

### III – SERTHEHİMLEMEDE TANIMLAMALAR

A – DIN 8505 “Metal malzemelerin lehimlenmesi, kavramlar, tanımlar” normuna göre lehimleme, “metal malzemelerin, ergitilmiş bir ilave metal (lehim) yardımıyla, gerektiğinde bir dekapın (fluks) ve/veya koruyucu gazlar kullanılarak birleştirme yöntemidir. Lehimin ergime sıcaklığı birleştirilecek ana malzemelerinkinin altında bulunur, ana malzemeler ergimeden *ıslatılırlar*” şeklinde tanımlanır.

"Lehim" kavramı son yıllarda sürekli olarak yeniden tanımlanmışsa da henüz bütün lehimleme yöntemlerini kapsayacak tek bir açık tanım ortaya konamamıştır. Bu sav, yukarıdaki, lehimin başlıca, parçaların birleştirilmesine hizmet eder tanımı için de geçerlidir şöyle ki örneğin "dolgu lehimlemesi" nde lehim sadece tek bir parça üzerine ergitilir...

Lehimin özellikle ergitme kaynağına karşı sınırlandırılması gerekir. Bu sonucunda ergitilmiş ilâve malzemenin ana malzemeyle aynı kimyasal bileşimde olması gerekir ki bu, çoğu kez gerçekleşmez. Bunun dışında ana malzeme de ergitilecektir. Bu sonuncu koşul kesin bir kriter olmaktadır. Ama bu, lehimlemede de ana metalin bir kısmının "akıcı" hale gelmeyeceği anlamına gelmez, şöyle ki o da ergimiş lehim metalinin etkisiyle "çözülür". Bu gibi alaşım durumları az çok her bakır ve bunun alaşımlarının lehimlenmesinde vaki olur. Bu hallerde ergimeli kaynaktaki ana malzemenin ergimesinde sınırlanma, lehimlemede lehim metali ile ana metal arasında meydana gelen difüzyon sürecine mukabil olmaktadır.

"Sert lehim" ve "(yumuşak) lehim" kavramlarının sınırlandırılmaları için 450°C sıcaklık saptanmıştır. (Yumuşak) lehimin sıcaklığı bunun hayli altında kalır. Sadece lehim malzemesi olarak çinkonun kullanılması halinde bu sınıra varılır. Bakır ve alaşımlarının sert lehim en az 600°C kadar bir sıcaklıkta gerçekleşir. Daha alçak sert lehim sıcaklıkları sadece hafif metallerde bahis konusu olur. Bakır malzemelerin sert lehim sıcaklığının üst sınırı 1000°C civarındadır.

#### **B - AWS - A3.61**

Birleştirme yöntemleri üzerine AWS'in özetleyici tablosu (*Welding Processes*, AWS-A.3.1.61), sınaî nitelikli bütün birleştirme yöntemlerini içerir. *AWS definitions, Welding and Cutting* (AWS-A.3.0.61), bütün tip birleştirmelere tekabül eden terimleri ve bunların tanımlamalarını içerir.

A 3.0 bölümü altında sert lehim "427°C'in ötesinde uygun sıcaklıklara ısıtarak ve ergime sıcaklığı ana metalinkinin altında bulunan bir demir dışı ilâve metal kullanarak kaynaşmayı hasıl eden bir birleştirme yöntemleri grubu, ilâve metal, birleşme yerinin birbirine çok yakın bitişik yüzeyleri arasına kapilarite ile yayılır" şeklinde tarif edilmektedir.

Bu arada AWS'in bu tarife değişiklikler getirdiği dikkati çekiyor, şöyle ki:

1. Bazı ilâve metallerin demir içermeleri itibariyle ilâve metal demir dışı metallere inhisar ettirilmemelidir.
2. İlâve metalin ergime sıcaklığı (*likidus*) nın 427°C'in üstünde ama ana metal solidusunun altında olacağı belirtilecektir.

Buna göre nihaî tarif şu şekli almıştır: Sert lehim "uygun sıcaklıklara ısıtarak ve likidusu 840°F (450°C) in üstünde ve ana metallerin solidusunun altında bulunan bir ilâve metal kullanarak malzemelerin kaynaşmasını (derilmesini) hasıl eden bir birleştirme yöntemleri grubu, ilâve metal, birleşme yerinin yakın alıştırılmış yüzeyleri arasına kapiler çekimle dağıtılmıştır".

