

## ***A.1.5 PÜRÜZLÜ YÜZEYLERİN TEMASI - YÜZEY ETKİLEŞİMLERİ***

### ***A.1.5.1 Yüzey doruklarının karşılıklı etkileşimi***

Üzerlerinde bir normal yükün bulunduğu iki pürüzlü yüzey temas haline geldiğinde, ilk temasa gelen yüzey doruktan, yükseklikler toplamının en büyük olduğu doruklardır. Yük arttıkça, daha az yükseklik toplamını haiz karşılıklı yeni doruk çiftleri de temasa gelirler. Temasa geldikten sonra, yüzey doruklarının şekilleri değişir. Bu şekil değişmesi başta elastik olur. Yük belli bir kritik büyüklüğü aşınca ise, şekil değişmesi plastike, veya, daha doğru olmak elastik-plastike dönüşür .şöyle ki sürekli olarak şekil değiştiren doruk altındaki malzeme, elastik olmak sapacaktır.

Artan yük, üzerlerinde yüzey girinti ve çıkıntılarının toplandığı yüzey dalgalarının elastik şekil değiştirmelerine götürür. Bu şekil değiştirme, çevre temas alanında bir artma hasil edip bunun sonucunda yükü taşıyan doruk sayısı artar. Dorukların yükseklikleri farklı olduğundan, bir ve aynı yüzey üzerindeki çeşitli dorukların şekil değiştirmeleri her an farklı olacaktır. Temas halinde en yüksek doruk çiftleri en fazla şekil değiştirecekken, ortalamanın altında yükseklikteki doruklar, büyük yüklerde bile genellikle temasa gelmezler.

Değen yüzeylerin farklı sertlikleri haiz olmaları halinde, daha sert yüzeyin dorukları, daha yumuşak olan yüzeye dalarlar. Bu sonucunun doruktan ezilir ve şekilleri değişir. Bu takdirde temasın özellikleri, daha sert cismin yüzey şekil hatalarından ve daha yumuşak cismin mekanik niteliklerinden etkileneceklerdir. Normal yükün ilk uygulanmasında ve tekrarlanan uygulamalarında temasın davranışı farklı olur. Pürüzlülüğü çok küçük olmayan ( $R_a > 0.16$ ) metal yüzeylerinin ilk yüklenmesinde plastik şekil değiştirmeler başat olur. Yüzeylerin karşılıklı pozisyonlarını değiştirmeden uygulanan müteakip yüklemeler doğruca elastik temas şekil değiştirmesi hasil edeceklerdir.

Ama yüzeylerden biri öbürüne göre yer değiştirecek olursa, o zamana kadar deformasyona uğramamış doruklar temas haline gelecekler ve temas deformasyonu (şekil değiştirmesi) de yine esas itibariyle plastik olacaktır.

Değen yüzeyler birbirlerinin üstünde kayacak olurlarsa, önce birbirlerine "alışırlar", geometrileri değişir; bunun sonucunda, belli sürtünme koşullarına özgü bir sabit büyüklükte pürüzlülük meydana getirirler. Temasta plastik şekil değiştirmeler mutad olarak başat olduklarından, bu alıştırma süreci sırasında yüzey tabakalarının fiziksel ve mekanik nitelikleri de değişir.

Bu nedenle, başlardaki yüzey geometrisi ve temas halinde yüzeylerin ilk nitelikleri, sadece ilk alıştırma safhası sırasında bir temasın karakteristiklerini saptayacaklardır. Alıştırma süreci stabil (sabit, istikrarlı) hale gelince, yüzey geometrisi tekrar tekrar oluşturulur ve yüzey tabakasının özellikleri önemli şekilde bozulmaz, yüzey düzensizlikleri doruklarının plastik teması, başat halde olur.

### A.I.5.2 Temasın gerçek ve çevre alanları

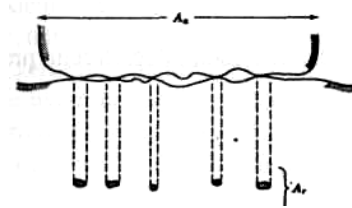
Birbirleriyle çalışan makine parçalarında, sürtüşen yüzeylerin düzensizlikleri, yüzey dalgalılık ve şekil hatalarından dolayı, görünüşteki temas alanının önemli bir bölümünde temas dışı kalırlar. Bu nedenle , temas alanı değen parçaların geometrik akınlarına fazlaca bağlı değildir. Sürtünme kuvvetinin, değen yüzeylerin görünürdeki temas alanından bağımsız olduğuna dair Coulomb'un vardığı sonuç, bu olguya dayanmaktadır.

Dalgalılık, dalgalı şekilde tepelerde ayrı alanlarda toplanan temas noktalarından sonuçlanır; bu alanların bir toplamı, *çevre temas alanı* 'nı ( $A_t$ ) oluşturur. Bu alan, üzerinde yüzey dalgalamaların temas ettikleri alan olarak tanımlanabilir. Bu alan, hiç şüphesiz, yüzey pürüzlülüğü dolayısıyla aralıklıdır. Pürüzlülükle dalgalılık arasındaki fark haylice itibari olduğundan, çevre alanının sınırları, şu tanımlama esasına göre teşhis edilebilir: çevre alanı, temas intizamsızlıklarının içinde olduğu, yüzey pürüzlülüğünün belli bir büyüklüğünü ölçmek için Standard' lar tarafından belirtilmiş örnekleme - numune uzunluğunu aşmayan temas noktaları arasındaki meşalenin olduğu alanı ifade etmektedir.

Değen yüzeylerin birinin dalgalı ve öbürünün göreceli düz olması halinde temasın çevre alanı, üzerinde bu düzensizliklerin sonucu olarak yüzeylerin aşındığı sürtünme alanını niteleyecektir. Temas alanının, örneğin pigment transfer yöntemiyle yaklaşık ölçümlerinde işte bu çevre alanı doğruca ölçülmüş olmaktadır.

*A<sub>r</sub>gerçek temas akını*, içinde yüzey pürüzlülüğünü oluşturan düzensizliklerin temas halinde buldukları alanı ifade ediyor (Şek. 8). Gerçek temas alanı, büyüklük itibariyle madde atom ve moleküllerinin birbirlerini etkiledikleri alana yaklaşır.

Gerçek temas alanı genellikle küçüktür; görünür temas alanının % 0,01 ilâ 0,1' ini geçmez. Ayrı düzensizliklerin şekil değiştirmesi ile meydana gelmiş fiili temas noktalarının çapı, 3 ilâ 50 Å' m ' tür.



Şek. 8 .- Birbirine sürten iki yüzeyde görünür ve gerçek temas alanları

Birim gerçek temas alanı başına normal yük,  $p_r$  *gerçek basınç* 'ı niteler. Bu basınç, plastik temas için malzeme sertliğine yakın olup elastik temasta bundan haylice azdır. Çevre temas alanı çoğu kez görünür temas alanının % 5' i ilâ 15 kadardır. Görünür temas alanının fazla büyük olmaması ve dalgalılığın da ihmal edilebilir mertebede olması halinde, çevre temas alanı, görünür alana eşit kabul edilebilir. Birim çevre temas alanı başına normal yük  $p_c$  *çevre basıncı* niteler. Çevre basıncı genellikle nominal basıncın birkaç katıdır. Nominal basınç arttığında çevre basıncı nispeten az değişir ve gerçek basınç pratik olarak değişmez.

