

DİŞLİ ÇARKLARDA YENME HESABI YÖNTEMLERİ: BİR TARAMA

KISIM IIC: Sıcaklığa ve Özel Kriterlere Dayalı Yöntemler

Talat TEVRÜZ

Çalışmanın I. Kısmı'nda diş profili üzerindeki "Basınca Dayalı Yöntemler", IIA Kısmı'nda diş profilindeki "Noktasal Sıcaklığa Dayalı Yöntem", IIB Kısmı'nda diş profilindeki "Ortalama Sıcaklığa Dayalı Yöntemler" den bazıları verilmiştir. Çalışmanın bu kısmında "Ortalama Sıcaklığa Dayalı Yöntemler"'e devam edilmekte ve özel kriterlere dayalı yöntemler verilmekte ve analizleri yapılmaktadır.

Anahtar sözcükler: Dişli Çarklarda Yenme Hesabı, Yenme.

In Part I of the study, the methods were based on pressure on the tooth profile; whereas in Part IIA, the method was based on contact temperature on the tooth profile and in Part IIB, the methods was based on mean temperature on the tooth profile.

In this part of the study, the methods based on mean temperature on the tooth profile are continued and the methods based on private criterion are presented and analyzed.

Keywords: The account of corrosion in cog wheels, corrosion

Tevrüz'e Göre Yenme Hesabı

Ortalama Sıcaklığa Dayalı Yöntem¹

Yöntem 1998'de Tevrüz tarafından sunulmuştur [1]. Çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen deneylerden [2,3,4,5,6], diş profile üzerindeki yenmenin dağılımı ile profil üzerindeki sıcaklık dağılımı arasında büyük bir benzerliğin olduğu anlaşılmaktadır. Yöntem, silindirik düz ve helisel dişli çarklar için olup, esas itibarıyla kavrama esnasında diş profillerinde oluşacak hesapla tespit edilen ortalama sıcaklığın, gene diş profilinde oluşacak ve FZG-Testi A/8.3/90² [7] testinin verileriyle hesaplanan kritik ortalama diş profil sıcaklığının³ mukayesesinden ibarettir. Sunulan yöntemde, diş profillerinde hiç yenme oluşmaması prensip edinilmiştir. Çünkü, yenme bir defa oluştuğundan sonra zamanla artmaktadır. Yöntemdeki test değerleri ile parametreler kolayca elde edilebilirler.

t_{Om} , ortalama diş profil sıcaklığını; t_{Omkr} , yenmenin olduğu kritik ortalama diş profil sıcaklığını göstermek üzere; t_{Om} , t_{Omkr} 'ten küçük kaldığı sürece yenme meydana gelmemektedir. Bu, matematik olarak ifade edilecek olursa:

$$t_{Om} < t_{Omkr} \text{ ise yenme meydana gelmez,}$$

$$t_{Om} \geq t_{Omkr} \text{ ise yenme meydana gelir.} \quad (1)$$

Ortalama diş profil sıcaklığının hesabı:

t_M , dişin kütle sıcaklığını; t_{F1} , diş profili üzerindeki herhangi bir temas noktasındaki flaş sıcaklığını göstermek üzere, Blok'a göre [8,9,10,11] diş profili üzerindeki herhangi bir noktadaki anî temas sıcaklığı t_o ,

$$t_o = t_M + t_{F1} \quad (2)$$

dir.

$t_{Yağ}$, yağ sıcaklığını göstermek üzere Blok'a göre [4,8,9,10],

¹ Verilmeyen faktörler ilgili kaynaktan alınacaklardır.

² FZG: Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau. Technisch Hochschule München. West Germany. A, testte kullanılan dişli çark çiftinin sembolü; 8.3, m/s olarak çevresel hız; 90, C° olarak testin başlangıcındaki yağ sıcaklığı.

³ Kritik ortalama diş profil sıcaklığı yenmenin meydana geldiği sıcaklıktır.

* İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi

$$t_M \approx t_{Yağ} \quad (3)$$

dır.

Denklem (3) denklem (2)' de konulursa,

$$t_O = t_{Yağ} + t_{F1} \quad (4)$$

elde edilir.

t_{OC} , yuvarlanma noktası C'deki anî temas sıcaklığını; t_{OD} dış tekil nokta D'deki anî temas sıcaklığını göstermek üzere, denklem (4) C ve D noktaları için yazılacak olursa:

$$t_{OC} = t_{Yağ} + t_{F1C} \quad (5)$$

$$t_{OD} = t_{Yağ} + t_{F1D} \quad (6)$$

Şekil 10 dikkate alınacak olursa,

$$t_{Om} \approx \frac{1}{2}(t_{OC} + t_{OD}) \quad (7)$$

yazılabilir.

C yuvarlanma noktasında kayma olmadığından, bir diğer deyişle kayma hızı sıfır olduğundan, bu nokta için,

$$t_{F1C} = 0$$

dır.

Şu halde, denklem (5)'den

$$t_{OC} = t_{Yağ} \quad (8)$$

yazılır.

Denklem (6) ve denklem (8), denklem (7)'de konursa,

$$t_{Om} = t_{Yağ} + \frac{t_{F1D}}{2} \quad (9)$$

elde edilir.

Blok, dış profili üzerindeki herhangi bir temas noktasındaki t_{F1} flaş sıcaklığı için aşağıdaki denklemi vermektedir:

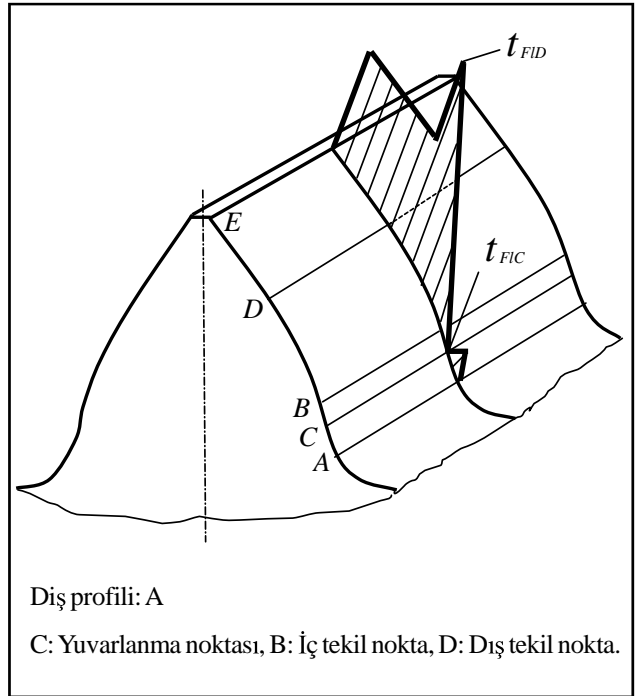
$$t_{F1} = 248.24 \mu \left(\frac{F_n}{b} \right)^{0.75} \sqrt{v} \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2}/i}{\sqrt{d_1^4/\rho}} \quad (25)^4$$

Denklem (25); μ_m , ortalama sürtünme katsayısını (kavramadaki) ve X_β helisel silindirik dişli çarklar için diş eğim açısı faktörünü göstermek üzere, D noktası için

$$t_{F1D} = 248.24 \mu_m X_\beta \left(\frac{F_n}{b} \right)^{0.75} \sqrt{v} \frac{\sqrt{\rho_1 D} - \sqrt{\rho_2 D}/i}{\sqrt{d_1^4/\rho_D}} \quad (10)$$

şeklinde yazılır.

Test mekanizmalarında kayıp güçlerin ölçülmesine dayanarak, Ohlendorf tarafından [11,13,14] kavramadaki ortalama sürtünme katsayısı için verilen amprik ifadelerden,



Şekil 10. Diş Profili Üzerinde Sıcaklık Dağılımı [5,6,12].

$$\mu_m = \left[\frac{3.2(10)^{-3}}{3.1623} \frac{H_H}{H_V} \sqrt{\frac{\eta v}{F_n/b} H_p} + 0.108(1 - H_p) \right] X_R \quad (11)$$

yazılır.

