

# DİŞLİ ÇARKLARDA YENME HESABI YÖNTEMLERİ: BİR TARAMA

## *KISIM IIA: Sıcaklığa Dayalı Yöntemler*

Talat TEVRÜZ  
İstanbul Teknik Üniversitesi

### Özet

Çalışmanın I. Kısmı'nda *Basınca Dayalı Yöntemler* verilmişti. Sıcaklığa Dayalı yöntemler diş profilinin belli bir noktasındaki sıcaklığa veya diş profilinin ortalama sıcaklığına dayanmaktadırlar. Ortalama sıcaklığına dayalı yöntemlerin noktasal sıcaklığa dayalı olanlara göre daha gerçekçi neticeler verdiği görülmüştür. Çalışmanın bu kısmında noktasal sıcaklığa dayalı Blok yöntemi verilmiştir. Yöntem, sonraki bazı araştırmacılar tarafından kendi metotlarına monte edilmiştir. Bu sebeple önemli olup, oldukça eski bir yöntem olmasına rağmen bu çalışmada sunulmaktadır.

### Abstract

In Part I of the study, the methods were based on pressure on the tooth profile. The methods based on temperature are twofold: the methods taking into account the contact temperature and the methods taking into account the mean temperature on the tooth profile. The methods based on the mean temperature give much more realistic results than the methods based on the contact temperature. In this part of the study, the method based on the contact temperature is given and analyzed.

*Anahtar kelimeler:* Dişli Çarklarda Yenme Hesabı, Yenme.

## 4. Sıcaklığa Dayalı Yöntemler<sup>1</sup>

### 4.1. Noktasal Sıcaklığa Dayalı Yöntemler

#### 4.1.1. Blok'a Göre Yenme Hesabı

Yöntem, 1937 yılında Blok tarafından ortaya konulmuştur [1,2,3,4]. Metot, silindirik dişli çarklar içindir. Blok'a göre, katıksız mineral yağlarla yağlanan mekanizmalarda, diş profillerinin *herhangi bir temas noktasındaki lokal ve anî sıcaklık* kritik bir değeri aşarsa

---

<sup>1</sup> Verilmeyen faktörler ilgili kaynaktan alınacaktır.

yenme meydana gelmektedir. Blok'a göre, bu kritik sıcaklık, işletme şartlarından ve çark datalarından bağımsız olup, sadece yağ-malzeme çiftine bağlıdır. Blok, diş profillerinin herhangi bir temas noktasındaki lokal ve anî sıcaklığı aşağıdaki denklemle hesaplamaktadır:

$$t_o = t_M + t_{Fl} \leq t_{Okr} \quad (23)$$

Burada

$t_o$  , anî temas sıcaklığı,

$t_M$  , dişli çarkların kütle sıcaklığı,

$t_{Fl}$  , flaş sıcaklığı<sup>2</sup>,

$t_{Okr}$  , kritik anî temas sıcaklığı

dır.

$$t_{Fl} = 0.877 \mu \left( \frac{F_n}{b} \right)^{0.75} \sqrt{v} \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2/i}}{\sqrt{d_1} \sqrt[4]{\rho}} \sqrt[4]{\frac{E}{\lambda \gamma c}} \quad (24)$$

Islah ve sementasyon çelikleri için aşağıdaki ortalama malzeme değerleri denkleme konulacak olursa

$$E = \text{Eşdeğer elastiklik modülü} = 2,31.10^4 \text{ daN/mm}^2$$

$$\lambda = \text{Isı iletim katsayısı} = 0,115 \text{ kal/(cm.s.C}^\circ)$$

$$\gamma = \text{Yoğunluk} = 7,85 \text{ g/cm}^3$$

$$c = \text{Özgül ısı} = 0,115 \text{ kal/(gC}^\circ)$$

$$t_{Fl} = 248.24 \mu \left( \frac{F_n}{b} \right)^{0.75} \sqrt{v} \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2/i}}{\sqrt{d_1} \sqrt[4]{\rho}} \quad (25)$$

elde edilir. Bu denklem, (24) denkleminin pratikte kullanılan şekli olmaktadır. Hesap alın kesitinde yapılmaktadır.

<sup>2</sup> Türkçe'de, 'şimşek sıcaklık' denebilir.

