

TÜRK LOYDU

İÇTEN YANMALI MAKİNALARIN KRANKŞAFTLARINI HESAPLAMA ESASLARI



İçten Yanmalı Makinaların Krankşaftlarını Hesaplama Esasları

2007

TÜRK LOYDU

Merkez Ofisi

Postane Mah. Tersaneler Cad. No:26 Tuzla 34944 İSTANBUL / TÜRKİYE
Tel : (90-216) 446 22 40 (6 hat)
Fax : (90-216) 446 22 46 - 446 19 14 - 395 49 95 - 446 74 91
E-mail : tlv@turkloydu.org
<http://www.turkloydu.org>

Koordinatörlükler

Ankara Atatürk Bulvarı Sefaretler Apt. 199/B D:1 06680 Kavaklıdere - ANKARA
Tel : (90-312) 468 10 46
Fax : (90-312) 427 49 42
E-mail : ankara@turkloydu.org

İzmir Atatürk Cad. No :378 K.4 D.402 Kavalalılar Apt. 35220 Alsancak - İZMİR
Tel : (90-232) 464 29 88
Fax : (90-232) 464 87 51
E-mail : izmir@turkloydu.org

İçten Yanmalı Makinaların Krankşaftlarını Hesaplama Esasları

Sayfa

Bölüm 1

A. Genel	1-1
B. Gerilmelerin Hesaplanması.....	1-4
C. Gerilme Yığılması Faktörlerinin Hesaplanması.....	1-7
D. İlave Eğilme Gerilmeleri.....	1-9
E. Eşdeğer Değişken Gerilme Hesabı.....	1-9
F. Yorulma Mukavemeti Hesabı.....	1-10
G. Çok Parçalı Krankşaftların Sıkı Geçme Hesabı	1-10
H. Kabul Kriterleri	1-12

BÖLÜM 1**İÇTEN YANMALI MAKİNALARIN KRANKŞAFTLARININ
HESAPLANMASI****Sayfa**

A.	Genel	1-1
B.	Gerilmelerin Hesaplanması.....	1-4
C.	Gerilme Yığılması Faktörlerinin Hesaplanması	1-7
D.	İlave Eğilme Gerilmeleri	1-9
E.	Eşdeğer Değişken Gerilme Hesabı.....	1-9
F.	Yorulma Mukavemeti Hesabı	1-10
G.	Çok Parçalı Krankşaftların Sıkı Geçme Hesabı	1-10
H.	Kabul Kriterleri	1-12

A. Genel**1. Kapsam**

Burada krankşaftların boyutlandırılması ile ilgili olarak verilen esaslar; nominal devir sayılarındaki nominal güçte devamlı olarak çalışabilecek şekilde dizayn edilmiş olan, ana sevk ve yardımcı amaçlı dizel makinalara uygulanır.

Buradaki kuralları sağlayamayan krankşaftlar, ayrıntılı hesapların veya ölçümlerin verilmesi halinde özel değerlendirmeye tabi tutulacaktır.

- Yüzeyi işlenmiş birleşimler,
- Yorulma davranışını etkileyen test edilmiş parametreler,
- Ölçülen çalışma gerilmeleri

durumunda, bu veriler talep halinde dikkate alınabilir.

2. Uygulama Alanı

Buradaki esaslar, sadece iki ana yatak arasında bir krankı olan, dövme veya dökme çelikten yapılmış, yekpare dövülmüş ve çok parçalı krankşaftlara uygulanır.

3. Hesaplama Esasları

Krankşaftların boyutlandırılmasında, yüksek gerilmeye maruz alanlardaki yorulmaya karşı emniyet değerlendirmeleri esas alınır.

Hesaplamalarda ayrıca; krankpini ile krank vebi ve jurnal ile krank vebi arasındaki köşe geçişleri bölgelerinde yüksek gerilmelerin oluşacağı kabulü esas alınır.

Krankpin ve jurnallerdeki yağ kanalı çıkışları, yağ kanallarındaki yorulmaya karşı emniyet sınırının, köşeler için kabul edilebilir değerden az olmayacağı tarzda şekillendirilir.

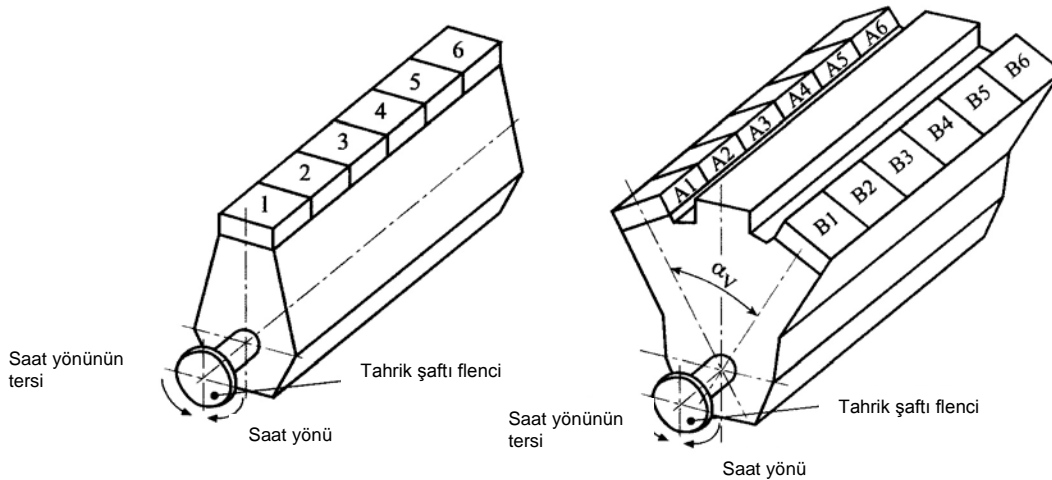
TL tarafından talep edildiğinde, makina üreticisi, yağ kanalı dizaynı ile ilgili dokümanları vermelidir.

