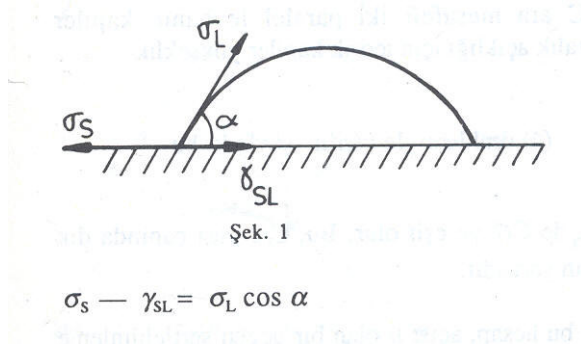


EK VI

KAPİLER YÜKSELMESİNİN HESAPLARI

Sert lehimlenmiş birleştirmelerin tasarımlarında, kesin olarak saptanmış birleştirme koşulları altında ilave metalin, sert lehimleme aralığına bağlı olarak tutacağı yolların bilinmesi büyük fayda sağlar. Bu özellikle ilave metalin yerçekimine karşı akması, yani başka deyimle, ilave metalin kapiler yükselmesi bahis konusu olduğunda doğrudur.

Isıtılma kabiliyeti, bir düz yüzey üzerinde dengede bulunan sıvı ilave metalin α temas açısının bir fonksiyonu olarak ölçülebilir (şek 1). Yeterli ısıtılabilirlik sağlamak için α açısı 30° den küçük olmalıdır. Çoğu kez de, yüksek sıcaklık sert lehimlemesi* için açı çok daha aşağı olacaktır. α açısı, sıcaklığa bağlı bir yüzey gerilmeler dengesiyle belirlenir:



Burada σ_s , katının yüzey gerilmesi, σ_L sıvının ve γ_{SL} de sırasıyla katı ve sıvı arasındaki yüzey gerilmesidir. Genellikle σ_s ve γ_{SL} ölçülmezse de belli koşullar altında fark (ısıtılabilirlik gerilemesi), deneysel olarak saptanabilir.

Kapiler aralığın doldurulması için itici güç P_K kapiler basınçtır. Bu basınç $\gamma_A = \sigma_L \cdot \alpha$ ısıtılabilirlik gerilmesinin bir fonksiyonudur. Sert lehimlemede bir kapiler aralığın doldurulması için γ_A nın önemi böylece belli olur.

Young ve Laplace'a göre, herhangi bir şekil için

$$P_K = \gamma_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \text{dır} \quad (2)$$

burada R_1 ve R_2 sıvı yüzeyin başlıca eğim yarı çaplarıdır.

Aralığın dik ve cidarların da paralel olmaları halinde, yine gördüğümüz gibi P_K , sıvı ilave

$$H_{\text{teor.}} = \frac{\gamma_A}{g \delta} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \text{olur} \quad (3)$$

metal sütununun hidrostatik basıncına eşit olur. Bu durumda kapiler yükseklik için teorik sınır

Burada $g = 981 \text{ cm/sn}^2$ ve δ da ilave metalin özgül ağırlığıdır.

Yeterli genişlik ve dar C ara mesafeli iki paralel levhanın kapiler sert lehimlemesinde, belli bir C aralık açıklığı için teorik kapiler yükseklik

denklemleriyle verilir, şöyle ki bu durumda R_1 sonsuza gider ve R_2 de $C/2$ ye eşit olur. Bu $C/2$ nin yarı çağında dik dairesel kapiler tüpteki yüksekliğin yarısıdır.

Paralel levhalar için verilen bu hesap, açısı μ olan bir üçgen sert lehimleme açıklığı için de doğrudur. Burada aralık yaklaşık olarak paralel farz edilmektedir şöyle ki paralel levhalarda da bunlar tam olmayıp aralarında bir küçük açı yaparlar (üstteki şekil 2a).

