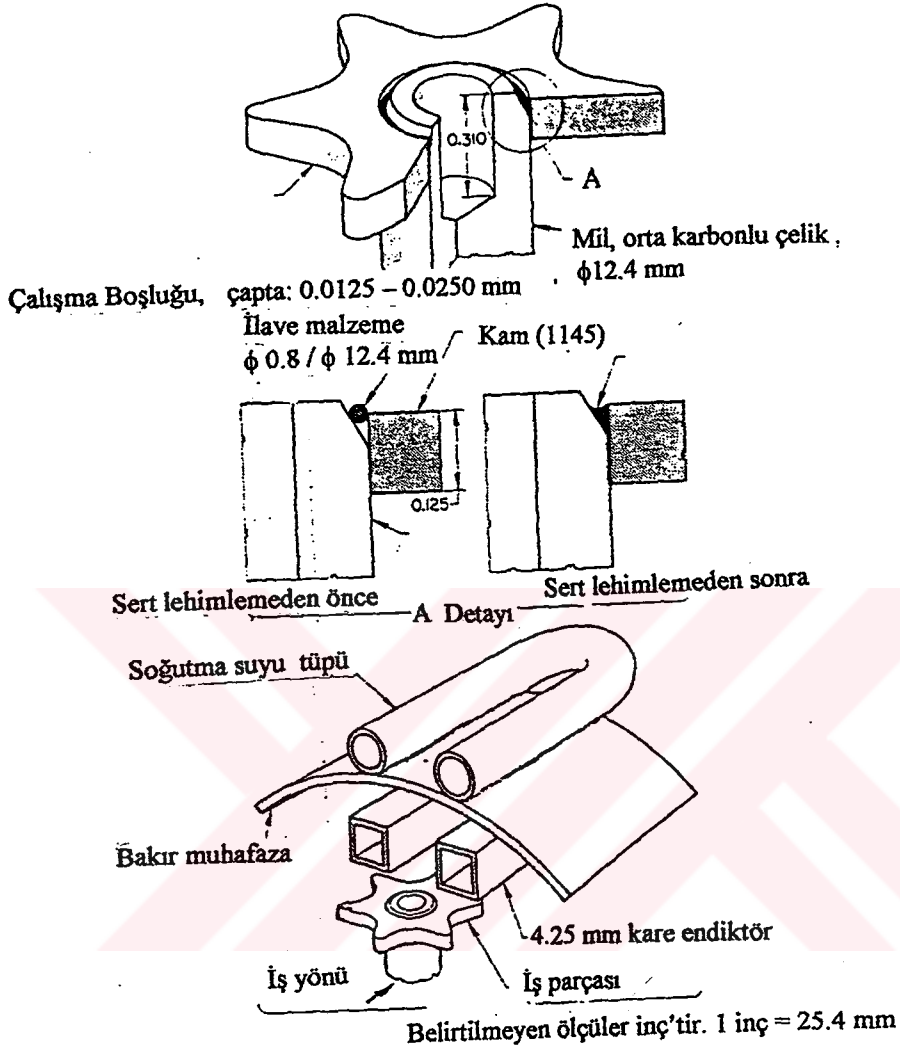
Ana Malzeme	: 1010 Düşük Karbonlu Çelik ve 1215 Çelik
İlave Malzeme	: B Cu – 1a
İşlem Sıcaklığı	: 1132 °C
Yöntem	: 2200 birleştirme / saat kapasiteli fırında sert lehimleme
Açıklamalar	: Bu birleştirme örneğinde kullanılacak olan ilave malzemenin yerleştirilmesi, boyutların düşük olması sebebi ile ancak Cu kaplama ile verimli bir şekilde aşılabilmektedir. (ASM, 1983)

Uygulama 4



Ana Malzeme	: Yay Çeliği ve Sinterlenmiş Kapıt
Yöntem	: Üfleç, yarı otomatik, 300 saat / birleştirme
İlave Malzeme	: B Ag - 3
Dekapan	: AWS 3A
Açıklamalar	:İşlemda yanıcı karışım olarak doğalgaz / hava karışımı kullanılmıştır. Dekapanlama ve yükleme elle, diğer adımlar otomatik olarak yapılmıştır. Karpit yerinde bir ağırlık ile tutulmaktadır. ASM, 1983)

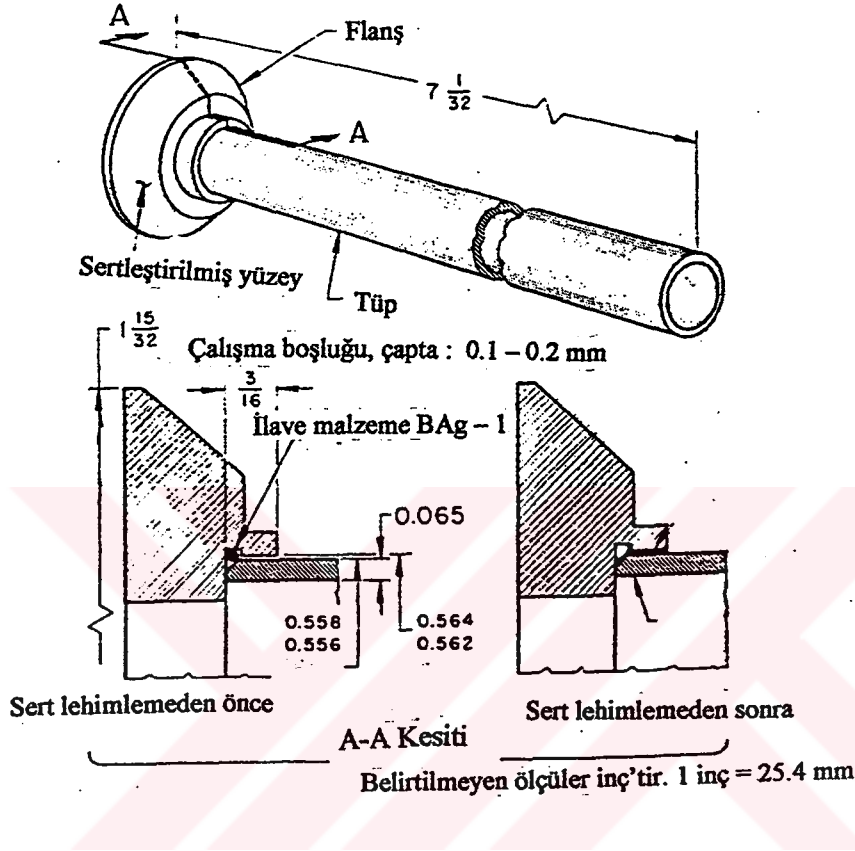
Uygulama 5



Ana Malzeme	: 1145 Çelik (Kam) , Orta Karbonlu Çelik (Mil)
Yöntem	: Endiksiyon ile sert lehimleme, 450 kHz
İlave Malzeme	: B Ag - 3
Dekapan	: AWS 3A
Açıklamalar	: Bu uygulamada zorluk, kam-mil montajında eşeksenliliğin ve milde belirli kısımlara ait sertlik değerlerinin korunmasıdır. Uygulamada ilk önce aşırı ısı kullanımı ve kaçışı ile yumuşama sözkonusu iken daha sonra bu zorluk, milin ucunun işlenmesi, uygun bir V birleştirme ağzının açılması ve işe uygun endiktör kullanımı ile aşılmıştır. (ASM, 1983)

