

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI MALZEMELERİN SICAK BASINÇ KAYNAĞI
İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE İŞLEM
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Makine Müh. Erşan Kumru

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAĞIN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI	2
2.1 Gaz Ergitme kaynağı	3
2.2 Ark Kaynağı	3
2.3 Yumuşak Lehimleme	4
2.3.1 Yumuşak Lehim Alaşımaları	4
2.4 Sert Lehimleme	5
2.4.1 Sert Lehim Alaşımaları.....	5
2.4.2 Sert Lehim Yüzeylerinin Hazırlanması	5
2.4.3 Sert Lehim Dekapanları	6
2.5 Direnç Kaynağı.....	6
2.6 Termit Kaynağı.....	7
2.7 Katı Hal Kaynağı	7
2.7.1 Katı Hal Birleştirmelerini Açıklayan Hipotezler.....	8
3. KATI HAL KAYNAĞI TÜRLERİ	9
3.1 Haddeme Kaynağı.....	10
3.2 Patlamalı Kaynak.....	10
3.3 Ultrasonik Kaynak	12
3.4 Sürtünme Kaynağı	13
3.4.1 Sürtünme Kaynak Makineleri	15
3.4.2 Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilebilen Malzemeler.....	15
3.4.3 Sürtünme Kaynağı Yapılabilecek Parça Geometripleri.....	15
3.4.4 Sürtünme kaynağında Kaynak Parametreleri.....	15
3.5 Soğuk Basınç Kaynağı.....	16
3.5.1 Ön Hazırlama ve İşlemin Yapılışı	17
3.5.2 Kaynak Edilebilir Malzemeler	17

3.5.3	Uygulama Alanları.....	19
3.6	Sıcak Basınç Kaynağı	21
3.6.1	Gazla Isıtma.....	22
3.6.2	Dirençle Isıtma	22
3.6.3	İndüksiyonla Isıtma	23
3.6.4	Dönel Manyetik Ark ile Isıtma.....	24
3.7	Difüzyon Kaynağı.....	27
3.7.1	Açıklamalar ve Genel Tanımlamalar.....	27
3.7.2	Difüzyon Kaynağının Oluşumu.....	30
3.7.3	Uygulama Alanları.....	31
3.7.4	Difüzyon Kaynağının Prensipleri	34
3.7.5	Avantajlar ve Sınırlar	37
3.7.6	Yüzey Hazırlama	39
3.7.7	Difüzyon Kaynağı İşlem Değişkenleri	41
3.7.8	Difüzyon Yardımcıları	45
3.7.9	Difüzyon Lehiminin Prensipleri	46
3.7.9.1	Uygulama Örnekleri	47
3.7.9.2	Sıcaklık ve Isıtma Oranı.....	47
3.7.10	Difüzyon Kaynağı Uygulama Örnekleri.....	48
3.7.11	Muayene.....	55
4.	SICAK BASINÇ KAYNAĞI DENEYSEL ÇALIŞMASI	57
4.1	İşlemin Tanımı	57
4.2	Birleştirilen Malzemelerin Özellikleri	61
4.2.1	Alüminyum Malzeme	61
4.2.2	Bakır Malzeme	62
4.3	Isı Membanının Özellikleri	62
4.3.1	Yüksek Frekans Konverteri.....	62
4.3.2	Yüksek Frekanslı İndüksiyon Konverteri Değerleri.....	63
4.3.3	İndüksiyon ile Isıtma Prensipleri.....	64
4.4	Sıcak Basınç Kaynağı ve Al- Lehiminin Maliyet Olarak Karşılaştırılması.....	66
4.5	Deneyin Yapılışı.....	67
4.6	Kontrol	67
4.7	Deney Sonuçları	70
4.7.1	Kaynak Kesitlerinin Mikroskop ile İncelenmesi.....	73
5.	SONUÇLAR	76
	KAYNAKLAR.....	77

SİMGE LİSTESİ

D	T sıcaklığında difüzyon katsayısı
D_0	Orantı sabiti
Q	Difüzyon için aktivasyon katsayısı
T	Mutlak sıcaklık
k	Boltzmann sabiti
x	Difüzyon boyu
t	Zaman
C	Sabit
P	Güç

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kaynak çeşitleri.....	3
Şekil 3.1 Haddelme kaynağı.....	10
Şekil 3.2 (1) Paralel konfigürasyon halinde yerleştirme (2) Patlayıcının patlaması esnasındaki durum	11
Şekil 3.3 Ultrasonik kaynak (a) Bir bindirme bağlantı için genel ekipman; ve (b) kaynak bölgesinin yakından görünüşü	11
Şekil 3.4 Sürtünme kaynak ekipmanı	13
Şekil 3.5 Sürtünme kaynağının oluşum evreleri.....	14
Şekil 3.6 Soğuk basınç kaynağında biçim değiştirmeler ve oranları.....	16
Şekil 3.7 Malzeme akışı ile gerçekleştirilen birleştirme türleri.....	19
Şekil 3.8 Boruların çekme esasına göre soğuk basınç kaynağı.....	21
Şekil 3.9 Küçük çaplı boruların oksit-asetilen basınç kaynağı.....	22
Şekil 3.10 Direnç alın kaynağının prensipleri	23
Şekil 3.11 Sıcak basınç kaynağında arayüzeyin yüksek frekanslı akım kullanılarak ısıtılması.....	24
Şekil 3.12 Dönel manyetik ark ile ısıtma evreleri	25
Şekil 3.13 Dönel manyetik ark ile birleştirme örnekleri.....	26
Şekil 3.14 Difüzyon olayı. Metallerde sıcaklık yükselmesinin difüzyon olayı ve elektrik iletkenliğine etkisi.	27
Şekil 3.15 Çeşitli katı hal kaynak tekniklerinin sıcaklık, süre ve deformasyon açısından karşılaştırılması.....	28
Şekil 3.16 Metal yüzeyindeki pürüzlülüğü ve mevcut kirleticilerin karakteristiği	35
Şekil 3.17 Difüzyon kaynağındaki üç aşamanın mekanik modeli.....	36
Şekil 3.18 Yüzeylerin temasında yüzey pürüzleri nedeni ile oluşan boşluklar.....	39
Şekil 3.19 Difüzyon kaynağında kaynak basıncı,kaynak sıcaklığı ve kaynak süresini dayanıma etkisi	43
Şekil 3.20 Uçak yapımında difüzyon kaynaklı yapı elemanları.....	49
Şekil 3.21 Birincil ve ikincil difüzyon kaynağının süper plastik şekillendirme ile birlikte uygulanması.....	50
Şekil 3.22 Süper plastik şekillendirme ve difüzyon kaynağı ile imal edilmiş yapı elemanları.....	50
Şekil 3.23 Difüzyon kaynağı bağlantısında ilkesel örnekler. A)Soğuk kanal düzeni, b)Boş hacim düzeni, c)Ondüleli hafif yapı, d)Boru formulu reaktör-yakıt elemanı, e)Metal ile cam veya seramik bağlantısı, f)Farklı malzemelerden boru elemanları	53
Şekil 3.24 Difüzyon kaynağında farklı termal özellikleri dengeleyen donatım.....	52
Şekil 3.25 Difüzyon kaynağı için öneriler aralıklar ve ısı genleşme miktarları.....	53
Şekil 3.26 Difüzyon kaynağı için öneriler aralıklar ve ısı genleşme miktarları.....	53
Şekil 3.27 Difüzyon kaynağı için önerilen aralıklar ve ısı genleşme miktarı.	54
Şekil 3.28 Birleşme ara yüzeyinin görünüşü.....	55
Şekil 4.1 Havşa iğnesi.....	57
Şekil 4.2 Havşa açma işlemi. a)Havşa iğnesi ve Al- boru. b) Havşa açma. c) Havşa açılmış Al- borunun kesiti	57
Şekil 4.3 Havşa iğnesi ve havşa açılmış alüminyum borunun 3 Boyutlu modeli	58
Şekil 4.4 İşlemin oluşumu a) Bakır ve alüminyum malzemenin ilk teması b) İşlemin sonucu.....	59
Şekil 4.5 Birleşme işleminin 3 boyutlu modeli	59
Şekil 4.6 Sıcaklık artışına bağlı olarak bakır malzemenin alüminyum malzeme içine girdiği mesafeyi gösteren grafik	60
Şekil 4.7 Deneyde kullanılan alüminyum borunun ölçüleri.....	61

Şekil 4.8 Bakır adaptörün kesit resmi	62
Şekil 4.9 İndüksiyon bobininin kesiti	63
Şekil 4.10 İndüksiyon bobini ve malzemenin yandan görünüşü	64
Şekil 4.11 İndüksiyon bobini ve bakır boruyu iten iğnenin üstten görünüşü.....	65
Şekil 4.12 Sıcak basınç kaynak makinesi	65
Şekil 4.13 Sıcak basınç kaynak makinesinin parçaları	66
Şekil 4.14 Helyum gaz şarj odasında kaçak kontrolü	68
Şekil 4.15 520 °C de yapılan bir kaynak sonrası oluşan malzeme akması	68
Şekil 4.16 İdeal sıcaklıkta yapılan bir birleştirmede görülen dengeli sferoid oluşumu.....	69
Şekil 4.17 a) 360°C de kaynak yapılan bir numunenin açılmış hali görülmektedir. Tam bir birleşmenin sağlanmadığı açıkça görülmektedir. b) 460 °C yapılan bir kaynak aynı şekilde açılmıştır. Bakır boru üzerinde alüminyumun tam bir birleşme sağladığı açıkça görülmektedir.	70
Şekil 4.18 Çekme deneyinde kullanılan tertibat ve numunelerin tertibata bağlanmış hali.....	71
Şekil 4.19 (a) Uygun sıcaklık ve süre	71
Şekil 4.19 (b) Uygun sıcaklık ve süre	72
Şekil 4.19 (c) Uygun sıcaklık ve süre	72
Şekil 4.20 Çekme deneyi sonucu numune üzerindeki gerilim ve uzama.....	73
Şekil 4.21 (a) Kesitlerin mikroskop altında incelenmesi	74
Şekil 4.21 (b) Kesitlerin mikroskop altında incelenmesi.....	74
Şekil 4.21 (c) Kesitlerin mikroskop altında incelenmesi	75
Şekil 4.21 (d) Kesitlerin mikroskop altında incelenmesi.....	75

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Soğuk basınç kaynağı ile birleştirilebilen malzemeler	18
Çizelge 3.2 Dönel manyetik ark ile birleştirmede işlem parametreleri	27
Çizelge 3.3 Çeşitli işlemler sonucu yüzeyde oluşan pürüzlülük değerleri	30
Çizelge 3.4 Çeşitli malzemeler arasındaki ara tabakalı ve ara tabakasız birleşmeler (Siyah kareler kaynaklanabilir malzeme ve alaşımlarını göstermektedir.)	32
Çizelge 3.5 Çeşitli malzeme kombinasyonlarında difüzyon kaynağı şartları	33
Çizelge 4.1 DIN EN – 3 ‘e göre Al- malzemenin kimyasal bileşimi	61
Çizelge 4.2 Çekme deneyi uygulanan numunelerin kopma basınçları	73

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini bana aktaran ve yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca deney uygulamasında yardımlarından ötürü Ümit PEKTAŞ' a ve deneyin değerlendirme bölümündeki katkılarını esirgemeyen İlkan ACARSER' e teşekkür ederim

Tüm yaşamım boyunca her zaman arkamda olan aileme maddi ve manevi desteklerinden ötürü teşekkür ederim

Mart 2007

Erşan Kumru

ÖZET

Günümüzde giderek ağırlaşan rekabet ortamı işletmeleri yeni yöntemler arayışına itmektedir. Bilinen yöntemlerle birleştirilmesi zahmetli ve maliyetli olan malzeme çiftleri bu yöntemlerle hızlı, ucuz ve kaliteli olarak birleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada katı hal kaynağı yöntemlerinden biri olan sıcak basınç kaynağının endüstriyel uygulaması incelenmiştir. Kaynak makinesi kullanılarak yapılan bu birleştirmedeki kaynak parametrelerinin birleşme kalitesine etkileri irdelenmiştir. Ayrıca aynı noktaya uygulanabilen ve geleneksel bir yöntem olan Al- lehimisi ile maliyet açısından karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar kelimeler : Sıcak basınç kaynağı.

ABSTRACT

The increasingly hardening competitive conditions of today, gradually raise the need for modern materials and new manufacturing techniques. Materials can be joined easily and fast with this new joining methods.

In this study, methods of joining aluminum and copper materials together are examined. As a result of both automation ability and manufacturing without the need of extra materials and lower scrap rate, hot pressure welding, a method of solid state joining, excels the soldering joining that can be considered as a substitute usable in similar applications.

Key words : Hot pressure welding

1. GİRİŞ

Günümüzde giderek artan rekabet şartları modern malzemelere ve yeni imalat yöntemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır.

Katı hal kaynağı, basınç altında erime olmaksızın, atomlar arası bağ oluşumu ile elde edilmektedir.

Bu çalışmada Alüminyum malzemelerin bakır malzeme ile birleştirme yöntemleri incelenmiştir. Bir katı hal birleştirmesi olan sıcak basınç kaynağı, gerek otomatik imalata yatkınlığı, gerek ilave malzeme gerek duyulmadan imalat yapılabilmesi ve hurda sayısının düşüklüğü nedeniyle aynı noktada kullanılabilir lehim birleştirmesinin önüne geçmektedir.

Alüminyum malzemeler fiyat avantajı ve şekillendirme kolaylıkları bakımından soğutma endüstrisinde bakır ve diğer malzemelere göre daha fazla tercih edilmektedir. Fakat alüminyum malzemelerin sanayi uygulamalarındaki birleştirilmesi montaj hatları için uygun olmadığından istasyonel uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu çalışmada incelenen Al-Cu sıcak basınç kaynağı birleştirmesi alüminyum malzemeyi ekonomik bir şekilde montaj hattında kullanıma uygun hale getirmektedir.

Sıcak basınç kaynağı hakkında literatürde fazla yayın olmadığından, bu çalışmada “kısmi difüzyon” varsayımıyla parametre seçiminde referans olarak “difüzyon kaynağı” seçilmiştir.

2. KAYNAĞIN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve ergime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye kaynak adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye “ilave metal” adı verilir.

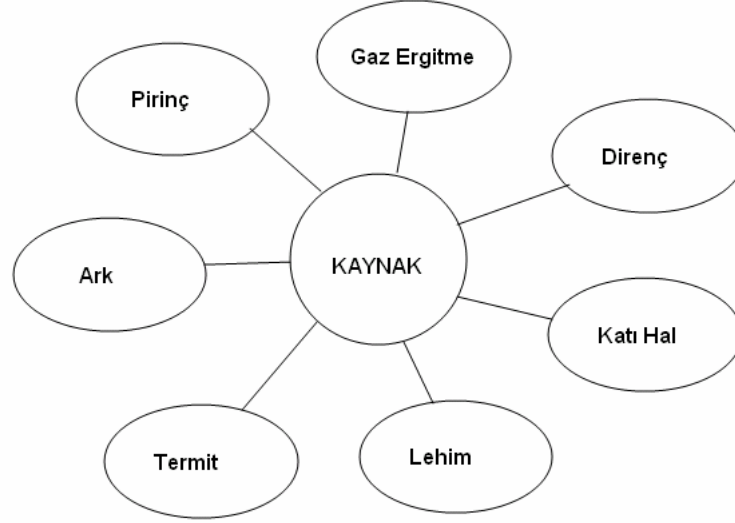
Birleştirilmesi öngörülen malzemelerin kaynak bölgeleri plastik veya sıvı duruma getirilmekte, eş iki malzemenin birleştirilmesi sonucu oluşan kaynak dikişinin özellikleri de ana malzemeninkine benzemektedir. İşlemin yapılmasında, birleştirilecek malzemenin özellikleri, yonteme başvuruş amacı, kaynak olayındaki oluşumlar ve konstrüksiyonun türü gibi faktörlere göre belirli önlemlere başvurulması da gerekebilmektedir. Ergitme esaslı kaynak uygulamalarında kaynak bölgelerinin genellikle yardımcı malzemelerle korunması gerekmektedir. Seçilen ilave malzemelerin ise, mümkün olduğu kadar birleştirilen ana malzeme ile aynı ergime aralığına sahip olması, işlem emniyeti bakımından gerekli görülmektedir. Bu tanımlamada belirtilen eş malzeme tabiri, metalurjik anlamda tam bir eşitlik olarak düşünülmemekte, birleşme bölgesindeki tüm malzemelerin birbiri içine karışabilmesi anlamını taşımaktadır (Gültekin N, 1991).

Kaynak genel olarak iki grupta incelenir.

Ergitme kaynağı: Malzemeyi yalnız sıcaklığın tesiri ile bölgesel olarak (sınırlandırılmış bir kısmını) eritip, ilave bir metal katarak veya katmadan birleştirmektir.

Basınç kaynağı: Malzemeyi genellikle ilave metal katmadan basınç altında bölgesel olarak ısıtıp birleştirmektir.

Kaynağı Şekil 2.1' de görüldüğü gibi yedi grupta toplayabiliriz.



Şekil 2.1 Kaynak çeşitleri

2.1. Gaz Ergitme Kaynağı

Gaz Ergitme Kaynağında, kaynak dikişinin oluşturulması için gerekli ısının, kaynak alevinden transfer edilmesi esassından yararlanılır. Kaynak alevi ise oksijen-yanıcı gaz çok nadir olarak da hava yanıcı gaz karışımından oluşturulur. İşlemlerde kullanılan oksijenin yüksek saflıkta olması gerekmektedir.

Ulaşılabilen alev sıcaklıkları, kullanılan gaz karışımlarına bağılı olarak ortaya çıkmaktadır.

2.2. Ark Kaynağı

Elektrik ark kaynağı iki kutup arasında oluşan arkın ısı membarı olarak ana ve ilave malzemeyi ergitmesi şeklinde tanımlanabilir.

Ark esaslı uygulamalarda, ark oluşturulmasında kullanılan ve elektrot olarak adlandırılan elemanlar, ergiyerek metalsel banyoya göçme durumlarında ergiyen elektrot olarak tanımlanmakta, bunlar yöntemlere bağılı olarak çıplak, örtülü, özlü, örgülü, çubuk veya bant şeklinde olabilmektedir.

Sadece ark oluşumuna katkıda bulunan ergimeyen elektrotlar ise karbon, volfram ve alaşımlı volfram elektrotlar olarak adlandırılmaktadır.

Elektrik ark kaynağında, gerek ark ortamının ve gerekse kaynak bölgesinin korunmasının sağlanması amacı ile alınan önlemler ve kullanılan elektrot türleri, uygulamalarda yöntemlerin adlandırılmasını da ortaya çıkarmaktadır.

2.3. Yumuşak Lehimleme

Esas metaller erimeden, 450 °C' nin altında ilave metalin eritildiği ve ilave metalin birleştirilecek parçaların temas yüzeyleri arasında kapiler etkiyle dağıldığı birleştirme yöntemi. Esas metal erimez, ancak ilave metal, metalurjik bağ oluşturmak üzere esas metali ıslatır ve birleşme sağlanır. Yumuşak lehimlemenin detayları sert lehimleme ile aynıdır ve aynı ısıtma yöntemlerinin çoğu kullanılır. İlave metal yumuşak lehim olarak adlandırılır.

Yumuşak lehimlemenin üstünlükleri

- Sert lehimleme veya eritme kaynağına göre daha düşük enerji girdisi
- Değişik ısıtma yöntemleri kullanılabilir.
- Bağlantıda iyi elektrik ve ısı iletkenlik.
- Tamiri ve yeniden yapılması kolaydır.

Yumuşak lehimin zayıflıkları

- Mekanik yöntemlerle takviye edilmedikçe düşük bağlantı dayanımı.
- Yüksek sıcaklıklarda bağlantının muhtemel zayıflaması veya erimesi

2.3.1. Yumuşak Lehim Alaşımları

Genel olarak kalay (Sn) ve kurşun (Pb) alaşımlarıdır. Kurşun zehirleyicidir ve çoğu lehim alaşımındaki yüzdesi en aza indirilmiştir. Kalay ise yumuşak lehimleme sıcaklıklarında kimyasal olarak aktiftir ve başarılı bir bağlantı için ıslatmayı destekler. Bakırın lehimlenmesinde bakır ve kalay bağlantıyı güçlendiren metaller arası bileşikler oluşturur. Gümüş ve antimon da yumuşak lehim alaşımı olarak kullanılmaktadır (Gültekin, 1991).

2.4. Sert Lehimleme

Aynı veya farklı metallerin kendileri ergimeden, 450°C'nin üzerinde ergiyen bir ilave metal (sert lehim alaşımı) ile birleştirildiği yöntem sert lehimleme denir. Birleştirilecek parçalar üst üste, alın altına veya iç içe geçer şekilde bir dizaynda ise, sert lehim alaşımı birleştirme bölgesine kapiler olarak akarak, sağlam ve sızdırmaz bir birleştirme sağlar. Bu sert lehim yöntemine kapiler lehimleme adı verilir. Fakat, birleştirilecek parçalar V-, U-,X- gibi kaynak ağzı açılıyor ve sert lehim alaşımı ile doldurularak birleştirme yapılıyorsa; bu sert lehim yöntemine lehim kaynağı adı verilir. Sert lehimleme yöntemi birleştirme amacı dışında, yüzey kaplama amacı ile de uygulanabilir.

Sert lehim yönteminde oksii-asetilen üfleci (şalümosu), fırın, endüksiyon, lehim tabancası, elektrik direnci gibi ısı kaynaklarından her hangi biri kullanılabilir. Birleştirme dizaynına, uygulama kolaylığına, üretim hızına bağlı olarak en uygun ısı kaynağı seçilebilir.

Sert lehim yönteminin en yoğun kullanıldığı üretim alanları; ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri, bisiklet ve motosiklet imalatı, otomotiv sanayi, metal mobilya ve beyaz eşya sanayidir.

2.4.1. Sert Lehim Alaşımları

Sert lehim malzemeleri, DIN 8512, DIN 8513, AWS A5.8 ve ISO 3677 gibi standartlarda sınıflanmış saf metaller veya alaşımlardır. Bu standartlarda sert lehim alaşımları kimyasal kompozisyon, ergime aralığı, ilave metal tipi vb. teknik özelliklere göre sınıflandırılır.

2.4.2. Sert Lehim Yüzeylerinin Hazırlanması

Sert lehimin kalitesi açısından birleştirilecek yüzeylerin hazırlığı çok önemlidir. Yüzeyler düzgün olmalı ve oksit, çapak, yağ, gres v.b.'den tamamen arındırılmış olmalıdır. Yüzey hazırlığında keskin kenar ve köşelerden kaçınılmalıdır. Bu yüzey hazırlığı ve temizlik mekanik ve kimyasal yöntemlerle yapılabilir. Temizlenmiş yüzeyler fazla bekletilmeden sert lehimleme işlemine alınmalıdır. Çünkü bekleme süresinde yüzeyde tekrar oksitlenme olacağından, tekrar temizlenmesi gerekir.

2.4.3. Sert Lehim Dekapanları

Sert lehimleme öncesinde yüzeye ve sert lehim malzemesinin üzerine sürülen özel kimyasallara dekapan denir. Dekapanlar sert lehim alaşımının ergime noktasının 50-100°C altında sıvı hale geçerek, aşağıdaki görevleri yerine getirirler :

- Yüzeydeki oksitleri kimyasal olarak çözmek
- Ön tavlama esnasında oluşabilecek oksidasyonu engellemek
- Sert lehim alaşımının sıvı haldeki yüzey gerilimini düşürerek, iş parçası üzerinde kolay yayılmasını ve ıslatmasını sağlamak
- Bazı durumlarda birleştirme bölgesinin yavaş soğumasını sağlamak
- Sert lehim alaşımından önce ergiyerek, yaklaşık sert lehim sürecinin başladığını bildirirler. Bu özellikle tav rengi göstermeyen alüminyum ve alaşımlarında önemli bir unsurdur.

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

Sert lehimleme sonrasında dekapan artıkları temizlenmelidir, aksi taktirde dekapanın özelliğine göre bulunduğu bölgede korozyona neden olabilir. Bu temizlik işlemi su ile yıkayarak, mekanik olarak fırçalayarak, sert lehimli parça henüz sıcak iken suya daldırılarak veya kimyasal yollarla yapılabilir (Oğuz B, 1988).

2.5. Direnç Kaynağı

Elektrik direnç kaynağı, elektrik akımının ısı etkisinden yararlanarak, bir kaynak devresi içinde birleştirilecek metalleri direnç olarak kullanıp, basınç altında çözülmez birleştirme haline getirme yöntemidir.

Uygulamada ilave malzeme gerekmemektedir. Bu nedenle yöntem, uçak, taşıt, makine, küçük taşıma kapları, vb yapım dalları için rasyonellik açısından önem taşımaktadır.

Ana esasa bağlı kalmak koşulu ile, elektrik direnç kaynağını dört farklı uygulama alanına ayırmak mümkündür (Vural, 2003).

- Nokta direnç kaynağı
- Dikiş direnç kaynağı
- Kabartılı direnç kaynağı
- Alın direnç kaynağı

2.6. Termit kaynağı

İşlemin esası, alüminyumun oksijene karşı afinitesinin diğer metallere kıyasla daha fazla olmasından yararlanarak, ince taneler halindeki oksitlerin redükte edilmesine dayanmaktadır.

Bu reaksiyonlar istisnasız ekzotermik bir karaktere sahiptir. Tüm termit reaksiyonlar dışı ısı vererek gelişirler. Metalotermite yolla demir ergitilmesi için, reaksiyon metali olarak alüminyum en ekonomik ilave malzemedir. Bu oluşum alüminotermite reaksiyon olarak adlandırılmaktadır. Zor ergiyen metallerin (Cr-, Mn-, Si, Co- gibi) kaynak amacına ulaşılmasında Al- yöntemi büyük anlam taşımaktadır.

Ateşe dayanıklı bir pota içindeki demir oksit ve alüminyum tanelerinden oluşmuş karışımda reaksiyonun başlaması için bir ön tutuşturma işlemine gerek bulunmaktadır. AT- karışımında yaklaşık tutuşma sıcaklığı 1300 civarındadır. (Ay ve Demircioğlu)

2.7. Katı Hal Kaynağı

Katı hal kaynağı metallerin erime sıcaklıklarını aşmadan birleştirildikleri kimyasal bileşik oluşumudur. Katı hal kaynak işleminin avantajları, birleştirilen parçaların işlem sonrası ilave bir işleme ihtiyaç duymaması (talaş kaldırma gibi) ve tek bir kaynak işlemi boyunca birden çok yüzeyin birleştirilebilmesidir. Dezavantajları ise klasik kaynak ve lehim yöntemleri ile karşılaştırıldığında genellikle uzun işlem süresi ve birleştirilecek parçalardaki boyutsal sınırlamalardır.