Krankşaft mukavemet hesabı; sabit enerji distorsiyonu teorisi kullanılarak (Von Mises kriteri) uygun gerilme yığılması faktörleri ile çarpılan ve eşdeğer değişken gerilmeyi veren (tek eksenli gerilme) nominal değişken eğilme ve nominal değişken burulma gerilmelerinin hesaplanmasını içerir. Bu eşdeğer değişken gerilme, seçilen krankşaft malzemesinin yorulma mukavemeti ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda, ilgili krankşaftın uygun şekilde boyutlandırılıp boyutlandırılmadığı ortaya çıkar.

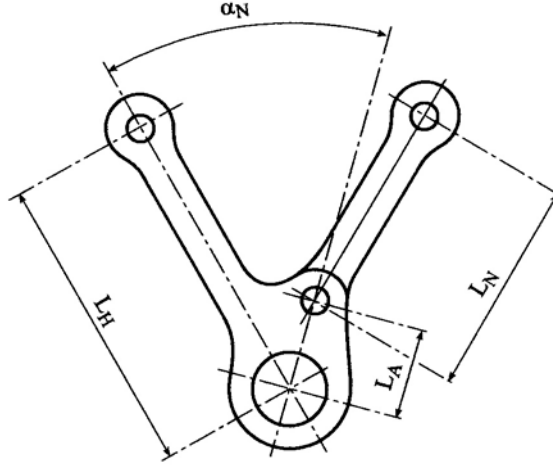
4. Onay için Sunulacak Resimler ve Bilgiler

Krankşaftların hesaplanması için, aşağıda belirtilen dokümanlar ve bilgiler verilecektir:

- Krankşaftın geometrik şekli ile ilgili tüm verileri içeren krankşaft resmi,
- Makinanın tipi ve çeşidi (bitişik konektin rodlu, çatalı konektin rodlu veya mafsallı tip konektin rodlu, sıralı veya V - tip makinalar),
- İşletim ve yanma yöntemleri (2 zamanlı veya 4 zamanlı, doğrudan püskürtmeli, ön yanma odalı, vb.),
- Silindir sayısı,
- Nominal güç [kw],
- Nominal makina devri [dk^{-1}],
- Dönme yönü (Şekil 1.1'e bakınız),
- İlgili tutuşma aralığı ve varsa α_v V - açısı ile (Şekil 1.1) birlikte tutuşma sırası,
- Silindir çapı [mm],
- Strok [mm],
- Maksimum silindir basıncı P_{maks} [bar],
- Doldurma havası basıncı [bar] (uygulamaya göre emme valflerinden veya dolgu havası sübaplarından önce),
- Nominal sıkıştırma oranı [-],
- Konektin rod uzunluğu L_H [mm],
- Tek krank donanımının osilasyon ağırlığı [kg] (V tip makinalarda, gerekirse, ana ve mafsallı tip konektin rodlu veya çatalı ve iç konektin rodlu silindir üniteleri için de),
- Eş mesafeli aralıklarda gösterilen dijital gaz basınç eğrisi (krank açısına bağlı bar olarak, ancak $5^\circ CA$ 'dan fazla olmamak üzere).
- Mafsallı tip konektin rodlu makinalar için (Şekil 1.2'ye bakınız):
 - Bağlantı noktasına olan mesafe L_A [mm]
 - Bağlantı açısı α_N [$^\circ$]
 - Konektin rod boyu L_N [mm]



Şekil 1.1 Silindir şekilleri



Şekil 1.2 Mafsallı tip konektin rod

- Mafsallı tip konektin rodlu silindirler için,
 - Maksimum silindir basıncı P_{maks} [bar]
 - Doldurma havası basıncı [bar] (uygulamaya göre emme valflerinden veya dolgu havası sübaplarından önce),
 - Nominal sıkıştırma oranı [-],
 - Eş mesafeli aralıklarda gösterilen dijital gaz basıncı [bar/°CA]
- Krankşaft malzemesinin ayrıntıları
 - Malzemenin gösterimi (DIN, AISI, vb.'ne göre)
 - Malzemenin mekanik özellikleri (boyuna test parçasından elde edilen minimum değerler)

TL Malzeme Kurallarındaki minimum istekler karşılanmalıdır:

