

MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNİN SERT LEHİMLENEBİLME KARAKTERİSTİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Mehmet Bülent ÖZTURAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Ocak 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Şubat 1997

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Selma AKKURT

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Oktay BODUR

Doç.Dr.Mehmet DEMİRKOL

OCAK 1997

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
OKUMANTASYON MÜHÜRÜ

ÖNSÖZ

Sert lehimleme günümüzümüzde, birçok sebepten ötürü en hünerli metal birleştirme yöntemleri arasında yer almaktadır. Sert lehimleme operasyonu ile, bilhassa mekanik bakımdan memmuniyet verici birleştirmeler elde edilmektedir. Klasik erime kaynağına nazaran daha büyük avantajlar sağlaması, son yıllarda uzmanları bu alanda daha fazla çalışma ve araştırmalara sevk etmiştir. Bunun sonucu olarak da sert lehimleme teknikleri gelişmiş ve uygulama alanları çoğalmıştır.

Ülkemizde kaynak tekniği konusunda basılı eser hemen hemen yok denecek kadar azdır. Beni bu konuda çalışmaya yönlendiren ve değerli bilgileriyle yardımını esirgemeyen hocalarım Prof.Dr Selma AKKURT ve Prof.Dr Oktay BODUR 'a teşekkürü bir borç bilirim.

20 Ocak 1997

M.Bülent ÖZTURAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1 LEHİMLEME TEKNİKLERİ	01
1.1 Tarihçe	01
1.2 Lehimleme ve Kaynağa Göre Sınırları	01
1.2.1 Lehimlemenin Yararları	03
1.2.2 Lehimlemenin Sakıncaları	03
1.3 Lehimin Tanımı ve Sınıflandırılması	04
BÖLÜM 2 ANA METALLERİN ÖZELLİKLERİ	07
2.1 Metalürjik Oluşumlar	07
2.1.1 Karbür Çökmesi	08
2.1.2 Oksit Stabilitesi	08
2.1.3 Hidrojen Gevrekleşmesi	09
2.1.4 Tane Büyümesi	11
2.1.5 Kükürt Gevrekleşmesi	12
2.1.6 Buhar Basıncı	12
2.1.7 Alaşımlama	13
2.1.8 Fosfor Gevrekleşmesi	14
2.1.9 Gerilme Çatlama	15
2.2 Sert Lehimlemeden Sonraki Isıl İşlem	16
2.3 Farklı Metallerin Birleştirilmesi	17

**BÖLÜM 3 MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNİN
LEHİMLENEBİLME KARAKTERİSTİKLERİ**

Sayfa No

3.1 Metal Malzemeler	24
3.1.1 Demir Esaslı Metaller	24
3.1.1.1 Düşük Karbonlu ve Düşük Alaşımlı Çelikler	24
3.1.1.2 Takım Çelikleri	27
3.1.1.3 Paslanmaz Çelikler	28
3.1.1.3.1 Ostenitik Paslanmaz Çelikler	28
3.1.1.3.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler	30
3.1.1.3.3 Martenzitik ve Çökelme Sertleşmeli Pas. Çel.	31
3.1.1.3.4 Dupleks Paslanmaz Çelikler	32
3.1.1.4 Dökme Demirler	33
3.1.2 Demir Dışı Metaller	35
3.1.2.1 Alüminyum Alaşımları	35
3.1.2.1.1 Alüminyumun Demir Esaslı Alaşım. Se. Leh.	37
3.1.2.1.2 Alüminyumun Bakırla Sert Lehimlenmesi	37
3.1.2.1.3 Alüminyumun Demir Dışı Metallerle Se. Leh.	38
3.1.2.2 Bakır ve Bakır Alaşımları	39
3.1.2.2.1 Sert Bakırın Sert Lehimlenmesi	39
3.1.2.2.2 Kırmızı ve Sarı Pirinçlerin Sert Lehimlenmesi	40
3.1.2.2.3 Kalay İçeren Pirinçlerin Sert Lehimlenmesi	40
3.1.2.2.4 Fosfor Bronzlarının Sert Lehimlenmesi	40
3.1.2.2.5 Bakır Alaşımlarının Diğer Alaşımlarla Se. Leh.	41
3.1.2.3 Nikel Esaslı Alaşımlar	42
3.1.2.4 Isıya Dirençli Alaşımlar	44
3.1.2.5 Titanyum ve Titanyum Alaşımları	45
3.1.2.5.1 Ticari Saf Titanyum, α ve Yakın α Ti Alaşımları	47
3.1.2.5.2 β ve $\alpha+\beta$ Titanyum Alaşımları	49
3.1.2.6 Kobalt Esaslı Alaşımlar	50
3.1.2.7 Refrakter Metaller	51
3.1.2.7.1 Niobyum	51
3.1.2.7.2 Molibden	52
3.1.2.7.3 Tantal	52
3.1.2.7.4 Tungsten	53
3.2 Metal Dışı Malzemeler	53
3.2.1 Seramik Malzemeler	53
3.2.1.1 Grafit	54
3.2.1.2 Karbürler	55
3.2.1.2.1 Karbür Takımları	56
3.2.1.2.2 Silisyum Karbürleri	57
3.2.1.3 Oksit Seramikleri	59
3.2.1.4 Nitrit Seramikleri	60

	<u>Sayfa No</u>
BÖLÜM 4 SERT LEHİMLEME TEKNİKLERİNİN UYGULANMA ŞEKİLLERİ	62
4.1 Sert Lehimleme Öncesi Hazırlık	64
4.1.1 İyi Bir Dolgu Metali Akışı İçin Aralığın Kontrolü	64
4.1.2 Tuz Banyosu Yöntemleri	67
4.2 Sert Lehimleme Sonrası İşlemler	67
4.2.1 Isıl İşlem	67
4.2.2 Dekapanın Temizlenmesi	68
4.2.3 Oksitin Temizlenmesi	68
4.2.4 Dolgu Metalini Durdurucu Malzemelerin Temizlenmesi	69
KAYNAKLAR	70
EKLER	71
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL 2.1 % 0,042 oksijen içeren bakırın hidrojen atmosferinde ısıtılmasında “gevrekleşmiş” bölgenin derinliği.[2]	10
ŞEKİL 2.2 Deokside olmamış bakırın parlaklık tavlama sırasında hidrojen gevrekleşmesi oluşturmeyen hidrojen oranı ve tavlama sıcaklık sınırı.[2]	11
ŞEKİL 2.3 Bir çok sert lehimleme durumu için farklı metallerin birleştirilmesinde çaptaki boşlukların değişimini bulmak için nomogram.[2]	19
ŞEKİL 3.1 Isıtma metodunun fonksiyonu olarak bağlantının ısı performansını.[5]	21
ŞEKİL 3.2 sert lehimleme operasyonunun ısı işlemle beraber uygulanması.[5]	26
ŞEKİL 3.3 α ve β stabilizerlerinin çift faz diagramı üzerinde etkilerini gösteren akış diagramı.[10]	46
ŞEKİL 3.4 Grafit'i ostenitik paslanmaz çeliğe sert lehimlemek için 68Ag-27Cu-4,5Ti dolgu metali ile sandviç tekniğinin uygulanması.[11]	55
ŞEKİL 3.5 Karbürü çeliğe sert lehimlemek için kompozit (Gümüş esaslı dolgu metali ve bakır ince levha tabakalarından oluşan) dolgu metalinin kullanılması.[5]	56
ŞEKİL 3.6 Sert lehimlenmiş karbür takımlarının ömürlerini ve mukavemetlerini arttıran bağlantı dizaynları.[5]	58
ŞEKİL 4.1 Sert lehimleme birleştirmelerinde kullanılan tırtıl.[2]	65

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
TABLO 1.1Lehimleme yöntemleri.[1]	06
TABLO 3.1 Sert lehimlemede kullanılan tipik ısıtma metodlarının, ana me- tallerin ve dolgu metallerinin birbirleriyle ilişkileri.[7]	22
TABLO 3.2 Paslanmaz çeliklerin sert lehimlemesinde kullanılan bazı dolgu metallerinin servis ve sert lehimleme sıcaklıkları .[9]	31
TABLO 3.3 Bazı ticari Titanyum alaşımlarının sınıflandırılması.[10]	47
TABLO 3.4 Titanyum alaşımlarının sert lehimlemesinde kullanılan bazı dolgu metallerinin servis ve sert lehimleme sıcaklıkları.[8]	48
TABLO 3.5 Titanyum ve Titanyum alaşımları için α - β geçiş sıcaklıkları.[8]	49
TABLO 3.6 Silisyum karbürlerinin sert lehimlemesinde sık olarak kullanılan dolgu metalleri.[5]	59
TABLO 3.7 Oksit seramiklerinin sert lehimlenmesi için tipik aktif sert lehimleme parametreleri .[5]	60
TABLO 3.8 Nitrit seramiklerinin sert lehimlenmesi için tipik sert lehimleme parametreleri.[5]	61

ÖZET

DIN 8505 'e göre lehimleme "Metal malzemelerin erimiş bir ilave metal (lehim) yardımıyla, gerektiğinde bir dekapan ve/veya koruyucu gaz kullanarak birleştirilmesi yöntemidir." Lehimleme de ana metaller erimediğinden birleşme olayı ana metal ile ilave metal (dolgu metali) arasındaki difüzyon olayı sonucu oluşur. Bu olay da sert lehimlemeyi kaynaktan ayıran en önemli özelliktir. Ana metalin erimemesi demek kaynağa göre çok daha az ısı girdisi ve ana metalde mekanik ve kimyasal karakteristik değişmelerinin en az seviyede olması demektir.

Sert lehimleme operasyonunun diğer imal usullerine tercih edilmesinin birçok sebepleri vardır. Bu sebeplerden bazıları şunlardır.

- a)Güçlü, sünek, şok ve titreşimlere dayanıklı malzemeler eldesi,
- b)Kolay ve hızlı yapılabilmesi,
- c)Benzer olmayan metallerin ideal birleştirilmesi,
- d)Temiz bir yüzey elde edilmesi,
- e)Ekonomikliği,
- f)Otomatik metotlara uygulanabilirliği'dir.

Sert lehimleme basit fakat yapılması şart olan altı temel adımda gerçekleştirilir. Bunlar sırasıyla;

- 1)Parçalarda uygun bir boşluğun sağlanması,
- 2)Temizleme,
- 3)Dekapanlama,
- 4)Monte etme,
- 5)Sert lehimleme,
- 6)İşlem sonrası temizliktir.

Bu çalışma ana hatlarıyla mühendislik malzemelerinin sert lehimlenebilme karakteristiklerini inceleyen bir literatür araştırmasından oluşmaktadır. Malzemelerin sert lehimlenebilme yetenekleri, metal ve metal dışı malzemeler olarak iki sınıfa ayrılarak incelenmiştir. Üçüncü bölümde malzemeler kabaca tanıtıldıktan sonra sert lehimlenmelerinde hangi dolgu metallerinin ve hangi sert lehimleme yöntemlerinin kullanılacağı yeri geldikçe belirtilmiştir. Bunların dışında çalışma, sert lehimleme öncesi ve sonrasında yapılması gereken işlemler ve lehimlemenin kısaca tarihi, tanımı ve sınıflandırılmasından oluşan bölümlere de sahiptir.

SUMMARY

Brazing is defined in AWS A3.0 as "A group of welding processes where in coalescence is produced by heating to suitable temperatures above 427 °C and by using a non-ferrous filler metal having a melting point below that of the base metals. The filler metal is distributed between the closely fitted surfaces of the joint by capillary attraction."

It should be noted that the AWS Committee on Brazing and soldering has proposed the following modifications to the standart definition.

1. The filler metal should not to be limited to non-ferrous alloys since some filler metals do contain iron.
2. The temperature requirment should be based on the fact that the filler metal must have a liquidus tempareture above 427 °C but below that of the base metal.

The brazing definition is composed of three parts. These are:

- a)The coalescence, joining or uniting of an assembly of two or more parts into one structure is is achived by heating the assembly or the region of the parts to be joined to a temperature of 427 °C or above,
- b)The use of a filler metal with a melting range below that of the base metals,
- c)The qualification that the filler metal must wet the base metal surfaces. The flow of filler metal in the joints by capillary attraction is predicated on this assumption.

Brazing is probably the most versatile method of metal joining to day, for a number of reasons.

Brazed joints are strong. On non-ferrous metals and steels, the tensile strength of a properly made will often exceed that of the metals joined. On stainless steels, it is possible to develop a joint whose tensile strength is 90 kg/mm².

Brazed joints are ductile, able to withstand considerable shock and vibration.

Brazed joints are generally easy and rapid to make, and operator skill readily acquired.

Brazing is ideally suited to the joining of dissimilar metals. You can easily join assemblies that combine ferrous with non-ferrous metals, and metals with widely differing melting points.

Brazing essentially a one-operation process. There is seldom any need for grinding, filling or mechanical finishing after the joint is completed.

Brazing is performed at relatively low temperatures, reducing the possibility of warping, over heating or diluting the metals being joined.

Brazing is economical. The cost per-joint compares favorably with joints made by other metal joining methods.

Brazing is highly adaptable to automated methods. The flexibility of the brazing process enables to match production techniques very closely to product requirements.

However, with all its advantages, brazing is still only one of the ways in which you can join metals.

Attributes of the braze joining process can be listed as follows:

1. Economical fabrication of complex and multicomponent assemblies.
2. Excellent stress distribution and heat transfer.
3. Joint temperature capability approaching that of base metal.
4. Ability to preserve protective metal coating or cladding.
5. Ability to join cast materials to wrought metals.
6. Ability to join non-metals to metals.
7. Ability to join widely different metal thickness.
8. Ability to join dissimilar metals.
9. Ability to join porous metal component.

10.Ability to preserve special metallurgical characteristics of metals.

11.Ability to join fiber and dispersion strengthened composites.

12.Cabability for precision production tolerance.

13.Reproductibility and reliable quality control techniques available.

A brazed joint makes itself in the sense that capillary action, more than operator skill, insures the distribution of the filler metal into the joint. The real skill lies in the design and engineering of the joint. But even a properly designed joint can turn out imperfectly unless correct brazing procedures are followed.

These procedures boil down to six basic steps. They are generally simple to perform (some of them may take only a few seconds), but none of them sholud be omitted from brazing operation.

STEP 1 : Good fit and proper clearances.

Brazing utilizes the principle of capillary action to distribute the molten filler metal between the surfaces of the base metals. Therefore, during the brazing operation, a clearance between the base metals must be maintained. It is necessary for capillary action to work its best.

However, there is a special factor. It must be considered carefully in planning joint clearances. Brazed joints are made at brazing temperature (over 427 °C) not at room temperature. So it must be taken account the "coefficient of expansion" of the metals being joined. This is particularly true of tubular assemblies in which dissimilar metals are joined.

STEP 2 : Cleaning the metals.

Capillarity action will work properly only when the surfaces of the metals are clean. If they are "contaminated" -coated with oil, grease, rust, scale or just plain dirt- those contaminants have to be removed. If they remain, they will form a barrier between the base metal surfaces and the brazing materials. Oil and grease will carbonize when heated, forming a film over which the filler metal will not flow. And brazing filler metal will not bond to rusty surface.

Cleaning the metal parts is seldom a complicated job, but it has to be done in the right sequence. Once the parts are thoroughly clean, it is good idea to flux and braze as soon as possible. That way, there is the least chance for recontamination of surfaces by factory dust or body oils deposited through handling.

STEP 3 : Fluxing the parts.

Flux is a chemical compound applied to the joint surfaces before brazing. Its use is essential in the brazing process (with a few exceptions). Heating a metal surface accelerates the formation of oxides, the result of chemical combination between the hot metal and oxygen in the air. These oxides have to go or they would prevent the brazing filler metal from wetting and bonding to the surfaces. A coating of flux on the joint area However, will shield the surfaces from the air, preventing oxide formation. And the flux will also dissolve and absorb any oxides that form during heating or that were not completely removed in the cleaning process.

STEP 4 : Assembly for brazing.

The parts of the assembly are cleaned and fluxed. Now they have to be hold in position for brazing. And operator must be sure that they remain in correct alignment during the heating and cooling cycles, so that capillary action can do its job.

The simplest way to hold parts together is by gravity, if the shape and weight of the parts permit. Or it can be given gravity a helping hand by additional weight.

If there is a few number of parts, any clamping or supporting device can be used. These devices must hold the parts together long enough to complete the brazing cycle.

If there is a number of assemblies to braze and their configuration is too complex for self-support or clamping, it may be a good idea to rig up a brazing support fixture. In planning such a fixture, it must be designed for the least possible mass, and the least contact with the parts of the assembly.

STEP 5 : Brazing the assembly.

The first four steps -good fit and proper clearance, cleaning the metals, fluxing, assembly- were preparatory steps in the brazing process. The fifth step is actual accomplishment of the brazed

joint. It involves heating the assembly to brazing temperature, and flowing the filler metal through the joint.

First the heating process. In brazing, heat is applied broadly to the base metal. If small assemblies are brazed heat may be applied the entire assembly to flow point of the brazing filler metal. If large assemblies are brazed heat will be applied a broad area around the joint. Heat must be apply to base metals, not to filler metals (direct flame on filler metal causes over heating and fuming).

STEP 6 : Cleaning the brazed joint.

After the assembly have been brazed, it must be clean. And cleaning is usually a two steps operation. First-removal of the flux residues. Second-pickling to remove any oxide scale formed during the brazing process. If an atmosphere or unobjectionable flux is used, no further cleaning may be necessary.

ANALYSIS of the brazability of engineering materials requires the following considerations:

- a)Joining process characteristics (type and characteristics of heat source).
- b)Chemical composition of the base metal.
- c)Cleaning preparation and after-process cleaning.
- d)Chemical composon of filler metal.
- e)Joint protection against oxidation (flux, bath composition, protective atmospheres).
- f)Joint tempareture and time.
- g)Joint design (joint geometry, joint clearance, joining position)

Each of these topics influences wetting and spreading behavior, joint mechanical properties, corrosion resistance and residual stress levels.

BÖLÜM 1

LEHİMLEME TEKNİKLERİ

1.1 Tarihçe

Sert lehimleme tekniği 6000 yıl kadar önce ilk kez Mezopotamya ve Mısır'da, sonraları Yunanistan'da süs eşyalarını birleştirmede kullanılmıştır. M.S 120 yıllarında Roma döneminde süs eşyaları sert lehimleme tekniği ile birleştirildi. İlk kez boraks dekapan olarak kullanıldı. M.S. 1600 -1700 'lerde piring lehim olarak kullanılmaya başlandı. Demir, bakır kullanılarak sert lehimlendi. 1800'lerde lehimin metalurjisi ilk kez araştırıldı. 1900'lerde çelik gümüş ile sert lehimlendi.

1925 yılında ABD 'de, koruyucu gaz ile sert lehimleme uygulanmaya başlandı. 1950'den beri düşük sıcaklıklarda eriyen gümüş lehimlerin kullanımı endüstride ve el sanatlarında çok arttı. 1960'da dolgu lehimi, 1965'de lehim pastaları ve mekanize lehimlenme uygulanmaya başlandı. 1968'de yüksek sıcaklık lehimlenmesi endüstride kullanıldı. Bununla birlikte nikel esaslı lehim malzemesi kullanımı arttı. 1970'den beri havacılık ve uzay endüstrisinde kaynak tekniğine alternatif olarak kullanılmaktadır.

1.2 Lehimleme ve Kaynağa Göre Sınırları

DIN 1910 Kısım 1'e göre kaynak; metalleri ısı veya basınç ya da her ikisini kullanarak, kaynak ilave malzemesi kullanarak veya kullanmadan birleştirmektir, şeklinde tanımlanmaktadır. Esas malzeme kaynak bölgesinin

tercihan plastik durumunda veya sıvı durumunda birleşir. Kaynak bağlantısının uzmanca uygulanması durumunda, bağlantının mekanik özellikleri kaynak yapılmamış esas malzemelerinkine eşit alınabilir. Bağlantı çözülemez tiptendir. Lehim ile kaynağı birbirinden ayıran özellikler şunlardır.

a) *Lehimleme*; Dolgu metali ana metale benzemez. Erime bölgesi veya erime noktası sıcaklığı esas malzemeninkinden daha düşüktür. Yani lehimlemede ana metal erimez.

b) *Kaynak*; Dolgu metali ana metale alaşım bakımından uyar veya benzer. Erime aralığı veya erime noktası sıcaklığı ana metalinkine eşittir. Ana metal kaynakta erir.

Bir lehim bağlantısının özellikleri büyük oranda konstrüksiyonca belirlenir. Bağlantı kendinden istenilenleri yerine getirmelidir. İstenilenlerin başlıcaları şunlardır.

- a-Yeterli mukavemet
- b-Korozyon dayanımı
- c-Elektrik iletkenliği
- d-Isıya dayanıklılık
- e-Şekil değiştirme kabiliyeti
- f-İşlemlerin mekanizasyon olanağı

Uygulamada sık sık uygun birleştirme yöntemini belirleme sorunu ile karşılaşılır. "Lehim ile mi, yoksa kaynak ile mi birleştirme yapılsın" sorusunu konstrüktör, malzeme uzmanı ve iş hazırlama uzmanı ile birlikte cevaplandırmalıdır. Her iki yönteminde kendine özgü yararları vardır. Eğer;

- 1-Geometrik biçim ve kaynak yerine ulaşılabilirlik kaynak kalitesi sorunu doğuruyorsa ve kaynak işlemi oldukça pahalı ise veya kaynak olanaksız ise,
- 2-Yapı elemanının servis sıcaklığı lehimin katılma sıcaklığının altında ise,
- 3-Örneğin çökelmeyle sertleşebilen malzemelerde lehimleme ile birlikte bir eritme tayı uygulanabiliyorsa,

4-Çok sayıda aynı veya benzer parça veya birbirine komşu lehim yerleri lehimlenecekse,

5-Ağırlıktan tasarruf yapılmak isteniyorsa,

6-Lehimleme ile üretim yöntemi ekonomikleştirilebiliyorsa,

Lehimleme yöntemi seçilir. Buna göre lehimlemenin yararlı ve sakıncalı yönleri şöyle sıralanabilir.

1.2.1 Lehimlemenin Yararları

1-Değişik türden malzemeler birleştirilebilir.

2-Metal olmayan malzemeler ve camlar birleştirilebilir.

3-Lehimleme daha az ısı sevki gerektirdiğinden, distorsiyonlar daha azdır.

4-Lehimleme tesisat ve armatürlerde sızdırmaz bağlantılara olanak sağlar.

5-Lehim yerlerinin elektrik ve ısı iletkenliğinin iyi olması nedeniyle elektronikte çok yaygın olarak kullanılır.

6-Lehim yerleri plastik olarak şekil değiştirebilir.

7-Lehimleme malzemeyi korur ve malzeme aşırı ısıya maruz değildir.

8-Lehimleme ağırlıktan tasarruf sağlar.

9-Lehimleme mekanize edilebilir ve kısmen otomasyon yapılabilir. Böylece çok sayıda parça aynı işlemde birbiriyle birleştirilebilir.

1.2.2 Lehimlemenin Sakıncaları

1-Berilyum, krom, kobalt ve silisyum lehimli olanaksızdır.

2-Lehim bağlantılarında korozyon tehlikesi vardır. Örneğin lehim dolgu metali ile ana metalin elektrokimyasal gerilim serileri arasındaki potansiyel farkı çok büyük olabilir.

3-Dekapan kullanılarak yapılan lehimlemelerde lehim yerinde dekaplan kalabilir. Bu ise lehim bağlantısının mukavemetini düşürebilir.

4-Yüksek servis sıcaklıkları lehim bağlantısı mukavemetini kötüleştirir.