Blok'a göre,  $t_M$  kütle sıcaklığı olarak daldırılmalı yağlama yönteminde kutudaki yağ sıcaklığı, püskürtmeli yağlama yönteminde ise yağın püskürtme sıcaklığı alınabilir. Diğer taraftan, Blok'un  $\mu$  sürtünme katsayısının 0,06 alınabileceğini söylemesine rağmen [1,5], bu değer aslında yüke, hıza, yüzey pürüzlülüğüne ve yağın cinsine göre değişmektedir. Daha sonra yapılan çalışmalarla, sürtünme katsayısı, bu faktörlerin etkisi dikkate alınarak deneyle veya hesapla elde edilebilmiştir [6,7,8,9]. Blok'a göre, kavrama esnasında en yüksek sıcaklık *dış tekil noktada* meydana geldiğinden hesabın bu noktada yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla (25) denklemindeki büyüklüklerin dış tekil noktadaki değerleri söz konusu olmaktadır. Bir örnek olarak, çarkların malzemesi çelik olmak üzere SAE 90 sınıfı yağlar için kritik anî temas sıcaklığı  $t_{Okr}$  aşağıda verilmiştir [1]. Blok'un, yöntemini *saf mineral yağlar* için ortaya koymuş olmasıyla birlikte, çeşitli kaynaklarda yöntemin, yetersizlikleri saklı kalmak şartı ile katı katı yağlar için de kullanılabileceği söylenmektedir [1,10,11].

Saf mineral yağlar için	$t_{Okr} = 150-250 \text{ C}^\circ$
Orta katı katı yağlar için	$= 250-350 \text{ C}^\circ$
Yüksek katı katı yağlar için	$> 350 \text{ C}^\circ$

Çeşitli SAE ve AGMA viskozite sınıfındaki saf mineral yağlar için  $t_{Okr}$  değerleri literatürlerde verilmiş bulunmaktadır [2,12].

Blok'un hesap tarzı, sürtünmeli kasnak mekanizmalarında yük ve sürtünme değerinin sabit olması şartı ile iyi netice vermekle beraber [13,14] [6]; ana verinin birçok defa ilâveler dahi yapılarak iyileştirilmeye çalışılmış (meselâ [2,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24]) olmasına rağmen, dişli çark mekanizmalarına genel olarak uygulama kabiliyetine kavuşturulamamıştır. Bunun en önemli sebebi, kanaatimce, Blok'un yenme olayında diş profili üzerindeki maksimum sıcaklığı esas almasıdır. Halbuki, saniyenin binde biri ikisi gibi çok kısa bir zaman süresi içinde kavramaya girip çıkan bir dişin profili üzerindeki her noktada ortaya çıkan sıcaklıklar mutlaka birbirlerini ayarlamaktadırlar. Kanaatimce, sebeplerden biri de, Blok'un sürtünme katsayısı için ortalama bir değer seçmesidir. Halbuki, yukarıda da söylendiği gibi, sürtünme katsayısı yüke, hıza, yüzey pürüzlülüğüne ve yağın cinsine göre değişmektedir. Bir diğer sebep, kritik sıcaklık  $t_{Okr}$  'in sadece yağ-malzeme çiftine bağlı olmayıp, aynı zamanda hıza, yağlama yöntemine, yağ sıcaklığına v.s. ye de bağlı olmasıdır (bk. Şekil 4 ve Şekil 5).

Böylece, Blok'un yöntemi, sadece katıksız mineral yağlarla yağlanan silindirik düz ve sertleştirilmiş silindirik helisel dişli çarklar için, bilhassa silindirik düz dişli çarklar için uygun olmaktadır. Katıkl mineral yağlar kullanıldığında bu yöntemin tatmin edici olmaktan uzak olduğu Şekil 6'dan anlaşılmaktadır. Şekilden, hemen daima gerçektekinden çok daha büyük bir yenme yükünün hesaplandığı, dolayısıyla yöntemin yüksek bir emniyet katsayısı gerektirdiği görülmektedir.