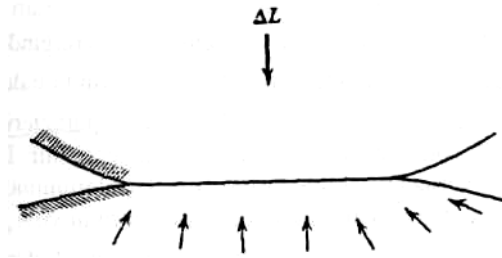
Burada önemli olan, hangi atomların, öbür yüzeyde tekabül eden atomlarla kuvvetlice etkileşimde buldukları ve hangilerinin bulunmadıklarının bilinmesidir. Büyük atom atoma kuvvetlerin çok dar aralıklı, sadece birkaç Angstrom büyüklük mertebesinde olduğu bilinir; bu aralık yaklaşık olarak ortalama atom boyutunda olur. Böyle olunca da sorunu basitleştirmek ve etkileşimin, atom atoma temas ettiği bölgeler arasında vaki olduğunu farz etmek mümkündür. Bu bölgeler "birleşme -yapışma (iltisak) yerleri" olarak bilinir ve tüm birleşme yerlerinin toplamı, gördüğümüz  $A_r$  gerçek temas alanını oluşturur. Bu gerçek temas alanı ile temasın vaki olmadığı bölgelerden meydana gelen toplam yüzeyler arası alan da  $A_a$ , görünür temas alanı olmaktadır.

### A.I.5.3 Gerçek temas alanının boyutu

İki yüzey arasında etkileşim şeklini gerçek temas alanı saptadığından, bu sonuncusu hakkında mümkün olduğu kadar çok bilgi elde etmek gereklidir. Her şeyden önce, gerçek alanın boyutunu bilmeliyiz. İlk bakışta, temasın koşulları, görünür temas alanının boyut ve biçimi, iki malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve bunları hangi yolla karşılıklı getirildikleri hakkında geniş bilgi edinmeden, iki yüzey birbirlerine, bunların temas yüzey arasına dikey bir  $L$  kuvvetiyle bastırıldıklarında  $A_r$ 'nin büyüklüğü hakkında herhangi bir nicel beyanda bulunmanın imkânsızlığı fark edilir. Bu parametreler elde olsa bile, sorunun somutlaşabilmesi için çok hızlı bir bilgisayara gerek bulunduğu sanılır. Ama, ideal olarak plastik şekil değiştirme farz edilerek çok basit bir sınır analizi yapılarak  $A_r$  için bir minimum değer hesaplanabilir. Bu minimum değer mutlak olarak gerçek temas alanının fiilî değerine yaklaşmaktadır.

Bu ifadelerden yukarıda verilmiş olan parametre değerlerinin pratik anlamı ortaya çıkıyor.

$A_r$ 'nin bir minimum değerinin hesaplanması için, temas haline getirilmiş yüzeylerin pürüzlü (ama aşırı ölçüde pürüzlü değil) olmaları halinde bir tipik birleşmenin. Şek.9' da görüldüğü gibi olacağından hareket edilir ki burada yüzey arası



bir triaksiyal (üç eksenli) zorlanma halinde olacaktır. Şek. 9' da görülen aslında, Brinell ve Vickers sertlik deneylerinin sırasıyla sert küre ve kare piramitinin bıraktıkları izle benzetilir. Böyle bir malzeme bölgesinin plastik akma olmadan taşıyabileceği en büyük basma gerilmesi, onun  $p$  nüfuz sertliği olarak bilinir. Yukarıda, bu nüfuz sertliğinin, tek eksenli basmada  $a_y$  akına mukavemetinin üç katı olduğunu görmüştük. Bu itibarla gerçek temas alanı  $A_r$ 'nin değeri

$$A_r \geq \frac{L}{p} \text{ ile belirlenir.}$$

Birçok halde, belki de çoğunlukla,  $A_r$ 'nin gerçekten  $L / p$ 'ye eşit olduğunu gösteren birçok dayanak vardır. Önce, akla yakınlık delili ileri sürülebilir. Teknik yöntemlerle hazırlanmış

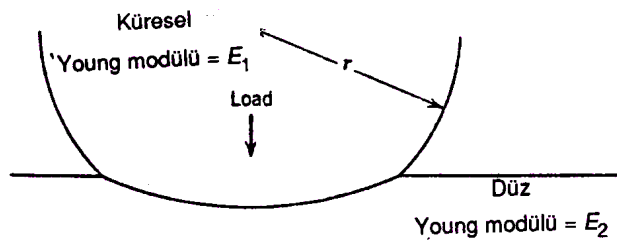
çoğu yüzeyde tepe ve çukurluklar vardır ve böyle bir yüzey bir başkasına bastırıldığında geometri, daha küçük ölçekte olmak üzere, bir senlik deneyinde vaki olana çok yakındır. Böylece de bu iki yüzey temas haline getirilip bir normal yük uygulandığında, plastik şekil değiştirme hasıl olacaktır şöyle ki başlangıçtaki üç noktanın teması muhtemelen çok sayıda oldukça büyük alanların teması haline gelir ve şekil değiştirme, toplam gerçek temas alanı

$$A_r = \frac{L}{p}$$

değerine varana kadar devam edecektir. Bu aşamada şekil değiştirme duracaktır.

Bu sonuncu denklemin lehinde ikinci delil, deneysel olguya dayanıp birçok şekil almaktadır. Önce, temas halindeki metallerin elektrik direnç ölçümleri zikredilebilir; bu ölçümler, gerçekten, elektrik temas direnci değerlerinin, genellikle, bu sonuncu denklemle uyum halinde olduklarını göstermiştir. Bundan sonra, kayan malzemelerin sürtünme katsayısının temas yük ve geometrisinden önemli ölçüde bağımsız olduğu delili vardır. Bu dahi bir plastik şekil değiştirme modeli ile uyum halinde olmakla birlikte farz edilen birçok başka şekil değiştirme türüne uygun düşmemektedir. Ve nihayet, bazı koşullarda, gerçek temas alanının doğruca ölçülmüş olduğu ve  $A=L/p$  denkleminde verilmiş değerle aynı büyüklük mertebesinde bulunduğu söylenebilir. Sadece bazı istisnai hallerde  $A_r$ ' nin değeri bu denklemin verdiği kadar büyük olur şöyle ki  $A_r > L / p$  denklemini kullanmak zorunlu hale gelir. Bu durumlara ait başlıca üç kategori zikredilecektir, ilki, yüzey pürüzlerinin çok küçük olduğu ve dolayısıyla de çok düzgün olan yüzeyler kategorisidir. Bu koşullar altında, böyle iki yüzeyin herhangi şekilde birleştirilmeleri durumunda plastik şekil değiştirme olmayabilir, sadece elastik şekil değiştirme görülür ve  $A_r$ ,  $L/p$  değerinden haylice büyük olacaktır. Bu hal, yatak bilyeleri gibi yüksek derecede parlatılmış yüzeylerinki (Şek. 10) olup bu, düz bir parlatılmış yüzey üzerine bastırıldığında, elastik şekil değiştirme için