5-Lehimleme, lehim yerinin hazırlanmasında ve lehim yapılmasında büyük özen gerektirir.

1.3 Lehimin Tanımı ve Sınıflandırılması

DIN 8505 'e göre lehimleme "metal malzemelerin erimiş bir ilave metal (dolgu metali) yardımıyla, gerektiğinde bir dekapan ve/veya koruyucu gaz kullanarak birleştirilmesi yöntemidir".

Lehim kavramı son yıllarda sürekli olarak yeniden tanımlanmışsa da henüz bütün lehimleme yöntemlerini kapsayacak tek bir tanım ortaya konamamıştır. Lehimin eritme kaynağından başlıca ayrıldığı yer kaynakta ana metalin bölgesel olarak erimesidir. Ama bu demek değildir ki, lehimlemede de ana metalin bir kısmı akıcı hale gelmez. Ana metal de erimiş lehim metalinin etkisiyle çözülür. Bu durum bakır ve alaşımlarının lehimlenmesinde her zaman az çok ortaya çıkar.

Lehimleme çeşitli bakımlardan sınıflandırılabilir. Bunlar;

a)Lehim malzemesinin erime sıcaklığına göre;

- 1-Erime sıcaklığı 450 °C 'den az : yumuşak lehimleme (YL)
- 2-Erime sıcaklığı 450 °C 'den fazla : sert lehimleme (SL)
- 3-Erime sıcaklığı 900 °C 'den fazla : yüksek sıcaklık lehimlemesi (YSL)

b)Amaca göre;

- 1-Birleştirme lehimi
- 2-Dolgu lehimi
- 3-Aralık lehimi
- 4-Lehim kaynağı

c)Oksit giderme tarzına göre;

- 1-Dekapan ile
- 2-Redükleyici gaz ile
- 3-Koruyucu soy gaz ile
- 4-Vakum ile

d)Lehim metalinin uygulanışına göre;

- 1-Lehimleme anında lehim sevkı
- 2-Önceden yerleştirilmiş lehim
- 3-Lehim ile kaplanmış ana metal
- 4-Daldırma lehimleme

e)Uygulama yöntemine göre;

- 1-Elle lehimleme
- 2-Kısmen mekanize lehimleme
- 3-Tam mekanize lehimleme
- 4-Otomatik lehimleme

f)Enerji (ısı) sevkine göre;

- 1-Katı cisimlerle
- 2-Sıvı ile
- 3-Gaz ile
- 4-Elektrik arkı ile
- 5-Işınım ile
- 6-Hareket ile
- 7-Elektrik akımı ile

Tablo 1.1 Lehimleme Yöntemleri.[1]

LEHİMLEME YÖNTEMLERİ

YUMUŞAK LEHİMLEME	Katı cisimler ile lehimleme	Havaya ile lehimleme Blok ile lehimleme Makara ile lehimleme
	Sıvı madde ile lehimleme	Lehim banyosunda lehimleme Dalga ile lehimleme Sürükleyerek lehimleme Ultrasonik lehimleme Yeniden erime ile lehimleme
	Gaz ile lehimleme	Üfleç ile lehimleme Sıcak gaz ile lehimleme Gaz fırınında lehimleme
	Işın ile lehimleme	Optik lehimleme
	Elektrik akımı ile lehimleme	Havada indüksiyon ile lehimleme Direnç ile lehimleme Fırında dekapan ile lehimleme
SERT LEHİMLEME	Sıvı madde ile lehimleme	Lehim banyosunda lehimleme Tuz banyosunda lehimleme
	Gaz ile lehimleme	Üfleç ile lehimleme
	Elektrik gaz deşarjı ile lehimleme	Ark ile lehimleme
	Işın ile lehimleme	Optik lehimleme Lazer ışını ile lehimleme Elektron ışını ile lehimleme
	Elektrik akımı ile lehimleme	Havada indüksiyon ile lehimleme Direnç ile lehimleme Fırında dekapan ile lehimleme Redükleyici gaz ile lehimleme Vakumda fırında lehimleme Soy gaz ile fırında lehimleme
YÜKSEK SICAKLIK LEHİMLEMESİ	Işın ile lehimleme	Lazer ışını ile lehimleme Elektron ışını ile lehimleme
	Elektrik akımı ile lehimleme	Redükleyici gaz ile indüksiyon lehimleme Soy gaz ile indüksiyon lehimleme Vakumda indüksiyon lehimleme Redükleyici gaz ile fırında lehimleme Soy gaz ile fırında lehimleme Vakumda fırında lehimleme

BÖLÜM 2

ANA METALLERİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Metalürjik Oluşumlar

Metal ve alaşımların tümüne yakın çoğunluğu uygun yöntemlerin kullanılması koşuluyla sert lehimlenebilir. Ancak bu malzemelerden bazıları, sert lehimlenmiş bağlantıların davranışlarını etkileyen ve bazı durumlarda özel işlemlere gerek duyulan metalürjik oluşumlara sebep olabilirler.

Bu oluşumlar şunlardır;

- 1)Karbür çökmesi,
- 2)Oksit stabilitesi,
- 3)Hidrojen gevrekleşmesi,
- 4)Tane büyümesi,
- 5)Kükürt gevrekleşmesi,
- 6)Buhar basıncı,
- 7)Alaşımlama,
- 8)Fosfor gevrekleşmesi,
- 9)Gerilme çatlaması.

Şimdi bu olayları biraz inceleyelim.

2.1.1 Karbür Çökmesi

Bazı paslanmaz çeliklerle, krom ve karbon içeren alaşımlar, 427°C ile 816 °C arasında sıcaklıklara ısıtıldıklarında karbür çökmesine maruz kalırlar. Karbon tercihan kromla birleşip, genellikle tane sınırlarına krom karbürü şeklinde çökler. Karbür tanesine hemen komşu olan alaşım malzemesi, kromdan yana fakirleştiğinden korozyona karşı eskisi kadar direnç gösteremez. Bazı koroziv çevrelerde mekanik özellikler, görünürde yüzeysel etki olmadan da, zarar görebilir.

Paslanmaz çeliklerde çökelmiş karbürler 1010 °C - 1121 °C de ısıtılma işlemi uygulanıp hızlı soğutularak yeniden eritilebilirler. Çökelmiş kromu içyapı içinde uniform olarak dağıtan başka stabilize edici işlem de, iki saat süreyle 871 °C de ısıtıp 538 °C ye kadar ocakta, sonra da havada soğutmaktır.

Sert lehimlemenin çok hızlı yapılabilmesi halinde, normal tipte paslanmaz çeliklerde önemli ölçüde karbür çökmesi görülmez. Bunun mümkün olmadığı hallerde, koroziv hizmetlerde kullanılacak paslanmaz çelikleri sert lehimlemek için, paslanmaz çeliklerin stabilize tiplerinden biri, örneğin 347 veya 321 ya da 304L gibi çok düşük (extra low) karbon içerikli olan paslanmaz çelikler kullanılmalıdır.

2.1.2 Oksit Stabilitesi

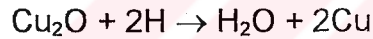
Önceden temizleme işlemlerine rağmen metal ve alaşımlar üzerinde arta kalmış oksitler bulunur. Bu artık oksitlerin çoğu uygun dekapan ya da redükleyici atmosferlerle kolayca ortadan kaldırılır. Krom, alüminyum, titanyum, silisyum, magnezyum, mangan ve berilyum oksitlerinin temizlenmesi daha zor olup bu elementleri içeren alaşımlar genellikle özel işlem gerektirirler.

Krom oksiti, bazı fluorür içeren dekapanlarla yok edilebilir, ama çok kuru (çığlaşma noktası -57 °C) ve sadece yüksek sıcaklıklarda (982 °C -1093 °C arasında) olmak şartıyla hidrojen atmosferi tarafından da redüklenebilir.

Alüminyum ya da titanyum içeren çökeltme sertleşmeli alaşımların birçok yüksek sıcaklıktaki sert lehimleme uygulamalarında oksitler son derece stabil olup redüklenmeleri zordur. Sert lehimleme hidrojen, (çığlaşma noktası -57 °C veya daha aşağı) argon veya vakum atmosferi altında yapılabilir. Tutarlı bir şekilde iyi kalitede birleşmeler gerçekleştirmek için, parçalar sert lehimlemeden önce genellikle nikelle, elektrolitik olarak kaplanabilir.

2.1.3 Hidrojen Gevrekleşmesi

Bakır ve alaşımları az miktarda bakır oksitleri şeklinde oksijen içerirler. Hidrojen atmosferinde ısıtıldıklarında hidrojenin alaşımlar içine difüze olması tehlikesi vardır. Bu difüzyonda bakıroksit hidrojenle birleşip su meydana getirir. Aşağıdaki denklem bu olayı açıklamaktadır.



Su buharının yüksek iç basıncı ana metali (bakır veya alaşımını) içten bir kaç noktadan yırtar ve böylece metali gevrekleştirir. Isıtma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa bakır içindeki su buharının gevrekleştirici etkisi de o kadar fazla olur. Bu nedenle sert lehimlemede deokside edilmiş bakır kullanılır. Bakır %0.01 ile %0.04 düzeyinde fosfor ilavesiyle oksijenden arındırılır, fakat bu elektriksel iletkenliğin aleyhine olur.

Bakır ve alaşımları içindeki oksitler, haddeme veya çekme sırasında çizikler vb. meydana getirerek operasyona zarar verirler veya mamülün görünümünü bozabilirler. Bu yüzden oksitler yok edilmelidir. Oksitlerin mekanik ya da kimyasal yollarla yok edilmesi pahalı özel tesisleri gerektirir.

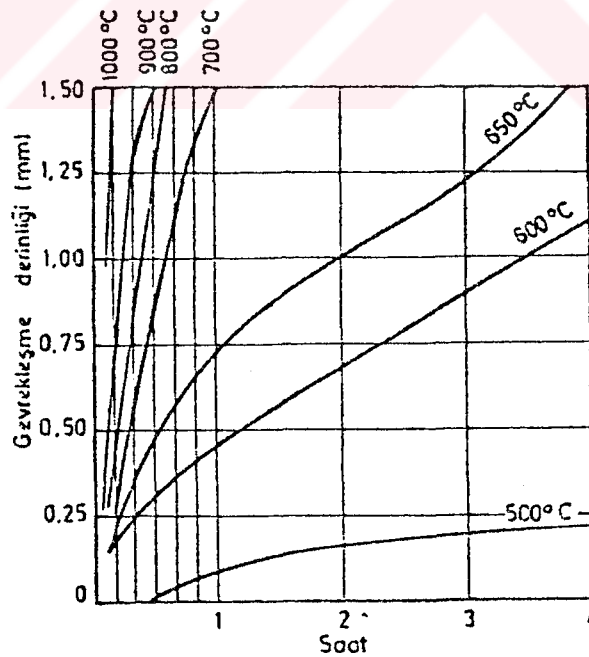
Bunun için oksitlerin sonradan temizlenmesinden kaçınmak için sert lehimlenecek malzemeleri uygun atmosferler altında ısıtmak daha ekonomik olmaktadır.

Suyun kritik sıcaklığının (374°C) altında, Cu_2O taneciklerinin boşluğunda meydana gelen su, sıvı halde kalır. Bu yüzden oluşan iç zorlanmalar nispeten zayıf (max 1.5 hbar) olup genellikle olumsuz bir durum yaratmaz.

Ama bu kritik sıcaklığın üstünde su ancak gaz halinde kalabilir ve 60 hbar'a varabilen iç zorlamalar meydana getirir. Bu yüksek basınçta bakırın kopma mukavemeti iyice aşılmış olacağından bakırı kırılgan hale getiren bir taneler arası çözülme meydana gelir. Bu olaya "*hidrojen gevrekliği*" denir.

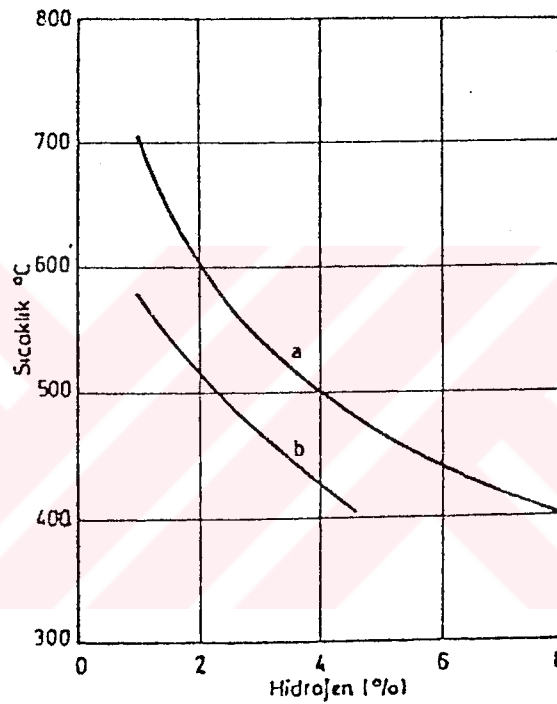
Hidrojenin bakır içindeki difüzyonu ve dolayısıyla gevrekleşmiş tabakanın kalınlığı, sıcaklık derecesi ve sıcaklıkta tutma süresi ile önem kazanır.

(Şekil 2.1)



Şekil 2.1 % 0,042 oksijen içeren bakırın hidrojen atmosferinde ısıtılmasında "gevrekleşmiş" bölgenin derinliği.[2]

Gevrekleşme, hidrojenli atmosferde tavlama işleminin hemen başından itibaren meydana gelmez. Olayın başlaması ısıtma sıcaklığı ve atmosferin hidrojen oranına bağlı olan bir *kuluçka* döneminden sonra olur. Bu sebeple deokside olmamış bakırların hidrojenli atmosferlerde parlak tavlamalarını gerçekleştirmek; sıcaklıkta tutma süresi, kuluçka döneminden az olma şartı ile mümkün olmaktadır. Öte yandan belli bir ısıtma süre ve sıcaklığı için hidrojen oranı kritik değeri aşmayacaktır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 Deokside olmamış bakırın parlaklık tavlaması sırasında hidrojen gevrekleşmesi oluşturmamayan hidrojen oranı ve tavlama sıcaklık sınırı.[2]

a) 1,5 saatlik bir tav süresi için deneysel eğri.

b) Önerilen pratik sınır.

Bütün bu hususların, bir ısıtma işlemine bağlı olan sert lehimleme açısından önemi açıkça görülmektedir.

2.1.4 Tane Büyümesi

Sert lehimleme için kullanılan ısı, birleştirilecek ana metallerin niteliklerini etkiler. Mekanik nitelikleri soğuk çalışma-dövme ile elde edilen ana metaller

yumuşayabilir veya sert lehimleme sıcaklığının bunların yeniden kristalleşme sıcaklıklarının üzerinde olması halinde de tane boyutu artabilir. Mekanik niteliklerin ısıtma işlemiyle elde edildiği hallerde sert lehimleme işlemi bunlara olumsuz etki yapmaz. Tavlanmış haldeki malzemeler, sert lehimleme sırasında kayda değer bir değişime uğramazlar.

Bu değişimlerin meydana geldiği bölgenin genişliği kullanılan yöntemle göre farklı olur. Bazı yöntemlerde (üfleç ve indüksiyon) sadece yerel bir bölge ısıtılır. Başkalarında (ocak ve daldırma) ise bütün parça sert lehimleme sıcaklığına varabilmek için ısıtılır. Genel olarak sert lehimleme işleminde ısıtmanın tesiri altında kalan bölge (ITAB), kaynak yöntemleriyle meydana gelenden daha geniş ve daha az kesin olarak tanımlanmış haldedir.

2.1.5 Kükürt Gevrekleşmesi

Nikel ya da bu metalden önemli miktarda içeren alaşımlar, kükürt ya da kükürt içeren bileşiklerle birlikte ısıtılacak olurlarsa, gevrekleşebilirler. Alçak erime noktalı bir nikel sülfürü tane sınırlarında meydana gelip gevrekliğe ve zayıflığa yol açacaktır. Daha sonra bu parça zorlandığında çatlayacaktır. Bu şekilde zarar görmüş malzeme kurtarılamaz ve hurdaya atılır.

Nikel ve nikel-bakır alaşımları bu tür etkiye çok açık olup bunlardan krom içerenler bu olay daha az duyarlı olurlar. Bu nedenle içerdiği elementlerden nikelin başlıca element olduğu alaşımlar için, ısıtma işleminden önce bunların temiz ve kükürt içeren malzemelerden (yağ, gres, boya, kalem izi ve resim yağları gibi) tamamen arındırılmış bulunmaları önemlidir. Isıtma nispeten kükürtsüz bir atmosferde olmalıdır.

2.1.6 Buhar Basıncı

Sert lehimleme ile birleştirilmiş parçaların vakum altında çalışmaları durumunda ilave metallerin seçiminde çok dikkatli olunmalıdır. Bu koşul bir

çok endüstride geçerli olup özellikle geniş boyutlu elektron tüpleri, partikül akseletörleri, vakum ocakları ve kaplama birimleri gibi sürekli pompalanan yapılar için çok önemli olmaktadır. Bütün bu donanımlarda yüksek vakum ya gereklidir ya da istenilen gaz atmosferinin ithalinden önce talep edilmiştir. Bu nedenle örneğin vakum tüpleri uygulamalarında, çalışma sıcaklıklarında yüksek buhar basıncına haiz olan çinko ve kadmiyum gibi elementlerin dolgu metallerinin bileşimine girmelerine müsaade edilmez. Böyle olunca da vakum tüpü uygulamaları için dolgu metalleri özel olarak piyasaya sürülmüştür.

2.1.7 Alaşımlama

Alaşımlama terimi karşılıklı etkileşimin az çok bütün görünümünü kapsayan bir genel terimdir. Bununla beraber alaşımlama teriminin komponentleri hakkında daha özgün tanımlama yapmamız mümkündür.

Önce erimiş dolgu metali, ana metalleri eritebilir. Sonra, dolgu metalini oluşturan elementler ana metal içinde tane sınırlarına yayılabilirler veya sıvı olarak tane sınırlarına girebilirler. Bu tür bir ana metal erimesinin ya da dolgu metali difüzyonunun sonuçları; dolgu metali tabakasının likidüs veya solidüs sıcaklıklarını birleşim ve ısıtma işleme göre yükseltmek veya alçaltmak olabilir.

Nikel, monel ya da kupro nikellerin bakırla sert lehimlenmesinde yeterince erime ve difüzyon meydana gelebilir. Yani bakır ilave metalinin solidüsü yükselmiş ve akış bitmiş olur. Bunun bir başka anlamı da sert lehimlenmiş dolgu metali tabakasının yeniden erime sıcaklığının onun ilk solidüs sıcaklığından daha yüksek olduğudur.

Ana metal parçalarının kesitlerinin nispeten ince olmaları halinde, ana metalin erimesi ve ana metalin içine doğru olan difüzyon zarar vericidir. Delikler meydana gelebilir ve yanma çentikleri gibi geometrik kusurlar oluşabilir. Bu etkiye "erozyon" denir. Bu erozyon alüminyum ve magnezyum

levhalarının sert lehimlenmesinde olduğu gibi yüksek sıcaklık alaşımlarının sert lehimlemesinde de meydana gelebilir.

Demir esaslı yüksek sıcaklık alaşımlarının, bor içeren dolgu metalleriyle sert lehimlemesinde ana metalin tane sınırlarına alçak erime noktalı bir metal kompleksinin girmesi, birleşme kalitesine zarar verebilir. Bu etki özellikle sert lehimlenmiş sandviç panolarda olduğu gibi, ana metalin ince olması halinde de zararlı olur. Bu gibi hallerde konunun uzmanına başvurulmalıdır.

Altınla bezenmiş süs eşyalarının imalinde, sert lehimlenme işlemi dolgu metalinin altın içine difüze olmasına vakit bırakmayacak kadar çabuk uygulanmalıdır. Aksi halde soylu metalin rengi atar ve üzerinde lekeler meydana gelebilir.

Aşırı ana metal erimesi ve difüzyon oluşumunun mümkün olduğu hallerde sert lehimleme işlemi olabildiğince kısa sürede ve alçak sıcaklıkta yapılacaktır.

Genel alaşımlama terimine dahil olan başka bir faktör de metaller arası bileşikler olup, ana ve ilave metallerin bileşenleri arasındaki etkileşimin sonucudur. Bu bileşikler genellikle gevrek olurlar. Bununla birlikte bu sonuncu olgu birleştirmenin mutlaka her türlü teknik imkandan yoksun olacak kadar gevrek olacağı anlamına gelmez. Bu, özgül bileşiğin cinsine niteliğine ve dağılışı şekline bağlı olur.

2.1.8 Fosfor Gevrekleşmesi

Sağlıksız birleşim oluşmasına bir örnekte fosfor gevrekleşmesidir. Gerçekten fosfor, fosfürler olarak bilinen gevrek bileşikler oluşturmak üzere birçok metalle birleşir. Bu nedenle bakır-fosfor (BCuP) dolgu metalleri genellikle herhangi bir demir veya nikel esaslı alaşımda kullanılmaz. Ancak

bununla beraber Bni-6 ve BNi-7 nikel dolgu metalleri bazı durumlarda ısıya dayanıklı alaşımların sert lehimlenmesinde kullanılırlar.

2.1.9 Gerilme Çatlaması

Paslanmaz çelikler, nikel alaşımları ve bakır-nikel alaşımları gibi birçok yüksek mukavemetli malzeme, yüksek gerilme koşulu altında ve erimiş sert lehim dolgu metaliyle temasında çatlama eğilimi gösterir. Yüksek tavlama sıcaklıklı ve özellikle sertleştirilebilen malzemeler bu gerilme çatlama olayıyla karşı karşıyadırlar. Çatlama genellikle sert lehimleme işlemi sırasında aniden meydana gelir ve erimiş sert lehim dolgu metali çatlak takip edip onu tamamen doldurduğunda derhal gözle görülür.

Olay, erimiş dolgu metalinin korozyif ortam olarak kabul edildiği bir gerilme korozyonu çatlak olarak da tanımlanabilir. Bir kostik eriyik içinde gerilmeye maruz çelik ya da amonyak eriyiği içinde gerilmeye maruz pirinç, gerilme korozyonu çatlaklarının yaygın olarak bilinen örnekleridir. Gerilme çatlama oluştuurmak için gerekli olan gerilme sert lehimlemeden önce soğuk çalışmayla meydana getirilebilir ya da sert lehimleme sırasında dıştan mekanik olarak veya ısı membasından sağlanabilir.

Bazı özel alaşımlardan yapılmış parçaların soğuması sırasında, faz değişiminden dolayı meydana gelen gerilmeler de çatlamalara neden olabilir. Bu çatlaklar çoğu kez parçanın hurdaya atılmasını gerektirmez, sadece sert lehimlenmiş birleşmeyi zayıflatır.

Sert lehimlenmiş bir bağlantının gerilme etkisi altında olduğu anlaşıldığında gerilmenin nedenleri genellikle sert lehimleme işleminin bir kritik analizinden sonra saptanabilir. Temel çare, gerilme membasını yok etmektir. Gerilme çatlama şu yollarla önlenir:

- 1)Sert menevişli yerine, tavllanmış menevişli malzeme kullanmak .
- 2)Soğuk işlenmiş parçaları sert lehimlemeden önce tavlamak.
- 3)İyi alıştırılmamış parçalar üzerindeki gerilme yaratan (ışkence, desteksiz ağırlıkların üstten asılması vb.) gibi dıştan uygulanmış gerilme membasını ortadan kaldırmak .
- 4)Parçaların yeniden dizaynı.
- 5)Yavaş tempoda ısıtma (kalın parçalar gerilmeler meydana gelecek kadar hızlı ısıtılmış olabilir).
- 6)Üfleçle sert lehim uygulamasında, dekapan sürülüp toplanmış parçaları önce gerilime giderilmesine yetecek bir sıcaklığa ısıtmak, bunları sert lehimleme sıcaklığına soğutmak ve sonra dolgu metalini eritip uygulamak.
- 7)Bu tür zararı yaratmayacak bir sert lehim dolgu metali seçmek.

