

SERTLEHİMLEMEDE

VIII- MUKAVEMET SORUNLARI

Bir sertlehimlenmiş birleştirmenin mukavemetini, ilâve metalin mukavemeti hakkında elde edilen verilerden değerlendirmek her zaman mümkün olmaz. Ancak bazı durumlarda, sertlehim aralığı geniş olup da ana ve ilâve metaller arasında etkileşimin zayıf olduğu hallerde, birleştirmenin mukavemeti, ilâve metalinkine eşit olur.

Parçaların birleştirilmesi ve strüktürlerin sertlehimlemeyle imali sırasında birleştirmenin tam olmayan katılaşması, strüktür ya da parçalar arasında sıcaklık gradieni veya bu sonuncular arasında kalınlık farkı dolayısıyla uniform olmayan bir gerilme alanı teşekkül eder. Çekme zorlamaları altında ve ilâve metal ile temasla (onun tarafından ısıtılması sırasında), ana metal yerel mikroçatlaklar ve soğumada da ana metal ya da strüktürün kırılmasına götürebilecek soğuma çatlakları geliştirebilir. Herhangi bir dış yük olmadan vaki olan bu ani kırılma, sertlehimlenmiş birleştirme ya da strüktürün teknolojik mukavemetini karakterize eder.

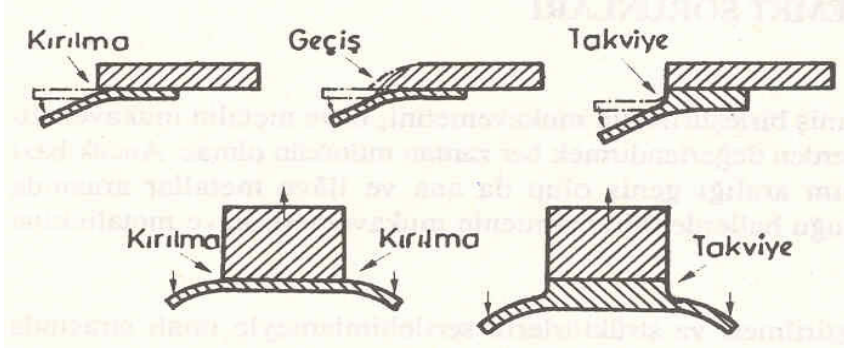
Sertlehimlenmiş strüktürlerin güvenilirliği ve çalışma ömrü ancak bunların Çalışma koşulları altında denenmeleriyle mümkün olur. Ancak bunun çapraşık, pahalı ve zaman alıcı deneyleri gerektirmesi itibariyle, sertlehimlenmiş strüktürlerin güvenilirliği ve çalışma Ömrü, sertlehimlenmiş birleştirmeyi temsil eden standart numunelerin özgül kalite indisleriyle saptanır.

Sertlehimlenmiş birleştirmelerin mekanik mukavemeti, küt alın sertlehimlemesinin a kopma mukavemetiyle bindirme ya da teleskop (geçme) birleştirmelerin t makaslama mukavemeti tarafından nitelenir.

Bindirmeli numuneler için elde edilen ve bindirme alanına bağlı değerler, bu alanın boyutları ve numunelerin rijitliklerini, özellikle eğilme rijitliklerini kaybedebilmelerinden ileri gelen gerilme durumunun tabiatındaki değişmeye geniş ölçüde bağlıdır.

Esas itibariyle bir sertlehimlenmiş birleştirmenin mukavemeti, aşağıdaki faktörlerin toplamıyla saptanır: sertlehimlenmiş strüktürlerin tasarımı (şek. 234), ana metalin mukavemeti, ilâve metalin mukavemeti, birleştirmede kalmış gerilmeler miktarı.

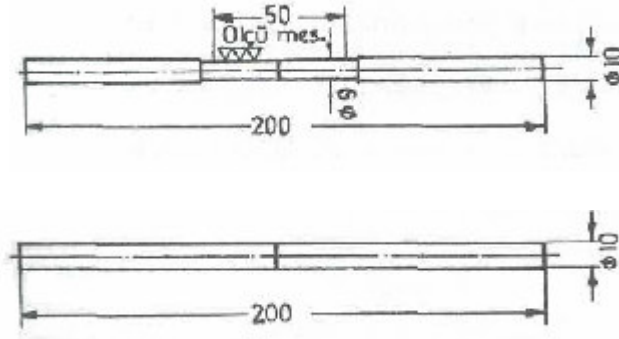
Sertlehimlenmiş strüktürlerin mukavemet analizi, bu faktörlerden bazılarının bilinmesi nedeniyle birçok zorluğu beraberinde getirir. Burada esas olan birleştirmenin, bir bütün olarak özgü! koşullar altında etki yapan kuvvetlere dayanma kabiliyetidir. Strüktürlerin gerilme analizlerinde ana metalin a akma ya da en üst kopma mukavemetiyle müsaade edilebilen P tasarım kuvveti, ilk yaklaşıklıkla, yol gösterebilir.



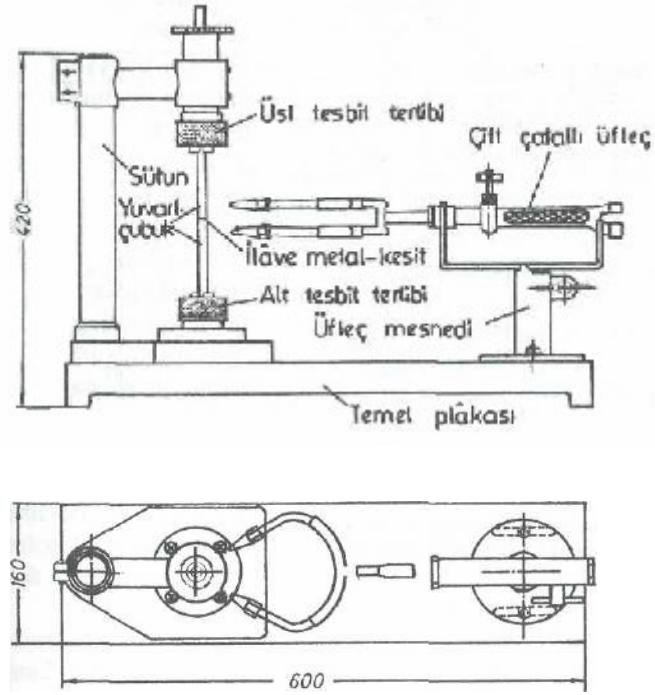
Şek. 234.- Sertlehimlenmiş, birleştirmelerde $P \sim a.o.A$
gerilme yoğunlaşmasının önlenmesi

Burada A, birleştirmenin en zayıf noktasında kesit alanı; ada emniyet faktörüdür.

DİN 8525, Blatt 1, sertlehimlenmiş alın birleştirmesinin çekme dene> koşullarını gösterir (şek. 235 ve 236).



Şek. 235.- Çekme deney çubuğu ve yuvarlak çubuğun ölçüleri

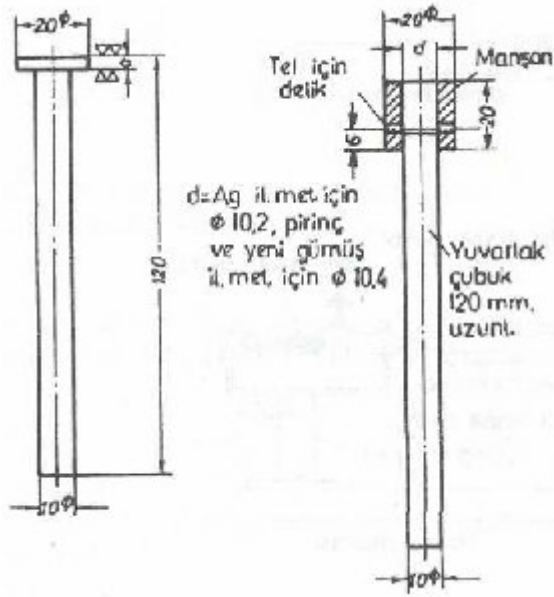


Şek. 236.- Sertlehimleme tertibatı (yerleştirilmiş yuvarlak çubukla gösterilmiş)

Norm tercihen DİN 8513'e göre gümüş, pirinç, yenigümüş ve bakır ilâve metallere geçerlidir. Çelik ana metali sertlehimlemek için fosfor içeren ilâve metal kullanılmayacaktır.