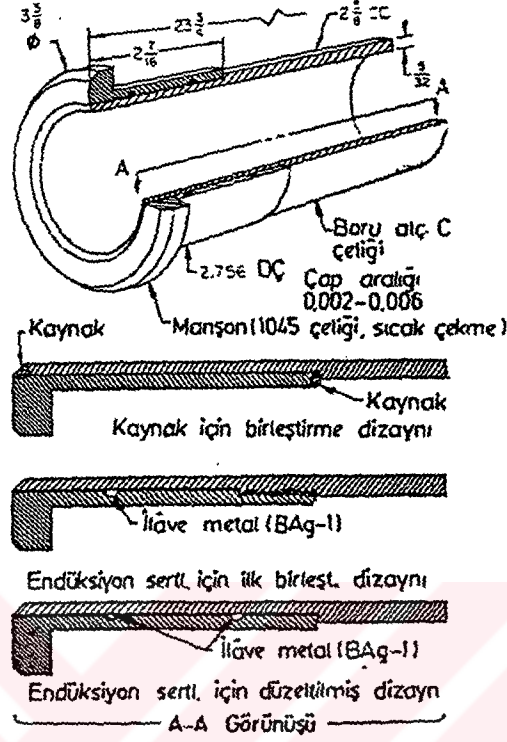
Uygulama 6

Düşük karbonlu çeliğin orta karbonlu çeliğe sert lehimlenmesi



Ana Malzeme	: Boru 1010 Çelik ve Flanş 1040 Çelik
Yöntem	: Endiksiyon ile sert lehimleme, 400 kHz
İlave Malzeme	: B Ag - 3
Dekapan	: AWS 3A
Açıklamalar	: Bu uygulamada hem sert lehimleme hem de sertleştirme birlikte yapılmaktadır. Başlangıçta fırında yapılan sert lehimleme, ekonomikliğini kaybettiği için bunun yerine endiksiyon ile sert lehimleme seçilmiştir. Burada flanş yüzeyine 788 ^o C ve diğer kısımlara da 675 ^o C. sıcaklık uygulanmıştır. Tüm parçaya 788 ^o C sıcaklık uygulaması aşırı penetrasyon ve oksidasyon gibi sonuçlara yol açacaktır. (ASM, 1983)

Uygulama 7



Ana Malzeme	: Dış Tüp 1045 ve Düşük Karbonlu Çelikten İç Tüp
Yöntem	: Endüksiyon ile sert lehimleme, 10 kHz
İlave Malzeme	: B Ag - 1
Dekapan	: AWS 3A
Açıklamalar	: Bu parçaların birleştirilmesinde ilk önce gazaltı kaynak kullanımı ile birleştirme yapılmıştır. Kaynak, dış parçanın başına uygulanmış, ancak zamanla ortaya çıkan kırılmalar vb. sebebi ile yerini sert lehimlemeye bırakmıştır. Sert lehimlemede önce sadece tek yerden ilave malzeme kullanımı ile beslenmesi ve dış çekilmesi birlikte düşünülmüş ancak daha sonra bu dışlardan ve yorulma kırılmaları meydana gelmesi sebebi ile bu tasarım da terk edilerek iki yerden ilave malzeme beslemesi düşünülmüştür. (Oğuz, 1988)

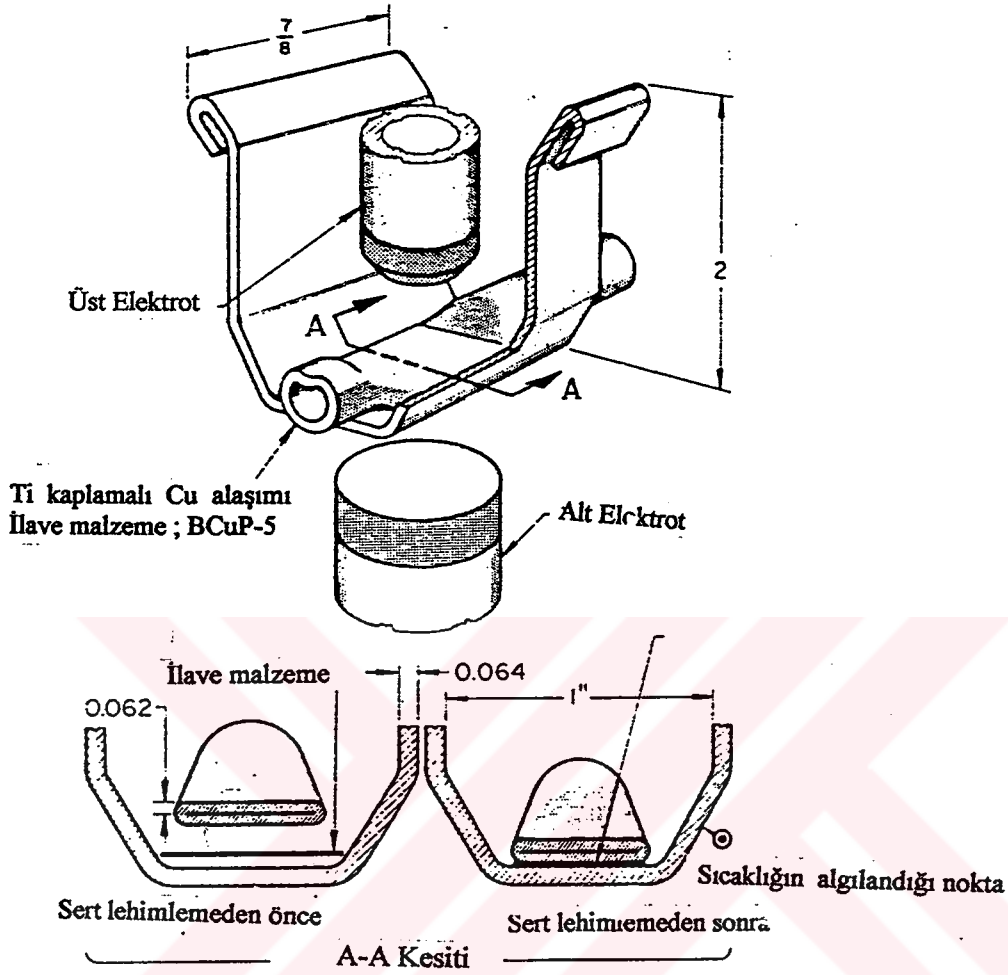
Burada kaynak ve sert lehimleme zaman açısından karşılaştırıldığında hazırlık işlemleri için geride kalan sert lehimlemenin toplam zamanda daha iyi bir durumda olduğu ortaya çıkmaktadır.

<u>İşlem *</u>	<u>Sert Lehimleme</u>	<u>Kaynak</u>
Hazırlık	0.8 saat	0.2 saat
Birleştirme	2.27 saat	3.66 saat
<u>Toplam</u>	<u>3.17 saat</u>	<u>3.86 saat</u>

(* : 30 montaj için)