Yaşlanma sertleşmesine uğrayabilen yüksek nikelli alaşımlar gerilme korozyon çatlamasına çok yatkındırlar. Bunlar tavllanmış halde ve nispeten yüksek erime noktalı (750 °C nin üzerinde) sert lehim dolgu metaliyle birleştirilmelidir. Bu tür malzeme, yaşlanma sertleşmesi işlemi sırasında taşınmaya (elle işlenme) dayanacak kadar yeterli mukavemete sahip olurlar.

2.2 Sert Lehimlemeden Sonraki Isıl İşlem

Çoğu kez sert lehimlenmiş birleşmelere, mekanik özelliklerinin ıslahı amacıyla sonradan bir ısıtım işlemi uygulanır. Demir esaslı alaşımlarda bu işlem yüksek sıcaklıkta bir su verme ve daha sonra düşük sıcaklıklarda menevişlemeden ibaret olur. Berilyum-bakır alaşımı, Duranickel, "K" Monel, Inconel "X" ve 177PH paslanmaz çelik gibi sair alaşımlarda işlem, ara bir sıcaklığa belli bir süre ısıtım, sonra kontrollü bir tempo ile soğutmadan ibaret olur.

Yukarıda söylendiği üzere, bu gibi durumlarda dolgu metalinin elle işlemlerine (taşınmalara) dayanacak mukavemete sahip olması gerekir. Sert

lehimleme sonrası ısıtıl işlem, birleşmelerde artık gerilme yaratabilir, mikro çatlak meydana gelebilir ve böylece birleşme mukavemeti zarar görür.

2.3 Farklı Metallerin Birleştirilmesi

Bir çok farklı metal birbiriyle sert lehimlenebilir. Gerçekten metalürjik uyumsuzluğun öbür kaynak yöntemlerinin kullanılmasına imkan bırakmadığı durumlarda çoğu kez sert lehimleme kullanılabilir.

Farklı metallerin sert lehimlemesinde en önemli kriterlerden birisi, metallerin ısıtıl genleşmelerindeki farktır. Yüksek ısıtıl genleşmeye sahip bir metalin alçak ısıtıl genleşmeye sahip bir metali çevrelemesi halinde, kapiler akımı teşvik edecek ara boşluğu, sert lehimleme sıcaklığında çok fazla olacaktır. Tersine, alçak genleşmeli metalin yüksek genleşmeli metali çevrelemesi durumunda sert lehimleme sıcaklığında metaller arasında hiçbir boşluk kalmayacaktır. Örneğin, bir molibden muylunun bir bakır bloğa sert lehimlemesinde parçalar, oda sıcaklığında preste geçirme alıştırılmalı olmalıdır. Ama bir bakır muylunun bir molibden bloğa sert lehimlenmesinde, oda sıcaklığında merkezlenmiş gevşek alıştırma yeterli olur.

Şekil 2.3 deki nomogram farklı metaller arasında, "halka ve muylu" tipi birleşmelerde aralık değişmesinin saptanmasında yararlıdır. Daha büyük bir hassasiyetin önemli olduğu ya da değişkenlerden birinin nomogram ölçeğinin dışına çıktığı durumlarda nomogramdaki denklem kullanılabilir.

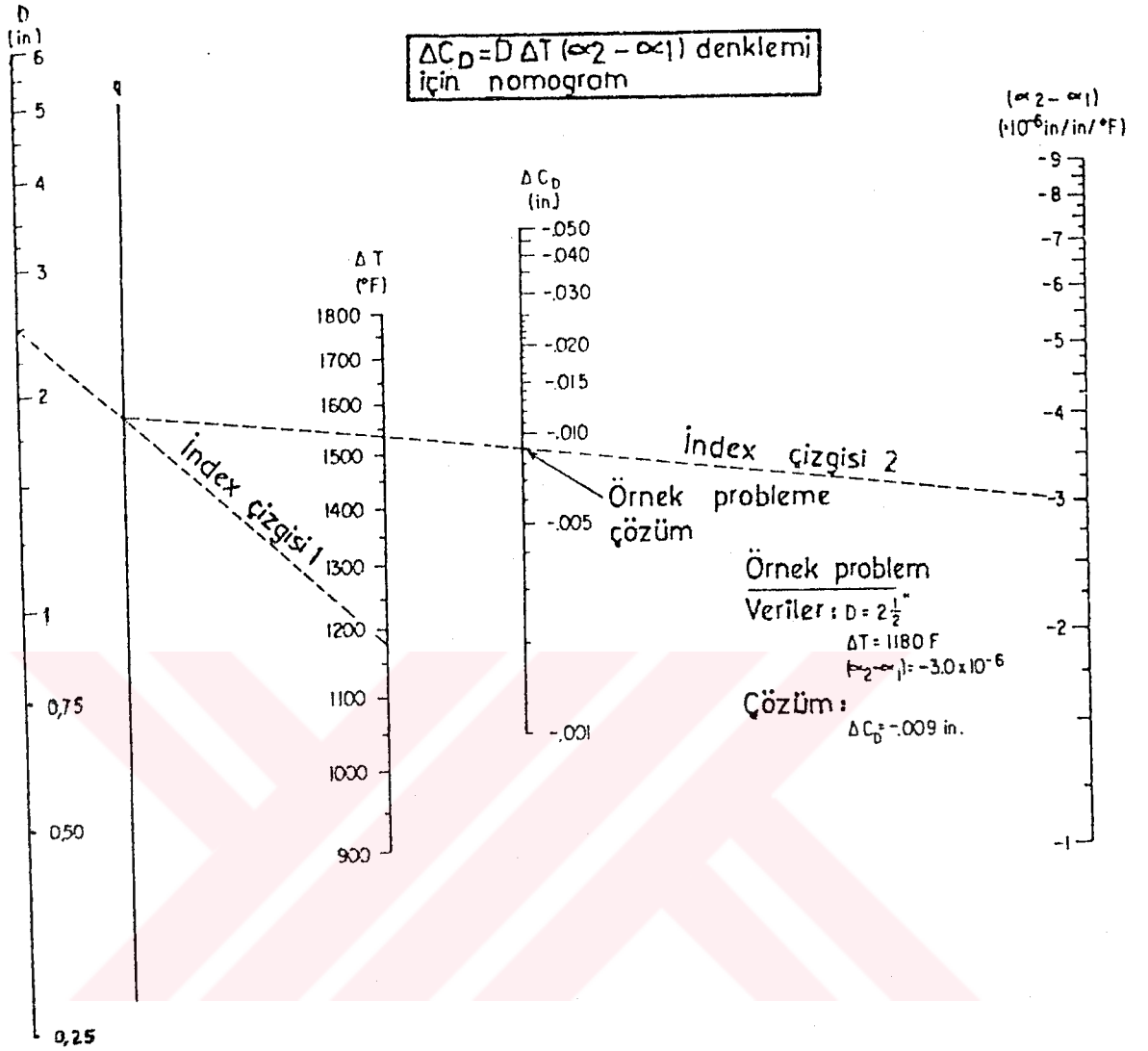
Farklı ısıtıl genleşme katsayılı malzemelerin sert lehimlemelerinde çoğu kez kullanılan bir teknik de "sandviç sert lehimleme" dir. Bu tekniğin bir genel kullanımı, karbür uçlu metal kesme kalemleri imalidir. Bu teknikte nispeten sünek bir metal her tarafından sert lehim dolgu metali ile kaplanır ve sandviç malzemesi birleşme yerine oturtulur. Böylece birleşme yerinde üçüncü bir metal vardır ve bu metal soğuma sırasında sürünerek (creep) farklı

çekmelerden meydana gelen gerilmeleri azaltır. Bu tekniğin bazı çeşitlerinde folyo yerine ince tel ızgara kullanılır.

Yine farklı metallerin başarılı sert lehimlenmesi için başka kriterlerin de dikkate alınmaları gerekir. Dolgu metali her ana metale uygun olmalıdır ve bunun seçiminde ana metal erime noktaları arasındaki büyük farklar göz önünde tutulacaktır. Korozyona ya da oksidasyona mukavemetin bahis konusu olduğu durumlarda dolgu metali en az, sert lehimlenen metallerin bu konuda en zayıfına eşit nitelikte olmalıdır. Ayrıca uygulama koşulları altında, çukur korozyonunu teşvik edecek olan galvanik çiftlerden kaçınılacaktır.

Sert lehimleme ya da daha sonraki ısı işlemler sırasında dolgu metali ile ana metal arasında oluşacak olan metalürjik reaksiyonlar önemlidir. Buna bir örnek, alüminyumun bakıra sert lehimlemesidir. Bakır alüminyumla reaksiyona girip alçak erime noktalı gevrek bir bileşik meydana getirir.

Bu tür sorunların üstesinden gelmek için ana metallerden biri uygun bir metalle kaplanır. Alüminyumun bakırla birleştirilmesinde bakır, gümüş ya da yüksek gümüşlü bir alaşımla kaplanır ve birleşme bir standart alüminyum sert lehim dolgu metali ile gerçekleştirilir.



Şekil 2-3 Bir çok sert lehimleme durumu için farklı metallerin birleştirilmesinde çaptaki boşlukların değişmesini bulmak için nomogram.[2]

1. Bu nomogram ısıdan dolayı meydana gelen çap değişmesini verir. Sert lehim dolgu metalinin kapiler akışını sağlayacak boşluk, sert lehimleme sıcaklığında sağlanmış olacaktır.

2. D = Birleşmede nominal çap, inch

ΔC_D = Boşluk değişmesi, inch

ΔT = Sert lehimleme sıcaklığı, negatif oda sıcaklığı

α_1 = Erkek parçanın ortalama ısı genleşme katsayısı, inch/inch/°F

α_2 = Dişi parçanın ortalama ısı genleşme katsayısı, inch/inch/°F

3. Bu nomogram $\alpha_1 > \alpha_2$ olmasını durumu kabul eder, böylece $(\alpha_2 - \alpha_1)$ 'in ölçek değeri negatif olmaktadır. ΔC_D için oluşan değerler de negatiftir. Bunun anlamı birleştirme boşluğunun, ısıtma ile azaldığıdır. $(\alpha_2 - \alpha_1)$ 'in pozitif olduğu durumlarda ΔC_D 'nin değerleri de pozitif okunur ki bu ısıtmada boşluğun arttığı anlamına gelir.

BÖLÜM 3

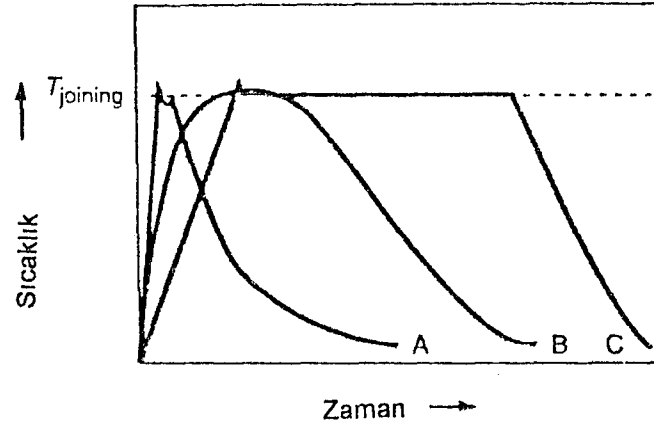
MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNİN SERT LEHİMLENEBİLME KARAKTERİSTİKLERİ

Mühendislik malzemelerinin sert lehimlenebilme yeteneklerini incelemeden önce, birleştirme işleminin karakteristiklerine kısaca bir göz atılacaktır.

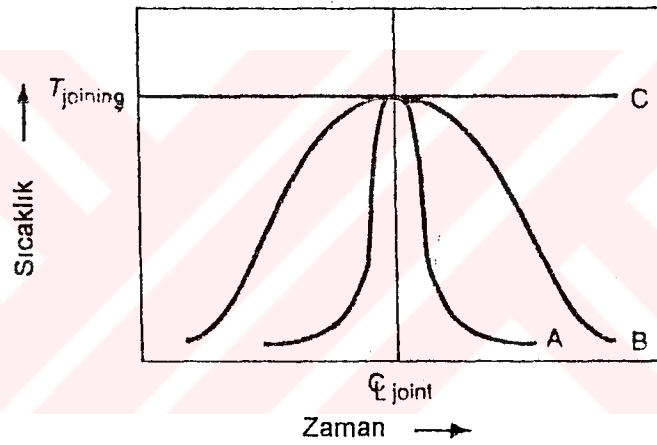
Bütün sert lehimleme işlemleri temizleme, ilave metal sevki, ısıtma ve soğutma operasyonlarından oluşmaktadır. Bazı işlemlerde malzeme, değişik sıcaklıklara ve zaman kontrolüne ihtiyaç duyduğundan diğer malzemelere göre daha hızlı ısıtılır. Hızlı birleşme işlemi, düşük birleşme olasılığına, metaller arası bileşiklerin ve ana metalin içinde dar ısıtılmış bölgenin oluşumuna neden olabilir. Diğer taraftan hızlı ısıtma, yüksek artık gerilmeye de yol açabilir.

Aynı ana ve ilave metalin, yumuşak ya da sert lehimlemesinde birleştirme işlemi karakteristiklerine bağlı olarak, (ısıtma ve soğutma operasyonları, bağlantı dizaynı, bağlantının korunması vb.) bağlantının mekanik ve korozyon özellikleri farklı olabilir. Şekil 3.1 Üç değişik ısıtma metodunun bağlantı üzerindeki ısı etkisini göstermektedir. A eğrisi hızlı ısıtma ya da soğutmaya göre indüksiyon ya da dirençle ısıtmadaki ısı değişimini gösterir. Üfleçle ısıtma genellikle daha fazla nüfuz edici ve başarılıdır. Yani ana metalin ısınması B eğrisinde gösterildiği gibi çok fazladır. Ocak ısıtmasının

performansı, ana metal ve bağlantı yerinde elde edilen uniform ısınma C eğrisi ile gösterilmiştir.



(a)



Şekil 3.1 Isıtma metodunun fonksiyonu olarak bağlantının ısıt performansı.[5]

- a) Sıcaklık değişimine göre
- b) Sıcaklık dağılımına göre
- A, İndüksiyon ya da direnç ısıtması
- B, Üfleç ısıtması
- C, Fırın ısıtması

Isıtma metodu, ana ve dolgu metalinin özelliklerine, birbirlerini etkilemesine, bağlantı geometrisine, kaliteye, maliyete ve verimliliğe göre seçilir. Tablo 3.1 değişik malzemelerin sert lehimlenmesi için yaygın ısıtma metodlarını göstermektedir.

Tablo 3.1 Sert lehimlemede kullanılan tipik ısıtma metodlarının, ana metallerin ve dolgu metallerinin birbirleriyle ilişkileri.[7]

AWS 'YE GÖRE DOLGU METALLERİ	UYGULAMA	ISITMA METODU (a)	AWS 'YE GÖRE DEKAPANLAR (b)
BAG-1, BAG-1a BAG-2, BAG-2a	Genel amaçlı (Al ve Mg alaşım ları dışında)	Ü, I, D, F(A), F(H)	FB3-A, FB3-C, FB3-D FB3-E, FB3-F, FB3-G FB3-H, FB3-I, FB3-J FB3-K, FB4-A
BAG-3	Genel amaçlı (Al ve Mg alaşım ları dışında)	Ü, I, D	FB3-A, FB3-C, FB3-D FB3-E, FB3-F, FB3-G FB3-H, FB3-I, FB3-J FB3-K, FB4-A
BAG-4, BAG-5, BAG-6 BAG-7, BAG-9, BAG-10 BAG-13, BAG-20, BAG-22 BAG-24, BAG-25, BAG-26 BAG-27, BAG-28	Özel amaçlı	Ü, I, D, F(A), F(H)	FB3-A, FB3-C, FB3-D FB3-E, FB3-F, FB3-G FB3-H, FB3-I, FB3-J FB3-K, FB4-A
BAG-8, BAG-8a BAG-13a, BAG-19	Özel amaçlı	F(V), F(H), F(A)	FB3-A, FB3-C, FB3-D FB3-E, FB3-F, FB3-G FB3-H, FB3-I, FB3-J FB3-K, FB4-A
BAG-18, BAG-21, BAG-23	Özel amaçlı	Ü, I, D F(V), F(H), F(A)	FB3-A, FB3-C, FB3-D FB3-E, FB3-F, FB3-G FB3-H, FB3-I, FB3-J FB3-K, FB4-A
BAu-1, BAu-2 BAu-3, BAu-4	Özel amaçlı (Çelik, Nikel, Kobalt=korozyona ve oksidasyona dirençli)	D, I F(V), F(H), F(A)	FB3-D, FB3-I, FB3-J
BAu-5, BAu-6 BAu-7, BAu-8	Özel amaçlı (Çelik, Nikel, Kobalt=korozyona ve oksidasyona dirençli)	F(V), F(A)	FB3-D, FB3-I, FB3-J
BPd-1	Özel amaçlı	F(V), F(A)	...
BAISi-2, BAISi-5	Özel amaçlı	F(A), Da	FB1-A, FB1-B, FB1-C
BAISi-3, BAISi-4	Genel amaçlı (Al alaşımları)	Ü, Da, I, D, F(V)	FB1-A, FB1-B, FB1-C
BAISi-6, BAISi-7 BAISi-8, BAISi-9 BAISi-10, BAISi-11	Özel amaçlı	F(V)	FB1-A, FB1-B, FB1-C

AWS 'YE GÖRE DOLGU METALLERİ	UYGULAMA	ISITMA METODU (a)	AWS 'YE GÖRE DEKAPANLAR (b)
BCuP-1	Özel amaçlı (Cu ve Cu alaşımları)	D, I	FB3-A, FB3-C, FB3-E FB3-F, FB3-G, FB3-H FB3-K, FB4-A
BCuP-2, BCuP-3, BCuP-4 BCuP-5, BCuP-6, BCuP-7	Özel amaçlı (Cu ve Cu alaşımları)	Ü, I, D, F(A), F(H)	FB3-A, FB3-C, FB3-E FB3-F, FB3-G, FB3-H FB3-K, FB4-A
BCu-1, BCu-1a BCu-2	Özel amaçlı (Demir esaslı, de- mir dışı alaşımlar)	F(H), F(V)	FB3-D, FB-I, FB3-J
RBCuZn-A, RBCuZn-C	Özel amaçlı (Demir esaslı, de- mir dışı alaşımlar)	Ü, I, D, F(A), F(H)	FB3-D, FB-I, FB3-J FB3-K
RBCuZn-D	Özel amaçlı (Demir esaslı, de- mir dışı alaşımlar)	Ü, I, D	FB3-D, FB-I, FB3-J FB3-K
RBCuZn-E, RBCuZn-F RBCuZn-G, RBCuZn-H	Özel amaçlı (Demir esaslı, de- mir dışı alaşımlar)	Ü, I, D	FB3-D, FB-I, FB3-J FB3-K
BNi-1, BNi-1a BNi-2, BNi-5 BNi-6, BNi-7	Özel amaçlı (Korozyona, ısıya dirençli malzeme)	Ü, I, D, F(H)	FB3-D, FB-I, FB3-J
BNi-3, BNi-4	Özel amaçlı (Korozyona, ısıya dirençli malzeme)	Ü, I, D, F(H), F(V)	FB3-D, FB-I, FB3-J
BNi-8	Özel amaçlı (Korozyona, ısıya dirençli malzeme)	F(H), F(A), F(V)	FB3-D, FB-I, FB3-J
BCo-1	Özel amaçlı (Yüksek servis sıcaklıklı malzeme)	F(V)	...
BMg-1	Özel amaçlı (AZ10A, KIA ve M1A Mg alaşımları)	Ü, Da, F(A)	FB2-A

(a) Ü:üfleç, I:indüksiyon, D:direnç, F(H):hidrojenli fırın, F(A):argonlu fırın, F(V):vakumlu fırın, Da:daldırma

(b) Bazı durumlarda dekapan gerekli değil [7]

3.1 Metal Malzemeler

3.1.1 Demir Esaslı Metaller

Düşük Karbonlu Çelikler, Düşük Alaşımli Çelikler ve Takım Çelikleri yaygın bir şekilde sert lehimlenebilir. Bu arada *Düşük Karbonlu Çelikler* içindeki karbon miktarı maksimum %0.1, silisyum ve manganez miktarları da normal sınırlar dahilinde olan çelikler olarak tanımlanır. *Düşük Alaşımli Çelikler* sadece içindeki alaşım miktarı %5 olanları değil aynı zamanda *Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelikleri* de kapsar (mikro alaşımli çelikler). *Takım Çelikleri* yüksek sertlik ve aşınmaya karşı dirençli olarak dizayn edilen yüksek alaşımli çeliklerdir. *Takım çelikleri, Karbonlu Takım Çelikleri ve Yüksek Hız Takım Çelikleri* olarak iki ayrı gruba daha ayrılır. *Karbon Takım Çelikleri* nin mekanik özellikleri esas olarak %0,6-1,4 arasında olan karbon miktarına bağlıdır. *Yüksek Hız Takım Çelikleri* genellikle düşük miktarda karbon içerir ve mekanik özellikleri esas olarak tungsten, molibden, krom ve vanadyum gibi alaşım elementleriyle elde edilir. Bu elementler karbon bileşiklerinin (karbürlerin) yapı taşlarıdır. Bu karbon bileşikleri sert lehimlenecek alaşımın ısıtma ve yayılma davranışlarını mikro yapısal seviyede etkileyebilir. Yine bu karbon bileşikleri demir oksitinin özelliklerini de değiştirerek ısıtma ve yayılmayı daha zor hale getirir.

Her tip çeliğin değişik özelliklere sahip olmasından dolayı, çelikler için sert lehimleme işlemi, işlem özelliklerinin bir fonksiyonu olarak belirlenmelidir. Sıcaklığa bağlı olarak malzeme özelliklerinde kötüleşme ve bozulma görülebilir. Özellikle ısıtma işleminin tipi ve kontrolü (sıcaklık ve zaman) olayın geçtiği ortam (yağ, su, hava vb.) ve uygun sert lehimleme şartları (ilave metal tipi, dekapan yada atmosfer tipi, temizlik durumu, bağlantı geometrisi, teçhizat vb.) göz önüne alınmalıdır.