2.7.1. Katı Hal Birleştirmelerini Açıklayan Hipotezler

Metalsel malzemelerde katı halde birleşmenin oluşumunu açıklayan çeşitli hipotezler mevcuttur. Bu hipotezler, film hipotezi, rekristalizasyon hipotezi, enerji hipotezi, dislokasyon hipotezi, elektron hipotezi ve difüzyon hipotezidir.

Film Hipotezi: Bu hipoteze göre temiz yüzeylere sahip bütün metaller ve alaşımlar birleştirilebilmektedir. Yüzeyler arasında birleşme olabilmesi için yüzeylerin, atomlar arası kuvvetlerin etki alanına girmesi gerekir. Ancak gerçek uygulamalarda birleşme kalitesinde farklılıklar gözlenebilir. Bunun nedeni yüzey filmlerindeki farklılıklardan ileri gelmektedir. Yüzeyler soğuk zorlandığında, sert kırılğan ve altlarındaki temiz yüzeyler açığa çıkar. Bu durumda meydana gelen bağlantı sağlamdır. Eğer yüzeydeki film plastik ise film yüzeye yayılır ve bağ oluşmaz.

Enerji Hipotezi: Hipoteze göre birleştirilecek parçalar, ara yüzeyde adezyon meydana gelebilmesi için gerekli enerji eşik değerine yükseltilmelidir. Bu eşik enerji seviyesinde atomik bağın oryantasyonu artık bir faktör değildir. Yüzeylerde atomlar arasında metalik bağ oluşur ve ara yüzey kaybolur. Atomların enerjisi arttıkça adezyon için gerekli plastik deformasyon ihtiyacı azalır. A.P.Semanov'a göre metallerin adezyonu difüzyonsuz bir süreçtir; ancak yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu uygulamalarda difüzyon süreci ilave bir katkı sağlayabilir. Bu hipotezin zayıf tarafı, aradaki adezyonun derecesinin malzemenin hangi özellikleri tarafından belirlendiğinin açıklanamamasıdır.

Rekristalizasyon Hipotezi: Deformasyonun ardından gerinim sertleşmesi oluşumu ve ilave olarak yüksek sıcaklığa maruz kalma kafesindeki atomların diğer yerlere hareketine yol açar. Böylelikle birleşmekte olan parçaların ara yüzeyinde her iki parçanın da sahip olduğu ortak yeni taneler şekillenirler. Ancak bu hipotezi her zaman doğrulamak mümkün olmamıştır.

Elektron Hipotezi: Hipotezi geliştiren G.V.Samsonov'a göre yüzeylerin adezyonu, temas halindeki metal atomları ile ilgili durağan elektron dizisinin oluşumu ile sağlanır. Metallerdeki ve kimyasal bileşiklerdeki element atomlarının elektron dizileri, kaynak edilebilirlik, yüzeylerdeki ıslatabilirlik ve difüzyon süreçleri hakkında önemli bilgiler verir.

Dislokasyon Hipotezi: Freidel ve Astrov'a göre ara yüzeydeki plastik deformasyon dislokasyonların yüzeye hareketine yol açar. Dislokasyonların bu hareketi sonucunda

yüzeyde, her biri atom yüksekliğine sahip basamaklı bir yapı oluşur ve koruyucu oksit film kırılır. Bu konuda iki ayrı görüş mevcuttur. Bunlardan ilkinde göre, temas yüzeyinde dislokasyonların doğuşu plastik deformasyona olan direnci azaltarak birleşimine yardımcı olur. Diğer görüşe göre ise, dislokasyonların doğuşu temas yüzeylerindeki girinti-çıkıntı sayısını arttırarak daha büyük bir plastik deformasyona yol açar. Dislokasyon hipotezine göre adezyonun yolu ile bağ oluşumu temas bölgesinde malzemenin plastik akışı ile sağlanmaktadır. Adezyonun ardından bir difüzyon sürecinin de etkili olabileceği kabul edilmektedir.

Difüzyon Hipotezi: Difüzyon hipotezine göre temas halindeki yüzeyler arasında sağlam bir bağ oluşumu malzeme atomları arasındaki difüzyona bağlıdır. Metal yüzeylerindeki atomlar açık bağlara sahiptir. Bu nedenle bu atomlar, atomlar arası kuvvetlerin etkili olduğu mesafe içinde herhangi bir atomu tutabilirler. Serbest bir atom daha fazla enerjiye sahiptir. Atomun herhangi bir yere tutunması ile bu enerji serbest kalır.

Bu hipotezler, birbirleri ile çelişen kısımlarına karşın ortak bir görüşe sahiptir. Basınç kaynağında oluşan bağ metalik bağdır. Frenkel'e göre bu metal, ideal olarak kafesinde bulunan pozitif yüklü iyonlar ile bu iyonlarla etkileşimde bulunan çok sayıda elektronların bir koleksiyonudur. Bu elektron bulutunun iyonlarla etkileşimi metal parçaları bir arada tutar. Dolayısıyla, atomlar arası kuvvetlerin etki alanına girildiğinde parçalar birleşir (Dağlılar, 1994).

Katı hal kaynağı çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.

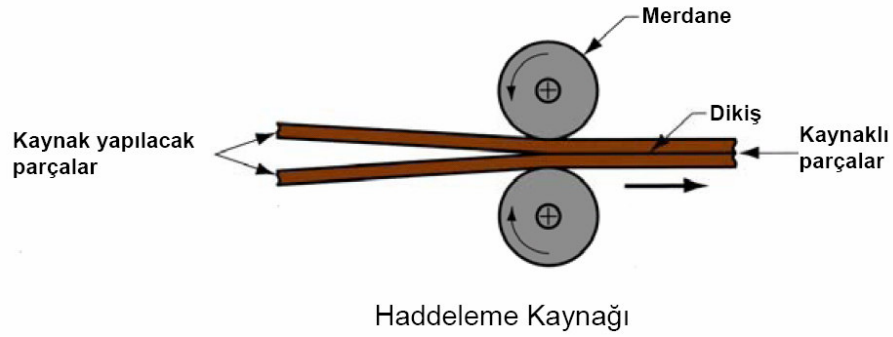
- Hadde kaynağı
- Patlamalı kaynak
- Ultrasonik kaynak
- Sürtünme kaynağı
- Soğuk basınç kaynağı
- Sıcak basınç kaynağı
- Difüzyon kaynağı

3. KATI HAL KAYNAĞI TÜRLERİ

3.1. Haddeme Kaynağı

Birleştirmeye yeterli basıncın, dış ısı ile veya olmadan merdaneler aracılığı ile uygulandığı katı hal kaynak yöntemidir. Parçaların işlemde önce ısıtılıp ısıtılmadığına bağlı olarak, eğer dış ısı yoksa soğuk haddeme kaynağı, eğer ısı uygulanıyorsa sıcak haddeme kaynağı adını alır.

Haddeme kaynağının uygulama alanları olarak korozyon direnci için paslanmaz çeliğin alaşimsız veya düşük alaşımlı çelik üzerine giydirilmesi, sıcaklık ölçümü için bimetalik şeritler ve sandviç tip metal paraların üretilmesi sayılabilir.



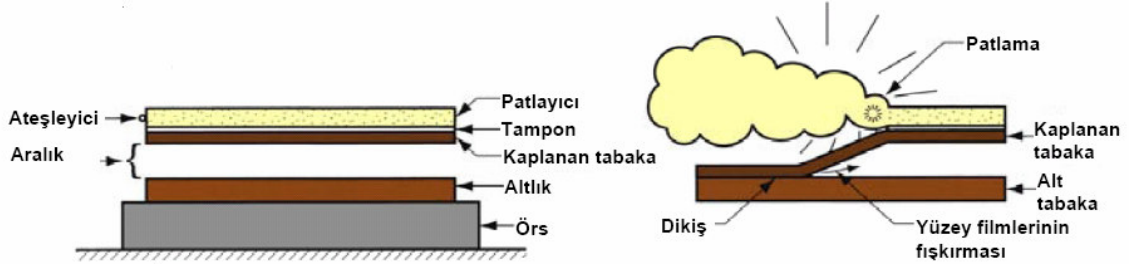
Şekil 3.1 Haddeme kaynağı

3.2. Patlamalı Kaynak

Prinsip bakımından soğuk basınç kaynağına benzer. Her iki yöntemde de dikey bir basınç kuvveti, teğetsel bir yükleme ile kombine şekilde etki eder. Bu yüzeydeki oksit tabakasının yırtılmasına ve yüzeyin büyümesine neden olur.

Gerekli yüksek basınç, işlem gören parçalardan patlayıcı madde ile yüklü birinin patlaması ile diğerine karşı 2 ila 25 lik bir açı altında ve 100 ila 1000 m/sn hıza kadar hızlandırılması suretiyle ortaya çıkar. Bu sırada çarpma basıncı 10 ila 100 K bar'a kadar çıkar. Şekilde görüldüğü üzere, hızlandırma yolu (mesafesi) için önceden ayarlanmış bir mesafe gereklidir.

Çarpma yüzeyinde metalde bir plastik deformasyon hasil olur ve karşılıklı yığılma ile dalgalı bir birleştirme yüzeyi meydana gelir. Yüzeydeki oksitler (oksit tabakası) birbirine çarpan levhaların arasından jet hızıyla dışarı fırlar.



Şekil 3.2 (1) Paralel konfigürasyon halinde yerleştirme (2) Patlayıcının patlaması esnasındaki durum

Patlamalı kaynak yöntemi ile nokta ve çizgisel şekilde birleştirmeler elde edilebileceği gibi, geniş levha yüzeylerinin birbiriyle birleştirilmesi de sağlanır.

Birleştirilecek yüzeylerin pisliklerden arı olması ve metalik temiz bir yüzeyin elde edilmesi kaynak için çok önemlidir.

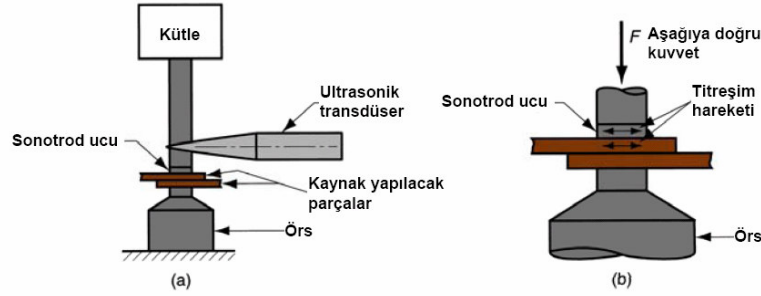
Temizlenen yüzeyler birkaç mm gibi yeterli bir aralık bırakılarak karşı karşıya (üst üste) getirilir. Aralıklar dalgalı metal şeritler veya tellerle sağlanır. Bunlar sonra birlikte kaynak edilir. Birleştirilecek tabakaların üst yüzeyine ince bir plastik tabakası ve bunun üzerine de patlayıcı madde yerleştirilir. Patlayıcı tutuşturulunca yüksek basınç ve hızla (1200 - 7000 m/sn) patlama olur ve üstteki sac alttakine kaynak edilir.

Genel olarak % 5' den fazla uzayan (genleşen) metal ve alaşımlar patlama kaynak yöntemi ile kaynak edilebilir. Çelik ve Alüminyum, Titan, Tantal, Zirkonyum veya Bakır ve Alüminyum gibi gevrek metaller arası bileşikler oluşturan malzemelerin kombinasyonunda da patlamalı kaynak başarı ile uygulanmaktadır. Üstteki parça ile yüklü hızlandırılan parçanın kalınlığı 1,1 ila 30 mm sınırları arasındadır. Fakat en uygun kalınlık 2 ila 10 mm arasında bulunur. Alttaki

hareketsiz parça için bir sınırlandırma yoktur. Şimdiye kadar kaynak yapılan en büyük patlama alanı 32 m²' ye çıkmıştır.

3.3. Ultrasonik Kaynak

Ultrasonik kaynak yönteminde parçalar, ultrasonik alandaki mekanik titreşimler ve hafif bir basınç yardımı ile birleştirilir. Bu amaçla bir elektro-akustik dönüştürücüden yararlanılır. Bu dönüştürücüde değişken bir elektrik akımı (örneğin 22 kHz) bir nikel alaşımının manyeto-striktif etkisi yardımı ile aynı frekanstaki boyuna mekanik titreşimlere çevrilir.



Şekil 3.3 Ultrasonik kaynak (a) Bir bindirme bağlantı için genel ekipman; ve (b) kaynak bölgesinin yakından görünüşü

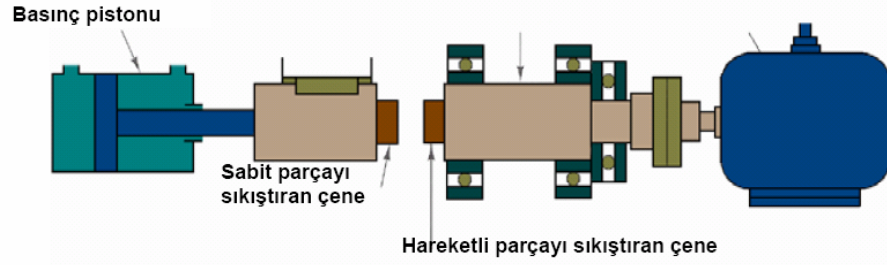
Birleştirilecek parçalar sabit bir “örs” üzerindedir. Sonotrod yardımı ile teğetsel titreşimler parçaya aktarılır. Sıkıştırma kuvveti ve kaynak yüzeyleri arasındaki bağıl hareketlerin genliği yeterince yüksek ise, akma başlar. Kir, su ve oksit filmleri yırtılır. Yüzeyler ısınır, düzlenir, birbirlerine yaklaşarak bağ kuvveti etkin hale gelir. Isınma sadece çok ince bir tabaka ile sınırlıdır.

Bu yöntemle, yumuşak metallere (alüminyum, altın) ince sacların, folyoların veya tellerin (kalınlık 0,03 – 2 mm), daha kalın çelik, demir dışı metallere, cam veya seramik gibi malzemeler üzerine kaynağı yapılır. Sert ve tabakalar halinde kırılan bir oksit tabakasına sahip alüminyum, bu yöntem için çok uygundur. Ultrasonik kaynak bu malzemelerin dışında diğer birçok metal kombinasyonlarının birleştirilmesinde de kullanılabilir.

Ultrasonik nokta kaynağı ile sıcaklığa dayanıklı yarı iletken kontaklar büyük sayılarda seri olarak üretilirler. Folyo haddehanelerinde alüminyum folyo bobinleri birbirleri ile ultrasonic dikiş kaynağı yardımıyla birleştirilerek kesintisiz bantlar elde edilir (Gültekin, 1991).

3.4. Sürtünme Kaynağı

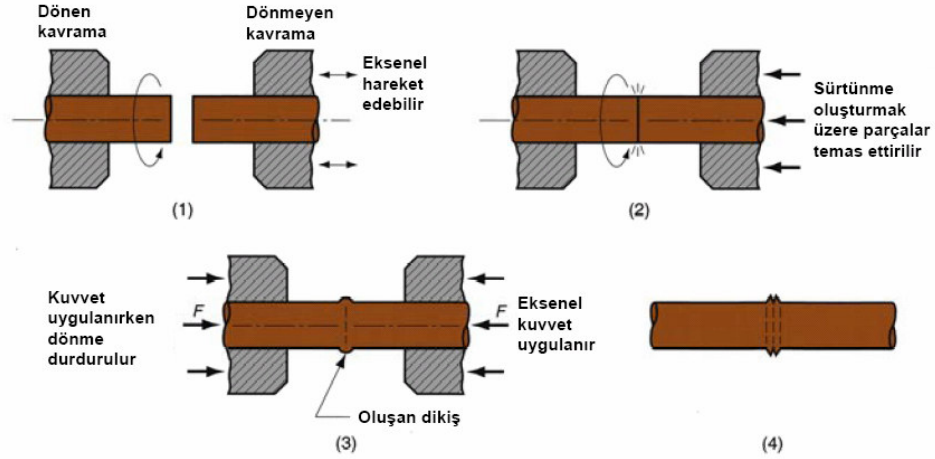
Sürtünme kaynağı, genellikle dönel simetrisi olan parçaların, basınç altında (pres kaynağı) alın kaynağı için kullanılır. Isı ihtiyacı, mekanik olarak sürtünme ile sağlanır. Sürtünme kaynağı, metelsel malzemeler ve kombinasyonları ile plastiklerin birleştirilmesine uygundur.



Şekil 3.4 Sürtünme kaynak ekipmanı

Alın kaynağı yapılacak parçalar, biri dönen, diğeri dönmeyen aksenal hareketli çenelere bağlanır ve ilave metal kullanmadan basınç altında birleştirilir.

Parçaların birleştirilecek yüzeyleri arasında bağıl bir hareket olduğundan, sürtünme söz konusudur. Sürtünme parçaların ısınmasına neden olur. Yeterli ısı girdisi sağlandığında, bağıl hareketler durdurulur ve kuvvet artırılarak parça birleştirilir. Bu yöntemde, birleşme yüzeyinde karakteristik bir yığılma çapağı meydana gelir. Başarılı bir birleşme için, dönme hızının ve basma kuvvetlerinin doğru seçilmesi önemlidir.



Şekil 3.5 Sürtünme kaynağının oluşum evreleri

Günümüze kadar metalsel malzemelerin seri üretiminden sadece sabit makaralarla dönel sürtünme kaynağı yaygın olarak uygulanmıştır. Bu yöntemin iki uygulama şekli vardır;

- Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı
- Volan tahrikli sürtünme kaynağı

Bu yöntemlerde tahrik şekli ve yığılma işlemi birbirinden farklıdır. Birinci yöntemde enerji girdisi sürekli tahrikle (motor) ve sabit dönme hızında yapılır. Parçalara yeterli ısı girdisi sağlanınca tahrik kesilir ve dönel hareket bir fren yardımıyla mümkün olduğunca hızlı bir şekilde durdurulur. İkinci yöntemde ise, parçaya verilecek enerji, dönel bir volana depolanır. Bu kinetik enerji parçaların ısıtılması için kullanılarak parçaların kaynağı tamamlanır.

ABD’de ve uçak, uzay sanayinde genellikle volan tahrikli sürtünme kaynağı kullanılır. Avrupa’daki kaynak makineleri ise genellikle sürekli tahrikli makinelerdir. Ancak bu makineler oldukça geliştirilmiş olup, frenleme ve yığılma süreleri serbestçe ayarlanabilmektedir. Yani yığılmanın, tahrikin durdurulmasından sonra yapılması zorunluluğu yoktur. Bu tür çalışmaya “kombine sürtünme kaynağı” adı verilir.

3.4.1. Sürtünme Kaynak Makineleri

Sürtünme kaynağı makineleri yatay ve düşey (ender olarak) sabit kaynak makineleridir. Makine büyüklüğü, uygulanan en yüksek yığma kuvvetine bağlı olarak değişir. Hassasiyetleri bakımından takım tezgahları ile karşılaştırılabilirler.

Sürtünme kaynağı tam mekanize bir yöntem olup, otomasyona çok uygundur. Sürtünme kaynak makineleri için değişik ilave donanımlar söz konusudur. Parça yükleme ve boşaltma donanımı, hızlı takım değiştirme donanımları, parametre kontrolleri, yığma çapağının ve yüzeylerin nümerik kontrollü olarak işlenmesi, dönel ayna için pozisyon kontrollü fren bu donanımlara örnektir.

3.4.2. Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilebilen Malzemeler

Birçok metalsel malzeme ve kombinasyonunun sürtünme kaynağı için uygulamalar ve deneyler ile elde edilmiş verileri mevcuttur. Sürtünme kaynağının özelliği, eritme kaynağının uygulanamadığı malzeme ve malzeme kombinasyonlarında da başarıyla kullanılmasıdır. Diğer kaynak yöntemleri için kaynağa uygunluğu belirleyen kriterler, sürtünme kaynağı için her zaman kullanılmaz. Bunun nedeni, birleştirme sıcaklığının düşük, kaynak süresinin kısa ve birleştirmenin bir kuvvet altında yapılmasıdır. Buna örnek olarak çeliğin (alaşımli veya alaşımsız) alüminyum ve bakır ile, toz metalurjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin alüminyum ile, sert ve ağır metallerin diğer metallerle sürtünme kaynağı gösterilebilir.

3.4.3. Sürtünme Kaynağı Yapılabilecek Parça Geometrileri

Sürtünme kaynağı ile dolu ve içi boş kesitlerin kaynağı yapılabilir. Dolu kesitlerde çaplar 1 mm' den 300 mm' ye kadar olabilir. Boş kesitlerde ise, benzer büyüklükteki kesit alanlarına sahip parçalar sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Yakın zamana kadar geçerli olan, sürtünme kaynağının sadece dönel kesitlerde kullanılabileceği sınırlaması, günümüzde değerini yitirmiştir. Dönel aynanın istenilen pozisyonda frenlenmesi sayesinde, dönel simetrisi olmayan parçalarında kaynağı yapılabilmektedir.

3.4.4. Sürtünme Kaynağında Kaynak Parametreleri

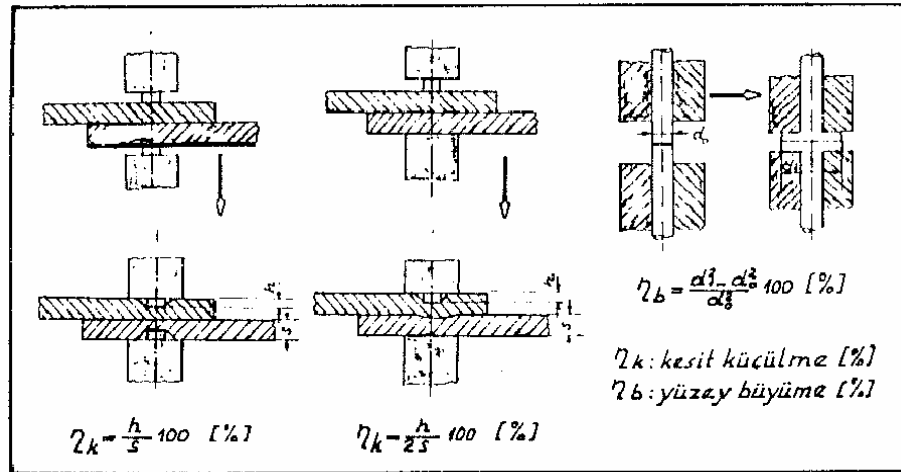
Kaynak parametrelerinin (dönme hızı, aksenal kuvvetler, parçaların kısılması, kaynak süresi) ve bunların zamanla değişiminin kontrolü kolay olup, bu sayede kaynak işleminin akışı programlanabilir. Buna paralel olarak malzemelerden gelen etkilerde kontrol edilebilirse, kaliteli ve güvenilir kaynak dikişleri elde edilebilir. Bu veriler, istatistiksel değerlendirmeler

için çok uygundur. Böylece kaynağı yapılan parçaların yüksek düzeyde bir güvenilirliğe sahip olması sağlanabilir. Değişik malzemeler için önemli kaynak parametreleri şekilde verilmiştir.

Sürtünme kaynağı yıllardır hızlı, çevreye zararlı olmayan ve güvenilir bir kaynak yöntemi olarak kabul edilmektedir. Seri ve kütle üretiminde kullanılır. Ayrıca az sayıda parçalar içinde (örneğin tamir kaynakları) ekonomik olarak kullanılabilirler. Sürtünme kaynağı, takım üretiminde ve otomotiv sanayinde çok yaygın olarak aks parçalarında kullanılır. Sürtünme kaynağından hafif yapıların elde edilmesinde de yararlanılabilir. Örneğin bir tahrik mili orta kısmı alüminyumdan uçları ise çelikten olacak şekilde imal edilebilir. Diğer uygulama alanları, elektroteknik, yapı endüstrisi ve tesisat yapımıdır (Anık ve Vural, 1993).

3.5. Soğuk Basınç Kaynağı

Soğuk basınç kaynağı, eş veya eş olmayan özelliklerdeki metalsel malzemelerin, oda sıcaklığı veya hafif tavlama ortamında, fakat her durumda malzemelerin rekristalizasyon sıcaklığından düşük sıcaklıklarda, yüksek basınç kuvvetlerinin etkisi altında oluşan plastik biçim değiştirmeleri ile birlikte gerçekleştirilen bir birleşme yöntemidir.



Şekil 3.6 Soğuk basınç kaynağında biçim değiştirmeler ve oranları

Tüm soğuk pres kaynağı uygulamalarında, öngörülen birleşmenin sağlanması için, her iki parça da biçim değiştirmenin belirli bir orana ulaştırılmış olması, ortak bir şart olarak

gerekmektedir. Bu biçim değiştirme oranı, bindirme kaynak birleştirmelerinde “kesit küçülmesi”, alın kaynak birleştirmelerinde ise yüzey büyümesi olarak tanımlanmaktadır.

3.5.1. Ön Hazırlama ve İşlemin Yapılışı

Metalsel malzemeler buldukları ortam veya daha önce görmüş oldukları işlemler nedeni ile, yüzeysel olarak farklı bir tabaka ile (oksit, yağ, sülfid, gaz gibi) örtülü durumda bulunmaktadırlar.

Kaynak edilecek yüzeylerin mekanik veya kimyasal usullerle temizlenmesi gereklidir. Mekanik yolla temizlemede, kuru ortamlı talaş kaldırma veya dönel tel fırçalama uygulamalarından yararlanılmaktadır. Bu uygulamaların mümkün olmadığı biçimlerde kimyasal yolla temizlemeye başvurulabilmektedir.

Temizleme esnasında ulaşılan mertebe, birleştirme kalitesi için bir ölçek olarak kabul edilmektedir.

İşlemimin yapılışı esnasında da, temizleyici yönde bir etki ayrıca bulunmaktadır. Örnek olarak alın kaynağında, parçaların bir arada sıkıştırılması ile yüzeyin bulunduğu tesir alanında yığılma genişleme şeklinde bir şekil değiştirme ortaya çıkmaktadır. Bu oluşum içinde yüzeydeki yabancı tabakada da, hızla, dışa doğru bir akma etkisi doğmaktadır. Yüzeydeki birkaç temas köprüsünde, bu yabancı tabakaların içten kaynak olabilme durumu da ortaya çıkabilmektedir.