Bu itibarla sert lehim üç kriterin her birini yerine getirmelidir:

1. Parçalar, ana metaller ergitilmeden birleştirileceklerdir.
2. İlâve metal 840°F (450°C)'in üstünde bir likidus sıcaklığını haiz olacaktır.
3. İlâve metal ana metal yüzeylerini *ıslatmak* ve birleşme yerine kapiler çekimle sevk edilmeli veya orada tutulmalıdır.

Ancak bütün bunlar, sert lehim süreci içinde ana metalin hiç ergimedięi anlamına gelmez. Gerçekten:

Bir cismin katı halden sıvı hale intikali olan ergime, çeşitli yollarla vaki olabilir ve mutlaka cismin katı kısmının sıvı kısmı içinde erimesi sürecini mucip olmaz. Bir katı cismin, erime sürecini içermeyen ergimesi doğruca, "serbest ergime" adını alıp sıcaklık alanı tarafından meydana getirilen bir kendi kendini devam ettiren süreci tanımlar. Bir katı cismin erime sürecini içermeyen ergimesi, hiç değişmez şekilde, farklı bir bütün (sıvı, gaz) halindeki başka katılar ya da cisimlerle temas sonucunda vaki olur. Bunlar "temas ergimesi" süreçleridirler. Temas ergimesi, temas halinde katı ve sıvı cisimler ya da katı-gaz teması halinde, sırasıyla katı-sıvı ve katı-gaz temas ergimesi olarak tanımlanır. Temas halinde İki katının ergimesine bazen basitçe temas ergimesi denir. Aslında bu ifadenin uygun olmadığı, geneli bir özel durum yerine İkame etmesinden anlaşılır. Böyle bir temas ergimesi türü daha doğru olarak "*temas-reaksiyon ergimesi*" şeklinde ifade edilir.

Katıların sıvı hale intikali (ergime), birinci kademe intikalidir. Bu intikal basınç ve sıcaklık tarafından saptanıp cismin parametreleri, hacim ve kitleden bağımsız olarak, kademeli şekilde değişir ve özellikle atom düzeni ve kafes yapısı kaybolur.

Alaşımların serbest ergimesi, bunların solidus sıcaklıklarına ya da bunun üstünde bir sıcaklığa ısıtılmaları sonucunda vaki olur. Serbest ergime noktasının altında bir sıcaklıkta bulunan farklı katı, sıvı ya da gaz halinde metallerle temas durumunda olan metal ve alaşımların ergimesi, bir temas süreci olup metastabil ya da labil (stabil olmayan) termodinamik sistemlere özgül bir ayırt edici karakteristiği haizdir.

Sıvı sicimlerle temas halinde kristal yapıyı haiz katıların ergimesi (katı-sıvı temas ergimesi) çoğu kez erime (çözölme) olarak anılır. Bu arada erime (çözölme) de, bir cisimden öbürüne tek yönlü ya da karşılıklı atom (ion) transferini ifade eder. Aynı bir bütün (katı, sıvı, gaz) halinde cisimler arasında böyle bir transfer difüzyon ve konveksiyon suretiyle olur. Katılarla farklı bütün halinde bulunan cisimler arasında atomların (ionların) transferi, sürecin difüzyon öncesi aşamasını oluşturur.

Bir kristal yapılı katının bir sıvı cisim içinde eridiği ergime sürecinin iki kademede vaki olduğu sanılır: Katının kristal kafesi içinde atom bağlantısının kırılması ve sıvı cisim atomlarıyla ve eriyikte mevcut atomlarla yeni bağlantıların oluşturulması (kinetik aşama). İkinci aşama da yüzeyler arasına bitişik sıvı tabakası ile geri kalan sıvı faz arasında tedrici difüzyon (difüzyon aşaması) dır.

Temas halindeki katı ve sıvı cisimlerin kimyasal affiniteleri (birbirlerini çekme kabiliyetleri), stabil denge kurulmadan önce değişik aşamalarda sistemin dengelenme derecesi ve birinci kademe intikallerin özellikleri dikkate alınarak temas süreçlerinin mütalâası, katı-sıvı yüzey arasında sürecin difüzyon öncesi aşamasının karakteristik görünümünü izah eder.