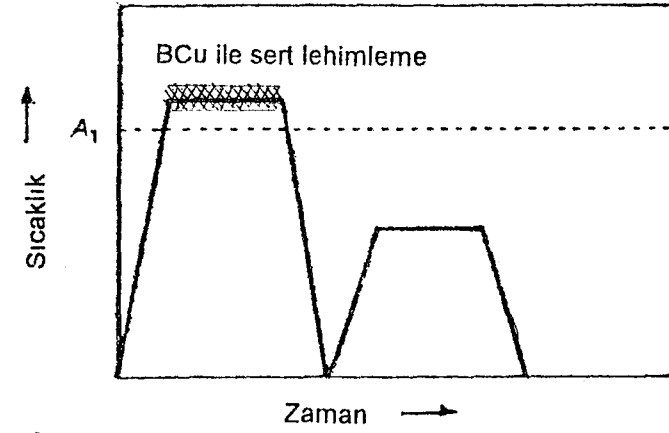
3.1.1.1 Düşük Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çelikler

Düşük Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çelikler bütün yöntemler ile sert lehimlenebilir fakat üfleç, fırın, indüksiyon ve daldırma sert lehimlemesi en

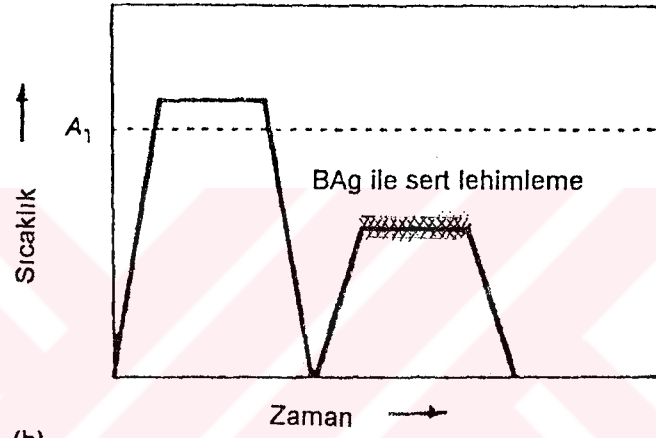
yaygın olarak kullanılanlardır. *Düşük Alaşımlı Çelikler* in üfleç ile sert lehimlemesi ana metaldeki, dolgu metalindeki ve dekapandaki oluşacak etkileri en aza indirmek için nötr ya da az miktarda redükleyici alev kullanılarak yapılmalıdır. Ancak bu işlem tam olarak sıcaklık kontrolü sağlamaz ve aşırı tane büyümesi meydana gelebilir. Diğer taraftan fırında sert lehimleme genellikle daha iyi sıcaklık ve işlem kontrolüne imkan verir. Eğer atmosferin kimyasal bileşimi uygun bir şekilde kontrol edilmezse, lehimleme atmosferi çeliğin özelliklerini kötüleştirerek dekarbürüzyona ya da hidrojen toplanmasına sebep olabilir.

Çeliğin yüzeyindeki oksit tabakasının varlığı erimiş dolgu metalinin ıslatma kabiliyetini etkiler. *Düşük Karbonlu ve Düşük Alaşımlı Çelikler* in yüzeyindeki oksit tabakası genellikle sert lehimleme sırasında dekapan ya da koruyucu atmosfer yardımıyla kolayca ortadan kalkar. %1 den fazla krom, alüminyum ve/veya titanyuma sahip çeliklerin sert lehimlenmesi için AWS'nin yayını B2.2 de değişik sert lehimleme yöntemleri tavsiye edilmektedir. Bu üç element yüzeydeki demir oksitin özelliklerini değiştirir. Bunlar oksitlerin yüzeye yapışmasını arttırır ve oksit tabakasındaki oksijen difüzyonunu azaltırlar. Bu sebeple dekapan ya da sert lehimleme atmosferi bu oksitleri azaltabilmeli ve ıslatmayı ilerletebilmelidir.

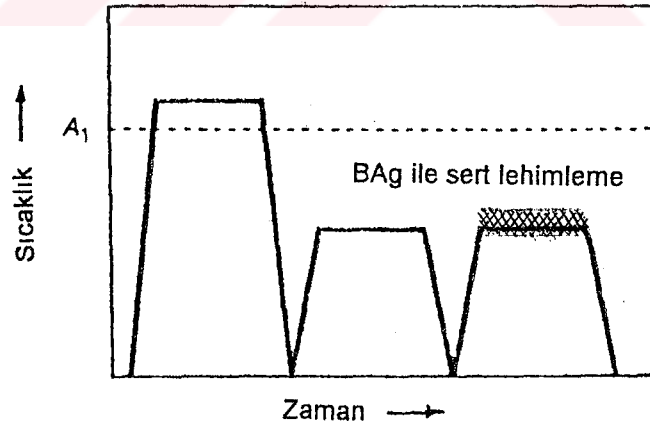
Karbonlu ve Düşük Alaşımlı Çelikler BCu, BAg ve RBCuZn dolgu metalleriyle sert lehimlenebilirler. Bu dolgu metali grupları sırasıyla 1095-1150 °C, 620-900 °C ve 910-982 °C sıcaklık aralığında kullanılırlar. Sert lehimleme sıcaklıkları esas alındığında iki değişik sert lehimleme tekniği tanımlanabilir (Şekil 3.2). Eğer sert lehimleme sıcaklığı ostenitleme sıcaklığından yüksekse, A₁, çelik için sert lehimleme birinci ısıtma sırasında yapılabilir (Şekil 3.2a). Öteki durumlarda sert lehimleme işlemi düşük sıcaklığa ihtiyaç duyabilir. Bu sebepten dolayı sert lehimleme işlemi çeliğin birinci ya da ikinci temperlemesinde yapılır (Şekil 3.2b ve c).



(e)



(b)



(c)

Şekil 3.2 Sert lehimleme operasyonunun ısı işlem ile beraber uygulanması.[5]

a)Ostenizasyon işlemi esnasında (BCu dolgu metali)

b)Temperleme işlemi esnasında (BAg dolgu metali)

c)Temperleme işlemi esnasında (BAg dolgu metali) A_1 , ostenizasyon sıcaklığı.

3.1.1.2 Takım Çelikleri

Takım Çelikleri, *Düşük Karbonlu* ve *Düşük Alaşımlı Çelikler* den daha yüksek sertleşebilme yeteneğine sahiptir ve mikro yapıları, içindeki karbon bileşikleri hassas olarak dağılmış olan temperlenmiş martenzittir. Termal çatlaklara neden olabilecek bu iç yapı, ısı değişimlerine karşı son derece hassastır. Soğuma esnasında parçanın büyüklüğüne bağlı olarak malzemenin dış kısmı hacimsel genişleme esnasında martenzite dönüşürken, iç kısım dönüşüme uğramadan yüksek sıcaklıkta kalır. Değişik ısı genleşme katsayısıyla beraber bu faz dönüşümü artık gerilmeler ve geçiş bölgesinde çatlaklar meydana getirebilir (Dönüşmüş ve dönüşmemiş mikro yapı arasında). Bu yüzden *Takım Çelikleri* nin ısıtılması ve soğutulması, parçanın içindeki ısı değişikliği baştan başa en aza indirmek için dikkatlice kontrol edilmelidir.

Takım Çelikleri en çok kullanılan sert lehimleme yöntemleriyle sert lehimlenebilir, ancak ısı kontrolündeki eksiklikten dolayı üfleç sert lehimlemesi dikkatlice uygulanmalıdır. Sonuç olarak termal çatlaklar bir hayli yaygındır. İndüksiyon sert lehimlemesi bağlantı yerine sünek bir metal konarak yapılabilir. Bu yumuşak metal artık gerilmeleri azaltır ve çatlama eğilimini en aza indirger. Kompozit dolgu metalleri (Cu-Ag, Cu-Cu) sert lehimleme esnasında üretilen kesme gerilmesini dengelemek için kullanılabilirler. Daha önce belirtildiği gibi fırın sert lehimlemesi en iyi sıcaklık kontrolünü sağlar, fakat ana metaldeki dekarbürüzyondan kaçınmak için fırın atmosferinin içeriği dikkatlice ayarlanmalıdır.

Dolgu metalleri, *Düşük Karbonlu* ve *Düşük Alaşımlı Çelikler* in sert lehimlemesinde kullanılan dolgu metallerine benzerler. Bazı *Takım Çelikleri* yüksek krom içeriğine sahip olabilirler. Bu yüzden dekapanlar kromun oksidasyon potansiyeline rağmen özellikle ıslanmayı iletirmek üzere dizayn edilmelidirler.

3.1.1.3 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz Çelikler, adi çeliklerden daha iyi oksidasyon ve korozyon direnci göstermeleri için dizayn edilmişlerdir. Bu direnç krom sayesinde olur. Ancak krom miktarının artması yüzey oksitlerinin FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 den daha kararlı ve ıslanması zor olan Cr_2O_3 e dönüşmesine yol açar. *Paslanmaz Çelikler* deki titanyum, alüminyum, manganez ve silisyumun varlığı yüzey oksitlerinin yapısını da değiştirir. Dekapan ya da koruyucu atmosfer oksit tabakasının erimesini sağlayarak, ıslanma ve yayılma davranışlarını arttırabilmelidir.

Paslanmaz Çelikler genel olarak beş grupta incelenir. Bunlar;

- 1)Ostenitik paslanmaz çelikler
- 2)Ferritik paslanmaz çelikler
- 3)Martenzitik paslanmaz çelikler
- 4)Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler
- 5)Dubleks paslanmaz çelikler.

Dolgu metali seçimi aşağıdaki şartlara bağlı olarak yapılır.

- a)Sıcaklık, gerilme ve çevre şartları,
- b)Isıl işlemler (özellikle martenzitik ve çökelme sertleşmeliler),
- c)Sert lehimleme işleminin özellikleri (ısı kontrolü dahil)
- d)Islatma ve yayılma davranışları
- e)Ana metalin erimesi ve erozyonu
- f)İkinci faz çökmesi (karbon bileşikleri, σ fazı)
- g)Maliyet

3.1.1.3.1 Ostenitik Paslanmaz Çelikler

Ostenitik Paslanmaz Çelikler klor içeren çevreler dışında iyi korozyon direnci gösterirler. AWS'nin yayını B2.2 ye göre ostenitik ve titanyum ile alaşımlanmış ostenitik paslanmaz çelikler iki gruba ayrılır. Diğer bütün paslanmaz çelikler bir grupta toplanır.

Ostenitik Paslanmaz Çelikler in korozyon direnci, 450-850 °C arasında yavaş ısıtılması veya soğutulması ile kromlu karbon bileşiklerinin (krom karbürleri) tane sınırları boyunca çökmesinden dolayı azalır. Çökmenin miktarı sıcaklığa, zamana, karbon miktarına, tane büyüklüğüne, plastik deformasyon derecesine ve titanyum, niobyum gibi denge sağlayıcı elementlere bağlıdır. Eğer bu parametreler kontrol edilmezlerse sert lehimleme esnasındaki ısıtma operasyonu ana metali etkileyebilir. Şekil 3.1 ' e göre kromlu karbon bileşiklerinin çökmesinden kaçınmak için en iyi sert lehimleme yöntemi indüksiyon ya da direnç sert lehimlemesidir (A eğrisi). Eğer sert lehimleme işlemi hızlı soğutma tarafından takip edilen, çökme sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta yapılmışsa, fırın sert lehimlemesi iyi sonuçlar verebilir.

Çökmeye karşı hassas olan ana metal çoğu kez yeni bir sert lehimleme yöntemi seçmeye ihtiyaç duymaksızın düşük karbonlu ya da niobyum ile dengelenmiş paslanmaz çelik yerine kullanılabilir (AWS B2.2 'ye göre).

Ana metal ile dolgu metali arasındaki potansiyel farkından dolayı bağlantılarda galvanik korozyon da ortaya çıkabilir. Dolgu metalinin, ana metalden daha az soylu olduğu durumlarda, dolgu metali hızla paslanacak, çatlaklara sebebiyet verecek, ayrıca korozyon işlemini de hızlandıracaktır. Bağlantıdaki dolgu metali eksikliği (yeterli olmayan ıslatmadan dolayı) ya da gözenek oluşumu da galvanik veya galvanik olmayan paslanmaya yol açacak çatlakları da oluşturacaktır.

Krom-Nikel'li paslanmaz çelikler, gerilmeli korozyon çatlamasına eğilimlidirler. Sert lehimleme esnasında dolgu metali, ana metalin tane sınırları boyunca nüfuz edebilir ve dolgu metalinde tane sınırları ağı oluşabilir. Dolgu metalinin, ana metal tane sınırlarına nüfuziyeti etkili bir ortam, çekme gerilmesi ve/veya değişken gerilme ile beraber ele alındığında gerilmeli korozyon çatlağının ilerleyebileceği kolayca anlaşılır. Tane sınırlarında kromlu karbon bileşikleri çökelmiş *Ostenitik Paslanmaz Çelikler*, dekapan artığı sebebiyle yüzeyinde florid bulunduğu zaman oda

sıcaklığında meydana gelen gerilmeli korozyon çatlağı oluşmasına örnek olarak gösterilebilir. Sert lehimlenmiş parçaların ömrünü arttırmak için sert lehimlemeden sonraki temizlik işlemi, sert lehimleme operasyonu kadar önemlidir.

Ostenitik Paslanmaz Çelikler, öteki çeliklere nazaran oldukça yüksek ısı genleşme ve ısı iletim katsayısına sahiptir. Bu fiziksel özelliklerin kombinasyonu bağlantı bölgesinde genellikle büyük çarpılmalara ve distorsiyonlara sebep olur. Lokal ısıtma durumunda büyük ısı kaynaklarının ısıttığı geniş alanlar, soğuma sırasında artık gerilmelerin meydana gelmesiyle plastik şekil değişimi meydana getirebilirler. Örneğin çarpılmalar ve distorsiyonlar önemli faktör olduğu zaman paslanmaz çeliğin üfleçle sert lehimlemesi dikkatlice yapılmalıdır.

Paslanmaz Çelikler BCu, BAg, BNi, BCo, BPt, BPd ve BAu dolgu metalleri kullanılarak sert lehimlenebilirler. Tablo 3.2 bazı dolgu metallerinin servis ve sert lehimleme sıcaklıklarını göstermektedir.

3.1.1.3.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik Paslanmaz Çelikler genellikle *Ostenitik Paslanmaz Çelikler* den daha az miktarda kroma sahiptirler. *Ostenitik Paslanmaz Çelikler* le karşılaştırdığımız zaman, tane sınırlarında kromlu karbon bileşiklerinin çökmesi daha hızlıdır ve bu olayın geçtiği sıcaklık aralığı daha düşüktür. Böylece aynı sert lehimleme yöntemleri *Ferritik Paslanmaz Çelikler* in sert lehimlenmesini baz almalıdır. Kromlu karbon bileşiklerinin çökmesi esnasındaki ısıtma derecesi ve miktarı, sert lehimleme sonundaki ve esnasındaki krom azalmasını ortadan kaldırabilir.

Ferritik Paslanmaz Çelikler bazı BAg alaşımları ile sert lehimlendiklerinde yüzeyler arası korozyonun etkisi altında kalırlar. Ni içeren dolgu metali korozyon hızını minimize etmek için kullanılabilir. Özel dolgu metali BAg-21

Tablo 3.2 Paslanmaz çeliklerin sert lehimlemesinde kullanılan bazı dolgu metallerinin servis ve sert lehimleme sıcaklıkları.[9]

DOLGU METALİ	SERT LEHİMLEME SICAKLIĞI (°C)	SERVİS SICAKLIĞI (°C)
BAG-1 BAG-8a BAG-24	620 - 900	205
BAG-13 BAG-19 BAG-21	800 - 980	370
BCu	1095 - 1150	425
Cu-Mn-Ni	...	425-540
BNi	925 - 1025	>540
BCo	1150 - 1230	>540
BAu	890 - 1230	>540
BPd	1220 - 1250	>540

[9]

AISI 403 ferritik paslanmaz çeliklerini sert lehimlemek ve korozyon etkisini azaltmak için dizayn edilmiştir. Eğer sert lehimleme işlemi yüksek sıcaklıklarda yapılacaksa *Ferritik Paslanmaz Çelikler* in mukavemeti 815 °C nin üzerinde şiddetli bir şekilde düştüğünden parçanın bakımını yapmak için özel konstrüksiyonlar dizayn edilmelidir.

3.1.1.3.3 Martenzitik ve Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Martenzitik ya da *Martenzitik Tip Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler* in sert lehimlenmesi *Martenzitik Düşük Alaşımlı Paslanmaz Çelikler* in sert lehimlenmesine benzer. Şekil 3.2 'de gösterilen teknikler bu çeliklere uygulanabilir. İç yapısı dönüşmüş ya da dönüşmemiş parçanın içi ile dış kısmının ısı genleşme katsayıları arasındaki fark, artık gerilmelerden ve soğutma sırasındaki son çatlaklardan kaçınmak için göz önüne alınmalıdır.

Alüminyum ve titanyum içeren bazı *Martenzitik ve Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler* ıslatmayı sağlamak için özel dekapana ya da uygun atmosfere (kuru Hidrojen) ihtiyaç duyarlar. Hidrojence zengin bu atmosferler *Martenzitik Paslanmaz Çelikler* in hidrojen gevrekliğine uğramasına sebep olabilirler.

3.1.1.3.4 Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks Paslanmaz Çelikler genelde karışık olarak %50 ferrit ve %50 ostenit içerirler. Bunlar öteki paslanmaz çeliklere göre daha iyi korozyon direncine ve *Ostenitik ve Ferritik Paslanmaz Çelikler* e göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptir.

Dupleks Paslanmaz Çelikler in sert lehimlenmesi ile ilgili çok yayın yoktur. *Ostenitik Paslanmaz Çelikler* le karşılaştırdığımızda *Dupleks Paslanmaz Çelikler* daha yüksek krom içeriğine sahiptirler. Bu yüzden *Dupleks Paslanmaz Çelikler* de ıslatma ve yayılma problemleri ile karşılaşılabılır.

Dupleks Paslanmaz Çelikler bir çok kırılmalık olayına, özellikle kromlu karbon bileşiklerinin oluşumu, σ fazı çökmesi ve 475 °C gevrekliğine karşı duyarlıdır. Bunların hepsi çeliğin mukavemetini ve korozyon direncini azaltır. Kromlu karbon bileşiklerinin çökmesinin etkileri yukarıda açıklanmıştır. Bir çok görüşe göre, σ fazı çökmesi kromlu karbon bileşiklerinin çökmesine benzer ve neredeyse aynı sıcaklık aralığında meydana gelerek kromu azalmış bölge oluşturur. Sigma fazı korozyon hızını en azından sekiz kat artırır. Sigma fazı çökmesinden kaçınmak için sert lehimleme işlemi 950 °C 'den yüksek sıcaklıklarda yapılmalıdır.

475 °C kırılmalığı 300 °C - 500 °C arasında, ferrit fazında meydana çıkar. Kromca zengin fazın (α') oluşumu olarak tanımlanan 475 °C kırılmalığı, ferritik fazda çökelme sertleşmesine neden olabilir, sonuç olarak da çeliğin

mukavemeti ve dayanıklılığı azalır. α' fazının varlığı çeliğin korozyon direncini de azaltabilir.

Dubleks Paslanmaz Çelikler 1000 °C dolaylarında mukavemet kaybına maruz kalırlar. Sert lehimleme sırasında parçaların bakımını yapmak için özel konstrüksiyonlar dizayn edilmelidir.

3.1.1.4 Dökme Demirler

Gri, Küresel Grafitli ve Temper Dökme Demirler in sert lehimlemesi çeliklerin sert lehimlemesinden iki temel şekilde farklıdır. Bunlar;

- a) Demirin yüzeyindeki grafiti ortadan kaldırmak için özel ön temizleme yöntemleri gereklidir.
- b) Demirin sertliğinin ve mukavemetinin azalmasını önlemek için sert lehimleme sıcaklığı mümkün olan en düşük sıcaklıkta tutulmalıdır.

Dökme Demir in sert lehimlemesinde kullanılan, ocak, üfleç, indüksiyon ve daldırma sert lehimleme yöntemleri çeliğin sert lehimlemesinde kullanılan yöntemlerle aynıdır.

Bir çok *Dökme Demir* in nispeten düşük sıcaklıklarda sert lehimlenmesinden dolayı dolgu metali olarak özellikle gümüş sert lehimleme alaşımları kullanılır. Bu gümüş alaşımlarından olan BAg-1 *Dökme Demir* in sert lehimlemesinde çok sıkça kullanılır. Çünkü düşük sert lehimleme sıcaklık aralığına sahiptir. AWS 'nin önerdiği 3A gibi florid tip dekapan genellikle BAg-1 dolgu metali ile kullanılır.

Nispeten yüksek silisyum içeriği ve yüzeydeki yapışmış kum miktarı *Dökme Demir* in sert lehimlenebilme kabiliyetinde bazı ters etkiler yaratabilir. Bu etkiler bütün *Gri, Küresel Grafitli ve Temper Dökme Demir* in içindeki grafitin ters etkilerinden daha önemli değildir. Grafit aslında *Dökme Demir* yüzeyi ile mekanik işlem görmüş bağlantı yüzeylerinde aynı etkiye sahiptir. *Gri,*

Küresel Grafitli ve Temper Dökme Demir lerin hepsi karbonlu ya da düşük alaşımlı çeliklerden daha düşük sert lehimlenebilme yeteneğine sahip olmalarına rağmen, bu üç tip *Dökme Demir* sert lehimlenebilme yetenekleri bakımından eşit değildirler.

Bu üç tip dökme demirin içinden *Temper Dökme Demir* en iyi sert lehimlenebilir dökme demir olarak kabul edilir. Çünkü karbon içeriği nadir olarak % 2.70 'in üzerine çıkar. Bu yüzden grafitleşme azdır. Dökme demirin içinde oluşan yaklaşık olarak küresel yumrulara benzeyen grafitin kolay olarak ortadan kaldırılmasından dolayı sert lehimlenebilme kabiliyeti arttırılabilir. *Temper Dökme Demir* öteki tip dökme demirlere göre silisyum içeriği bakımından fakirdir ve bu yüzden az grafitlenir. Bu sebepten dolayı sert lehimlenme için uygundur.

Küresel Grafitli ve Gri Dökme Demir neredeyse aynı içeriklere sahiptir. Ancak *Küresel Grafitli Dökme Demir* deki grafit partikülleri ince tabakalı şekle nazaran daha küreseldir. Küresel şekil sert lehimleme için daha uygundur. İnce tabakalar şeklindeki grafitle tanımlanan *Gri Dökme Demir* sert lehimleme için en zor tipteki dökme demirdir. Elektrolitik tuz banyosu temizlemesinin gelişimine kadar *Gri Dökme Demir* in sert lehimlemesinin pratik olmayacağı düşünülürdü.

Dökme demirin yüzeyini sert lehimleme için hazırlamak üzere bir çok yöntem denenmiştir. Bu yöntemlerin bir çoğu kısmen başarılı olmuştur. Zımpara ile aşındırmak *Küresel Grafitli ve Temper Dökme Demir* ler için oldukça başarılıdır fakat *Gri Dökme Demir* için çok fazla uygun değildir. Elektrolitik tuz banyosu redüklemeye ve oksitlemeye alternatif olarak bütün grafitli dökme demirlere uygulanabilen en başarılı yüzey hazırlama metodudur. Yağı temizleme, deterjanla yıkama ya da asitle ön temizleme gibi alışılmış kimyasal temizleme metodları yüzeydeki ve bağlantı bölgesindeki karbonu tam olarak temizleyemezler.

Her temizleme yönteminin standart olarak kabul edilmesinden önce tasarlanmış temizleme yöntemlerinin başarı derecesini tespit etmek için örnekler oluşturulacaktır ve sonra bu örneklerin üzerinde; sert lehimlenecek demir, kullanılacak dekapan ve uygulanacak dolgu metalinin testleri yapılmalıdır (pürüzsüz ve düz yüzeyler tercih edilerek). Bu örnekler sert lehimleme sıcaklığına kadar ısıtılır, soğutulur ve görsel olarak kontrolü yapılır. Eğer örnek, dolgu metalinin test parçasını uniform olarak ıslatmadığını gösterirse yüzey yeterli olarak temiz değildir.