Basma kuvvetlerinde artım sağlanması ile bir yandan kaynak yüzeyinin büyümesi sağlanıp, diğer yönden ise yabancı tabakaların yüzeyden uzaklaştırılması kusursuz bir duruma getirilebilmekte, bunların sonucu olarak kontak noktalarının toplam kesite ulaştığı mertebede de daha kaliteli bir kaynak birleştirme elde edilebilmektedir.

Basınç kuvvetlerinin artması ile aşağıdaki sonuçlara daha kolay ulaşılmaktadır.

- İki parça arası yüzeylerde kalan yabancı tabakalar daha kolay parçalanır ve uzaklaşır.
- Yüzeysel temas aralığındaki kontak noktalarında serbest gaz atomları bulunmama durumuna ulaşılır.
- Temas yüzeylerinde ara atomsal bağ kuvvetleri etkili duruma çıkar ve birleşme oluşur.

3.5.2. Kaynak Edilebilir Malzemeler

Birleştirme tekniği olarak son 20 – 25 yıldır uygulanan bu yöntem, 2000 seneden daha fazla bir süreden beri bilinmektedir. İlk olarak da altın levhaların birleştirilmesinde uygulandığı saptanabilmektedir.

Çizelge 3.1 Soğuk basınç kaynağı ile birleştirilebilen malzemeler

Ti	Cd	Be	Pd	Pt	Sn	Pb	W	Zn	Fe	Ni	Au	Ag	Cu	Al	
o								o					o	o	Ti
	o				o	o									Cd
													o		Be
								o			o				Pd
			o	o	o			o		o	o	o	o	o	Pt
				o	o					o		o	o	o	Sn
					o			o		o	o	o	o	o	Pb
													o	o	W
								o	o	o	o	o	o	o	Zn
									o	o			o	o	Fe
										o	o	o	o	o	Ni
											o	o	o	o	Au
												o	o	o	Ag
													o	o	Cu
														o	Al

Yöntem esas olarak, yeterli derecede şekil değiştirmiş kaynak yüzeyi ve örtü tabakasının söküp atılma ön koşullarının sağlanma durumlarında tüm malzemeler için uygulanabilir. Şekilde verilen kaynak yatkınlıkları cetvelinde de görüldüğü gibi, özellikle soğuk şekil değiştirme kabiliyeti yüksek olan malzemeler bu uygulamaya daha uygun bulunmaktadır.

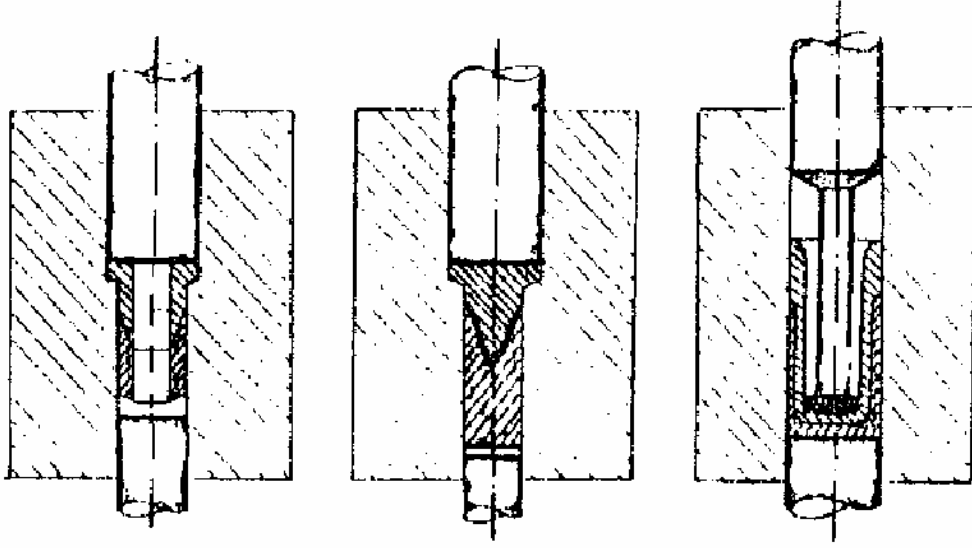
İşlemden birleştirilen malzemeler için oluşturulan şekil değiştirme ve bunun yüzey büyümesine yansımaları, belirli sınırların üstünde olması uygun görülmektedir.

3.5.3. Uygulama Alanları

Önemli uygulama biçimleri, elektrik direnç esasına göre yapılan kaynak işlemlerinden nokta, dikiş ve alın kaynaklarında olduğu gibidir.

Alın kaynağında, malzeme türlerine göre kaynak edilebilen kesitler 1 – 1000 mm² aralığında olabilmektedir. Küçük kesitler (teller) elle kumandalı aygıtlarla, büyük kesitler ise yarı veya tam otomatik presler yardımı ile birleştirilmektedir. Gerekli basma basıncı ile kaynak tezgahının belirlenmesinde malzeme çeşit veya çeşitleri ile parça kesiti ana etkenler olmaktadır.

Alın kaynakları için Cu- ve Al- elektrik iletkenliklerinin veya bunların kombinezonları birleştirilmeleri tipik örneklerdir.



Şekil 3.7 Malzeme akışı ile gerçekleştirilen birleştirme türleri

Alın kaynağı için uygulamada alışılmış bir diğer şekil ise sürekli basınçla tamamlanan birleştirmedir. Bu tür uygulamada ileriye dolu malzemenin akışı, ileriye içi boş malzemenin akışı ve ters yönde malzeme akış şekilleri ile birleşmeler gerçekleştirilmektedir.

Şekil değiştiren yüzeyin büyük olmasından yararlanılarak yapılan bu işlem, düşük kaynak yalıtkanlığı olan malzemelere de, örneğin çeliklere de uygulanabilmektedir.

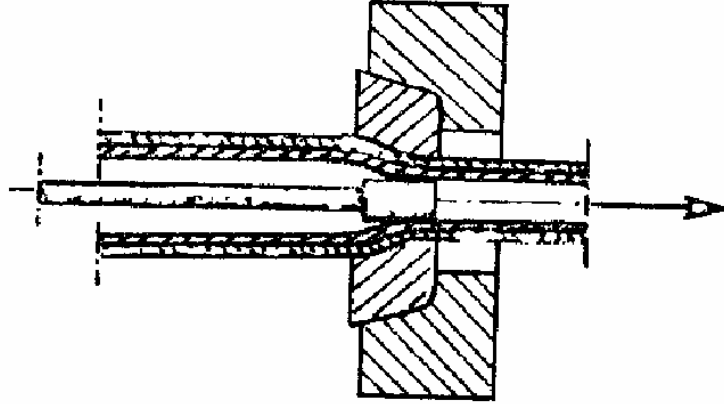
Nokta kaynağı ise elektronik endüstrisinde çokça uygulama alanına sahip bulunmaktadır. Özellikle farklı malzemelerden iletkenlerin birleştirilmesinde örnek olarak malzeme kombinezonlu anod plakaları, kondansatörler, kontak elemanları, tellerin bir araya getirilmelerinde uygulanmaktadır.

Bu tür birleştirmelerde kullanılan sistemlerin, sıkıştırma donatımları elle kumandalı pnömatik olabilmekte, tutucu kısımlar değiştirilebilir farklı biçimlerde, tek veya çift taraflı hareketli olarak düzenlenmektedir.

Dikiş kaynağı ise, nokta birleştirmelerinin sürekli duruma getirilmesi yapılmaktadır. Bu uygulama ile sıvı, gaz, akışkan ve vakum ortamları için kap ve kutu profillerinin dikişleri oluşturulmakta ve bu ürünler gıda, eczacılık, kimya ve aletleri taşıma kapları olarak kullanılmaktadır.

Soğuk basınç kaynağı uygulamasından yararlanılarak, boruların iç içe kaynağı da gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlemlerde kullanılan çekme takımları ile çekilen parça temas yüzeylerinin uygun boyut ve hassasiyette olması gerekmekte ve esas işlemden önce bir deneme yapılmasına gerek duyulmaktadır.

Soğuk pres kaynağının özellikle üstün görülen yönü farklı malzemelerin birleştirilmesinde belirginleşmektedir. İşlem düşük sıcaklıkta gerçekleştirildiğinden ergime noktaları ile alaşım durumlarındaki farklılıkların hiçbir rolü bulunmamaktadır. Kontak yüzeylerinde ötektik metal arası fazlar ve ara tabakalar oluşmaktadır.



Şekil 3.8 Boruların çekme esasına göre soğuk basınç kaynağı

Alaşım oluşumu ve dönüşümlere bağlı, bölgesel sertlik yükselmeleri ortaya çıkmamaktadır. Soğuk şekil değiştirme nedeni ile dayanım artması özellikle geçiş bölgelerinde, dikkate değer oranlarda görülmekte ise de, uygulama örnekleri açısından emniyet sınırları içinde kaldığından herhangi bir sorun ortaya çıkmamaktadır (Gültekin, 1991).

3.6. Sıcak basınç kaynağı

Metaller kaynak işlemi sırasında ısıtılırsa, artan sıcaklıkla eşik deformasyon değeri azaldığından, kaynak işlemi çok daha kolay ve başarılı bir şekilde gerçekleşir. Bu nedenle çok sayıda sıcak basınç kaynağı yöntemi geliştirilmiştir. Muhtemelen bunların en eskisi demirci kaynağı olup yaklaşık M.Ö. 1400 yıllarından beri demirciler tarafından kullanılmaktadır. Bu yöntemde, birleştirilecek olan dövülebilir demir veya çelik çubuklar 1350 °C' ye kadar ısıtılırlar. Bu sıcaklıkta yüzey üzerindeki demir oksit erir birleştirilecek elemanlar beraberce çekiçle dövüldükleri zaman, sıvı haldeki bu oksitler bağlantı yerinden sıkıştırılarak atılırlar. Bundan sonra, bağlantı soğuk basınç kaynağına göre daha düşük deformasyon seviyelerinde oluşur.

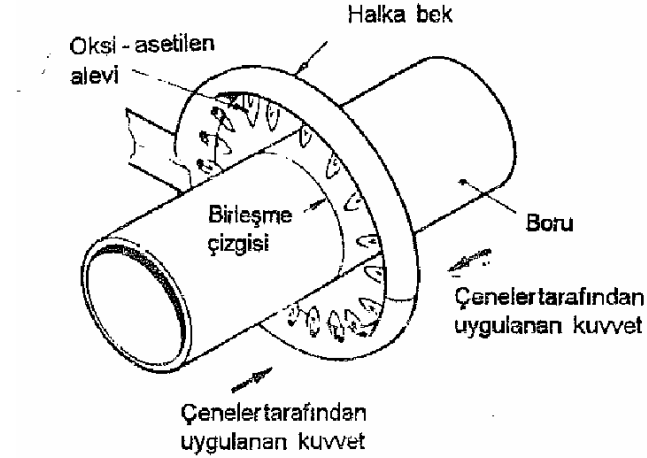
Sıcak basınç kaynağı günümüzde daha ziyade süsleme işlerinde kullanılmaktadır. Ancak kaynak oluşturmayı kolaylaştırmak için elemanı ısıtma prensibi, sıcak basınç kaynağının çok sayıdaki modern yöntemlerinde de kullanılmaktadır. Burada temel amaç arayüzeyleri eşik değerinin %25' lere düştüğü sıcaklığa yükseltmektir, bu nedenle de ısıtma yönteminin ne

olduğu çok önemli değildir. Sıcak metal soğuk basınç kaynağındaki halinden çok daha plastik olduğu için sıcak basınç kaynağında gerekli kuvvet daha küçüktür, bu nedenle çelik gibi sert metallerde kaynak oluşturmak mümkündür. Soğuk basınç kaynağının aksine kaynak bölgesindeki malzeme sertleşmez.

Sıcak basınç kaynağı için bağlantıyı ısıtmada kullanılan çeşitli metotlardan en başarılı olan üçü; gazla ısıtma, dirençle ısıtma ve endüksiyonla ısıtmadır.

3.6.1. Gazla Isıtma

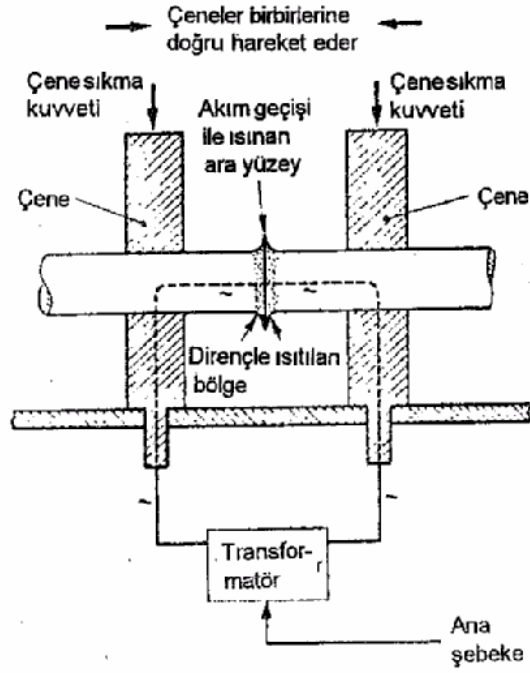
Bağlantı etrafında halka şeklinde bir bek oluşturulur. Bu bekin çevresi üzerinde üniform olarak yer almış deliklere asetilen ve oksijen gazı karışımı gönderilir.



Şekil 3.9 Küçük çaplı boruların oksii-asetilen basınç kaynağı

3.6.2. Dirençle Isıtma

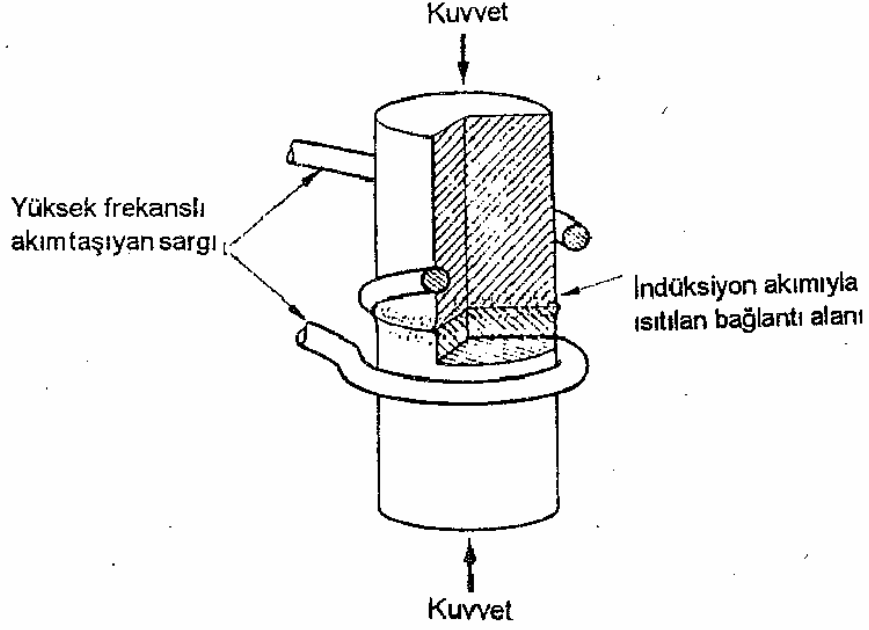
Bu yöntem, bir dirençten akımın geçmesiyle oluşan ısıtma etkisinden yararlanır. Basınç kaynağı için genellikle dairesel çubuk olan parçalar, çeneler arasında tutturulur ve arayüzey boyunca parçalardan bir yüksek akım geçirilir. Çubukların uçları basınç altında temas halinde olmakla birlikte, arayüzeydeki oksitler kaynak akımının geçişine bir direnç oluşturur ve bu nedenle bu bölgede ısı üretilir. Isı üretim hızı hem akımla hem de dirençle değişir. Direnç belli dereceye kadar, elemanları yakın temasa getiren ve böylece elektrik akımını ileten alanı arttıran basıncın değerine bağlıdır.



Şekil 3.10 Direnç alın kaynağının prensipleri

3.6.3. İndüksiyonla Isıtma

Bu yöntemde, kaynak edilecek elemanları saran bir sargıdan geçirilen yüksek frekanslı akım kullanılır. Sargıda oluşturulan manyetik alan iş parçalarında indüksiyon akımı yaratarak, bunların ısınmasına neden olur.



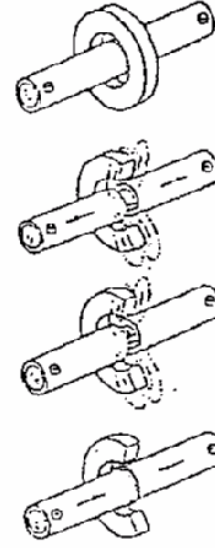
Şekil 3.11 Sıcak basınç kaynağında arayüzeyin yüksek frekanslı akım kullanılarak ısıtılması

Sıcak basınç kaynağı her yere uygulanabilen bir teknik değildir. Uygulama alanı özellikle çubuk, boru ve dar şerit gibi geometrilerle sınırlanmıştır. En uygun sıcaklık ve basınç değerlerini belirlemek için bir seri deney yapmak gerektiğinden, tek bir kaynak işi için kullanılması genelde zordur (Gourd 1996).

3.6.4. Dönel Manyetik Ark ile Isıtma

Dönel manyetik arklarla basınç kaynağı, içi boş ve kapalı kesitlerin, basınç altındaki alın kaynağında kullanılır. Isı girdisi, manyetik olarak saptırılarak birleştirilecek parçaların kenarlarında hareket ettirilen bir arklarla sağlanır.

1. Başlangıç konumu
 - a) parçalar birbirine temas eder.
 - b) kaynak akımı ve manyetik alan uygulanır
2. Kaynak başlangıcı
 - a) parçalar belirli bir aralık elde edilene kadar açılır
 - b) Ark tutuşur.
3. Isıtma
 - a) ark döner
 - b) alın yüzeyleri erimeye başlar.
4. Kaynak sonu
 - a) parçalar yaklaştırılır ve yığılma kuvveti uygulanır.
 - b) kaynak akımı ve manyetik alan kapatılır.



Şekil 3.12 Dönel manyetik ark ile ısıtma evreleri

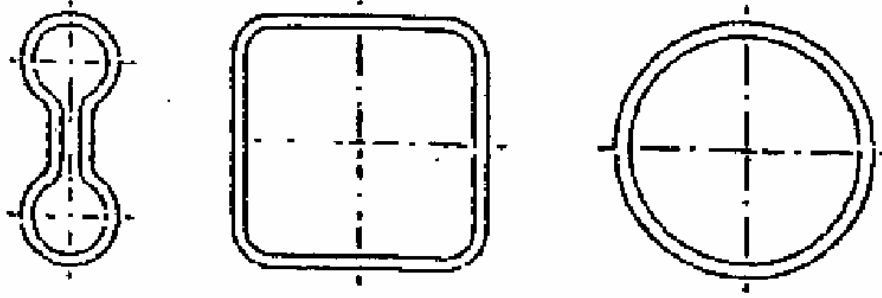
Ark, parçalar hafifçe temas ettirilerek tutuşturulur. Kaynak edilecek parçalar sabitleştirilir ve manyetik kuvvetle saptırılan ark, büyük bir hızla, birleştirilecek yüzeyle boyunca hareket eder. Bu şekilde alın yüzeyleri kaynağı tamamlanmış olur. Erimiş malzeme kaymak bölgesinden dışarı basılır ve bir miktar deformasyona uğrar. Bu şekilde, basınç kaynağı yöntemleri için karakteristik olan bir yığılma çapağı meydana gelir.

İki farklı uygulama söz konusudur: Dönel manyetik ark ile basınç kaynağı ve ergitme kaynağı. Ergitme kaynağında ark, kaynağı yapılacak alın dikişi ile bakır veya bakır alaşımından ergimeyen bir yardımcı elektrod arasında oluşturulur ve döndürülür. Birleştirilecek parçaların birleşme bölgesinde bir kaynak banyosu meydana gelir, dolayısıyla hata oluşma tehlikesi daha yüksektir.

Seri üretimde kullanılan kaynak makinelerinin çoğunluğu yatay yapıdadır. Makineler genellikle çift kafalıdır. Dönel manyetik ark kaynağı tam mekanize bir kaynak yöntemidir ve otomasyona uygundur. Otomasyon bileşenlerinin ve işleme ünitelerinin uygun olarak düzenlenmesi ile komple üretim hatları oluşturulabilir. Bunlar mevcut tesislere entegre edilebilirler veya tek başına çalışan sistemler olarak kullanılabilirler.

Temel kullanım alanı alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağıdır. Arka yardımı ile eritilebilen ve sıcak şekil verilebilen bütün malzeme ve malzeme kombinasyonlarının birleştirilmesinde dönel manyetik arkla basınç kaynağı yöntemi kullanılabilir. Kullanılabilir malzemelerin sınırlı oluşunun nedeni, hızla dönen arkın çevresindeki atmosferde türbülanslar oluşturması ve bu nedenle kaynak dikişi bölgesinin koruyucu gazla tam olarak korunmasının güçlüğüdür.

Dönel manyetik ark kaynağı, içi boş ve kapalı kesitli parçaların birleştirilmesinde kullanılır (arkın dönebilmesi gerekir.) Cidar kalınlıkları 0,7 – 6 mm olabilir. Borularda 5 – 30 mm çaplar birleştirilebilir, dönel simetrisi olmayan parçalarda ise buna tekabül eden dikiş uzunlukları gerçekleştirilebilir. Yöntemin en büyük avantajı, istenilen geometriye sahip parçaların (kesitin kapalı olması koşuluyla) büyük bir hızla kaynak edilebilmesidir.



Şekil 3.13 Dönel manyetik ark ile birleştirme örnekleri

Önemli kaynak parametreleri şekilde verilmiştir. Kaynak parametrelerinin bir denetim sistemi ile kontrolü mümkündür. Bu yöntemle kaynağı yapılacak parçaların konstrüksiyonunda yığma kuvvetlerinin uygulanacağı tutma yüzeyleri ile manyetik sargıların yerleştirileceği hacimler düşünülmelidir. Sargılar içten veya dıştan yerleştirilebilir (Anık ve Vural, 1993)

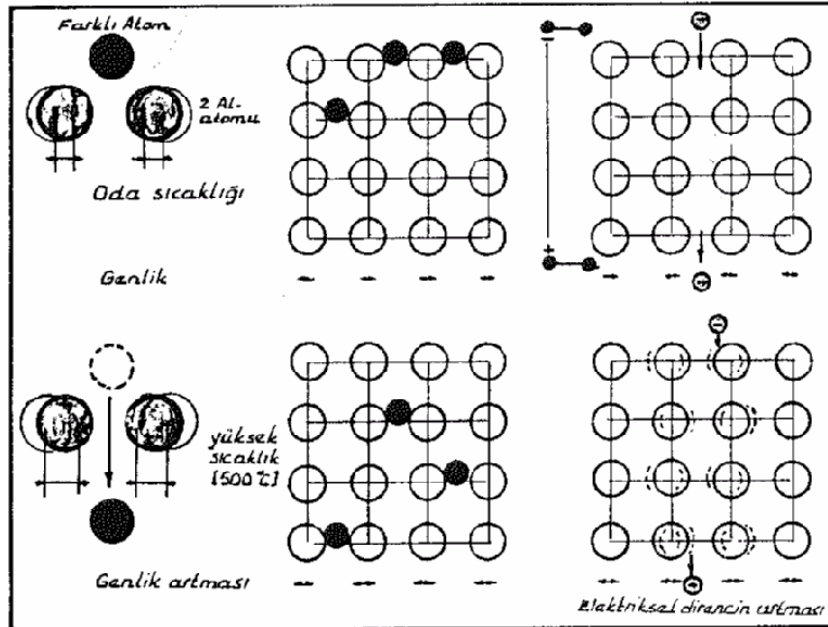
Çizelge 3.2 Dönel manyetik ark ile birleştirmede işlem parametreleri

Kaynak akımı	50 - 1500 A
Ark yanma süresi	0,4 - 15 san
Birim alan için yığma kuvveti	10 - 150 N/mm ²
Elektromıknatis sargı akımı	1,5 - 3,0 mm
Koruyucu gaz debisi	1 - 15 l/dak.

3.7. Difüzyon Kaynağı

3.7.1. Açıklamalar ve Genel Tanımlamalar

Isı etkisi ile katı, sıvı, yada gaz fazlarda yer değiştirme olarak tanımlanan difüzyon olayı; ısı hareketlerinden doğan kinetik enerjilerin dengelenmesi ve bölgesel yoğunluk farklılıklarının azalma eğilimlerinden kaynaklanmaktadır (Gültekin, 1991)

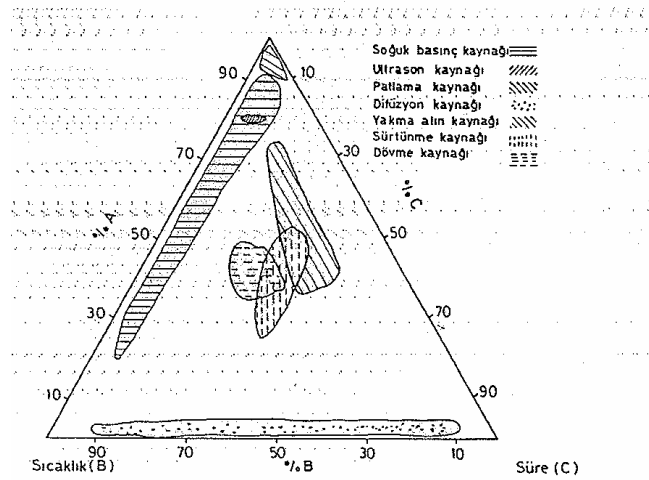


Şekil 3.14 Difüzyon olayı. Metallerde sıcaklık yükselmesinin difüzyon olayı ve elektrik iletkenliğine etkisi.

Difüzyon kaynağı, birleştirilmek üzere eşleşmiş iki yüzeyin, malzemelerde tespit edilebilir plastik akmaya yol açmayan bir basınçta, katı hal difüzyon yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzeme özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek bir süre tutulmasıyla uygulanan bir kaynak yöntemidir. Difüzyon kaynağı basınç ve ek ısı ile çalışan diğer kaynak yöntemlerinden uzun kaynak süresi, çok düşük deformasyon derecesi ve düşük kaynak sıcaklığı ile ayrılır.

Difüzyon kaynağı mekanizması itibariyle bir katı hal difüzyon birleştirmesidir. Kontak yüzeylerin birleşimi yüksek sıcaklıkta basınç uygulanması ile sağlanır. Kaynak sırasında erime olmaz ve yalnızca sınırlı makroskobik deformasyon ya da parçaların nispi hareketi meydana gelir. Katı bir dolgu metali (difüzyon yardımcısı) kontak yüzeyler arasında kullanılabilir yada kullanılmayabilir. Bazı terimler difüzyon kaynağı ile aynı anlamda kullanılabilir, difüzyon birleştirmesi, katı hal birleştirmesi, basınç birleştirmesi, isostatik birleştirme ve sıcak baskı birleştirmesi gibi.