Teorik kapiler yükseklik

$$\text{tg } \frac{\mu}{2} = \frac{C}{2X} \quad (5)$$

$$H_{\text{teor.}} = \frac{2\gamma_A}{g\delta C} \quad (4)$$

denklemleriyle hesaplanır; burada X

$$H_{\text{teor.}} = \frac{\gamma_A}{g\delta X \text{tg } \mu/2} \quad (6)$$

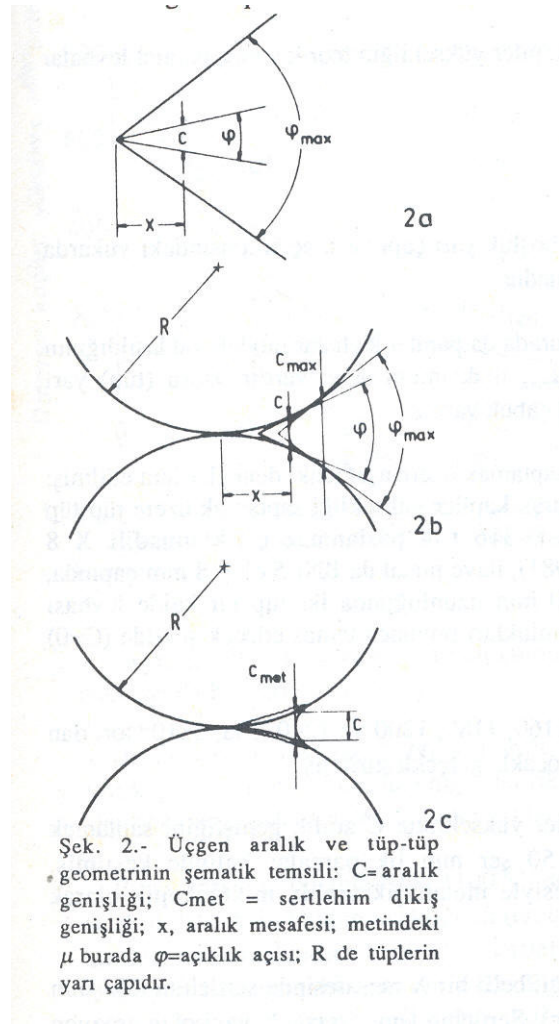
ilintisine göre saptanır.

Bu yaklaşıklık, artan açılarla daha az kesin hale gelir. Başka deyimle μ açısı için, paralel levhalar modelinin üçgen aralık uçları için uygunluğunu kaybettiği bir μ_{max} değeri vardır.

Benzer belirlemeler tüp-tüp geometrisi için de yapılabilir. Burada μ sadece C aralık genişliği ve X açıklık mesafesinin değil, aynı zamanda R yarıçapının da bir fonksiyonu olmaktadır. Her iki tüpün yarı çaplarının eşit olduğu varsayılarak

$$\operatorname{tg} \frac{\mu}{2} = 2 \left(\frac{R^2}{CR - C^2/4} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

ifadesi bulunur. Bu değişkenleri içeren iki ifade daha vardır:



$$\operatorname{tg} \frac{\mu}{2} = 2 \left(\frac{R^2}{X^2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8) \quad \text{ve}$$

$$C = 2 [R - (R^2 - X^2)^{\frac{1}{2}}] \quad (9)$$

Tüp-tüp geometrisi halinde kapiler yüksekliğin teorik sınırı, paralel levhalar modeline benzetilerek

$$H_{\text{teor.}} = \frac{2\gamma_A}{Cg\delta} \quad (10)$$

ifadesiyle verilir; aralık genişliği boşluk yarı çapı ve μ açısı arasındaki yukarıda verilmiş denklemler burada da uygundur.