3.1.2 Demir Dışı Metaller

3.1.2.1 Alüminyum Alaşımları

Uygun erime sıcaklığına, korozyon ve mekanik direnç gibi arzu edilen özelliklere sahip, yüzey üzerindeki oksit filmini ana metal ve dolgu metaline zarar vermeden uzaklaştıran dekapanların gelişimi ile *Alüminyum Alaşımları* nın sert lehimlenmesi mümkün olmuştur. Alüminyum esaslı dolgu metalleri, öteki metallere göre likidüs sıcaklığı, ana metalin solidüs sıcaklığına çok yakın olan *Alüminyum Alaşımları* nın sert lehimlemesinde kullanılır. Bu sebepten Alüminyumun sert lehimlenmesi için hassas sıcaklık kontrolüne ihtiyaç vardır. Alüminyumun sert lehimleme sıcaklığı ana metalin solidüs sıcaklığının yaklaşık 40 °C altında olmalıdır.

1xxx, 3xxx ve 5xxx (düşük magnezyum) serisi gibi ısıtıl işlem uygulanamayan *Dövme Alüminyum Alaşımları* başarılı bir şekilde sert lehimlenebilmektedir. Yüksek magnezyum içeriğine sahip alaşımların, dolgu metalinin yetersiz ıslatmasından ve aşırı nüfuz etmesinden dolayı bilinen dekapan metodlarıyla sert lehimlenmesi çok zordur. Isıl işlem uygulanamayan bir çok dövme alaşımının solidüs sıcaklığının altında eriyen dolgu metalleri de mevcuttur.

Sert lehimlenebilen ve ısıtıl işlem uygulanabilen en yaygın dövme alaşımları 6xxx serileridir. 2xxx ve 7xxx serisi *Alüminyum Alaşımları* düşük erime

sıcaklığına sahiptir ve bu yüzden normal olarak sert lehimlenemezler. Alaşım 7072 (sadece kaplama malzemesi olarak kullanılan) ve 7005 bir kaç istisnadır. Solidüs sıcaklığı 595 °C 'nin üzerinde olan alaşımlar, alüminyum-silisyum çift dolgu metalleriyle kolayca sert lehimlenebilirler. Yüksek mukavemetli düşük erime noktalı alaşımlar uygun metal seçimi ve sıcaklık kontrolü ile sert lehimlenebilirler, fakat erimiş dolgu metalinin nüfuz etmesini en aza indirmek için sert lehimleme işlem süresi kısa olmalıdır. Yüksek solidüs sıcaklıklı kum ve kalıcı kalıp döküm alaşımları sert lehimlenebilir.

Alüminyumun sert lehimlenmesi için ticari dolgu metallerinden olan alüminyum-silisyum alaşımları %7-12 arasında silisyum içerirler. Düşük erime noktalı sert lehimleme dolgu metalleri, korozyon dirençlerinden vazgeçilerek bakır ve çinko ilavesiyle elde edilir. Alüminyumun vakum sert lehimlemesindeki dolgu metalleri genellikle magnezyum içerirler.

Alüminyum esaslı dolgu metalleri için optimum sert lehimleme sıcaklık aralığı; dolgu metalinin erime aralığı, bağlantıyı dolduracak erimiş dolgu metalinin miktarı ve dolgu metali ile ana metalin arasındaki ortak katılaşabilme yeteneği ile saptanır.

Dolgu metalleri sert lehimlenecek değişik uygulamalar için tel veya levha şeklinde olabilir.

Yaygın olarak uygulanan sert lehimleme işlemleri ve metodları için bir çok dolgu metali kullanılır. İki alaşım (4004 ve 4104) özellikle vakumda dekapansız sert lehimleme için geliştirilmiştir. Bunlar magnezyum ve magnezyum-bizmut ilaveleri içerirler. Sert lehimleme sıcaklık aralıkları 590 °C - 605 °C 'dir. Benzer olarak toz formundaki patentli dolgu metali BAlSi-4 (alaşım 4047) özellikle daldırma sert lehimlemesinde kullanılır. Dolgu metalinin silisyum içeriği arttığı zaman, levha ve tel şeklindeki imali daha zor olur. Sadece BAlSi-2 (4343), BAlSi-4 (4047) ve alaşım 4004 levha şeklindedir.

Alüminyumun diğer alaşımlarla sert lehimlenmesi şu parametreler göz önüne alındıktan sonra yapılmalıdır. Bunlar şunlardır;

- a)Artık gerilmelere etki eden ve bağlantı toleransını değiştiren ısı genleşme katsayıları.
- b)Değişik ısınma hızları üretebilen ısı iletkenlikler.
- c)Galvanik korozyon üretebilen alüminyumun ve diğer malzemenin korozyon dirençleri.
- d)Mekanik özellikler.

3.1.2.1.1 Alüminyumun Demir Esaslı Alaşımlarla Sert Lehimlenmesi

Çelik parça ön ısıtma ve alüminyumla sert lehimleme esnasında oksidasyondan korunmalıdır. Daldırma sert lehimlemesinde oksidasyon, ısıtılmamış parçaların erimiş dekapana daldırılması ile önlenabilir. Bu işlem muhtemelen, parçada eğilmelere ve eksen kaçıklıklarına sebep olacağından sınırlı bir uygulamadır. Koruyucu bir kaplama ile kaplanmış çelik alüminyumla, çıplak çelikten daha kolay sert lehimlenebilir. Bakır, nikel ya da çinko plakaları ve alüminyum, gümüş, kalay ya da sıcak daldırma çinko kaplamalar çeliğin ıslatmasını iletirmek, kırılgan alüminyum-demir bileşiklerinin oluşumunu en aza indirmek için kullanılır. Bu işlem sayesinde daha sünek bağlantılar elde edilir.

3.1.2.1.2 Alüminyumun Bakırla Sert Lehimlenmesi

Alüminyumun Bakırla Sert Lehimlenmesi; alüminyum-bakır ötektiğinin düşük erime sıcaklığına sahip olması (548 °C) ve son derece kırılgan olması nedeniyle zordur. Bu ötektik sert lehimleme esnasında alüminyumun erimesine bağlı olarak oluşur. Hızlı ısıtarak ve hızlı soğutarak, elektriksel iletkenler için dökme alüminyumun bakır ile sert lehimlenmesinde oldukça sünek bağlantılar yapmak mümkündür. Alüminyumun alüminyumla sert

lehimlenmesinde her zamanki dolgu metalleri ve dekapanlar kullanılabilir. Eğer ısıtma ve soğutma işlemi hızlı ise, gümüş alaşımlı dolgu metalleri BAg-1 ve BAg-1a 'da kullanılabilir. Sıcak daldırmada bakır yüzeyler ile gümüş alaşımlı dolgu metalleri ıslatmayı artırır ve sert lehimleme işleminin kısa süre içinde yapılmasını sağlar. Örnek olarak alüminyum borunun bakır boruya sert lehimlenmesinde bir ucu alüminyum ile kaplanmış çelik boru ara eleman olarak kullanılır. Borunun alüminyum kaplanmış ucu alüminyum boruya öteki ucu da gümüş alaşımlı dolgu metali ile bakır boruya sert lehimlenir.

3.1.2.1.3 Alüminyumun Demir Dışı Diğer Metallerle Sert Lehimlenmesi

Alüminyum-Silisyum dolgu metalleri, kırılğan metaller arası bileşiklerin (titanyum-alüminyum ve titanyum-silisyum) oluşumundan dolayı alüminyumun kaplanmamış titanyumla sert lehimlenmesine uygun değildirler. Titanyum sıcak daldırma yöntemi ile alüminyumla kaplanabilir ve sonra her zamanki alüminyum dolgu metalleri kullanılarak alüminyumla sert lehimlenebilir.

Normal koşullarda nikel ve nikel alaşımlarının alüminyum ile sert lehimlenmesi, demir esaslı alaşımlarla sert lehimlenmesinden daha zor değildir. Nikel alaşımları direkt ya da ön kaplanmış şekilde alüminyumla sert lehimlenebilirler. Monel alaşımlarının (%28 bakır,%69 nikel içeren alaşımlar) direkt olarak ıslatılmasına rağmen, oluşturdıkları sert lehimlenmiş bağlantılar muhtemelen kırılğan olabilir. Bu yüzden monel alaşımlarının alüminyum ile ön kaplanmış olması tercih edilir.

Berilyum, alüminyum sert lehimleme alaşımları ile direkt olarak ıslatılabilir. Magnezyum alaşımları alüminyumla sert lehimlenebilir, fakat yüzeyler arasındaki son derece kırılğan alüminyum-magnezyum fazının oluşumundan dolayı sert lehimlenmiş bağlantılar kısıtlı olarak kullanılırlar.

3.1.2.2 Bakır ve Bakır Alaşımları

Bir çok *Bakır ve Bakır Alaşımları* geleneksel bilinen sert lehimleme yöntemlerinin biri ya da birkaçı ile tatminkar bir şekilde sert lehimlenebilir. Bu yöntemlerin sert lehimleme kabiliyetleri bakımından iyiden mükemmele doğru şu şekilde sıralayabiliriz.

- 1)Fırın sert lehimlemesi
- 2)Üfleç sert lehimlemesi
- 3)İndüksiyon sert lehimlemesi
- 4)Direnç sert lehimlemesi
- 5)Daldırma sert lehimlemesi

3.1.2.2.1 Sert Bakırın Sert Lehimlenmesi

Sert Bakır hidrojen içeren redükleyici atmosferde 480 °C 'den fazla ısıtıldığında kırılganlığa, (gevrekliğe) maruz kalır. Fosfor ile deokside yapılmış ve serbest oksijenli bakırlar kendiliğinden dekapanlı dolgu metalleri (BCuP serisi) kullanılarak hidrojen içeren atmosferde, kırılganlık riski olmadan dekapansız olarak sert lehimlenebilir.

Gümüş, kurşun, tellur, selenyum ya da kükürt (genellikle % 1 den fazla olmayan) içeren bakır alaşımları, kendinden dekapanlı ilave dolgu metalleri ile (BCuP) kolayca sert lehimlenebilirler, ancak dolgu metali erimiş halde iken, parçalar arasındaki kayma hareketi sağlandığı ve dekapan kullanıldığı zaman ıslatma etkisi daha da artar. Berilyum, krom ya da zirkonyum oksit filmi içeren çökelme sertleşmeli bakır alaşımları, dolgu metalinin akışını engeller. Berilyumlu bakır parçaların bağlantı yüzeyinin dolgu metali ile uygun ıslatma etkisinden emin olmak için yüzeyler sert lehimlenmeden önce mekanik olarak temizlenmelidir. Berilyum oksiti bağlantı yüzeyinden kaldırmak için yüksek florid içerikli dekapan kullanımına ihtiyaç vardır.

3.1.2.2.2 Kırmızı ve Sarı Pirinçlerin Sert Lehimlenmesi

Kırmızı ve Sarı Pirinçler birçok dolgu metali kullanılarak kolayca sert lehimlenebilirler. Dekapan, iyi sonuçlar almak için normalde, özellikle çinko içeriği %15' i geçtiği zaman gereklidir. Düşük erime sıcaklıklı dolgu metalleri, sarı pirincin çinkoca fakirleşmesini önlemek için kullanılmalıdır. Kırmızı ve sarı pirince eklenen kurşun ısıtma esnasında curuf oluşturursa, bu oluşum yani curuf ciddi bir şekilde dolgu metal akışını ve ıslatmayı engeller. Sonuç olarak kurşunlu pirinçlerin sert lehimlemesinde, bağlantı bölgesindeki curuf oluşumunu önlemek için dekapan kullanılması gereklidir.

3.1.2.2.3 Kalay İçeren Pirinçlerin Sert Lehimlenmesi

Kalay İçeren Pirinçler, bahriye pirincini, gemici pirincini ve % 1 'e kadar kalay içeren kurşunlu gemici pirincini ve kurşun, manganez, arsenik, nikel ve alüminyum gibi diğer alaşım elementlerini içeren pirinçleri kapsarlar. Alüminyum içeren alaşımlar dışında bu pirinçler kolayca sert lehimlenebilir. Bu pirinçler termal şoka karşı büyük dirence sahiptirler ve sıcak kırılmaya karşı yüksek kurşunlu pirinçlerden daha az hassastırlar. Pirinçler uygun ıslatma için, alüminyum içeren özel dekapanlara ihtiyaç duyarlar.

3.1.2.2.4 Fosfor Bronzlarının Sert Lehimlenmesi

Fosfor Bronzları, yaklaşık olarak %0,25 'e kadar olan az miktarlarda fosfor içerirler. Bu fosforlar bronz oksijen giderici olarak katılır. Bu gruptaki alaşımlar soğuk çalışma koşullarında sıcak kırılmaya karşı hassas olmalarına rağmen, iyi sert lehimlenebilme yeteneğine sahiptir ve erime sıcaklığı ana metalden düşük olan dolgu metalleri ile sert lehimlemede uyum gösterebilirler. Dekapan kullanımı genellikle tercih edilir. Çatlamalardan sakınmak için fosfor bronzundan yapılmış parçalara sert lehimlemeden önce yaklaşık olarak 290 °C - 345 °C arasında gerilme giderme tavi uygulanmalıdır. %3,25 silisyum içeren silisyum bronzları yüksek gerilme

şartları altında bulunduğu zaman sıcak gevrekliğe ve erimiş dolgu metali sebebiyle gerilme kırılmasına karşı hassastırlar. Kırılmalardan sakınmak için alaşımlara sert lehimlemeden önce 290 °C - 345 °C arasında gerilme giderme tavlı uygulanmalıdır.

Yüzeydeki alüminyum oksit oluşumundan dolayı alüminyum bronzlarının genellikle zor olarak sert lehimlenebileceği düşünülür. Dolgu metalinin akışına engel olan bu oksit kuru hidrojen atmosferi içinde tam olarak ortadan kaldırılamaz. Ancak % 8 ya da daha az alüminyum içeren alaşımlar sert lehimlenebilir. AWS tip 4 dekapan alüminyum oksiti çözmek için kullanılır. Düşük erime noktalı yüksek gümüş içerikli dolgu metalleri bu tip bronzlar için tavsiye edilir (Ek A).

3.1.2.2.5 Bakır Alaşımlarının Diğer Alaşımlarla Sert Lehimenmesi

Bakır ve Bakır Alaşımları diğer alaşımlarla sert lehimlenebilir. Bu sert lehimleme sırasında, parçaların ısıl genleşme katsayısı, korozyon davranışı, ısı iletimi ve mekanik özellikleri göz önüne alınmalıdır.

%5-%40 Ni içeren bakır nikelleri erimiş dolgu metali sebebiyle sıcak kırılmaya ve gerilme kırılmasına karşı hassastırlar. Gümüş alaşımlı dolgu metalleri (BAg serisi) bu alaşımların sert lehimlenmeleri için tercih edilir. Genelde fosfor içeren dolgu metalinin kullanımından kaçınılmalıdır. Çünkü bakır nikelleri yüzeyler arasında kırılğan nikel fosfatlarının oluşumuna karşı hassastır. Nikel gümüşleri (% 20'ye kadar nikel içeren fakat gümüş içermeyen pirinçler) yüksek bir şekilde sıcak kırılmaya hassastırlar. Bu yüzden nikel gümüşlerine sert lehimlemeden önce 290 °C 'de gerilme giderme tavlı uygulanmalıdır. Bunlar ısı iletkenliklerinden dolayı uniform olarak ısıtılmalı ve soğutulmalıdırlar.

Yukarıdaki gruba ait birçok alaşımdan herhangi biri diğer gruptaki alaşım ile sert lehimlenebilir. Ancak bu alaşımların birbirleriyle uyuşmalarını sağlamak

için, sert lehimlenme sıcaklığı, dolgu metali ve dekapan seçimine ihtiyaç vardır. Örneğin, bakır bir parça alüminyum bronzundan yapılmış bir parça ile sert lehimlenirse, sert lehimleme sıcaklığının bronzun düşük erime sıcaklığı olduğu tahmin edilebilir ve bronzu korumak için uygun dekapan seçilmelidir.

3.1.2.3 Nikel Esaslı Alaşımlar

Nikel Esaslı Alaşımlar ın sert lehimleme işlemlerinin seçiminde alaşımın özellikleri dikkatlice göz önünde tutulmalıdır. Nikel esaslı alaşım ailesi fiziksel metalurji olarak değişik özellikli (katı çözelti mukavemetine karşı çökme mukavemeti gibi) ve üretim şekli olarak (dövmeye karşı dökme gibi) değişik özellikli alaşımları kapsar. Bu özelliklerin malzemelerin sert lehimlenebilme yeteneklerine derin etkileri olabilir.

Çökme sertleşmeli alaşımların sert lehimlenmesinde, (tesadüfi olarak katı çözelti alaşımlarda) normal olmayan bir çok zorlukla karşılaşılır. Çökme sertleşmeli alaşımlar kabul edilebilir miktarda (% 1'den fazla) alüminyum ve titanyum içerirler. Bu elementlerin oksitlerini kontrollü atmosferde azaltmak (vakum, hidrojen) neredeyse imkansızdır. Bu yüzden dolgu metali tarafından ıslatılabilecek bir yüzey oluşturmak için nikel plakalar ya da dekapan kullanımına ihtiyaç vardır.

Bu alaşımların 540 °C - 815 °C sıcaklıkları arasında sertleşmesinden dolayı, bu ve daha yüksek sıcaklıklarda yapılan sert lehimleme işlemi alaşımların özelliklerini değiştirebilir. Bu olay gümüş-bakır dolgu metalleri (BAg) ısıya dirençli alaşımlar üzerinde kullanıldığında sıkça ortaya çıkar.

Sıvı metal kırılabilirliği çökme sertleşmeli alaşımların sert lehimlenmesinde karşılaşılan bir diğer zorluktur. Bir çok nikel, demir ve kobalt esaslı alaşımlar erimiş metalin içindeki çekme gerilmesiyle karşılaştığı zaman kırılır. Ancak sıvı metal kırılabilirliği ile karşı karşıya olan bu alaşımların çatlaması

genellikle gümüş-bakır dolgu metalleri (BAG) ile önlenabilir. Eğer çökeltme sertleşmeli alaşımlar sertleştirilmiş halde sert lehimlenirse artık gerilmeler çatlağı başlatmak için yeterlidir.

Oksit yayılmasıyla mukavemetlendirilmiş (Oxide Dispersion Strengthened) alaşımlar stabil oksit içeren ve matris içine dağılmış toz metalurji alaşımlarıdır. Oksit matrisin likidüs sıcaklığında olsa bile alaşım çözeltisinin içine gitmez. Çünkü oksit partikülleri erimiş matris içinde tanınmazlar (örneğin füzyon kaynağı) ve parçacıklar katılma esnasında yeniden matris içine dağıtılamazlar. Bu yüzden bu alaşımlar genellikle sert lehimleme ile birleştirilirler. Oksit yayılmasıyla mukavemetlendirilmiş iki tip ticari alaşım vardır. Yayılma ile mukavemetlendirilmiş nikel ve mekanik olarak alaşımlanan Inconel MA 754, Inconel MA 6000 ve Incoloy MA 956.

Inconel MA 754, Yayılma ile mukavemetlendirilmiş *Nikel Alaşımları* ve Yayılma ile mukavemetlendirilmiş *Nikel-Krom Alaşımları* oksit yayılmasıyla mukavemetlendirilmiş alaşımlarının en kolay olarak sert lehimlenebilenleridir. Sert lehimleme için vakum, hidrojen ya da inert gaz atmosfer olarak kullanılabilir. Sert lehimlemeden önceki temizlik zımpara taşı gibi bir aşındırıcı ile ya da artık bırakmadan buharlaşabilen kimyasal sıvı temizleyici ile yapılır. Eğer özel uygulamaların test edilmesi ve sınanması istenmez ise genelde sert lehimleme sıcaklığı 1315 °C yi aşmamalıdır. Oksit yayılmasıyla mukavemetlendirilmiş (ODS) alaşımları için kullanılan sert lehimleme dolgu metallerinin sınıflandırılması AWS tarafından yapılmamıştır. Bir çok durumlarda bu alaşımlarla kullanılan sert lehimleme dolgu metalleri 1230 °C nin üzerinde de kullanılır. Bu dolgu metalleri nikel, kobalt, altın ve paladyum gibi elementlerle alaşımlandırılmış patentli alaşımlardır.

Inconel MA 6000 in solidüs sıcaklığı 1300 °C dir. Bu yüzden sert lehimleme sıcaklığı 1250 °C den yüksek olmamalıdır. 1230 °C'nin çözelti sıcaklığı

olmasından dolayı dolgu metalinin dikkatlice seçimi ve sert lehimlemeden sonraki ısıtma işlemi önemli olur. BNi, BCo ve özel olarak hazırlanan dolgu metalleri bu alaşım için uygundur. Inconel MA 6000 yüksek sıcaklık mukavemetinden ve korozyona karşı dirençli olduğundan dolayı kullanılır. Bu alaşımın üzerindeki pasif oksit tabakası iyi korozyon direnci göstermesine rağmen, ne yazık ki ısıtmayı ve dolgu metalinin akışını önler. Bu yüzden doğru ve iyi şekilde yapılacak olan temizlik işlemleri çok önemlidir.

Bu alaşımların sert lehimlenebilme yetenekleri krom içeriğine, oksit dağılımına ve parçaların imal şekline bağlıdır. Krom, erimiş dolgu metalinin ısıtmasını ve yayılmasını azaltan sabit ve kararlı oksitleri oluşturur. Bu oksitlerin yayılması, oksitlerin kolayca ısınamamasından dolayı, ısıtma ve yayılma davranışlarını etkileyebilir. Toz metalurji yöntemi ile imal edilmiş parça, erimiş metal akışına bariyer gibi etkiyerek bazı gözeneklerin oluşmasına sebep olabilir.

3.1.2.4 Isıya Dirençli Alaşımlar

Isıya Dirençli Alaşımlar mukavemetlerinden ve yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon dirençlerinden dolayı sıkça "Süper Alaşımlar" olarak adlandırılır. Süper alaşımlar iki alt gruba ayrılabilir. Bunlar;

- a) Geleneksel dökme, dövme alaşımlar
- b) Toz metalurji (Powder Metallurgy) ürünleri

Toz metalurji (P/M) ürünleri geleneksel alaşımlar ve oksit yayılmasıyla mukavemetlendirilmiş (ODS) alaşımları olarak üretilebilirler. Yaklaşık olarak bütün metal ve metal olmayan malzemeler, eğer sert lehimleme sıcaklığına dayanabilirlerse *Isıya Dirençli Alaşımlar* la sert lehimlenebilirler demektir.

AWS yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen altın, nikel ve kobalt esaslı dolgu metallerini sınıflandırmıştır. Ek olarak yine AWS tarafından sınıflandırılmayan birçok dolgu metali vardır. Bir çok başarılı uygulamada

düşük servis sıcaklıklı bakır (BCu) ve gümüş (BAg) dolgu metallerinin kullanıldığı bilinmelidir.

Isıya Dirençli Alaşımlar genellikle erime noktasını alçaltıcı ve oksidasyonu azaltıcı olarak üretilen, *Nikel Esaslı* ya da bor ve/veya silisyum içeren *Kobalt Esaslı Alaşımlar* la sert lehimlenebilirler. Bir çok ticari dolgu metalinde katkı olarak %2-%3,5 bor ve %3-%10 silisyum vardır. Fosfor nikelin erime noktasını düşüren diğer bir etkili elementtir ve dolgu metalinin içinde %0,02-15 arasında bulunur. Fosfor iyi bir akışın önemli olduğu ve sıcaklığın 760 °C yi geçmediği uygulamalarda kullanılır. Krom oksidasyon ve korozyon direncini sağlamak için sık olarak sunulur. Krom miktarı servis koşullarına bağlı olarak %20 civarında olabilir. Ancak yüksek miktarlarda sert lehimleme mukavemeti düşebilir.