Bir katı ve sıvı cisim arasındaki karşılıklı etkinin temas süreçleri bunların yüzey aralarında, "ıslatma" sonucunda başlar.

Bu ıslatma aşamasından sonra katı malzemenin erimesi başlar: Bunun atomları sıvı birleşme içine yayılır (difüze olur); bu da, yüzey arasının katıya doğru kaymasına tekabül eder.

Bu andan itibaren sert lehimleme-difüzyonun gerçekleşmesi üç aşamaya ayrılabilir:

A- Sıvı metal birleşmenin doymuşluğunu hasıl eden bir ilk aşama; bu doymuşluk ana metal elementlerinden yana olup sıvı fazın eriyebilme sınırına kadar sürer.

B- Birleşmenin izoterm katılaşmasının vaki olduğu bir ikinci aşama; bu sırada sıvının atomları katı malzemeye doğru yayılır ve bu yayılma (difüze olma), katı fazın eriyebilme sınırına kadar sürer.

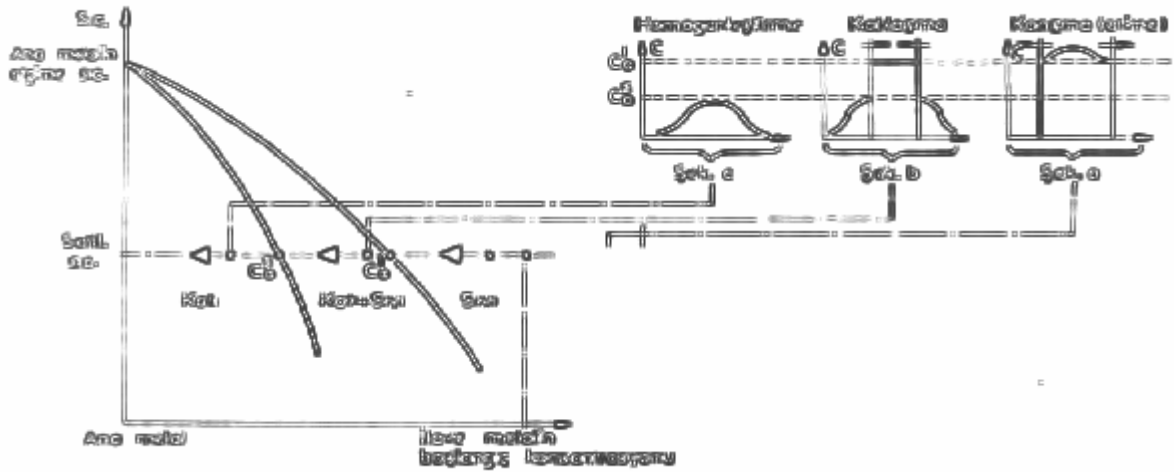
C- Birleşmenin az çok mükemmel bir kimyasal homogenleşmesine tekabül eden bir üçüncü aşama.

Sert lehimleme sıcaklığıyla ilâve metalin başlangıç bileşimi bir sıvı faz meydana çıkacak şekilde seçilmişlerdir. Bu sıvı fazla katı malzeme arasındaki karşılıklı etki, sıvı ve katının atomlarının bir temasının yaratılması ve geliştirilmesini hasıl eder, bunun arkasından birleşmeler vaki olur ve nihayet atomlar yüzey arasından karşı tarafa geçer (şek. 64).

Bu ısıtma aşamasından sonra, katı metalin atomlarının sıvı birleştirme içinde difüzyonu suretiyle bu katı metalin erimesi olgusu başlar ki bu, yüzey arasının katıya doğru yer değiştirmesine tekabül eder.

Bu andan itibaren sert lehimleme-difüzyonun gerçekleşmesi üç aşamaya ayrılabilir:

1. (şek.64a): sıvı fazın  $C_{10}$  erime kabiliyeti sınırına kadar, sıvı metal birleştirmesinin ana metal elementlerinden yana doymuşluğunu hasıl eden bir ilk aşama.
2. (şek.64b): katı fazın  $C_{s0}$  erime kabiliyeti sınırına kadar, birleştirmenin sıvının atomlarının katı malzemeye doğru difüzyonu suretiyle isotherm katılaşmasının vaki olduğu bir ikinci aşama.
3. (şek.64c): birleştirmenin az çok mükemmel bir kimyasal homogenleştirilmesine tekabül eden bir üçüncü aşama.