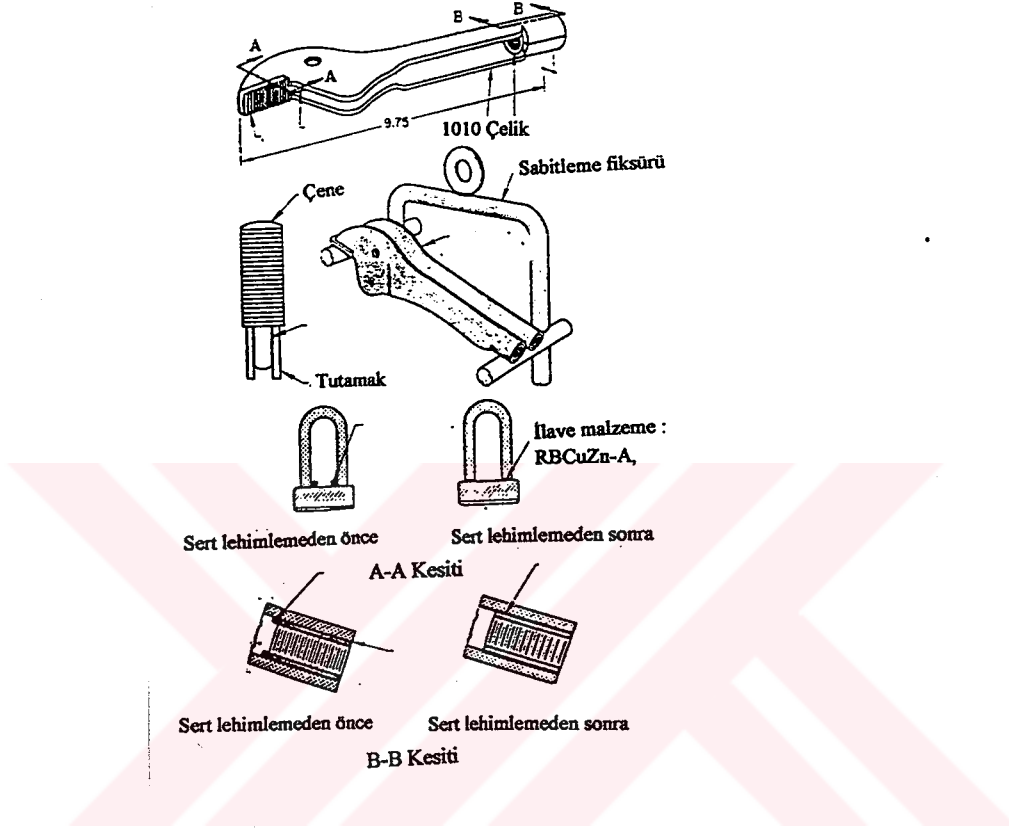
Uygulama 8



Belirtilmeyen ölçüler inç'tir. 1 inç = 25.4 mm

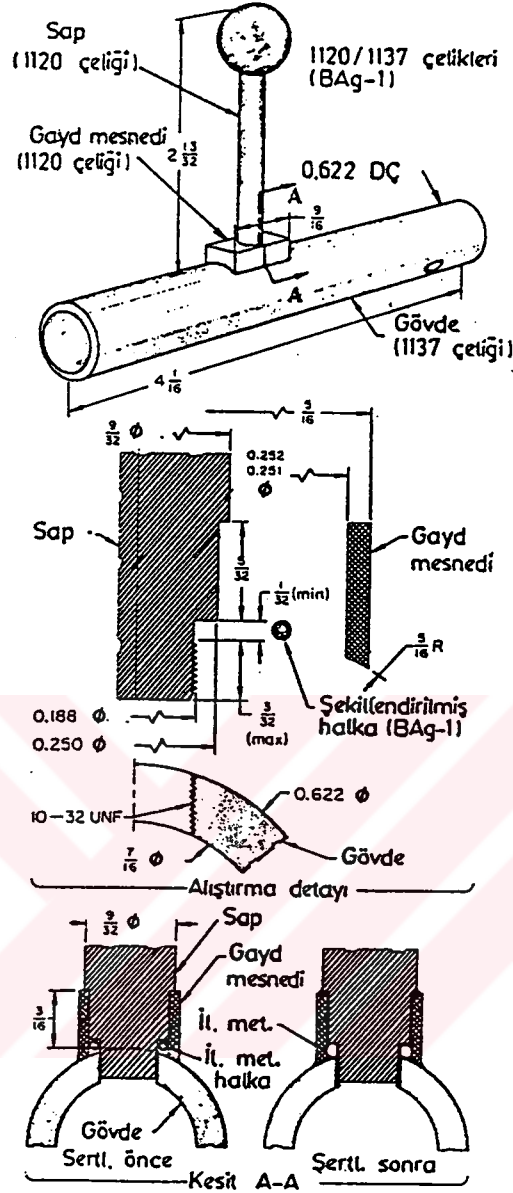
Ana Malzeme	: Cu
Yöntem	: Direnç ile sert lehimleme, 18000 kHz
İlave Malzeme	: B CuP - 5
Dekapan	: AWS 3A
Açıklamalar	: Bu parçalar ilk önce endüksiyon ile sert lehimleme işlemine tabii tutulmuş, ancak dayanım açısından düzenli ve güvenilir bir birleştirme elde edilememiştir. Burada parçaların uygun konumlandırılması için aparat ve sıcaklığın hassas kontrolü için de foto-sensör kullanılmıştır.

Uygulama 9



Ana Malzeme	: 1010 Çelik
Yöntem	: Daldırma ile sert lehimleme, 400 kHz
İlave Malzeme	: RBCuZn - A
Açıklamalar	: Yukarıdaki birleştirmede sert lehimleme ve sementasyon birlikte yapılmıştır. Öncelikle çene kısmına 30 dk. süre ile 913°C sıcaklıkta sementasyon uygulanmış, sonra da diğer paçalar ile birlikte bir aparat üzerinde ilave malzemelerin de yerleştirildiği parçalar 910°C sıcaklıkta 20 dk süre ile sert lehimlenecek ve sonrasında da 48 – 51 HRC'ye sertleştirilecektir.

Uygulama 10



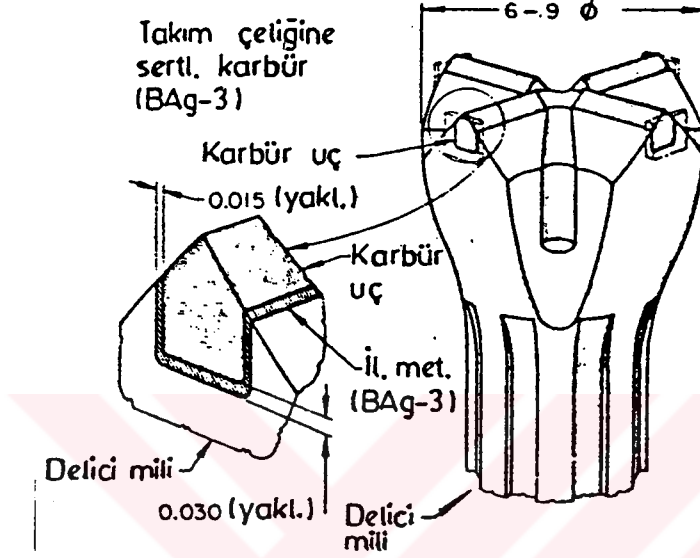
Ana Malzeme : 1137 ve 1120 çelik

Yöntem : Tuz banyosuna daldırma ile, %50 NaCl - %50 KCl

İlave Malzeme : B Ag - 1

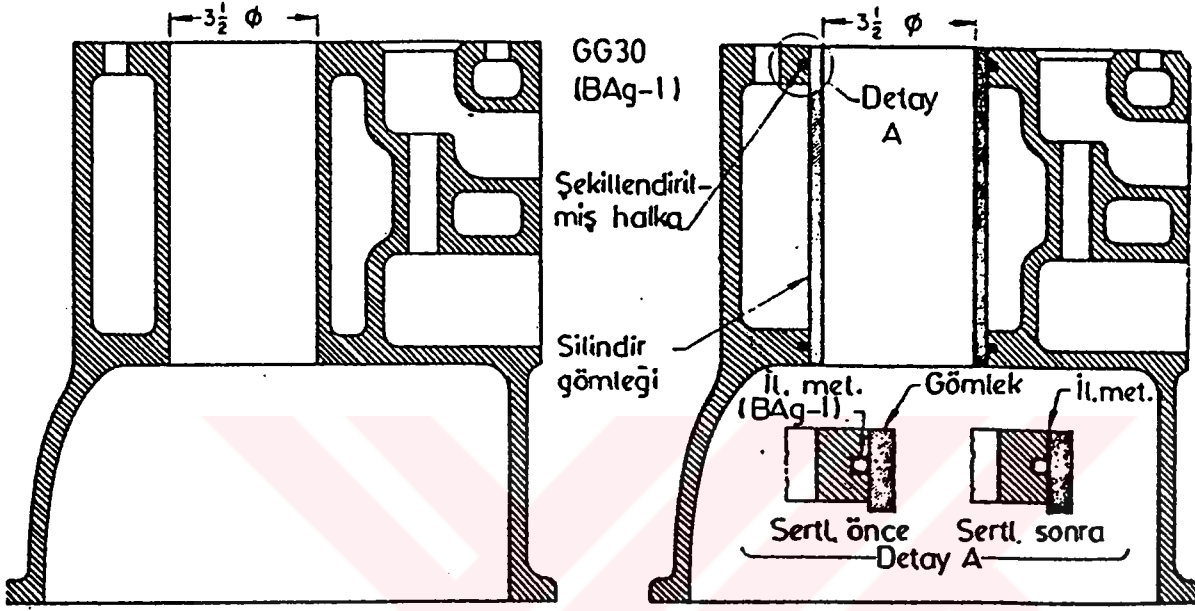
Açıklamalar : Yukarıdaki birleştirmede sert lehimleme ve sertleştirme işlemleri birlikte yapılmıştır. İlk önce fırında kontrollü atmosferde sert lehimleme ile birleştirilen bu parçalarda, daha sonra gövdeye sertleştirme işlemi uygulanması gereği ortaya çıktığından parçalar 7 dk süre ile tuz banyosuna daldırılarak sert lehimlenmektedirler. (Oğuz, 1988)