Burada:

η , cP, yağ viskozitesi (kavramadaki),

H_p , H_H , -, yardımcı büyüklükler,

H_v , -, diş kayıp faktörü,

X_R , -, pürüzlülük faktörü.

⁴ KISIM IIA.

$$\eta = \frac{\eta_{Yağ}}{1 + 0.5819 \sqrt{\frac{F_n v}{b}}} \quad (12)$$

$$H P = 1 / \left(1 + \frac{0.72 \eta_{Yağ}^{0.8}}{(\sin \alpha) \varepsilon \eta v} \right) \quad (13)$$

$$H_v = \frac{\pi(i+1)}{z_1 i} (1 - \varepsilon + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2) \quad (14)$$

$$H H = 4.16 \sqrt{\frac{\sin^3 \alpha}{\cos^2 \alpha} \varepsilon} \left[1 + 1.36 \left(\frac{\varepsilon}{z_1 \tan \alpha} \frac{i+1}{i} \right)^2 \right] \quad (15)$$

olup, yukardaki ifadelerde:

$\eta_{Yağ}$ ⁵, cP, yağ viskozitesi,

α , °, alın kavrama açısı,

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - , sırasıyla pinyon ve çarkın alın kesitindeki diş başı kavrama oranları,

ε , - , kavrama oranı (alın kesitteki) ($\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$)

i , - , çevrim oranı,

Z_1 , - , pinyonun diş sayısı.

Ohlendorf'a göre [11,13,14],

$$v < 15 \text{ m/s} \text{ ise } \mu_m = 0.118(1 - H_p) X_R \text{ ise} \quad (16)$$

dır.

Kritik ortalama diş profil sıcaklığının hesabı:

$(t_{Yağ})_{Test}$, FZG-Testi A/8.3/90'da [7] yenmenin meydana geldiği andaki yağ sıcaklığını; $(t_{FID})_{Test}$, dış tekil nokta D'deki flaş sıcaklığını göstermek üzere; düzeltilmemiş kritik ortalama diş profil sıcaklığı denklem (9)'a benzer tarzda,

$$t'Omkr = (t_{Yağ})_{Test} + \left(\frac{t_{FID}}{2} \right)_{Test} \quad (17)$$

şeklinde yazılır.

FZG-Testi A/8.3/90 için yazılan denklem (17), gerçekleştirilecek dişli mekanizması için, bu mekanizmanın yağlama yöntemi, yağ sıcaklığı ve hız bakımlarından FZG-Testi A/8.3/90'dan farklılığını dikkate alan sırasıyla X_s, X_T, X_v faktörlerinin ilâvesiyle,

$$t_{Omkr} = t_{Yağ} + X_S X_T X_v \left(\frac{t_{FID}}{2} \right)_{Test} \quad (18)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemdeki $(t_{FID})_{Test}$ 'in değeri FZG-Testi A/8.3/90'ın dişli çark dataları⁶ ve aynı testten elde edilen datalarla⁷ (10)-(16) denklemleriyle hesaplanır.

$\left(\frac{t_{FID}}{2} \right)_{Test}$ 'in değeri hesaplanarak Şekil 11'de verilmiştir.

Yenme emniyet katsayısı⁸

Yenme emniyet katsayısı, yaygın olduğu üzere,

$$S_F = \frac{F_{nkr}}{F_{neff}} \quad (19)$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada:

F_{nkr} , daN, kritik normal diş kuvveti,

F_{neff} , dan, gerçek normal diş kuvveti

olup,

$$F_{nkr} = F'_{nkr} X_W X_Q X_K X_D \quad (20)$$

dir.

Burada:

F'_{nkr} , daN, denklem (1)'den hesaplanan düzeltilmemiş kritik normal kuvvet

$$(t_{Om} = t_{Omkr} \rightarrow F_n = F'_{nkr})$$

X_W , - , malzeme faktörü,

X_Q , - , yağ miktarı faktörü,

X_K , - , diş başı daraltması faktörü,

X_D , - , dönüş yönü faktörü (pinyon veya çarkın tahrik ettiğini dikkate alır).

⁵ Püskürtmeli yağlama yönteminde püskürtülen yağın, daldırmalı yağlama yönteminde kutudaki yağın viskozitesi.

⁶ Data are given in references [4,7,11,15,16,17].

⁷ Data are given in references [4,7,11,15,16,17].

⁸ Yenme emniyet katsayısı, bütün yöntemlerde, düzeltme katsayısı olarak da adlandırılabilir.

$$F_{neff} = F'_n K_0 K_v K_m \quad (21)$$

olup,

Burada:

değerleri.

F'_n , daN, normal diş kuvveti (kavramada nakledilen güçten hesaplanır),

K_0 , -, çalışma faktörü,

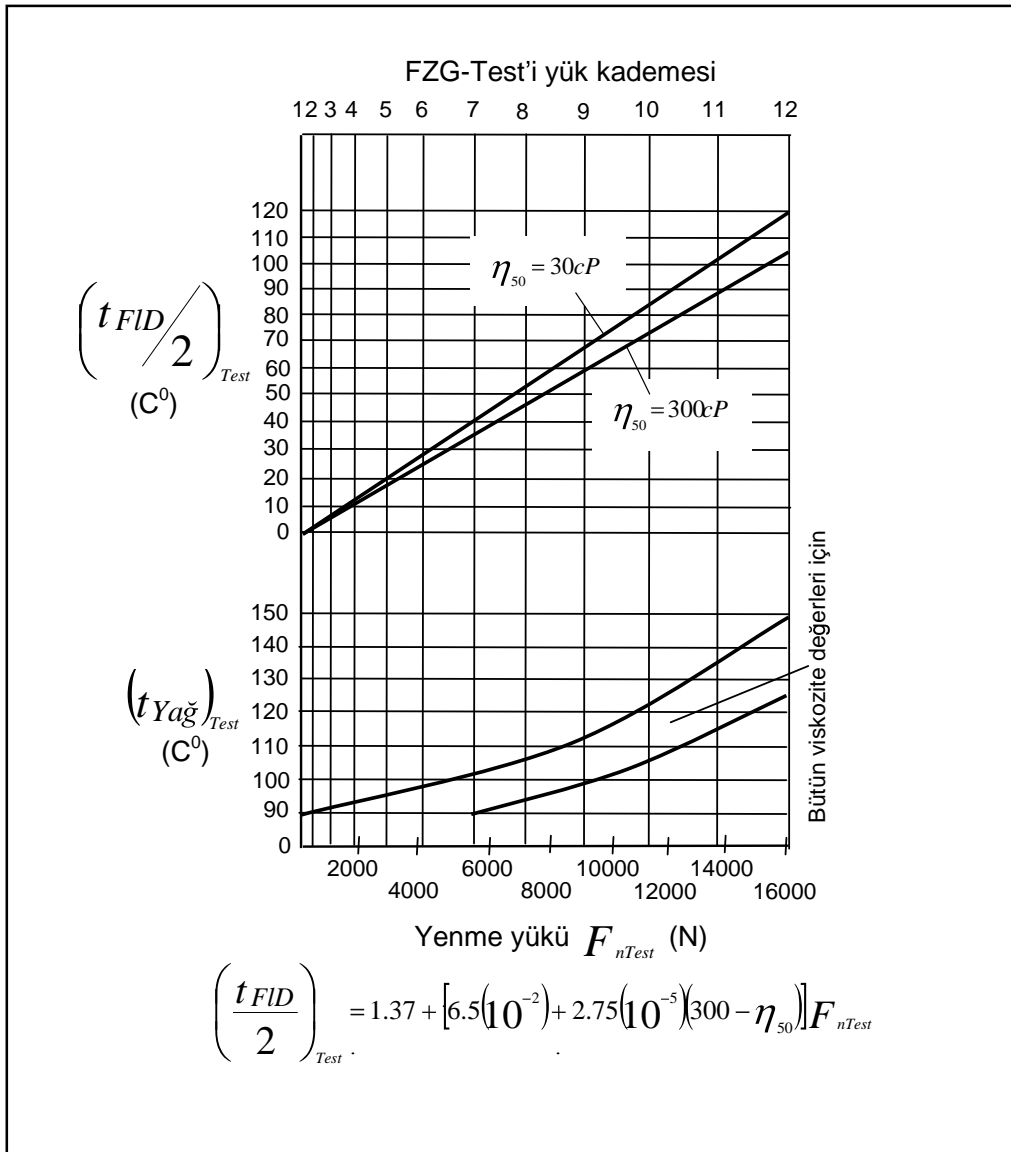
K_v , -, dinamik factor,

K_m , -, yük dağılım faktörü.