Difüzyon kaynağının diğer katı hal kaynak tekniklerinin arasındaki konumu Şekil 3.15' de görülmektedir.



Şekil 3.15 Çeşitli katı hal kaynak tekniklerinin sıcaklık, süre ve deformasyon açısından karşılaştırılması

Difüzyon ile, değişik miktarlarda atom, molekül, belirli atom grupları, iyonlar veya elektronlar gibi elemanların göç ettirilmesi mümkün olabilmektedir.

Difüzyona yatkınlık bakımından, her bir element ve bunların buldukları fazlara göre büyük farklılıklar bulunmaktadır. Ayrıca bir reaksiyonda farklı yer değiştirme hızları, reaksiyon merkezinin çevresinde belirli bölgelerde hacimsel değişimlere neden olabilmektedir. Bir metalde atomlar, buldukları kafeste aralıksız ısı titreşime sahiptirler. Sıcaklığın artması ile artan bu titreşim durumu mutlak sıcaklıkta (-273,2 °C) de kesilmektedir. Bu titreşimler kristal kafeslerindeki atomların yer değiştirmesine yardımcı yönde etkilemektedir. Titreşimlerdeki genliklerin artması ile, atomların birbirinden uzaklaşması, çok kısa bir süre için boşluk oluşturmakta, yabancı atom bu aralıktan süzülerek geçebilmektedir.

Sıcaklığın artması ile difüzyonun kolaylaşması iki nedene dayanmaktadır;

- 1) Atomların titreşim genliklerinin artması
- 2) Kafeslerdeki boşlukların büyümesi

Kafes bağlarındaki boşalan yerlerin sayısı özellikle plastik şekil değiştirme ile yükselmektedir.

Elektronlar atomlardan çok küçük olduklarından, kafes bağlarındaki boşluk ve atomların titreşimlerine gerek olmadan yer değiştirebilmektedirler. Sıcaklığın yükselmesi ile atomların titreşimleri arttığından, elektronların yer değiştirebilmeleri için zig-zag hareketi yapmaları gerekmektedir. Bu durum elektronların yer değiştirmelerine, yavaşlama şeklinde yansımaktadır. Bu nedenle malzemelerde, 0 °K de elektron yer değişimine karşı fazla bir direnç kalmamakta, sıcaklığın yükselmesi ile de elektrik iletkenliğinde düşme görülmektedir.

Difüzyon olayı, atomların daha gevşek bağlara sahip olması nedeni ile, tane sınırlarında, orta kısımlara kıyasla daha hızlı oluşum şeklinde görülmektedir. Olay, intermetalik bağlara sahip (Fe_3C , Al_2Cu , gibi) ortamlarda özellikle karmaşık bir şekil almaktadır. Bir kıyaslama yapma açısından eş miktarda difüzyon için, gazlar için gerekli olan birkaç saniyelik süre, sıvılarda birkaç dakikaya ulaşmakta, katılarda ise birkaç gün ile seneler arasında değişmektedir.

3.7.2. Difüzyon Kaynağının Oluşumu

Teoride iyice temizlenmiş iki metal yüzeyi birbirine atomsal mertebede (10×10^{-10} m) yaklaşacak kadar bastırılırlarsa oda sıcaklığında dahi birleşirler. Özellikle atomlar arası mesafe $1 - 5 \times 10^{-10}$ m. arasında ise. Temas halindeki iki yüzey ideal olarak düzgün, paralel ve yeterince temiz ise arada metalsel bir bağ oluşumu için yeterli şartlar mevcuttur. Eğer temas yüzeyleri her türlü kirliliğinden ve pürüzlülüğünden muaf ise kaynak için itici kuvvetler yüzey enerjisini düşürür. Ancak bu pratikte mümkün değildir. Çünkü gerçekleştirilen yüzey temizliği hiçbir zaman yeterli değildir, Yüzeyler üzerinde daima bir oksit filmi ve adsorbe edilmiş yağlar ya da gazlar kalır. Temas edecek yüzeyler ne kadar itina ile hazırlanırsa hazırlansın gerçekte girintili çıkıntılı bir topografya gösterirler, temas yüzeyleri üzerinde gözle göremediğimiz pürüzlükler kalır. Bu pürüzler ve ayrıca yüzeyler üzerindeki oksit filmleri ya da yağ gibi kirlilikler birleşmeye engel olurlar. Bu tür yüzeyler karşılıklı olarak birbirine dokunduğundan çıkıntılarının bazıları ancak uç noktalarından oldukça sınırlı bir alanda temas ederler (Ananthanarayan, 1988),

Parçaların birleşmesi düzeyler arasında atomik seviyede bir bağ oluşumu dolayısıyla plastik deformasyonla mümkündür. Bu bağın kuvvetlendirilmesi ısıtma ve bu yolla interdifüzyonun artırılması ile sağlanır. Difüzyonun sıcaklıkla artması atomların titreşim genliklerinin ve kafesteki boşlukların sıcaklıkla büyümesi ile açıklanmaktadır.

Çizelge 3.3 Çeşitli işlemler sonucu yüzeyde oluşan pürüzlülük değerleri

Tipik yüzey pürüzlülüğü değerleri	
İşlem	Yüzey pürüzlülük ölçüsü (micrometre)
Testere ile kesme	1,6 - 50
Normal talaş kaldırma	0,8 - 3,2
İnce parlatma	0,05 - 0,4

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, difüzyon kaynağında birleştirilecek parçaların yüzeylerinin birbirine temas etmesi şarttır. Bu nedenle birleştirilecek yüzeylerdeki mikroskobik çıkıntılarının belirli bölgelerde karşılıklı olarak birbirine temas etmeleri gerekir.

Yüzeyler arasındaki ilk temas pürüzler arasında meydana gelir. Uygulanan basınç ve sıcaklığın etkisi ile uç noktalarda akma ve sürünme oluşur. Bu işlem yüzeylerin harekete başladıkları noktada oksit ve kir tabakalarının parçalanması ile başlar, birleştirilecek parçaların yüzeylerinin birbirine tamamen temas etmesi ile sonuçlanır. Difüzyon kaynağının mekanizması şu şekildedir:

- a) Yüzeylerin yalnız pürüzlü noktalarda temas etmesi
- b) Deformasyon ve sınır tabakasının oluşması
- c) Tane sınırlarının hareketli ve boşluklarının yok oluşu
- d) Hacimsel difüzyon ve boşlukların yok oluşu

3.7.3. Uygulama Alanları

Birçok çeşit metal kombinasyonu difüzyon kaynağı ile birleştirilebilir;

Benzer metaller doğrudan katı hal kaynağı ile birleştirilebilir. Bu durumda, gereken basınç, sıcaklık ve zaman değerleri sadece birleştirilecek metallerin karakteristiğine ve yüzey hazırlamasına bağlıdır.

Benzer metaller aralarına farklı bir metalden ince tabaka konarak birleştirilebilirler. Bu durumda tabaka daha hızlı difüzyon sağlayabilir yada birleşim bölgesinde mikro deformasyonların artmasına izin vererek yüzeyler arasında tam bir temas oluşturabilir. Bu ara tabaka ayırım bölgesinde hiç kalıntı bırakmayacağı uygun bir ısıl işleme tabi tutularsa ana metalin içine yayılabilir.

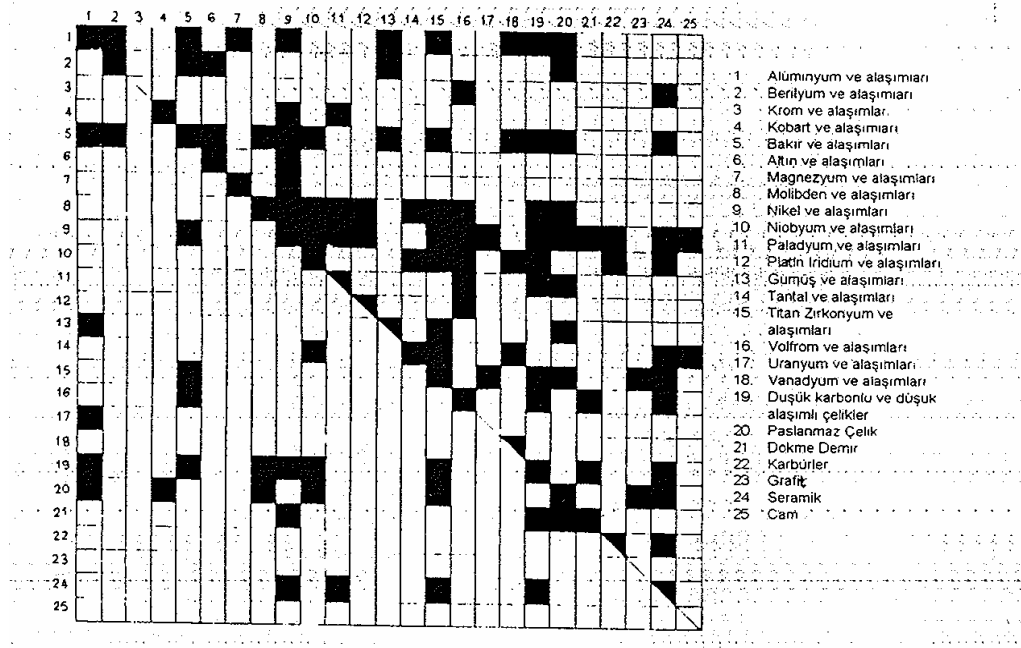
İki farklı metal doğrudan difüzyon kaynağı ile birleştirilebilir. Mekanizması yukarıda bahsedilen durumu ile benzer olmakla birlikte farklı metallerin yarattığı etkiler de eklenmelidir.

Farklı metaller, kontak yüzeyde üçüncü bir metal kullanımı ile birleştirilebilir. Bu metal ya difüzyonu hızlandırarak ya da yüzeyler arasında tam bir temas sağlayarak kaynak oluşumunu artırır. Yukarıda bahsi geçen kategorisi ile benzer bir durumdur.

Difüzyon lehim metallerin uygun sıcaklıklara kadar ısıtılarak ve dolgu lehim metali veya o bölgedeki sıvı fazı kullanılarak birleştirilmesini sağlayan işlemdir. Dolgu metali kontak

yüzeyler arasına yerleştirilebilir ya da kapılar etkisi ile yüzeylere dağıtılabilir. Basınç uygulanabilir ya da uygulanmayabilir. Dolgu metalinin, birleşimin özellikleri esas metalin özelliklerine ulaşana kadar esas metale yayılması sağlanır. Difüzyon lehim işlemi tamamlandığında belirgin bir dolgu metalinin katmanı bulmak mümkün değildir. Bu özelliği ile lehim prosesinden kendiliğinden ayrılır. Bu işleme bazen sıvı faz difüzyon birleştirmesi, ötektik birleştirme ya da aktive edilmiş difüzyon birleştirmesi denir.

Çizelge 3.4 Çeşitli malzemeler arasındaki ara tabakalı ve ara tabakasız birleşmeler (Siyah kareler kaynaklanabilir malzeme ve alaşımlarını göstermektedir.)



Difüzyon kaynağı ve lehimi arasındaki fark dolgu metali iki işlem içinde kullanılmaya başlandığından beri net değildir. Bununla beraber, anlaşılmıştır ki, bu ergime difüzyon lehim döngüsünün ilk safhası boyunca kontak yüzeylerde oluşmaktadır. Dolgu metal katmanı ergiyik veya ötektik sıvı fazda kendisi ile esas metal arasında bir alaşım oluşturabilir. Ara yüzdeki difüzyon yüksek sıcaklıkta devam eder ve lehim alaşımının tüm farklı katmanları sonuçta kaybolur. Ve birleşimin özellikleri neredeyse esas metal ile aynı olur.

Eğer dolgu metali kullanılır ve bu dolgu metali erimez ve esas metal ile sıvı fazda alaşım oluşturamaz ise işlem difüzyon kaynağıdır. Dolgu metalinin amacı özellikle difüzyon kaynağının ilk aşamasında birleşmeye yardım etmektir. Ara-yüzeydeki boşlukların yok edilmesine yardım eder ve sonuçta iki pürüzlü yüzey eşleşebilir. Uygun bir seçimle dolgu

metali kaynak sıcaklığında erir ve yüksek basınç altında akarak ara-yüzeydeki boşlukları doldurur. Sonuçta dolgu metali esas metalin içine yayılır ve kullanım için kabul edilebilir özelliklerde bir birleşim meydana getirir.

Çizelge 3.5 Çeşitli malzeme kombinasyonlarında difüzyon kaynağı şartları

Malzeme Çifti	Ara Tabaka Malzemesi	Basınç MPa	Sıcaklık 100..C	Süre Dak.	Atmosfer
Mo/Mo	Ti Folyo	69	9.2	120	Argon
Ta/Ta		69	13-14.1	180	İnert
Ta/Ta	Ti Folyo	69	8.6	10	Vakum
Ti-75A/Ti-75A		27-69	7	10	Vakum
Ti-75A/Ti-75A	Al Folyo	69	5.6	10	Vakum
W/W	Ni-Pd	69	9.7	90	Hidrojen
W/W	Re-Ta	140	10	30	
Zirkolay/302 SS			102.7	80	Vakum
Zr/Zr		69	8.35	210	Inert
Zr/U		152	8.35	2160	Inert
Zr/U-10 Mo		69	6.4	360	Inert
Alumina-Ta		69	15.2	120	Inert
Al/Al	Si Folyo	7-14	5.8	1	Vakum
Al/Cu		276	4.7	4	Vakum
Al/Cu		152-345	5.3	15	Vakum
Al/Ni		152-359	4.9	4	Vakum
Al/U	Ni Plaka	35	1.8		
Be/Be		69	8-8.9	240	Inert
Be/Be	Ag Folyo	69	7	10	Vakum
Nb/Nb		69	11.4-13	180	Inert
Nb/Nb	Zr	69	8.3	240	Argon
Cu/Cu		140	3.1	1	Hidrojen
Cu/Ti		5	8.4	15	Vakum
Cu/Al		7	5	15	Vakum
Cu/316 SS			9.7	120	Vakum
Inc/Inc		3,5	10.8-11.4	10	Vakum

3.7.4. Difüzyon Kaynağının Prensipleri

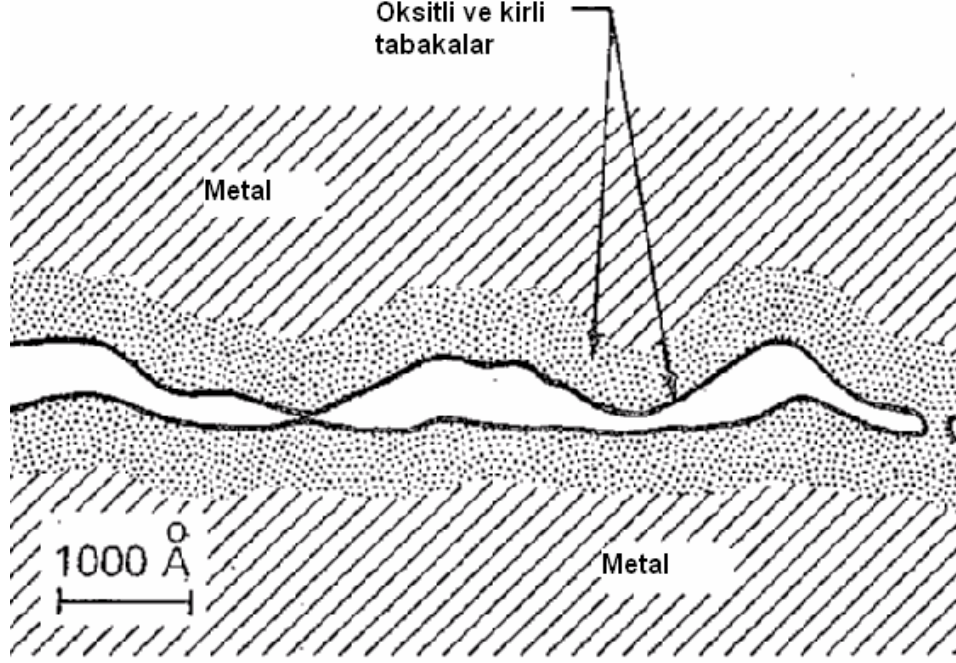
Metal yüzeylerin Şekil 3.16' da görüldüğü üzere çeşitli karakteristikleri vardır. Bunlar;

- 1) Pürüzlülük
- 2) Oksitlenmiş yada başka kimyasallar ile tepkimeye giren ve bunların yapıştığı yüzeyler
- 3) Diğer rasgele dağılmış katı ya da sıvılar örneğin yağ ve pislik gibi
- 4) Absorbe edilmiş gaz, nem veya ikisi birden.

Bu karakteristikler sebebi ile uygun bir kaynak yapabilmek için daha önce 2 şartın karşılanması gereklidir.

- 1) Metal - metal teması için mekanik yaklaşma sağlanmalıdır.
- 2) İşlemi engelleyen yüzey kirleticileri metalik birleşmenin oluşabilmesi için dağıtılıp bozulmalıdır.

Kaynak yardımcısının kullanılmadığı geleneksel difüzyon kaynağı için üç aşamalı mekanik model şekilde gösterilmiştir. İlk aşamada, her şeyden önce pürüzlü yüzeyler arayüzey alanındaki geniş bölümde yakın temas sağlayarak sürünme deformasyonu oluşturur. Bu aşamanın sonunda, esas birleşme boşlukları çevreleyen alandaki tanelerin sınırında oluşur. İkinci aşama boyunca, difüzyon deformasyona göre daha önemli hale gelir ve tane sınırındaki atom difüzyonu devam ederken çoğu boşluk ortadan kaybolur. Aynı anda ara-yüzeydeki tane sınırları birleşme yerindeki düzlemden dengeli bir biçimde daha uzağa taşınır, boşluklar tane içinde kalır. Üçüncü aşamada kalan boşluklar atomların boşluk yüzeylerine doğru hacimli deformasyonu ile yok edilir. (boşlukta oluşan difüzyona eşit miktarda). Tabii ki gerçek sistemde bu aşamalar üst üste biner ve bir aşama diğer aşamalar devam ederken etkili olabilir.



Şekil 3.16 Metal yüzeyindeki pürüzlülüğü ve mevcut kirlenmelerin karakteristiği

Bu model çeşitli deneysel gözlemlerin sonucunda oluşmuştur.

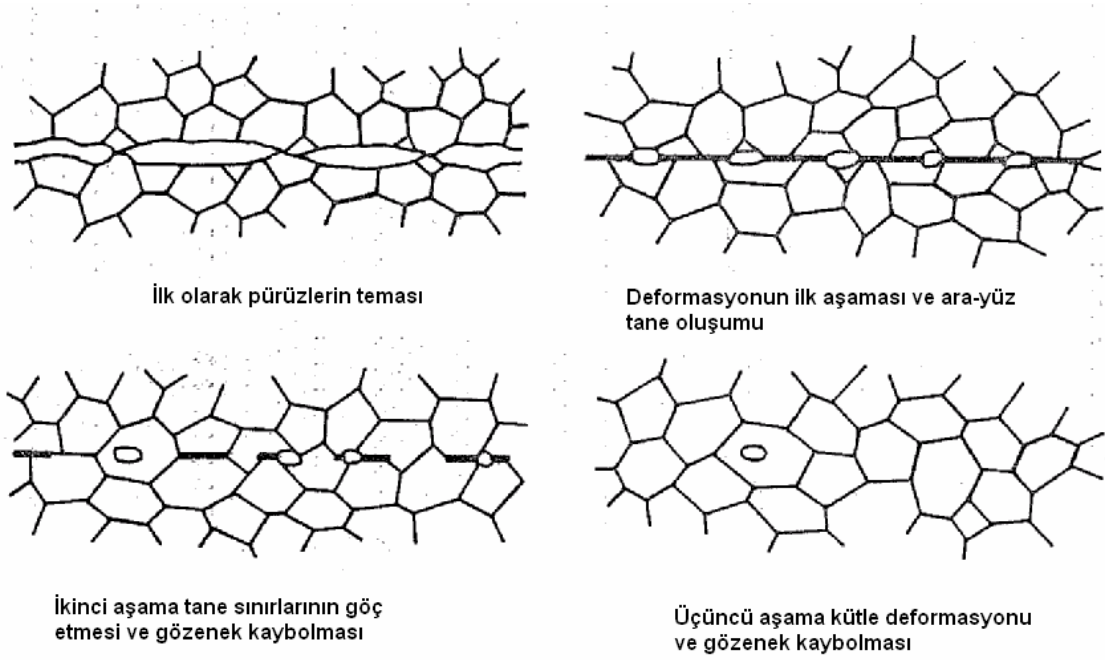
1) Sıcaklık, birinci aşama boyunca temas eden yüzeylerinin genişliğine ve de ikinci ve üçüncü aşamalar boyunca boşlukları elimine edecek difüzyon miktarına göre belirlendiği için en etkili değişkendir.

2) Basınç sadece birinci aşama boyunca gereklidir. Birleşme sıcaklığında daha geniş bir alanda temas sağlar. Bu aşamadan sonra basıncın kaldırılması birleşme oluşumunda çok önemli değildir. Bununla birlikte, erken bir şekilde birinci aşama tamamlanmadan basıncın kaldırılması işleme zarar verir.

3) Kaba yüzeyler genellikle birinci aşamayı engelleyerek ve diğer aşamalarda yok edilmesi gereken büyük boşluklar bıraktıkları için kaynağı olumsuz etkilerler.

4) Zaman, uygulanan basınç ve sıcaklığa göre belirlenir. Bağımsız bir değişken değildir.

Bu model sırasıyla erimiş dolgu metali ve geniş (makro) deformasyon kullanan yakın temasın olduğu difüzyon lehimi ve sıcak basınç kaynağı işlemleri için geçerli değildir.



Şekil 3.17 Difüzyon kaynağındaki üç aşamanın mekanik modeli

Aynı zamanda yakın temasın sağlanması yukarıda açıklandığı üzere değişik tabakaların bozulması ve dağıtılması ile mümkündür bunun sonucunda ise metalik birleşme meydana gelir. Karşılıklı yüzeylerin yakın teması boyunca tabakalar bölgesel olarak dağıtılır ve kırılmanın altında, beraber hareket eden yüzeylerde metalden metale temas başlar. Sonraki adımlar termal olarak aktive edilen difüzyon mekanizmalarını içeren işlemlere dahildir. Bu işlemler tüm tabakaların dağıtıldığı ve boşlukların yok olup metal temasının sağlandığı ikinci ve üçüncü aşamalardır.

Engel oluşturan tabaka büyük ölçüde oksittir. Uygun temizleme metodları ile diğer bileşikler önemsiz seviyelere indirilebilir. İki koşul oksit filminin bozulup dağılmasına sebep olur. Birincisi oksitin metal içinde çözülmesi ikincisi film tabakasının küreselleşmesi ya da yığılmasıdır. Oksit filmleri titanyum, tantalum, colombiyum, zirkonyum ve diğer yüksek çözünürlükteki arayer elementlerinin içinde eriyebilir. Eğer oksit metal içinde nispeten daha az erirse, alüminyumda olduğu gibi, dağıtma filmin küreselleşmesidir. Bu durumda geride kaynak çizgisi boyunca az miktarda oksit taneleri kalır. Bununla beraber eğer kaynak uygun bir şekilde yapılırsa bu oksit taneleri çoğu metal ve alaşımda normal olarak dahil olanlardan daha zararlı değildir.

Her iki faaliyette de difüzyon gereklidir. Çözülme metal içindeki ara-yer atomlarının difüzyonu ile oluşur. İnce film tabakalarındaki çok yüksek yüzey enerji de difüzyon meydana getirir. X kalınlığındaki bir tabakanın çözülme zamanı X^2/D ile orantılıdır. D burada difüzyon katsayısıdır. Eğer difüzyon kaynak zamanının kabul edilebilir limitlerde olması isteniyorsa tabaka çok ince olmalıdır. Bu nedenle temizlemeden sonra tabaka kalınlığının ve kaynak sıcaklığındaki ısıtma süresince kalınlık artışının kontrolü difüzyon kaynağındaki kritik faktörlerdir.

Metal – metal teması sağlandığı zaman, atomlar birbirlerinin çekim kuvvet alanına girer ve çok güçlü bir birleşim oluşur. Bu anda ek yeri, bir tane sınırına benzer. Çünkü hattın her bir yanındaki metal kafesler farklı yönlere sahiptir. Bununla birlikte ek yeri tane sınırından bazı farklılıklar da gösterir, eğer tüm pürüzlü yüzeylerin deformasyonu gerçekleşmediyse akma yerinde pislikler katıklar ve boşluklar kalabilir. (aşama 2 deki yakın temasın gerçekleşmemesi durumu) İşlem sonuca doğru ilerledikçe, bu sınırlar daha kararlı kutupsal olmayan biçimlere dönüşürler ve ara yüzde kalan tüm boşluklar oluşan difüzyon yoluyla kaybolurlar.

Bir ara metal (difüzyon yardımcısı) pek çok uygulamada büyük önem taşır. Bununla birlikte şimdiye kadar mekanizmaları tanımlanırken kullanımları göz önünde tutulmamıştır. Bir difüzyon yardımcısı kullanıldığı ve farklı alaşımlar kaynak yapıldığı zaman artı bir faktör olarak interdifüzyon hesaba katılmaz. Bu difüzyon kaynağı işleminin anlaşılabilirliğini geliştirmek için gereklidir (AWS Welding Handbook, 1980).

3.7.5. Avantajlar ve Sınırlar

Difüzyon kaynağı ve lehiminin benzer kullanımı olan kaynak işlemlerine ve geleneksel lehime göre daha çok sayıda avantajı vardır. Aynı zamanda uygulamalarda belirgin sayıda sınırları da mevcuttur. Bu iki prosesin avantajlarından bazıları aşağıdaki gibidir.

- 1) Birleşimin özellikleri ve mikro yapısı esas metale çok yakındır. Bu özellikle hafif ürünler için çok önemlidir.
- 2) Parçalar minimum çarpılma ile birleştirilir. İşlem sonrasında talaşlı yada soğuk şekillendirme gibi işlemlere gerek yoktur.

3) Ergitme kaynağı ile birleştirilemeyen alaşımlar yada eksenel simetri gerektiren işlemler için uygundur.

4) Yapıdaki çok miktarda birleşim eşzamanlı olarak yapılabilir.

5) Bu prosesler ile ulaşılması zor noktalardaki birleşimler yapılabilir.

