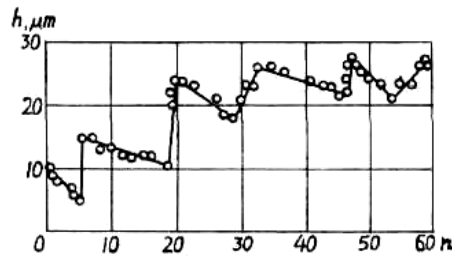


A.III.3 AŞINMANIN FİZİKSEL MODELİ

Makine parçalarının tamiri için sarf edilen işçilik, tamir işinin kaide olarak fazlaca mekanize olmaması nedeniyle, bu parçaların imalinde sarf edilenden önemli miktarda fazladır. Dolayısıyla de her gün makine parçalarından aşınmaya daha büyük dayanıklılık aranmaktadır. Aşınma derecesinin, özellikle tasarım aşamasında hesaplanması, parçaların aşınma ömrünün önceden saptanmasında önemli rol oynar.

Başlarda tasarım ilişkileri malzemenin aşınmaya dayanımı üzerinde sadece sertlik ve yükün meydana getirdikleri etkileri göz önüne almıştı. Oysa ki deney, malzemenin elastik nitelikleri, parçaların çalışma koşulları (yük, hız, sıcaklık), dış koşullar (yağlama, çevre) ve birleşmenin tasarım özelliklerinin aşınma üzerinde bir o kadar etkisi bulunduğunu göstermektedir. Bir çıkıntının sürtüştüğü cisim üzerinde kayması, bir basma gerilmesine uğramış şekli bozulmuş malzemenin bir cephesel dalgasını meydana getirir. Çıkıntının gerisinde, sürtünme kuvveti nedeniyle, malzemenin şekli bozulur. Böylece de, şekil değiştirmiş malzemenin her bölümü, ters işaretli deformasyonlara uğrar. Çok kez tekrarlanan deformasyonlar, yüzey tabakasında fiziksel ve kimyasal değişmelere, ve bunun sonucu olarak da, aşınma taneciğinin kopup çıkmasına götürür.

Yük altında bir küresel iz bırakıcı ile bir dairesel yol boyunca yapılan deneyler, numune malzemesinin hemen değil, iz bırakıcının birçok geçişinden (yani birçok etkileşim saykılından) sonra tahrip olduğunu göstermiştir. Aşınma tanecikleri kalkıp iz bırakıcı malzemede daha derine indikçe, yine birçok saykl süresince sürtüşen yüzeyde elle tutulur bir değişme olmaz (Şek.92).



Şek-92.- Yükleme sayklanna bağlı olarak bir iz bırakıcının malzemeye nüfuzu

Aşınma taneciğinin ayrılmasının vaki olduğu σ_{eff} fiili temas gerilmesi t özgül sürtünme kuvveti ile orantılıdır.

$$\sigma_{eff} = k\tau = kf_{ml} p_r \quad (1)$$

Burada k , temas gerilme koşulunu niteleyen katsayı olup bu katsayı malzeme cinsine bağlıdır şöyle ki gevrek malzemelerde $k=5$ iken yüksek ölçüde elastik malzemelerde $k=3$ tür. (f^{\wedge} , sürtünme katsayısının moleküler komponenti-bileşeni; p_r de gerçek basınçtır).

Aşınma genellikle lineer aşınma derecesi ile nitelenir.

$$I = \frac{V_{\Sigma}}{A_a L} = \frac{U}{L} \quad (2)$$

Burada $L =$ kayma mesafesi, V_E da L kayma mesafesinde kopan (aşınan) malzeme hacmidir.

Sürtünme süresince sadece gerçek temas alanının yer aldığı akılda tutularak ,(2)ifadesiyle kıyasla özgül aşım kavramına yer verelim:

$$i_h = \frac{V_d}{A_r d} \quad (3)$$

Burada $d =$ temas noktasının ortalama çapı, V_d de, yüzey düzensizlikleri arasında tek bir etkileşimin sonucu olarak d mesafesinde kaymada A_r alanından kopan ;malzeme hacmidir.