Şek. 64.- ana metal-ilave metal denge diyagramı

Mutat lehim ve sert lehim ilâve metalleri (DIN 1707, 8513 veya 1735) ile çelik, bakır, nikel esaslı endüstriyel metaller çerçevesinde, her lehim malzemesi *temizlenmiş* ve *birleştirme-çalışma sıcaklığına* ısıtılmış ana malzemeleri *ısıtır*, yani bir damla sıvı lehim malzemesi kendi

yüzeyini büyülterek ana metal üzerine yayılır. Bu oluşumun geri dönüşü yoktur şöyle ki başlangıç durumu-ana metal üzerinde küresel bir lehim damlası-yeniden meydana getirilemez. Katılaştıran lehim metali alt tabakaya (ana metale) yapışır.

Bu hal her zaman doğal olarak vaki olmaz: Örneğin, 960°C'ta yani demirden çok daha aşağı bir sıcaklıkta ergiyen gümüş, çelik için sert lehim malzemesi olarak kullanılamaz zira 1000°C ve daha yüksek sıcaklıkta sıvı gümüş (vakumda veya koruma gazı altında) çelik üzerine konduğunda cam üzerinde cıva gibi davranır, yani tek tek küresel damlalar oluşur. 1200°C'ın üstünde bu damlalar biraz yayılırlarsa da soğuma sırasında bunlar yeniden kendilerini toplarlar. Katılaştıran gümüş ana metale yapışmaz ve bu nedenle de birleşmede mekanik kuvvetleri karşılayacak bir bağ kuramaz: sıvı gümüş içinde demir atomları difüze olmamışlardır.

Böylece lehimleme sırasındaki ısıtmanın geri döndürülmeşişinin nedeni anlaşılır: Ana malzemeyle lehim malzemesi arasında bu ısıtmaya koşut olarak meydana gelen alaşım oluşu da aynı şekilde geri döndürülemez. İşte metallere birinin katı halde kaldığı bir alaşım oluşumu daha önce görmüş olduğumuz *difüzyon* olgusunun bir sonucu olmaktadır.

Katı-sıvı temas ergimesi (kinetik aşama), katı ve sıvı cisimlerin atomlarının muntazam olarak dağılmış olduğu bir sıvı (ergimiş) faz ile labil denge sisteminin bir metastabil sisteme intikali nedeniyle çok hızlı gelişir. Sonuç olarak, bir sıvı cisim bir kristal yapı katıyı ısıttıktan sonra bu sonuncusunun ergimesi vaki olur (difüzyon öncesi aşama) ve bunu da katı cismin ergimiş hacminin atomlarının sıvı fazın geri kalanına transferi takip eder (difüzyon aşaması). Kendine bağlı bir süreç olmakla katı-sıvı temas ergimesi başka temas ergimesi türlerinde bir mutavassıt (aracı) aşama da olabilir.

Kristal yapı katıların yüzey arasında ergimelerinin sonucu olarak, bitişik alaşımlarinkilerden farklı nitelikleri haiz bir alaşım oluştuğundan bu tür temas ergimesini bir temas reaksiyonu olarak kabul etmek uygun düşer.

Temas reaksiyonu ergimesi süreci üç aşamayı haizdir:

1. Temas yüzeylerinde katı eriyiklerin ya da kimyasal karışım ara tabakalarının oluşması (hazırlık aşaması);
2. Katı-katı yüzey arasında bir sıvı fazın gelişmesi;
3. Meydana gelen sıvı faz içinde temas halinde bulunan katıların ergimesi.

Karşılıklı difüzyon durumunda, temas halindeki kristal yapı katıların uyarma (activation) enerjisi, bunların yüzey aralarında tedricen artacak olup bu, potansiyel enerji birikmesi sonucunda vaki olacak ve bir labil halin doruğunda maksimuma varacaktır. Bu durumda sistemin potansiyel enerjisinin en küçük bir artışı gerekli uyarma enerjisinde bir

fazlalık hasil edip sistem daha stabil bir duruma -üç safhalı bir metastabil denge: katı eriyikler veya kimyasal karışımlar ve sıvı faz, yani ergime durumuna- geçecektir. Bir birinci kademe intikali olan temas reaksiyonu ergimesinden önce, yüzey aralarında temas eden fazların atomları (ionları) nın uyarıldığını farz etmek doğru olmaktadır.