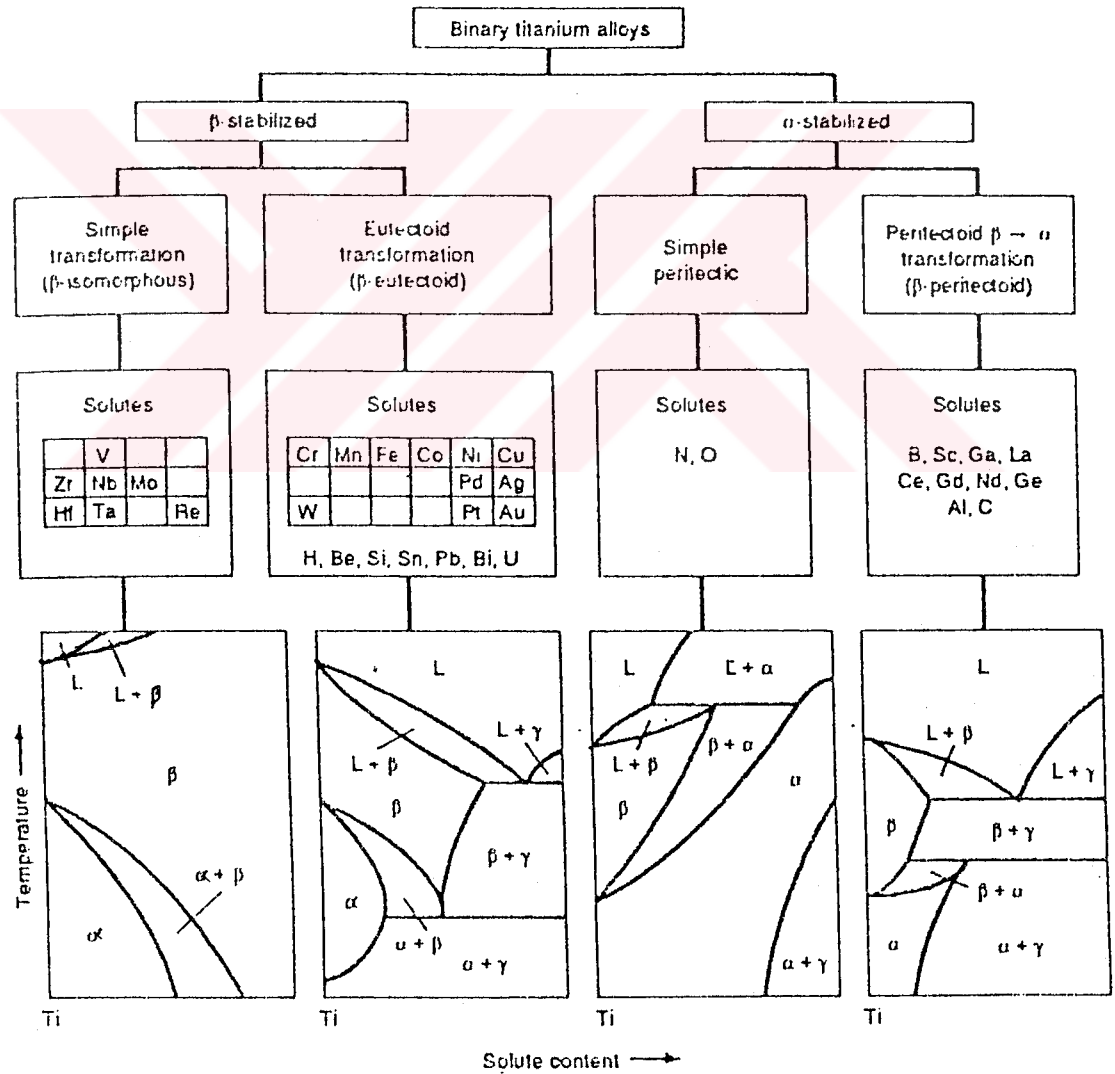
Kobalt esaslı dolgu metalleri jet motorlarının türbin kanatları gibi kobalt esaslı parçaların sert lehimlenmesinde kullanılır. Birçok kobalt esaslı dolgu metali patentlidir. Bor ve silisyuma ek olarak bu alaşımlar genellikle korozyon ve oksidasyon direnci sağlamak ve mukavemeti arttırmak için krom, nikel ve tungsten içerirler. Daha önce "Paslanmaz Çelikler" kısmında açıklandığı gibi yüksek miktarlardaki kromun varlığı dekapanın sert lehimleme sırasındaki ıslatma ve yayılma davranışını etkiler.

3.1.2.5 Titanyum ve Titanyum Alaşımları

Titanyum oksijenle kolayca reaksiyona girip kararlı ve sağlam oksit oluşturan bir kimyasal elementtir. Oluşan bu oksit *Titanyum* ve *Titanyum Alaşımları* na mükemmel korozyon direnci kazandırır. Korozyon direnci, hafiflik ve yüksek mukavemet gibi özellikler, titanyumu özellikle uzay araçları ve kimyasal uygulamalarda çekici kılar.

Soğuma esnasında 882,5 °C'de saf titanyum β (hmk) dan α (sdh) ye allotropik dönüşüm geçirir. Bazı alaşım elementleri α fazını diğerleri β fazını stabilize eder. Şekil 3.3 α ve β stabilizerlerini ve çift faz diagramı üzerindeki etkilerini gösterir. Bu durumda α ve β katı çözeltiliyi γ da metaller arası bileşiği temsil eder. Tablo 3.3 bazı ticari titanyum alaşımlarının yaygın iç yapıya göre sınıflandırılmasını göstermektedir.

β alaşımları sünekten kırılgana geçiş sıcaklığına sahiptir. (DBTT). Bu yüzden sıcaklığa bağlı olarak β alaşımı kırılgan olabilir. Diğer taraftan α alaşımları geçiş sıcaklığına sahip değildirler. Bu özellikler bu iki alaşımın



Şekil 3.3 α ve β stabilizerlerinin çift faz diagramı üzerinde etkilerini gösteren akış diagramı.[10]

bazı uygulamalarını belirler. α alaşımları genelde iyi mukavemete, sağlamlığa ve sürünme direncine sahiptirler ve cryogenic (düşük sıcaklıkta üretilen) uygulamalar için uygundur. β alaşımları düşük sıcaklık uygulamaları için dizayn edilmemişlerdir, fakat iyi şekillenebilme yeteneğine ve yüksek mukavemete sahiptirler. $\alpha+\beta$ alaşımları yüksek oda sıcaklıklarında ve orta yüksek sıcaklıklarda şekillendirilebilirler. Alaşımdaki β nın hacimsel oranı %10-90 arasındadır. Fakat %20 üzerindeki β lı alaşımlar birleştirilemezler.

3.1.2.5.1 Ticari Saf Titanyum, α ve Yakın α Titanyum Alaşımları

Bu alaşımlar ısıyla mukavemetlendirilemediklerinden dolayı sert lehimleme işlemi alaşımların mekanik özelliklerine çok az etki eder. Sert lehimlemede kullanılan titanyum ve titanyum alaşımı dolgu metallerinin listesi Tablo 3.4' de gösterilmiştir. Sert lehimleme esnasında ana metalin çözülmesi ve alaşım elementlerinin ana metal ve/veya dolgu metaline doğru difüzyonu mevcuttur. Bu olay kırılğan titanyum metaller arası bileşiklerini kapsayan bir reaksiyon tabakası oluşturacaktır. Titanyum metaller arası bileşik oluşturmak üzere bakır, nikel, alüminyum ve gümüşle birleşebilir. Bu ilk üç metaller arası bileşik (titanyum-bakır, titanyum-bakır, titanyum-alüminyum) serttirler ve titanyum-gümüş metaller arası bileşiğinden daha az sünekler. Bu yüzden metaller arası bileşik oluşumunu minimize etmek için dolgu metalindeki bu elementlerin miktarı daha az olmalı ya da sert lehimleme işlemi mümkün olduğu kadar hızlı uygulanmalıdır.

Titanyum ve Titanyum Alaşımları korozyona karşı çok dirençlidir. Galvanik korozyonu önlemek için dolgu metali dikkatlice seçilmelidir.

Titanyum ve Alaşımları genellikle indüksiyonla veya fırında koruyucu atmosferle sert lehimlenirler. Sert lehimleme atmosferi genellikle 13 mPa dan az vakum ya da çığlaşma noktası -55 °C den az inert gazdır. Vakum

Tablo 3.3 Bazı ticari Titanyum alaşımlarının sınıflandırılması.[10]

ALAŞIM	SINIFLANDIRMA
Ti-5Al-2.5 Sn	α
Ti-8Al-1Mo-1V (a)	$\alpha + \beta$
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (a)	$\alpha + \beta$
Ti-6Al-4V	$\alpha + \beta$
Ti-6Al-2Sn-6V	$\alpha + \beta$
Ti-3Al-2.5V	$\alpha + \beta$
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo (b)	$\alpha + \beta$
Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo (b)	$\alpha + \beta$
Ti-3Al-10V-2Fe (b)	$\alpha + \beta$
Ti-13V-11Cr-3Al	β
Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	β
Ti-4Mo-8V-6Cr-4Zr-3Al	β
Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al (c)	β
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn	β

(a) Yakın- α ; zayıf- β ve süper- α terimleride kullanılabilir(b) Yakın- β

(c) Kullanılmayan eski alaşım [10]

Tablo 3.4 Titanyum alaşımlarının sert lehimlenmesinde kullanılan bazı dolgu metallerinin servis ve sert lehimleme sıcaklıkları.[8]

DOLGU METALİ	SERT LEHİMLEME SICAKLIĞI (°C)	SERVİS SICAKLIĞI (°C)
Ag	925	425
Ag-5Al Ag-7.5Cu	870-925	425
Ag-5Al-0.5Mn	870-900	425
Al Al-Si (4040) Al-Mn (3003)	650-690	260
Ti-48Zr-4Be Ti-43Zr-12Ni-2Be	870-1095	540
Ag-9Pd-9Ga	880-920	...

[8]

sert lehimlemesi gümüş ya da galyum içeren dolgu metaline ile yapılmalıdır. Yine işlemde elementlerin buharlaşma ile kayıplarını engellemek için atmosfer olarak argon kullanılmalıdır.

İndüksiyon sert lehimlemesinde hızlı ısıtma işlemine bağlı olarak dolgu metalinin kimyasal elementleri titanyumla kolayca alaşımlanmalıdır. Ancak ocak sert lehimlemesindeki yüksek sıcaklıktaki uzun işleminden dolayı, elementleri titanyumla aşırı olarak alaşımlanmayan dolgu metallerine ihtiyaç vardır. Üfleç sert lehimlemesi genellikle yapılmaz çünkü özel dekapanlara ve kalifiye elemana ihtiyaç vardır.

3.1.2.5.2 β ve $\alpha+\beta$ Titanyum Alaşımları

β ve $\alpha+\beta$ Titanyum alaşımları ısı ile mukavemetlendirilebilirler. Ana ısıtma olayı, tek faz (β alaşımları) ya da iki faz ($\alpha+\beta$ alaşımları) bölgesinde ısıtma ve soğutmadan oluşur. Bu işleme *yaşlandırma* denir. Yaşlandırma işlemi 480-650 °C arasında yapılır. Yaşlandırma esnasında α ya da öteki bileşikler mukavemeti ve sağlamlığı arttırıp, β matrisi içinde çökeceklerdir. Bu yüzden sert lehimleme esnasındaki ısıtma işlemi ana metalin mekanik özelliklerini etkileyebilir. β alaşımları katılma sıcaklığına yakın sıcaklıklarda sert lehimlenmelidir. Yüksek sıcaklıklardaki sert lehimleme işlemi alaşımın sünekliğini azaltacaktır. $\alpha+\beta$ alaşımları α dan β ya geçiş sıcaklığının altında sert lehimlenmelidir. Tablo 3.5 bazı geçiş sıcaklıklarını göstermektedir.

Titanyum alaşımlarının sert lehimlenmesinde pislikten ya da katı hal birleşmesinden kaçınmak için dolgu metali dikkatlice seçilmelidir. Örneğin nikel titanyumla 940 °C de ötektik oluşturur ve yaklaşık 816 °C de titanyumla birleşip bağlanabilir. Bu yüzden ostenitik paslanmaz çelikler gibi titanyum alaşımları ve nikel alaşımları arasındaki fiziksel temastan kaçınılmalıdır.

3.1.2.6 Kobalt Esaslı Alaşımlar

Kobalt Esaslı Alaşımlar 'ın sert lehimlemesi, *Nikel Esaslı Alaşımlar* 'ın sert lehimlemesi ile aynı teknikler kullanılarak kolayca yapılır. Çünkü bir çok popüler *Kobalt Esaslı Alaşım* hem fazla miktarda alüminyum ve titanyum

Tablo 3.5 Titanyum ve Titanyum alaşımları için $\alpha - \beta$ geçiş sıcaklıkları.[8]

ALAŞIM	$\alpha - \beta$ GEÇİŞ SICAKLIĞI (°C±15)
Ticari saf Ti 0.25 max O ₂	915
Ticari saf Ti 0.40 max O ₂	945
α ve yakın α alaşımları	
Ti-5Al-2.5Sn	1050
Ti-8Al-1Mo-1V	1040
Ti-6Al-4Zr-2Mo-2Sn	995
Ti-6Al-2Cb-1Ta-0.8Mo	1015
Ti-0.8Ni-0.3-Mo	880
$\alpha - \beta$ alaşımları	
Ti-6Al-4V	1000 (a)
Ti-6Al-6V-2Sn	945
Ti-3Al-2.5V	935
Ti-6Al-6Mo-4Zr-2Sn	940
Ti-7Al-4Mo	1005
Ti-8Mn	800 (b)
β veya yakın β alaşımları	
Ti-13V-11Cr-3Al	720
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn	760
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo	795

(a) ± 20 °C(b) ± 35 °C [8]

içermezler, hem de atmosfer ihtiyacı fazla değildir. *Kobalt Esaslı Alaşımlar* ın çoğu hem hidrojen hem de vakum atmosferinde sert lehimlenebilirler. Dolgu metalleri genelde nikel, kobalt esaslı alaşımlar ya da altın, paladyum türevleridir. Bakır ya da gümüş sert lehimleme dolgu metalleri bir çok yüksek sıcaklık uygulamasında yeterli mukavemete ve oksitlenme direncine sahip olmayabilir. *Kobalt Esaslı Alaşımlar* alüminyum, titanyum ve nikel içermemesine rağmen ıslatmayı en iyi ilerleten alaşım olarak kullanılırlar.

Kobalt Esaslı Alaşımlar nikel gibi artık ya da dinamik gerilmelerin altında sert lehimlendiğinde sıvı metal kırılma direncine ya da gerilim korozyonu çatlamasına uğrayabilirler. Bu olay gümüş ya da gümüş-bakır dolgu metalleri kullanıldığında sıkça görülür. *Kobalt Esaslı Alaşımlar* ın bakır dolgu metalleri ile birleştirilmelerinde gerilme uygulandığında ya da

uygulanmadığında sıvı metal kırılganlığı ortaya çıkar. Bu yüzden kobaltın sert lehimlemesinde dolgu metali olarak bakırdan kaçınılmalıdır.

3.1.2.7 Refrakter Metaller

Refrakter Metaller in mekanik özellikleri, bu metallerin sünekten kırılganlığa geçiş sıcaklığı, (DBTT) yeniden kristalleşme sıcaklığı, karbon ve seçilmiş gazlarla reaksiyonu tarafından belirgin bir şekilde etkilenir. Bu özellikler *Refrakter Metaller* in sert lehimleme işlemi belirlenirken göz önüne alınmalıdır. *Refrakter Metaller* in mukavemeti ve süneklikleri bu metallerin yeniden kristalleşme sıcaklığı aşıldığında mikro yapısındaki değişiklikler tarafından ters olarak etkilenir.

Yeniden kristalleşme sıcaklığı, alaşım katkıları, çatlakların etkisi, üretim metodları (soğuk çalışmanın bir bölümünü içine alarak) ve işlem süresi ile değişebilir. Bazı uygulamalar yeniden kristalleşme sıcaklık aralığının altında eriyen dolgu metalleri ile sert lehimlemeye izin verirler. Sonuç olarak bağlantılar yeniden kristalleşmeyle eksilen, kaybolan mekanik özellikleri sağlamak üzere dizayn edilmelidir.

Refrakter Metaller in sert lehimleneceği ortam, bu metallerin oksijen, hidrojen, karbon ve azot ile reaksiyonu ve bu elementlerin refrakter metallerin mekanik özelliklerine etkisi göz önüne alınarak saptanır. Bütün refrakter metaller oksijenle fazla yüksek olmayan sıcaklıkta reaksiyona girerler fakat değişik tip oksitler oluşturular. Niobyum ve tantal sırası ile 205 °C ve 400 °C üzerinde sert kararlı oksitler oluşturular. Öte yandan molibden ve tungsten sırasıyla 400 °C ve 510 °C de uçucu oksitler oluşturular. Yine refrakter metallerin yüzeyleri sert lehimleme sırasında dolgu metalinin ıslatmasından emin olduğunda oksidasyondan korunmalıdır. Nikel veya gümüş gibi bu metaller eğer yüksek sıcaklıktan, havaya çıkarılırlarsa oksidasyona dirençli malzemelerle kaplanmalıdırlar. Böyle durumlar için dolgu metali ana metale ve kaplama metaline uygun olmalıdır.

3.1.2.7.1 Niobyum

Niobyum temel olarak nükleer ve uzay uygulamalarında kullanılır. Sert lehimleme ilgili araştırmalar, dolgu metalinin gelişimi, ana metalle uygunluğu ve tasarlanmış kullanım ihtiyacı tarafından yönlendirilir. Örneğin dolgu metalleri, sodyum ve 705°C - 815 °C de yararlı özelliklere sahip sıvı alkali metallerle dirençli bağlantılar oluşturmak için geliştirilmiştir. Ana metal Nb-Izr , Ti-28V-4Be dolgu metali ile 1250 °C de vakumda sert lehimlenebilir.

Diğer niobyum alaşımları örneğin D-43 (Nb-10W-Izr-0,1C), Cb-752 (Nb-10W-2,5Zr) ve C-129Y (Nb-10W-11Hf-0,07Y) dolgu metalleri B120VCA veTi-8,5Si ile 1445 °C de başarılı bir şekilde sert lehimlenebilir.

3.1.2.7.2 Molibden

Bakır ve gümüş esaslı dolgu metalleri düşük sıcaklıklarda *Molibden* in sert lehimlenmesi için kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklardaki uygulamalarda molibden, altın, paladyum ve platin esaslı dolgu metalleri, nikel esaslı dolgu metalleri, reaktif metaller ve molibdenin erime sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta eriyen refrakter metallerle sert lehimlenebilirler. Nikel ve molibdenin 1315 °C de eriyip metaller arası bileşik oluşturmamasından dolayı nikel esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıkta sınırlı kullanıma sahiptir. V-35Nb ve Ti-30V dolgu metallerinin Mo-0,5Ti ana metali ile kullanıma bakılmıştır.

Molibden alaşımı, TZM (0,5Ti-0,08Zr-Mo) molibden tozu eklenmiş Ti-8,5Si dolgu metali ile 1400 °C de başarılı bir şekilde sert lehimlenebilir. Sert lehimlenmiş bağlantılarının dizaynında özellikle molibden diğer bir metalle birleştirildiğinde molibdenin son derece düşük ısı genleşme katsayısına sahip olduğu göz önüne alınmalıdır.

3.1.2.7.3 Tantal

Nikel esaslı dolgu metalleri (nikel-krom-silisyum dolgu metalleri gibi) *Tantal* in sert lehimlenmesinde kullanılırlar. *Tantal* likidüs sıcaklığı 1450 °C den 1350 °C ye azaldığı zaman nikel ile %36 oranına kadar homojen katı çözelti oluşturur. Bu dolgu metalleri 982 °C nin altında yeterli ve memnuniyet vericidir. %40 dan daha az altınlı bakır-altın alaşımları dolgu metali olarak kullanılabilir. %40-90 arasında altın eklendiğinde alaşım kırılgan yaşlandırma ile sertleştirilmiş bileşik oluşumu eğilimini gösterir. Çünkü tantal ve alaşımlarının genellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında (1650 °C) kullanılan sadece birkaç dolgu metali geliştirilmiştir. Birçok dolgu metali yüksek sıcaklıklarda çalışması zor olan *Tantal* için toz şeklindedir. Yeni toz dolgu metalleri (örneğin Hf-7Mo, Hf-40Ta ve Hf-19Ta-2,5Mo) folyo tip dolgu metali olarak geliştirilmektedir.

3.1.2.7.4 Tungsten

Tungsten, molibden ve molibden alaşımlarıyla ve aynı dolgu metalinin bir çoğunu kullanarak sert lehimlenebilir. Sert lehimleme vakum veya kuru argon, helyum ya da hidrojen atmosferinde başarılı bir şekilde yapılmıştır. Bazı durumlarda atmosfer seçimi dolgu metaline bağlıdır. Örneğin yüksek buhar basıncı içeren elementler, sert lehimleme sıcaklığında ve yüksek vakumda verimli olarak kullanılmazlar.

3.2 Metal Dışı Malzemeler

3.2.1 Seramik Malzemeler

Seramik Malzemeler iki değişik yolla birleştirilebilirler. Bunlar;

- a)Seramik yüzeyinin metallenmesi,
- b)Sünek aktif dolgu metali kullanımıdır.

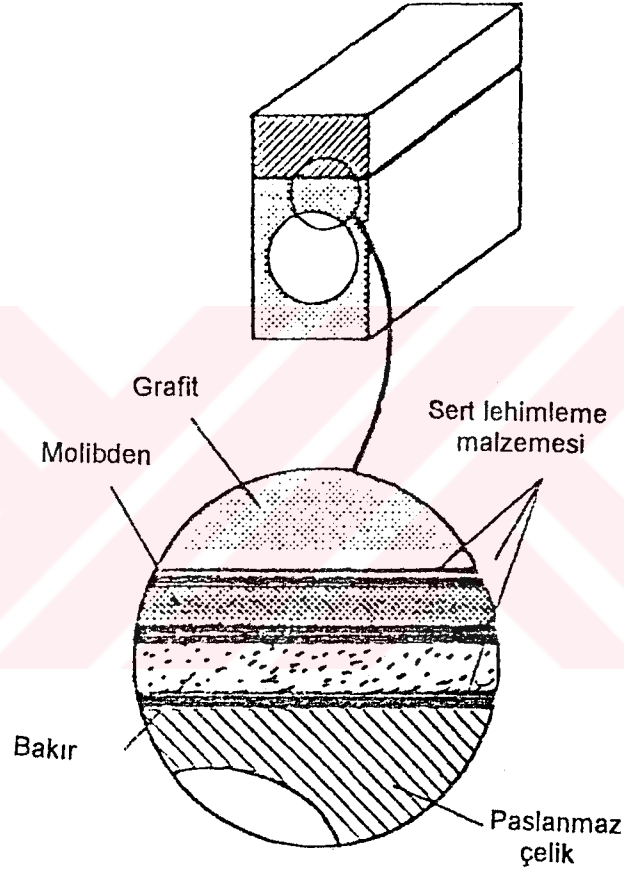
Birinci metotta molibden ve manganez gibi kaplama metalleri seramik ve metal arasında ara eleman olarak kullanılır. Daha sonra da dolgu metalinin ıslatma ve yayılmasını arttırmak için nikel kaplama kullanılabilir. Bu metodun dezavantajı seramik tabaka üzerindeki sinter kaplamanın sert lehimleme operasyonunda sıcaklık farklarından etkilenecek çatlama olasılığının bulunmasıdır. İkinci metotta; dolgu metalinin içindeki aktif metal seramik ile metal arasındaki bağlantının zayıf olmasına neden olabilir. Bu dolgu metali soğuma esnasında meydana gelen artık gerilmeleri önlemek için sünek olmalıdır. Isıl gerilmelerin sonucu olan çatlama olasılığını en aza indirmek için bütün parçalarda uniform ısıtmayı sağlayan fırın sert lehimlemesi kullanılmalıdır.