Denklem (25)' e daha sonra pürüzlülüğün dikkate alınması için Kelley tarafından bir pürüzlülük faktörü ilave edilmiştir [1,5,19]. Bu durumda (25) denkleminin aldığı yeni şekil

$$t_{FI} = 248.24 F_{TR} \mu \left( \frac{F_n}{b} \right)^{0.75} \sqrt{v} \frac{\sqrt{\rho_1 - \sqrt{\rho_2/i}}}{\sqrt{d_1} \sqrt[4]{\rho}} \quad (26)$$

olmaktadır. Burada  $F_{TR}$  pürüzlülük faktörü olup,

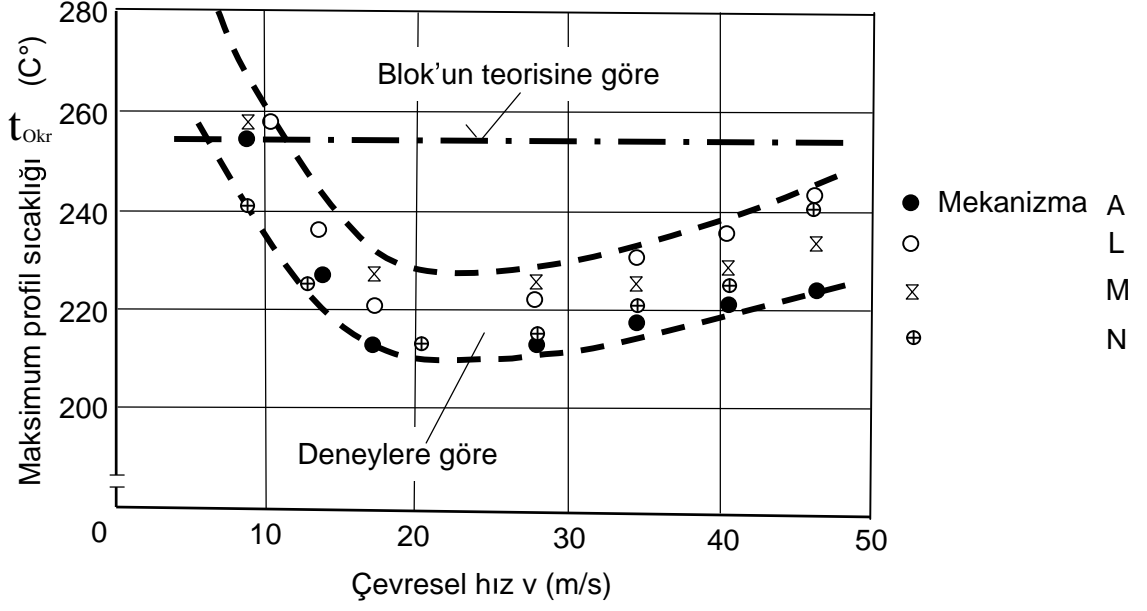
$$F_{TR} = \frac{1.4}{1.4 - R_g} = \frac{1.4}{1.4 - 1.1 R_a} \quad (27)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

$R_g$ , diş profilinin geometrik ortalama pürüzlülüğü,

$R_a$ , diş profilinin aritmetik ortalama pürüzlülüğüdür.

Kanaatimce, denklem (25) veya denklem (26)'ya bir  $X_B$  eğim açısı faktörünün (Şekil 7) ilâvesi ile metot silindirik helisel çarklar için daha tatmin edici olacaktır (ancak böyle bir çalışma tarafımdan yapılmamış ve vereceği netice  $-S_F$  yenme emniyet katsayısı eğrisi- incelenmemiştir). Çünkü, silindirik helisel dişli çark mekanizmalarında diş eğimlerinden dolayı kavrama oranı, silindirik düz dili çark mekanizmalarına göre



Şekil 4.  $m1^3$  saf mineral yağı ile yapılan deney sonuçları için Blok'a göre hesaplanan dış tekil noktadaki kritik anî temas sıcaklığı  $t_{Okkr}$  [10].

atlama kavrama oranı  $\varepsilon_{at}$  kadar daha büyük olup, matematiksel olarak ifade edilecek olursa,

$$\mathcal{E}_{top} = \varepsilon + \mathcal{E}_{at}$$

dır. Burada

$\mathcal{E}_{top}$ , - , toplam kavrama oranı,

$\varepsilon$ , - , silindirik düz dişli çark mekanizması için hesaplanan kavrama oranı,