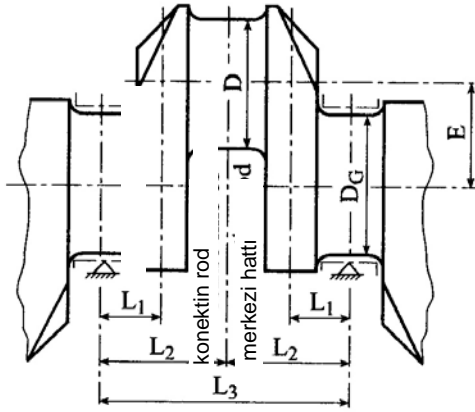
 - Çekme mukavemeti [N/mm²]
 - Akma mukavemeti [N/mm²]
 - Kopmada kesit daralması [%]
- Uzama A_5 [%]
- Darbe enerjisi – KV [J]
- Malzeme eritme işlemi yöntemi (açık ocaklı fırın, elektrik fırını, vb.)
- Dövme tipi (serbest şekilli dövme, devamlı tane akışlı dövme, kalıpta dövme, vb. dövme işleminin tanımı da verilecektir.
- Isıl işlem
- Birleşim yerlerinin, jurnallerin ve pinlerin yüzey işlemleri (indüksiyonla sertleştirilmiş, alevle sertleştirilmiş, nitrülenmiş, haddelenmiş, darbeli dövme, vb. sertleştirme ile ilgili tüm ayrıntılar da verilecektir).
 - Yüzey sertliği [HV]
 - Sertleşme derinliğinin fonksiyonu olarak sertlik
 - Yüzey sertleştirme kapsamı
- Değişken burulma gerilmeleri ile ilgili özellikler, B.2'ye bakınız.

B. Gerilmelerin Hesaplanması

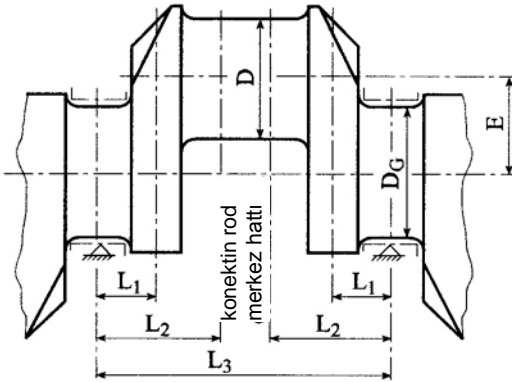
1. Eğilme Momentleri ve Kesme Kuvvetleri Nedeniyle Oluşan Değişken Gerilmelerin Hesaplanması

1.1 Kabuller

Hesaplama; jurnalleri bitişik yatakların merkezleri arasında mesnetlenen ve gaz kuvvetleri ile atalet kuvvetlerine maruz olan sadece bir krank kolu dikkate alınacak şekilde, statik olarak çözümlenmeli sistem esas alınır. Eğilme boyu, iki yatak arasındaki mesafe olarak (L_3 mesafesi) alınır (Şekil 1.3 ve 1.4'e bakınız).



Şekil 1.3 Sıralı makinalar için krank



Şekil 1.4 İki bitişik konektin rodlu makina için krank

Konektin rod kuvvetinin radyal bileşeni nedeniyle oluşan üçgen eğilme momenti yükü esas alınarak, nominal eğilme momenti, solid vebin merkezindeki (L_1 mesafesi) krank vebi kesitindeki eğilme momenti olarak alınır. Bir krankpininde çalışan iki konektin rodlu krank kolları için, nominal eğilme momenti, iki üçgen eğilme momenti

yükünün süper pozisyonu ile elde edilen eğilme momenti olarak alınır.

Eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri nedeniyle oluşan nominal değişken gerilmeler, krank vebinin kesit alanına bağlıdır. Kesitin bu referans alanı, pinin bindirme merkezindeki veya bindirme yoksa, iki pinin bitişik birleşim hattı merkezindeki B veb genişliği ve W veb kalınlığından oluşur, Şekil 1.5'e bakınız.

Nominal ortalama eğilme gerilmeleri ihmal edilir.

1.2 Nominal değişken eğilme ve kesme gerilmelerinin hesaplanması

Kural olarak hesaplama, gaz ve atalet kuvvetleri nedeniyle krankpin üzerine etki eden tekil radyal kuvvetler, bir çalışma çevrimindeki tüm krank pozisyonları için hesaplanacak şekilde yapılır. Radyal kuvvetler için basitleştirilmiş hesaplama yöntemi, TL ile anlaşmaya varılarak kullanılabilir.

Bir çalışma çevrimi içinde, zamanla değişen söz konusu radyal kuvvetler yardımıyla ve pin üzerine etki mesafesi dikkate alınarak, 1.1'de tanımlanan veb merkezindeki M_B eğilme momentinin zaman eğrisi hesaplanır.

Buradan, nominal değişken eğilme momenti hesaplanır:

$$M_{BN} = \mp \frac{1}{2} (M_{B,\text{maks}} - M_{B,\text{min}})$$

ve buradan da, belirli oranda bitişik krankların ve yatak zorlamasının etkisini hesaba katan K_e ampirik faktörü ile değiştirilen nominal değişken eğilme gerilmesi bulunur.

$$\sigma_{BN} = \mp \frac{M_{BN}}{W_{eq}} \cdot 10^3 \cdot K_e$$

$$W_{eq} = \frac{B \cdot W^2}{6}$$

$K_e = 0,8$ 2 zamanlı makinalar için

$= 1,0$ 4 zamanlı makinalar için

V tip makinalarda, bir krank üzerinde etki eden iki silindirin eğilme momenti (gaz ve atalet kuvvetlerinden hesaplanan) faza göre süperpoze edilir, farklı dizaynlar (çatallı konektin rod, mafsallı tip konektin rod veya bitişik konektin rodlar dikkate alınacaktır.

Bir krankşaft üzerinde farklı geometrik özellikli krankların bulunması halinde (örneğin; asimetrik kranklar), hesaplama tüm krank çeşitlerini kapsamalıdır.