Bu ilâve metallerin sınıflandırılması için ana metal olarak DİN 669-st50K+N çeliği kullanılır. Sertlehim birleştirmesinin çekme mukavemetinin tayini için, yuvarlak çubuk olarak herhangi bir malzeme kullanılabilir.

DİN 8525, Blatt 2, sertlehimlenmiş birleştirmenin makaslama mukavemeti (teleskopik-geçme) deney koşullarını belirtiyor (şek. 237). Bunlar genel olarak Blatt'l dekinin aynıdır. Sertlehimin sınıflandırılması için a kalınlığı 4 mm olarak alınacaktır.



Normal olarak alın sertlehimleme-sinin ? kopma mukavemeti, bindirme (teleskopik) birleştirmesinin ? makaslama mukavemetinden büyüktür. ?? oranı sabit olmayıp deney numunesinin şekline, sertlehimleme sürecine, ana ve ilave metallerin niteliklerine bağlıdır. Bu yönde Uluslar arası Kaynak Enstitüsü'nün aşağıdaki tabloda verilmiş IIS/IIW 102-63 dökümanı anlamlıdır.

Şek. 237.- Sertlehimlencek yuvarlak çubukla manşon ölçüleri (sağda). Makaslama denegi ölçüleri (solda)

Çelik	İlave metal	Sertl. aralığı mm	σ kgf/mm ²	Sertl. aralığı mm	τ kgf/mm ²	τ/σ
Karbon çeligi $s = 60$ kgf/mm ²	Piring	0,25	40,4	0,10	25,3	0,63
	Nikel gümüşü	0,25	42,7	0,10	29,0	0,68
Korozyona dayanıklı	Ag	0,15	41,0	0,005	23,6	0,576
	Ag	0,15	35,2	0,005	21,0	0,6

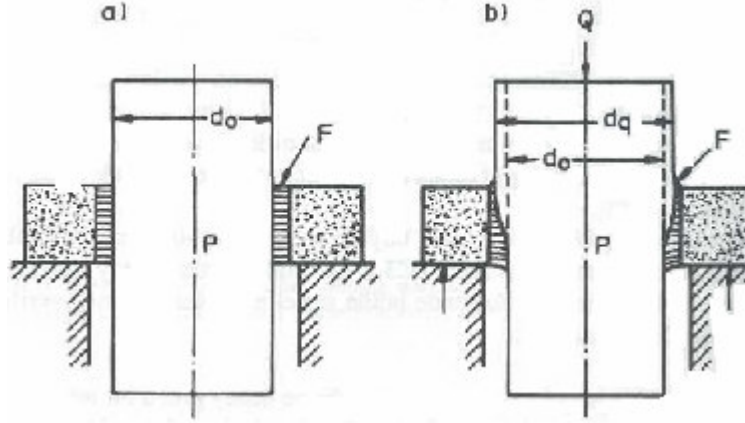
Not: Nikel gümüşü % 45-47Cu; %43-45Zn; % 10Ni; Si ilaveli gümüş ilave metal: %40 Ag; % 19Cu; % 21 Zn; %20 Cd.

π , Şek. 237'deki numune ölçüleri üzerinden saptanmış
 σ, ϕ 020 mm çubuklar üzerinde saptanmış.

Bindirme alanı artıçça T makaslama mukavemeti muntazaman azalır.

Bu mukavemet yaklaşık olarak $x = a A^h$ ifadesiyle belirlenebilir. Burada A, bindirme alanı, a ile b de birer sabitedir.

Günümüzün çapaşık strüktür ve deney gereksinimleri karşısında, tek bir deney numune tipinin tasarımı için gerekli bütün bilgilerin sağlanması mümkün değildir. Makaslama her ne kadar birleştirmeler genellikle basit bindirme şeklinde tasarlanırlarsa da, DİN 8525 Blatt 2'de olduğu gibi makaslama tipi deney numunesi çok daha sık kullanılır. Mamafih özgül tasarım verileri sağlamak için alın çekme numuneleri, yorulma numuneleri, çatlak ilerleme numuneleri, eğilme numuneleri, soyulma deneyi numuneleri, manşon birleştirme numuneleri, işçilik numuneleri ve daha birçokları gibi başka deney numunelerine de gerek vardır.



Şek. 238.- Sertlehimlenmiş birleştirmelerde makaslama mukavemetinin saptanması için muylu-halka tertibi (basma): (a) yüklemmeden önce ve (b) yüklemmeden sonra Q yüklemesi altında P muylusunun genişlemesi sonucu bunun çapı d_o dan d_q ye çıkar. Bu genişleme, F ilâve metal tabakasında bir basma ve makaslama gerilmeleri karmasının oluşmasına götürür. Basma gerilmeleri özellikle ilâve metal tabakasının üst kısmında fazladır.

Sertlehimlenmiş birleştirmelerin büyük çoğunluğu bindirme makaslama birleştirmeleri olduklarından AWS C3.2-63 makaslama deney numunesi, sertlehimlenmiş birleştirmeler üzerinde bütün temel makaslama deney verilerini elde etmek için kullanılacaktır.

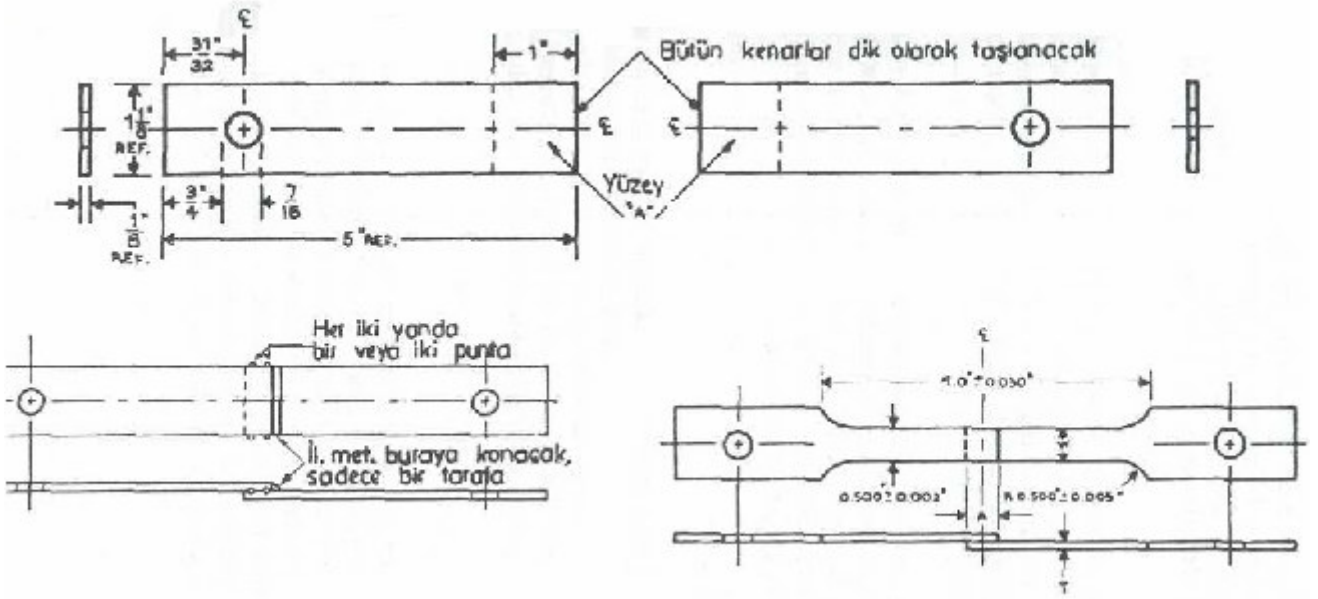
Bununla birlikte birçok tasarımcı, mühendis ve deney grubu bir tek bindirme makaslama deney numunesini kabul etmede sorunla karşılaşmaktadırlar. Bu sorunun nedeni, birleştirmede eğilme momenti ve ana metalde gerilmenin akma sınırına yakın ya da bunun üstünde olduğu daha büyük bindirmelerde birleştirme yerinin dönmesidir. Gerçekten, ana metalde benzer gerilme koşulları altında bulunan bütün değişik makaslama deney numune tipi tasarımlarında bu sorunlar mevcuttur. Örneğin muylu-halka tipi numune, ilâve metalin kuvvetli ve bindirmenin de birleştirme tedricî soyulma suretiyle kırılma durumunda olması halinde, halkanın ağzında bir çap büyümesi arz eder (şek. 238).