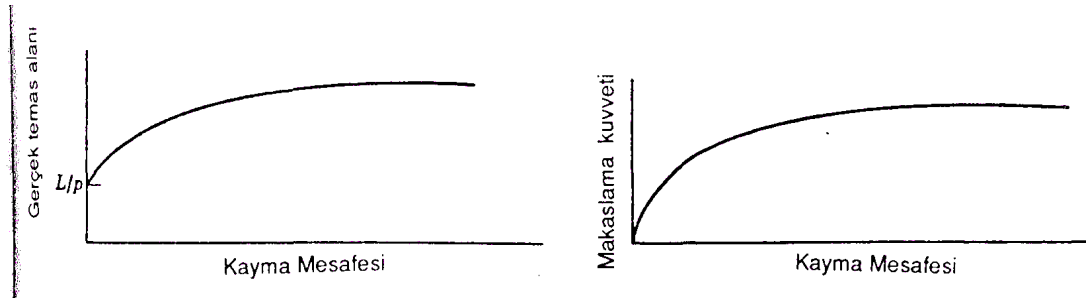
$$A_r = 2.9 \left[ L_r \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \right]^{2/3}$$



Şek. 10: - Bir elastik temas

Hertz denkleminin verdiği bir temas alanı meydana getirecektir; burada Poisson oranının her iki yüzey için 0,3 olduğu arz edilmiştir.

Dikkat nazara alınacak ikinci hal, normal kuvvetlerle birlikte makaslama kuvvetlerinin de birleşme yerine tesir etmeleri halidir, iler ne kadar bu, bütün hallerin en mutad olanı olup tüm kayma durumlarında en önde görüleni ise de, henüz yeterince anlaşılmış değildir. Makaslama kuvvetin her iki malzemenin denge pozisyonu üzerinde derin bir etkisi olacağı açıktır. Gerçekten, makaslama kuvveti ilk önce uygulandığında, teğetsel kuvvetinin çok az olmasına rağmen, teğetsel hareket vaki olur. Bu hareketin sonucunda temas alanı artar. Bu yeni alan, birleşik normal ve makaslama kuvvetlerinin müşterek etkisi altında dengeyi yeniden sağlar şöyle ki bu iki yüzeyin içe doğru normal yönde nispi hareketi durur. Makaslama kuvveti sürekli olarak artacak olursa, artan makaslama kuvvetiyle gerçek alan artışı, muhtemelen, statik dengeyi tutmak için gerekli olandan az olur ve dolayısıyla kayma hareketi hasıl olur (şek.11). Bir tipik durumda, kaymanın başlamasından önce nihai temas alanı, makaslama kuvvetlerinin ilk uygulanmasından önceki değer yaklaşık üç katı olabilir.

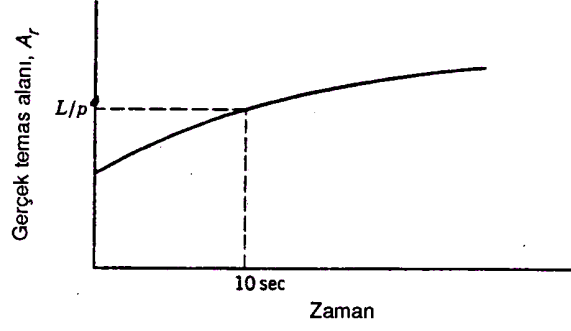


Şek. 11.- Kayma mesafesiyle  $A_r$  ve makaslama kuvvetinin değişmesi

$A_r$  yi artının üçüncü etkisi, yani yüzey enerjisine atfedilecek olanı irdelemeden önce,  $A_r$  yi  $L/p$  değerinin altına düşürebilecek olan bir olguya dikkati çekmek yerinde olacaktır. Bu olgu, metalimin mukavemet özelliklerinin bir karakteristik görünümü olan boyut etkisidir. Tipik birleşmelerin boyutları, 10" ilâ 10 cm, boyut etkisine tabi olabilen numune boyutlarının sınırındadır.

Bu itibarla,  $A_r = L/p$  denkleminde,  $l$ ; sertliği için, geniş bir çukur izin kullanıldığı normal deneyde elde edilen değeri değil, 10" ilâ 10 cm mertebesinde bir iz verebilecek kadar küçük bir yükte elde edileni kullanmak gerekecektir. Hafif yük deneyi altında saptanmış sertlik, iki ilâ üç kat daha büyük ve böylece de  $A_r$ , buna tekabül ederek daha küçük olabilir.

Malzemelerin sertliklerinin sabit olmaması nedeniyle devreye giren ve boyut etkisine yakından benzeyen etkiler, önemli ölçüde sürünen (creep) malzemelerde meydana gelenlerdir. Bu durumda  $A_r$  ' nin değeri, yükün uygulanma süresiyle artacaktır. Tipik bir serdik deneyinde yük, yaklaşık 10 saniye süreyle uygulanır. Şöyle ki bulunan sertlik değeri, "10 saniye mukavemeti" diye adlandırılabilir. Böylece ile, sürünen malzemelerde  $A_r$ , yükün uygulanmasından sonra ilk on saniye için  $L/p$  değerinden küçük, ama daha sonra, tercihen daha büyük olacaktır. Muhtemelen çok geniş temas alanları meydana gelecektir. (Şek. 12)



Şek. 12 .- Sürünen malzelerde , yükün uygulanma süresiyle  $A_r$ ' nin değişmesi

#### A.I.5.4 Yüzey enerjisinin temas alanı üzerine etkisi

Gerçek temas alanının boyutunu saptayan etkenlerin irdelenmesi sırasında, buraya kadar hacim nitelikleriyle, elastisite, plastiklik, sürünme ve boyut etkileriyle sınırlandıktık. Oysa ki, basit hesabın göstereceği gibi, yüzey nitelikleri de önemli olabilir. Bir sert konik çukur-iz bırakıcının bir  $\Delta L$  yükü ile  $p$  sertliğinde daha yumuşak bir malzemeye bastırılmasını farz edelim. İzin meydana gelmesi sırasında,  $E_g$ a yumuşak malzemenin hacim şekil değiştirmesi (bu malzemenin ideal olarak plastik olduğu farz ediliyor) ve serbest alanın azalması ve bir yüzey arasının oluşması sonucu enerji değişmesi hesaplanabilir. Böylece de, sistemin denge pozisyonunu saptamak için minimum enerji prensibini kullanabiliriz.