(2) ifadesi (3)ile bölünüp gerekli değişimler yapılarak

$$I = i_h \frac{A_r}{A_a} = i_h \frac{p_a}{p_r} \quad (4) \text{ elde edilir.}$$

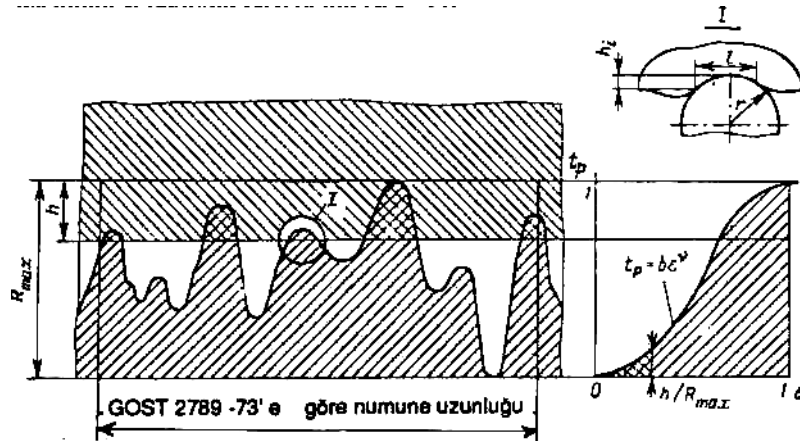
Düzensizlikler arasında tek bir etkileşime tekabül eden aşınmış tabakanın kalınlığı

$$V_d = \frac{U_v}{n} \quad (5) \text{ olup}$$

n , U_v malzeme hacminin ayrılmasıyla sonuçlanan etkileşim sayklları sayısıdır.

Bir pürüzlü yüzeye sahip tamamen rijid katının bir düzgün, aşınmaya tâbi elastik olarak şekil değiştirmiş parça ile temasını ele alalım. Pürüzlü yüzeyin modeli, eşi yarıçaplı yarıküresel segmentler takımı halinde olup bu segmentler yükseklik bakımından öyle tertiplenmiştir ki modelin yüzey tabakalarında ve gerçek yüzeyde malzeme dağılımları, eş taşıma-alan eğrileriyle ifade edilirler. Çıkıntıların karşılıklı etkisi ihmal edilir zira gerçek birleşmelerin çoğunda temas yoğunluğu çok az olup kayan çiftin en yumuşağının nominal basıncının sertliğine oranı ile yaklaşık olarak tahmin edilebilir.

ilk yaklaşıklıkla, karşılıklı parçaların deformasyonunda sadece nüfuz eden çıkıntıların hacminin yer aldığını farz edelim (şek. 93):



Şek. 93.- Rijid pürüzlü bir katının, şekil değiştiren malzemenin düz yüzeyi ile teması

$$U_v = \int_0^h A_r dh = A_c R_{max} \int_0^\epsilon b \epsilon^v d\epsilon = \frac{A_r h}{v+1} \quad (6)$$

(6) formülünü (3) de yerine koyup (5) hesaba katıldığında

$$i_h = \frac{h}{(v+1)dh} \quad (7) \text{ elde edilir.}$$

Yan küresel segmentler yoluyla modelleştirilmiş düzensizliklerle, tek bir düzensizlik için

$$d \approx \sqrt[3]{2rh}$$

olduğu geometrik olarak ispat edilebilir. Böylece

$$\frac{d}{h} \approx 0.7 \sqrt{\frac{h}{r}} \text{ olur.}$$

Çok sayıda temasta, aşınma derecesini hesap etmek için aşağıdaki esas denklem vardır:

$$I = K_1 \alpha \sqrt{\frac{h}{r} \frac{p_a}{p_r} \frac{1}{n}} \quad (8)$$

Burada K_1 , katıların yüzeylerinde bireysel çıkıntılarının şekil ve yüksekliklerinin tayin ettiği katsayı olup mutlak olarak $K_1 \sim 0,2$ dir. $a = A_r / A_a =$ karşılıklı bindirme katsayısı, I aşınma derecesi, 10^{-3} ten 10^{-12} arasında değişebilir.