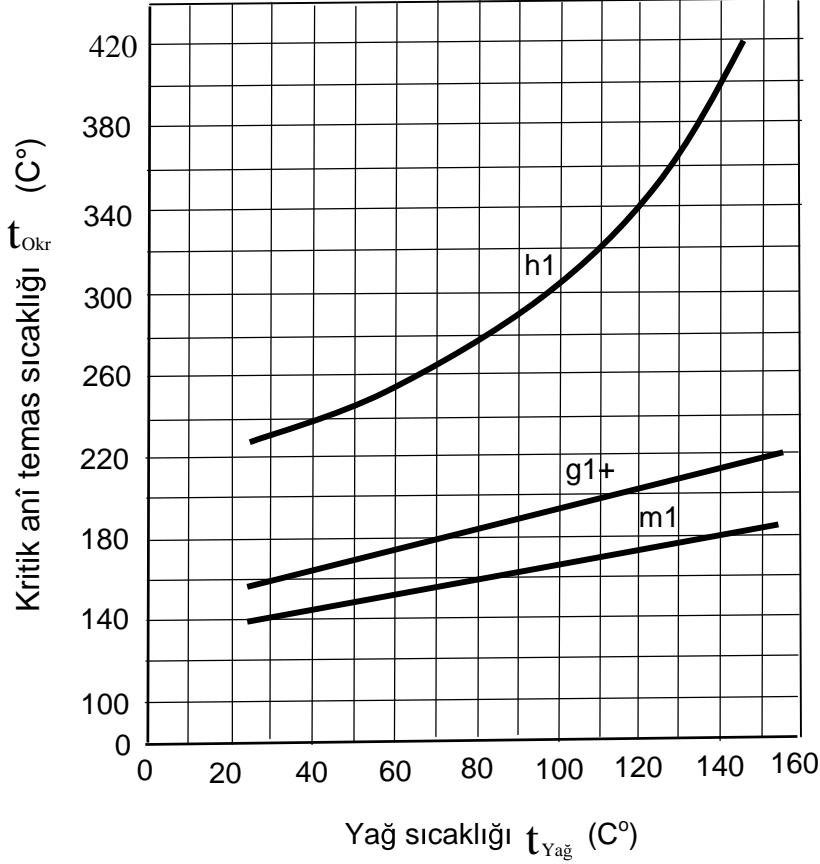
$\mathcal{E}_{at}$ , - , atlama kavrama oranı

dır.

Kavrama oranının büyük olması, netice olarak yük dağılımını etkileyerek, helisel dişli çark mekanizmalarında diş profiline etki eden diş kuvvetinin düz dişli çark mekanizmalarındakine

<sup>3</sup> m1, Seitzinger'in deneylerinde kullandığı saf mineral yağ.

göre azalmasını sağlar. Dış kuvvetindeki bu azalma, genelde toplam kavrama oranı  $\varepsilon_{top}$  arttıkça devam eder. Dış kuvvetinin azalması, diş profili