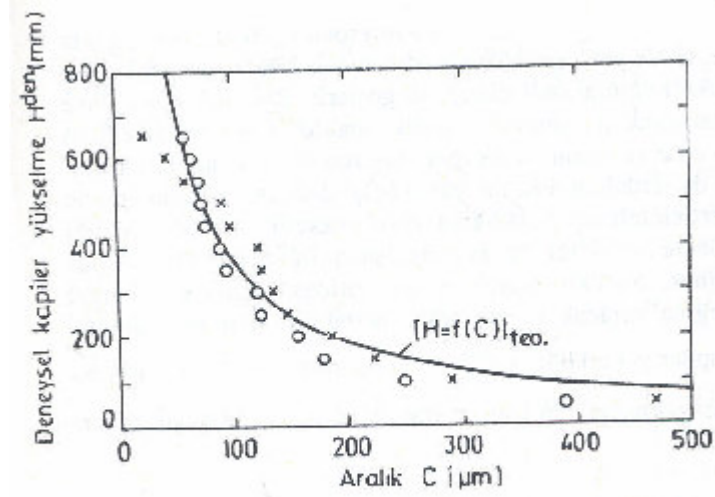
Üçgen aralıkta olduğu gibi burada da paralel levhalar modeli yaklaşıklığının uygulanabilirliğinin bittiği bir μ_{max} maksimum açısı vardır. Boru (tip) yarı çapları küçüldükçe bu maksimuma çabuk varılır.

Bu teorik verilen sıhhatını saptamak üzere aşağıdaki deneyler icra edilmiş: Aralık genişliğinin fonksiyonu olarak kapiler yüksekliği saptamak üzere tüp-tüp modeli seçilmiş. Tip malzemesi, 316 tipi paslanmaz çelik muadili X 8 CrNiMoNb 16 16 (Malz. No. 1.4981), ilave metal de Bni-5 olup 8 mm çapında, 0,25 mm et kalınlığında ve 1000 mm uzunluğunda iki tüp bir kaide levhası üzerine dikey olarak ve bütün uzunlukları boyunca temas edilecek şekilde (C=0) monte edilmiş.

Sert lehimleme 1100, 1140, 1160, 1180, 1200 ve 1240 °C'ta, 5×10^{-4} torr'dan aşağı vakum altında bir rezistanlı ocakla gerçekleştirilmiş.

Belli bir deneysel H_{den} kapiler yükseklikte C aralık genişliğini saptamak üzere, sert lehimlenmiş borular 50 şer mm lik parçalar halinde kesilmiş. Parlatılmış yüzeylerde X mesafesiyle metalürjik aralık, mikroskopik olarak ölçülmüş.

C_{met} metalürjik aralık genişliği, belli bir X mesafesinde sert lehim dişişinin genişliği olarak tanımlanır (şek. C). Sert lehimleme sırasında vaki olan erozyon ve difüzyon dolayısıyla C değerleri aynı olsa bile tüp-tüp geometrisince verilen C'den mutlaka büyük olacaktır. X değeri aralığın doldurulmasını saptar. Bu itibarla belli bir kapiler yükseklik için aralık genişliği (9) denkleminde hesaplanır ve mesafe de deneysel ölçülür.



Şek.3. BNi-5'in 1180°C'ta aralık genişliğinin fonksiyonu olarak kapiler yüksekliği (deneysel olarak bulunan)

Altı değişik sıcaklıkta yapılmış deney sonuçlarından biri, örnek olarak, şek. 3'de verilmiştir. Bunda sert lehimleme aralık genişlikleri daireler, sert lehim dikişi genişliği (metalürjik aralık genişliği) de çapraz çizgiler halinde gösterilmiştir.

Ayrıca (10) denklemiyle hesaplanmış kapiler yüksekliğin fonksiyonel bağılılığı da bir eğriyle verilmiştir.

Deney sonuçlarına göre, 1160 ile 1240 °C arasındaki sıcaklıklarda, bir ortalama aralık genişliği için hesaplanmış teorik H_{teor} kapiler yükseklikle gerçek (deneysel) H_{den} yükseklikleri arasında iyi bir tutarlılık vardır.