Aslında ıslatma sırasında lehim metali ile ana malzeme arasında meydana gelen metalürjik olaylar henüz tam aydınlığa kavuşmuş değildir. Lehim metali ile ana malzeme arasında alaşım oluşması sırasında ısı açığa çıkmaktadır. Görünüşe göre bu ısı lehim damlasının ana metal zemini üzerinde yayılması için gereken mekanik enerjiyi sağlamaktadır. Aralarında dar bir aralıkla karşı karşıya duran iki ana malzeme lehim metali tarafından aynı anda ıslatılıyorsa, her iki yayılma enerjisi birlikte etki yapıyor demektir ki böylece lehim malzemesi o dar aralık içine emilir. Bunun için gerekli dürtücü güç, yani *kapiler doldurma basıncı*, ölçülebilir.

Ötektik ergime noktasının üstünde ama temas eden cisimlerin serbest ergime sıcaklığının altında bir temas reaksiyonu ergimesinde, süreç, bir sıvı fazın ortaya çıkmasını takiben, üçüncü aşamasına, yani ikinci aşamada oluşmuş sıvı faz içinde temas eden katıların katı-sıvı temas ergimesine geçer. Bahis konusu durumda, sıvı, temas reaksiyonu ergimesi arz edebilen her iki katıyla temasa geldiğinden, katı-sıvı temas ergimesinin karakteristik görünümleri ortaya çıkar. Bu koşullar altında sıvı faz, temas eden malzemelerin her birinin civarında bulunan bitişik cismin atomlarından yana zenginleşir.

Sistem bir yerel metastabil dengeye doğru ilerledikçe sıvı faz içinde her bir faz sınırı boyunca bu sınırların civarındaki temas eden katı bölümlerinin katı-sıvı temas ergimesi, bunlardan biri tamamen ergiyene kadar, sürekli olarak yeniden başlar.

Sonuç olarak, kristal yapıları katıların temas ergimesi, serbest ergimedeki farklı olarak, üç önemli karakteristiği haizdir:

1. Bir homogen çok kristalli yapının serbest ergimesi bir hacim içinde vaki olur, o ise ki aynı cismin temas ergimesi, yüzey arası üzerinde farklı bileşimde katı, sıvı ve gaz halinde cisimlerle bir temas dengesini bahis konusu eder.

2. Serbest ergime tek aşamalı bir süreçtir, temas ergimesi ise, çeşitli aşamalarda farklı modeller takip eden çok aşamalı bir süreçtir.

3. Serbest ergimedeki sıvı faz, kristal yapıları katının solidusuna eşit ya da bunun üstünde bir sıcaklıkta teşekkül eder; temas ergimesinde ise sıvı faz, bu sıcaklığın altında oluşur.

Özetle:

Birleştirilecek metallerin serbest ergimesini gerektiren imal yöntemi *kaynak*, temas ergimeli imal yöntemi de *sert lehimleme* ve *lehimleme* olarak bilinir.

### ***Birleştirme - çalışma sıcaklığı***

Pratik uygulamalarda ana metalin gereksiz fazla ısıtılmasından kaçınmak önemlidir. Bu bakımdan *birleştirme* ya da *çalışma sıcaklığı* kavramı meydana çıkmış olup yukarıda söylediklerimizin ışığında bu sıcaklık, *temas reaksiyonu ergimesinin* hasıl olduğu sıcaklıktır. Bu, kaynakçıya, ana metalle ilâve metal arasında, yerel herhangi bir fazla ısıtma olmadan, mükemmel bir birleşme elde etmek için birleşme yeri civarının hangi sıcaklığa peşinen ısıtılması gerektiğini gösterir.

### ***Birleştirme - çalışma sıcaklığının saptanması için deneyler***

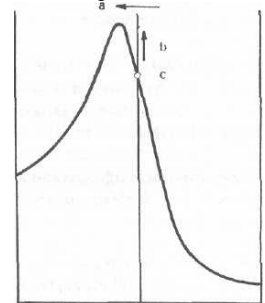
Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIS/IIW) nun "Lehim ve Dolgu" alt komisyonu bu komisyonu bu konuda çok sayıda deney yapmış olup bunların ışığında aşağıdaki tanımlamalar saptanmıştır.