Deneyine dayanarak aşağıdaki aşınma sınıfları tavsiye edilebilir :

Klas	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
lg I_{\min}	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4
lg I_{\max}	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3

Tespit edilmiş aşınma mukavemeti sınıfları, katı cisimler mekaniğinde kabul edilmiş başlıca temas sürtünme etkileşim tipleri tarafından nitelendirilmişlerdir :

Klas I -V - elastik deformasyonlar;

Klas VI -VII - elastik - plastik deformasyonlar;

Klas VIII - IX - mikrokeseleme.

Aşınma derecesi, karşılıklı cisimler arasında temas etkileşim tipine bağlıdır. Bu nedenle her durumda elastik temas etkileşimleri sağlanmalıdır. Bu tür etkileşimler, karşılıklı yüzeylerin "alışmaları"nın sonucu olarak çoğunlukla kendiliklerinden vaki olurlar, bu alışma da temas eden düzensizliklerin şekil ve yüksekliklerinde değişmeye götürür.

(8) formülüne dahil olan faktörlerin her birinin anlamına gelelim, ilk faktör, yüzey düzensizliklerinin izafî nüfuz derinliğini ifade eder; bu derinlik, temas tipini saptar. Elastik temasta, demirli ve demir dışı metallerde sırasıyla 10^{-2} ve 10^{-4} den az olmalıdır, $h/r > 0,5$ ile, dış sürtünmenin olanak dışı olduğu kaydedilecektir, ikinci faktör gerçek temas alanının görünür alana oranını ifade eder. Pürüzlülük ve dalgalılık dolayısıyla bu oran daima birden küçüktür. Metaller için 10^{-4} ilâ 10^{-2} elastometreler (polimerler, kauçuk) için 10^{-2} ilâ 10^{-1} arasında olur. Üçüncü faktör, tekrarlanan sürtünme etkileşimlerle malzemenin kopmaya mukavemetini (yorulma mukavemeti) niteler. Bu faktör malzemenin özellikleri, temasta etkin gerilmenin

büyüklüğüne, temas alanında vaki olan mekanik ve kimyasal süreçlerin tabiatına ve yağlama veya gazlı çevrenin varlığına tâbidir. Geniş bir değer sayısı arasında (10^{-2} ilâ 10^{-10}) değişen bu faktörün aşınma derecesi üzerinde başat bir etkisi vardır.

Bir tamamen rijid, pürüzlü (ama dalgalı değil) yüzey ile elastik olarak şekil değiştirmiş ve aşınmaya tâbi bir cismin arasında etkileşim durumunda (8) formülüne dahil olmuş boyutsuz faktörleri hesap edelim. Pürüzlü yüzey Δ yüzey geometri: çapraşık parametresi ile b ve v taşıma alnı eğrisi parametreleriyle nitelenir. Taşıma alanı eğrisinin bilinen denkleminde

$$\sqrt{\frac{h}{r}} = \left(\frac{2p_c}{p_r} \right)^{1/2v} \Delta^{1/2} \quad \text{elde edilir.}$$

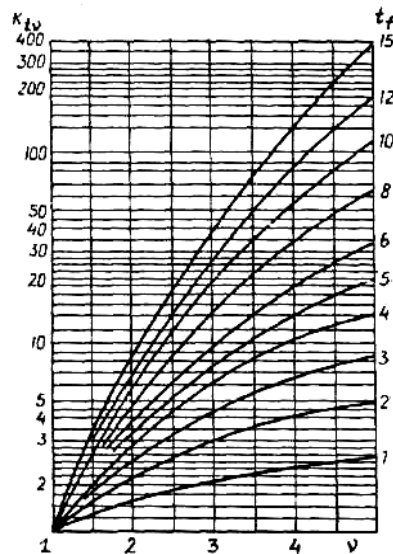
İkinci boyutsuz faktör (p_a / p_r) aşağıdaki (11) formülü kullanılarak hesap edilebilir; bu formülde $p_a = p_c$ dir.