6) Ergitme kaynağı için kapsamlı ön ısıtmaya gerek duyan büyük yapılarda bu yöntemler kullanılabilir. Örneğin kalın bakır parçalar.

7) Ergitme kaynağında normalde görülen birleşim hatalarına bu yöntemlerde rastlanmaz.

Bu iki yöntemde karşılaşılan sınırlamalar aşağıdaki gibidir.

1) Genel olarak ısı döngü süresi geleneksel kaynak ve lehim işlemlerinden daha uzundur.

2) Ekipman maliyetleri genellikle yüksektir, ve bu durum parçaların ekonomik olarak üretilmesini kısıtlar.

3) Bu yöntemler yüksek üretim uygulamalarına müsait değildir, bununla beraber çok sayıda noktanın eş zamanlı olarak birleştirilmesi için uygundur.

4) Kalite güvencesi için kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerine uygun değildir, özellikle bu güvence birleşimin dizayn özellikleri için isteniyor ise.

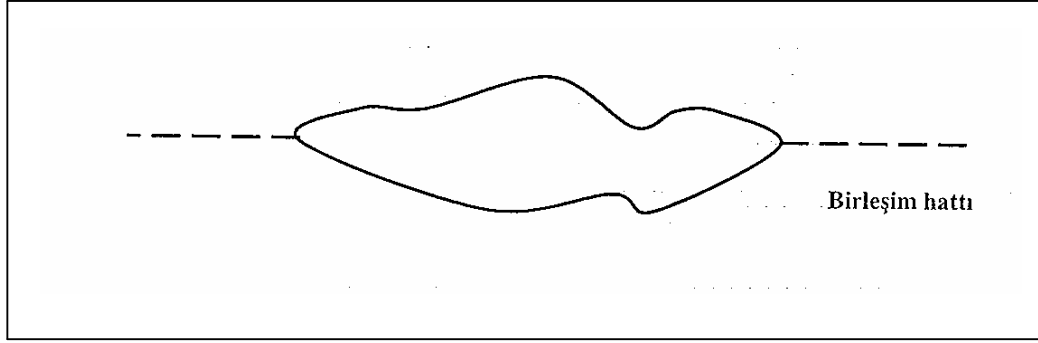
5) Uygun dolgu metali ve uygulama yöntemi tüm yapı alaşımları için henüz geliştirilmemiştir.

6) Birleştirilecek yüzeylerin ve eşleşen parçaların birbirine şekilsel uygunluğu için gereken dikkat ve hazırlık geleneksel sıcak basınç kaynak ve lehim işlemlerine göre daha fazladır. Temizliğin düzgün ve eş biçimli olması difüzyon lehimindeki kalite kontrolün önemli bir faktörüdür.

7) Difüzyon kaynağının en büyük ekipman problemi vakum yada koruyucu gazların sınırladığı bir ortamda eş zamanlı ısı ve yüksek basınç gerektirmesidir.

3.7.6. Yüzey hazırlama

Difüzyon kaynağı veya lehimini ile birleştirilecek parçaların yüzeyleri işlem öncesi çok dikkatli bir şekilde hazırlanmalıdır. Yüzey hazırlığı temizlikten daha fazlasını içerir. Kombine kimyasal tabakaların (oksitler) kaldırılmasıyla ve yağlar, kirleticiler ve organik yüzey tabakalarını temizlenmesiyle kabul edilebilir derecede düzgün yüzeylerin elde edilmesini kapsar. Yüzeylerin önceden hazırlanmasında genellikle talaşlı işlem, aşındırma, taşlama ya da parlatma işlemi uygulanır.



Şekil 3.18 Yüzeylerin temasında yüzey pürüzleri nedeni ile oluşan boşluklar

Doğru olarak hazırlanan yüzeyler düzgün ve pürüzsüz olur. Belirli minimum derece düzgünlük ve pürüzsüzlük difüzyon kaynağında düzenli bir temasın difüzyon lehiminde ise düzenli birleşme boşluğunun garantisi için gereklidir. Geleneksel metal işleme, taşlama ve zımpara ile parlatma işlemleri gerekli düzgün ve pürüzsüz yüzeylerin hazırlanması için uygundur. Talaşlı işlem ve aşındırma işleminin ikinci etkisi yüzeylerde soğuk işlem sertleşmesini ortaya çıkarmaktır. Soğuk işlenen yüzeylerdeki yeniden kristalleşme, kaynak bölgesi boyunca arayüzeyler arasında oluşan difüzyon oranını artırır.

Kimyasal aşındırma (dekapaj), genellikle kaynak öncesi hazırlık için kullanılır, iki etkisi vardır: Birincisi nonmetalik tabakaların genellikle oksitlerin kaldırılmasına uygundur, ikincisi eğer talaşlı şekillendirme yapıldıysa oluşacak soğuk işlem sertleşmesini kaldırmaktır. Oksit tabakasının kaldırılması gerektiği aşıkardır çünkü metal-metal temasını engeller.

Yağ alma tüm yüzey temizleme işlemlerinde genel bir uygulamadır. Alkol, trikloretilen, aseton, deterjan ve pek çok diğer temizleyici kullanılabilir. Sıkça önerilen yağ alma teknikleri

karışık ve pek çok çözeltili içeren durulama-yıkama-aşındırma döngüleri içerebilen yöntemlerdir. Bu temizleme çözeltilerinden bazıları zehirlidir ve kullanımları sırasında uygun güvenlik tedbirlerinin alınması gerekir.

Vakum altında ısıtma da temiz yüzeyler elde etmek için kullanılabilir. Bu metodun faydası çok çeşitli metallerde ve üzerlerindeki farklı tip yüzey filmleri için kullanılabilmesidir. Organik, su bazlı, veya gazları emen tabakalar yüksek sıcaklıkta vakum altında ısı ile işleme kolayca kaldırılabilir. Yüksek sıcaklıklarda bazı metaller de yapışmış oksitlerin eritilmesi mümkündür. Tipik metaller zirkonyum, titanyum, tantalum, ve columbiyumdur. Vakum altında temizlik sonrasında genellikle parçaların vakum veya kontrollü atmosfer altında tutulması ve dikkatlice taşınmaları gerekir. Bu yüzeylerin tekrar gaz absorbe etmesine karşı bir önlemdir.

Toplam yüzey işlemlerine pek çok işlem dahildir. Bahsi geçenlere ek olarak özel kaynak ve lehim yöntemleri yapılan seçimlere etkili olabilir. Yüksek sıcaklık ve basınçlarda çok temiz yüzeyler elde etmek daha az önem taşır. Yükselen atomik hareketlilik, yüzey pürüzlülük deformasyonu ve kirletici elementlerin çözülmesi yüzey kirleticilerinin dağılmasına katkıda bulunur. Sonuçta düşük sıcaklık veya basınçta çalışmak için daha iyi hazırlanma ve koruma gereklidir.

Yüzeyin hazırlamanın devamında temiz yüzeyin korunması gereklidir. Gerekliliklerden biri difüzyon kaynağı veya lehimi boyunca koruyucu çevrenin etkili biçimde korunmasıdır. Vakum ortamı pisliklerden sürekli bir koruma sağlar. Saf hidrojen atmosferi oksit miktarının minimize eder ve yüksek sıcaklıklarda pek çok metalin yüzeyindeki mevcut oksidin azalmasını sağlar. Bununla birlikte tantalum, columbiyum ve zirkonyum ile oluşan hidritler zararlı olabilir. Argon, helyum ve bazen nitrojen temiz yüzeyleri, yüksek sıcaklıklarda korumak için kullanılabilir. Bu gazlar kullanıldığı zaman saflıklarının yeniden kirlenmeden kaçınmak için çok yüksek olması gereklidir. Direk olarak difüzyon kaynağına veya lehimine uygulanan lehim atmosferi için pek çok önlem ve prensip vardır (AWS Welding Handbook, 1980).

3.7.7. Difüzyon Kaynağı İşlem Değişkenleri

Sıcaklık

Sıcaklık difüzyon kaynağında birkaç sebepten ötürü önemli değişkenlerden biridir. Bunlar

- 1) Kolayca kontrol edilebilir ve ölçülebilir.
- 2) Termal olarak aktive edilen tüm prosesler gibi sıcaklık değişimindeki çoğalma diğer proses değişkenleri ile karşılaştırıldığında proseste daha büyük değişikliğe sebep olur.
- 3) Hemen hemen difüzyon kaynağının tüm mekanizması sıcaklığa duyarlıdır.
- 4) Yüksek sıcaklığın fiziksel ve mekanik özellikleri, kritik sıcaklıklar ve faz dönüşümleri difüzyon kaynağının verimli kullanılabilmesi için önemli referans noktalarıdır.
- 5) Sıcaklık allotropik dönüşüm, yeniden kristalleşme ve zamanından önce oluşan erimeler gibi ciddi metalürjik faktörlerden kaçınmak için kontrollü olarak yükseltilmelidir.

Kinetik teorisinin ispatlaması difüzyon kaynağında sıcaklığın etki miktarını anlamamızı sağlamıştır. Difüzyon miktarı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

$$D = D_o e^{-Q/kT} \quad (3.1)$$

Burada;

D = T sıcaklığında difüzyon katsayısı

D_o = orantı sabiti

Q = difüzyon için aktivasyon katsayısı

T = mutlak sıcaklık

k = Boltzmann sabiti

Bu formülde görüldüğü üzere difüzyonu kontrol eden proses sıcaklığın üssü olarak değişmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere sıcaklıktaki ufak bir değişiklik proses kinetiklerinde önemli ölçüde büyük değişikliğe sebep olmaktadır.

Genel olarak difüzyon kaynağında sıcaklık $T_M \cdot 0,5$ değerinden fazladır. T_M burada metalin erime sıcaklığıdır. Pek çok metal ve alaşımın en iyi kaynak edildiği sıcaklık $0,6$ ila $0,8 T_M$ arasındadır.

Zaman

Zamanın değişken olduğu pek çok kontrollü difüzyon işleminde zaman sıcaklık ile çok yakından ilişkilidir. Difüzyon uzunluğu, x , difüzyon işlemi sırasında bir atomun ortalama yer değiştirme mesafesidir. Bu aşağıdaki formülle gösterilmiştir.

$$x = C(Dt)^{1/2} \quad (3.2)$$

Burada;

x = difüzyon boyu

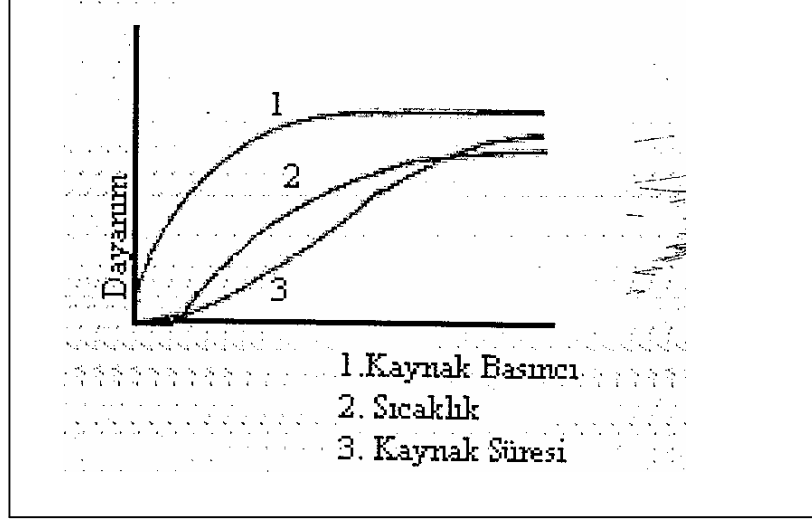
D = T sıcaklığında difüzyon katsayısı

t = zaman

C = sabit

buradan anlaşılacağı gibi daha önce de gösterildiği üzere difüzyon reaksiyonu zamanın kare köküne bağlı olarak ve sıcaklığın üssü ile ilerlemektedir.

Deneyler göstermiştir ki ısıtma zamanını ve basıncı beraber yükseltmek birleşim mukavemetini bir noktaya kadar arttırmaktadır. Bu nokta aşıldığında daha fazla fayda elde edilememektedir. Bu bize zamanın basit nicel bir değişken olmadığını göstermektedir. Bu basit ilişki difüzyon kaynağı sonucu yapının içinde ortaya çıkan çok karmaşık değişimlerin bir atomun ortalama yer değiştirmesini yansıtmadığını tarif eder. Bununla birlikte atom hareketi belirsiz bir şekilde sürmez, yapıdaki değişim bir dengeye ulaşma eğilimindedir. Örnek olarak metallerdeki yeniden kristalleşme gösterilebilir.



Şekil 3.19 Difüzyon kaynağında kaynak basıncı,kaynak sıcaklığı ve kaynak süresini dayanıma etkisi

Uygulamada, zaman saniyelerden saatlere kadar çok geniş bir aralıkta değişebilir. Üretim faktörleri difüzyon kaynağındaki tüm pratik zamanı etkiler. Isı ve basınç sağlamadaki zaman ihtiyacı buna bir örnektir. Sistem termal ve mekanik (ya da hidrostatik) ataletle sahip olduğunda kaynak zamanları uzundur çünkü değişkenlerin aniden değişmesi uygulanabilir değildir. Atalet problemleri olmadığında kaynak zamanı 0,3 dakikaya kadar düşer. (Toryum-oksidin nikelin içinde yayılması gibi). Diğer taraftan zirkonyumun kaynak yardımcısı olarak kullanıldığı columbiyum birleştirmeleri 4 saat sürebilir. Ekonomik sonuçlar için difüzyon kaynağında gerekli zaman en iyi üretim oranlarında mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır.

Basınc

Basınc önemli bir değişkendir. Sıcaklık veya zaman gibi ölçülebilir bir değişken olduğunu söylemek zordur. Basınc işlemi pek çok yönden etkiler. Birleşme oluşumunun ilk evresi basınç uygulamasının neden olduğu deformasyonun miktarı tarafından oldukça etkilenir. Bu en açık tekil etkidir ve muhtemelen sıklıkla ve tamamen en çok hesaba katıldır. Diğer değişkenler sabitlendiğinde daha yüksek basınç değişmez bir şekilde daha iyi birleşmeler oluşturur. Bu etkinin en açık sonucu daha büyük ara tabaka deformasyonu ve pürüzlülüğün bozulmasıdır. Daha büyük deformasyon yeniden kristalleşme sıcaklığını düşürebilir ve verilen sıcaklıkta yeniden kristalleşme işlemini hızlandırabilir.

Kaynak ekipmanları ve birleşim geometrisinin uygulama sınırları kaynak basıncında önem arz eder. İyi bir kaynak elde etmek için gerekli basınç sıcaklık ve zaman ile yakından ilgilidir. İyi bir kaynak yapımı için bir dizi basınç vardır. Basınç benzer olmayan birleşmeler mevzu bahis olduğunda artı bir önem taşır. Ekonomi ve imalat yönünden düşük kaynak basıncı istenir. Yüksek basınç çok pahallı aparatlar, daha iyi kontrol ve genellikle çok karmaşık parça işleme talimatları gerektirir.

Basınç ve sıcaklık uygulaması büyük oranda birbirine bağlıdır fakat ihtiyaç duyulan basınç kaynak sıcaklığında malzemede oluşan eğilme gerilmesini açmamalıdır. Böylece, tespitli kalıplar kullanılmadıkça, basınç genellikle kabul edilebilir bir zaman içinde yapılacak kaynak için seçilerek uygulanan sıcaklıktaki eğilme gerilmesinin biraz altında tutulur.

Metalurjik faktörler

Önemli metalurjik faktörler proses değişkenlerine eklenmelidir. Benzer metallerin kaynağında iki faktör diğerlerine göre daha önemlidir. Bunlar allotropik dönüşüm ve mikro-yapısal faktörlerdir ve difüzyon oranını değiştirmeye meyillidirler. Allotropik dönüşümler (faz dönüşümleri) bazı metal ve alaşımlarda oluşur. Bunlardan en bilindik olanı ısıl işlem uygulanabilen alaşım çeliğidir ama titanyum, zirkonyum ve kobalt allotropik değişime uğrar. Bu dönüşümün önemi metalin bu süreç boyunca çok plastik olmasıdır. Bu düşük basınçlarda hızlı ara-yüzey deformasyonuna yol açmaya meyillidir, yeniden kristalleşme de çokça olduğu gibi. Difüzyon oranları yeniden kristalleşen metallerdeki gibi plastik deformasyona uğrayan metallerde daha yüksektir.

Difüzyon artışının bir diğer anlamı sistemin içindeki alaşımların veya daha özel ifadesi ile meydana gelen elementlerin ara yüzeyde difüzyonu yükseltmesidir. Difüzyon gücü yüksek olan elementlerin görevi boşlukların yok edilmesini hızlandırmaktır. Ayrıca difüzyonun hızlandırmasına ek olarak bu alaşım elementlerinin ikinci bir etkisi olabilir. Elementler birleştirilecek metallerin içinde uygun şekilde çözünebilmeli ama kalıcı bileşikler oluşturmamalıdır. Alaşımlama birleşim ara-yüzeyde erimeden kaçınmak için kontrol altında tutulmalıdır.

Difüzyon aktif hale geldiğinde, difüzyon gücü yüksek elementleri ara-yüzden uzaklaştırmak için kaynak işlemi sırasında ya da sonrasında yapının minimum bir süre ısıtılması gerekir. Eğer bu yapılmaz ise ek yerindeki elementlerin yüksek konsantrasyonu metalurjik olarak

sağlam olmayan yapılar meydana getirebilir. Bu yüksek sıcaklıklarda hizmet verecek birleştirmeler için özellikle önemlidir.

3.7.8. Difüzyon Yardımcıları

Kontak yüzeyler arasında ara-katman ya da difüzyon yardımcısı kullanmak bazı durumlarda avantajlıdır. Difüzyon yardımcısının bir amacı yüzeyler arasında yumuşak metal bir tabaka yaratmaktır. Yumuşak metal tabaka kaynağın ilk aşamasında gerekli olmayan düşük basınç altında plastik akışa izin verir. Birleşim sağlandıktan sonra, alaşım elementlerinin esas metalden yumuşak tabakaya difüzyonu ek yeri boyunca derece derece azalır. Ara-yüzde difüzyon yardımcısı kullanmak bazı uygulamalarda avantajlı yada gerekli olabilir.

- Kaynak sıcaklığını düşürmek
- Kaynak basıncını düşürmek
- İşlem zamanını düşürmek
- Difüzyon gücünü arttırmak
- İstenmeyen elementleri ayıklamak

Difüzyon yardımcısı pek çok şekilde kullanılabilir. Kaynak için yüzeylere elektroliz ile kaplanmış, buharlaştırılmış, yada çok ince metal tabaka ile kaplanmış şekilde yada varak yada toz formunda olabilirler. Ara-tabakanın kalınlığı 0,25 mm' yi geçmemelidir.

Genel olarak difüzyon yardımcısı birleştirilen esas metalin en saf halidir. Örnek olarak alaşımsız titanyum sık sık titanyum alaşımlarında, nikel bazen nikel esaslı süper alaşımlarda ara-tabaka olarak kullanılır. Hızlı yayılabilen elementler içeren difüzyon yardımcısı da kullanılabilir. Örneğin berilyum nikel alaşımları ile difüzyon zamanını azaltmak için kullanılabilir. Uygun olarak seçilen difüzyon yardımcısı kaynak sıcaklığında erimez yada esas metal ile “düşük sıcaklıkta eriyen ötektik” form oluşturmazlar. Uygun seçilmeyen difüzyon yardımcısı (AWS Welding Handbook, 1980).

- Birleşimin sıcaklık kabiliyetini düşürür.
- Birleşimin mukavemetini düşürür
- Mikro-yapısal bozulmalara neden olur
- Ek yerinde korozyon problemlerine sebep olur.

3.7.9. Difüzyon Lehiminin Prensipleri

Difüzyon lehimiyile yapılan birleştirmelerin özellikleri geleneksel lehimden oldukça farklıdır. Esas metallerin mekanik özelliklerine yakın özelliklere haiz birleştirmeler oluşturmaktadır. İşlemin temel amacı;

- 1) Alaşımlar tasarlanan kullanım alanları yüzünden ergitme kaynağına uygun değillerdir. Örnek olarak yüksek sıcaklıklarda kullanılacak Nikel tabanlı döküm süper alaşımlar ve berilyum alaşımları.
- 2) Kaynak yapılamayan farklı alaşım birleştirmeleri.
- 3) Montajlanacak alaşım parçalarının birleştirme ve ısıl işleminde de minimum çarpılma istenen durumlarda
- 4) Tasarlanan kullanımları yönünden geleneksel lehim birleştirmesinin zayıf kaldığı alaşımlar. Özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılacak parçalar. Örneğin uçaklarda yüksek dayanım gerektiren yapılarda kullanılan titanyum alaşımları.
- 5) Ekonomik olarak pek çok güçlü birleştirmenin eş zamanlı olarak yapılması istenen geleneksel lehim yöntemlerinin uygun olmadığı büyük, karmaşık yapılar.

Difüzyon lehiminin kullanımına iki yaklaşım bulunmaktadır. Birincisi kullanılan lehim dolgu metalinin kimyasal yönden esas metal ile yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen erime sıcaklığının düşük olduğu durumlar. Erime sıcaklığı esas metalin bileşkesine bazı alaşım elemanları eklenerek yada benzer alaşım bileşimleriyle azaltılır. Örneğin yüksek erime sıcaklığına sahip nikel tabanlı bir alaşıma silikon ve bor katılarak bu sıcaklık düşürülebilir. Bu durumda lehim dolgu metali lehim işleminde boyunca erir ve kontak yüzeyleri ıslatır. Bu uygulama bazen aktive edilmiş difüzyon birleştirmesi ya da geçici sıvı faz birleştirmesi olarak da adlandırılır.

Diğer yaklaşım ise esas metali bir ya da daha çok şekilde ötektik bileşke oluşturacak şekilde alaşımlayacak bir metal ile lehim yapılmasıdır. Lehim sıcaklığı ötektik sıcaklığının biraz üzerine çıktığı zaman dolgu metali ve esas metal birlikte bir alaşım oluşturarak ötektik bir bileşim meydana getirirler. Dolgu metalinin kendisi erimez fakat alaşım (ötektik) yerinde

şekillenir. Bu metot ötektik birleştirme olarak ta bilinir. Örnek olarak titanyum alaşımlarının bakır ile difüzyon lehim ile birleştirilmesi verilebilir.

Bir diğer yaklaşım ile yapıya difüzyon için yeterli bir zaman sıcaklık uygulanarak ek yeri boyunca düzenli bir alaşım yapısı elde edilebilir. Bu oluşumda ergime sıcaklığı ve bileşimin dayanımı yükselir. İşlem zamanı istenen homojenliğin derecesine dolgu metal tabakasının kalınlığına ve sıcaklığa bağlıdır. Lehim sıcaklığı ısıtma hızı arasındaki ilişkide önemli olabilir. Düşük ısıtma hızları daha fazla katı-durum difüzyonu oluşmasına yol açar, ek yerini doldurmaya yetecek kadar akışkanı sağlamak için daha fazla dolgu metali gerekir. Ters olarak yüksek miktarda dolgu metali ve hızlı ısı uygulaması yapılırsa ergimiş metal ek yerini geçebilir ve esas metali aşındırır. Kalın birleştirmeler daha uzun difüzyon zamanı gerektirir. Bu birleşimin meydana geldiği yer boyunca uygun özellikte bileşikler oluşturmak için gereklidir.

Daha sonra uygulanacak ısı işlemin sonuçları göz önüne alındığında ek yeri boyunca meydana gelen bileşik önemlidir. Bu özellikle ısıtma ve soğutma boyunca faz dönüşümüne uğrayan metaller için doğrudur. Alaşımın bileşimi dönüşüm sıcaklığını ve dönüşüm oranını belirler. Bu surette birleşme yerindeki fazın yapısı ve mekanik özellikleri tasarım ve lehim döngüsü ile kontrol edilebilir (AWS Welding Handbook, 1980).

3.7.9.1. Uygulama Örnekleri

Difüzyon lehim operasyonları geleneksel lehim ile benzerdir. Isıtma, atmosfer, birleştirmelerin dizaynı ve ekipmanlar genellikle farklı metotlar arasında birbirinin yerine kullanılabilir. Difüzyon lehiminde, lehim alaşımı, işlem sıcaklığı ve bu sıcaklıktaki süre seçimi fiziksel ve mekanik özellikleri neredeyse esas metal ile aynı olacak bir birleşim oluşturmak içindir. Bunun için esas metaldeki lehim tabakasının difüzyon yoluyla ortadan kaldırılması gereklidir.

3.7.9.2. Sıcaklık ve Isıtma Oranı

Difüzyon lehim için kullanılan sıcaklık çevrimi esas metale ve lehim sisteminin dizaynına bağlıdır. Lehim alaşımının bileşimi esas metal ile benzer olduğu zaman yapı, geleneksel lehimde olduğu gibi lehim alaşımının erime noktasına kadar ısıtılmalıdır. Lehim alaşımı eridiğinde esas metali ıslatır ve birleşim yerindeki boşlukları doldurur. Daha sonra sıcaklık lehim alaşımı katılaşmaya kadar korunur ya da düşürülür.

Bazı difüzyon lehimli proseslerinde dolgu metali lehim çevrimi sırasında yerinde şekillenir. Sistem genellikle erimiş ötektik yapının lehim sıcaklığında ek yerine akarak boşlukları doldurması amacıyla dizayn edilir. Lehim sıcaklığı ötektik sıcaklıktan bir miktar fazladır. Örneğin kontak yüzeyleri bakır kaplı gümüş esaslı metal 816 °C dereceye ısıtıldığında ötektik yapı oluşur. Ötektik erime sıcaklığı 779 °C' dir. Bazı ötektik ve peritektik reaksiyonlar farklı sıcaklıklarda oluşur. Bu durumda lehim sıcaklığı ve ısıtma oranının ikisi de önemlidir. Sıvı faz en düşük ötektik sıcaklıkta oluşabilmesine rağmen daha yüksek sıcaklıklarda difüzyon hızı daha da artacaktır. Isıtma oranı ötektik formun oluşup oluşmayacağını belirler. Eğer ısıtma oranı çok düşükse, katı hal difüzyonu erimiş ötektik formun oluşmasını engeller. Kontak yüzeylerdeki boşluklar “dolgu metali” ile dolmaz.