Ana metalin ısıtılmasının gerektiği sıcaklık hususunda iki kavram yerleşmiştir: Almanya'da "*çalışma sıcaklığı*", Fransa'da da "*ıslatma sıcaklığı*". Bunlar şöyle tanımlanmışlardır:

*Çalışma sıcaklığı*, iş parçasının ana metalle sıvı (ergimiş) ilâve lehim metali arasında temas yüzeylerinde, lehim metalinin genişleyip-yayılp, akıp birleştirebilmesi için ısıtılmasının gerektiği asgari sıcaklıktır.

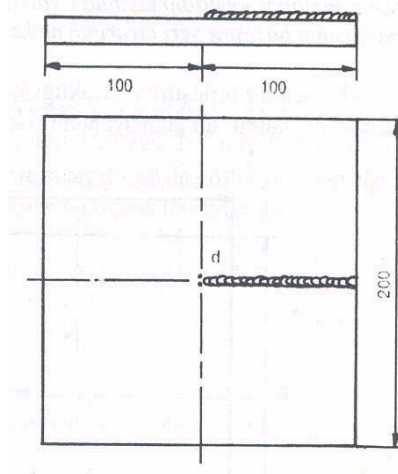
*Islatma sıcaklığı*, ana metalin, sıvı (ergimiş) ilave metalin ıslatabildiği, yani bunun üzerinde genişleyip-yayılp, akıp birleştirebilmesi için ısıtılmasının gerektiği sıcaklıktır.

Bu itibarla her iki sıcaklık ana metal üzerinde ölçülecektir. Aradaki önemli fark, ıslatılma sıcaklığının ana metalin üst yüzeyinde, ergimiş ilave metalin takibinde *önce*; buna karşılık da çalışma sıcaklığı, ilave metalle ana metalin temas yüzeylerinde ergimiş ilave metalin takibinden *sonra*, yani bunu ana metale daha önce ısı aktarmasından sonra ölçülmesindedir.



*Çalışma sıcaklığı*, ana metale bağlı değildir; o, bir *ilave metal* için karakteristik bir büyüklüktür ve ilave metalin ergime noktasının (solidusunun) üstünde ve ilave metale göre ya üst ergime noktası (likidus) na eşit ya da bunun biraz altında ya da üstünde olur.

*Islatma sıcaklığı*, ana metal ilave metal ve çalışma şekline bağlıdır; o, *lehim uygulamasının* bir karakteristiği olup ilave metalin üst ergime noktasının (likidusunun) altında bulunur.



Şek. 65.- Lehim uygulaması sırasında sıcaklığın değişmesi. Dikişin termoelemente doğrudan temas edeceği andaki sıcaklık, birleştirme sıcaklığıdır.

**b = sıcaklık**  
**c = birleştirme sıcaklığı**  
**d = termoelement**

Islatma sıcaklığı belirli sınırlar arasında olabilir ve burada alt sınır, birleşmenin hâlâ mümkün olabildiği en alçak sıcaklığı ifade ederken, üst sınır da çalışma sıcaklığı olmaktadır.

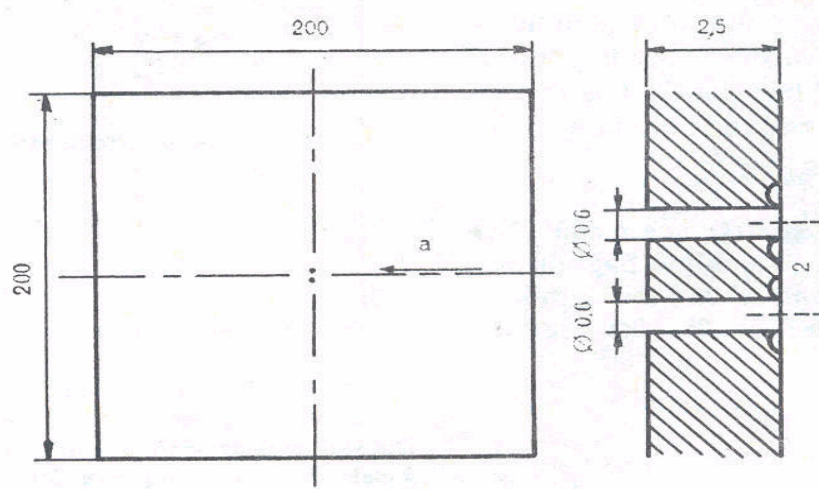
Dönelim "*birleştirme sıcaklığı*" kavramına. Bu, *sıvı ilâve metalin üstüne bağlanabileceği ana metalin ısıtılmasının gerekli olduğu asgarî sıcaklık* olarak tanımlanıyor. Birleştirme sıcaklığı, dolayısıyla, ilâve metalin alt ergime noktası (solidus) ndan aşağıda bulunur.