K_0, K_v, K_m herhangi bir kaynaktan alınabilir.

Emniyet katsayısı S_F , aşağıdaki şekilde de ifade edilmektedir:

$$S_F = \frac{t_{Omkr} - t_{Oil}}{t_{Om} - t_{Oil}} \frac{X_W X_Q X_K X_D}{K_0 K_v K_m} \quad (22)$$

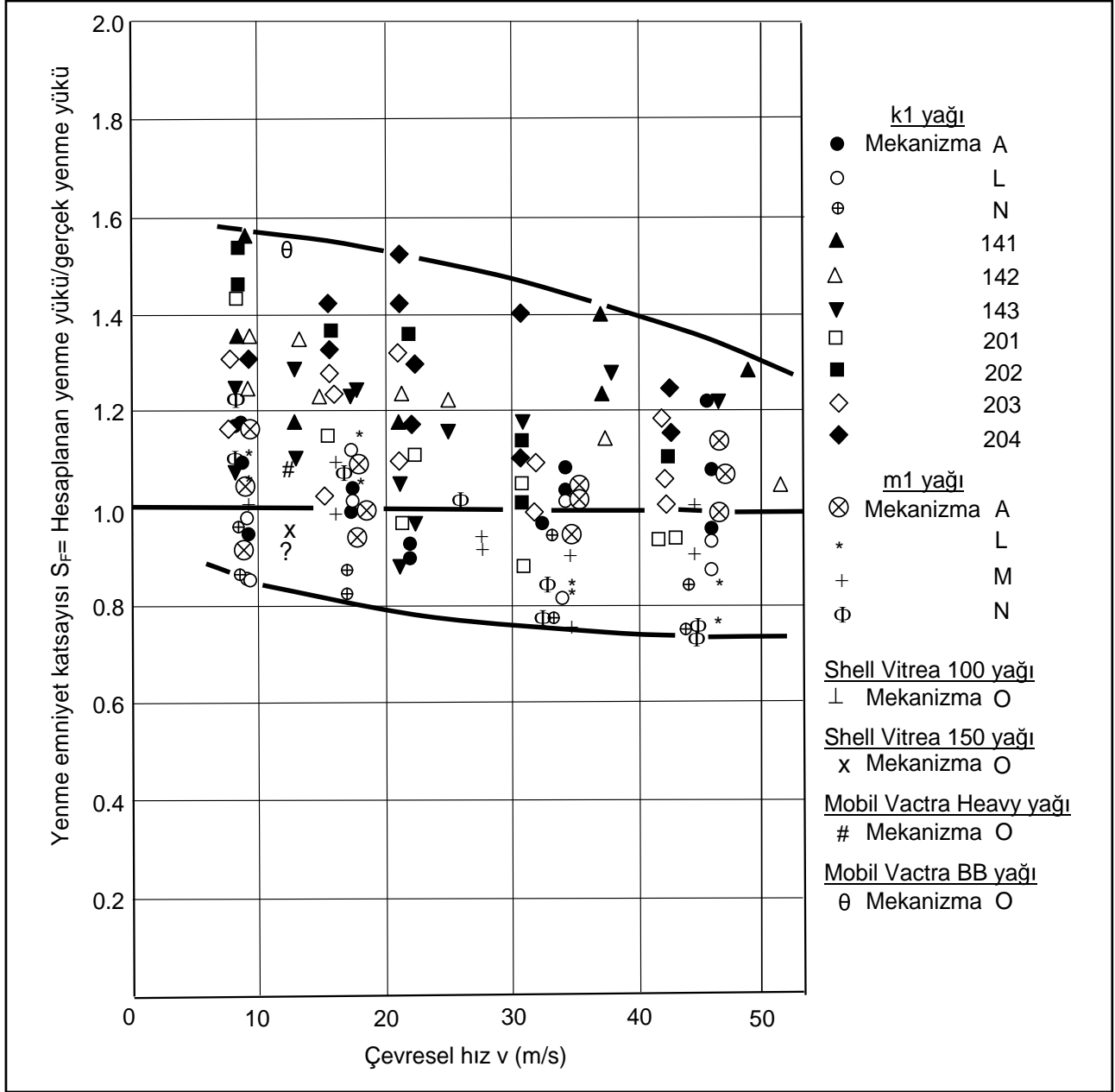


Şekil 11. FZG-Test'i A/8.3/90 için $(t_{Yağ})_{Test}$ [11,15] ve $\left(\frac{t_{FID}}{2} \right)_{Test}$ [1] Değerleri

Bu yöntemle göre hesaplanan yenme yükleri ile çizilmiş olan Şekil 12'den⁹, emniyet katsayısı $S_F=1.6$ tespit edilmektedir; ancak, yöntem hiçbir yenme meydana gelmemesini öngördüğünden nihai emniyet katsayısı

$S_F=1.6 (1.2)=1.9$ 'dur¹⁰. Yani, bu yöntemle göre emniyet katsayısı 1.9 alınmalıdır; ve bu halde hiç yenme meydana gelmeyecektir.

Şekil 12'de, S_F 'nin dağılım aralığının diğer yöntemlere



Şekil 12. Tivrüz'ün Sıcaklık Yöntemine Göre Hesaplanan Yenme Yükleri ile, Deneylerle Elde Edilen Yenme Yüklerinin Mukayesesi [1,4,15].

⁹ Şekil 12 ve diğer yenme hesabı yöntemlerindeki benzer şekiller, aktif diş profilinin %20'sinde yenme meydana getiren yükler için çizilmişlerdir. Çünkü, yöntemleri ortaya koyan araştırmacılar şu prensibi uygulamışlardır: Diş profillerinde meydana gelen yenme miktarı, aktif diş profillerinin %20'sini aşmadığı takdirde, aynı kalmakta; yenme miktarı %20'yi geçtiği takdirde hızla yükselmektedir. Bu araştırmacılar %20 yenme meydana getiren yükü optimum kabul etmişlerdir.

¹⁰ Şekil 12'den tespit edilen 1.6'nın 1.2 -yle çarpılması, deneylerdeki yük kademelerinin %20'şer artırılmasındandır.

nispetle oldukça dar olduğu, ve 1'in altında ve üstünde oldukça dengeli bir dağılımın mevcudiyeti görülmektedir. S_F 'nin hız ile önemsiz değişimler göstermesi; yenmede çok önemli bir etken olan hızın etkisinin, yöntemde çok iyi yansıtıldığını göstermektedir. Bunlar, yöntemin çoğu yöntemlere göre çok daha güvenilir olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, yöntem test değerlerinin ve parametrelerin kolay elde edilebilir olmaları sebebiyle, diğer yöntemlere göre daha kolay uygulanabilme kabiliyetine sahiptir.

Yenmede etkili olan faktörler

Faktörler amprik ifadelerle verilmişlerdir:

X_W ve X_D , kaynak [1,2,17]'den; X_Q , kaynak [19,20]'den; X_K , kaynak [2,3,18,19,20]'den; X_R ve X_β , kaynak [11,18]'den; X_S , X_T ve X_V kaynak [1,21]'den alınmalıdır.

Ortalama Isıya Dayalı Yöntem¹¹

Yöntem, 1997'de Tevrüz tarafından sunulmuştur [22]. Dişli çarklarda dişler, düzgün bir geometrik şekle sahip olmadıkları gibi, tayini güç olan çeşitli sınır şartlarına sahip olduklarından, diş profil sıcaklığı yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Şu halde, yenme hesabında diş profil sıcaklığı yerine, bu sıcaklığa kaynak teşkil eden ve dişlerin sürtünmesinden ortaya çıkan ısının alınması uygun olacaktır. Yöntem, bu düşünceden hareketle ortaya konulmuş olup, esas itibariyle, kavrama sırasında diş profillerinde oluşan ortalama diş profil ısısının FZG Test'i A/8.3/90'dan [7] hesaplanan kritik ortalama diş profil ısısının¹² mukayesesinden ibarettir.