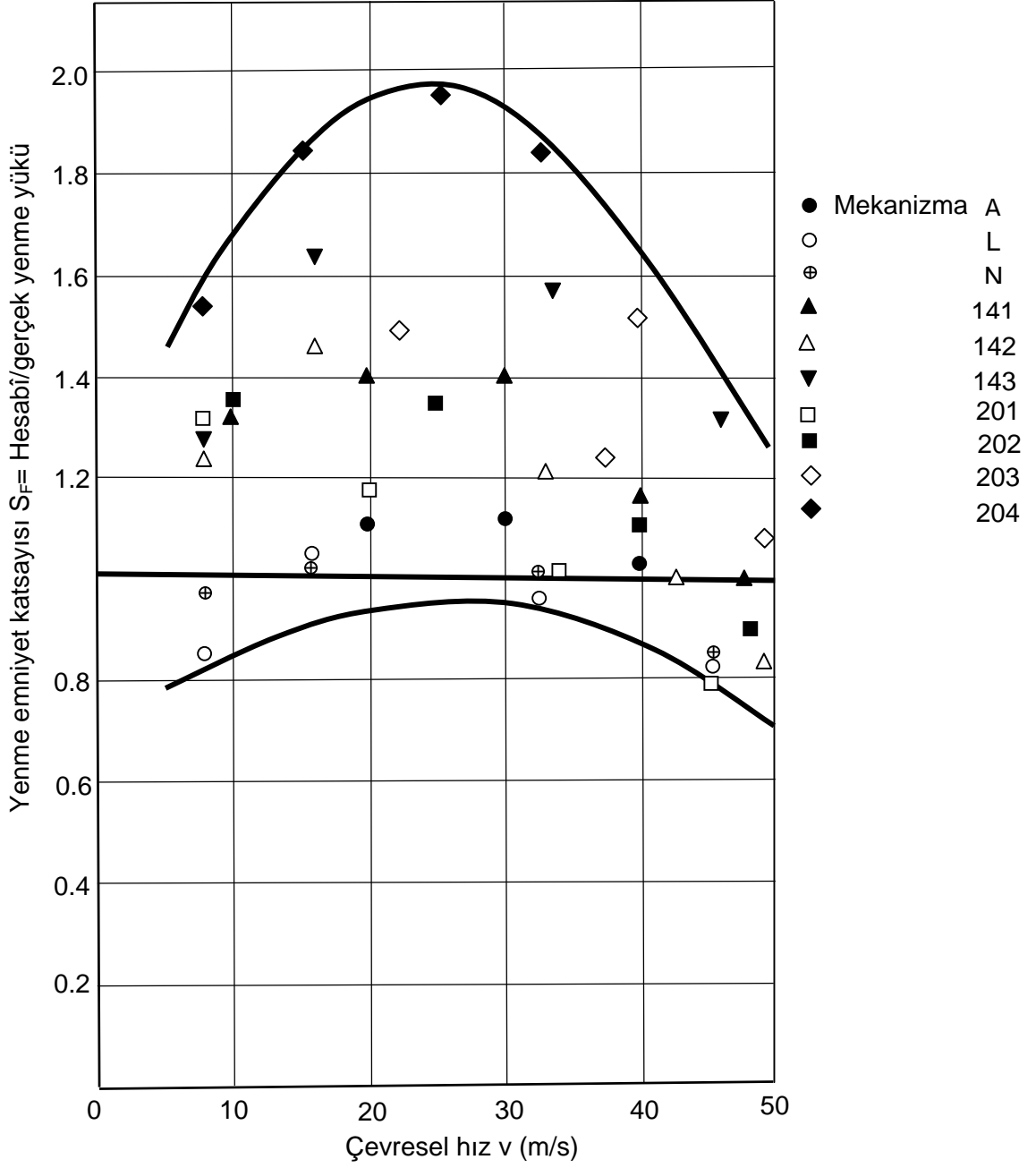
Şekil 5. Blok'a göre hesaplanan dış tekil noktadaki kritik anî temas sıcaklığı.  $t_{Okr}$ 'in yağ sıcaklığı ile değişimi (Hesaplar, Lechner'in kaynak [1,25] de verdiği yenme deneylerinin sonuçları ile yapılmıştır. Şekil orijinaldir). m1: Saf mineral yağ, g1+: Orta katıqlı mineral yağ, h1: Yüksek katıqlı mineral yağ [Y.B. (E.P.) yağı].

üzerindeki temas noktalarındaki Hertz basınçlarını düşürecek, dolayısıyla Hertz plakalarının genişliği azalacaktır. Bu ise, burada oluşan ısının dış gövdesine (daha

küçük ısı iletim yüzeyi sebebi-yle) daha az iletilmesi nedeni-yle, bu temas noktalarındaki sıcaklığın yükselmesine yol açacaktır [10]. Diğer taraftan, helisel dişli çark mekanizmalarında yük dağılımı, düz dişli çark mekanizmalarında olduğu gibi

sadece kavramadaki dişler arasında değil; aynı zamanda dişlerin temas çizgisi boyunca da değişmektedir [6]. Eğim açısı faktörü  $X_{\beta}$  bu hususları dikkate alan bir

faktör olup, kaynak [10] dan yararlanılarak Winter [6] tarafından tespit edilmiştir. Böylece denklem (25) in alacağı yeni şekil