Buna karşılık, bu tutarlılık 1100 °C sıcaklıkta çok daha azdır şöyle ki bu sıcaklık Bni-5'in likidus sıcaklığının (ergime aralığı-solidus-1080 ile 1135 °C) altında bulunmaktadır. 1100 °C'ta sert lehimlendiğinde, ilave metalin akışını etkileyen katı parçalar mevcut olur. Bu husus özellikle daha büyük aralık genişliklerinde belirgindir. Örneğin. 120 mikronluk bir aralıkta, teorik kapiler yüksekliğin ancak 2/3 üne erişilebilir.

1160 ila 1240 °C'ta sadece 150 mikrondan fazla aralıklarda H_{teor} ile H_{den} arasında iyi tutarlılık kalmıyor. 120 mikron aralıkta her iki yükseklik birbirine eş oluyor. (7) denklemine göre açılar $\mu = 38,6^\circ$ (120 mikron) ve $\mu = 42,9^\circ$ (150 mikron) olarak bulunuyor. Bu da $\mu_{\text{max}} = 38,6^\circ$ nin ötesinde üçgen aralık için paralel levhalar modelinin alınamayacağı sınırı ifade ettiği anlamındadır.

Şek. 3,4 mm yarı çapında iki tübün 50 mikronun altında bir aralıkta sert lehimlendiklerinde, teorik yaklaşım hala geçerli olmakla birlikte gerçek kapiler yüksekliğin

teorik yüksekliğin altında olduğunu gösterir. Bunun nedeni, ilave metalin ana metalle karışarak değişmesidir. Aralık daraldıkça, ana meralin ilave metal içine difüzyonu artar ve lidikus sıcaklığını düşüren silisyum miktarı azalır. Bunun sonucu olarak da sert lehim dikişine yakın bölgedeki ana metalin ergime sıcaklığı, seçilmiş sert lehimleme sıcaklığına göre yükselir. Aralık genişliği azaldıkça, sert lehimleme sıcaklığı bu kez değişmiş ilave metalin lidikus sıcaklığının altına iner. Sürekli olarak artan solidus sıcaklığı nihayet sert ehimleme sıcaklığına varacak olursa, ilave metal katılaşıır ve mümkün olabilen maksimum kapiler yüksekliğe (H_{den}^{max}) erişilmiş olur. Bu itibarla bir üçgen aralık ve tüp-tüp geometri için kapiler yükseklik $\mu_{max} = 38,6^\circ$ lik açılara kadar hesaplanabilir.

Bu maksimum açı, 4 mm yarı çaplı çelik tüpler için 120 mikrona tekabül eder. 60 mm yarı çaplı borularda kapiler yükseklik 1,2 mm'lik aralık genişliğine kadar hesaplanabilir (denklem 7). Bu değerler hiçbir zaman yüksek sıcaklık sert lehimlemesi için kullanılmayacaktır; bunlar bu tür tüp-tüp geometri için paralel levhalar modelinin usulen fayda sınırını gösterirler.

50 mikronun altında aralık açıklığı için Bni-5 ilave metalle sözü edilen Ni-Cr çeliği birleşmesinde deneysel ve hesaplanmış kapiler yüksekliğinin oranları 1160 ile 1240°C sıcaklık aralığında deneysel olarak şöyle saptanmıştır.

$$\begin{array}{l} 15 \text{ mikron aralıkta} \quad H_{den} / H_{teor} = \text{yakl. } 0,3 \\ 25 \text{ mikron aralıkta} \quad H_{den}/H_{teor} = \text{yakl. } 0,5 \end{array}$$