Q_m , ortalama diş profil ısısını; Q_{krm} , yenmenin meydana geldiği kritik ortalama diş profil ısısını göstermek üzere: Q_m , Q_{krm} 'den küçük olduğu sürece yenme meydana gelmemektedir. Bu, matematik olarak ifade edilecek olursa:

$$\begin{aligned} Q_m < Q_{krm} & \text{ ise yenme meydana gelmez,} \\ Q_m \geq Q_{krm} & \text{ ise yenme meydana gelir.} \end{aligned} \quad (23)$$

¹¹ Verilmeyen faktörler ilgili kaynaktan alınacaktır.

¹² Kritik ortalama diş profil ısısı yenmenin meydana geldiği ısıdır.

¹³ Datalar Kaynak [4,7,11,15,16,17]'de verilmiştir.

¹⁴ Datalar Kaynak [4,7,11,15,16,17]'de verilmiştir.

Ortalama diş profil ısısının hesabı:

Ortalama diş profil ısısı,

$$Q_m = X_\beta \mu_m F_n v_{km} \quad (24)$$

dir.

Burada:

X_β , $^\circ$, diş eğim açısı,

μ_m , -, ortalama sürtünme katsayısı,

F_n , daN, normal kuvvet,

v_{km} , m/s, ortalama kayma hızı.

μ_m , (11-16) denklemleriyle hesaplanır.

Kritik ortalama diş profil ısısının hesabı:

FZG-Test A/8.3/90'da yenme meydana geldiği anda:

μ_{mTest} , ortalama sürtünme katsayısını; F_{nTest} , normal kuvveti; v_{kmTest} , ortalama kayma hızını göstermek üzere, kritik ortalama diş profil ısısı, Q_{krm} ,

$$Q_{krm} = \mu_{mTest} F_{nTest} v_{kmTest} \quad (25)$$

dir. μ_{mTest} 'in değeri, FZG-Test A/8.3/90'daki çark datalarıyla¹³ ve aynı testten elde edilen datalarla¹⁴ (11-16) denklemleriyle hesaplanır. F_{nTest} Kaynak [4,16,17]'de çeşitli kalitedeki yağlar için verilmiştir. Q_{krm} 'nin değeri hesaplanmış ve Şekil 13'te verilmiştir.

Yenme emniyet katsayısı

Yenme emniyet katsayısı yaygın olduğu üzere,

$$S_F = \frac{F_{nkr}}{F_{neff}} \quad (26)$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada:

F_{nkr} , daN, kritik normal diş kuvveti,

F_{neff} , daN, gerçek normal diş kuvveti.

$$F_{nkr} = F_{nkr} X_W X_Q X_K X_D X_b X_S X_T \quad (27)$$

Burada:

F'_{nkr} , daN, denklem (23)'den hesaplanan düzeltilmemiş kritik normal kuvvet

$$(Q_m = Q_{krm} \rightarrow F_n = F'_{nkr})$$

X_w , -, malzeme faktörü,

X_Q , -, yağ miktarı faktörü,

X_K , -, diş başı daraltması faktörü,

X_D , -, dönüş yönü faktörü (pinyon veya çarkın tahrik ettiğini dikkate alır),

X_b , -, diş genişliği faktörü,

X_S , -, yağlama yöntemi faktörü,

X_T , -, yağ sıcaklığı faktörü.

$$F_{neff} = F'_n K_0 K_v K_m \quad (28)$$

olup,

Burada:

F'_n , daN, normal diş kuvveti (kavramada nakledilen güçten hesaplanır),

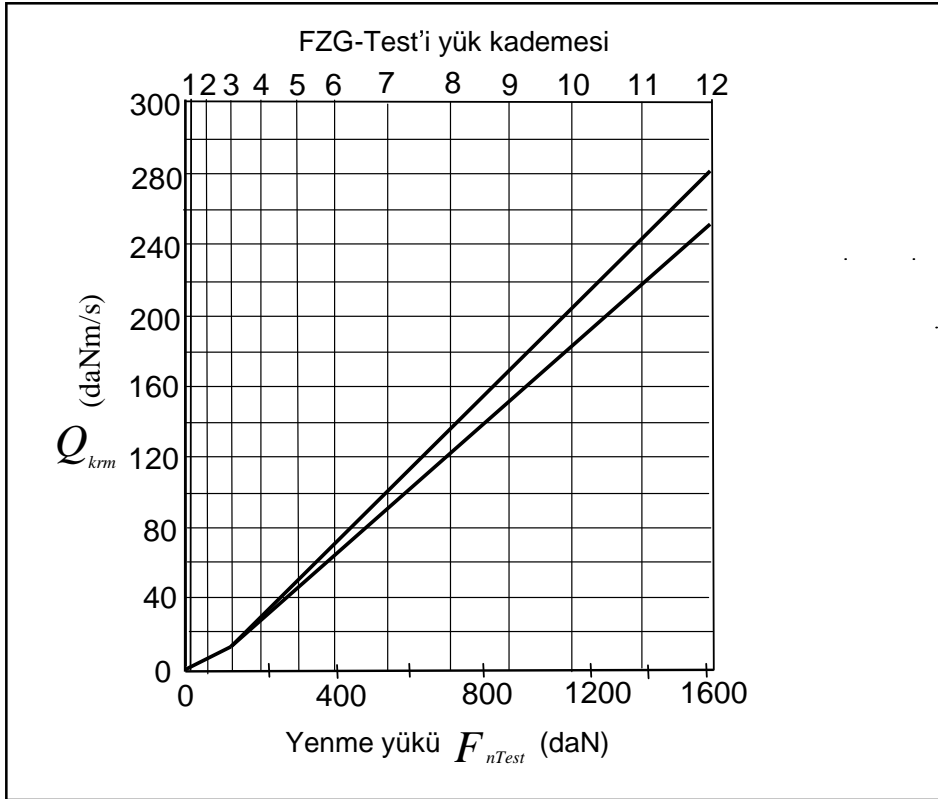
K_0 , -, çalışma faktörü,

K_v , -, dinamik faktör,

K_m , -, yük dağılım faktörü.

K_0, K_v, K_m herhangi bir kaynaktan alınabilir.