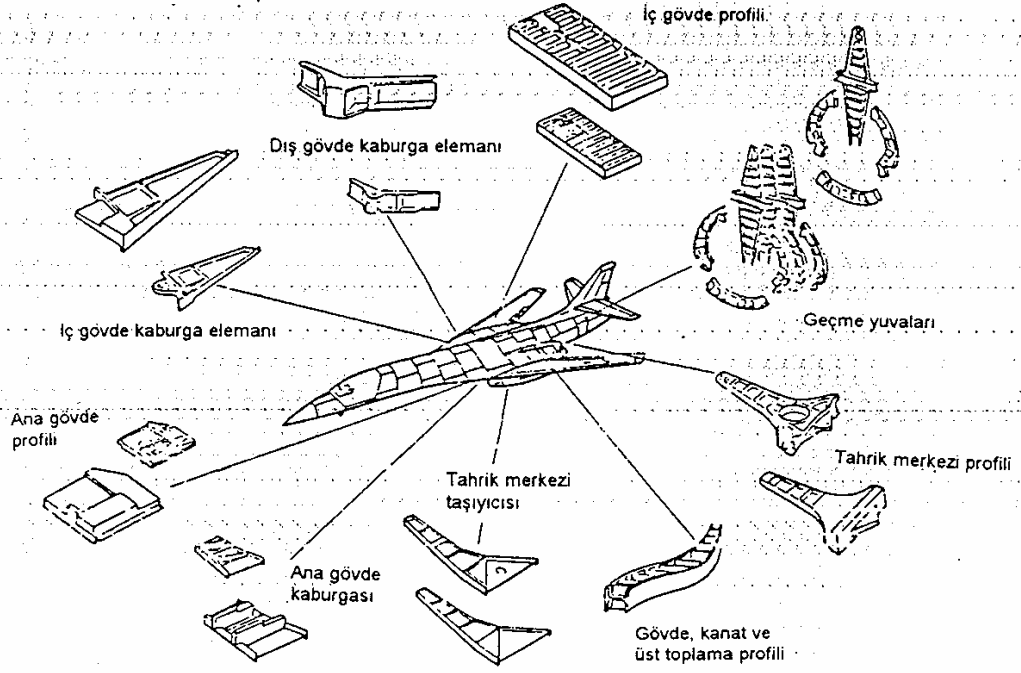
Maksimum lehim sıcaklığı esas metalin özelliklerine göre belirlenir. Örneğin bazı nikel esaslı alaşımların erimeye başladığı sıcaklık. Metalurjik yapının son durumdaki sıcaklığı ve kaynak yapılan parçalara uygulanan ısıtma işleminin gereksinimleri burada sınırlayıcı rol oynar.

Lehim yapıldıktan sonra parça sıcaklığı lehim katmanını katılaştırmak için düşürülebilir ya da düşürülmeyebilir. Bu durumda sıcaklık katı hal difüzyonu meydana gelirken devam eder.

3.7.10. Difüzyon Kaynağı Uygulama Örnekleri

Difüzyon kaynağının kullanımında ağırlık noktası havacılık, uzay ve nükleer teknolojilerdir. Özellikle hava ve uzay taşımacılığında difüzyon kaynaklı yapı elemanlarının oluşturulması gerekli optimizasyondur.

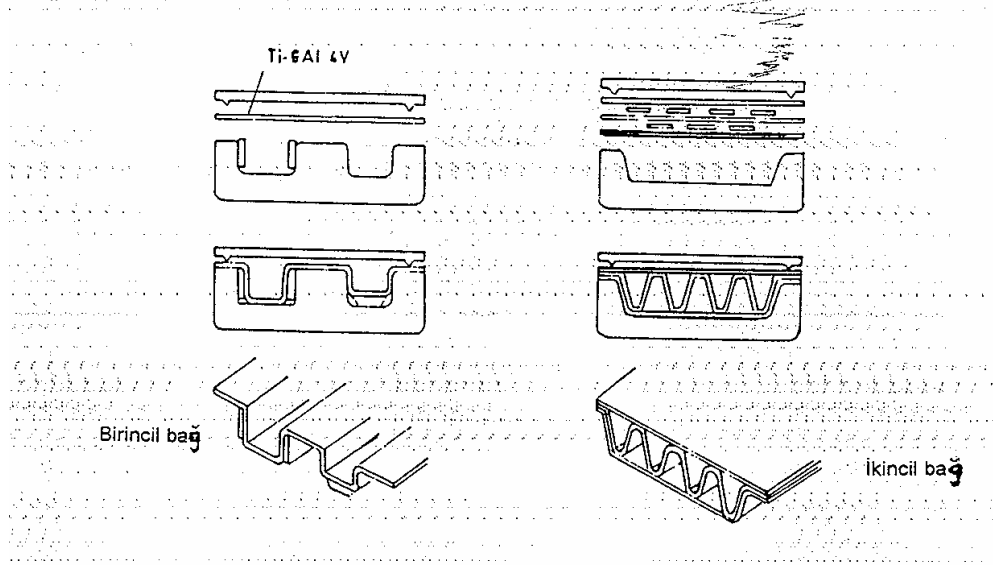
Şekil 3.20' de hava taşımacılığında kullanılan difüzyon kaynağı ile iyi kaynaklanabilir özellikler gösteren Ti Al6 V4 den yapılmış B1 uçağına ait çeşitli yapı elemanları görülmektedir.



Şekil 3.20 Uçak yapımında difüzyon kaynaklı yapı elemanları

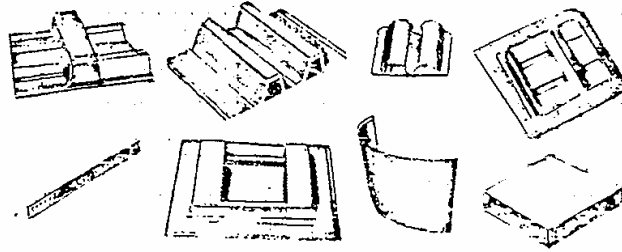
Şekil 3.21' de Tİ- ve Al- alaşımlarının süper plastik şekillendirilmesinde difüzyon kaynağı kullanılması görülmektedir.

Yöntem, malzemelerden en yüksek oranda yararlanarak maliyeti düşürüp geniş yüzeyli, parçaların aynı anda hem şekillendirilmesi, hem de difüzyonla kaynaklanması olanağını vermektedir.



Şekil 3.21 Birincil ve ikincil difüzyon kaynağının süper plastik şekillendirme ile birlikte uygulanması

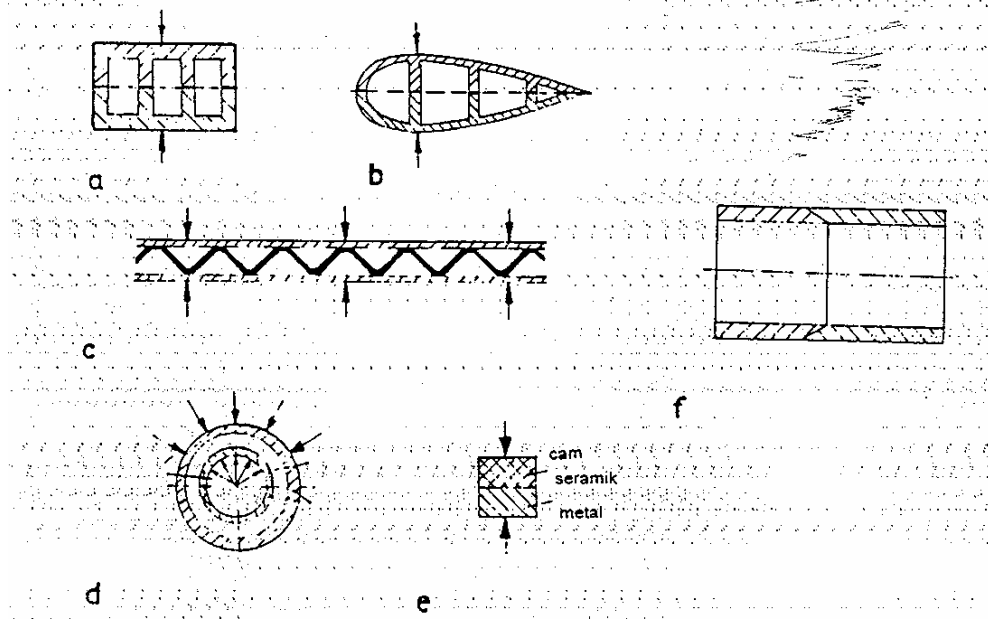
Süper plastik şekillendirme ve difüzyon kaynağının beraber uygulanması ile, geleneksel yöntemlerle imal edilmiş, sertleştirilmiş sac levhalar; kısmen sertleştirilmiş, yüksek dayanımlı olarak düşük ağırlık ve maliyetle imal edilebilmektedirler.



Şekil 3.22 Süper plastik şekillendirme ve difüzyon kaynağı ile imal edilmiş yapı elemanları

Şekil 3.22' de savaş uçaklarında kullanılan süper plastik şekillendirme ve difüzyon kaynağı ile imal edilmiş eğri gövdeli kovan konstrüksiyonları görülmektedir.

Şekil 3.23 tipik difüzyon kaynağı uygulamalarını göstermektedir.



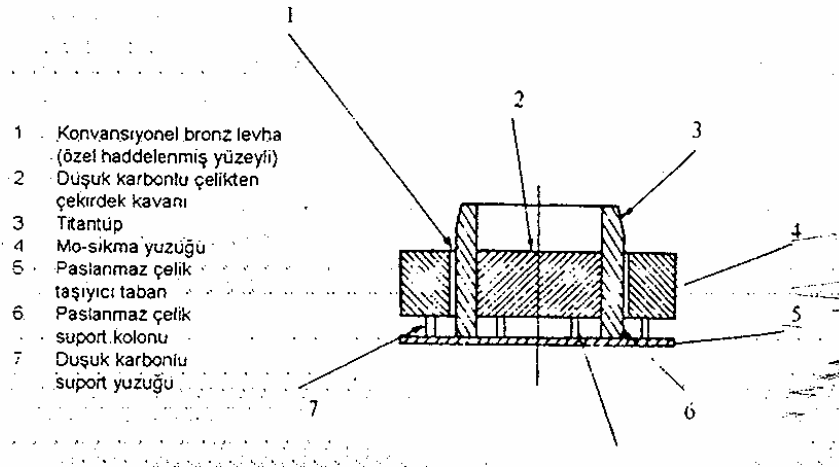
Şekil 3.23 Difüzyon kaynağı bağlantısında ilkesel örnekler. a) Soğuk kanal düzeni, b) Boş hacim düzeni, c) Ondüleli hafif yapı, d) Boru formu reaktör-yakıt elemanı, e) Metal ile cam veya seramik bağlantısı, f) Farklı malzemelerden boru elemanları

Şekil 3.23a ve 3.23b de içi boş olan, farklı büyüklükte difüzyon kaynağı ile çok ucuz imal edilebilen yapılar görülmektedir. Bunlarda et kalınlığı ve talaşlı işlenebilirlik büyüktür.

Şekil 3.23c deki hafif yapı elemanları parçalarda difüzyon kaynağı sıkça kullanılmaktadır.

Şekil 3.23e deki metal-seramik bağlantıları elektronik ve elektroteknik için elemanların yüksek sıcaklıkta zorlanmalarında veya korozyon etkili lehimle bağlantılarda önem taşırlar. Ayrıca farklı malzemelerden boru biçimli malzemeler (Şekil 3.23f) difüzyon kaynağı ile başarılı bir biçimde imal edilebilirler.

Difüzyon kaynaklı birleştirmelerde örnek olarak, uzay teknolojisinde kullanılan ticari bronz (Cu-%10 Zn) ve (Ti-6Al-6V-2Sn) verilebilir. Kaynak parametrelerinin seçimi Cu ile Ti sisteminde kırılğan intermetalik varlığından dolayı oldukça sınırlıdır. Şekilde uygulamada bronz bantlar 15.2 cm yarıçapında, Ti alaşımından oluşan borulara 483°C sıcaklık ve 165 MPa basınç altında, karşılıklı yüzler farklı sıcaklık ile yüklenirken başarıyla difüzyon kaynağı yapılabilir. Isıl sınırlama, şekil 2.13 de görüldüğü gibi Mo yüzük ve çelik bir takoz tarafından gerçekleştirilir.

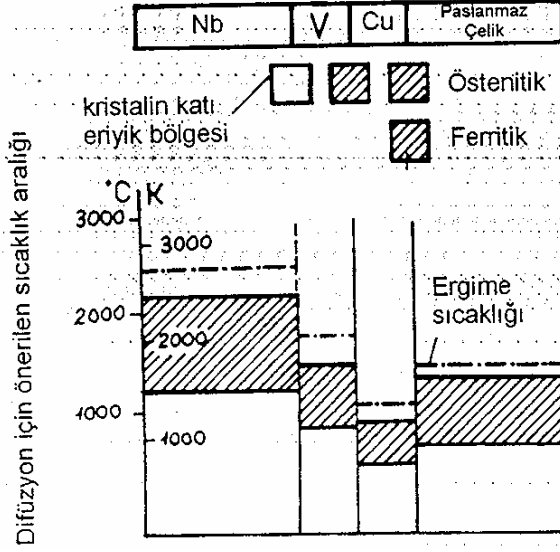


Şekil 3.24 Difüzyon kaynağında farklı termal özellikleri dengeleyen donatım

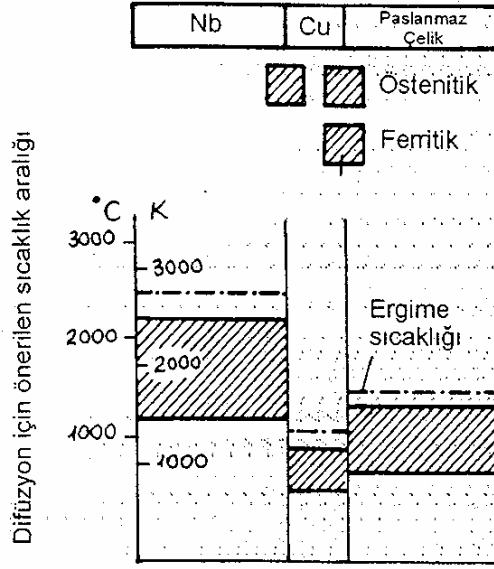
Aşağıda V, Nb, Cr ve östenitik veya ferritik paslanmaz çelik arasında oluşabilecek difüzyon kaynağı örnekleri verilmektedir.

Çelik ve vanadyum arasında bir birleşme sağlamak için ara tabaka olarak bakır kullanabilir. Vanadyumun bakırda, bakırın vanadyumda çözünme oranı düşüktür ve bunlar aralarında herhangi bir intermetalik faz oluşturmazlar. Ayrıca Fe-Cu ikili sisteminin intermetalik fazı yoktur ve çeliğin Ni ve Cr alaşım elementleri Cu ile intermetalik birleşik oluşturmaz.

Nb ve çelik arasında bir geçiş elde etmek için iki olanak vardır. Nb-Cu çifti, küçük bir iki taraflı erime meydana getirir. Nb-V-Cu-çelik bileşimi Nb-Cu-çelik bileşiğine oranla daha az bir ısıl genleşme gösterir.



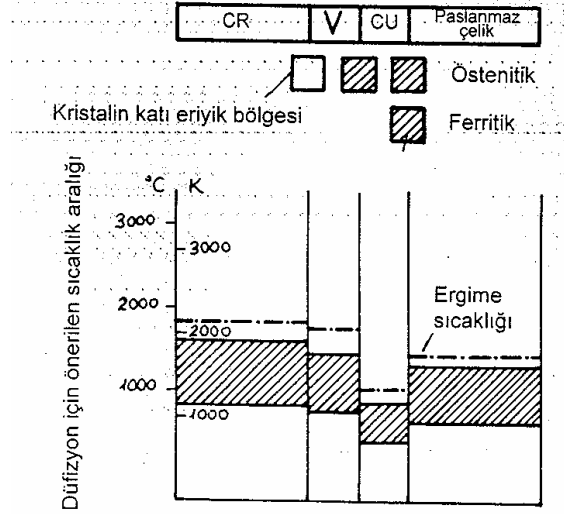
Şekil 3.25 Difüzyon kaynağı için öneriler aralıklar ve ısıl genişleme miktarları



Şekil 3.26 Difüzyon kaynağı için önerilen aralıklar ve ısıl genişleme miktarları

Cr'u direkt olarak çelik ile birleştirmek mümkündür. Fakat böyle bir iletişim önemli ısıl genişlemeye neden olur. Bu nedenle ya V-Cu ikilisini veya yalnızca Cu ara tabaka olarak kullanarak birleştirme yapılabilir. Vanadyumun ilk ara tabaka olarak kullanılması maliyeti

arttırmakla beraber ısı gerilmeyi azaltır. Cr-V ve Cr-Cu sistemlerinin intermetalik fazları yoktur.



Şekil 3.27 Difüzyon kaynağı için önerilen aralıklar ve ısı genleşme miktarı.

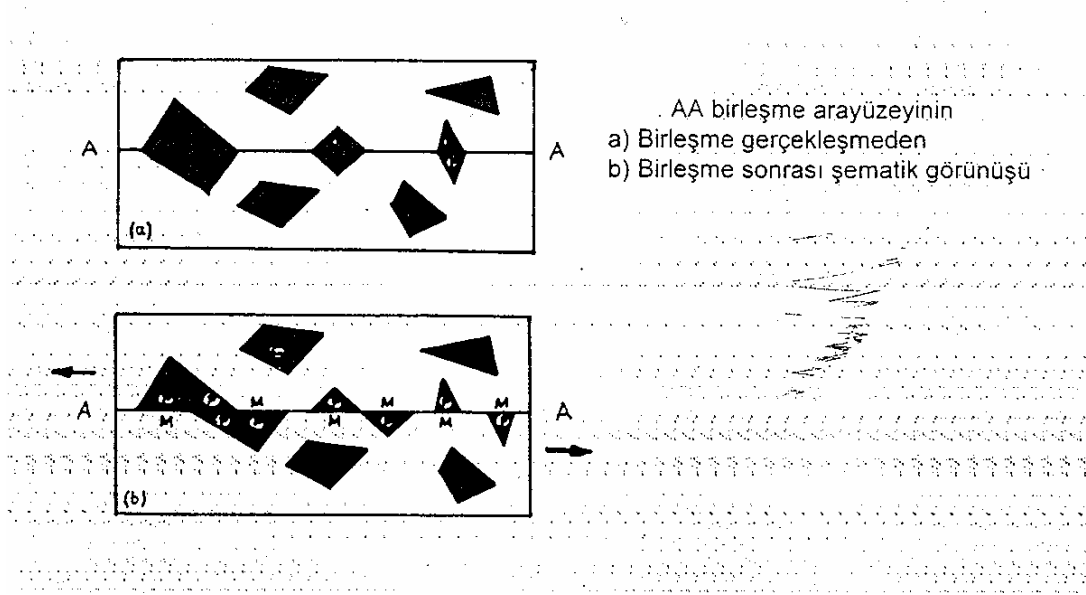
Difüzyon kaynağının başarıyla uygulandığı bir diğer çift ise yüksek alaşımlı ve düşük alaşımlı çeliklerdir.

DINx210 Cr12 DIN 25 Mo Cr 4 malzemeleri 950° C' de 11,4 MPa basınç altında, 4 dakika süre ile argon gazı kullanılarak birleştirilmişlerdir. Uygulanan çentik vurma tokluğu testleri sonucu birleştirme bölgesindeki tokluk, yüksek alaşımlı takım çeliğinin yekpare durumundaki tokluğundan daha yüksek değerlere erişmiştir.

Ayrıca, difüzyon kaynağı birçok bileşikler içinde kullanılmaktadır.

MMC-MMC katı hal difüzyon bağlı birleştirmelerde ara yüzey düzlemsel ve parçacık ara yüzeyleri, bu ara yüzeye paralel olarak dizilmişlerdir. Sıvı faz difüzyon bağlı birleşmelerde düzlemsel ara yüzeyler yoktur, bağlantı bölgesinde homojen olarak yüksek parçacık yoğunluğu vardır ve parçacık ara yüzeyleri yönlenmemiş durumdadır.

Hacimce %17 SiC içeren Al-Li 8090 alaşımında binleşme noktalarında parçacık - parçacık ve parçacık - matrix ara yüzeylerinde yapılan inceleme sonrasında, mikroyapıda kabul edilebilir değişimlerin bu bağlantı hattı üzerinde gerçekleşmesinin mümkün olduğu görülmüştür.



Şekil 3.28 Birleşme ara yüzeyinin görünüşü

3.7.11. Muayene

Bir difüzyon kaynağının veya lehiminin kalitesini günümüz hasarsız test yöntemleri ile kanıtlamak çok zordur. Bu birleşimin doğasından kaynaklanır. Eğer birleşme geliştirilen uygun yöntemlerle yapılırsa genellikle gözenekler çok azdır ya da hiç oluşmaz. Difüzyon kaynağındaki ana kusur orijinal ara-yüz boyunca tane büyümesi eksikliğidir. Tane büyümesi olmayışı nedeni ile ara-yüzeyi boyunca mükemmel birleşimin başarısız olduğu yakın temasları fark etmek için gayret gösterilmelidir.

Radyografi, endüksiyon akımı ve ısıl yöntemler göreceli olarak çoğu uygulamaya göre başarısızdır. Boya nüfuzu yöntemi kenar muayenelerinde nispeten başarılıdır.

Ultrasonik muayenenin dahili kontroller özellikle kılcal çatlak oluşumları için en kullanışlı yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Hassasiyet test edilen metale, ultrasonik frekansa, operatörün becerisine ekipmanın gelişmişlik derecesine bağlı olarak değişir. Genellikle 2,5 mm' den küçük ölçüleri tespit etmek zordur. Mevcut kullanılabilir sınır 1 mm' dir. Özel metotlar ve çok gelişmiş ekipmanlar kullanılarak bazı metallerde 0,12 mm' lik hataların tespit edilebildiği

bildirilmiştir. Bu yaklaşımlar rutin işlemlerde değil sadece çok özel şartlar altında yapılan çalışmalarda kullanılır.

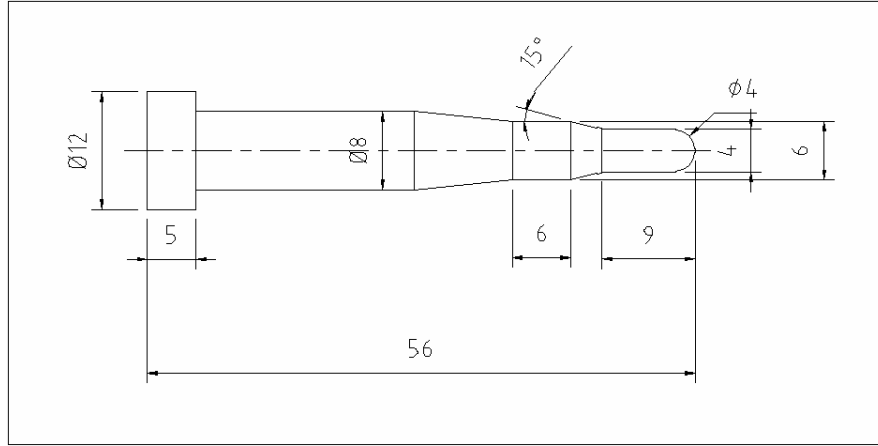
Ultrasonik muayene tamamen yakın teması ve gerçek birleşmeyi ayırt edemez. Sadece metalografik inceleme metodu tüm kaynak ve lehim için garanti verebilir. Hasarlı bir test olduğu için şüpheli parçalar üzerinde her zaman uygulanamaz. İyi proses kontrol tatbikatları yapıldığı takdirde prosesler üretime son derece uygundur. Rasgele hasarlı örnekleme ultrasonik muayene ile birleştiğinde yüksek güvenlik seviyeleri sağlanır. Değerlendirme için parçaların kasten kesildiği bu yaklaşım üretimde %95 den fazla bir randımanla kullanılmaktadır (Mollaoğlu H, 2004).

4. SICAK BASINÇ KAYNAĞI DENEYSEL ÇALIŞMASI

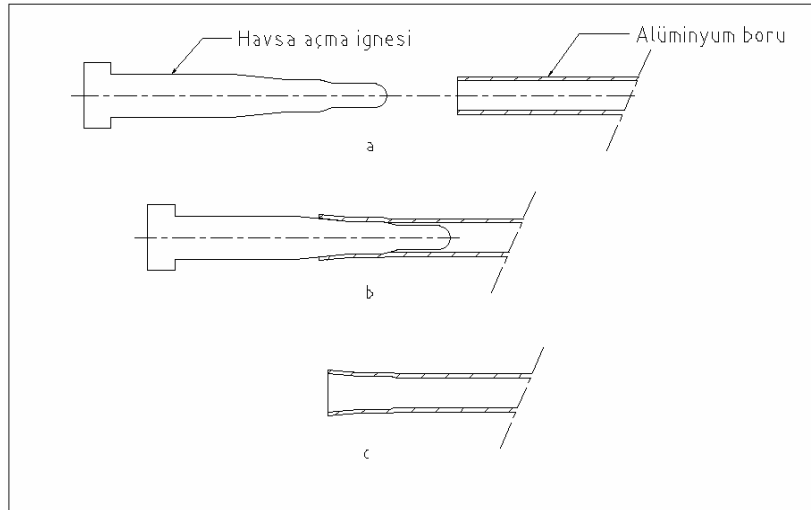
4.1. İşlemin Tanımı

Deneyde kullanılan sıcak basınç kaynak makinesi alüminyum ve bakır boruları sıcak basınç kaynağı ile birleştirmekte kullanılmaktadır. Proses adımları;

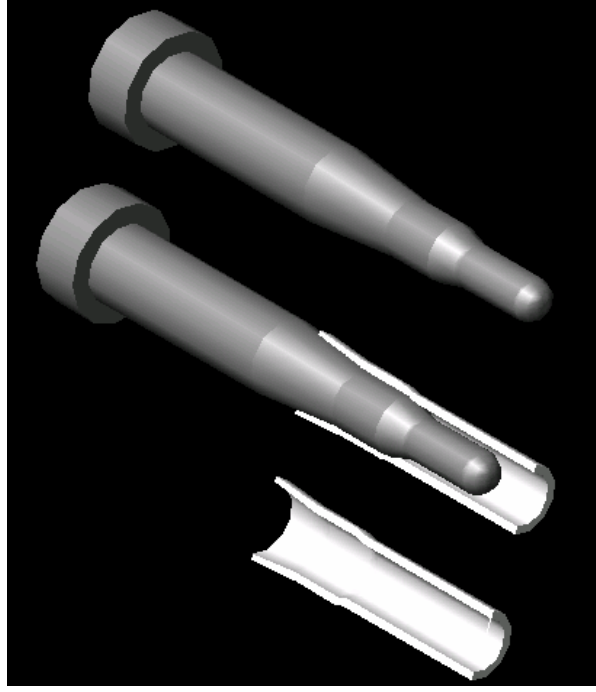
İlk olarak Alüminyum boruya havşa açılmaktadır.