Nominal değişken kesme gerilmesinin hesabı şu şekilde yapılır:

$$\sigma_{QN} = \mp \frac{Q_N}{F} \cdot K_e$$

$$Q_N = \mp \frac{1}{2} (Q_{maks} - Q_{min})$$

$$F = B \cdot W$$

M_{BN} = Nominal değişken eğilme momenti [Nm]

σ_{BN} = Nominal değişken eğilme gerilmesi [N/mm²]

W_{eq} = Kesit alanına göre ekvatoryal kesit modülü [mm³]

Q_N = Nominal değişken kesme kuvveti [N]

σ_{QN} = Kesme kuvveti nedeniyle oluşan nominal değişken gerilme [N/mm²]

F = Vebin kesiti ile ilgili alan [mm²]

1.3 Köşe birleşimlerdeki değişken eğilme gerilmelerinin hesabı

Gerilmelerin hesabı, krankpin birleşimleri ve jurnal birleşimleri için yapılır.

Krankpin birleşimleri için :

$$\sigma_{BH} = \pm (\alpha_B \cdot \sigma_{BN})$$

σ_{BH} = Krankpinin birleşimindeki değişken eğilme gerilmesi [N/mm²]

α_B = Krankpinin birleşimindeki eğilme için gerilme yığılması faktörü [-] (hesaplama için C.'ye bakınız).

Jurnal birleşimleri için:

$$\sigma_{BG} = \pm (\beta_B \cdot \sigma_{BN} + \beta_Q \cdot \sigma_{QN})$$

σ_{BG} = Jurnal birleşimindeki değişken gerilme [N/mm²]

β_B = Jurnal birleşimindeki eğilme için gerilme yığılması faktörü [-] (hesaplama için C.'ye bakınız).

β_Q = Kesme için gerilme yığılması faktörü [-] (hesaplama için C.'ye bakınız).

2. Değişken Burulma Gerilmelerinin Hesaplanması

2.1 Genel

Nominal değişken burulma gerilmelerinin hesabı, 2.2'deki bilgilere göre makina üreticisi tarafından yapılacaktır. Bu hesaplardan elde edilen maksimum değer, E.'ye göre eşdeğer gerilme hesabında, TL tarafından kullanılacaktır. Böyle bir maksimum değer olmadığı hallerde, krankşaftın boyutlandırma hesaplarında TL için sabit bir değer kullanımı gerekli olacaktır.

TL'nun, makinada ve olasılıkla makinanın şaftında öngörülen burulma titreşimi gerilmelerinin hesaplanmasında, makina üretici yerine cebri titreşim hesaplarını yapması söz konusu olduğu hallerde, aşağıdaki veriler, A.4'e ilave olarak TL'na verilecektir:

- Aşağıdakileri içeren, makinanın eşdeğer dinamik sistemi :

- Her kütle noktasının kütle atalet momenti [kgm²]

- Ataletsiz burulma katılığı [Nm/rad]

- Titreşim damperleri

- Tip

- Kütle atalet momenti [kgm^2]
- Ataletsiz burulma katılığı [Nm/rad]
- Sönümlenme katsayıları [Nms]

- Volan

- Kütle atalet momenti [kgm^2]

Eğer tüm sistem incelenecekse, aşağıdakiler de verilmelidir:

- Kaplin

- Dinamik özellikler ve sönümlenme verileri

- Dişli verileri

- Dişli şaftları, sırast şaftları, ara şaftlar ve pervane şaftlarının çapları

- Şaft sistemi

- Sırast şaftları, ara şaftlar ve pervane şaftlarının çapları

- Pervaneler

- Pervane çapı
- Kanat adedi
- Piç ve alan oranı

- İlgili titreşim durumları ile birlikte doğal frekanslar ve makina uyarımının harmonikleri için vektörel toplamlar,

- Açıkça belirlenmiş rezonans devir sayıları ve devamlı işletim aralıkları belirtilerek, sistemin tüm önemli elemanlarındaki öngörülen burulma titreşimi gerilmeleri.

2.2 Nominal değişken burulma gerilmelerinin hesaplanması

Maksimum ve minimum değişken torklar; 2 zamanlı makinalar için 1. dereceden 15. dereceye (dahil) ve 4

zamanlı makinalar için 0,5. dereceden 12. dereceye (dahil) kadar olan cebri titreşimlerin harmonik sentezi vasıtasıyla, sistemin her kütle noktası için ve tüm devir aralığı için incelenmelidir. Bu yapılırken, sistemdeki mevcut sönümlenmeler ve en olumsuz koşullarla ilgili toleranslar dikkate alınmalıdır (silindirlerden birinde hatalı ateşleme). Devir aralıkları, geçiş tepkileri yeterli hassasiyette kaydedilebilecek şekilde seçilecektir.

Bu hesaplardan elde edilen değerler verilecektir.

Her kütle noktasındaki, değerlendirmeye esas olan, nominal değişken burulma gerilmesi, aşağıdaki eşitlikten elde edilir:

$$\tau_N = \mp \frac{M_T}{W_p} \cdot 10^3$$

$$M_T = \mp \frac{1}{2} (M_{T_{\text{maks}}} - M_{T_{\text{min}}})$$

$$W_p = \frac{\pi}{16} \left(\frac{D^4 - D_{BH}^4}{D} \right) \text{ veya } W_p = \frac{\pi}{16} \left(\frac{D_G^4 - D_{BG}^4}{D_G} \right)$$

τ_N = Krankpin veya jurnaldeki nominal değişken burulma gerilmesi [N/mm^2]

M_T = Nominal değişken tork [Nm]

W_p = Delinmiş Krankpin veya jurnalın ilgili kesit alanına göre polar kesit modülü [mm^3]

$M_{T_{\text{maks}}}, M_{T_{\text{min}}}$ = Ortalama torka göre ekstrem tork değerleri [Nm]

Krankşaftın değerlendirilmesinde, ilgili eğilme gerilmesi ile birlikte en düşük kabul faktörünü oluşturan, burulma gerilmesi esas alınır. Yasaklı devir aralıkları gerekli ise, kabul faktörünün hesabında, bu aralıklardaki burulma gerilmeleri ihmal edilecektir.