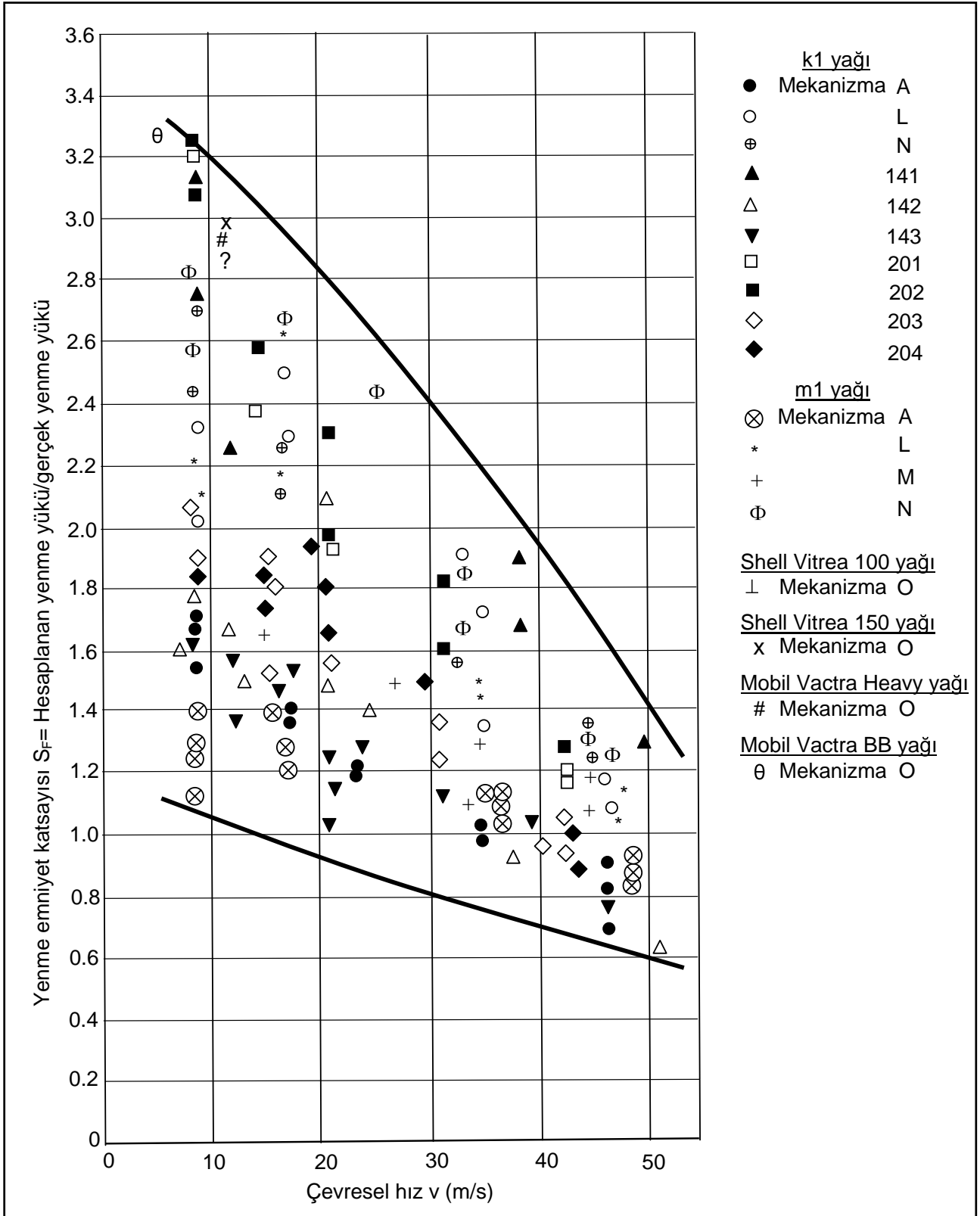
Bu yöntemle göre hesaplanan yenme yükleri ile çizilmiş olan Şekil 14'den¹⁵ emniyet katsayısı $S_F=3.3$ tespit edilmektedir; ancak, yöntem hiçbir yenme meydana gelmemesini öngördüğünden nihai emniyet katsayısı $S_F=3.3(1.2) \approx 4$ 'dür¹⁶. Yani, bu yöntemle göre emniyet katsayısı 4 alınmalıdır; ve bu halde hiç yenme meydana gelmeyecektir. Şekil 14'de, S_F 'nin dağılım aralığının diğer yöntemlere nispetle oldukça geniş olduğu ve 1'in altında



Şekil 13. FZG-Test'i A/8.3/90 İçin Q_{krm} Değerleri [22]

¹⁵ Şekil 14 ve diğer yenme hesabı yöntemlerindeki benzer şekiller, aktif diş profilinin %20'sinde yenme meydana getiren yükler için çizilmişlerdir. Çünkü, yöntemleri ortaya koyan araştırmacılar şu prensibi uygulamışlardır: Diş profillerinde meydana gelen yenme miktarı, aktif diş profillerinin %20'sini aşmadığı takdirde, aynı kalmakta; yenme miktarı %20'yi geçtiği takdirde hızla yükselmektedir. Bu araştırmacılar %20 yenme meydana getiren yükü optimum kabul etmişlerdir.

¹⁶ Şekil 14'den tespit edilen 3.3'ün, 1.2 -yle çarpılması, deneylerdeki yük kademelerinin %20'ser artırılmasındandır.



Şekil 14. Tavrüz'ün ısı yöntemine göre hesaplanan yenme yükleri ile, deneylerle elde edilen yenme yüklerinin mukayesesi [4,15,22].

ve üstünde diğer birçok yöneme göre dengesiz bir dağılımın mevcudiyeti görülmektedir. S_F 'nin hız ile önemli değişimler göstermesi, yenmede çok önemli bir etken olan hızın etkisinin yöntemde iyi yansıtılmadığını göstermektedir. Bunlar, yöntemin güvenilir olmadığını göstermektedir. Yöntem, test değerlerinin ve parametrelerin kolay elde edilebilir olmaları sebebiyle diğer yöntemlere göre daha kolay uygulanabilme kabiliyetine sahiptir.

Yenmede etkili olan faktörler

Faktörler amprik ifadelerle verilmişlerdir:

X_W ve X_D , kaynak [2,3,23]'den; X_Q , kaynak [19,20]'den; X_K , kaynak [2,3,19,20,23]'den; X_R , X_β ve X_S kaynak [11,23]'dan; X_T , kaynak [21]'den ve X_b , kaynak [2,3,19,20]'den alınmalıdır.

ÖZEL KRİTERLERE DAYALI YÖNTEMLER¹⁷

Almen'e Göre Yenme Hesabı

Almen tarafından 1948'de bir yenme faktörü tarif etmiştir. Almen tarafından sunulan yöneme göre, dişli çark mekanizmalarında

$$f_{A1} = P_{H1} \cdot v_{k1} \cdot e_1 \leq f_{Akr1} \quad (29)$$

$$f_{A2} = P_{H2} \cdot v_{k2} \cdot e_2 \leq f_{Akr2} \quad (30)$$

olduğunda yenme meydana gelmemektedir [24,25]. Burada 1 indisi pinyonu, 2 indisi ise çarkı belirtmektedir. Hesap alın kesitinde yapılmaktadır.

Burada:

f_{A1} , f_{A2} , daN/s, Almen faktörleri,

f_{Akr1} , f_{Akr2} , daN/s, kritik (yenmenin meydana geldiği) faktör değerleri,

P_{H1} , P_{H2} , daN/mm², sırasıyla pinyon ve çarkın diş başındaki Herz basıncı,

v_{k1} , v_{k2} , mm/s, sırasıyla pinyon ve çarkın diş başındaki kayma hızı,

e_1 , e_2 , mm, sırasıyla pinyon ve çarkın alın kesitindeki baş kavrama mesafeleri (diş başının alın kesitinde kavrama doğrusu üzerinde yuvarlanma noktasına olan uzaklıkları).

$$f_{Akr1} = f_{Akr2} = f_{Akr} \quad (31)$$

denirse, SAE 90 sınıfı yağlar için f_{Akr} değerleri Lechner'den naklen aşağıda sunulmuştur [2]. Bu değerlerin nasıl tespit edildiği kaynak [2]'de belirtilmemekle beraber, bir yenme testinden yenme anındaki değerler ile denklem (29) veya denklem (30)'dan tespit edildiği muhakkaktır.

Katıksız mineral yağlar için $f_{Akr} = 8 \cdot 10^6$ ila $13 \cdot 10^6$ daN/s

Orta katıklılı mineral yağlar için $f_{Akr} = 11 \cdot 10^6$ ila $18 \cdot 10^6$ daN/s

Yüksek katıklılı mineral yağlar için $f_{Akr} > 20 \cdot 10^6$ daN/s

Çeşitli yağlar için f_{Akr} değerleri FZG-Testi A/8,3/90 dan istifade ile kaynak [26,27]'de sunulmuştur.

Almen tarafından sunulan ve (29) (30) denklemleri ile ifade edilen kriter, daha sonra Lechner [2] tarafından form değişikliği ile ve eşdeğer büyüklüklerle

$$F_{nkr} = 0.8252 (10)^6 f_{Akr}^2 \frac{\rho_E d_1^2}{e v^2} \left(\frac{i}{i+1} \right)^2 \quad (32)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Burada:

F_{nkr} , daN/cm, yenme yükü,

d_1 , mm, pinyonun yuvarlanma dairesi çapı,

e^{18} , mm, alın kesitindeki baş kavrama mesafesi,

v , mm/s, yuvarlanma dairesindeki çevresel hız,

i , -, çevrim oranı,

ρ_E , mm, pinyon ve çarkın diş profillerinin diş başındaki eşdeğer eğrilik yarıçapı¹⁹,

ϵ , -, kavrama oranı (alın kesitteki).