Bastırılan iz bırakıcı  $x$  meşalesine daldığında yük,  $\Delta L \cdot x$  kadar enerji hasil eder, malzeme de, şekil bozulmada buna eşit bir

$$\int_0^x \pi r^2 p \cdot dx$$

eşit miktarda enerji kullanır ve yüzey

$$\pi r^2 (\gamma_a + \gamma_t)$$

kadar enerji hasil eder ve  $\pi r^2 \gamma_{ab}$  miktarında enerji yutar. Bu topluca yüzey

enerjisi değişmesinin  $\pi r^2 W_{ab}$  'ye dönüştüğü yazılabilir. Böylece  $E_g$  toplam

enerji kazancı şöyle olur:

$$E_g = \Delta L \cdot x - \int_0^x \pi r^2 p \cdot dx + W_{ab} \cdot \pi r^2 \quad (1)$$

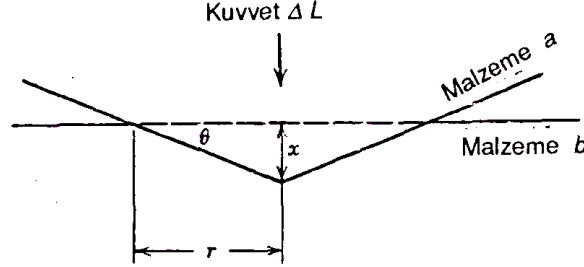
Şimdi  $l = x \cot \theta$  yerine koymasını yaptığımızda ve diferansiyelini aldığımızda —i

$$\frac{dE_g}{dx} = \Delta L - \pi r^2 p + 2\pi r W_{ab} \cot \theta \quad (2)$$

elde edilir.

$$\text{Dengede } \frac{dE_g}{dx} = 0 \text{ olup} \quad \Delta L = \pi r^2 p + 2\pi r W_{ab} \cot \theta \quad (3) \text{ olur.}$$

Yüzey enerjisini ihmal edecek olursak, yani  $W_{ah}$  'nın sıfır olduğunu farzederek, (3) denklemi,  $A_r \cdot U_p$  ile aynı olur. Bununla birlikte, yüzey enerjisinin varlığında  $A_r$ , her zaman bu sonuncu denklemin gösterdiğinden daha büyük olacaktır. Bu etki,  $W_{nl}$ , yüzey enerjisinin büyük ve yüzey pürüzlülüğünün çok küçük olduğu hallerde özellikle fazla olur.



Şekil:13\_b malzemesinden daha yumuşak düz bir yüzeye bastırılan a malzemesinden sert koni

### A.I.5.5 Gerçek temas alana ve gerçek basıncın hesaplanması

Gerçek basınç,  $r$  yarıçaplı küresel segmentler takımı şeklinde bir pürüzlü yüzey-modeli esasından çıkan bir münasebetin kullanılmasıyla hesap edilebilir.  $\nu$ ; enlemesine ve uzunlamasına yarıçapın geometrik ortalaması olarak saptanmış olduğundan, böyle bir model keza uzamış elipsoid şeklinde doruklar için de uygundur.

Formül yine elastik temasta ayrı dorukların şekil değiştirmelerinin Hertz münasebetine bağlı bulunduğu varsayımından çıkmakta olup burada plastik temas için ortalama temas gerilmesi  $H$  mikrosertliğe eşittir (biçok malzemede, mikrosertliğin yaklaşık olarak Brinell ve Vickers sertlik sayısına eşit olduğu kabul edilebilir). Bu varsayımlar hesaba katılarak ve yine malzemenin bir pürüzlü tabakada, yukarıda gördüğümüz

$$t_p = \frac{\Sigma \Delta l_p}{l} = \frac{A_p}{A_c} = b \left( \frac{a}{R_{max}} \right)^\nu = t_m \left( \frac{a}{R_p} \right)^\nu$$

formülüne uygun olmak dağılmış olduğunu kabul ederek,  $p_r$  ortalama gerçek temas basıncı için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$p_r = (K_3 B)^{\frac{\nu}{\nu + \omega}} \left( \frac{Rp}{r} \right)^{\frac{\omega \nu}{\nu + \omega}} \left( \frac{N}{\alpha t_m A_c} \right)^{\frac{\nu}{\nu + \omega}}$$

Burada  $a$  = elastik sapma faktörü ve  $\omega$  ile  $B$  de, malzemenin şekil değiştirme özelliklerini niteleyen faktörlerdir; bu faktörlerin değeri Tablo 12' de gösterilmiştir.

Tablo 12 .- Çeşitli temas tipleri için  $\omega$ ,  $B$  ve  $\alpha$ 'nın değerler

Şekil değiştirme tipi	Yüzeyler	$\omega$	$B$	$\alpha$
Elastik	$R_a \leq 0,16 \mu\text{m}$ olduğu metal yüzeyler	0,5	$0,43/\theta$	0,5
Plastik	$R_a > 0,16 \mu\text{m}$ olduğu metal yüzeyler	0	$H$	1

Tablo 13 .- Elastik - plastik temas için  $\alpha$  katsayısı

HB	$S_m / Rz$					
	1	10	20	30	40	50
50	1.0	0.85	0.75	0.65	0.55	0.50
100	0.90	0.75	0.56	0.50	0.50	0.50
200	0.80	0.56	0.50	0.50	0.50	0.50
400	0.70	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Tablo 12 ile 13 sadece elastik ve plastik temas tipleri için değil, aynı zamanda elastik – plastik temas için de  $\alpha$  değerlerini verirler ve böylece de çeşitli yüzeylerde plastik temas sırasında dorukların sapmalarının değerlendirilmesi mümkün olur.  $K_3$  katsayısı

$$K_3 = \frac{\Gamma(v + 1) \Gamma(\omega + 2)}{\Gamma(v + \omega + 1)} \quad (2)$$

formülünden hesaplanır.  $K_3$ 'ün bazı değerleri Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14  $w$  ve  $v$ 'nin bazı değerleri için  $K_3$  katsayısının değerleri

$\omega$	$v$		
	2	3	4
0	1	1	1
0.2	0.91	0.85	0.81
0.4	0.83	0.73	0.69
0.5	0.80	0.69	0.61

**NOT:**  $v = 1$ 'de  $w$ 'nin bütün değerleri için  $K_3 = 1$



**Tablo 15 :** Gerçek basıncı hesaplamak için yaklaşık formüller.

Şekil değiş-tirme tipi	Yüzeyler ve basınç	Hesap formülleri	Mülâhazat
Elastik	İki pürüzlü yüzey	$p_r = 0,61 \left( \frac{R_a}{r \theta^2} \right)^{0,43} p_c^{0,14}$	$r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$
	Pürüzlü yüzeyle düzgün yüzey	$p_r = 0,8 \left( \frac{R_a}{r \theta^2} \right)^{0,4} p_c^{0,2}$	
Plastik	$p_c \leq \frac{1}{3} HB$	$p_r \approx H$	Birbirinden farklı malzemelerin yüzeylerinin teması için, hesapta mikrosertliğin en küçük değeri alınır.
	$p_c > \frac{1}{3} HB$	$p_r \approx p_c - 0,4 \sqrt{\frac{H^3}{p_c}}$	
Plastik olarak şekil değiştirilmiş yüzeylerin tekrarlanan yüklenmesi	İki pürüzlü yüzey	$p_r \approx H \left( \frac{N}{N_0} \right)^{1/3}$	İlk yüklemekten sonra yüzeyler yer değiştirmez- lerse formül yine doğrudur.
	Pürüzlü yüzeyle düzgün yüzey	$p_r \approx H \left( \frac{N}{N_0} \right)^{1/2}$	
Burada $N_0$ = ilk yüklemeye normal yük			