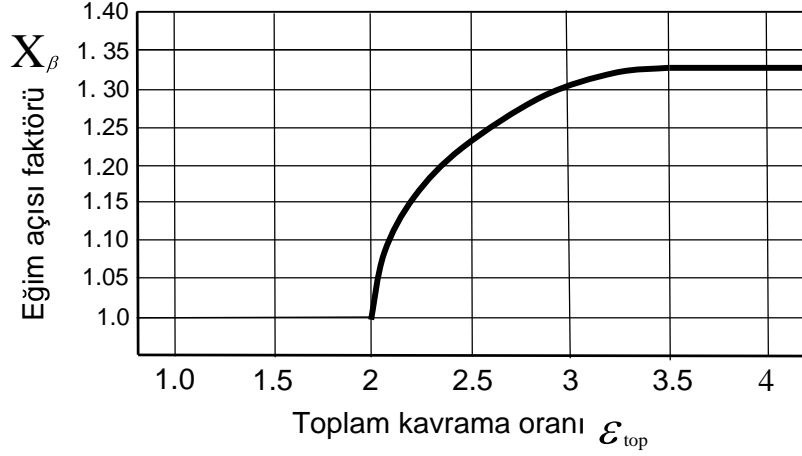


Şekil 6. Blok'un yöntemine göre hesaplanan yenme yükleri ile, deneylerden elde edilen yenme yüklerinin karşılaştırılması ( $k_1^4$  yağı için [10,11]).

$$t_{Fl} = 248.24 X_{\beta} \mu \left( \frac{F_n}{b} \right)^{0.75} \sqrt{v} \frac{\sqrt{\rho_1 - \sqrt{\rho_2/i}}}{\sqrt{d_1} \sqrt[4]{\rho}} \quad (28)$$

<sup>4</sup> Seitzinger'in deneylerinde kullandığı orta katıkl mineral yağ.

ve denklem (26) nın alacağı yeni şekil



Şekil 7. Eğim açısı faktörü  $X_\beta$  [6].

$$t_{Fl} = 248.24 F_{TR} X_\beta \mu \left( \frac{F_n}{b} \right)^{0.75} \frac{\sqrt{v} \sqrt{\rho_1 - \sqrt{\rho_2/i}}}{\sqrt{d_1} \sqrt[4]{\rho}} \quad (29)$$

olmaktadır.

#### 4.1.2. Sonuç

Blok'un yöntemi, büyük ölçüde diş profilleri arasında oluşan sıcaklığa dayanmaktadır. Sıcaklık ne kadar doğru hesaplanır ise, yöntem de o kadar gerçekçi sonuçlar verir. Söz konusu sıcaklığın hesabındaki yetersizliklere rağmen, Blok'un yönteminin, basınca dayalı yöntemlere nispetle (*Kısım I: Basınca Dayalı Yöntemler*) daha gerçekçi sonuçlar vermesi, sıcaklığın yenmede basınçtan daha etkili olduğundandır.

#### SEMBOLLER

$b$ , mm, diş genişliği

$d_1$ , mm, pinyonun yuvarlanma dairesi çapı

$E$ , daN/mm<sup>2</sup>, elastisite modülü

$F_n$ , daN, diş kuvveti (normal kuvvet)

$i$ , -, çevrim oranı

$t_o$ , C°, anî temas sıcaklığı



$t_M$ , C°, dişli çarkların kütle sıcaklığı

$t_{Fl}$ , C°, flaş sıcaklığı

$t_{Okr}$ , C°, kritik anî temas sıcaklığı

$v$ , m/s, yuvarlanma dairesindeki çevresel hız

$\mu$ , -, sürtünme kat sayısı

$\rho$ , mm, pinyon ve çarkın diş profillerinin eşdeğer eğrilik yarıçapı

$\rho_1$  ve  $\rho_2$ , mm, sırası ile pinyon ve çarkın diş profillerinin eğrilik yarıçapları.

### **Endisler ve Simgeler**

1 pinyon

2 çark

Mekanizma A,L,M,N,141,... Değişik araştırmacıların deneylerinde kullandıkları çark çiftlerine verdikleri isim.

### **KAYNAKLAR**

[1] G. Lechner, Die Fress-Grenzlast bei Stirnrädern aus Stahl, Ph. D. Thesis, Technischen Hochschule, München, 1966.

[2] F.H. Theyse, Die Blitztemperaturhypothese nach Blok und ihre praktische Anwendung bei Zahnrädern, Schmiertechnik, 14 (1967) 22-29.

[3] H. Blok, Theoretical study of temperature rise at surface of actual contact under oiliness lubricating conditions, Proc. Gen. Disc. Lubrication and Lubricants, Inst. Mech. Engng., London, 2 (1937) s. 222-235.