Uygulama 11

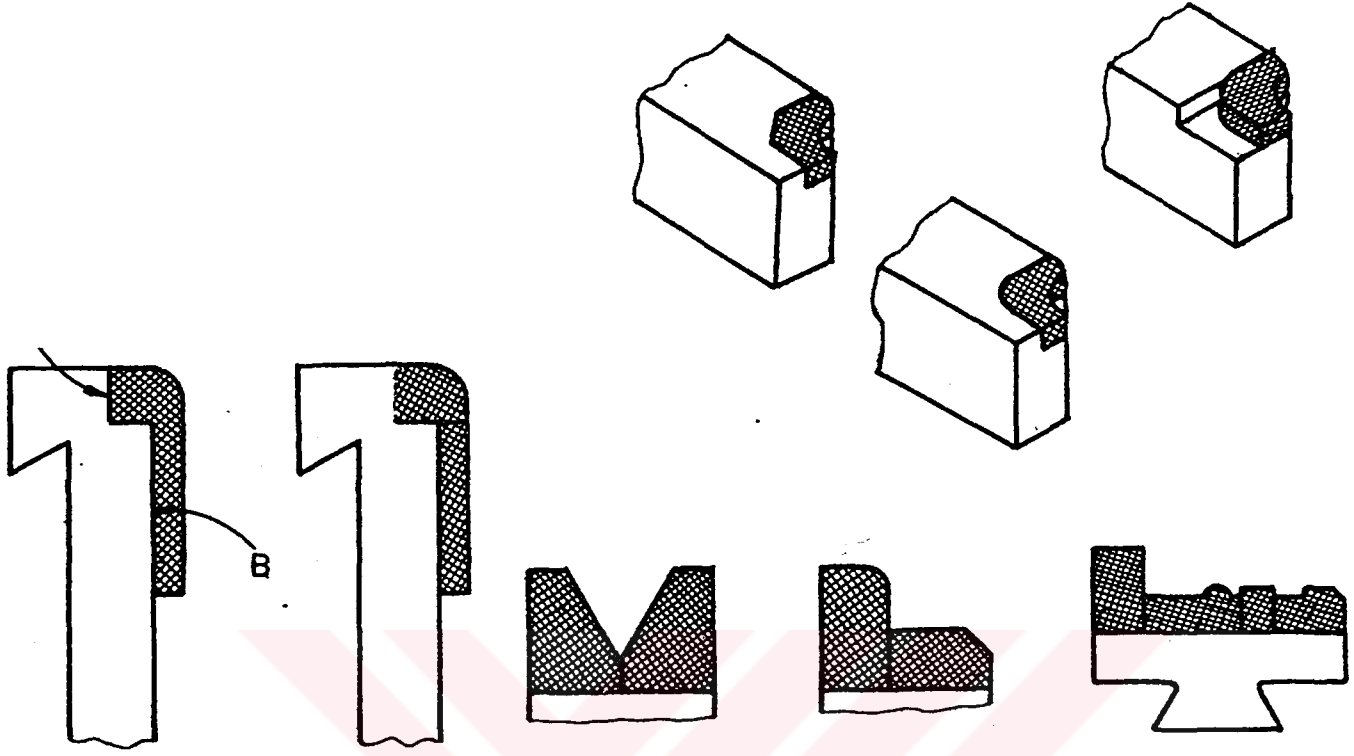


Ana Malzeme	: Takım Çeliği ve Sert Metal
Yöntem	: Tuz banyosuna kısmi daldırma ile, %50 NaCl - %50 KCl
İlave Malzeme	: B Ag - 3
Açıklamalar	: Bu uygulamada da birleştirmede sert lehimleme ve sertleştirme işlemleri birlikte yapılmıştır. Karbür ve gövdeye dekapan ve ilave malzeme uygulaması yapılır. Burada ilginç olan husus banyo içinde dekapan ve ilave malzemenin dışarıya akmasını önlemek için , daha sonra alınmak üzere dıştan parça kaynatılır. Birleştirilecek parçalar banyoya tam olarak değil de kısmen daldırılır. Oğuz, 1988)

Uygulama 12

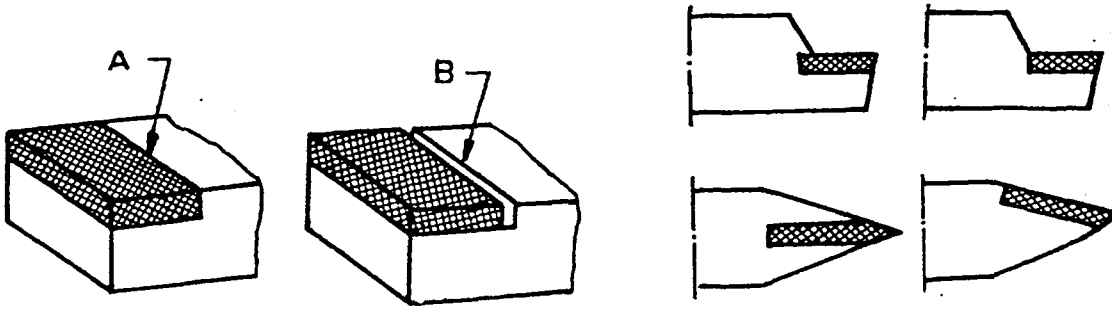


Ana Malzeme	: Gri Dökme Demir ve 1020 Çelik
Yöntem	: Fırında 718 ⁰ C ve koruyucu atmosfer ortamında
İlave Malzeme	: B Ag – 1
Dekapan	: AWS 3A
Açıklamalar	: Yukarıdaki parçada iç kesitlerin dökümlle elde edilmesi ve sonrasında da temizlik işlemleri zorluklara sebep olduğundan şekilden de görülebilen iki ayrı parça olarak düşünülen blokta içe açılan yuvalara yerleştirilen ilave malzemeler gerekli birleşmeyi sağlayacaklardır. Bu örnek için öngörülen boşluk değeri 0.05 – 0.18 mm'dir. (Oğuz, 1988)



Şekil 8.1: Belirli boyuta sahip sert metal plakelerinde parçalı kullanım

Ayrıca gereğinde belirli kesite sahip plakelerin tek plaket yerine birden fazla plaketin beraber kullanımları termal gerilmeler avantaj getirmektedir.



Şekil 8.2 : Açılacak plaket yuvasındaki değişikliklerle gerilmelerin azaltılması

Çizelge 8.1 W esaslı sert metallerin çeliğe sert lehimlenmesinde çalışma boşluğu ve max. kesme dayanımları değişimi (ilave malzeme : BCu)

İşlem Boşluğu (mm)	Max. Kesme Day (daN/mm ²)	Akma Day.(MPa) (daN/mm ²)	Akmada Max. Uzama (mm)
0.00	18.4	18.4	0.25
0.13	19.9	17.8	0.53
0.25	23.2	15.7	1.24
0.38	21.6	16.2	1.52
0.51	22.9	13.4	1.68
0.64	20.5	12.7	2.08

(AWS , 1971 ve 1991)



9. SERT LEHİMLEME HATALARI, KALİTE – KONTROL ve GÜVENLİK– ÇEVRE

9.1 Sert Lehimleme Hataları

Sert lehimleme ile yapılan bir birleştirmede bağlantının kalitesine etki eden faktörlerin çokluğu ve bunların birbirleri ile olan çok yönlü ilişkileri, nitelikli bir bağlantının elde edilmesi için tüm parametrelerin ayrı ayrı denetim altında tutulmasını gerekli kılmaktadır.

Sert lehimleme bağlantılarında hata denildiğinde bağlantıdaki düzensizlikler ve öngörülen şekilden sapsmalar anlaşılmalıdır. DIN normlarında (8515) en yaygın hatalar sınıflandırılarak kodlanmıştır.