Yükün ilk uygulanmasında plastik şekil değiştirme vaki olduğunda, ikinci ve müteakip yükleme devrelerinde yüzeylerin karşılıklı pozisyonlarında değişme yoksa, bunların sonucunda  $N$  normal yük  $N_0$  başlangıç yükünü aşana kadar elastik şekil değiştirme meydana gelir. Bu durumda

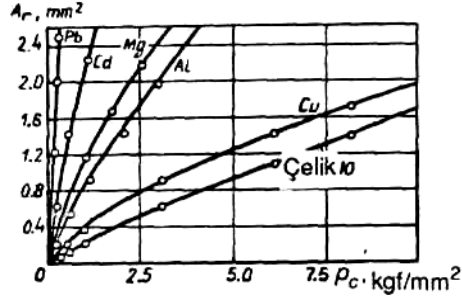
$$p_r \approx H \left( \frac{N}{N_0} \right)^{1/3} \quad (N \leq N_0) \quad (3)$$

olur. Burada  $H$  = mikrosertlik

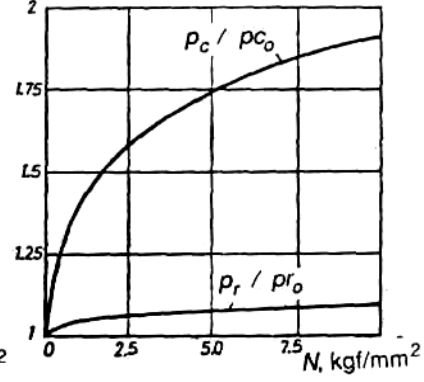
Yüksek basınçlarda plastik temas bir özel durumdur.  $p_c > 1 / 3 HB$  ise, temas basıncı senliği aşacaktır zira şekil değiştirilmiş dorukların karşılıklı etkileri sonucunda engellemiş plastik şekil değiştirme vaki olur.

(1) ve (3) formülleri kullanılıp yüzey geometrisi ve malzeme için uygun parametre değeri yerlerine konulduğunda, çeşitli durumlar için gerçek basıncın büyüklüğü hesaplanabilir. Hesaplan basitleştirmek için, yaklaşık gerçek basınç formülleri (Tablo 15' e bkz.), parametrelerin tipik değeri formül (1)' de yerlerine konularak elde edilebilir.

Gerçek temas alanı  $A_r = \frac{N}{p_r} = A_c \frac{p_c}{p_r}$  formülü ile hesaplanır.



Şek: 14 Gerçek temas alanı ile basıncı arasındaki ilişki



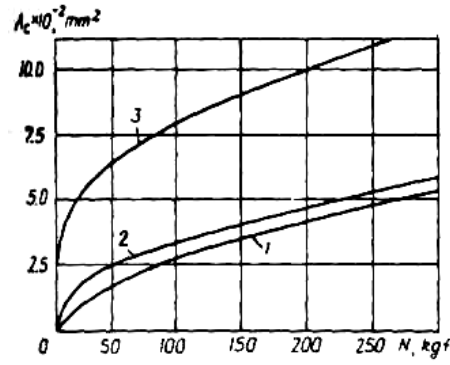
Şek: 15 Nominal basıncın fonksiyonu olarak gerçek ve çevre basınçları

$R_z = 40 \mu m$  'de çeşitli metaller için gerçek temas alanı ile çevre basıncı arasındaki ilişki, Şek. 14' de gösterilmiştir. Şek. 15, normal yükün fonksiyonu olarak gerçek ve çevre basınçlarının eğrilerini verir.

#### A.I.5.6 Çevre temas alanı ile çevre basıncının hesaplanması

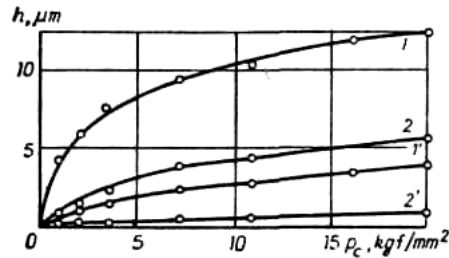
Üzerinde dalgalığın saptanmadığı küçük alan yüzeylerinde çevre temas alanı, görünür alana eşit olur, yani  $A_c = A_a$  dır. Çevre alam, küresel veya eliptik dilim dalga şekilleri modeli kullanılarak hesaplanır. Dalga şeklinin silindire yakın olması halinde bu, kaide olarak, uzunluk yönünde düz değildir; burada, uzunlamasına eğrilme yarıçapı saptanabilir ve bunun yardımıyla, fiilî yarıçap elde edilebilir, bu sonuncusu bu durumda da dalga şeklini niteler. Yüzey pürüzlülüğü az ( $R_{max} < 0,1 H_b$ ;  $H_b$ = dalga şeklinin yüksekliği), dalga şekilleri düzgün kabul edilebilir ve Hertz formüllerine dayanarak ilişkiler, hesap için kullanılabilirler. Bir kaba yüzeyde ( $R_{max} > 0,1 H_b$ ) dalga tepelerinin üzerindeki şekil değiştirmeye uğrayacak çıkıntılar, bazı temas alanlarını saptırma etkisini karşılıklı olarak icra ederler; bu etki, bu bölümler üzerinde bulunup temas eden dorukların birleşik davranışından ileri gelir. Çıkıntıların karşılıklı etkileri, basıncın daha uniform (tekdüze) dağılımına ve Hertz formülleriyle hesaplanmış olanlara göre önemli bir temas alanı artışına götürür.

Pürüzlü ve düzgün çelik küreler arasında çevre temas alanları farkını gösteren eğriler, Şek. 17' de verilmiştir. Buradan açıkça görüldüğü üzere fark, özellikle küçük yükler ve kaba yüzeyde büyüktür. Dalgalı yüzeylerde, pürüzlülüğün çevre alanı üzerine etkisi daha da büyük olur şöyle ki böyle bir yüzeyin yüklenmesinde daima henüz temasa gelen birçok dalga bulunur ve dolayısıyla bu sonuncular az yük alırlar. Çevre temas alanı ve çevre basıncını hesaplamak için formüller, , Tablo 16 ve 17 'de verilmiştir.



**Şek 16-** Çevre temas alanı ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki 1 - düzgün yüzey; 2-  $R_{\max} = 4 \mu m$ ; 3  $R_{\max} = 40 \mu m$

Şek. 17, temas alanının ilk (1,2) ve ikinci yüklemesinde (1', 2') yaklaşma ile çevre basıncı arasındaki ilişkiyi gösterir.