Şekil 4.1 Havşa iğnesi

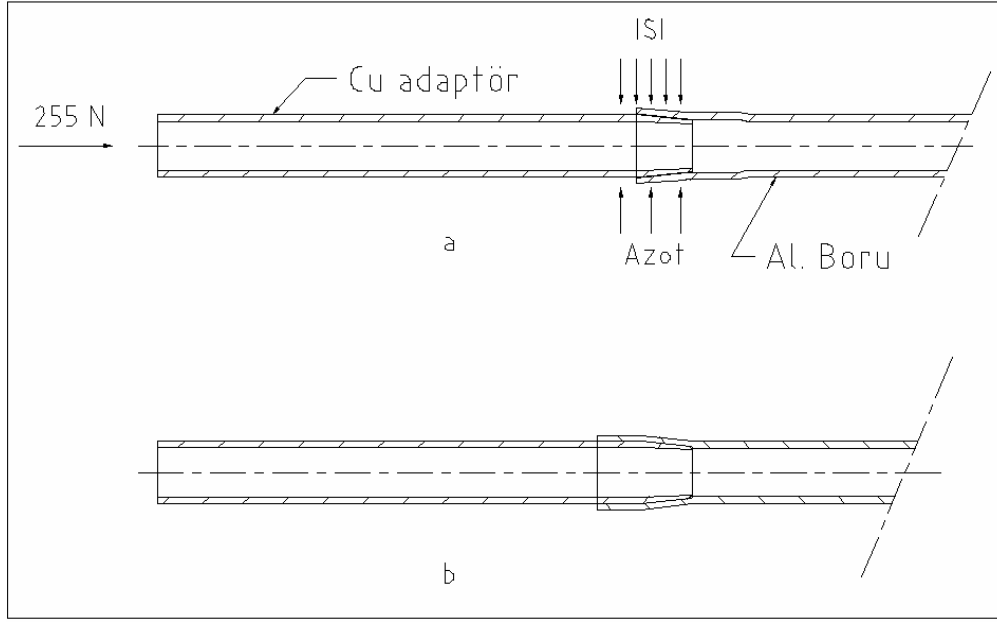


Şekil 4.2 Havşa açma işlemi. a)Havşa iğnesi ve Al- boru. b) Havşa açma. c) Havşa açılmış Al- borunun kesiti

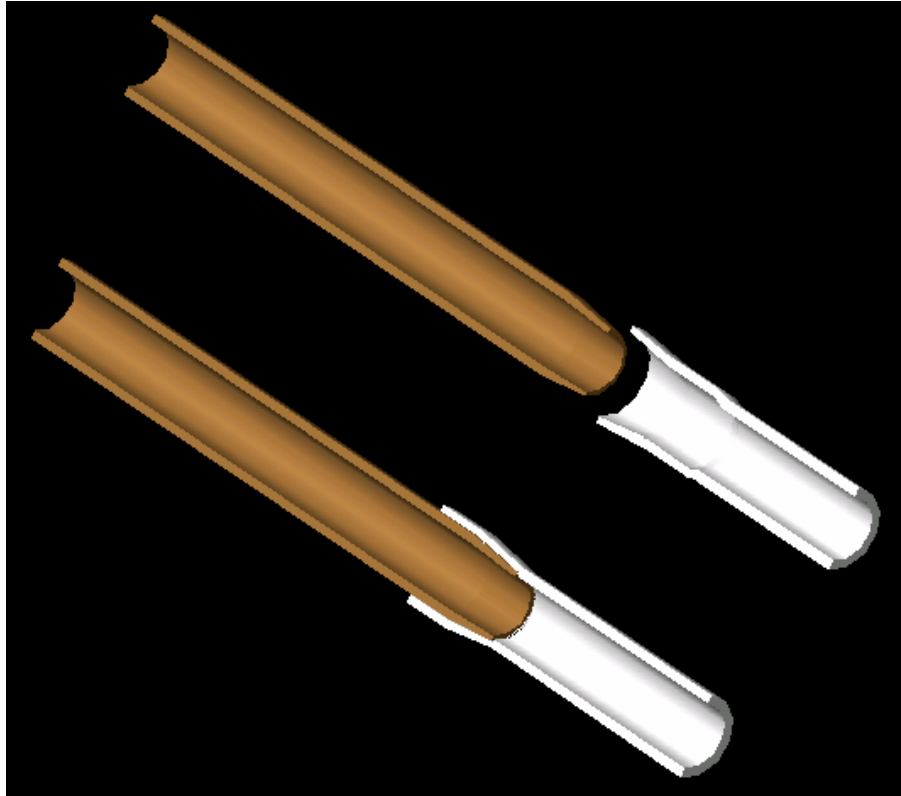


Şekil 4.3 Havşa iğnesi ve havşa açılmış alüminyum borunun 3 boyutlu modeli

Daha sonra bakır malzemeden yapılmış olan boru (kullanıldığı yer itibariyle “bakır adaptör”) yüksek frekans konverteri vasıtasıyla ısıtılmakta aynı anda da pnömatik tahrikli bir iğne tarafından $F = 255 \text{ N}$ kuvvetle boruya doğru itilmektedir. Uygulanan ısı ve basıncın sonucu alüminyum ve bakır borular sıcak basınç kaynağı ile birleşmektedir. İşlemde azot gazı kullanılmaktadır. Azot gazı işlem sonunda soğutma işlevini görmektedir. Şekilde işlemin oluşumu gösterilmiştir.

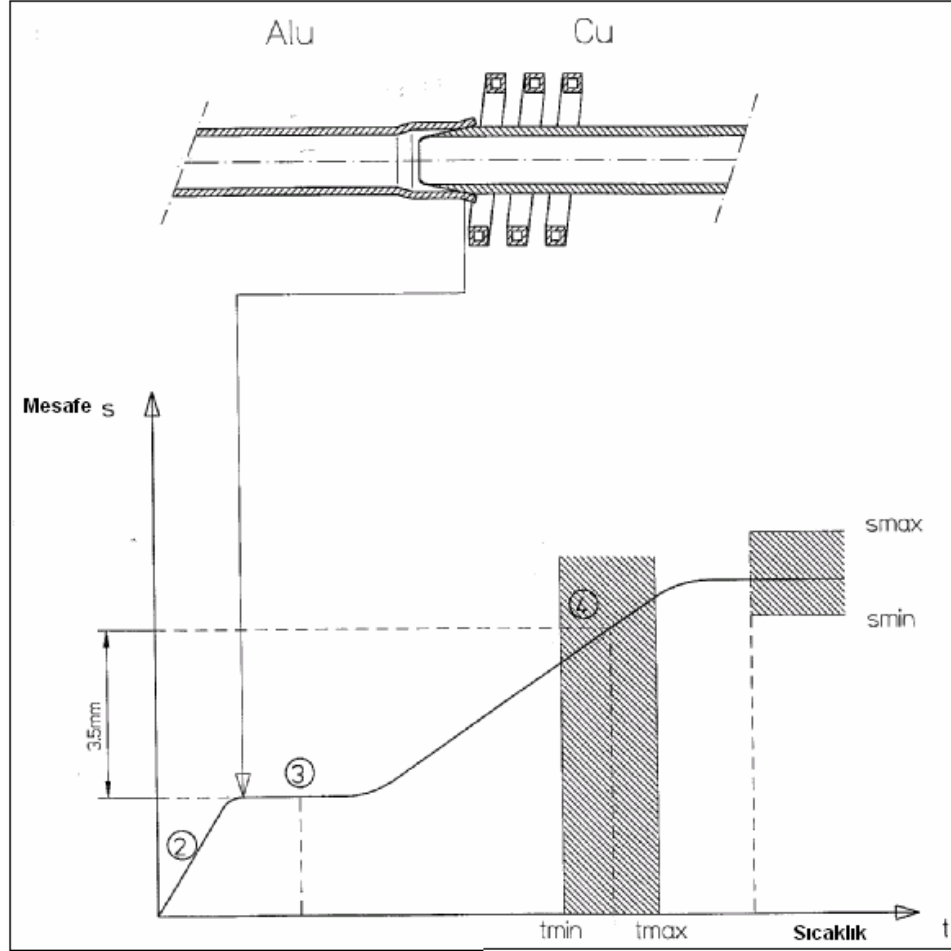


Şekil 4.4 İşlemin oluşumu a) Bakır ve alüminyum malzemenin ilk teması b) İşlemin sonucu



Şekil 4.5 Birleşme işleminin 3 boyutlu modeli

Şekil 4.5'te kaynak işleminin 3 boyutlu modeli görülmektedir. Havşa açılmış alüminyum boru sıcaklık ve basıncın etkisi ile bakır adaptörün şeklini almaktadır.



Şekil 4.6 Sıcaklık artışına bağlı olarak bakır malzemenin alüminyum malzeme içine girdiği mesafeyi gösteren grafik

4.2. Birleştirilen Malzemelerin Özellikleri

4.2.1. Alüminyum Malzeme

Malzeme : DIN 1725 – 1 ‘e göre Al 99,7

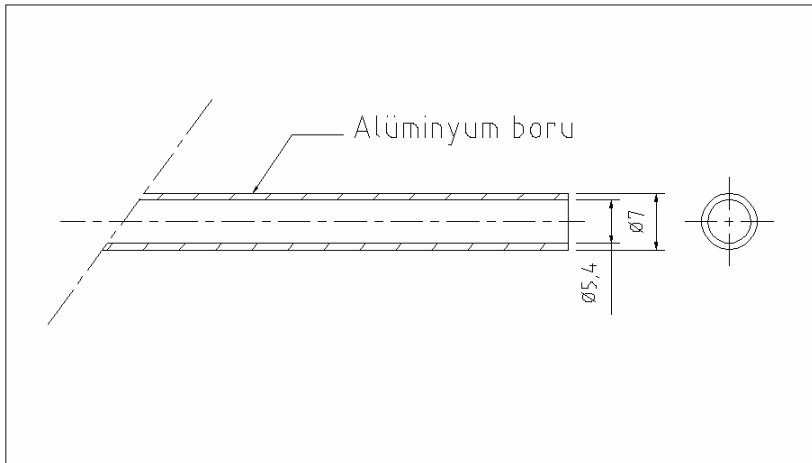
Malzeme kodu : DIN EN 573-3 ‘e göre EN AW – 1070A

Kimyasal sembolü : DIN EN 573-3 ‘e göre AN AW – Al 99,7

Malzeme numarası : DIN 1725 – 1 ‘e göre 3.0275

Çizelge 4.1 DIN EN – 3 ‘e göre Al- malzemenin kimyasal bileşimi

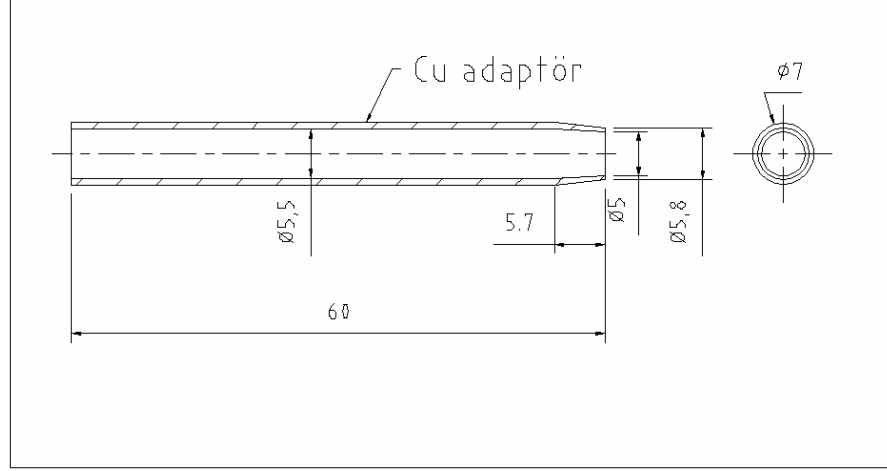
Alaşımındaki bileşimler ve izin verilen ilaveler			
Kütledeki yüzdesi		Kütledeki yüzdesi	
Si	max. 0,20	Mg	max. 0,03
Fe	max. 0,25	Zn	max. 0,07
Cu	max. 0,03	Ti	max. 0,03
Mn	max. 0,03		
Al	min. 99,7		
Diğer ilaveler : ayrı-ayrı max. 0,03			



Şekil 4.7 Deneyde kullanılan alüminyum borunun ölçüleri

4.2.2. Bakır Malzeme

Malzeme : DIN 1754'e göre SF- CuF22

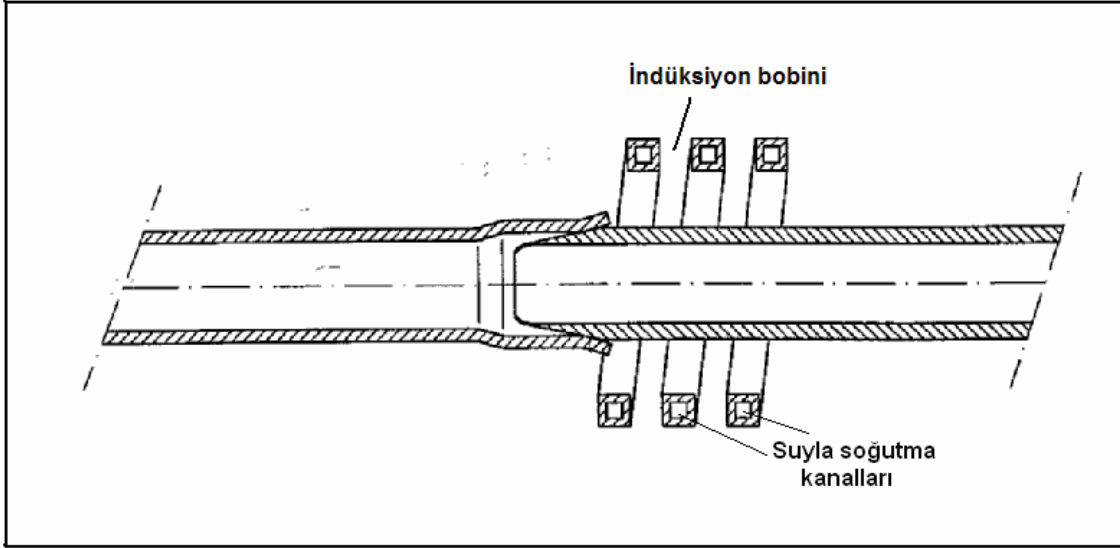


Şekil 4.8 Bakır adaptörün kesit resmi

4.3. Isı Mемbanının Özellikleri

4.3.1. Yüksek Frekans Konverteri

Sıcak basınç kaynak işleminde ısı membaı olarak “Yüksek frekans konverteri” kullanılmaktadır. Bu cihaza bağlı 3 sarımlı bobinden geçen akımla oluşan manyetik alan parçaların kaynak için yeterli sıcaklığa ulaşmasını sağlamaktadır. Bu işleme “İndüksiyonla ısıtma” denmektedir.



Şekil 4.9 İndüksiyon bobininin kesiti

4.3.2. Yüksek Frekanslı İndüksiyon Konverteri Değerleri

Cıkış değerleri

Max. Güç	10,0 kW
HF-nominal voltaj	350 V
Frekans	650 kHz – 1 MHz
İndüktördeki Max. Güç	200 kVA

Hat

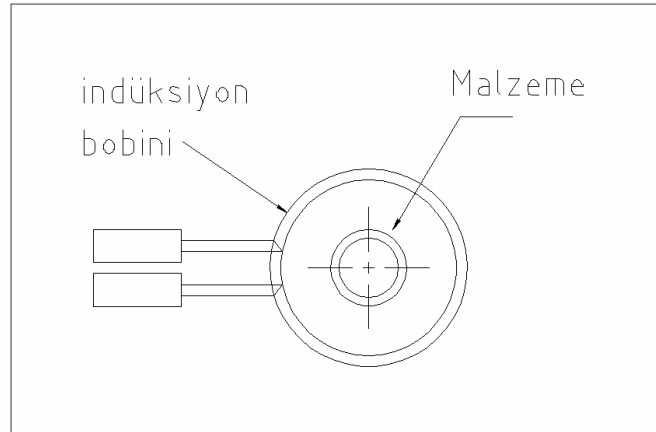
Voltaj	3x400 V + N + 6%.....- 10%
Frekans	50 Hz / 60 Hz
Güç	12,5kVA

Soğutma suyu

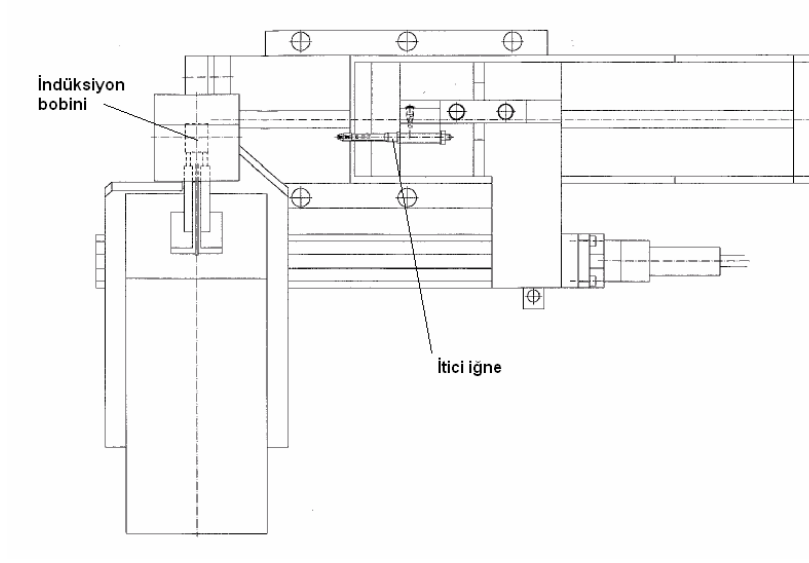
Konverter soğutma suyu	5 – 6 l/min.
Soğutma suyu basıncı	4 – 6 bar
Soğutma suyu sıcaklığı	18 – 25 °C

4.3.3. İndüksiyon ile Isıtma Prensibi

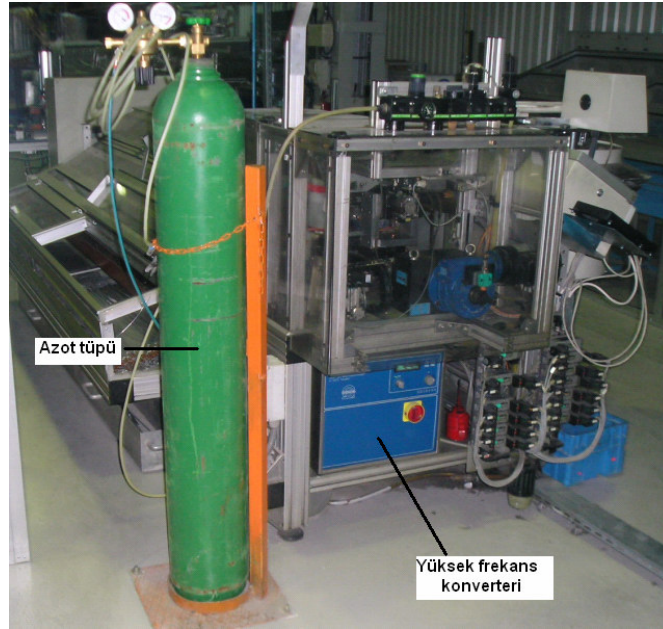
Herhangi bir iletken malzeme bir alternatif akımın devresinin yanına getirildiğinde, kısmen de olsa ısınabilir. İndüksiyonla ısıtma prensibinde alternatif akımın geçeceği bobin ısıtılacak parçanın etrafını sarmakta fakat parçaya temas etmemektedir. Bobin içinden geçen alternatif akımın yarattığı flüks, (manyetik alan) içindeki veya yakınındaki her metal parçadan devresini tamamlamaktadır. Akımın yön ve değerindeki değişiklik, flükste de aynı değişikliği yaratır. Flüksteeki değişiklik, parça içinde bir gerilim doğurur. Bu gerilim parça içinden büyük değerde fukolt akımı dolaştırır. Parça direncinden geçen bu akım parça içinde ısı yaratır. Isıyı indüksiyon akımı meydana getirdiğinden, bu işleme indüksiyon ısıtma denir. Isıtılacak parça ise kısa devre edilmiş bir spirlik bir sekonder gibidir. Bobin genellikle içinden dolaştırılan su ile soğutulur. Manyetik olan ve olmayan parçalarda fukolt akımları hemen hemen aynı miktarda ısı meydana getirir. Manyetik malzemelerde ilave olarak histerisiz olayından dolayı da ısı meydana gelir. Fakat 723 °C den sonra (kuri noktası) malzemenin manyetik etkisi dolayısıyla histerisiz kaybı yok olur. Bobinden geçen akımın yarattığı flüks, bobin iç yüzeyine yakın kısımlarda en büyük değerdedir. Parçada indüklenen akım, bu yüzden parçanın yüzeyine yakın yerlerde yoğunlaşır.



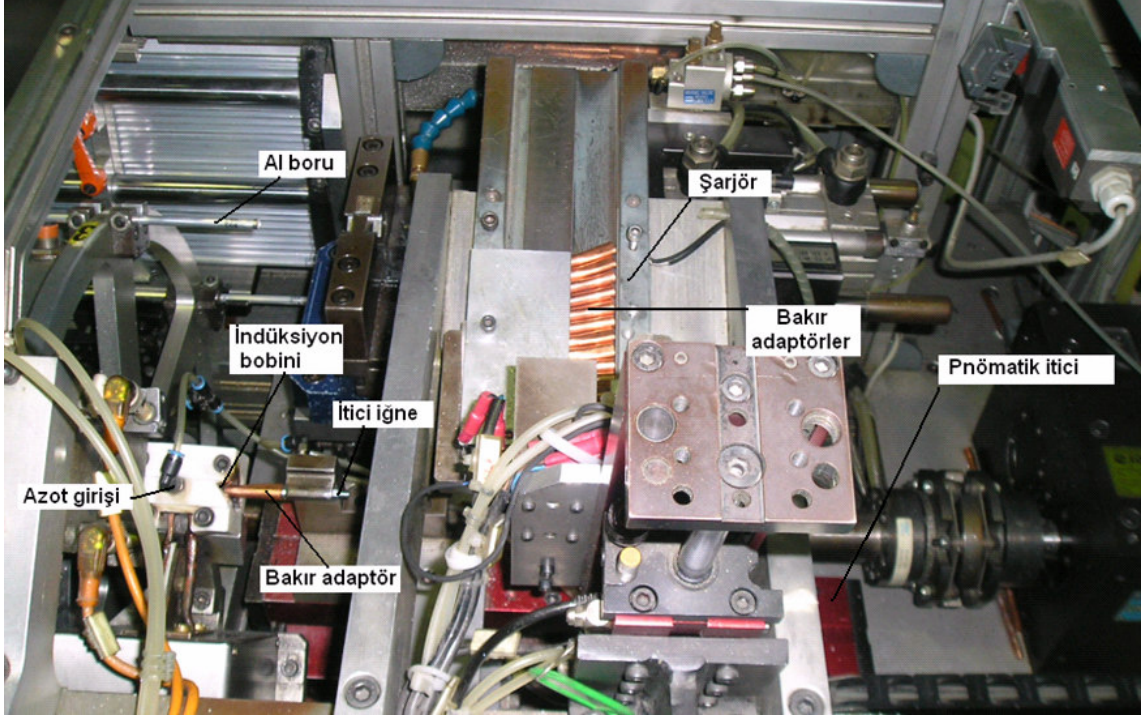
Şekil 4.10 İndüksiyon bobini ve malzemenin yandan görünüşü



Şekil 4.11 İndüksiyon bobini ve bakır boruyu iten iğnenin üstten görünüşü



Şekil 4.12 Sıcak basınç kaynak makinesi



Şekil 4.13 Sıcak basınç kaynak makinesinin parçaları

4.4. Sıcak Basınç Kaynağı ve Al- Lehiminin Maliyet Olarak Karşılaştırılması

Sıcak basınç kaynağı yapılan bir noktada alternatif olarak Al- lehim uygulaması yapılabilir. Aşağıda bir kaynak noktası için Al- lehim ve sıcak basınç kaynağı maliyet olarak karşılaştırılmıştır. Al- lehim uygulamasında malzeme ve işçilik ön plana çıkmaktadır fakat sıcak basınç kaynak teçhizatının ilk yatırım tutarı da göz önüne alınmalıdır.

Aşağıdaki hesap 1 birleşim noktası için yapılmıştır.

Al- Lehimi

İşçilik = 0,027 YTL

Malzeme (lehim teli + lehim pastası) = 0,047 YTL

Doğal Gaz = 0,002 YTL

Toplam = 0,076 YTL

Sıcak basınç kaynağı

Azot = 0,0022 YTL

Elektrik = 0,0034 YTL

Toplam = 0,0056 YTL

1 nokta için iki yöntem arasındaki fark = 0,07 YTL

Görüldüğü üzere büyük üretim rakamlarında (yıllık 1.000.000 ve üstü) sıcak basınç kaynağı Al- lehime göre oldukça ekonomiktir.

4.5. Deneyin Yapılışı

Deneyde kullanılan sıcak basınç kaynak makinesinde parametreler şunlardır;

Güç: Konverterin max. gücü 10 kW tır. Bu gücü %5 ve %99,5 aralığında ayarlanabilmektedir. Bu gücü değiştirerek oluşan sıcaklığı ayarlamak mümkündür.

Süre: 0 – 20 sn aralığında ayarlanabilmektedir.

İşlemi etkileyen bir diğer etken olan basınç, sabittir. 6 bar lık bir hava basıncına bağlı bir pnömatik silindir bakır boruya 255 N'luk bir kuvvet uygulamaktadır. Bu tüm deneyler boyunca sabit kalmıştır. Deneyde her bir noktanın kaynağı için $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ azot kullanılmıştır. Bu miktarında her uygulama için sabittir.

Deney Parametreleri

Güç = 3,7 kW, 3,9 kW, 4,1 kW, 4,3 kW, 4,5 kW

Süre = 2 sn., 2,7 sn., 3,4 sn.

Güç ve zamanın her bir değeri için 5 ad. Numune ile deneme yapılmıştır.