(32) denklemi, diğer yenme yöntemlerindeki birimlerle

¹⁷ Verilmeyen faktörler ilgili kaynaktan alınacaklardır.

¹⁸ Lechner burda bir açıklık getirmemiştir. Bize göre, e 'nin değeri olarak e_1 ve e_2 'den büyük olanı alınmalıdır.

¹⁹ $\frac{1}{\rho_E} = \frac{1}{\rho_{1E}} + \frac{1}{\rho_{2E}}$

$$F_{nkr} = 0.8252 \left(10\right)^{-6} f_{Akr}^2 \frac{\rho_E d_1^2}{e v} \left(\frac{i}{i+1}\right)^2 \frac{b}{10} \quad (33)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada:

F_{nkr} , daN ; b, mm cinsinden diş genişliğidir.

Almen'in yöntemi için her ne kadar kritik faktör değerleri Lechner tarafından verilmiş olsa da, aynı yağ cinsi için verilen değerler arasındaki 1.6 kata varan farklılık kritik faktör değerinin seçiminde güçlük yaratmaktadır. Düşük viskoziteli yağlar için küçük, yüksek viskoziteli yağlar için büyük değerlerin seçilmesi tavsiye edilir.

Yöntem, hem silindirik düz ve hem de silindirik helisel dişli çark mekanizmaları için kullanılabilirle birlikte, Dudley ve Winter'e göre küçük uçak mekanizmaları için iyi netice vermektedir. Bu mekanizmaların haricinde yöntem iyi netice vermemektedir [25].

Grekoussis'e Göre Yenme Hesabı

Grekoussis tarafından 1969 yılında ortaya konulan yöntem Almen'in yöntemine benzemektedir [28]. Grekoussis, yenme sayısı adını verdiği bir sayı tarif etmiştir. Grekoussis'e göre, aynı ortalama kayma hızı için dişli mekanizmalarında

$$W_F = P_{Hm} \cdot \sqrt{e_{1,2}} = \text{sabit} \quad (34)$$

dir.

Burada:

$W_F = P_{Hm}$, (daN/mm^{1.5}), yenme sayısı,

P_{Hm} , daN/mm², ortalama Herz basıncı,

$e_{1,2}$, mm, sırasıyla pinyon ve çarkın alın kesitindeki baş kavrama mesafeleri.

Grekoussis, buradan hareketle aşağıdaki hesap yöntemini ortaya koymuştur. Hesaplar, silindirik düz ve silindirik helisel çark mekanizmalarında alın kesitinde, hipoid ve sonsuz vida mekanizmalarında normal kesitte yapılmaktadır. Grekoussis'e göre,

ρ_{1E} , ρ_{2E} , mm, sırasıyla pinyon ve çarkın diş profillerinin diş başındaki eğrilik yarıçapları.

²⁰ Yüksek katıllı yağlar ve hipoid yağlar için A_1 , A_2 , A_3 denklemleri kaynak [28,29]'da mevcuttur.

²¹ Aslında standart olan testte, deney çeşitli hızlarla yapılmıştır.

$$W_F = P_{Hm} \cdot \sqrt{e_1} = \frac{A_1}{(2 + v_{km})^{1/3}} + A_2 \cdot v_{km} + A_3 \leq W_{Fkr} \quad (35)$$

ise yenme meydana gelmemektedir.

Burada:

v_{km} , m/s, kavramadaki ortalama kayma hızı.

W_{Fkr} , (daN/mm^{1.5}), kritik yenme sayısı.

A_1 , A_2 , A_3 Lechner'in yöntemindeki gibi yağ sabitleri olup (Bölüm 2.2), saf mineral yağ ve orta katıllı mineral yağlar için aşağıdaki denklemlerle hesaplanmalıdır²⁰:

$$A_1 = 66,1 \cdot A_2 - 1629 \cdot (M_{III}^{1/2} - M_{II}^{1/2}) \quad (-) \quad (36)$$

$$A_2 = 52,2 \cdot (M_{III}^{1/2} - M_{II}^{1/2}) + 21,9 \cdot (M_I^{1/2} - M_{II}^{1/2}) \quad (-) \quad (37)$$

$$A_3 = -0,61 \cdot A_1 - 2,48 \cdot A_2 + 81,8 \cdot M_I^{1/2} \quad (-) \quad (38)$$

Burada:

M_I , M_{II} , M_{III} , daNm, üç değişik hızda yapılan testle elde edilen yenme burulma momentleri.

Grekoussis M_I , M_{II} , M_{III} için, FZG'nin A çark çifti ile 8.6 m/s, 23.0 m/s, 34.4 m/s çevresel hızlarda yaptığı test değerlerini tavsiye etmektedir [28].

Kritik yenme sayısı, herhangi bir testle tayin edilebilir:

$$W_{Fkr} = \frac{A_1}{[2 + (v_{km})_{Test}]^{1/3}} + A_2 (v_{km})_{Test} + A_3 \quad (39)$$

Burada:

$(v_{km})_{Test}$, m/s, herhangi bir test mekanizmasında kavramadaki ortalama kayma hızı.

Niemann ve Grekoussis test mekanizması olarak saf ve orta katıllı mineral yağlar için FZG-Testi A/8.3/90²¹ 'ı tavsiye etmektedirler [29]. Bu Test'le kaynak [29]'a göre

$$W_{Fkr} = 81.1 \left(M_{Test}\right)^{0.5} \quad (40)$$

dir.

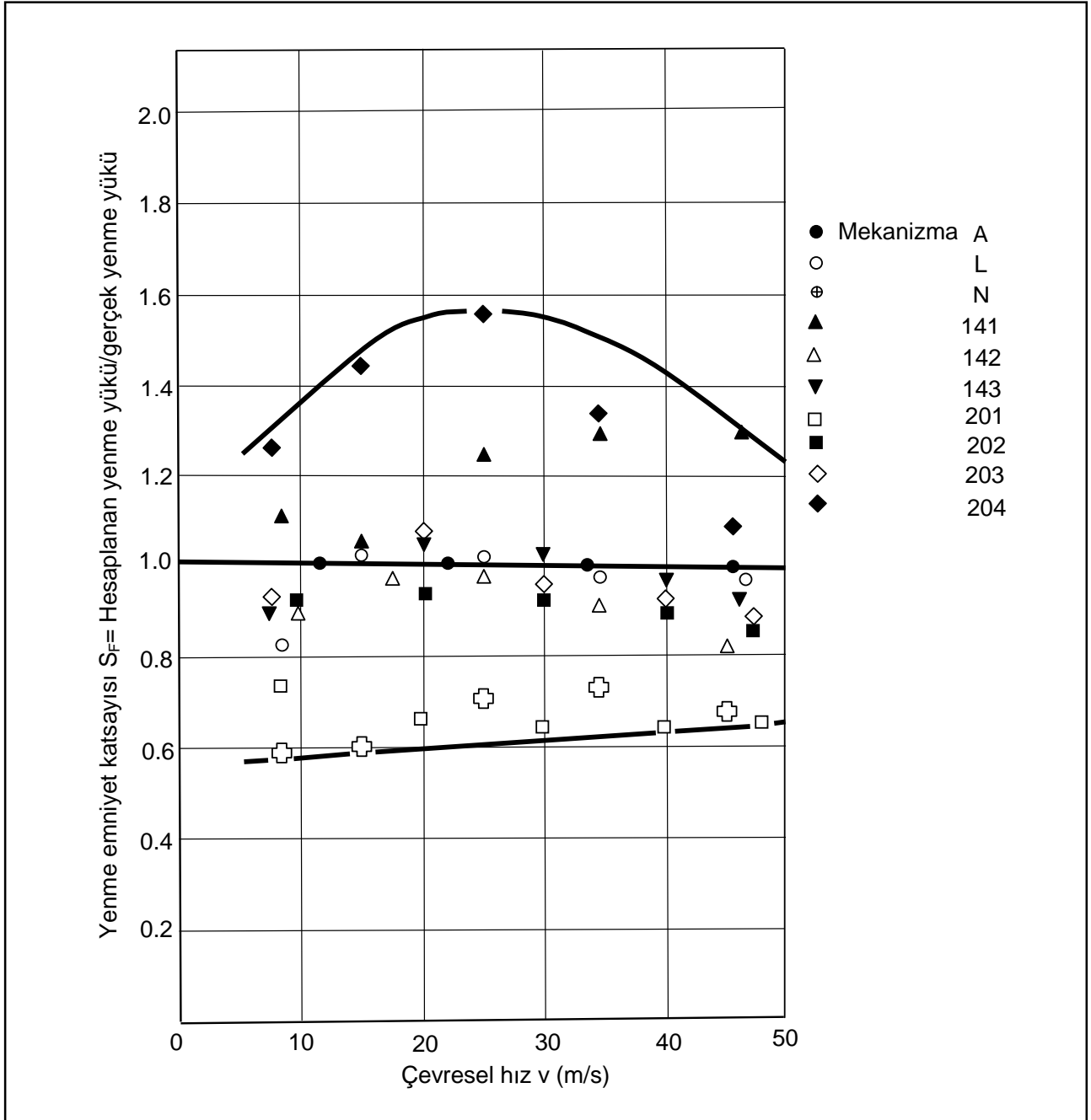
Burada:

M_{Test} , daNm, ilgili FZG-Testi'ndeki yenme burulma momentleri.

Diğer yağlar için W_{Fkr} değerleri kaynak [29]'da mevcuttur.

Görüldüğü gibi yöntem, kullanılan yağın çeşitli hızlardaki (8.6 m/s, 23.0 m/s, 34.4 m/s) yenme meydana getiren burulma momenti değerleri bulunabilirse kullanılabilir. Bu durum yöntemin bir mahsurunu teşkil etmektedir. Şekil 15 'de, dağılımın, $S_F=1.0$ değerinin

her iki tarafında oldukça dengeli bir şekilde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan dağılma bölgesi diğer bazı yöntemlere nazaran daha dardır. Bunlar, yöntemin diğer bazı yöntemlere nispetle daha güvenilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 15. Grekoussis'in Yöntemine Göre Hesaplanan Yenme Yükleri ile, Deneylerle Elde Edilen Yenme Yüklerinin Mukayesesi [4,15].

Borsof ve Godet'e Göre Yenme Hesabı

Borsof ve Godet 1962 yılında, daha evvel dişli çark deney standlarında $v=120$ m/s çevresel hıza kadar yapılmış olan deneylere dayanarak, yenme yükü ile, evolventler üzerindeki iki noktanın anî temas zamanı arasında bir ilgi bulmuşlardır [30]. Bu kritik temas zamanına Borsof ve Godet tarafından yenme faktörü adı verilmiştir. Bu yöntem çok komplike olduğu gibi, pratikte mekanizmalara tatbiki için hiçbir hesap değeri de mevcut değildir [2,15].

SONUÇ

Tevrüz'e göre "Ortalama ısı yönteminin" çeşitli mekanizmalar için çok farklı sonuçlar vermesi, kanaatimce, sürtünme katsayısı ve kayma hızı için ortalama değerler alındığı halde, normal kuvvetin direk olarak alınmasıdır. Halbuki normal kuvvet kavrama doğrusu boyunca sabit kalmakla beraber, kavrama oranına bağlı olarak kavramadaki dişler üzerine taksimi dikkate alınmalı idi.

Şekil 12 ve Şekil 14'ün mukayesesinden "Tevrüz'e göre ortalama sıcaklık yönteminin" "Tevrüz'e göre ortalama ısı yöntemine" tercih edilmesi gerektiği görülmektedir.

Özel kriterlere gelince:

Almen'in yönteminde "kritik faktör" değerinin seçiminde güçlük söz konusudur.

Şekil 15, diğer yöntemlerin müteakbil şekilleri ile karşılaştırılacak olursa, Grekoussis'in yönteminin diğer bazı yöntemlere göre daha gerçekçi neticeler verdiği görülmektedir. Metodun bir mahsuru, kullanılacak yağ için bazı test değerlerinin elde edilmesinin gerekmesidir.

Borsof ve Godet'in yöntemleri sadece bir teori olup, tatbik kabiliyeti bulunmamaktadır.

NİHAİ GÖRÜŞLER

Yöntemlerin verdiği emniyet katsayıları, birçok mekanizma için çok emniyetli olmaktadır. Daha da önemlisi, sunulan yöntemler birbirleri ile uyuşmayan neticeler vermektedirler. Niemann'ın ve Blok'un yöntemlerinin uygulanmaları oldukça basit olmakla

beraber, basitlikten çok daha önemli olan yöntemlerin güvenilir olmamaları, yani gerçekçi neticeler vermemeleridir. Sıcaklığa dayalı yöntemler -bilhassa ortalama sıcaklığa dayalı yöntemler-, diğer yöntemlere nazaran daha güvenilirlerdir. Bu yöntemlerden bilhassa Seitzinger'in ve Tevrüz'ün ortalama sıcaklığa dayalı yöntemleri tercih edilmelidirler. Aynı zamanda, bu yöntemler, test değerlerinin ve parametrelerin kolay elde edilebilir olmaları sebebiyle diğer yöntemlere göre daha kolay uygulanabilmektedirler.

SEMBOLLER

- b, mm, diş genişliği
- d_1 , mm, pinyonun yuvarlanma dairesi çapı
- F_n , daN, diş kuvveti (normal kuvvet)
- i, -, çevrim oranı
- Q_m , daNm/s, ortalama diş profil ısısı
- Q_{krm} , daNs/m, kritik ortalama diş profil ısısı
- t_{F1} , C°, flaş sıcaklığı
- t_{FC} , C°, C yuvarlanma noktasındaki flaş sıcaklığı
- t_{FD} , C°, D dış tekil noktasındaki flaş sıcaklığı
- t_M , C°, kütle sıcaklığı
- t_o , C°, temas sıcaklığı
- t_{OC} , C°, C yuvarlanma noktasındaki temas sıcaklığı
- t_{OD} , C°, D dış tekil noktasındaki temas sıcaklığı
- $t_{Yağ}$, C°, yağ sıcaklığı (Püskürtmeli yağlama yönteminde püskürtülen yağın sıcaklığı, daldırmalı yağlama yönteminde kutudaki yağın sıcaklığı)
- $(t_{Yağ})_{Test}$, C°, FZG-Test A/8.3/90'daki yağ sıcaklığı
- t_{om} , C°, ortalama diş profil sıcaklığı
- t_{omkr} , C°, kritik ortalama diş profil sıcaklığı
- v, m/s, yuvarlanma dairesindeki çevresel hızı
- μ , -, sürtünme katsayısı
- μ_m , -, ortalama sürtünme katsayısı
- ρ_1 ve ρ_2 , mm, sırası ile pinyon ve çarkın diş profillerinin eğrilik yarıçapları.
- ρ , mm, pinyon ve çarkın diş profillerinin eşdeğer

$$\text{eğrilik yarıçapı} \left(\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)$$

ρ_{1D}, ρ_{2D} mm, sırası ile pinyon ve çarkın dış profillerinin D dış tekil noktasındaki eğrilik yarı çapları

ρ_D , mm, pinyon ve çarkın dış profillerinin D dış tekil noktasındaki eşdeğer eğrilik yarıçapı

$$\left(\frac{1}{\rho_D} = \frac{1}{\rho_{1D}} + \frac{1}{\rho_{2D}} \right)$$

Endisler ve Simgeler

- 1 pinyon
- 2 çark
- eff Efektif
- kr kritik

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

Ek

Yöntemlerin Uygulanmasında Tavsiye Edilen Yol

Bir mekanizmanın yenme hesabında, uygulanan yöntemdeki çeşitli parametrelerden (yük, hız, modül ve genişlik gibi dişli çark parametreleri, yağ cinsi ve viskozitesi, vb.) birinin veya birkaçının yenme meydana gelmemesi için hesabı mümkündür. Ancak mekanizmalar, öncelikle belirli yükler ve belirli hızlar için hesaplanırlar. Bu sebeple, en gerçekçi yol, mukavemet ve basınç hesapları yapılmış bir mekanizmada yenme olmaması için gerekli olan yağın tespitidir. Bu yol örnek olarak aşağıda "Tevrüz'e göre ortalama sıcaklık yöntemi"-yle verilmektedir.