Birleştirme sıcaklığı kavramı aracılığıyla ıslatma sıcaklığı kavramı da yerine oturtulmaktadır: "*Birleştirme sıcaklığı*", "*ıslatma sıcaklığı*" nın alt sınırından başkası değildir.

Bununla birlikte, ıslatma sıcaklığının *alt* sınırı olarak birleştirme sıcaklığı her çalışma şekli için kullanılamaz. Kapiler lehimleme, görüleceği gibi, çalışma sıcaklığında, yani ilâve metalin solidusunun üstünde bir sıcaklıkta olur. *Kaynak lehim*i ve *dolgu*'da ise birleştirme sıcaklığının anlamı aşikar olur ve kaynakçıya, *ilâve metalin uygulanmasından (birleşme yerine damlatılmasından) önce iş parçasının birleşme yeri civarının ne kadar ısıtılması gerektiğini* gösterir.



Kısaca bu birleştirme sıcaklığı konusu Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün "Lehim ve dolgu" alt komisyonunu çok özenli deneylere itmiştir.



Şek. 66.- Ana metal levhası ve termoelementlerin konumu.

a = lehimleme yönü

Bu deneylerde sorun, ana metal üzerine bir ilâve metal dikişi çekilirken, dikişin herhangi bir noktasında ana metalin sıcaklığının saptanmasıdır. Örneğin bir 200x200 mm boyutunda bir levha ele alınıp bunun üzerine sağdan sola doğru ilâve metalden bir dikiş çekilsin. Levhanın üst yüzeyine dikişin ortasında bir termoelement vaz edilsin; böylece lehimin uygulanması sırasında dikişin ortasındaki ısı değişme eğrisi çizilir (şek.65).

Lehimin uygulanması sırasında lehim yeri civarının sıcaklık dağılmasının pratik olarak değişmediği bilinir; dolayısıyla sıcaklık eğrisi, lehimleme hızı ile değişir. Başka deyimle, bahis konusu eğri belli bir anda, eksen boyunca, termoelementle lehimin olduğu nokta arasındaki mesafenin fonksiyonu olarak sıcaklığın değişmesini gösterir.

Şek.65'deki eğrinin şekli çok ilginçtir şöyle ki termoelementin takılı bulunduğu yerdeki sıcaklığın maksimum sıcaklık olmadığını, yani dikişin termoelemente doğruca dokunduğu noktada buna ani olarak erişilmediğini, bu maksimum sıcaklığa *daha sonra* varıldığını gösteriyor. *Dikişin doğruca termoelemente değdiği yerde aniden ölçülen sıcaklık, tarif gereğince, birleştirme sıcaklığı olmaktadır.*

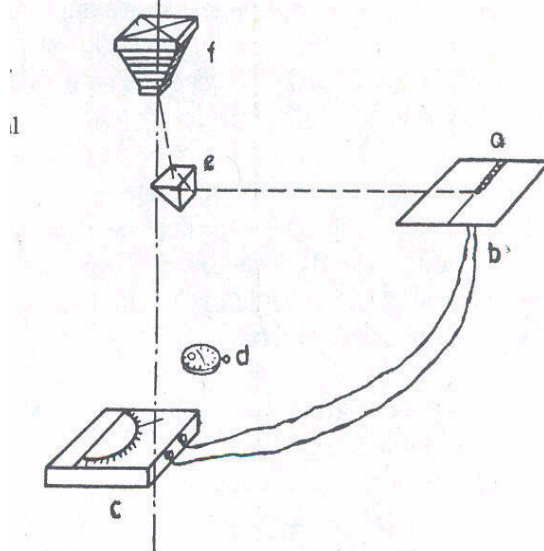
### **Ölçüm yöntemleri**

Ölçümler bir Ni/Cr-Ni termoelementle yürütülmekte olup bu mutad yöntemde 900°C'a kadar ayarlıdır. Ana metal olarak 2-3 mm kalınlıkta bir yumuşak çelik levha kullanılır ve bunun ortasına, şek.66'da gösterilmiş yuvalara, termoelement uçları yerleştirilir ve üst yüzeyle bir olarak tesviye edilir. Üç büyüklük takımını, yani zaman, sıcaklık ve termoelement-dikiş ucu uzaklığının aynı anda ölçümü için iki yöntem vardır:

### a) Fotoğrafik yöntem

Bunda aynı negatif üzerine, dikiş çekilirken ana metal, süreyi saptayan saat ve termoelemente ait ölçü âleti çekilir (şek.67).