3.2.1.1 Grafit

Grafit in sert lehimlenebilme yeteneği oksijen ve nem gibi yabancı maddelerin varlığı tarafından kuvvetlice etkilenir. Ek C' deki bilgiler *Grafit* in düşük ısı genleşme katsayısına ve düşük mukavemete sahip olduğunu göstermektedir. Bu özellikler *Grafit* in öteki mühendislik malzemelerine bağlanma işleminin zor olmasına sebep olur. Isıl genleşme katsayısı *Grafit* e yakın bir metal (örneğin tungsten, molibden, tantal ve zirkonyum) ara eleman olarak seçilmelidir. *Grafit* in ıslanması da zordur. Bu yüzden bağlantıda kaplama metali ya da karbür oluşturmaya eğilimli dolgu metali kullanılmalıdır. Bazen bakır gibi sünek metaller artık gerilmeleri azaltmak için kullanılır.

Grafit i birleştirmek için en az iki adet ticari dolgu metali vardır. Bunlardan biri solidüs sıcaklığı 830 °C, likidüs sıcaklığı 849 °C ve kimyasal bileşimi 68Ag-27Cu-4.5Ti (% olarak) olan dolgu metalidir. Ötekisi ise solidüs sıcaklığı 810 °C, likidüs sıcaklığı 960 °C ve kimyasal bileşimi 70Ti-15Cu-15Ni (% olarak) olan dolgu metalidir.

Şekil 3.4 grafitin ostenitik paslanmaz çeliğe sert lehimlenmesi için sandviç tekniğini göstermektedir. Dolgu metali, grafit ve çeliğin ısı genleşme katsayılarına mümkün olduğu kadar yakın olan ve bakır ve molibden ara tabakalarına uyan 68Ag-27Cu-4.5Ti dir. Isıl genleşme katsayılarındaki uyumsuzluğu karşılamak ve bağlantıda basınç oluşturmak için özel konstrüksiyonlar dizayn edilmişlerdir.



Şekil 3.4 Grafiti ostenitik paslanmaz çeliğe sert lehimlemek için 68Ag-27Cu-4.5Ti dolgu metali kullanılarak sandviç tekniğinin uygulanması.[11]

Grafit in sert lehimlemesinin bir diğer örneği de ara elemanların kullanımıdır. Bu durumda grafit, nikel esaslı alaşımlarla ve yedi adet halkadan oluşmuş tungsten-nikel-demir alaşımı ara elemanlarla birleşmiştir. Birinci halka

%97.5 W içerir, ısı genleşme katsayısı grafitle uyum gösterir ve son halka %40 W içerir, ısı genleşme katsayısı nikel esaslı alaşımla uyum gösterir.

3.2.1.2 Karbürler

Karbürler in sert lehimlemesi iki bölüme ayrılır. Bunlar;

- a) Karbür takımlarının sert lehimlenmesi
- b) Silisyum karbürlerin (seramik) sert lehimlemesi dir.

3.2.1.2.1 Karbür Takımları

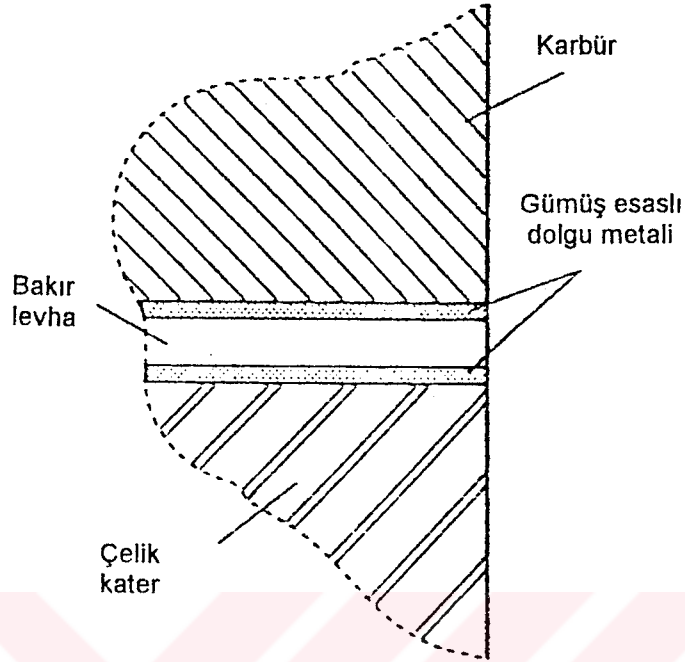
Bu grup kobaltlı (%3-25) tungsten karbürleri kapsar; Tungsten karbürleri ayrıca titanyum ve tantal karbürleri ya da kobaltlı niobyum karbürleri; titanyum ya da tantal karbürleri ayrıca nikelli ya da kobaltlı tungsten karbürleri; nikelli ya da kobaltlı krom karbürleri ve öteki karbürleri kapsar.

BAG grubu dolgu metalleri, karbürleri çeliğe sert lehimlemek için kullanılmışlardır. Nikel içeren dolgu metalleri (BAG-3, BAG-4 ve Bag-22) daha iyi ısıtma yeteneğine sahiptir. Çünkü nikel, karbür-metal sistemindeki ıslatmayı hızlandırır. RBCuZn-D ve BCu dolgu metalleri özellikle sert lehimleme işleminden sonra ısıtma işlemi gerektiğinde de kullanılmıştır. Dolgu metali BAG-23 ya da 52.5Cu-38Mn-9.5Ni, titanyum ya da krom esaslı karbürlerin sert lehimlenmesi yüksek sıcaklıkta yapılacaksa kullanılır.

Tungsten esaslı karbürlerin sert lehimlemesinde iki tabakalı sandviçten oluşan kompozit dolgu metalleri (gümüş esaslı dolgu metali ve bakır destek) kullanılır. Sünek bakır tabakası sert lehimleme esnasında oluşan artık gerilmeleri azaltmak için deformasyona uğrar. Geniş bağlantılar kalın bakır desteklere ihtiyaç duyarlar. Şekil 3.5 bu tekniği göstermektedir.

Bağlantı şekli karbür takımlarının sert lehimlenmesinde çok önemlidir. Sert lehimleme sırasındaki çatlamalardan kaçınmak için, ısı genleşme katsayılarının uyumsuzluğu (takımın ömrünü azaltan) hesaba katılmalıdır.

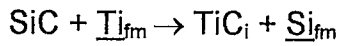
Şekil 3.6 bazı optimum takım dizaynlarını gösterir. Sağ tarafta olan şekillerin ömürlerinin daha fazla olacağı beklenir.



Şekil 3.5 Karbürü çeliğe sert lehimlemek için kompozit (Gümüş esaslı dolgu metal ve bakır ince levha tabakalarından oluşan) dolgu metalinin kullanımı.[5]

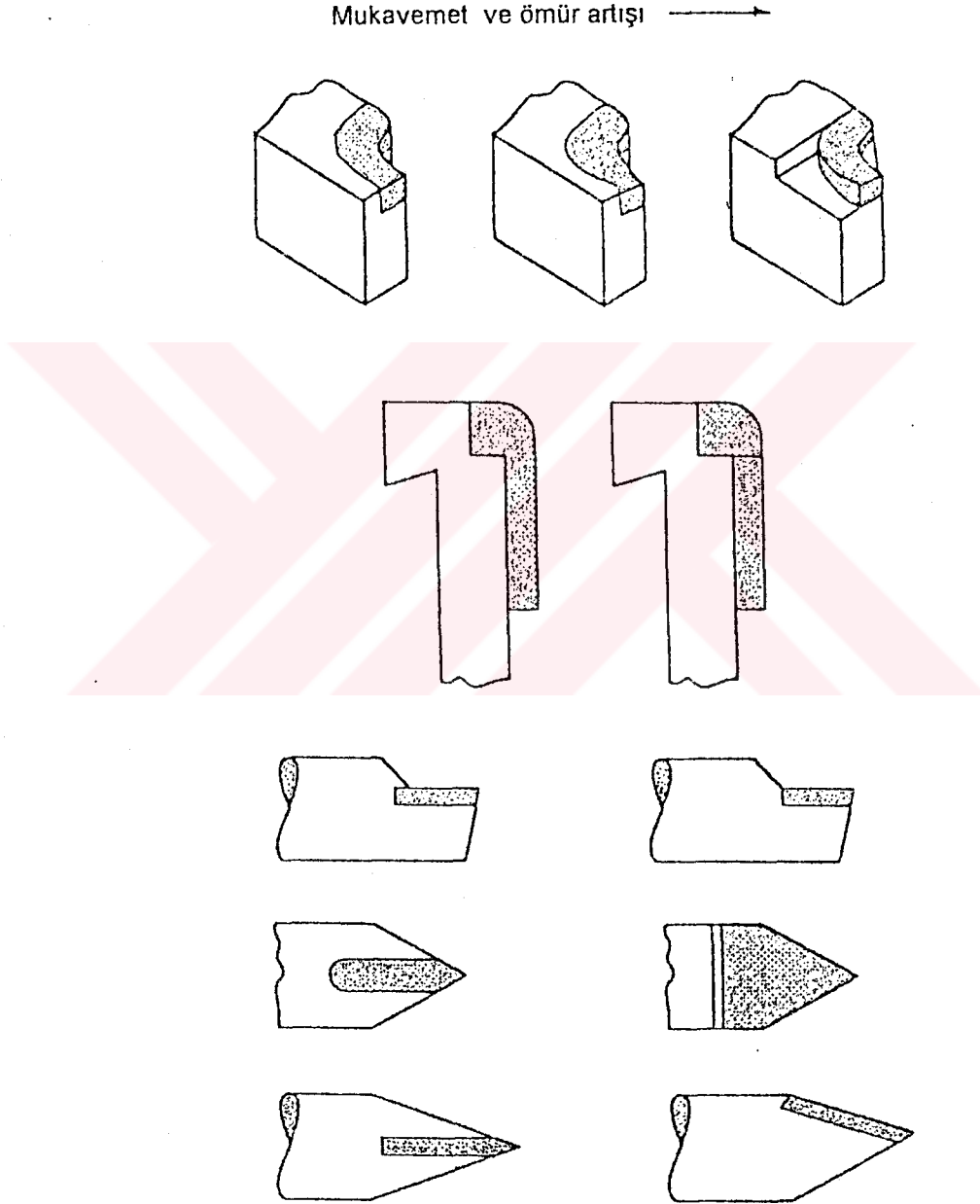
3.2.1.2.2 Silisyum Karbürleri

Silisyum Karbürleri titanyum esaslı dolgu metalleri ile aşağıdaki reaksiyona göre sert lehimlenebilir.



İndis fm ve i sırasıyla, dolgu metalini ve ara yüzeyi belirtir. Ticari gümüş-titanyum, gümüş-bakır-titanyum ve gümüş-bakır-indiyum-titanyum alaşımları, silisyum karbürü silisyum karbüre ya da diğer alaşımlarla sert lehimlemek için dolgu metal olarak kullanılabilir. Dolgu metalindeki bakır miktarı kontrol edilmelidir. Çünkü bakır, silisyum karbürdeki silisyumu çözerek bakır-silisyum alaşımları ve grafit oluşturabilir. Bu arada bakır bağlantı özelliklerine yakın olan seramik malzemenin özelliklerini de değiştirebilir.

Bazı deneysel sonuçlar Ni-13.4Cr-40Si dolgu metalinin, silisyum karbürlerin silisyum karbürlerle sert lehimlenmesinde kullanılabileceğini gösterir. Diğer yandan deneysel dolgu metali Fe-34Si silisyum karbürlerin Inconel 600 ile sert lehimlenmesinde kullanılır. Bu sırada düşük erime noktalı silikatların aşırı kimyasal reaksiyonu görülür.



Şekil 3.6 Sert lehimlenmiş karbür takımlarının ömürlerini ve mukavemetlerini arttıran bağlantı dizaynları. Bağlantıların mukavemet ve ömürleri soldan sağa doğru artmaktadır.[5]

Silisyum Karbürleri n sert lehimlemesindeki çalışma sıcaklığı artırıldığında yüksek solidüs sıcaklıklı dolgu metaline ihtiyaç duyulur. Ni-50Ti dolgu metalinin iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Tablo 3.6 *Silisyum Karbürleri* sert lehimlemek için yaygın olarak kullanılan dolgu metallerini göstermektedir.

Tablo 3.6 Silisyum karbürlerin sert lehimlenmelerinde sıkça kullanılan dolgu metalleri.[5]

DOLGU METALİ	AĞIRLIKÇA BİLEŞİM (%)					SOLIDÜS	LİKÜDÜS	SERT LEHİMLEME
	Cu	In	Ti	Ag	Ni	SICAKLIĞI (°C)	SICAKLIĞI (°C)	SICAKLIĞI (°C)
Cu-Ag-Ti	27.5	...	2	70.7	...	780	795	840
	26.5	...	3	70.5	...	803	857	950
	6	...	3	91	...	875	917	970
Cu-Ag-In-Ti	23.5	14.5	1.25	60.75	...	605	715	760
	19.5	5	3	72.5	...	732	811	950
Ni-Ti	...	...	55.1	...	44.9	985	1310	1550

3.2.1.3 Oksit Seramikleri

Al_2O_3 , ZrO_2 ve MgO gibi *Oksit Seramikleri* kolayca ısıtılabilirler. Sonuç olarak oksitleri azaltmak için dolgu metalinin içinde aktif bir element bulunmalıdır. Titanyum dolgu metalinin içinde en sık kullanılan aktif elementtir. Bununla beraber zirkonyum, niobyum, alüminyum, krom ve vanadyum da kullanılır. Oksitin titanyum tarafından azaltılması aşağıdaki şekilde temsil edilir.



Sert lehimleme sistemine bağlı olarak oksitlerin azalması yerine, erime reaksiyonu meydana gelebilir. Al_2O_3 -Cu-Cu₂O sistemlerinde ara yüzeyde $CuAl_2O_4$ (oksit minerali) oluşacağı belirtilmiştir. Bu oksit mineralleri metal/seramik her iki cins malzeme arasında iyi bir bağlantı sağlarlar.

Seramik oksit ve metal ara yüzeyindeki oksitlerin oluşumu erimiş metalin ısıtılması yayılması ve bağlantının bütünlüğü için çok önemlidir. Metalik tip

iletkenlik ve iyonik bağ titanyuma metalik özellik kazandırır. Öte yandan Ti_2O_3 sadece iyonik bağa sahiptir ve bu ona tipik seramik özellik verir.

Dolgu metalinin içindeki titanyumu sert lehimleme sırasında erken oksidasyondan ya da diğer reaksiyonlardan korumak için yüksek vakum veya inert gaz atmosferi tavsiye edilir. Tablo 3.7 *Oksit Seramikleri* nin bazı aktif sert lehimleme durumlarını göstermektedir.

Tablo 3.7 Oksit seramiklerinin sert lehimlenmesi için tipik aktif sert lehimleme parametreleri.[5]

BAĞLANTI	DOLGU METALİ	SERT LEHİMLEME SICAKLIĞI (°C)	MUKAVEMET (MPa)
Al_2O_3/Al_2O_3	Cu-44Ag-4Sn-4Ti	800-900	80-120
Al_2O_3/Al	Al levhalar (40 μm)	1000	73-89
$Al_2O_3/Fe-29Ni-18Co$	Ag-27Cu-3Ti	900	185
	Ag-25Cu-15In-1Ti	900	162
$Al_2O_3/Ti-6Al-4V$	Cu-40Ag-5Ti	850-890	...
PSZ ZrO_2 /PSZ ZrO_2 (a)	Cu-44Ag-4Sn-4Ti	800-850	>400
	Cu-44Ag-4Sn-4Ti	900	248
TZP ZrO_2 /çelik (b)	Ag-4Ti	1050	151

(a) PSZ, Kısmen stabilize edilmiş zirkonyum

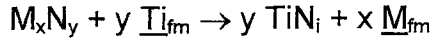
(b) TZP, Tetragonal zirkonyum polikristalleri

3.2.1.4 Nitrit Seramikleri

Oksitsiz seramikler oksitli seramiklere göre kimyasal reaksiyonlar tarafından daha kolay bir şekilde azaltılırlar. Bu sebeple oksit seramikleri için geliştirilen sert lehimleme teknikleri oksitsiz seramiklerin sert lehimlenmesinde kullanılmalıdır.

Nitritlerin cam ya da aktif metal kullanılarak birleştirilmesi belirtilmiştir. Cam birleştirme malzemesi $70SiO_2-27MgO-3Al_2O_3$ seramik cam ara yüzeyindeki bağlantıyı sağlamak ve Si_3N_4 , Si_2N_2O iyi birleştirmek için kullanılır.

Aktif sert lehimleme nitritleri oksit seramikleriyle aynı özelliklere sahiptir. Aktif element seramik ile erimiş yüzey arasındaki seramiği azaltır. Titanyumca zengin dolgu metali tarafından nitritin azaltıldığını gösteren genel denklem aşağıdadır.



TiN, dolgu metali ile nitrit ara yüzeyinde oluşur ve ıslatmayı iletirmek için TiO ile aynı özelliğe sahiptir. Hangi dolgu metalinin aktif metal içerdiğine bağlı olarak yüzeyler arasında ilk olarak silikatlar veya alüminatlar oluşur. Bakır-nikel dolgu metali silisyum nitrit bağlantılarında niobyum silikat niobyum nitritten önce oluşur. Tablo 3.8 *Nitrit Seramikleri* için bazı tipik sert lehimleme durumlarını göstermektedir.

Reaksiyon tabakası olarak bu bileşiklerin varlığı ıslatmayı ve yayılmayı iletirmek ve metal ile seramik arasında iyi bağlantılar gerçekleştirmek için gereklidir. Reaksiyon tabakasının gelişimi sert lehimleme sıcaklığı, zamanı, tepkisi ve dolgu metali içindeki aktif metal varlığı tarafından etkilenir. Bu yüzden birleşme durumları ince tabaka üretmek ve bağlantının optimum mekanik davranışlarını sağlamak için dikkatlice kontrol edilmelidir.

Tablo 3.8 Nitrit seramiklerinin sert lehimlenmesi için tipik sert lehimleme parametreleri.[5]

BAĞLANTI	DOLGU METALİ	SERT LEHİMLEME SICAĞI (°C)	MUKAVEMET (MPa)
BN/BN	Al	1000	6(a)
AlN/Mo	Cu-42Ti	1100	167(a)
	Cu-71Ti	1100	49(a)
	Ag-35Cu-4Ti	980	192(a)
Si ₃ N ₄ /Si ₃ N ₄	Al	1000	450-500(b)
	Al-Si (0.06-10.6)	800	>400(b)
	Ag-27Cu-2Ti	850	270(a)
	Ag-Cu-In-1.25Ti	700	219-427(b)
	70SiO ₂ -27MgO-3Al ₂ O ₃	1500	450(b)
Si ₃ N ₄ /Mo	Ag-35Cu-4Ti	980	195(a)
Si ₃ N ₄ /Fe-29Ni-18Co	Ag-28Cu-2Ti	800	95(b)
	Ag-25Cu-15In-1Ti	900	51(b)
Sialon/Sialon	Al	1000	61(a)

(a) Kesme testi

(b) Dört noktadan eğme testi

BÖLÜM 4

SERT LEHİMLEME TEKNİKLERİNİN UYGULANMA ŞEKİLLERİ

Sert lehimlenecek parçaların dizaynı tamamlanıp imalatı gerçekleştirilince, ilk olarak parçalar sert lehimleme ile birleştirilecek ve bu birleştirme işleminin uygunluğu araştırılacaktır.

Modern endüstrinin gereği, üretimin rasyonelleştirilmesinin, yani üretim artışına paralel olarak kalitenin istenilen düzeyde tutulması ve maliyetin düşük olmasının sağlanmasıdır. Tabiki bu koşullar sağlanırken mamülün belirli bir güvenilirliğe ve belirli bir servis ömrüne sahip olacağı göz önüne alınmalıdır.

Mamüllerin imal edilebilmeleri ile bakım kabiliyetleri arasında bir karşılaştırma yapılacaktır. İmal edilebilme kabiliyetinin yüksekliğinden, tasarımın bir çok şekilde imal edileceği anlaşılır, ki bu da mamülün minumum maliyetle imal edilebileceğini gösterir. Bir mamülün bakım kabiliyeti de onun bakım ve tamir masraflarındaki azalmayı gösterir. Bu nedenle mamülün tasarımı, imali ve tamiri için hazırlık hususunda ortak bir yaklaşım zorunlu olmaktadır. Bir tasarımın uygulanabilirliği tasarım (proje) bürosu ile imal dairesinin işbirliğini kaçınılmaz kılar.

Sert lehimlenmiş veya sert lehimlenecek mamül tasarımının ve proses mühendisliği faaliyetlerinin başlıca hedefi ana metal, dolgu metali ve sert lehimleme teknikleri arasındaki uygunluğu araştırmaktır.

Proses mühendisliğinde birinci aşama sert lehimleme tekniği ile birleştirmenin ve özel yüzey temizleme şekillerinin seçimi olmaktadır. Ana metalin, dolgu metalinin ve sert lehimleme tekniklerinin uygunluğu araştırılırken; yayılma, aralığı doldurma kabiliyeti ve gözeneklilik, kimyasal korozyon, kimyasal birleşme yüzey aralarının oluşması, ana metalin erimiş dolgu metali ile temasında gevrekleşme, sert lehimin sonradan ergitilme (sökülme) sıcaklığının saptanması için yapılan deney sırasında birleşik standart süreçler takip edilecektir. Ancak bu şekilde ana metal, dolgu metali ve sert lehimleme tekniklerinin uygunluğu üzerinde kesin veri toplanması mümkün olabilir.

Proses mühendisliğinde ikinci aşama, optimum sert lehimleme koşullarının veya mamüle etki eden koşulların araştırılması olup bunu belirlemek için bütün faktörleri içeren tam bir deney planlanır ve modelin uygunluğu ile katsayıların anlamları kontrol edilir. Bunun üzerine geriye doğru analiz tekniği ile optimizasyon parametreleri; sert lehimleme sıcaklığı, bu sıcaklıkta tutma süresi, ısıtma ve soğutma temposu, dekaplar, dolgu metalleri, atmosferler, yüzeyin pürüzlülüğü vb. faktörlere bağlanır. Geriye doğru bir analiz denklemi geliştirmek, denklem katsayılarının anlamını saptamak, modelin uygunluğunu, deneylerin tekrarlanabilirliğini denetlemek üzere bilgisayar kullanılır.

Proses mühendisliğinin üçüncü ve dördüncü aşamalarında, sert lehimlemenin gerekli zaman-sıcaklık kontrolünü sağlayacak bir ısıtma yolu seçilir. Bunun için uygun cetvellere ve ısıtma hesaplarına başvurulur.

Kondüksiyonla ısıtmada genellikle, uygun sınır koşulları altında Fourier kriteri kullanılır. Konveksiyon ısıtmasında katı-sıvı yüzey aralığında ısı değişimi süreci, ilgili kriterler ele alınarak hesap edilen ısı çıkışı katsayısı tarafından saptanır. (bu kriterler, ısı çıkışı ve ısı iletkenlik katsayılarını parçanın boyutlarına bağlayan Peclet sayısı; bir ısı süreci betimlemek üzere

bir hidrodinamik benzerlik kuran Reynolds kriteri; kinematik viskoziteyi ısı iletkenlik katsayısına bağlayan Prandtl sayısıdır).