AWS "Sertlehimlenmiş birleştirmelerin mukavemetini değerlendirmek için standart yöntem - Standard Method for Evaluating the Strength of Brazed Joints" (AWS C3.2-63), eğilme momenti ve dönme sorunlarıyla ilgili değildir.

1963'te AWS'in sertlehimleme ve lehimleme komitesi "Sertlehimlenmiş birleştirmeler için bir Standart Deneyin Saptanması - Establishment of a Standard Test for Brazed Joints" (AWS C3.1-63) adlı anlamlı bir rapor yayınlıyor. Bunda, değişik deney yöntemlerinin incelenmesi sonunda tek, bindirme makaslama deney numunesinin (şek. 239) kullanılması öneriliyor. Kısa süre sonra da Komite, yukarıda sözü edilen AWS C3.2-63'ü yayınlıyor ve kullanıcıları bu husustaki görüşlerini bildirmeye davet ediyor.

Alın-sertlehimlenmiş birleştirmelerin çekme mukavemetinin saptanması, bu birleştirmelerin mekanik mukavemetini saptayan faktörlerin araştırılması için az çok ideal bir yöntem oluyor. Alın sertlehimlenmiş çubuklar çekme gerilmesine tâbi tutulunca, iki yuvarlak ana

metal çubuğunu birleştiren ilâve metal diski düzleminde radyal gerilmelerin dağılımı, diskin merkezi etrafında tamamen simetrik olup ana metal çubuklarında, ilâve metal diskinin her iki yanında, yani sertlehimlenmiş çubukların eksenî yönünde gerilmelerin dağılımı da simetriktir.



Şek 239.- Tek bindirme makaslama numunesinin hazırlanması. Üstte, tek bindirme makaslama deneyi parçalan; alt solda, ilâve metalin uygulanması şekli ve alt sağda, bitmiş numune

Gerilme dağılımının bu basit, simetrik modeli bu yöntemi, alın-sertlehimlenmiş birleştirmelerin mukavemetini saptayan faktörlerin etüdü için özellikle uygun kılmaktadır. Bununla birlikte, yukarda söylendiği gibi kullanılan alın – sertlehimlenmiş birleştirme yüzdesi neredeyse göz ardı edilecek kadar düşüktür. Bu nedenle de alın-çekme deneyi, sertlehimlenmiş birleştirmelerin mukavemetini değerlendirmede bir standart yöntem olarak AWSce önerilmemiştir.

Pratik uygulamalarda bütün sertlehimlenmiş birleştirmelerin büyük çoğunluğu çekme - makaslama yüklemesine tâbidir. O ise ki, basit tek bindirme birleştirmesinde bile gerilme dağılımı modeli, alın-çekme numunelerinkine göre, çok daha çapraşıktır. Şek. 240 da görüldüğü gibi bu tip birleştirmede gerilmeler uniform olarak dağılmış değillerdir.

Bu analitik gerilme mülâhazalarından tek bindirme birleştirmesinde, ana metalin şekil değiştirmesinin, ilâve metal tabakası arasında ek çekme gerilmeleri hasıl olduğu belirgin

olmaktadır (şek. 240 c). Bunun sonucu olarak, bindirme birleşmelerinin kırılması çoğunlukla bileştirme boyunca uniform makaslama ile değil, uçlardan soyulma şeklinde olmaktadır.

Teorik mülâhazalar

Tek bindirme sertlehimlenmiş birleştirmeler için gerilme analizi, bunu yapıştırılmış metallere kıyaslamak suretiyle, yapılmıştır. Goland ve Reissner, yapıştırılmış bindirme birleşmelerindeki gerilme analizlerinde, çekme halinde tam bir bindirme birleşmesi durumunu nazarı itibare almışlar. Çözümü, iki uç durum için getirmişler: ince, kıvrılmaz birleştirmeler; ve kalın, kıvrılabilir birleştirmeler.

Bu iki araştırmacının ortaya koyduklarıyla şek. 241, bir ince yapıştırılmış birleştirmede verilmiş bir moment faktörü ($AT=1$) için levhanın kenarından mesafesinin bir fonksiyonu olarak gerilmelerin dağılımını gösteriyor. Bu, gerilme dağılımı bakımından, tamamen bir sertlehimlenmiş birleştirmenin aynısıdır. K ($K= 2Me/pt^2$) moment faktörü, zorunlu hizadan kaçıklığı hesaba katmaktadır. Çekmeye gerilmiş tek bindirmeli birleştirmelerinde etkili üç başlıca gerilme (veya daha doğru olarak, şek 241'de görüldüğü gibi, bu gerilmelerin/? başlıca gerilmeye oranı) şöyledir

δ_o - normal gerilme (yırılma gerilmesi)

T_o = azami makaslama gerilmesi

σ_f = Saç (levha) lif gerilmesi

Bu üç başlıca gerilmenin büyüklükleri aşağıdaki parametrelere saptanır:

$$K = 2M_o/pt^2$$

M_o = moment

c - 1/2 bindirme

p = Saç gerilmesi

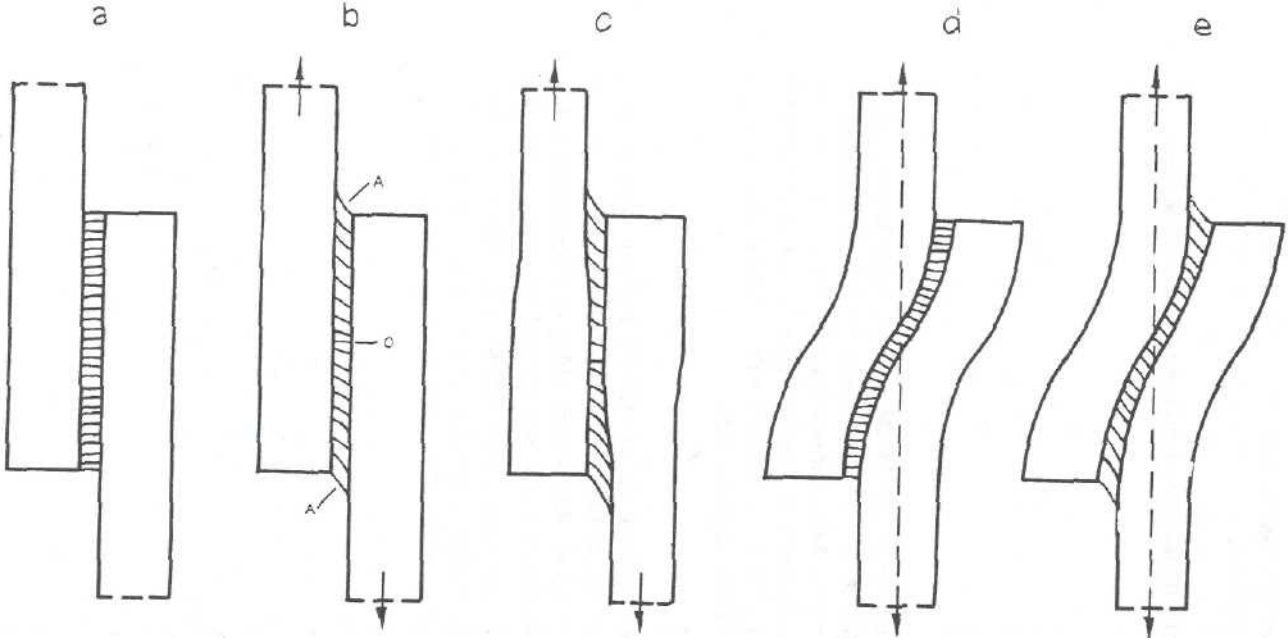
t = Saç kalınlığı

E = Young modülü

Burada belirtilmesi gereken husus, şek. 241'de gösterilmiş eğrilerin, sadece tek bir parametre takımı, ezcümle $K=1$ için saptandığıdır. Bu itibarla temel beş — M_o , c , p , t veya E — parametreden herhangi birinin büyüklüğü değiştiğinde bu üç eğrinin şekli de değişecektir. Bununla birlikte bu üç eğri, tek bindirmeli bir birleştirmede oldukça çapraşık gerilme dağılımının daha iyi anlaşılmasına hayli yardımcı olan bir değerli bilgi menbaı sağlamaktadır.

Nitekim, belli bir parametre takımı altında ($K=1$), birleştirmeyi yırtarak ayırma eğiliminde olan normal σ_o gerilmesinin, birleştirmenin en ucunda, ana melal saçındaki p

gerilmesinden 4,3 kat daha büyük olduğu kaydedilmeye değer. Keza, verilmiş parametre takımı altına σ_f ana metal lif gerilmesinin (birleştirme alanında birbirine karşı gelen iki ana metal saçının birleşen, yüzeylerindeki çekme gerilmeleri yönünde gerilmiş hayalî ana metal lifleri), birleştirmenin en uçunda, p başlıca saç gerilmesinin maksimum 4 katı değerine varabildiğini kaydetmek de ilginçtir.



Şek. 240.- tek bir (a) bindirme birleştirmesinde uç temel distorsiyon tipi çekme - makaslama gerilmesinde (b,c ve d) ve bu üç tipin bir karması (e)

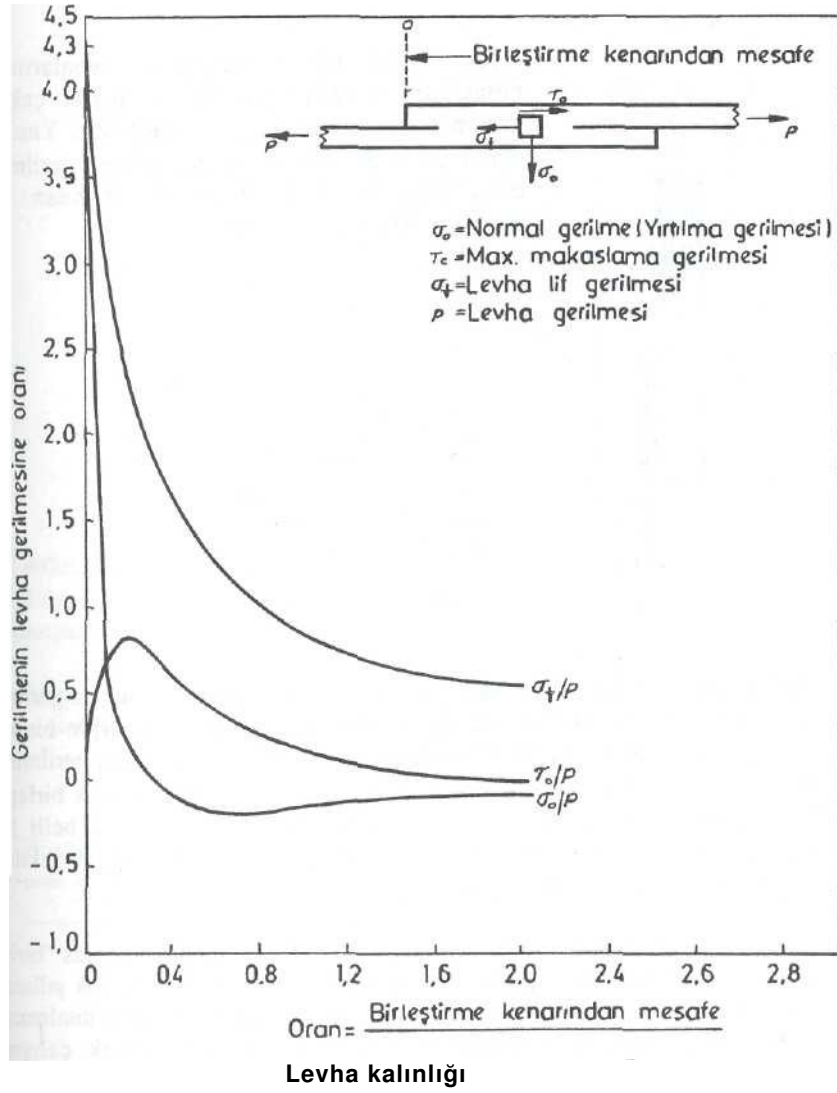
a- Gerilme yok

b- Ana metal saçlarının münhasıran uzamasından meydana gelmiş birinci distorsiyon tipi (saçların enine büzülmesinin etkisi ihmal edilmiştir). Azami makaslama gerilmeleri birleştirmenin kenarlarında yoğunlaşmıştır (A A noktaları), asgari makaslama gerilmesi, birleştirmenin simetri merkezindedir (o noktası).

c- Ana metal saçlarının uzama ve enine büzülmesinden meydana gelmiş ikinci distorsiyon tipi. Bu karma distorsiyon tipinin sonucu bir makaslama ve çekme gerilmelerinin karması olup bunlar özellikle birleştirmenin kenarlarında yüksek olur.

d- Üçüncü distorsiyon tipi ana metal saçlarının hîzal anmalarından meydana gelir (uzama ve enine büzülmenin etkileri ihmal edilmiştir.)

e- Bir tek bindirme birleştirmesinin çekme - makaslama deneyinde üç distorsiyon tipinin karması



Şek 241.- Bir bindirme birleştirmesinin, birleştirme kenarına mesafenin fonksiyonu olarak makaslama düzleminde gerilmeler.

Birbirine binmiş ana melal saclarının birleştirme alanındaki çekme gerilmeleri dağılımı dikkat nazara alındığında bu olgular şaşkırtıcı olmaktan çıkıyor.

Şek. 242'de gösterildiği gibi, levhaların iç tabakaları (çizgili alanlar) en büyük çekme gerilmesi yoğunluğunu haiz olanlardır. Yine :, eğrisi üzerinde maksimum makaslama gerilmesi doruğunun en uçta değil de, bundan 0,3 mesafesinde olması ilginçtir.



Şek. 242.- Tek bindirme birleştirmesinde iki ana metal sacı kesitinde çekme gerilmelerinin dağılımı. Çizgisiz alanlar az çok tamamen çekme gerilmesinden yoksundurlar.

Görünürde, şek. 241'deki özgül gerilme yoğunlaşmaları üç başlıca gerilme karmaşasının sonucu olmaktadır: birleştirmenin her noktasında üzerine binmiş normal σ^* gerilme ile $\langle 7/$ sac lif gerilmesini taşıyan saf $T \rangle$ makaslama gerilmesi. Böylece de şek. 240'da şematik olarak resmedilmiş oldukça çapraşık birleşik gerilme durumu, şek. 241'de, yapıştırılmış birleştirmeler için (ve belli bir yaklaşıklıkla sertlehimlenmiş olanlar için) matematik olarak kesin şekilde resmedilmiştir (belli bir parametre takımı için).