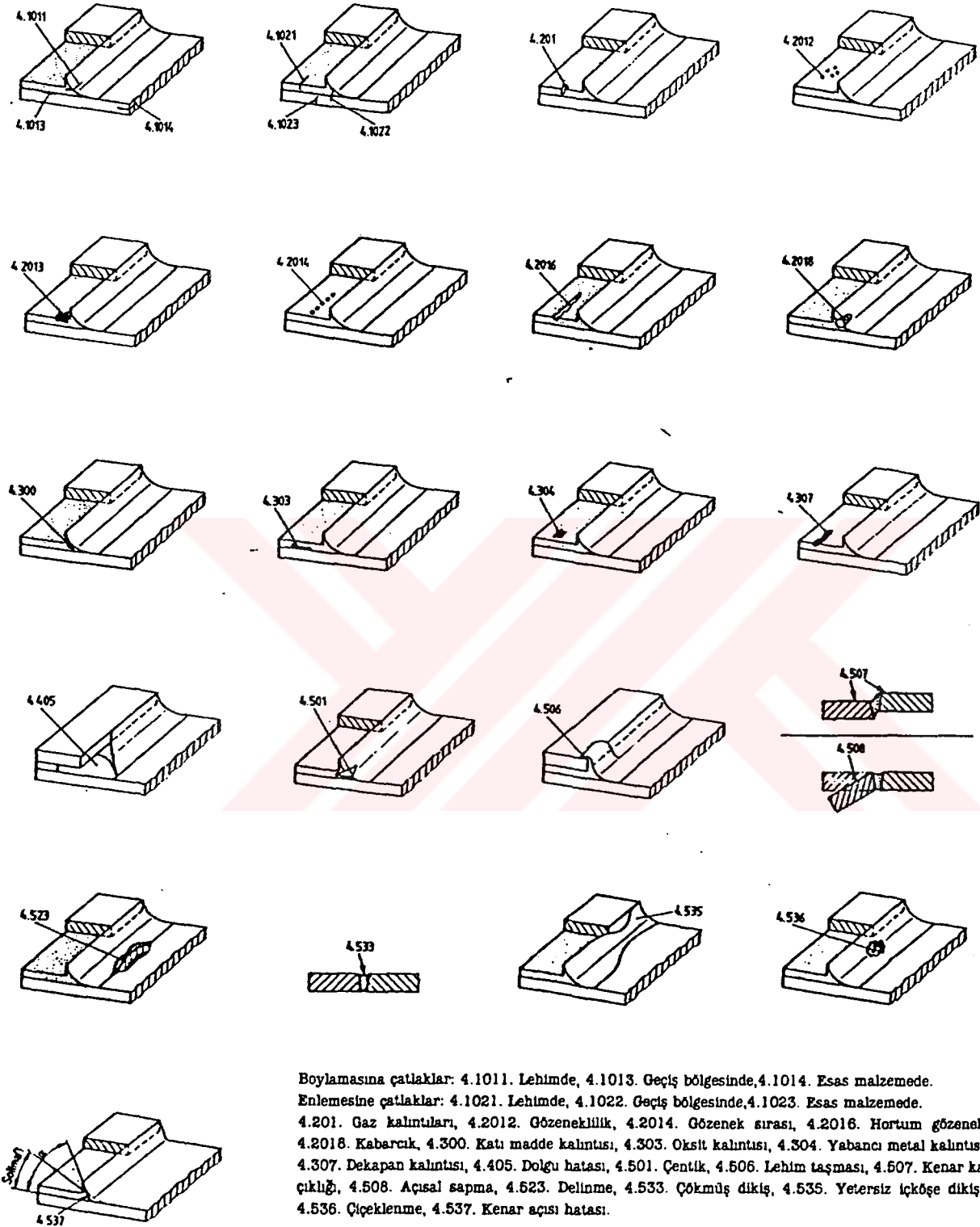
Bu hatalar altı başlık altında toplanabilse de aslında iki temel hata grubu vardır. Bunlardan ilki sert lehimleme süreci sırasında kapiler aralık doldurulması ile ilgili, ve diğeri de metallerin sıvı durumdan katı duruma geçmeleri sırasında gaz çözünürlüğündeki azalmalar ve büzölmeler ile ilgilidir.

Şekil 9.1.1’de DIN 8515’e göre sert lehimleme hataları kodları ile Çizelge 9.1.1’de de tipik sert lehimleme hataları ile bunların sebepleri ve çözümleri görölebilir.

Çizelge 9.1 Sert lehimlemede tipik hatalar, sebepleri ve önleme yolları (Bodur, 1994)

Hata Çeşiti	Nedenleri	Önlemler
İletken Plaka Üzerinde Çökelmeler	Beyaz çökelmeler dekapanın bileşimi, sert lehimleme koşulları ve koruyucu örtünün etkisi ile oluşur. Koyu çökelmeler yanlış dekapan veya dekapan artıklarının tam uzaklaştırılmaması ile oluşur.	Çökelmeler kuru fırça yada su ile uzaklaştırılmalıdır. Kolofonyumlu dekapanların çökelmeleri sert lehimlemeden hemen sonra çözücü gereçlerle , asitli dekapan kalıntıları da nçtrleştirici kalıntılarla uzaklaştırılmalıdır.
Sert Lehimleme Dikişinde Çatlaklar	Sert lehimlemede çok hızlı soğuma Ana malzeme ile sert lehimleme ilave malzemesi arasında fazla fark Geniş katılma aralığına sahip ilave malzeme ile sert lehimleme Gevrek faz oluşması	Soğuma hızını azaltıp yüksek enerji yoğunluklu enerji kaynakları ile ısıtınız. Isıl genleşme katsayıları düşük malzeme seçiniz. Kompozit malzemeler kullanınız. İlave malzeme seçimini gözden geçirin ve lehimleme koşullarını kontrol ediniz.
Sert Lehimleme Bağlantısında Çatlaklar	İlave malzemenin ana malzemeye yoğun yayılması. Birleştirilen malzemelerin ısıl genleşme katsayıları arasında aşırı fark	Sert lehimleme sıcaklığını düşürüp, ısıtma süresini azaltınız. Isıl genleşme katsayıları düşük malzemeler seçiniz. Isıl genleşmeli malzemeler için uygun tasarım ve teknolojik yöntemler kullanınız.
Yapı Elemanlarının Konumu Sert Lehimlemeden Sonra Kaliteye Uygun Yüzey	Sert lehimlemeden önce iş parçasının tespitinin kötü yapılması. Lehimleme bölgesinde oksitleyici ortam İş parçası yüzeyinde karbon	Sert lehimleme bağlantısında konum tespiti için uygun bağlantı elemanlarını kullanınız. Koruyucu gaz sevk ederek oksitleyici kalıntıları önleyiniz. Sert lehimleme yüzeyindeki tüm yağlama gereçlerini gideriniz.