(10) denklemine göre teorik kapiler yükselmeyi hesaplamak için γ_A ısıtılabilme gerilimi ile ilave metalin δ özgül ağırlığının bilinmesi gerekir. Bu sonuncusu BNi-5 için $7,65 \text{ gr/cm}^3$ olup γ_A nın değeri yüksek sıcaklık ilave metallere bilinmemektedir. Bu itibarla γ_A , Bni-5'de bulunan malzemelerin (Ni,Cr ve Si) yüzey gerilimlerine dayanarak 1400 dyn / cm olarak tahmin edilmiştir şöyle ki küçük açılarda yüzey gerilimi pratik olarak ısıtılabilme gerilimine eşittir. $G=981 \text{ cm/sn}^2$ alınca kapiler yükseklik ve aralık açıklığı için

$$H_{teor.} = \frac{2\gamma_A}{g \delta C} = \frac{2 \cdot 1400}{981 \cdot 7,65 \cdot C} = \frac{0,373}{C} = \frac{K}{C} \quad \text{olur.}$$

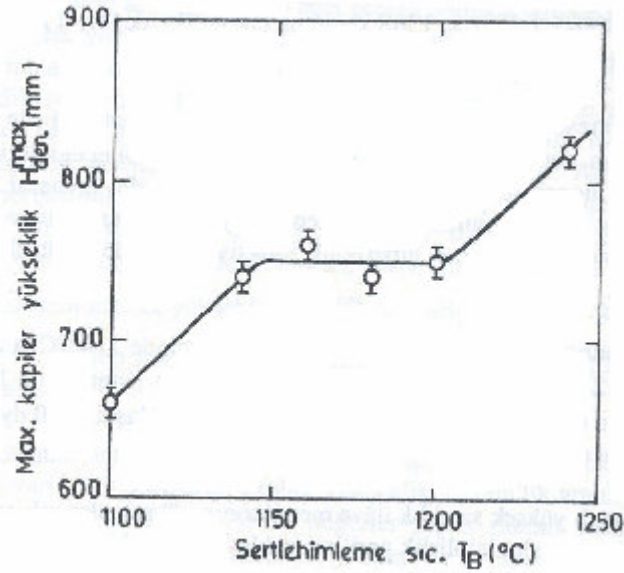
K sabitesinin yerine 0,37 konulunca $H_{teor} = f(C)$ hiperbolik eğri ile deneysel veriler arasında, beklenen aralık genişliği alanında tam uygunluk bulunmuştur. $K=0,37$ ile Bni-5 için $\gamma_A = 1388 \text{ dyn/cm}$ çıkar. Bu değer, 1160 ila 1240°C sıcaklık aralığında, sıcaklığa bağlı değildir.

γ_A gerilmesinin, kapiler yükselme ve aralık genişliğinin hiperbolik fonksiyonunun deneysel verileri kullanılarak saptanabileceği bilinmektedir.* Küçük açılı üçgen aralığa tekabül

eden belli açıda levhalar geometrisi olduğunu göstermiştir, ancak hiperbolik fonksiyonun sadece küçük bir bölümü kullanılabilir.

Bahis konusu ana metal – ilave metal birleşmesinde 1183°C’ta ıslatma açısı $\alpha = 6,7^\circ$ ve 1233°’ta da $\alpha = 5,1^\circ$ olarak alındığında (literatürde kaydedildiği gibi**), tavsiye edilen sıcaklık aralığında Bni-5 için yaklaşık 1400 dyn/cm lik bir yüzey gerilimi çıkar.

Nikel esaslı yüksek sıcaklık ilave metallerin yüksek alaşımlı çelik üzerinde yüzey gerilimi ile ıslatılabilirlik gerilimi yaklaşık 1400 dyn/cm olarak alınabilir. Bu değer öbür ilave metallerinkinden haylice yüksektir. Örneğin çelik ve Ag – Cu – Zn ilave metali (Lag-45) için γ_A 500 dyn/cm ve bakır ilave metal için de γ_A yakl. 1000 dyn/cm olarak alınır. Yüksek ilave metalin kapiler basıncıda böylece yüksek our. 50 mikronluk bir aralık genişliği için nikel esaslı ilave metalde bu basınç 0,56 atü iken Lag-45 de sadece 0,2 atü olur.***



Şek. 4.- Bni-5’in deneysel olarak saptanmış sertlehimleme sıcaklığının fonksiyonu olarak kapiler yükselmenin üst sınırı.