Bu yöntemde her ne kadar ergime banyosunun ışımına karşı filtre ve benzeri önlemler alınsa da dikişin uç noktasının tam yerinin saptanması güç olmaktadır. Bu nedenle başka bir yöntem geliştirilmiştir.



Şek. 67.- Fotoğrafik yöntem.

Deney tertibinin şeması

a = ilave metal dikişiyle ana metal

b = termoelementlerin bağlantısı

c = mili voltmetre

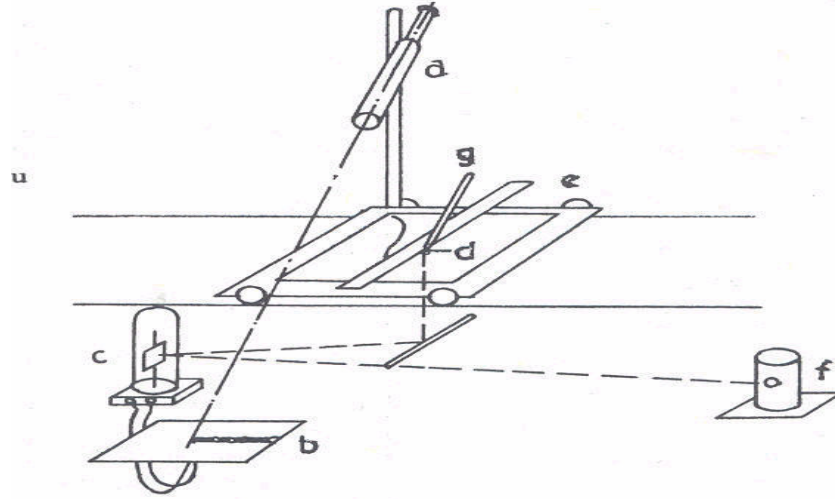
d = saat

e = prisma

f = fotoğraf makinası

### ***b) Grafik yöntem***

Bu yöntemin prensibi şöyledir (şek.68): Bir yatay, arasından görülebilen boru siper, lehim yönüne paralel olarak bir pantograf sisteminin yardımıyla hareket eder. Termoelementlerin gerilimi bir aynalı galvanometre ile ölçülür; bunun gönderdiği ışık spotu aynı ışık siper borusu üzerine yansı ve burada borunun hareket yönüne dikey



**Şek. 68.- Grafik yöntem. Deney tertibatının şeması**

**a = araba ve ışık siper borusu ve dürbün**

**b = ana metal ile ilave metal dikişi**

**c = galvanometre**

**d = ışık noktası (spotu)**

**e = çizgi cetveli**

**f = lamba**

**g = kalem**

yönde hareket eder. Işık spotunun hareketini bir kalemle izleyerek termoelementin gerilim eğrisini, yani dikişin ilerlemesinin fonksiyonu olarak sıcaklık eğrisini çizmek mümkün olmaktadır.

### ***Galvanometre tashihi***

Sıcaklık ve buna bağlı olarak galvanometre gerilimi değişmesi fevkalade hızlı olup galvanometrenin göstermesinde gecikme vaki olur; bu nedenle bir tashih gerekli olmaktadır.

Bilindiği üzere bir ölçü aletinin açısal hareketi

$$N = E + A \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + W\alpha \frac{d\alpha}{dt}$$

denklemleriyle verilir. Burada

$N$  = ölçülecek büyüklük

$\alpha$  = sapma açısı

$t$  = zaman

$E$ ,  $A$ ,  $W$  de aletin sabiteleridir. Tashih çarpanı

$$E \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + A \frac{d\alpha}{dt}$$

olup hız ve ivme ne kadar büyük olursa o da o kadar büyük olur.