Yasaklı devir aralıkları, mevcudiyetine rağmen yeterli çalışma mümkün olacak şekilde düzenlenecektir $\lambda \geq 0,8$ nominal devirin üzerindeki devir oranında yasaklı devir aralığı olmamalıdır.

Krankşaftın onayında, en düşük kabul faktörüne sahip olan tesis esas alınır.

Bu nedenle, her tesis için uygun hesaplarla, onaylı nominal değişken burulma gerilmesi aşılmaması sağlanacaktır. Bu hesap, değerlendirilmek üzere verilecektir.

2.3 Birleşim yerlerindeki değişken burulma gerilmelerinin hesaplanması

Gerilmelerin hesabı, krankpin ve jurnal birleşimleri için ayrı ayrı yapılacaktır.

Krankpin birleşimi için:

$$\tau_H = \pm (\alpha_T \cdot \tau_N)$$

τ_H = Krankpin birleşimindeki değişken burulma gerilmesi [N/mm²]

α_T = Krankpin birleşimindeki burulma için gerilme yığılması faktörü [-] (hesaplama için C.'ye bakınız).

Jurnal birleşimi için:

$$\tau_G = \pm (\beta_T \cdot \tau_N)$$

τ_G = Jurnal birleşimindeki burulma gerilmesi [N/mm²]

β_T = Jurnal birleşimindeki burulma için gerilme yığılması faktörü [-] (hesaplama için C.'ye bakınız).

C. Gerilme Yığılması Faktörlerinin Hesaplanması

1. Genel

Eğilme için gerilme yığılması faktörleri (α_B , β_B); maksimum eğilme gerilmesinin (krankın merkez kesitine etki eden eğilme yükü altında, birleşimlerde oluşan) veb kesitindeki nominal gerilmeye oranı olarak tanımlanır.

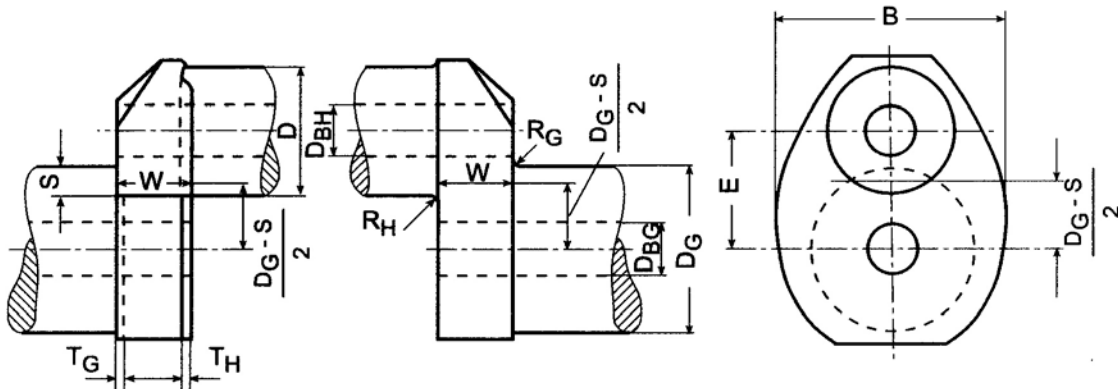
Nominal gerileme, solid vebin ortasındaki eğilme momenti altında hesaplanmalıdır.

Burulma için gerilme yığılması faktörleri (α_T , β_T); maksimum burulma gerilmesinin (birleşimlerde burulma yükü altında oluşan), delinmiş krankpin veya jurnal kesitindeki nominal gerilmeye oranı olarak tanımlanır.

Kesme için gerilme yığılması faktörleri (β_Q); maksimum kesme gerilmesinin (eğilme yükü altında jurnal birleşimlerinde oluşan), veb kesitindeki nominal kesme gerilmesine oranı olarak tanımlanır.

Gerilme yığılması faktörlerinin, güvenilir ölçümler vasıtasıyla sağlanamaması halinde, değerler, dolu dövülmüş veb-tip krankşaftların birleşimlerine ve çok parçalı krankşaftların krankpin birleşimlerine uygulanan, 2 ve 3'deki formüller vasıtasıyla belirlenebilir. Tüm formüller, Forschungsvereinigung Verbrennungs – Kraftmaschinen (FVV)'nin araştırmalarına dayanmaktadır.