Dikişte Kaba Yüzey	Sıcaklık çok yüksek veya uzun ısıtma	Sıcaklığı düşürünüz veya ısıtma süresini kısaltınız.
Elektrik kontağı yok	Soğuk birleşme yerleri, sert lehimleme bağlantısı yok	Yenide kalay yaparak sert lehimleme işlemi uygulayınız.
Karşı karşıya gelen yüzeyler arasında dikiş oluşmamış	Optimum sert lehimleme aralığı elde edilmemiş, ana malzemenin ilave malzemedeki çözünürlüğü fazla Sert lehimleme sıcaklığı yanlış, homojen ısıtma yok Sert lehimleme yüzeyi kötü temizlenmiş Kapalı dikiş bölgesinde gaz çıkış delikleri yok. Sert lehimlemede yapıştırıcı maddenin akıp gitmesi için yetersiz ilave malzeme	Sert lehimleme aralığını değiştiriniz, ilave malzeme miktarını artırınız, sert lehimleme sıcaklığını yükseltiniz. Birleşme sıcaklığına kadar yapı grubu-nu homojen ısıtınız. Sert lehimleme-den önce özenli yüzey temizliği ile da- ha aktif dekapan veya gaz kullanınız. Havalandırma delikleri bırakınız. Sert lehimleme pastası hazırlarken ısıtma sırasında katı halden gaz haline geçen polimerler kullanınız.
Dikişte gözeneklilik	Çok yüksek sert lehimleme sıcaklığı ve süresi İlave malzeme veya dekapan komponentlerin buharlaşması Dekapan ve diğer ortamların etkisi	Sert lehimleme süresini kısaltınız, sıcaklığı düşürünüz. Sert lehimleme olayını minimum minimum sıcaklıkta ve sürede uygulayınız; min. ısıtma süresi sağlayan ısıtma yöntemleri seçiniz. Vakumda sert lehimleme yöntemini uygulayınız.
Dikişte curuf kalıntısı	Yüzey hazırlığı kalitesi uygun değil Isıtma süresi çok uzun Oksijeni fazla alev kullanılması	Özenli yüzey hazırlığı yapınız Sert lehimleme teknolojisine uyunuz. Yanıcı alevi ayarlayınız.
Sert lehimleme bölgesinde ana malzemeni yerel erozyonu	Sıvı durumdaki ilave malzemedeki ana malzemenin aşırı çözünmesi	Erozyona neden olmayacak başka ilave malzeme seçiniz, sıcaklık ve süreyi uygun ayarlayınız.
Yapı elemanlarının deformasyonu	Homojen olmayan yapı grubu ısıtması ve/veya soğutması	Homojen ısıtma veya soğutma sağlayınız. Isı enerjisini konsantre ediniz. Sert lehimleme prosesinin tüm elemanlarının tam tespitini sağlayan tertibatlar kullanınız.
Dikişte dekapan kalıntıları	Ana malzemenin ergime sıcaklığı ana malzemenin ergime sıcaklığından daha düşük İlave malzemenin aralığı doldurması iki yandan oluyor. İlave malzemenin özgül ağırlığı dekapanınkinden büyük	Dekapanın etkime sıcaklığı, ilave malzemenin çalışma sıcaklığından daha düşük Aralığın tek yanlı olarak doldurulmasını sağlayınız. Uygun dekapan seçiniz
İlave malzeme metal yüzeyimi ıslatmıyor	İş parçası yetersiz ısıtıyor Bir oksit tabakasının varlığı ve diğer pislikler İlave malzeme akıyor İlave malzeme çalışma sıcaklığı ile dekapanın etkime sıcaklığı arasında büyük fark var Yeterli yüzey kabalığı sağlanmamış İlave malzeme ile ana malzeme arasında etkileşim yok	Sert lehimleme sıcaklığını yükseltiniz. Dekapanın bileşimini ve çalışma sıcaklığını, koruyucu gazı, koruyucu gazın gelip gelmediğini kontrol ediniz. Daha aktif dekapan kullanınız, dekapan miktarını yükseltiniz İlave malzeme ve dekapanın sert lehimleme teknolojisi ile uygun olmasını sağlayınız. Yüzey hazırlama yöntemini değiştiriniz. İlave malzemeyi değiştiriniz, işlem sıcaklığını artırınız, ana malzemeyi kaplayınız.



Şekil 9.1 DIN 8515'e göre tipik sert lehimleme hataları ve kodları (Bodur, 1994)

9.2 Kalite Kontrol

Tüm diğer mühendislik uygulamalarında olduğu gibi sert lehimleme birleştirmelerinde de güvenilirliğin tam olarak sağlanmış olması gereklidir. Çünkü, özellikle bazı kritik birleştirmelerde, küçük bir hata çok daha ağır sonuçlara, yaralanmalara ve hatta can kayıplarına sebep olabilmektedir.

Sert lehimleme prosesinde çok sayıda parametre olduğu için, bunların her birinin birbirleri ile çok yönlü ilişkileri göz önüne alındığında sürecin en başından en sonuna kadar kontrol altında tutulması gereklidir. Özellikle de kritik kullanımlar için sert lehimleme uygulamaları yapan kuruluşların tam teşekküllü kalite kontrol sistemleri ve sağlıklı bir dökümantasyonun bulunması zaruridir.

Bir sert lehimleme birleştirmesi için yapılacak test ve kontrollerin, mutlaka o bağlantının çalışma koşulları dikkate alınarak, yani var ise sıcaklık, korozif etkiler, dinamik yükleme vb., yapılması, söz konusu kontrol sonuçlarının güvenilirliği açısından kesinlikle gereklidir.

Yapılacak test ve kontrollerde kesinlikle belirli normlar takip edilmelidir. Bu konuda AWS'nin de çalışmaları * mevcuttur ve eğer kullanıcı özel isteklerde bulunmamış ise bu tür normlar mutlaka dikkate alınmalıdır.

Genel itibari ile sert lehimleme bağlantılarının kontrolünde 'Tahribatsız Muayene' ve 'Tahribatlı Muayene' olmak üzere iki ana grup muayene yöntemi mevcuttur. Aşağıda bu iki ana gruba ait en yaygın kullanılan kontrol yöntemleri kısa kısa ele alınacaktır.

9.2.1 Tahribatsız Muayeneler

Görsel Kontrol

Diğer kontrol yöntemleri kullanılsa bile görsel kontrol sert lehimleme bağlantılarının birleştirilmesinde her zaman kullanılan bir yöntemdir. Özellikle görünüm, dış yüzeydeki süreksizlikler gibi yüzeysel hataların ortaya çıkartılmasında etkili olan görsel kontrol iç kısımlarda olabilecek hataların ortaya çıkartılmasında yetersiz kalmaktadır.

İç kısımlarda olabilecek hataların belirlenmesinde küçük gözlem delikçiklerinin açılması boşluk gibi hataların ortaya çıkartılmasında kullanılan pratik bir yöntemdir.

* : AWS C 3.3 ; Kritik Sert Lehimleme Parçaları İçin Tavsiye Edilen Tasarım, Üretim ve Kontrol Uygulamaları (Recommended Practices for Design, Manufacture and Inspection of Critical Brazed Components)

Görsel kontrolde incelemeyi yapan kişinin bu alanda çok iyi bir birikime sahip olması gereklidir ve tipik numuneler, fotoğraflar gibi değişik yardımcı bileşenlerle incelenen numunelerin kabul edilebilir yada kabul edilemez olduğunun kararında desteklenmesi gereklidir.

Mukavemet Deneyleri

Mukavemet deneylerinde birleştirme, çalışma yükünden biraz daha fazla yük ile yüklemeye maruz bırakılır. Bu yükleme çekme, basma, bükme vb. olabilir.

Mukavemet deneyi kesinlikle bir sert lehimleme bağlantısının güvenilirliğinin belirlenmesinde tek başına kullanılmamalıdır. Çünkü tek bir yüklemenin bağlantı üzerinde oluşturacağı etki, bağlantının buna direnci, kesinlikle çalışma sırasındaki sürekli belki de dinamik yüklemenin yerini ve sıcaklık gibi dezavantaj teşkil eden faktörlerin oluşturacağı sonuçlar için ip ucu olamaz.

Basınç Testleri

Birleştirilen parçalarda sıvı yada gaz sızdırmazlığının istendiği durumlarda kullanılır. Burada özellikle yapılan üretimin basınçlı kaplar ile ilgili diğer normlar kapsamında olup olmadığına dikkat etmek gereklidir. Eğer söz konusu üretim başka normlar kapsamında ise yapılan basınç testlerinde bunların da dikkate alınması gereklidir. Ancak böyle bir şey söz konusu değil ise düşük basınçta çalışacak parçalar için gaz ile, yüksek parçalar için önce sıvı sonra da gazla, çalışma basıncının en az %50 fazlası ile test edilir.

Vakum Testi

Soğutucular, elektronik bazı parçalar gibi yüksek vakumda çalışacak vakumlu sistemler için uygulanan, çok küçük muhtemel kaçakların tespiti için kullanılan bir yöntemdir. Numuneler He ortamına konur ya da üzerlerine He püskürtülür ve He algılayıcı bir kütle spektrometresi ile muhtemel kaçaklar varlığı kontrol edilir. Bu test yöntemi kullanılmadan önce numunelerin tamamı ile kuru olması muhtemel patlamaların önlenmesi açısından önemlidir.