Bu tür birleştirmelerin "gerçek" makaslama mukavemeti ile hassas "birim makaslama" mukavemetini ölçmek için bir yöntem geliştirilmiştir. Son yıllarda sertlehimlenmiş boruları burulmaya zorlayarak boru numunelerde sertlehimlenmiş birleştirmelerin makaslama mukavemetini saptamak için birçok çalışma yapılmıştır. Şek. 243'de görülen boru burulma numunesi, sertlehimlenmiş birleştirmelerin makaslama mukavemetini saptayan faktörlerin temel etüdü için başarıyla kullanılmıştır (şekildeki ok, sertlehimlenmiş birleştirmeye işaret eder).



Şek. 243

Bu tip burulma-makaslama numunesinin en büyük avantajı, halka şeklindeki birleştirmede, kenarlarda gerilmeyi yükselten uçların bulunmaması ve gerilme dağılımının halka merkezinin çevresinde tamamen simetrik oluşudur. Tek bindirme birleştirmelerde gerilme dağılımının fevkalâde çapraşıklığı, çok sayıda araştırmacın değişik makaslama numune tipleri meydana getirmiş olmasını izah eder. Bunlardan bazılarını aşağıda göreceğiz.

Bahis konusu çapraşıklık ve sertlehimlenmiş birleştirme mukavemetinin çeşitli deneme yöntemlerini göz önüne alarak AWS C3.2-63, aşağıdaki hususları saptamıştır:

Madde 2.1.1 : W (3,17 mm) nominal kalınlıkta sac kullanılacaktır.

2.1.2 : Her koşul takımı için* değişik bindirme mesafesinde en az 10 numune sertlehimlenip denenecektir. Aşağıdaki bindirme mesafeleri bunlara dahil

Bindirmenin kalınlığa oranı olarak bindirme	Gerçek bindirme	
	inç	mm (yakl)
1/4	0,031	0,8
3/8	0,047	1,2
1/2	0,062	1,6
3/4	0,094	2,4
1	0,125	3,2
2	0,25	6,4
4	0,50	12,5
6	0,75	19,0

edilecektir:

Madde 5.1 Her numune üzerinde kırılmada ilâve metalde ortalama birim makaslama gerilmesi ile kırılmada metalde ortalama çekme gerilmesi şöyle hesaplanacaktır (şek. 239'a bkz.):

Ana metalin mukavemeti, ilâve metalin bileşimi, sertlehimleme sıcaklığı

$$\text{Ortalama birim makaslama gerilmesi} = \frac{\text{kırılma yükü}}{A.W}$$

$$\text{Ortalama birim çekme gerilmesi} = \frac{\text{kırılma yükü}}{W.t}$$

AWS C3.2-63 Dokümanı, AWS'in Sertlehimleme ve Lehimleme komitesinin konuya yaklaşımını ifade edip bunun dışında yapılmış denemelerde ilginç sonuçlar vermişlerdir. Bunları aşağıda özetleyeceğiz.

Kullanılan notasyon:

d - pim çapı

E = pim malzemesinin Young elastikiyet modülü

E' = sertlehimleme ilâve metalinin Young elastikiyet modülü

P = pime uygulanan aksenal yük

P_{max} = aksenal yükün deneyde varılan maksimum değeri

e_r = radyal yönde elastik şekil bozulma

e_t = tegetsel yönde elastik şekil bozulma

e_z = aksenal yönde elastik şekil bozulma

ν = pim malzemesinin Poisson oranı

ν' = Sertlehimlenme ilâve metalinin Poisson oranı

σ_t = radyal gerilme

σ_r = tegetsel gerilme

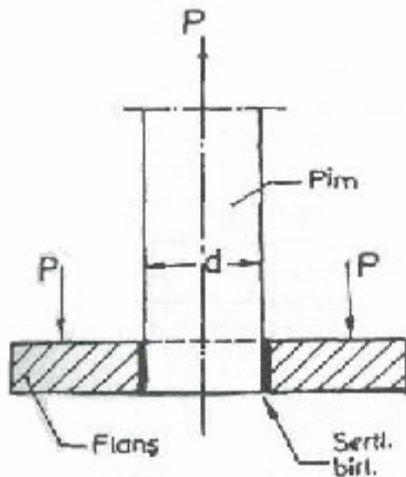
σ_z = aksenal gerilme

T = makaslama gerilmesi

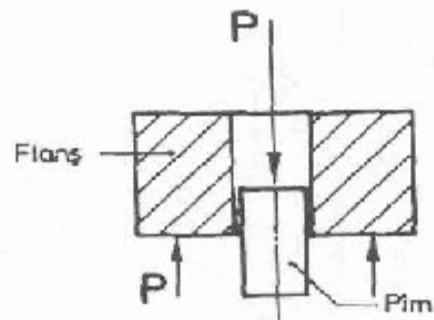
T_B = makaslama en yüksek (kırılma) gerilme

Koch ve Pönitz, sertlehimlenmiş birleştirmelerin makaslama mukavemetini, bir çekme tipi yük uygulayarak elde etmişlerdir* (şek. 244)

Koch, H. und Pönitz, W.- Beitrag zum Problem der Scherfestigkeit von Lötverbindungen, Schweißen und Schneiden 8, 1956, Heft 6

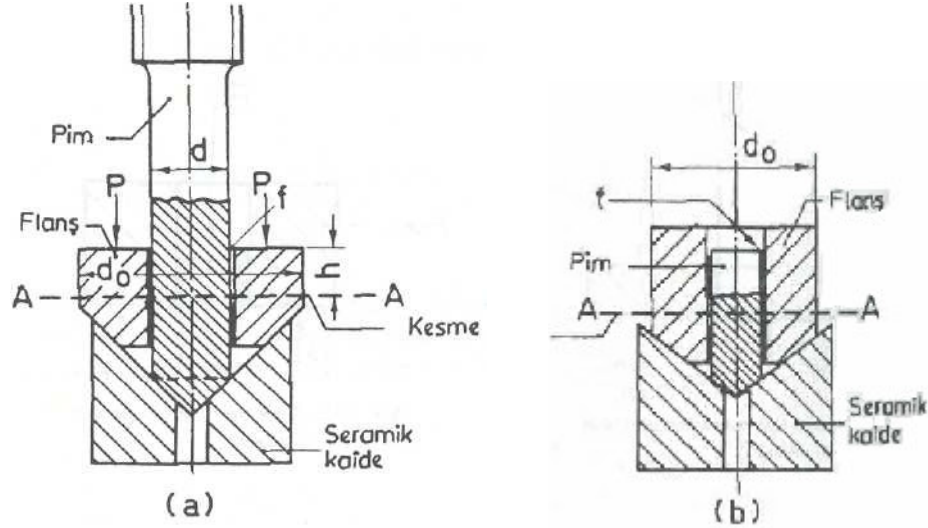


Şek. 244.- Çekme tipi makaslama deneyi tertibi (Koch ve Pönitz).



Şek. 245.- lıme tipi makaslama deneyi tertibi (Colbus).

Makaslama deneyinin bir varyantı da Colbus tarafından önerilmiş. Burada çekme tipi yüklemenin aksine, birleştirme üzerine bir itme tipi kuvvet uygulanmaktadır (şek. 245). En son G.S.A. Shawki ve A.A.S. el-Sabbagh tarafından yapılmış hem çekme, hem de basma tipi kuvvet uygulamalı makaslama deneylerinin (şek. 246) ilginç sonuçları aşağıda verilmiştir.