Gerilme yığılması faktörlerinin hesaplanması için gerekli olan tüm krank boyutları Şekil 1.5'de gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Gerilme yığılması faktörlerinin hesaplanması için gerekli krank ölçüleri

Fiili ölçüler:	$0,2 \leq w \leq 0,8$
$D =$ Krankpin çapı [mm]	$1,2 \leq b \leq 2,2$
$D_{BH} =$ Krankpindeki delik çapı [mm]	$0,03 \leq r \leq 0,13$
$R_H =$ Krankpinin birleşim yarıçapı [mm]	$0 \leq d_G \leq 0,8$
$T_H =$ Krankpinin oyukluğu [mm]	$0 \leq d_H \leq 0,8$
$D_G =$ Jurnal çapı [mm]	Birleşimlerdeki oyukluğun etkisini dikkate alan f faktörü (oyukluk) aşağıdaki hallerde geçerlidir.
$D_{BG} =$ Jurnaldeki delik çapı [mm]	$t_H \leq R_H/D$
$R_G =$ Jurnalın birleşim yarıçapı [mm]	$t_G \leq R_G/D$
$T_G =$ Jurnalın oyukluğu [mm]	ve aşağıdaki aralıkta uygulanır:
$E =$ Pinin kaçıklığı [mm]	$-0,3 \leq s \leq 0,5$
$S =$ Pinin iç içe geçmesi [mm]	
$= \frac{D + D_G}{2} - E$	
$W =$ Veb kalınlığı [mm]	
$B =$ Veb genişliği [mm]	

Gerilme yığılması faktörlerinin hesaplanması için aşağıdaki bağlı ölçüler kullanılacaktır.

Krankpin birleşimleri	Jurnal birleşimleri
$r = R_H / D$	$r = R_G / D$
$s = S/D$ $w = W/D$ $b = B/D$ $d_G = D_{BG}/D$ $d_H = D_{BH}/D$ $t_H = T_H/D$ $t_G = T_G/D$	

Gerilme yığılması faktörleri, araştırmaların yapılmış olduğu, aşağıdaki bağlı ölçülerin aralıkları için geçerlidir:

$$-0,5 \leq s \leq 0,7$$

2. Krankpin Birleşimi

Eğilme için gerilme yığılması faktörü α_B :

$$\alpha_B = 2,6914 \cdot f(s,w) \cdot f(w) \cdot f(b) \cdot f(r) \cdot f(d_G) \cdot f(d_H) \cdot f(\text{oyukluk})$$

$$f(s,w) = -4,1883 + 29,2004 \cdot w - 77,5925 \cdot w^2 + 91,9454 \cdot w^3 - 40,0416 \cdot w^4 + (1-s) \cdot (9,5440 - 58,3480 \cdot w + 159,3415 \cdot w^2 - 192,5846 \cdot w^3 + 85,2916 \cdot w^4) + (1-s)^2 \cdot (-3,8399 + 25,0444 \cdot w - 70,5571 \cdot w^2 + 87,0328 \cdot w^3 - 39,1832 \cdot w^4)$$

$$f(w) = 2,1790 \cdot w^{0,7171}$$

$$f(b) = 0,6840 - 0,0077 \cdot b + 0,1473 \cdot b^2$$

$$f(r) = 0,2081 \cdot r^{-0,5231}$$

$$f(d_G) = 0,9993 + 0,27 \cdot d_G - 1,0211 \cdot d_G^2 + 0,5306 \cdot d_G^3$$

$$f(d_H) = 0,9978 + 0,3145 \cdot d_H - 1,5241 \cdot d_H^2 + 2,4147 \cdot d_H^3$$

$$f(\text{oyukluk}) = 1 + (t_H + t_G) \cdot (1,8 + 3,2 \cdot s)$$

Burulma için gerilme yığılması faktörü (α_T):

$$\alpha_T = 0,8 \cdot f(r,s) \cdot f(b) \cdot f(w)$$

$$f(r,s) = r^{[-0,322 + 0,1015 \cdot (1-s)]}$$

$$f(b) = 7,8955 - 10,654 \cdot b + 5,3482 \cdot b^2 - 0,857 \cdot b^3$$

$$f(w) = w^{-0,145}$$

3. Jurnal Birleşimleri

Eğilme için gerilme yığılması faktörü β_B :

$$\beta_B = 2,7146 \cdot f_B(s,w) \cdot f_B(w) \cdot f_B(b) \cdot f_B(r) \cdot f_B(d_G) \cdot f_B(d_H) \cdot f(\text{oyukluk})$$

$$f_B(s,w) = -1,7625 + 2,9821 \cdot w - 1,5276 \cdot w^2 + (1-s) \cdot (5,1169 - 5,8089 \cdot w + 3,1391 \cdot w^2) + (1-s)^2 \cdot (-2,1567 + 2,3297 \cdot w - 1,2952 \cdot w^2)$$

$$f_B(w) = 2,2422 \cdot w^{0,7548}$$

$$f_B(b) = 0,5616 + 0,1197 \cdot b + 0,1176 \cdot b^2$$

$$f_B(r) = 0,1908 \cdot r^{-0,5568}$$

$$f_B(d_G) = 1,0012 - 0,6441 \cdot d_G + 1,2265 \cdot d_G^2$$

$$f_B(d_H) = 1,0022 - 0,1903 \cdot d_H + 0,0073 \cdot d_H^2$$

$$f(\text{oyukluk}) = 1 + (t_H + t_G) \cdot (1,8 + 3,2 \cdot s)$$

Kesme için gerilme yığılması faktörü β_Q :

$$\beta_Q = 3,0128 \cdot f_Q(s) \cdot f_Q(w) \cdot f_Q(b) \cdot f_Q(r) \cdot f_Q(d_H) \cdot f(\text{oyukluk})$$

$$f_Q(s) = 0,4368 + 2,1630 \cdot (1-s) - 1,5212 \cdot (1-s)^2$$

$$f_Q(w) = \frac{w}{0,0637 + 0,9369 \cdot w}$$

$$f_Q(b) = -0,5 + b$$

$$f_Q(r) = 0,5331 \cdot r^{-0,2038}$$

$$f_Q(d_H) = 0,9937 - 1,1949 \cdot d_H + 1,7373 \cdot d_H^2$$

$$f(\text{oyukluk}) = 1 + (t_H + t_G) \cdot (1,8 + 3,2 \cdot s)$$

Burulma için gerilme yığılması faktörü β_T :

$$\beta_T = \alpha_T$$

Eğer krankpinin ve jurnalın çapı ve birleştirme yarıçapı aynı ise.

$$\beta_T = 0,8 \cdot f(r,s) \cdot f(b) \cdot f(w)$$

Eğer krankpinin ve jurnalın çapı ve/veya birleştirme yarıçapı farklı ise.