Penetrant Sıvı Testi

Genellikle yüzeylerdeki hataların saptanmasında kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin kullanılması çok basittir ve seri imalatta da kullanılabilir. Ancak saptanan hataların yorumlanması oldukça zordur. İşlem genel olarak şu aşamaları içerir:

- Sprey püskürterek temizleme,
- Parça yüzeyine spreyle boya maddesi püskürtme,
- Boya maddesini 15 dk. süre ile etkimeye bırakma,
- Şebeke suyu ile yıkama,
- Havada veya fırında kurutma,
- Spreyle netleştiricinin parçaya sürülmesi ve
- Çıplak gözle ya da büyüteçle inceleme .

Röntgen Muayenesi

Radyografi sert lehimleme bağlantılarının kontrolünde geniş çapta kullanılan bir yöntemdir. Röntgen ile sert lehimleme hatalarından, iç gözenekler, boşluklar, dekapan kalıntıları, birleşmedeki eksiklikler gibi hatalar belirlenebilir. Bu yöntem, gönderilen ışınların süreksizlik olan kısımlarda farklı yansımaları esasına dayanır. Hataların yorumlanması, söz konusu hatanın gönderilen ışına dik olan düzlemde genişlemesi ile daha kolay olmaktadır. Genel olarak üniform kalınlıktaki parçaların sert lehimleme hatalarının saptanmasında etkili olan bu yöntem, değişken kalınlığa sahip bağlantılardaki hataların yorumlanmasında hatalı yorumlara açık olabilir.

Ultrasonik Kontrol

Bu yöntemde düşük enerjili, yüksek frekanslı ses dalgalarının katı cisimlere yayılma özelliğinden yararlanır. Muhtemel hataların yorumlanabilmesi, bu hata gönderilen ışına dik yönde ise mümkündür. Yansıyan hataların ekranda gösterecekleri süreksizlikler, bağlantıdaki süreksizliğe de işarettir. Yöntemin kullanımında kullanışın bu alandaki tecrübesi oldukça önemlidir.

9.2.2 Tahribatlı Muayeneler

Çekme / Makaslama Deneyi

Bu testlerde genellikle bağlantının çekme ve makaslama dayanımının ortaya konması amaçlanır ve bir üretimin kalite kontrolünden ziyade geliştirme çalışmalarında tercih edilir.

Yorulma Testleri

Bu testlerin uzun zaman gereksinimleri dolayısı ile kısıtlı bir kullanım sahası vardır.

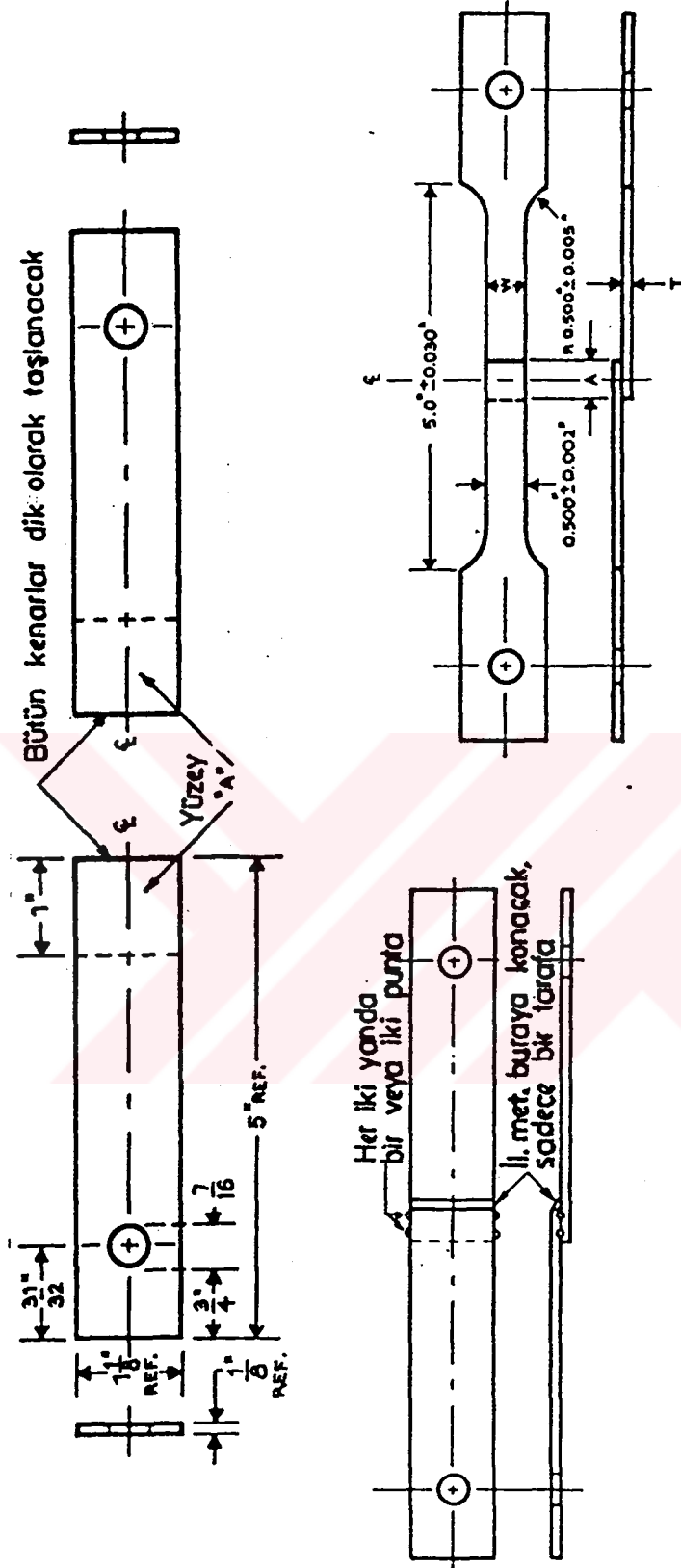
Darbe Testleri

Darbe testleride, tıpkı yorulma testleri gibi genellikle laboratuvar çalışmalarında tercih edilen bir test türüdür, birleşmenin genel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Klasik Çentik - Darbe deney numuneleri bu sert lehimleme ile birleştirilmiş parçalar için kullanılmaz, daha sağlıklı sonuçlar için özel numuneler hazırlamak gerekir.

Metalurjik Kontrol

Bağlantıların mikroskop altında incelenerek niteliklerinin değerlendirilmesi , sert lehimleme işlemlerindeki en yaygın kalite kontrol yöntemlerinden biridir. Boşluk, yetersiz ilave malzeme akışı, ana malzemede erozyon gibi en yaygın sert lehimleme hataları metalurjik olarak rahatlıkla tespit edilebilir.

(AWS 1991 , Oğuz 1988)



Şekil 9.2 AWS Normlarına göre sert lehimleme bağlantıları için kesme : deneyi numunesi
 Solda deney numunesinin hazırlanması, sağ altta ilave malzeme uygulanması ve sağ üstte de bitmiş numune görülmektedir. (Birimler inç'tir; 1 inç=25.4 mm) (Oğuz, 1988)

9.3 Güvenlik ve Çevre

Sert lehimleme işlemlerinde karşılaşılan tehlikeler genel itibarı ile kaynak işlemlerinde görülen tehlikelerle aynı niteliklerdedir. Diğer bir çok konuda da olduğu gibi sert lehimleme açısından da güvenlik ve sağlık ile ilgili değişik kurumların hazırladığı normlar vardır.

Sert lehimleme işlemlerinde güvenliğin ön koşulları bilinçli operatörler, yeterli niteliklerdeki donanım ve ekipman ile uygun bir ortamdır.

Operatörlerin mutlaka firmalarının yetkili birimlerinin öngördüğü talimatlarla çalışmaları, gerekli emniyet tedbirlerini almaları gereklidir. Ayrıca operatörler mutlaka yaptıkları işe en uygun giysi ve donanım ile teçhiz edilmeli ve muhtemel tehlikelere karşı uyarılmalıdır.

Sert lehimlemede ortaya çıkan en önemli zehirleyici etkiler Cd, Be ve çoğunlukla dekapanlarda bulunan florid / florin esaslı maddelerden kaynaklanan zehirli duman çıkışıdır.