4.6. Kontrol

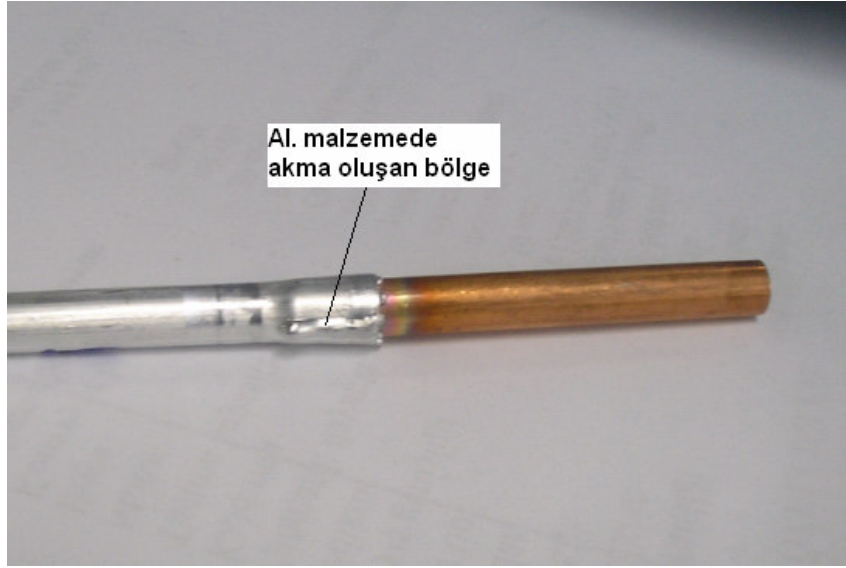
Kaynak noktasının kullanım yeri itibariyle en önemli kıstas borunun içinde gaz dolaşacağı için kaynak noktasında gaz kaçağı olup olmadığının tespit edilmesidir. Bunun için aşağıda görülen helyum gaz şarj odası kullanılmıştır. Helyum ile kaçak kontrolünde, kontrol edilmek

istenen kaynakla birleştirilmiş boruların içine helyum basılır ve bir koku detektörü (sniffer) vasıtası ile kaçak varsa tespit edilir.

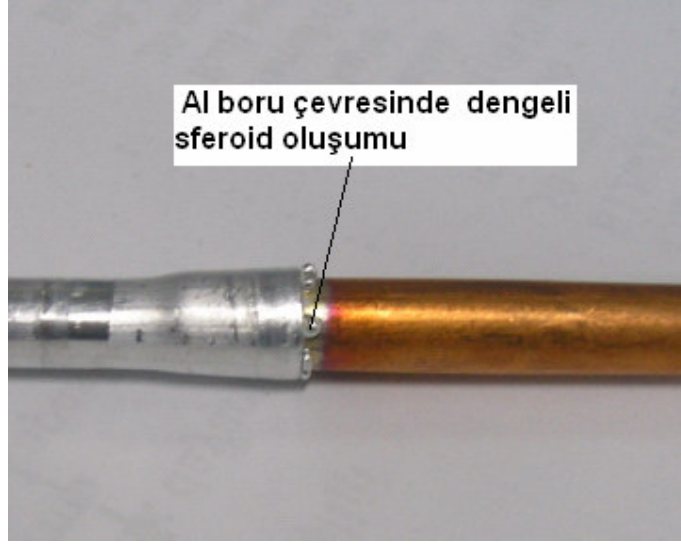


Şekil 4.14 Helyum gaz şarj odasında kaçak kontrolü

Diğer bir kontrol yöntemi ise gözle kontroldür. Oluşan tecrübeler ışığında kaynatılan her parçanın uygunluğu gözle kontrol edilir.



Şekil 4.15 520 °C de yapılan bir kaynak sonrası oluşan malzeme akması



Şekil 4.16 İdeal sıcaklıkta (460 °C) yapılan bir birleştirmede görülen dengeli sferoid oluşumu



Şekil 4.17 a

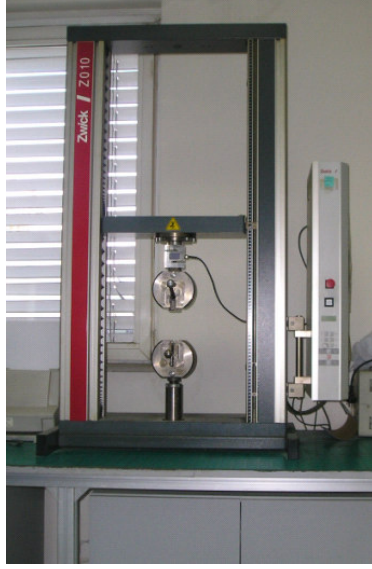


Şekil 4.17 b

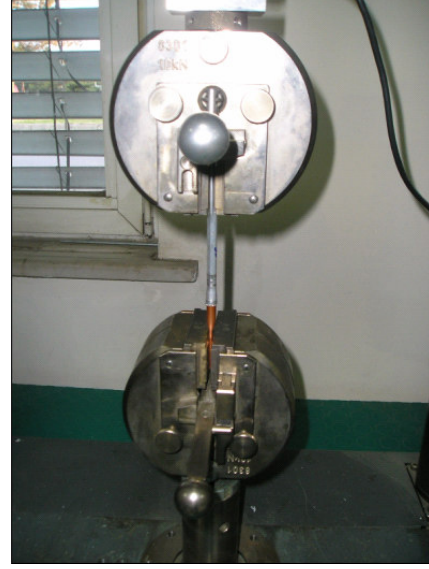
Şekil 7.17 a) 360°C de kaynak yapılan bir numunenin açılmış hali görülmektedir. Tam bir birleşmenin sağlanmadığı açıkça görülmektedir. b) 460 °C yapılan bir kaynak aynı şekilde açılmıştır. Bakır boru üzerinde alüminyumun tam bir birleşme sağladığı açıkça görülmektedir.

Gaz kaçak kontrolü ve gözle kontrol sonucu numuneler uygun-uygun değil olarak ayrılmış ve değerlendirilmiştir.

Daha sonra numuneler çekme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 4.18 a ve b de çekme deneyinde kullanılan tertibat ve numunelerin tertibata bağlanmış hali görülmektedir.



Şekil 4.18 a



Şekil 4.18 b

Şekil 4.18 Çekme deneyinde kullanılan tertibat ve numunelerin tertibata bağlanmış hali

4.7. Deney Sonuçları

Yapılan deneylerin sonucunda sıcaklığın konverterin gücü ve zaman ile ilgili olduğu görülmüştür. Meydana gelen sıcaklık aşağıdaki formül ile ifade edilebilmektedir.

$$T = 75 (t + 2,1.P - C) \quad (4.1)$$

Burada;

T = sıcaklık

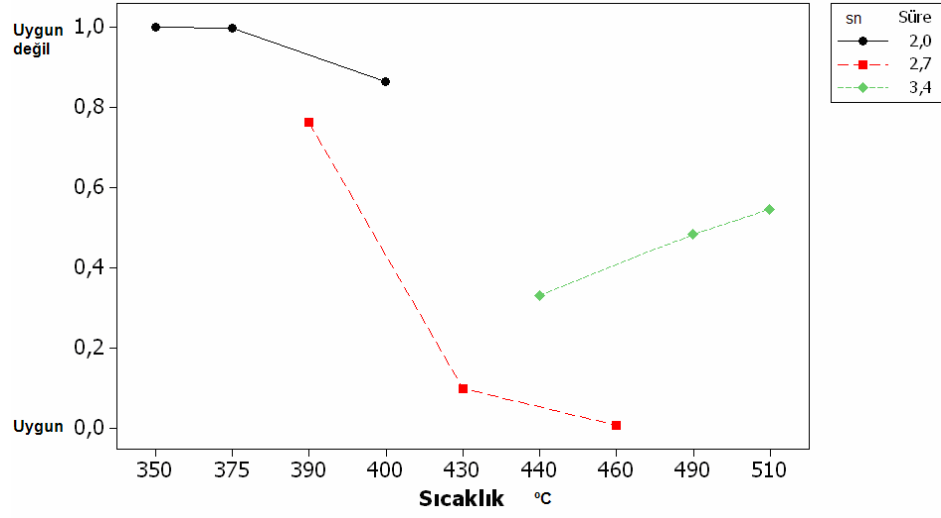
t = zaman

P = güç

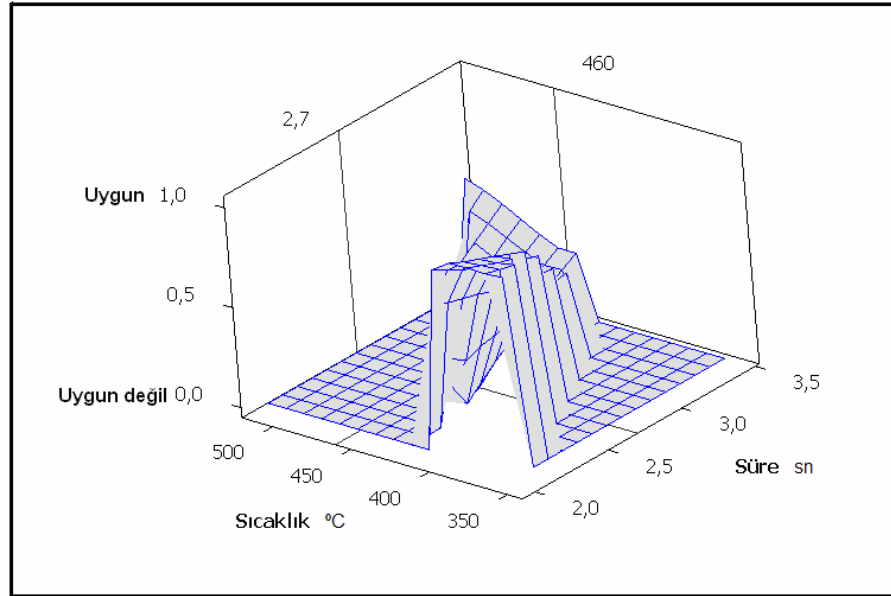
C = sabit

Kaynak sıcaklıkları ve yapılan kaynağın uygun olup olmadığı incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

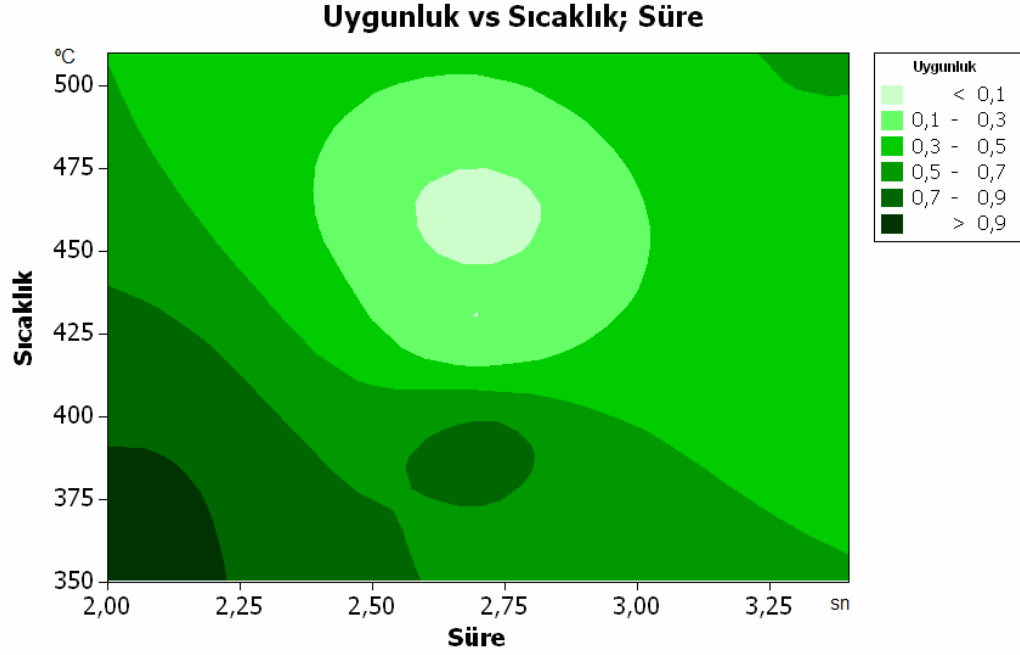
Bu sonuçlara göre 2,7 sn süresince ısıtılan, 460 °C de yapılan kaynak en iyi sonucu vermektedir. Şekil 4.19 a , b ve c deki diyagramlarda bu sonuçlar açıkça görülmektedir.



Şekil 4.19 (a) Uygun sıcaklık ve süre

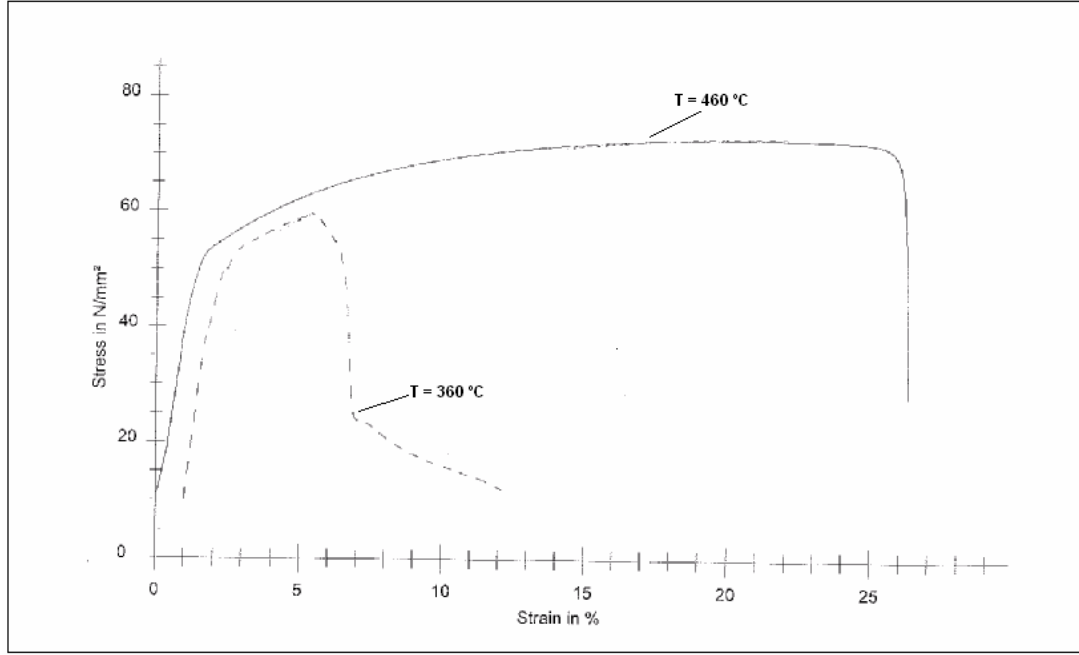


Şekil 4.19 (b) Uygun sıcaklık ve süre



Şekil 4.19 (c) Uygun sıcaklık ve süre

Çekme deneyinde ise $T = 460$ °C sıcaklıkta kaynatılan bir parça ile $T = 360$ °C' de kaynatılan iki numune test edilmiştir. Test sonucu $T = 460$ °C derecede kaynatılan numune de kaynak noktası değil alüminyum boru kopmuştur. $T = 360$ °C kaynatılan numune ise kaynak noktasından ayrılmıştır. Bu sonuç bize uygun sıcaklıkta yapılan Al – Cu sıcak basınç kaynağı birleştirmesinin Al- malzemenin dayanımından daha güçlü olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki grafikte de sonuç görülmektedir.



Şekil 4.20 Çekme deneyi sonucu numune üzerindeki gerilimi ve uzamayı gösteren diyagram

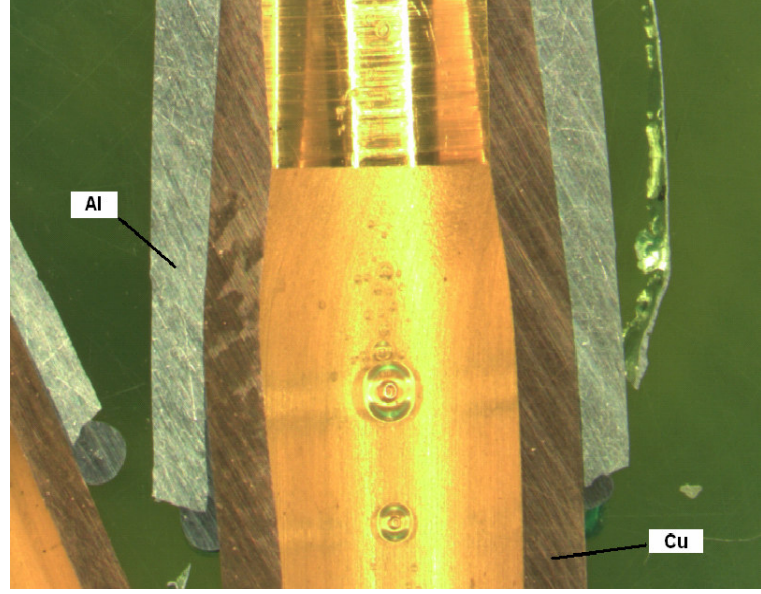
Çizelge 4.2' de ise iki numunenin kopma anındaki uygulanan basınç görülmektedir. T=460°C' de yapılan kaynak 1 numara ile T = 360 °C' de yapılan kaynak ise 2 numara ile gösterilmiştir. Test 30 mm/dak. hız ile yapılmıştır.

Çizelge 4.2 Çekme deneyi uygulanan numunelerin kopma basınçları

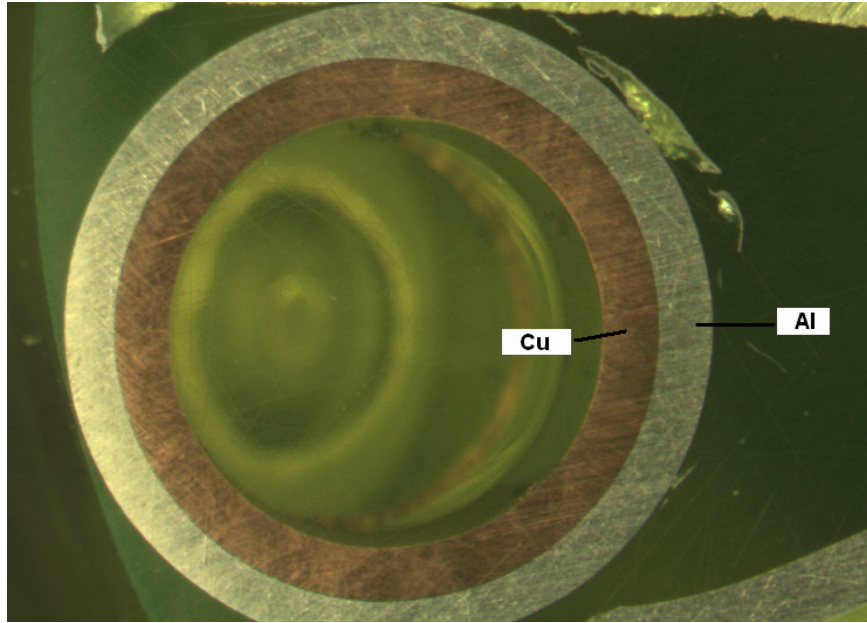
Nr	E-Modulus N/mm ²	Rp x N/mm ²	Rm N/mm ²	At %	L0 mm	S0 mm ²
1	-	-	72,69	-	80,00	15,58
2	-	-	59,48	-	80,00	15,58

4.7.1. Kaynak Kesitlerinin Mikroskop ile İncelenmesi

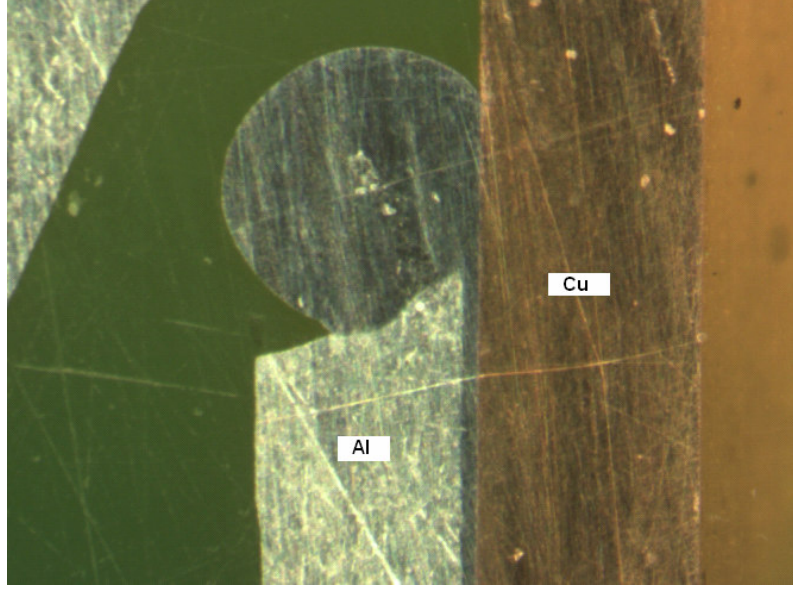
İdeal şartlarda yapılmış kaynakların mikroskop ile inceleme sonuçları Şekil 4.21 a, b, c, ve d' de görülmektedir. Özellikle şekil 4.21 a' da sfroid oluşumunun ayrıntılı olarak görülmektedir.



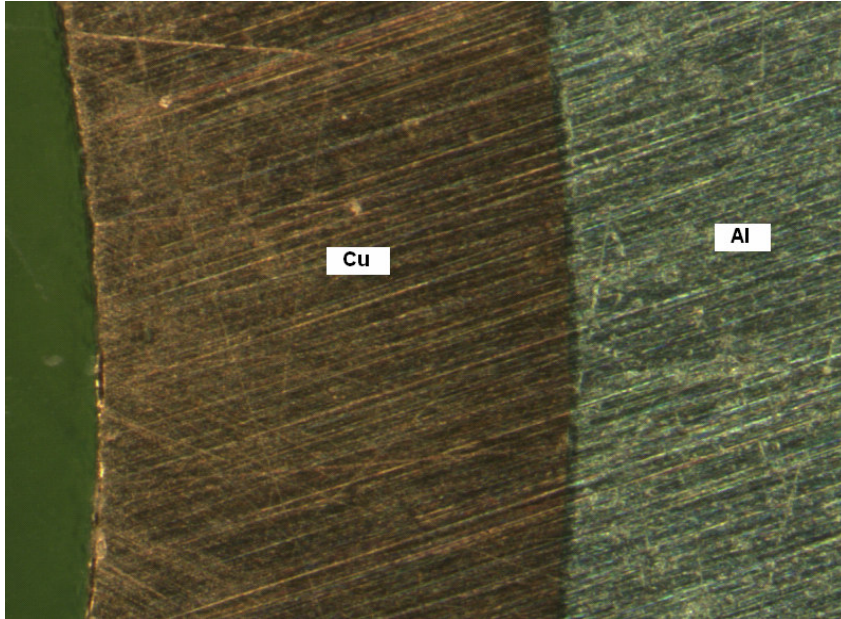
Şekil 4.21 (a) Kesitlerin mikroskop altında incelenmesi



Şakil 4.21 (b) Kesitlerin mikroskop altında incelenmesi



Şekil 4.21 (c) Kesitlerin mikroskop altında incelenmesi



Şekil 4.21 (d) Kesitlerin mikroskop altında incelenmesi

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmanın sonucunda otomatik bir sıcak basınç kaynak makinesindeki işlem parametrelerinin kaynak kalitesine olan etkileri ortaya konmuştur. Deneyde kullanılan kaynak makinesi endüstriyel alanda kullanılmaktadır ve ortaya ticari bir ürün çıkmaktadır.

Giriş kısmında da bahsedildiği üzere sıcak basınç kaynağı hakkında literatürde fazla yayın olmadığından, bu çalışmada “kısmi difüzyon” varsayımıyla parametre seçiminde referans olarak “difüzyon kaynağı” seçilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca difüzyon kaynağı ve sıcak basınç kaynağı arasındaki farklar ortaya konulmaktadır ki bunlar;

- Sıcak basınç kaynağında, difüzyon kaynağına göre işlem süresi oldukça kısadır. Bu sonuçla sıcak basınç kaynağının endüstride yüksek miktarlarda üretim için uygunluğu ortaya çıkmaktadır.
- Yüzey temizleme işlemi difüzyon kaynağına kıyasla neredeyse hiç yapılmamaktadır. Birleştirilecek malzemeler tedarikçiden geldiği haliyle kullanılmaktadır. Ayrıca bir işleme gerek duyulmaması maliyeti düşürmektedir.
- İşlem vakum altında yapılmamakta bu da işlemin hem daha hızlı hem de göreceli olarak daha basit bir makinede yapılmasına olanak sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Ananthanarayan V., (1988), “Diffusion Welding of an RS/PM Aluminium Alloy” Doktora Tezi, The Ohio State University, Ohio.

Ank S., Vural M., (1993),“Özel Kaynak Yöntemleri”, İstanbul, İ.T.Ü. Makine Fakültesi

ASM Handbook, (1989), ASM Committe, ASM International, Metals Park, OH.USA, Volume 6

Ay i., Çelik S., Çelik İ., (1999), “Comparison of Properties of Friction and Diffusion Welded Joints Made Between the Pure Aluminium and Copper Bars” BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1 (2).

Ay İ., Demircioğlu K., “ İmalat Yöntemleri 1” Ders Notları.

AWS Welding Handbook, (1980), American Welding Society, USA, Volume 3

Dağlılar, S., (1994), “AISI 304 Tipi Paslanmaz Çelik ile 6101 No.lu Alüminyum Alaşımının Katı Hal Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmesi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gourd L.M., (1996), “Kaynak Teknolojisinin Esasları”, İstanbul, İ.T.Ü. Makine Fakültesi.

Gültekin N., (1991), “Kaynak Tekniği”, İstanbul, Engin Ofset.

Luo J.G., Acoff V.L., (2000), “Interfacial Reactions of Titanium and Aluminium during Diffusion Welding” Welding Journal.

Mollaoğlu H., (2004), “Dispersiyonla Dayanıklaştırılmış Alüminyum Kompozit Malzemelerin Kaynak Kabiliyetinin Araştırılması” , Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

O’Brien R. L., (1997), “Jefferson’s Welding Encyclopedia”, Miami, USA, American Welding Society.

Oğuz B., (1988), “Sert Lehimleme” , Oerlikon Kütüphanesi

Vural M., (2003), “Kaynak ve Birleştirme Teknolojisi”,.Ders Notları

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	09.04.1973	
Doğum yeri	Tekirdağ	
Lise	1987- 1990	Tekirdağ Tuğlacılar Lisesi
Lisans	1990-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurumlar

1999-2002	YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi
2004–2005	EVAR Kesici Takım Sanayi ve A.Ş.
2005–Devam ediyor	BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.