Radyasyonla ısı transferinde hesaplar, ısı akışını radyasyon yapan cismin sıcaklığına bağlayan Stefan-Boltzman kanununa dayanır.

Mamülün metalinin cinsi, işlevsel gerekleri, boyut ve tasarım özellikleri bilgisayara verildikten sonra gelen cevap; dolgu metalini, dekapanı ve/veya atmosferi, birleştirme oluşturma modeline göre sınıflandırılmış sert lehimleme tekniklerini, kir temizleme yolunu, ısıtma yöntemini, sert lehimleme koşullarını, teçhizatı, takım ve aparatları ve sert lehimlemenin otomasyon ve mekanizasyonunun yapılabilirliğini gösterecektir.

Seri imalatla ilk deneme sert lehimli birleştirme yapıp da memnuniyet verici bir sonuç alınmazsa, gerçek "arıza arama" süreci başlar. Çoğu kez bazı küçük, ama sonuçta önemli olabilen ayrıntılar, sorumlu mühendisin gözünden kaçmıştır. Bunların dikkate alınması, başarısızlığı olumlu sonuca dönüştürebilir. Aşağıda açıklanan bazı ayrıntılar, bu alandaki uzun deneyimin ürünüdür.

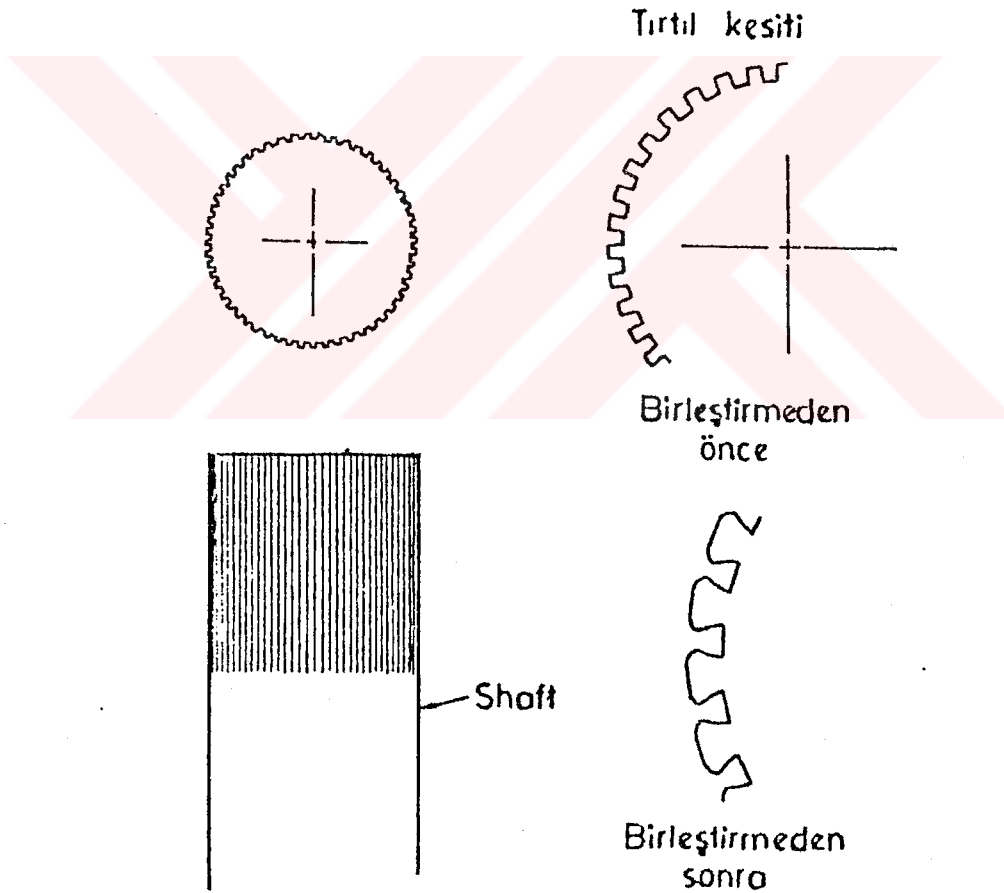
4.1 Sert Lehimleme Öncesi Hazırlık

4.1.1 İyi Bir Dolgu Metali Akışı İçin Aralığın Kontrolü

Bir çok durumlarda, örneğin imalat çapağı, birbiri içine geçip sert lehimlenecek parçaların eş merkezli olarak pozisyona getirilmelerini ve dolayısıyla bütün birleştirme çevresinde dolgu metalinin uniform akışını önleyebilir. Buna karşı önlem alınmalıdır.

Bu arada iç ve dış ölçü toleranslarının karşılıklı sınır değerlerinde, birleştirme aralığı fazla ya da az olabilir. Aralığın fazla olması halinde;

1. Aralık doldurma kabiliyeti en fazla olan dolgu metali seçilir. Örneğin çelik parçaların ocak sert lehimlemesinde, çok akıcı olan bakır ilave metali birleştirme alanını uniform olarak doldurmayabilir. Düşük oranda (%3 - %8) nikel içeren bakır ilave metalinin seçimi aralığı doldurmada yardımcı olacaktır. Aynı şekilde BCuZn serisi dolgu metalleri de ocak sert lehimlemesinde, aşırı aralık nedeniyle normal bakırın birleştiremediği durumlarda kullanılır. Daha düşük erime sıcaklıklı dolgu metali serilerinde daha az akıcı BAg 'ler yerine nikelli BAg-3 kullanılır. Paslanmaz çelik parçaların ocakta hidrojen atmosferi veya vakum sert lehimlemesinde kullanılan BNi dolgu metallerine saf nikel veya nikel silisyum eklenmesi yine aralık doldurma kabiliyetini ıslah eder.



Şekil 4.1 Sert lehimle birleştirilmelerinde kullanılan tırtıl. Mıyılı ucunun tırtıllanması sert lehimlemeden önce, sıkı geçme alıştırmısından sonra erkek parçanın deliğe tam oturmasını sağlar. Tırtıl çapı deliğin çapından çok az büyük olup dolgu metali, tırtıl dişlerinin arasındaki boşluğa akar.[2]

2.Aralık açıklığını azaltmak üzere muyluya tırtıl çekilir (Şekil 4.1) veya uygun yerleri noktalanarak muylu şişirilir ve böylece aralık azaltılıp, merkezden kaçıklık giderilir.

3.Birleştirme aralığını azaltmak üzere parçalardan birinin ölçüleri elektro kaplamayla büyütülür. Yüksek maliyetine rağmen genellikle erkek parçaya uygulanan işleme bazı durumlarda başvurulur.

Yine iyi bir akış ve ıslatmanın sağlanması amacıyla, yerine göre uygulanan işlemler şöyle özetlenir.

1.Sert lehimlenecek parçalara abrazif püskürtme işlemi (alüminyum veya titanyum oksidi parçacıkları vb.).

2.Sert lehimlemeden önce, parçalar dolgu metali tarafından kolayca ıslatılabilen bir metalle elektrolitik olarak kaplanabilir. Çeliğin bakırla, paslanmaz çelik parçalarının ve Inconel ve Hastelloy gibi refrakter alaşımların nikelle kaplanması sık sık başvurulmuş işlemlerdendir.

3.Redükleyici atmosferlerde ön işlemler.

4.Uçucu dekapanlar kullanılabilir. Ocak sert lehimlemesinde amonyumbir florünün kullanılması, uygun ıslatmanın sağlanması için ilginç bir örnek oluşturur.

5.Ana metal yüzeyleri dolgu metalleri ile kaplanabilir. Bakırın BCuP ile, Alüminyum alaşımlarının Al-Si alaşımlarıyla, paslanmaz çeliklerin NiP ile, karbür kesme takımlarının sandviç sert lehimlemesinde bakırın BAg-3 ile kaplanması örnek olarak gösterilebilir.

4.1.2 Tuz Banyosu Yöntemleri

Tungsten karbürü parçaların temizlenmesi, ön kaplaması ve karbondan arındırılması patentli tuz banyosu yöntemleriyle bir arada yapılması mümkün olmaktadır. Bunda kesme takımları, maden delme uçları vb. için karbür ucun takım üzerine sert lehimlenmesinden önce özel bir tuz banyosunda işlem görmesi söz konusudur. Yine başka bir patentli yöntem, parçaların ön temizliği için erimiş sodyum hidrat veya başka tuz birleşimi banyosunu içermektedir. Bu yöntem çoğunlukla dökme demirin yüzeyinden karbonun temizlenmesiyle BAg serisi dolgu metalleri ile sert lehimlenmesinde kullanılır.

4.2 Sert Lehimleme Sonrası İşlemler

4.2.1 Isıl İşlem

Isıl işlem görmüş sert lehimlenmiş birleşmeler elde etmek için çeşitli yollar vardır. Uygun bir sert lehimleme sıcaklık aralığına sahip bir dolgu metali seçimiyle, gerekli olan ısıtma işlemi, sert lehimleme operasyonu ve sonraki soğuma sırasında icra edilmiş olur. Hava çelikleri gibi ısıtma işlemi görmüş parçalar kullanıldığında, sert lehimlemenin ısıtma işleminden sonra yapılması pratik olmaktadır. Ancak bunun için uygun dolgu metali seçilerek sert lehimleme sıcaklığı gerektiği kadar düşük tutulacaktır. Böylece de ana ve dolgu metallerinin birçok birleşme şekilleri ve sert lehimlemeden sonra ısıtma işlemi gerek kalmaksızın, istendiği gibi ısıtma işlemi görmüş birleştirmeler elde edilebilir.

Dolgu metalinin solidüsünün altında ısıtma işlemi sıcaklığına sahip yaşlandırma sertleşmeli alaşımlar gibi malzemelere, sert lehimlemeden sonra ısıtma işlemi uygulanabilir. Bu işlemde dolgu metalinin solidüsü ısıtma işlemi sıcaklığının üstünde olacaktır.

4.2.2 Dekapanın Temizlenmesi

Sert lehimleme işleminin sonunda, kullanılan dekepanın korozyif bir artık bırakması halinde, bu artığın işlemiden sonra mümkün olduğu kadar çabuk bir şekilde tamamen temizlenmesi zorunludur. Sıcak suda eriyen dekepan artıkları, sıcak suya daldırılmak ve gereğinde biraz çalkalanmak suretiyle yok edilir. Bu artıkların temizlenme kolaylığı birçok değişkene bağlıdır. Yetersiz dekepan, fazla ısıtma ve uzatılmış sert lehimleme süresi hep birlikte dekepan artıklarının metal oksitleriyle aşırı doymuşluğuna sebep olurlar ve artıkların temizlenmesini zorlaştırırlar. Temizleme, parçalara zarar vermeyecek şekilde, solidüs sıcaklığının yeterince altında bir sıcaklıktan soğuk suya daldırmak suretiyle kolaylaştırılır. Ancak yüksek sıcaklık alanında soğumanın çok hızlı olması halinde, birleştirmede mikro çatlaklar meydana gelebilir. Özellikle parçaların sonradan karmaşık gerilmelere karşılaşmaları durumunda bu yönde alınacak önlemler önemli olmaktadır. Dekapan artıklarının kolayca temizlenemediği inatçı durumlarda uygun bir sıcak asit eriyikinin, (%10 sülfirik asit veya %5 -%10 fosforik asitin kullanılması gerekli olabilir. Bakır veya gümüş içeren dolgu veya ana metallerle nitrik asit kullanılmayacaktır. Bu kimyasal muameleden sonra parçalar akan bir su kaynağında iyice yıkanıp kurutulacaktır.

Alüminyum gibi bazı malzemelerin sert lehimlenmesinde kullanılan dekepanlar suda kolayca erimezler. Bunlar önce çok sıcak suda (80 - 85 °C) çalkalanıp sonra ya bir alkali eriyiki ya da nitrik asit, fluorhidrik asit inhibitörüne veya her iki asitin bir birleşimine batırılacak ve yine akar suda iyice yıkanacaktır.

4.2.3 Oksitin Temizlenmesi

Sert lehimleme sıcaklıkları, dekepan veya atmosferle korunmamış yüzeylerde oksitlenme ya da renk atma meydana getirecek kadar yüksektir. Bu yüzeylerin sert lehimleme öncesi koşullara dönmesinin gerektiği hallerde

ya bir kimyasal banyoya batırılıp sonradan suyla yıkanır, ya da tel fırça ve püskürtme gibi mekanik temizleme yollarına başvurulur.

4.2.4 Dolgu Metalini Durdurucu Malzemelerin Temizlenmesi;

Bazı sert lehimleme uygulamalarında erimiş dolgu metalinin, istenmediği yerlere akmasını önlemek üzere koruyucu malzemeler kullanılır. Bunların çoğu ya “ayrılan” ya da “yüzey reaksiyonu” tipinden olur. İlki mekanik olarak fırçalama, hava veya su püskürtme ile kolayca kalkar. Yüzey reaksiyonu tipi ise sıcak nitrik-hidroflüorik asit karışımı dekapajıyla temizlenir. Asitlerden daha yavaş tesir etmesine rağmen sıcak, kuvvetli sodyum hidroksit veya amonyumbirfluorürü eriyikleride kullanılabilir. Yukarıda söylendiği gibi dolgu ve ana metallerin bakır veya gümüş içermeleri halinde nitrik asitten kaçınılacak ve tüm kimyasal maddeler itina ile suda yıkanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] BODUR,O. *Sert Lehimleme*, Eczacıbaşı Askaynak yayınları, İstanbul, Nisan 1996.
- [2] OĞUZ,B. *Sert Lehimleme*, Oerlikon yayınları, İstanbul, 1988.
- [3] ANIK,S. *Sual ve Cevaplarla Sert Lehimleme Tekniği*, Oerlikon yayınları, İstanbul, 1970.
- [4] ANIK,S. *Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Gürış Holding yayınları, İstanbul, 1983.
- [5] ASM, *Metals Handbook Vol.6, Welding, Brazing and Soldering*, Ohio, 1971.
- [6] AWS, *Brazing Manuel*, Garfield Press, Florida, 1976.
- [7] NICHOLAS,M.G. & MORTIMER,D.A. Cera./Metal Joining for Structural Applic., *Mater. Sci. Technol.*, Vol 1 (No.9), 1985, p 657-665.
- [8] MILNER,D.R. & APPS,R.L. *Introduction to Welding and Brazing*, Pergamon Press, 1969.
- [9] PASK,J.A. From Technology to the Science of Glass/Metal and Ceramic/ Metal Sealing, *Am. Soc. Ceram. Bull.*, Vol 66 (No.11) 1987, p 1587-1592.
- [10] COLLINGS,E.W. *The Physical Metallurgy of Titanium Alloys*, American Society for Metals, 1984
- [11] SCHWARTZ,M.M. *Ceramic Joining*, ASM International, 1990.
- [12] LASHKO,N & LASHKO,S. *Brazing and Soldering of Metals*, Mir Publishers, Moscow, 1979.

EKLER

EK A AWS 'nin yayını B2.2' ye göre sert lehimleme için dekapan tipleri.

DEKAPAN NO. (AWS)	AWS TARAFINDAN TAVSİYE EDİLEN			İÇERDİĞİ ELEMENTLER
	ANA METAL (a)	DOLGU METALİ	SICAKLIK (°C)	
1	Bütün sert lehimlenebilen Al alaşımları	BAiSi	370 - 645	Kloridler, Flüoridler
2	Bütün sert lehimlenebilen Mg alaşımları	BMg	480 - 650	Kloridler, Flüoridler
3A	(b)	BCuP, BAg	565 - 870	Borik asit, Boratlar, Fluoridler, Fluoroboratlar, Islaticılar
3B	(b)	BCu, BCuP, BAg, BAu, RBCuZn, BNi	730 - 1150	Borik asit, Boratlar, Fluoridler, Fluoroboratlar, Islaticılar
4	Al bronz, Al pirinci ve demir ya da nikel esaslı Al ya da Ti içeren alaşımlar	BAg, BCuP (c)	565 - 870	Kloridler, Flüoridler, Boratlar, Islaticılar
5	(b)	(d)	760 - 1205	Boraks, Borik asit, Boratlar, Islaticılar

(a) Titanyum ve zirkonyum esaslı ana metallerde bazen uygun değil

(b) 1, 2 ve 4 nolu maddelerin dışında kalan bütün metaller

(c) Sadece bakır esaslı alaşımlar

(d) 3B nin aynısı (BAg-1 ile BAg-7 arasını da kapsayarak)

Ek B AWS 'nin yayını B2.2' ye göre sert lehimleme için atmosfer tipleri.

ATMOSFER NO. (AWS)	KAYNAK	MAX ÇİĞLEŞME SICAKLIĞI (°C) (a)	BASINÇ (Pa)	AĞIRLIKÇA BİLEŞİM (%)				
				H ₂	N ₂	CO	CO ₂	DİĞER
1	Yanmış Gaz	RT	...	1 5	87	1 5	11 12	...
2	Yanmış Gaz	RT	...	14-15	70-71	9 10	5 6	...
3	Yanmış Gaz	-40	...	15-16	73-75	10 11	...	...
4	Yanmış Gaz	-40	...	38-40	41-45	17-19	...	...
5	Ayrık Amonia	-54	...	75	25	...	...	...
6	Hidrojen	RT	...	97-100	...	...	...	...
7	Hidrojen	-59	...	100	...	...	...	...
8	Sıcak Uçucu Malzeme	...	...	...	...	...	...	Zn, Cd, Li, Mg ve Fluorid buharı gibi İnorganik buhar
9	Saf İnert Gaz	...	...	...	...	...	...	...
10	Vakum	...	>265	...	...	...	...	...
10A	Vakum	...	>65-265	...	...	...	...	...
10B	Vakum	...	>0.13-65	...	...	...	...	...
10C	Vakum	...	<0.13	...	...	...	...	...

(a) RT, Oda sıcaklığı

EK C Seçilmiş bazı malzemelerin genel özellikleri.

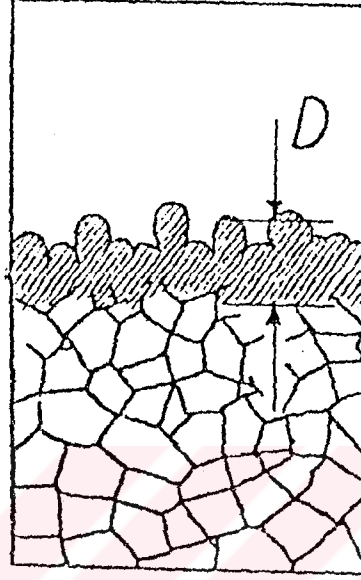
MALZEME	ERİME NOKTASI (°C)	YOĞUNLUK (g/cm ³)	GENLEŞME KATSAYISI (10 ⁻⁶ /K)	YOUNG MODULÜ (GPa)	ÇEKME DAYANIMI (MPa)
Seramik					
Oksit					
Al ₂ O ₃ (safır)	2050	3,985	5,8	380	620
BeO	2530	3,01	8,4-9,0	311	172-275
SiO ₂ (cam)	1710	2,19	0,54	69	110
ZrO ₂ (Y ₂ O ₃)	2960	5,56	10	138	>300
Karbür					
B ₄ C	2350	2,51	5,6	440-470	310-350 (b)
SiC	2300-2580(a)	3,17	4,3-4,6	414	450-520 (c)
TiC	3140	4,93	7,7	462	275-450 (c)
WC	2770	15,7	4,9	814	790-825
Nitrit					
AlN	2400	3,25	5,3	350	270
Si ₃ N ₄	1750-1900(a)	3,19	3,3	304	400-580 (b)
Metal					
Al	660	2,7	23,5	69	50-195
Cu	1083	8,96	17	180	224-314
Pirinç (70-30)	910-965	8,55	19-20	100-115	300-700
Fe	1535	7,87	12,1	197	180-210
AISI 304	1400-1455	7,93	18	190-210	460-1100
AISI 410	1480-1530	7,73	10 12	190-210	480-1500
Ni	1453	8,9	13,3	199	660
Mo	2617	10,22	5,1	324,8	458-690
Nb	2468	8,57	7,2	104,9	330-585
Zr	1852	6,49	5,9	98	350-390
W	3410	19,3	4,5	411	550-620
Grafit					
Grafit	3650	2,26	0,6-4,3	6,9	28

(a) Sublümleşme noktası

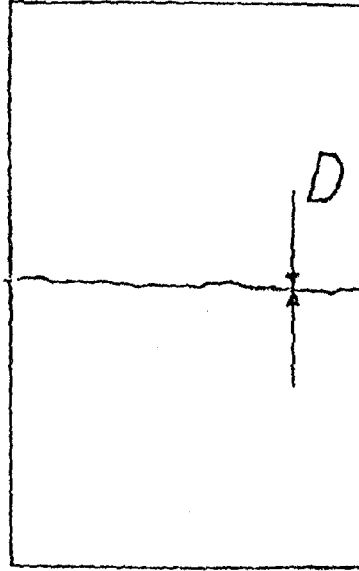
(b) % 5 porozit

(c) % 2 porozit

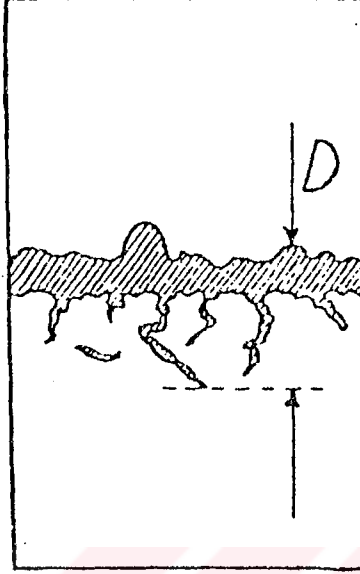
EK D Bazı malzemelerin sert lehimlenmesinden sonra difüzyon bölgesinin şematik gösterimleri.



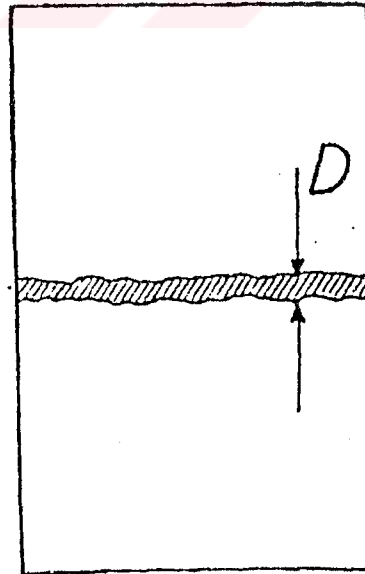
a) Bakır ve bakır alaşımları ile gümüşün L Ag 30 Cd veya L Ag Cd ile birleştirilmesinde difüzyon bölgesinin durumu.



b) Çeliğin L Ag 30 Cd veya L Ag 40 Cd ile birleştirilmesinde difüzyon bölgesinin durumu.



c) Çeliğin L MS 60 lehim alaşımı ile birleştirilmesinde difüzyon bölgesinin durumu.



d) Çeliğin L Ag 15 P lehim alaşımı ile birleştirilmesinde difüzyon bölgesinin durumu.

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında İstanbul'da doğdu. İlkokulu, ortaokulu ve liseyi sırasıyla Oruç Gazi İlkokulu, Oruç Gazi Ortaokulu ve Pertevniyal Lisesinde tamamladı. 1987 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. 1991 yılında Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Ticaret gemilerinde İşletme Mühendisi olarak çalışmak için, Eylül 1992 de İ.T.Ü Yüksek Denizcilik Okulunda yapılan sınavlarda fark derslerini vererek "Uzakyol Vardiya Mühendisi" ehliyetini aldı. 1993' de İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsünün Yüksek Lisans sınavını kazanarak Kaynak Mühendisliği bölümüne kaydını yaptırdı.



İ.G. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
ORTAKLIK YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.