**Şek : 17** Yaklaşma ile çevre basıncı arasındaki ilişki .

1 ve 2 – iki pürüzlü yüzeyin ilk yüklenmesi (1) ve bir pürüzlü yüzeyle bir düzgün yüzeyin ilk yüklenmesi; 1 ve 2 aynı yüzeylerin tekrarlanan yüklenmeleri.

**Tablo 16-** Çevre temas alanı ve çevre basıncını hesaplamak için formüller

**I.  $R_{\max} < 0,1 H_b$**

Temas halinde dalga sayısı $n_b$	Koşullar	Hesap formülleri	Gösterilişler
$\leq 3$	Küçük görünür temas alanı, $A_a$ , $S_b^2$ ile ölçülebilir; küçük yükler	$A_c = 2,8 n_b^{1/3} (\theta_\Sigma R_b N)^{2/3}$ $p_c = \frac{0,36}{(\theta_\Sigma R_b)^{2/3}} \left(\frac{N}{n_b}\right)^{1/3}$	$R_b =$ dalga tepelerinin eğrilme yarıçapı $R_b = \frac{R_{b1} \cdot R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}}$
$> 3$	$A_a$ , görünür temas alanı $S_b^2$ den iyice büyük	$A_c = 2,2 A_a^{0,14} \left(\frac{R_b}{H_b}\right)^{0,43} (\theta_\Sigma N)^{0,86}$ $p_c = 0,45 \left(\frac{H_b}{R_b \theta^2}\right)^{0,43} p_a^{0,14}$	$S_b =$ dalga şekilleri arası mesafe (dalga uzunluğu)

$$II. R_{max} \geq 0,1 H_b$$

$n_b$	Çıkıntuların şekil değiştirmesi veya yüzey koşulu	Hesap formülleri
$\leq 3$	Plastik	$A_c \cong \pi n_b \left[ \left( \frac{3\theta_{\Sigma} R_b N}{4n_b} \right)^{0.89} + 1,8 R_p R_b \left( \frac{N}{n_b H} \right)^{0.33} \right]^{0.75}$
	Elastik	$A_c \cong \pi n_b \left[ \left( \frac{3\theta_{\Sigma} R_b N}{4n_b} \right)^{0.86} + 2,6 R_p R_b \left( \frac{r}{R_p} \right)^{0.14} \cdot \left( \frac{\theta_{\Sigma} N}{n_b} \right)^{0.28} \right]^{0.78}$
$> 3$	Bir düzle dalgali yüzey	$A_c \cong A_a K_b K_w \left[ \left( \frac{2R_b}{H_b} \right)^{1/2} \theta_{\Sigma} p_a \right]^{\frac{v_b}{v_b + \delta}}$
	Her iki yüzey dalgali	$P_c \cong \frac{1}{K_w K_b} \left( \frac{H_b}{2R_b \theta^2} \right)^{\frac{v_b}{2(v_b + \delta)}} \cdot \frac{\delta}{p_a (v_b + \delta)}$

Not: İlk yaklaşıklıkta  $R_p \cong 1/2 R_{max}$

**Tablo: 17\_ Tablo 16 daki katsayıların değerleri**

Çıkıntuların şekil değiş- tirme tipi	$\frac{1}{\theta_{\Sigma} H}$	Katsayı	$R_{max} / H_b$					
			0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2
Plastik	50	$K_{b1}$	1.05	1.15	1.20	1.35	1.55	2.1
		$\delta_1$	0.60	0.70	0.85	1.15	1.50	2.3
		$K_{b2}$	0.95	0.9	0.85	0.85	1.10	1.5
		$\delta_2$	0.7	1.05	1.45	2.15	3.15	3.9
	100	$K_{b1}$	1.10	1.17	1.28	1.45	1.75	2.6
		$\delta_1$	0.65	0.8	1.0	1.3	1.65	2.0
		$K_{b2}$	0.95	0.88	0.85	0.9	1.2	2.1
		$\delta_2$	0.75	1.10	1.60	2.4	3.4	4.0
	200	$K_{b1}$	1.13	1.20	1.35	1.55	2.1	3.3
		$\delta_1$	0.70	0.85	1.10	1.50	2.35	2.0
		$K_{b2}$	0.90	0.85	0.85	0.93	1.35	2.5
		$\delta_2$	0.80	1.2	1.7	2.6	3.6	4.0
Elastik	-	$K_{b1}$	1.05	1.06	1.14	1.25	1.5	2.1
		$\delta_1$	0.65	0.80	1.05	1.4	1.95	2.4
		$K_{b2}$	0.88	0.85	0.80	0.85	1.1	1.8
		$\delta_2$	0.75	1.1	1.7	2.6	2.6	4.5

Not: 1 indeksi ( $K_{b1}$   $\delta_1$  iki pürüzlü yüzey ve 2 indeksi de bir düzgün yüzeyle temasta bulunan bir pürüzlü yüzeye aittir.

Bu hesaplarda, aşağıdaki durumlar arasında tefrik yapılır : (a) dalga yüksekliklerine göre küçük ve büyük yüzey dorukları; (b) düzensizliklerin elastik ve plastik şekil değiştirmeleri (Tablo 12' ye bkz.); (c) yükün artmasıyla değişmeyen az sayıda (1 ilâ 3) dalga, ve yük arttıkça tedricen temas haline gelen çok sayıda dalga. Çok sayıda dalga ama küçük yük durumunda bile sadece bir ilâ üç dalganın temas halinde bulunabileceği kaydedilecektir; (d) karşılıklı her iki yüzey dalgalı veya biri dalgalı iken öbürüne düz gözüyle bakılabilir.

Çevre temas alanı hesap edildiğinde, gerçek temas alanının çevre alanına az bağlı olduğuna göre çevre alanının yaklaşıklıkla saptanmasının, sürtünme ve aşınma sorunlarının çözümü için yeterli olduğu akılda tutulacaktır. Gerçekten, çevre alanının bulunmasında % 100 hata, gerçek temas alanının hesabında ancak % 12 mertebesinde bir hataya götürür.

Tablo 16' daki formüllerden hesabın  $A_c > A_a$  vermesi, formülün bahis konusu yüzeylere uygulanamayacağı anlamını taşır ki bu durumda  $A_c$ ,  $A_a$  'ya eşit alınacaktır.

**Örnek.** İki çelik yüzeyin çevre temas alanının hesabı:

$$R_{a1} = R_{a2} = 1.6 \mu\text{m}, H_{b1} = 10 \mu\text{m}, H_{b2} = 20 \mu\text{m}, R_{b1} = 100\text{mm}, R_{b2} = 150\text{mm},$$

$$E_1 = E_2 = 2 \times 10^4 \text{ kgf/mm}^2, A_a = 2500 \text{ mm}^2, \mu_1 = \mu_2 = 0.3 \text{ (Poisson oranı)}$$

$$H_1 = H_2 = 100 \text{ kgf/mm}^2; p_a = 1 \text{ kgf/mm}^2.$$

Hesap, tablo 16' ya göre yapılmıştır. Bu örnekte

$$v_b = 3, \quad K_b = 2,38, \quad R_b = \frac{R_{b1} R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} = 60$$

$$\theta_\Sigma = 9 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kgf}$$

$$\frac{1}{\theta H} = 111, \quad \frac{R_{\max}}{H_{b1}} \approx \frac{R_{a1}}{H_b} = 0,8$$

(en büyük değer alınmıştır.)Tablo 15 den

$K_{b1} = 1,8$  ,  $\delta_1 = 1,7$  Bu değerler yerlerine konduğunda  $A_c = 420 \text{ mm}^2$  bulunur.