[4] H. Blok, Lubrication as a gear design factor, Proc. Intern. Conf. Gearing, Inst. Mech.Eng., London, 1958, s. 144-158.

[5] Dudley, G. W., ve Winter, H., Zahnräder, Berlin, Springer-Verlag, 1961.

- [6] H. Winter and K. Michaelis, Fresstragfähigkeit von Stirnradgetrieben, Antriebstechnik, 14 (1975) 405-409, 461-465.
- [7] H. Ohlendorf, Verlustleistung und Erwärmung von Stirnrädern, Ph. D. Thesis, TH-München, 1959.
- [8] Niemann, G. ve Stössel, K., Reibungszahlen bei elasto-hydrodynamischer Schmierung in Reibrad-und Zahnradgetrieben, Konstruktion, 23 (1971) 245-256.
- [9] Eiselt, H., Verzahnungsgeometrische Beziehungen zur Berechnung der Reibungszahl, Reibungsarbeit, Reibungleistung, Eingriffszeiten und Ausgangsgrößen zur Berechnung des Verschleisses bei evolventischen Zahnradern, Maschinenbautechnik, 19 (1970) 11-17 ve 127-130.
- [10] K. Seitzinger, Die Erwärmung einsatzgehärteter Zahnradern als Kennwert für ihre Fresstragfähigkeit, Ph.D. Thesis, Technischen Universität, München, 1971.
- [11] G. Niemann and K. Seitzinger, Die Erwärmung einsatzgehärteter Zahnradern als Kennwert für ihre Fresstragfähigkeit, VDI-Z, 113 (1971) 97-105.
- [12] Blok, H., Blitztemperaturtheorie und Fresstemperaturen-Heute. Fressen an Zahnradern-Heute. Fressen an Zahnradern, Stand der Berechnungsmethoden. FZG-Colloquium, München, 1973, s. 83-110.
- [13] Carper, H. J., Ku, P. H. Ve Anderson, E. L., Effect of surface roughness and surface texture on scuffing. ASME-AGMA-IFTOMM Symposium on Gearing and Transmissions, San Francisco, California, 11-13 Ekim 1972. Mechanism and Machine Theory, 8 (1973) 197-208.
- [14] Carper, H. J., Ku, P. M. Ve Anderson, E. L., Effect of some materias and operating variables on scuffing. ASME-AGMA-IFTOMM Symposium on Gearing and Transmissions,

San Fransisco, California, 11-13 October 1972. Mechanism and Machine Theory, 8 (1973) 209-225.

[15] Dudley, D. W., Gear handbook New York, Mc. Graw-Hill Company, 1962.

[16] Kelley, B. W., Kemanski, A. J., Lubrication of involute gearing, Inst. Mech. Eng., Conf. On Lubrication and Wear, Session 3 No. 11, (1967-1968), s.173-184.

[17] J. C. Jaeger, moving sources of heat and temperature at sliding contacts, Proceedings of Royal Society of New South Wales, 56(1942) 203-224.

[18] T. B. Lane, J. R. Hughes, A practical Application of the flash-temperature hypothesis to gear lubrication. 3<sup>th</sup> World Petroleum Congress, Proceedings, Section VII, 1951, 320-327.

[19] Kelley, B. W., A new look at the scoring phenomena of gears, Trans. Soc. Automat. Engrs., 61 (1953) 175-185.

[20] Y. Terauchi, Scoring of spur gear teeth, Journal of the American Society of Lubrication Engineers, 40 (1984) 13-20.

[21] D. K. Wilsdorf, Sample calculation of flash temperatures at a silver-graphite electric contact sliding on copper, Wear, 107(1986) 71-90.

[22] G. Pahl and R. Wink, Reibungs- und Verschleißverhältnisse in oszillierenden Roll-Gleitkontakten, Konstruktion, 40 (1988) 293-299, 339-344.

[23] R. Wolff, The influence of surface roughness texture on the temperature and scuffing in sliding contact, Wear, 143(1991) 99-118.

[24] A.M.M. El Bahloul, Flash temperature for Wildhaber-Nivokov circular-arc gears, *Wear*, 156 (1992) 65-84.

## Makale

[25] G. Niemann and G. Lechner, Die Fress-Grenzlast bei Stirnrädern aus Stahl, Erdöl und Kohle. Erdgas. Petrochemie, 20 (1967) 96-106.