Cd, bazı sert lehimleme ilave malzemelerinde bir element gibi veya değişik sebeplerle ana malzeme yüzeyinde bulunabilir. Özellikle Cd içerikli dumanın teneffüs edilmemesi gereklidir. Eğer bir sert lehimleme sürecinde Cd içeriği olan bir dumanın varlığı söz konusu ise zaten hayati önemi olan havalandırma daha da önemli bir hale gelir.

Sert lehimlemede sağlık konularında bağlayıcı normların* gerektirdiği asgari havalandırma koşulları şunlardır ;

- Her bir sert lehimleme operatörü için 284 m³ hava olmalı
- Tavan yüksekliği min. 5 m olmalı,
- Sert lehimleme kapalı bir mekanda yapılmamalı,
- Sert lehimleme ortamı doğal ventilasyonu engelleyen yapısal elemanlar içermemeli ve
- Ortam havasında standartların öngördüğünün daha fazlası zehirleyici özelliği olan gaz olmamalı.

Eğer doğal ventilasyon ile yukarıda sıralanan niteliklerde bir havalandırma sağlanamaz ise mutlaka cebri ventilasyon sağlanmalıdır.

Be'un etkilerine gelince; Be, fırında sert lehimleme sert lehimleme ve Al esaslı ilave malzemelerde kullanılan bir elementtir. Sert lehimleme sırasında herhangi bir sebeple ortamda Be varsa, bunların teneffüsü ve temasından kaçınılmalıdır.

Florid / florin kaynaklı zehirlenme etkileri ise genellikle bunların doğrudan ya da dolaylı olarak göz ile temas sonucu olmaktadır. Eğer ortamda florid / florin esaslı bir bileşen varsa bunun mutlaka iyi bir havalandırma ile uzaklaştırılması gereklidir.

Tüm bunlardan sonra belirtilmesi gerekli en önemli husus ise, her sert lehimleme yönteminin kendine ilişkin taşıdığı risklerin ayrı ayrı dikkate alınması, başta tüm elektrik ve gaz iletim hatları olmak üzere kullanılan tüm ekipman ve teçhizatın uygun bir şekilde korunması ve kullanılması emniyet açısından hayati önem taşır. (AWS, 1991)



10. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Metallerin birleştirilmesini amacına yönelik olarak kullanılan değişik yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri olan sert lehimleme, ilerleyen malzeme teknolojisi ve endüstriyel isteklerin de bir sonucu olarak giderek artan bir öneme sahiptir.

Diğer birleştirme yöntemlerinden cıvata, perçin vb. yöntemlerin sert lehimleme ile karşılaştırılmaları teknik olarak anlamlı değildir. Yapıştırma ve (yumuşak) lehimleme ise gerek dayanım gerekse teknik açıdan sert lehimlemenin yerini pek çok uygulamada tutamaz. Bunların dışında sert lehimleme ile karşılaştırılabilecek en önemli birleştirme yöntemi 'Kaynak' tır.

Kaynak ile sert lehimleme işlemlerinin en temel farkı, sert lehimlemede birleştirilecek ana malzeme yada malzemelerin, tanım gereği, hiç bir şekilde ergimemesi gerekliliğidir. Kaynak işlemlerinde, kaynak tekniğinin gereği olarak birleştirilecek malzemelerde meydana gelen bölgesel ergime, sert lehimleme ile karşılaştırıldığında birleşme bölgesinde çok daha yoğun bir enerji varlığını gerekli kılar. Bu ise kaynak tekniğinin en önemli sorunlarından olan aşırı ısınma, malzemelerin metalurjik yapılarında değişiklikler, ısısız ve mekanik gerilmelerin başlıca sebebinin oluşturur.

Tüm bu sorunlar sert lehimlemede en az seviyededir.

Sert lehimleme ilişkin olarak yukarıda belirtilen avantajlara şunları da dahil edebiliriz:

- Benzer olmayan metallerin birleştirilmesinde başarı ile kullanılır.
- Metal olmayan malzemelerin metallere birleştirilmesinde kullanılabilir.
- Elde edilecek birleştirimenin ölçü tamlığı ve toleransları açısından başarılıdır.
- Kalınlıkları farklı malzemelerin birleştirilmesinde başarı ile kullanılır.
- Kompozit malzemeler ya da fiber malzemeler için kullanılabilir.
- Çok özel uygulamalarda malzemelere ait metalurjik ve mekanik özelliklerin korunması en üst düzeydedir.

Bu teknik ülkemizde de otomotivden mutfak endüstrisine, soğutma donatımları üretimlerinden gıda ve kimya endüstrisine kadar uzanan pek çok sektörde başarı ile kullanılmaktadır. Bizim firmalarımızın ürettiği klima cihazlarından gözlük çerçevelerine, armatürlerden çaydanlıklara ve arabalara kadar uzanan çok geniş bir yelpazede sert lehimleme uygulamalarını görmek mümkündür.

Gelişen malzeme teknolojinin birer ürünü olan kompozit malzemelerde, kullanımı her geçen gün artmakta olan başta Ti olmak üzere Be, Zr gibi malzemelerde, uzay ve uçak endüstrisinin vazgeçilmez uygulamaları olan petek yapılarda kullanılabilen sert lehimleme, önümüzdeki yıllar için günümüzde olduğundan daha çok olarak kullanılacak bir yöntem olarak gözükmektedir.

Sonuç olarak yukarıda sıralanan avantajlara sahip olan sert lehimleme tekniği, kaynaklı birleştirmelerdeki gerek konstrüksiyondan, gerekse malzemedeki ileri gelen güçlüklerde işlerlik sınırları genişletmekte ve özellikle ısı etkisinin az olması gereken yapılarda kaynaklı birleştirmeye bir seçenek oluşturmaktadır

Kanımsa bu birleştirme yönteminin gerek akademik çevrelerde, gerekse de bu alanlarda faaliyet gösteren endüstriyel kuruluşlarda daha yoğun olarak ele alınması durumunda, mevcut kullanım alanlarına yenilerinin eklenerek kullanım yelpazesinin genişlemesi ve dolayısıyla da pek çok olumlu gelişmelerin ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır.



KAYNAKLAR

- Anık, S. (1960)., Kesici Takımlara Sert Metal Uçların Sert Lehimlenmesi, İstanbul
- Anık, S. (1967)., Sual ve Cevaplarla Sert Lehimleme, İstanbul
- ASM, American Society for Metals, (1983)., Metals Handbook, Welding, Brazing and Soldering, Volume 6, Ohio
- AWS, American Welding Society, (1971)., Welding Handbook, Sixth Edition 'Volume 3B', 'Welding, Cutting and Related Processes' Chapter 60 , Newyork
- AWS, American Welding Society, (1991). , Brazing Handbook, Fourth Edition Florida
- Bodur,O. (1996)., Sert Lehimleme, Askaynak Yayını, İSTANBUL
- Handy & Harman Co.(1985)., The Brazing Book, Newyork
(<http://www.handyharmancanada.com>)
- Irving, B. (1998), "Brazing and soldering facing new challenges", Welding Journal, October/ 1998
- Oğuz, B. (1988)., Sert Lehimleme Teori ve Uygulama, Oerlikon Yayını, İstanbul
- Peaslee, R.L. (1992)., "Brazing: Yesterday's art has become today's science", Welding Journal, October/ 1992
- Peaslee, R.L (1996), "Good service life depends on good braze joint properties", Welding Journal, August / 1996
- Schwartz, M.M (1969)., Modern Metal Joining Techniques, Martin Martineth Cooperation,
- Smith, D.(1989)., Welding Skills and Techonology, McGraw – Hill Yayını, 1989

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	25.11.1975	
Doğum yeri	Yenişehir / BURSA	
Lise	1989-1992	Yenişehir Osmangazi Lisesi
Lisans	1992-1994	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mak. Müh. Böl.
	1994-1996	Yıldız Teknik Üniversitesi, Mak. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek lisans	1996-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Mak. Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Prog.
Çalıştığı kurumlar	1997-1998	Betimak CAD/CAM Sistemleri
	1998- Dev. Ediyor	Yücel Makina Hid. Pres İmalatı Ltd. Şti.