### A.1.5.7 Yüzeyler arasında yaklaşma

Yük altında yüzey girinti çıkıntılarının birbirlerine nüfuz etmesi, ezilmeleri ve elastik şekil değiştirmeleri, temas eden iki yüzeyi birbirlerine yaklaştırır. Bazı hallerde, yaklaşmanın boyutu, yüzeylerin sürtünme ve aşınma noktalarının boyutu, nüfuz eüne (dalma) derinliğine bağlıdır.

Üç tip yaklaşma tefrik edilecektir:

$h$  = çıkıntıların şekil değiştirmelerinden ileri gelen yaklaşma;

$h_b$  = dalgaların şekil değiştirmelerinden ileri gelen yaklaşma;

$h_E - h + h_b$  = her iki etkenden ileri gelen yaklaşma.

Çıkıntıların şekil değiştirmeleri (ezilmeleri) ile yaklaşmayı hesaplamada kullanılan formüller, Tablo 18' de verilmiştir.

**Tablo 18 \_Yaklaşmanın hesabı için formüller**

Yüzey Türü	Temas koşulları ve formülün kapsamı	Formüller	Mülâhazat
Dalgasız	Genel formül	$h = R_p \left( \frac{p_c}{\alpha t_m p_r} \right)^{1/n}$	$R_p$ , $t_m$ ve $v$ , aşağıda gösterilecektir; $p_r$ , tablo 15' deki ve $p_c$ de tablo 16' daki formüllerden hesaplanır; bunların katsayıları Tablo 17' dedir.
	İki pürüzlü yüzeyin teması için yaklaşık formül	$h \approx 3.4 R_a \left( \frac{p_c}{p_r} \right)^{1/3}$	
	Bir pürüzlü yüzeyle düzgün bir yüzey teması için yaklaşık formül	$h \approx 4.1 R_a \left( \frac{p_c}{p_r} \right)^{1/2}$	
	Plastik temasa tekrarlanan yük uygulaması	$h = \frac{1-\alpha}{\alpha} R_p \left( \frac{2 p_c}{H} \right)^{1/3}$	$\alpha$ için bkz. Tablo 12 ve 13. Yüzeyler, izafi yer değiştirmesi olmadan mükerrer olarak yüklenmişlerdir.
Dalgalı	Bir düz yüzeyle dalgalı yüzeyin temas hali	$h_{\Sigma} = h + 3.83 H_b^{0.8} \times R_b^{0.2} (\theta_{\Sigma} p_a)^{0.4}$	$h$ ' in değerleri, bu tabloda yukardaki formüllerden hesaplanır.
	Temas eden her iki yüzey dalgalıdır.	$h_{\Sigma} = h + 1.8 H_b^{0.85} \times R_b^{0.15} (\theta_{\Sigma} p_a)^{0.3}$	

$t_{mi}$  profilin ortalama çizgisi boyunca nispi referans uzunluğu olup ilk olarak, uzunluğu numune uzunluğuna eşit olan beş profil grafik kesitinde saptanır ve bundan işbu beş değer in ortalama değeri bulunur :

$$t_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 t_{mi}$$

Burada  $t_{mi} = 1/l \Delta$   $l_{mi}$  . olup  $\Delta$   $l_{mi}$  . ortalama çizgi düzeyinde doruk kesiti uzunluğu  $l$  de numune (örnekleme) uzunluğudur.

Taşıyıcı alan eğrisinin  $v$  ve  $b$  parametreleri

$$v = 2 t_m \frac{R_p}{R_a} - 1, \quad b = t_m \left( \frac{R_{\max}}{R_p} \right)^v,$$

$$R_p = \frac{1}{5} \sum_1^5 R_{pi} \text{ (Şek. 4'e bkz.) dir.}$$

**Örnek:** iki tamamen eş çelik yüzey

$$R_{z1} = R_{z2} = 0.3 \mu m, \quad r = 300 \mu m, \quad E = 2 \times 10^4 \text{ kgf/mm}^2, \quad \mu = 0.3, \quad p_c = 1 \text{ kgf/mm}^2$$

$$R_z = R_{z1} + R_{z2} = 0.6 \mu m, \quad r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = 150 \mu m$$

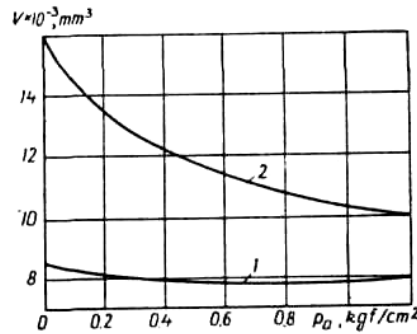
$$\theta_2 = \frac{2(1-\mu^2)}{E} = 9 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kgf}$$

Hesap formülü tablo 18'den seçilmiştir. Önce,  $p_r$  tablo 15'den uygun formül kullanılarak hesap edilecektir

$R_a \cong 0.2$ ,  $R_r = 0.12 \mu m$  ile,  $p_r \cong 4.3 \text{ kgf/mm}^2$  bulunacaktır. Tablo 18 'deki formülde yerlerine konularak  $h = 0.25 \mu m$  elde edilir.

#### A.I.5.8 Temas arası boşluk hacmi

Temas arası boşluk hacmiyle buna bağlı temas eden yüzeyler arasındaki ortalama mesafe, birleşme ve bunun sıklığının ısıl direncini büyük ölçüde saptar. Bu hacim, karşılıklı iki yüzeyin taşıyıcı alan eğrisinin şekline ve bir normal yük altında yaklaşmaları miktarına bağlıdır. Dalgalı yüzeylerde, bunların profil ve şekil değiştirmeleri kesin önemi haizdirler. Çelik parçalarda yükü temas arası boşluk hacminin değişmesini gösteren eğriler Şek. 18' de dir.



**Şek :18** Çelik yüzeylerde temas arası boşluk hacminin değişmesi. 1, dalgalıksız ; 2, dalgalılıkla

Tablo 19, temas arası boşluk hacmi ve temas halindeki yüzeyler arasındaki ortalama aralık miktarının hesabında kullanılan formülleri verir.