8) formülündeki son $1/n$ faktörüne gelince : malzemenin kırılmasını sonuçlandıran n saykl sayısının, gerilmenin artan büyüklüğü ile azaldığı bilinir. Bu münasebet Wöhler yorulma eğrisi olarak anılır. Yorulma eğrisi analitik olarak ampirik üslü formüllerle tanımlanır: Elastik temas için

$$n = \left(\frac{\sigma_o}{\sigma_{eff}} \right)^{t_f} \quad (9)$$

olup burada σ_{eff} ve σ_o = tek bir uzanım sayklında fiilî ve nihaî çekme gerilmeleri, ve t_f = sürtünme yorulma eğrisi parametresidir. İki pürüzlü yüzey arasında temas sırasında tek bir sürtünme bağlantısının, çıkıntı yükseklikleri farklı olduklarından fiilî gerilmenin gelişi güzel değişmelerine tâbi olduğu kaydedilecektir.

Temas noktalarının stabil olmayan yüklenmesinde statistik münasebetler hesaba katılarak ve ters yorulma etkilerinin lineer eklenmeleri varsayımının uygulanması ile, aşınma parçacığının ayrılmasına kadar saykl sayısının K_{tv} düzeltme faktörü vasıtasıyla hesabı mümkün olabilmektedir. Bu düzeltme faktörü, şek. 94' deki nomogramdan alınır.



Şek. 94 .- K_{tv} katsayısının saptanması için nomogram

Bir malzemenin aşınmaya mukavemeti hesap edildiğinde, katı cisimlerin topluca mukavemet özelliklerinin tahmini için mutlak olarak kullanılan karakteristikler yeterli olmamaktadırlar; kayan çiftin parçalarının özgül malzeme karakteristiklerinin bilinmesi gerekir. Yorulma eğrisinin t_f üssü, aslında, kayma sırasında vaki olan tüm fiziksel ve kimyasal süreçler topluluğu için geçerlidir. O, henüz hesaplanamamakta olup aşağıdaki yöntemlerle deneysel olarak saptanır :

(1) Aşınma deneyleriyle. Burada veriler ya iş üzerindeki aşınma deneyleri ya da, aşağıda göreceğimiz laboratuvar deneylerinden alınır. Bu yöntemin en büyük sakıncası, yani alçak etkinliği, çok pozisyonlu aşınma deneyi makineleri kullanılarak önlenir; bu makinelerde birçok numune aynı anda farklı yükler altında araştırılır.

(2) Yerleştirilmiş temaslı donanımla deneylerle. Bunlar sayklometrelerdir. Yağlayıcı, çevre ya da karşısındaki cisimle mekanik ya da kimyasal etkileşime girmeyen malzemelerde t_f parametresi kitle yorulma ömrü için deney sonuçlarından alınabilir. Aşağıda birkaç tipik sürtüşme koşulu için t_f değerleri verilmiştir.

Tablo 32.- Bir çelik üzerinde yağlamasız, havada kaymada sürtünme yorulma parametre değerleri

Malzeme	σ_c , kgf/cm ²	t_f
% 0,45 C çelik	7.000	7,9
% 4 C dökme demir	6.600	4,1
Çeşitli grafit grade' leri	200 - 800	2,0 - 2,4
Elektrografit	2.750	6,7
Çeşitli sertlikte kauçuk	1460 - 8.500	3,0 - 3,6