a) Seçilen yağ için FZG-Test'i A/8.3/90'daki F_{nTest} kaynak [4,16,17]'den tespit edilir. Bu F_{nTest} değeri ile Şekil

$$11 \text{ 'den } \left(\frac{t_{FID}}{2} \right)_{Test} \text{ tayin edilir. } X_S, X_T \text{ ve } X_V$$

Ortalama Sıcaklığa Dayalı Yöntem¹'de "yenmede etkili olan faktörler"deki ilgili kaynaklardan tespit edilir. t_{Omkr} , kararlaştırılan $t_{Yağ}$ yağ sıcaklığı ile denklem (18)'den hesaplanır.

b) X_β ve X_R Ortalama Sıcaklığa Dayalı Yöntem¹'de

"yenmede etkili olan faktörler"deki ilgili kaynaklardan tespit edilir. Bu faktörler ve gerçekleştirilecek mekanizmanın F_n hariç diğer bütün ortalama parametreleri kullanılarak ortalama diş profil sıcaklığı t_{Om} , denklem (9)-(16)2'dan hesaplanır. Böylece t_{Om} , yalnız F_n nin bir fonksiyonu olmaktadır.

c) Normal kuvvet F_n , $t_{Om} = t_{Omkr}$ denklemiyle tespit edilir. (F_n nin bu değeri denklem (20)'de F_{nkr} olarak gösterilmiştir).

d) X_w, X_Q, X_K, X_D , Ortalama Sıcaklığa Dayalı Yöntem¹'de "yenmede etkili olan faktörler"deki ilgili kaynaklardan tespit edilir ve denklem (20)'den hesaplanır.

e) K_o, K_v ve K_m kaynak [18,31]'den alınabilir. F_{neff} denklem (21)'den hesaplanır.

f) S_F , denklem (19)'dan hesaplanır.

Eğer $S_F = 1.9$ ise seçilen yağ uygundur.

Eğer $S_F > 1.9$ ise seçilen yağ uygun değildir. Daha düşük kalite bir yağ seçilebilir.

Eğer $S_F < 1.9$ ise seçilen yağ uygun değildir. Daha yüksek kalite bir yağ seçilmelidir.

Her yağ seçiminde yukarıdaki işlemler tekrarlanmalıdır.

KAYNAKÇA

1. **Tevrüz, T.**, "Experimental investigations on scoring of gears and calculation by temperature method", Wear, 217 (1998) 81-94.
2. **Lechner, G.**, Die Fress-Grenzlast bei Stirnrädern aus Stahl, Ph. D. Thesis, Technischen Hochschule, München, 1966.
3. **Niemann, G. ve Lechner, G.**, "Die Fress-Grenzlast bei Stirnrädern aus Stahl", Erdöl und Kohle. Erdgas. Petrochemie, 20 (1967) 96-106.
4. **Niemann, G. ve Seitzinger, K.**, "Die Erwärmung einsatzgehärteter Zahnäder als Kennwert für ihre Fresstragfähigkeit", VDI-Z, 113 (1971) 97-105.
5. **Niemann, G. ve Lechner, G.**, "Die Erwärmung der Zahnäder im Betrieb", Schmiertechnik, 14 (1967) 13-20.
6. **Michaelis, K.**, "Die mittlere Oberflächentemperatur als

- Kriterium für die Fresstragfähigkeit", Fressen an Zanrädern, Stand der Berechnungsmethoden, FZG-Colloquium, München, 1973, s. 31-60.
7. DIN 51354 (Entwurf), "Prüfung von Schmierölen Mechanische Prüfung von Getriebeölen in einer Zanrad-Verspannungs-Prüfmaschine nach dem FZG-Verfahren", Mai, 1964.
 8. **Blok, H.**, "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) 222-235.
 9. **Blok, H.**, "Lubrication as a gear design factor", Proc. Intern. Conf. Gearing, Inst. Mech. Eng., London, 1958, pp. 144-158.
 10. **Blok, H.**, "The Postulate About the Constancy of Scoring Temperature", Report, University of Technology, Delft, Holland, 1969.
 11. **Winter H.** ve **Michaelis, K.**, "Fresstragfähigkeit von Stirnradgetrieben", Antriebstechnik, 14 (1975) 405-409, 461-465.
 12. **Niemann, G.** ve **Lechner, G.**, "The measurement of surface temperatures on gear teeth", ASME Journal of Basic Engineering, (1965) 641-654.
 13. **Ohlendorf, H.**, Verlustleistung und Erwärmung von Stirnrädern, Ph.D. Thesis, Technischen Hochschule, München, 1959.
 14. **Ohlendorf, H.**, "Stirnradgetriebe, Zahnreibung, Verlustleistung und Erwärmung", Schriftenreihe Antriebstechnik, 22 (1964).
 15. **Seitzinger K.**, Die Erwärmung Einsatzgehärteter Zahnräder als Kennwert für ihre Fresstragfähigkeit, Ph.D. Thesis, Technischen Universität, München, 1971.
 16. **Lechner, G.** ve **Seitzinger, K.**, "Durchführung und Anwendung des Getriebeölteste IAE, Ryder und FZG, Erdöl und Kohle. Erdgas. Petrochemie, 20 (1967) 800-806.
 17. **Winter, H.** ve **Richter, M.**, "Verzahnungswirkungsgrad und Fresstragfähigkeit von Hypoid- und Schraubenradgetrieben", Antriebstechnik, 15 (1976) 211-218.
 18. **Niemann, G.** ve **Winter, H.**, Maschinenelemente, Vol. 2, Springer-Verlag, Berlin, 1989.
 19. **Lechner, G.**, "Der Fressverschleiss als Leistungs-Grenze von Getrieben, Fressen an Zanrädern, Stand der Berechnungsmethoden", FZG-Colloquium, München, 1973, 8-30.
 20. **Lechner, G.**, Berechnung der Fresstragfähigkeit von Stirn- und Kege lrädern, Zahnradfabrik Friedrichshafen AG, 1st edn, 1973.
 21. **Tevrüz, T.**, Dişli Çarklarda Yenme Hesabı İçin Yeni Bir Metod: Ortalama Profil Sıcaklığı Metodu, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1986.
 22. **Tevruz, T.**, "Experiments of scoring and the calculation of scoring on gears by heat method", Wear, 206 (1997) 204-213.
 23. **Niemann, G.** ve **Winter, H.**, Maschinenelemente, Vol. 2, Springer-Verlag, Berlin, 1983.
 24. **Ulukan, L.** ve **Özsoy, T.**, Dişli Çark Mekanizmaları (Teksir), İ.T.Ü. Makina Fak., 1973.
 25. **Dudley, D.V.** ve **Winter, H.**, Zahnräder, Springer-Verlag, Berlin, 1961.
 26. **Niemann, G.**, **Rettig, H.** ve **Lechner, G.**, "Zur Prüfung von Getriebeölen im Zahnrad-Verspannungs-Prüfstand. Stand der Erfahrungen", Erdöl und Kohle, 12(1959) 472-480.
 27. **Niemann, G.**, **Rettig, H.**, "Der FZG-Zahnrad-Kurztest zur Prüfung von Getriebeölen", Erdöl und Kohle 7 (1954) 640-642.
 28. **Niemann, G.**, ve **Grekoussis, R.**, Vergleichende Untersuchungen zur Fresstragfähigkeit von Hypoid-und Stirnrädern, Ph.D. Thesis, TH-München, 1969.
 29. **Niemann, G.**, ve **Grekoussis, R.**, "Vergleichende Untersuchungen zur Fresstragfähigkeit von Hypoid-und Stirnrädern", VDI-Z, 112 (1970) 261-265, 397-402.
 30. **Borsoff, V.N.** ve **Godet, M.R.**, "A Scoring Factor for Gears", ASLE Preprint No. 62 LC-8, 1962.
 31. **J.E. Shigley and L.D. Mitchell**, Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Book Company, 4th edn, New York, 1983.