Tablo : 19  $V_s$  Temas arası boşluk hacmi ile  $h_m$  ortalama aralık

Temas koşulları	Formüller	Not
Pürüzlü yüzeyler için genel formüller	$V_s = \left[ 1 - \left( \frac{p_c}{\alpha t_m p_r} \right)^{1/\nu} \right] (R_{p1} + R_{p2}) A_c$ $h_m = \left[ 1 - \left( \frac{p_c}{\alpha t_m p_r} \right)^{1/\nu} \right] (R_{p1} + R_{p2})$	$p_r$ nin hesabı için Tablo 15'e, $p_c$ için Tablo 16 ve 17' ye bkz.
İki pürüzlü yüzeyin teması	$V_s \cong \left[ 1 - 3.3 \left( \frac{p_c}{p_r} \right)^{1/3} \right] (R_{p1} + R_{p2}) A_c$ $h_m \cong \left[ 1 - 3.3 \left( \frac{p_c}{p_r} \right)^{1/3} \right] (R_{p1} + R_{p2})$	≈
Pürüzlü yüzeyle düzgün yüzeyin teması	$V_s \cong \left[ 1 - 3.6 \left( \frac{p_c}{p_r} \right)^{1/2} \right] R_p A_c$ $h_m \cong \left[ 1 - 3.6 \left( \frac{p_c}{p_r} \right)^{1/2} \right] R_p$	
İki dalgalı ve pürüzlü yüzeyin teması	$V_s = \left( \frac{H_{b1}}{2} + \frac{H_{b2}}{2} + R_{p1} + R_{p2} - h_{\Sigma} \right) A_c$ $h_m = \frac{H_{b1}}{2} + \frac{H_{b2}}{2} + R_{p1} + R_{p2} - h_{\Sigma}$	$h_{\Sigma}$ ' nin hesabı için Tablo 18' e bkz.

örnek : İki düz bakır yüzey arasındaki temas arası boşluk hatminin hesabı.

Burada  $R_{a1} = 5 \mu m$ ,  $R_{a2} = 0,3 \mu m$ ,  $HB_1 = HB_2 = 70 \text{ kgf/mm}^2$

$A_a = 100 \text{ mm}^2$ ,  $N=100 \text{ kgf}$ .

$\frac{R_{a1}}{R_{a2}} = 16,7$  olduğundan, ikinci yüzey hesapla düz kabul edilir:

$p_r = H = HB = 70 \text{ kgf/mm}^2$  ; dalgalılık olmadığına göre  $A_c = A_a$  ve  $p_r = p_a; R_p = 2.5 R_a = 12.5 \mu m$

Tablo 19' dan

$$V_s = \left[ 1 - 3.6 \left( \frac{p_c}{p_r} \right)^{1/2} \right] A_c R_p =$$

$$\left\{ 1 - 3.6 \left[ 100 / (70 \times 100) \right]^{1/2} \right\} 100 \times 2.5 \times 0.005 = 0.71 \text{ mm}^3$$

Gerçek temas halinde nokta sayısı, bunları ortalama alan ve mesafeleri

Gerçek temasın vaki olduğu noktalar, yüzeyler arasındaki ilk etkileşimin vaki olduğu yerlerdir; bu karşılıklı etkileşim, sürtünme ve aşınmayı ortaya çıkarır. Temas noktasının alanı, aşınan zerrelerin boyutunu, tek bir temas noktasında etkileşim süresini ve sürtünmeden ileri gelen sıcaklığı saptar. Temas noktalarının ortalama meşalesi, bunların etkileşmelerinin sıklığını tanımlar. Temas nokta sayısı, pürüzlü yüzeyin bir yan küresel modeli esaslı üzerine hesaplanır ki bu esasın uygulanması, malzemenin dağılma kanunundan (taşıyıcı alan eğrisi) hareketle bütün pürüzlü tabakanın yüksekliğinde çıkınlı tepelerinin dağılma kanununu saptama olanağını sağlar.

**Tablo 20** .-  $n_r$  gerçek temas noktası sayısı, bunların  $\Delta A_r$  alanı ve bunların aralarındaki  $S_r$  ortalama mesafeyi saptamak için formüller

Temas halinde yüzeyler	Formüller	
İki pürüzlü yüzey	$n_r = \frac{3 \cdot 1 A_c \left(\frac{P_c}{P_r}\right)^{0.66}}{K_r r R_a}$ $S_r = 0.57 (K_r r R_a)^{0.5} \left(\frac{P_r}{P_c}\right)^{0.33}$ $\Delta A_r = 0.33 K_r r R_a \left(\frac{P_c}{P_r}\right)^{0.33}$	Çukurların elastik temas için (bkz. Tablo 12) $K_r = 11$ ve plastik temas için $K_r = 21$
Pürüzlü yüzeyle düzgün yüzey	$n_r = \frac{2 A_c \left(\frac{P_c}{P_r}\right)^{0.5}}{K_r r R_a}$ $S_r = 0.7 (K_r r R_a)^{0.5} \left(\frac{P_r}{P_c}\right)^{0.5}$ $\Delta A_r = 0.5 K_r r R_a \left(\frac{P_c}{P_r}\right)^{0.5}$	$r$ ve $R_a$ 'nın saptanması için izahat aşağıda; $p_r$ ve $p_c$ için bkz. Tablo 15, 16 ve 17

**Örnek:** İki tamamen eş çelik yüzeyde temas noktalarının ortalama alanı ve sayısı

( $R_z=40 \mu\text{m}$ ,  $r=100 \mu\text{m}$ ,  $A_c=200 \text{ mm}^2$ ,  $N=200 \text{ kgf}$ ,  $HB=300 \text{ kgf/mm}^2$ )

Buradan  $R_a \approx 1/4 R_z = 100 \mu\text{m}$ ,  $p_c = 1 \text{ kgf/mm}^2$ ,  $p_r = 300 \text{ kgf/mm}^2$  ve temas plastik olduğuna göre,  $K_r = 21$ 'dir. Bu değerler tablo 20'de iki pürüzlü yüzeyin temas formülünde yerine konduğunda

$$n_r = \frac{200}{0,33 \times 21 \times 0,1 \times 0,01} \left(\frac{1}{300}\right)^{0.66} = 641 \text{ nokta}$$

$$\Delta A_r = 0,33 \times 21 \times 0,1 \times 0,01 \left(\frac{1}{300}\right)^{0.33} = 0,001 \text{ mm}^2$$

Temas noktasının ortalama çapı

$$d = \sqrt{\Delta A} = 31.6 \mu\text{m}$$

#### *Temasın rheolojik (Şekil değiştirme ve akma) nitelikleri*

Temasın gerçek basıncı çok yüksek olup yüzey doruklarının plastik şekil değiştirmesi ve, bazı durumlarda da, temasta malzemenin sürünmesine (creep) götürür. Bunun sonucunda, yükün uygulanma süresi arttıkça, temasın karakteristikleri değişir. Temasın şekil değiştirmesi ile süre arasındaki ilişkiyi, malzemenin özellikleri, homolojik sıcaklığı (Kelvin derecesi olarak, deney sırasındaki sıcaklığın ergime sıcaklığına oranı), yüzey pürüzlülüğü ve uygulanan yük tarafından saptanır. Metaller, 0.4' ün üstünde bir homolojik sıcaklıkta şiddetle sürünürler(\*); bununla birlikte, hattâ çelik gibi malzemelerde bile sürünme oda sıcaklığında da vaki olur.