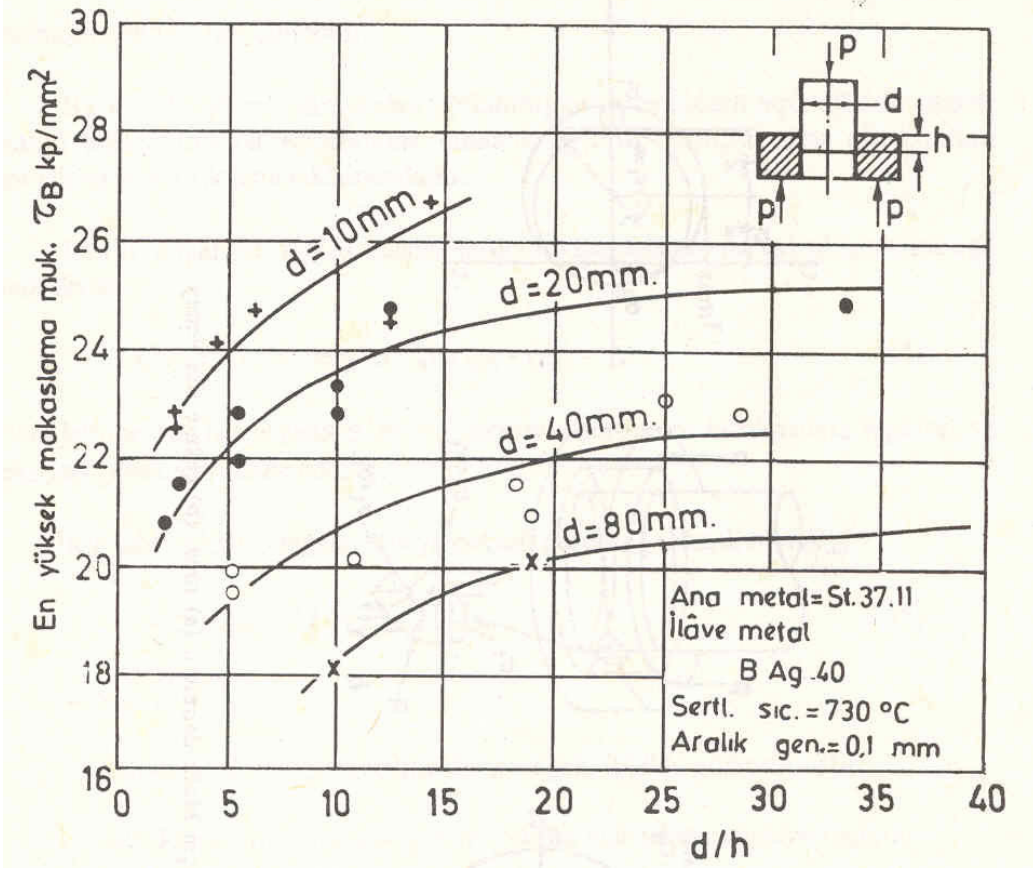
Şek. 246.- Deney tertibi: (a) çekme tipi deney; (b) itme tipi deney.

Bunlara göre, itme tipi deneyde saptanmış makaslama mukavemet değerleri, çekme tipi deneyde elde edilenlerden % 56 kadar yüksek olmuş. Şek. 247, d pim çapının birleştirmenin h yüksekliğine oranının, sertlehimlenmiş birleştirmeler davranışına etkisini gösterir. Buradan pim çapının küçüklüğü oranında makaslama mukavemetinin arttığı, bu mukavemetin d/h'in büyümesiyle yine arttığı hemen görülür. Bu olgular, örneğin sertlehimlenmiş yüzeylere daha homogen ısı etkiler gibi daha uygun koşullara atfedilebilir.

Analitik işlem

Sertlehimleme tabakasının, radyal gerilmenin tegetsel gerilmeye az çok eşit, yani $G_r = -\sigma_t$ olacak kadar ince olduğu kabul edilmiştir.

Aşağıdaki analizde, ince tabakada aksenal gerilme ihmal edilmiştir. Aynı şekilde, sertlehimleme sürecinden meydana gelen herhangi bir ısı gerilme yok farz edilmiştir. Radyal ve tegetsel gerilmeler, sertlehimleme tabakasının bütün eksen boyunca uniform kabul edilmişlerdir.



Şek. 247.- itme tipi deneyde makaslama mukavemeti üzerinde geometrik parametrelerin etkisi

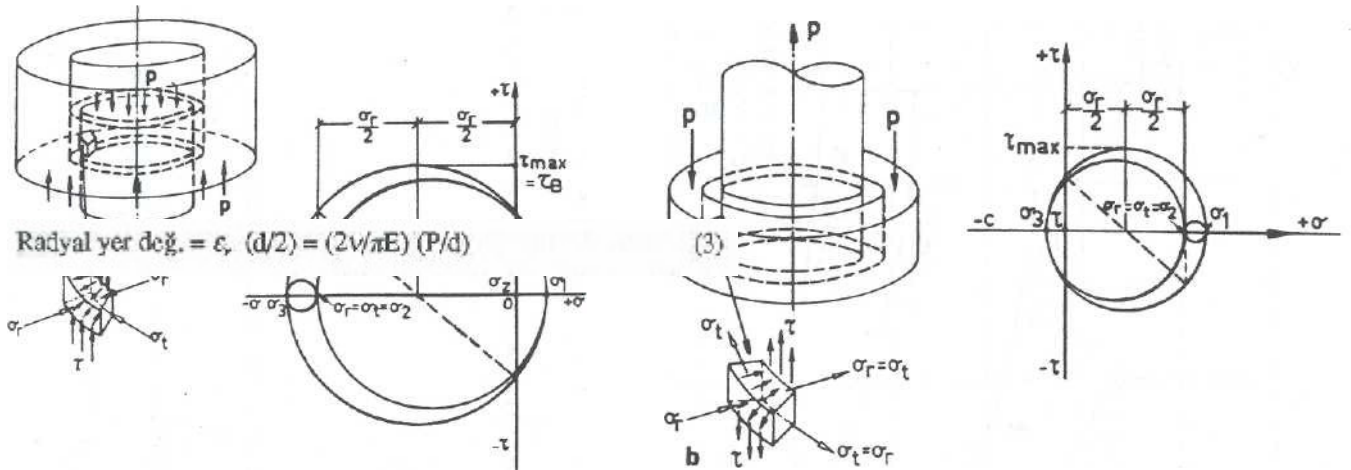
eksenel basma gerilmesine tâbi olur; bunun sonucunda yanal ve radyal şekil bozulmalar

İtme tipi deneyde pim,

$$\sigma_z = 4P / (\pi d^2) \quad (1)$$

$$\varepsilon_r = \nu \varepsilon_z = (\nu/E) (4P/\pi d^2) \quad (2)$$

ile verilir. Böylece pimın dış yüzeyinin radyal yer değıştirmesi



Şek. 248.- Sertlehim tabakası için Mohr daireleri, (a) itme, (b) çekme tipi deney

münasebetinden elde edilebilir.

Bu kez dış yüzeyi etrafından zorlanmış bir ince cidarlı açık silindir olarak kabul edilen ince sertlehimleme tabakası, pimin basmaya tâbi olmasından meydana gelen sıkışma etkisinde kalır.

Pimin radyal yer değiştirmesini sertlehim tabakasının radyal sıkışmasına eşit farz ederek

$$(2\nu/\pi E) (P/d) = (d/2E) (\sigma_t - \nu\sigma_r) \quad (4)$$

denkleminde varılır; burada a , ile o , sırasıyla sertlehim tabakasında tegetsel ve eksenel gerilmeleri ifade ederler.

İnce tabaka içinde tegetsel (veya radyal) gerilme yaklaşık olarak

$$\sigma_r = \sigma_t \cong \nu E' / (\pi d^2) \quad (5)$$

ile verilir.