$f(r,s)$, $f(b)$ ve $f(w)$ 2.'ye göre (α_T 'nin hesabına bakınız) hesaplanacaktır. Ancak, jurnal birleşiminin yarıçapı, jurnal çapı ile bağlantılı olacaktır:

$$r = \frac{R_G}{D_G}$$

D. İlave Eğilme Gerilmeleri

Birleşimlerdeki değişken eğilme gerilmelerine (B.1.3'e bakınız) ilave olarak, layn hatası ve bedpleyt deformasyonu nedeniyle ve ayrıca eksenal ve eğilme titreşimleri nedeniyle oluşan eğilme gerilmeleri de, aşağıdaki tabloda verilen α_{add} 'nin uygulanması ile hesaba katılacaktır:

Makina tipi	α_{add} [N/mm ²]
Krossetli makinalar	± 30
Trank pistonlu makinalar	± 10

E. Eşdeğer Değişken Gerilme

1. Genel

Eşdeğer değişken gerilme, Krankpin birleşimi ve jurnal birleşimi için hesaplanacaktır. Bu hesaplama için, sabit enerji distorsiyonu teorisi (von Mises kriteri) kullanılacaktır.

Burada, krankşaftta maksimum değişken eğilme gerilmeleri ve maksimum değişken burulma

gerilmelerinin aynı anda ve aynı noktada oluşacağı kabul edilir.

2. Eşdeğer Değişken Gerilme

Eşdeğer değişken gerilme, aşağıda verilen formüle göre hesaplanır:

Krankpin birleşimi için:

$$\sigma_v = \mp \sqrt{(\sigma_{BH} + \sigma_{add})^2 + 3 \cdot \tau_H^2}$$

$$\sigma_v = \mp \sqrt{(\sigma_{BG} + \sigma_{add})^2 + 3 \cdot \tau_G^2}$$

σ_v = Eşdeğer değişken gerilme [N/mm²]

Diğer parametreler için, B.1.3, B.2.3'e ve D.'ye bakınız.

F. Yorulma Mukavemeti Hesabı

Yorulma mukavemeti; krankşaftın, köşe birleşimlerinin en büyük gerilmeye maruz noktalarında dayanabileceği değişken eğilme gerilmesi olarak anlaşılacaktır. Krankşaft için, yorulma mukavemetinin güvenilir ölçümlerle desteklenmediği hallerde, yorulma mukavemeti, aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir:

Krankpin çapıyla ilgili olarak:

$$\sigma_{DW} = \mp K \cdot (0,42 \cdot \sigma_B + 39,3)$$

$$\left[0,264 + 1,073 D_H^{-0,2} + \frac{785 - \sigma_B}{4900} + \frac{196}{\sigma_B} \cdot \sqrt{\frac{1}{R_H}} \right]$$

Jurnal çapıyla ilgili olarak:

$$\sigma_{DW} = \mp K \cdot (0,42 \cdot \sigma_B + 39,3)$$

$$\left[0,264 + 1,073 \cdot D_G^{-0,2} + \frac{785 - \sigma_B}{4900} + \frac{196}{\sigma_B} \cdot \sqrt{\frac{1}{R_G}} \right]$$

σ_{DW} = Krankşaftın izin verilen yorulma mukavemeti [N/mm²]

K = Yüzeyi işlenmemiş halde dövme ve döküm krankşaftların çeşitli tiplerine ait faktörler [-]

= 1,05 Devamlı tane akımlı dövme veya kalıpta dövme krankşaftlar için

= 1,0 Serbest formlu dövme krankşaftlar için,

= 0,93 Çelik döküm krankşaftlar için.

σ_B = Krankşaft malzemesinin minimum çekme mukavemeti [N/mm²]

Diğer parametreler için C.1'e bakınız. Ancak, hesaplamalarda R_H ve R_G 'nin 2'den daha küçük alınmayacağı kabul edilecektir.

Yüzey işlemine tabi tutulmuş olan tam ölçülü krank kolları veya krankşaftlarında yapılan yorulma test sonuçları mevcut değilse, yüzey işlemine tabi tutulmamış olan krankşaftlara ait K faktörleri kullanılacaktır.

Tam ölçülü krank kolları veya krankşaftlarında yapılan yorulma mukavemetine ait deneysel değerler, TL'nun özel onayına tabidir. Testlerden elde edilen, yorulma mukavemeti değerlerinin beka olasılığı TL'nun onayına tabidir ve %80'den az olamaz.