Sertlehim tabakası için gerilme durumu şek. 248'de gösterilmiştir.

Burada derhal, itme tipi deneyde en yüksek makaslama mukavemetinin

$$\tau_B = \frac{P_{\max}}{\pi d^2} \left[\left(\frac{d}{h} \right)^2 + \left(2\nu \frac{E'}{E} \right)^{2/2} \right] \quad \text{veya}$$

$$\tau_B = \frac{P_{\max}}{\pi d h} \left[1 + \frac{2\nu E'}{E} \cdot \left(\frac{h}{d} \right)^{2/2} \right] \quad (6)$$

olduğu görülür.

Malzemenin, itme tipi deneyde, makaslama mukavemetinin

a) pimin daha küçük d çapı,

b) d/h oranının daha büyük değeri

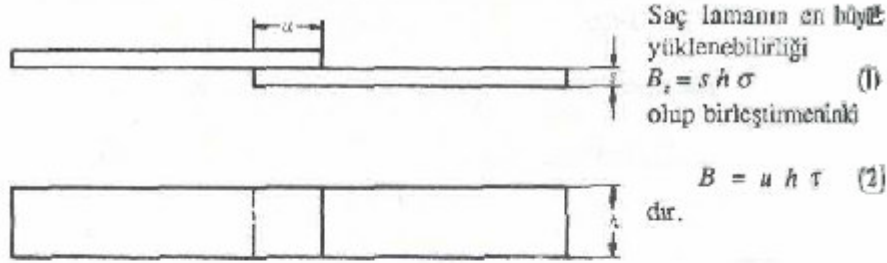
ile artacağı (6) denkleminde aşikâr olur. Bu teorik tahminler, şek 247de gösterildiği gibi, deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.

Makaslama zorlamasına tâbi birleştirmelerde gerekli bindirme uzunlukları ■ Alman yaklaşımı

Bir sertlehimlenmiş birleştirmenin maksimum yüklenebilirliğine, makaslama zorlanan sertlehimlenmiş alanın en azından birleştirilen parçaların en küçük kesiti kadar dayanıklı olduğu zaman erişilebilir. Literatürde, gerekli bindirme uzunluğu, en ince ana

malzemenin kalınlığının 3-6 katı, bazen de 4-8 katı olarak verilmektedir. Daha fazlasına kesinlikte gerek yoktur.

Gerekli u bindirme boyu şöyle hesaplanır (Şek. 249):



Şek. 249

Bu iki değer eşitliğinden $u h \tau = s h \sigma$ (3)

$$u = \frac{\sigma}{\tau} s \quad (4) \quad \text{bulunur.}$$

Burada	u mm	:	bindirme uzunluğu
	σ kp/mm ²	:	ana metalin çekme mukavemeti
	τ kp/mm ²	:	sertlehimleme birleştimenin makas- lama mukavemeti
	s mm	:	Saç kalınlığıdır.

Ana metalin çekme mukavemeti genellikle bilinir. Sertlehim birleştimelerinde müsaade edilebilir makaslama mukavemeti, gerekli emniyet dikkate alınarak, 10 kp/mm² olarak alınabilir. Bu değer, Ölçülmüş makaslama gerilmelerinin iki katı kadar altında bulunur. Böylece saptanan müsaade edilebilir makaslama gerilmesi kullanılarak (4) denkleminde bindirme uzunluğu hesaplanır.

Örneğin 40 kp/mm² çekme mukavemetli saçlarda u bindirme uzunluğu, (4) denklemine göre $4s$, 80 kp/mm² çekme mukavemetlilerde de $8s$ olur. Literatürün verileri böylece doğrulanmış olmaktadır.

Geçme borularda da aynı yöntem uygulanır. Burada bindirme uzunluğu sadece boru cidar kalınlığına değil, aynı zamanda cidar kalınlığının boru çapına oranına da bağlıdır (Şek. 250).

(4), (6) ve (8) denklemleri birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, bunların aynı yapıda oldukları görülür. Bunlar aşağıdaki genel şekilde yazılabilirler

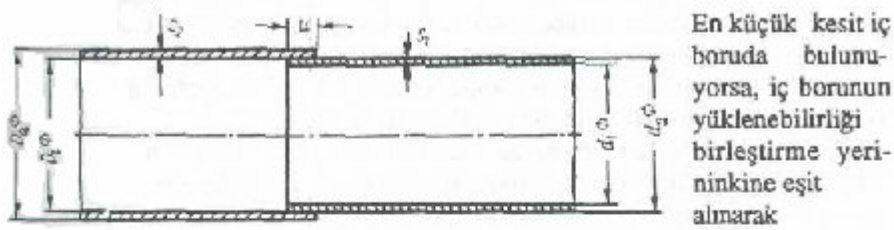
$$u = \frac{\sigma}{\tau} f \quad (9)$$

Bindirmeli levhalarda f katsayısı, levhanın s cidar kalınlığına eşittir. Geçme borularda veya boruya sertlehimlenmiş muylu (saplama) da, en zayıf kesitin iç boruda veya muyluda obuası halinde (6) denklemine göre

$$f = (1 - s_1/d_a) s_1$$

$$f = (1 + s_2/D_a - 2s_2) s_2 \quad \text{olur.}$$

(9) denklemi, şek. 251'de, $\tau = 10$ kp/mm olmak üzere, nomogram olarak gösterilmiştir. Buradan hesaba gerek kalmaksızın, bilinen cidar kalınlıkları ve gerektiğinde de çaplarla ana malzemenin çekme mukavemeti değeri için bindirme uzunlukları okunabilir. Apsisler f katsayısını verirler. Orta ordinatta u bindirme boylan, alt ve üsttekilerde ise d , veya D_a gösterilmiştir. Ortadaki çizimde görülen eğriler demetinin herbir eğrisi, ana malzemenin belli bir çekme mukavemetine tekabül eder. Bindirmeli levhalarda f katsayısı s cidar kalınlığına eşit olduğundan, levhalarda bindirme uzunluğunun saptanması için nomogramın sadece orta



$$\left(\frac{d_2^2 \pi}{4} - \frac{d_1^2 \pi}{4} \right) \sigma = d_3 \pi u \tau \quad (5)$$

denklemi elde edilir. $d_1 = d_3 - 2s_1$ alınır

$$u = \frac{\sigma}{\tau} (1 - s_1/d_3) s_1 \quad (6) \text{ bulunur.}$$

En küçük kesit dış boruda bulunuyorsa

$$\left(\frac{D_a^2 \pi}{4} - \frac{D_i^2 \pi}{4} \right) \sigma = D_i \pi u \tau \quad (7) \text{ olur.}$$

$$D_i = D_a - 2s_2 \quad \text{ile}$$

$$u = \frac{\sigma}{\tau} \left(1 + \frac{s_2}{D_a - 2s_2} \right) s_2 \quad (8) \text{ elde edilir.}$$

kısına gerek vardır. Geçme borularda veya saplamada f in önce alt ve üstteki eğri demetlerinin yardımıyla saptanması gerekir.

Nomogramdan bindirme boylarının saptanması:

1. Bindirmeli levhalar

- a) f ekseninde gösterilmiş s cidar kalınlığından bir düşey çizgi çizilerek levha malzemesinin çekme mukavemetini veren doğru ile kesişinceye kadar uzatılır.
- b) kesişme noktasından ordinat eksenine bir yatay çizgi çizilerek gerekli u bindirme uzunluğu bulunur.
- c) Değişik çekme mukavemeti değerlerini haiz değişik ana metallarla sertlehim yapılacağında, her ana metal ve iş parçasının buna ait cidar kalınlığı için diyagramda yukarıda anlatılan işlem yapılır. Aranılan bindirme uzunluğu bu işlemle bulunanlar arasında en küçük olanıdır.

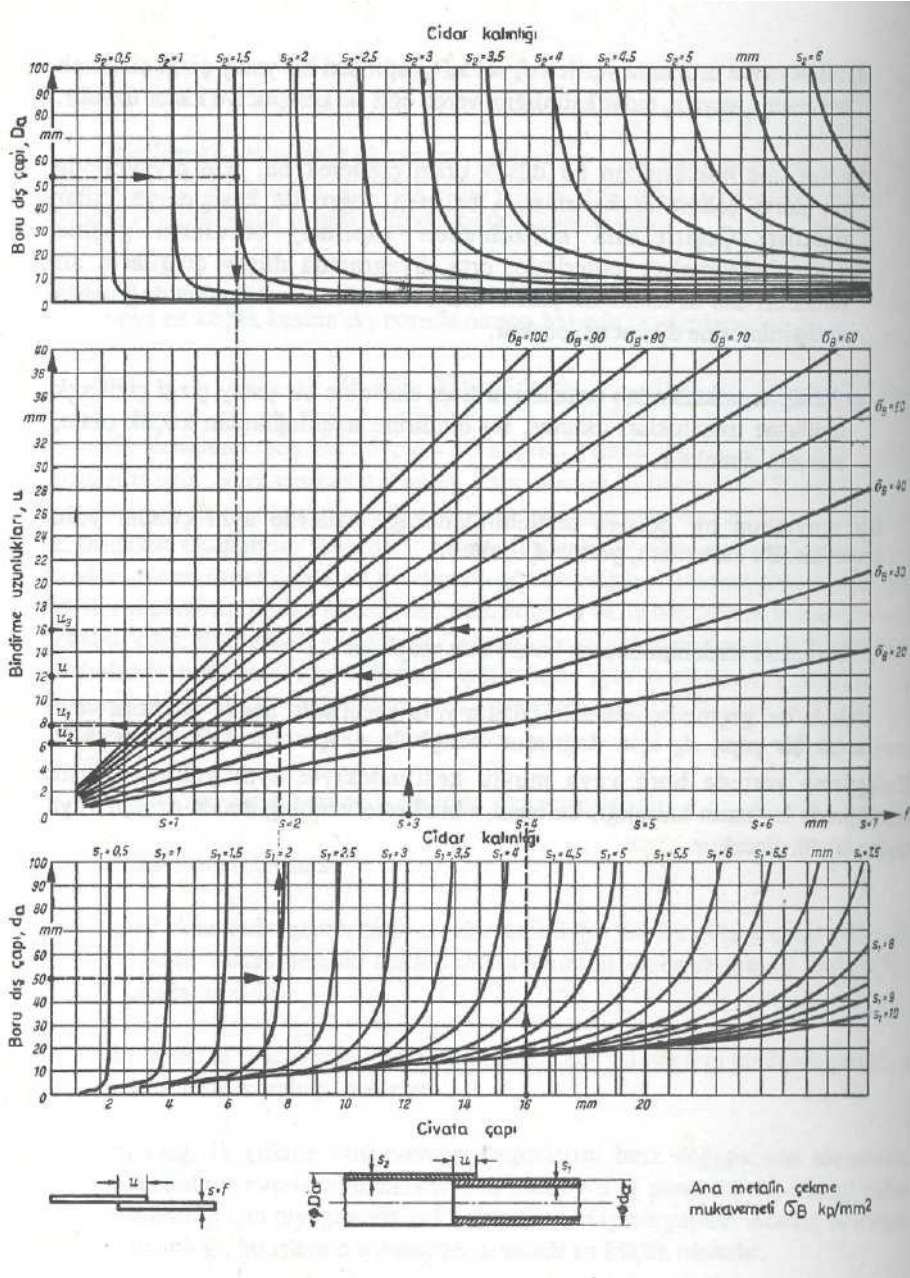
2. Geçme borular

- a) alt veya üst ordinatta verilen d_a veya D_a çapından bir yatay çizgi çizilerek borunun J_1 veya s_2 cidar kalınlığını veren eğri ile kesişinceye kadar uzatılır.
- b) Kesişme noktasından bir düşey çizgi çizilerek bu, orta diyagramda boruların çekme mukavemetini belirten doğru ile kesişinceye kadar uzatılır. Çeşitli ana malzemedeki yapılmış boruların geçme sertlehimlenmeleri hallerinde, orta diyagramda düşey çizgilerin ait oldukları ana malzemenin çekme mukavemetine tekabül eden doğrularla kesiştirilmesine dikkat edilecektir.
- c) Kesişme noktasından ortadaki ordinat eksenine bir yatay çizgi çizilerek bindirme uzunlukları okunur, iki bindirme uzunluğundan küçük olanı, aranılan uzunluktur.

Bir muylunun bir boruya sertlehimleneceği hallerde aynı çözüm yolu geçerlidir. Bu durumda s_1 yerine $d_a/2$ alınır.

3. Levhalara sertlehimlenecek boru ya da muylular

Burada da, geçme borulardaki çözüm yolu geçerlidir; ancak bu, boru veya muylunun bir çapı, d_a için doğrudur. Muyluda s_1 için $s_1 = d_a/2$ alınacaktır. Birleştirme yerinde boru veya muylu kesitindekiyle aynı yüklenebilirlik arandığında levhanın kalınlığı, bulunan u bindirme uzunluğuna en az eşit veya ondan büyük olacaktır.



Şek. 251.- Saçlar, geçme borular ve geçme muylu gibi bindirmeli (teleskopik) sertlehimlenmiş birleştirmelerin bindirme uzunluklarının saptanması için nomogram.

Örnekler: a) dan c) ye kadar olanlar nomogramda kesik çizgilerle gösterilmişlerdir.

a) Bindirmeli levhalar : $s = 3\text{ mm}$; $\sigma_a = 40\text{ kp/mm}^2$; $u = 12\text{ mm}$

b) Geçme borular : $d_a = 50\text{ mm}$; $D_a = 53\text{ mm}$; $s_1 = 2\text{ mm}$; $s_2 = 1,5\text{ mm}$
 $\sigma_a = 40\text{ kp/mm}^2$.

Bindirme uzunluğu, d_a için $u_1 = 7,8\text{ mm}$

D_a için u_2 s 6,2 mm olarak bulunur.

En küçük bindirme aranan uzunluktur.

c) Levhaya sertlehimlenmiş muylu : $d_a = 16$ mm; $S_t = 8$ mm; muylunun çekme mukavemeti $\sigma_a = 40$ kp/mm²; gerekli $u_3 = 16$ mm 'dir.

d) 3mm kalınlığında ve $\sigma_a = 20$ kp/mm² çekme mukavemetli bir bakır levha 1 mm kalınlığında ve $\sigma_a = 40$ kp/mm² çekme mukavemetli bir çelik levhaya bindirmeli olarak sertlehimlenecektir. Gerekli bindirme uzunluğu bakır levha için 6 mm, çelik levha için 4mm olarak bulunur. Aranılan bindirme uzunluğu böylece 4 mm olur.

e) 2mm kalınlığında, $\sigma_a = 20$ kp/mm² çekme mukavemetli $D_a = 36$ mm bir bakır boru içine 1 mm cidar kalınlıklı, $\sigma_a = 30$ kp/mm² çekme mukavemetli $d_a = 32$ mm bir pirinç boru sertlehimlenecektir. Gerekli bindirme uzunluğu bakır boru için 4,3 mm, pirinç boru için 3mm olarak bulunur. Aranılan bindirme uzunluğu böylece 3 mm olur.

Nomograma göre bulunan bindirme uzunlukları, sertlehimlenmiş birleşmenin kendisini sınırlayan ana malzeme alanıyla aynı yüklenebilirliği göstermesi istendiğinde gerekli olan en küçük uzunluklardır. Konstrüktif veya diğer nedenlerle gerekli görüldüğünde, bu uzunluklar daha büyük olarak seçilebilirler.