G. Çok Parçalı Krankşaftların Sıkı Geçme Hesabı

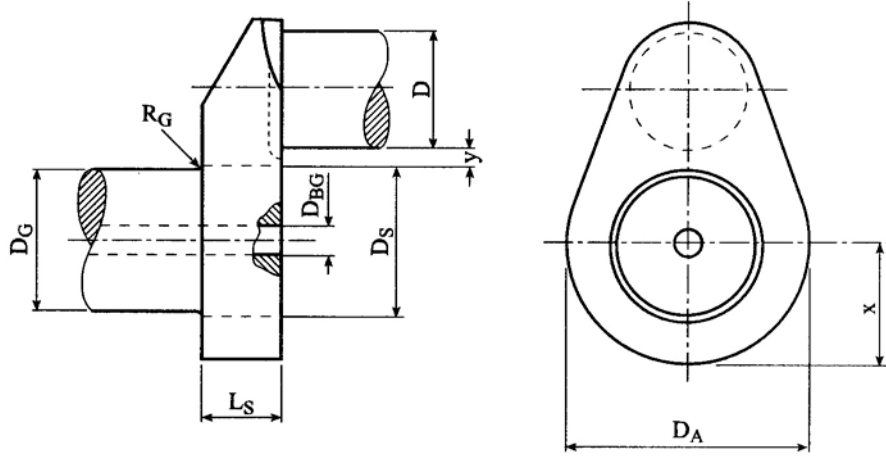
1. Genel

Sıkı geçme hesabı için gerekli tüm krank ölçüleri Şekil 1.6'da verilmiştir.

D_S = Geçme çapı [mm]

L_S = Sıkı geçme boyu [mm]

D_A = Vebin dış çapı [mm] veya jurnallerin merkezi



Şekil 1.6 Çok parçalı krankşaftın krank kolu

ile vebin dış kenarı arasındaki minimum x mesafesinin 2 katı (hangisi küçükse)

y = Jurnal ile pinin birbirine yakın hatları arasındaki mesafe [mm]

$$y \geq 0,05 \cdot D_S$$

y 'nin 0,1 D_S 'den küçük olduğu hallerde,geçme nedeniyle oluşan gerilmenin krankpin birleşimindeki yorulma mukavemetine etkisine özel olarak dikkat edilecektir.

Diğer parametreler için C.1'e bakınız (Şekil 1.5).

Jurnalden geçme çapına geçişin yarıçapı için, aşağıdaki belirtilenler dikkate alınmalıdır:

$$R_G \geq 0,015 \cdot D_G \quad \text{ve} \quad R_G \geq 0,5 \cdot (D_S - D_G)$$

Burada büyük olan değer alınacaktır.

Sıkı geçmenin hakiki fazla ölçüsü Z , 2. ve 3.'ye göre hesaplanan Z_{\min} ve Z_{\max} sınırları arasında olmalıdır.

2. Sıkı Geçmenin Gerekli Minimum Fazla Ölçüsü

Gerekli minimum fazla ölçü 2.1 ve 2.2'ye göre hesaplanan değer büyük olanından hesaplanır.

2.1 Minimum fazla ölçünün hesabı, maksimum mutlak torklu (M_{\max}) krank kolu için yapılacaktır. M_{\max}

torku; krankşaftın çeşitli kütle noktaları için B.2.2'ye göre bulunan $M_{T_{\max}}$ maksimum tork değerine karşılık gelir.

$$Z_{\min} \geq \frac{4 \cdot 10^3}{\pi \cdot \mu} \cdot \frac{S_R \cdot M_{\max}}{E_m \cdot D_S \cdot L_S} \cdot \frac{1 - Q_A^2 \cdot Q_S^2}{(1 - Q_A^2) \cdot (1 - Q_S^2)}$$

$$Q_A = \frac{D_S}{D_A}, \quad Q_S = \frac{D_{BG}}{D_S}$$

$$\mu = 0,20 \quad \frac{L_S}{D_S} \geq 0,40 \quad \text{için}$$

Z_{\min} = Minimum fazla ölçü [mm]

S_R = Kaymaya karşı emniyet faktörü, 2'den daha az alınmaz [-]

Q_A, Q_S = Çap farkları oranı [-]

μ = Statik sürtünme katsayısı [-]

E_m = Young's modülü [N/mm^2]

2.2 Madde 2.1'e ilave olarak, minimum fazla ölçü aşağıdaki formüle göre de hesaplanacaktır:

$$Z_{\min} \geq \frac{\sigma_S \cdot D_S}{E_m}$$

σ_S = Krank vebi malzemesinin minimum akma mukavemeti [N/mm^2]

3. Sıkı Geçmenin Maksimum İzin Verilen Fazla Ölçüsü

İzin verilen maksimum fazla ölçü aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$Z_{maks} \leq \frac{\sigma_S \cdot D_S}{E_m} + \frac{0,8 \cdot D_S}{1000}$$

Z_{maks} = Maksimum fazla ölçü [mm]

Bu koşul, birleşimindeki geçme kaynaklı ortalama gerilmeyi sınırlamayı sağlar.

H. Kabul Kriterleri

Krankşaftın uygun boyutlandırılması, eşdeğer değişken gerilme ile yorulma mukavemetinin karşılaştırılması ile doğrulanır. Bu karşılaştırma, gerek krankpin birleşimi gerekse jurnal birleşimi için yapılmalı ve aşağıdaki formüle göre belirlenmelidir.

$$Q = \frac{\sigma_{DW}}{Q_V}$$

Q = Kabul faktörü

Her iki kabul faktörünün küçük olanının aşağıdaki kriteri karşılaması halinde krankşaftın uygun şekilde boyutlandırılması sağlanmış olur:

$$Q \geq 1,15$$