

## Fogaskerékpár számítása

Összeállította:

Németh Géza egyetemi adjunktus  
Némethné Nándori Zénáb egyetemi tanársegéd

Tervezzen **elemi** fogazatú fogaskerékpárt a **P** teljesítmény, az **n<sub>1</sub>** hajtó oldali fordulatszám és az **i** kinematikai áttétel ismeretében, lassító hajtáshoz ( $i > 1$ ). Készítse el a számítási jegyzőkönyvet és a kis fogaskerék szerkesztett alkatrészrajzát.

**1. Végezze el a fogaskerékpár szilárdsági előtervezését** egyetlen szabadon választott fogaskerékanyag figyelembe vételével a **k<sub>0</sub>** fogfelületi kifáradási határ és a **σ<sub>0f</sub>** fogtő kifáradási határ ismeretében.

a.) Fogaskerék anyagok:

Acél anyagú kerékpároknál a két fogaskereket azonos anyagból készítjük.

Anyagcsoport	Szabványszám	Anyagjel	Keménység (fogfelület)	k <sub>0</sub> [MPa]	σ <sub>0f</sub> [MPa]	Régi jel
Ötvöztelen szerkezeti acél (normalizált)	MSZ EN 10025	E360	200HB	6,31	227	A70
		E335	176HB	4,88	206	A60
		E295	146HB	3,36	181	A50
		S275JR	128HB	2,57	166	A44
Betétben edzett acél	MSZ EN 10084	C10E	45HRC	16	167	C10
		16MnCr5	45HRC	21	352	BC3
		17CrNi6-6	50HRC	27,9	403	BNC5
		17NiCrMo6-4	55HRC	37,5	392	BNCMo1
Felületen edzett nemesített acélok	MSZ EN 10083	C25E	45HRC	21	194	C25
		C60	58 HRC	45	258	C60
		41Cr4	53 HRC	33	271	Cr3
		30CrNiMo8	49 HRC	26	278	NCMo6

b.) A tengelytávolság

A tengelytávolság csökkentésével növekszik az **F<sub>n</sub>** fognormálerő, és a fogfelületen ébredő feszültség. Ezért **k<sub>0</sub>** ismeretében számíthatunk egy határt, melyen túl nem csökkenthetjük a tengelytávolságot.

$$a \geq \sqrt[3]{\frac{M_{\text{kiskerék}}}{b/a} \cdot \frac{1}{\sin 2\alpha} \cdot \frac{(1+u)^3}{u} \cdot \frac{1}{\xi \cdot k_0}}$$

A képletben **M** a kisebb kerékre jutó nyomaték. Lassító áttétel esetén  $i > 1$ , a hajtó kerék a kisebb, így  $M = P/\omega_1$ .

A **b/a** szélességi viszony értéke 0,2...0,5 között változik, a fogaskerékpár beépítési helyétől függően. Állandó áttételű, egy vagy kétlépcsős teljesítmény hajtóműveknél a nagyobb értéket, több fokozatú sebességváltók esetén a kisebb értéket választjuk. Legyen a tervezett fogaskerékpár egy állandó áttételű egylépcsős hajtómű része, így **b/a=0,5** értéket rögzíthetjük. Elemi fogazat esetén a működő kapcsolószög megegyezik a szerszám alapprofil szögével, mely  $\alpha = 20^\circ$ . A  $u = Z_{\text{nagykerék}}/Z_{\text{kiskerék}}$  fogszámviszonyra az  $u \geq 1$  viszony igaz.

A  $\xi$  üzemi tényező 0,2 ... 0,4 közötti értékű lehet. Mivel a fogfelületi feszültség szorzója, ezért a kisebb érték tartozik a nagyobb biztonsághoz. Javasoljuk a **0,2** értéket.

c.) A modul

Az  $F_n$  fognormálerő a fogat hajlításra veszi igénybe A modul határozza meg a fog nagyságát. Kis fog könnyebben túlterhelhető. Bereped, a repedés terjed, majd a fog kitörik. Meg kell határozni azt a legkisebb modul értéket, melynél a fogtő még nem károsodik.

$$m \geq \frac{M_{\text{kiskerék}}}{r_{\text{kiskerék}}} \cdot \frac{n_f}{\sigma_{0f}} \cdot \frac{Y(C_S \cdot C_D)}{b} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

Az M itt is a kiskerékre jutó nyomaték,  $r_1 = a/(1+u)$  kiskerék sugár,  $n_f = 1,5$  biztonsági tényező,  $Y = 2,5$  fogalaktényező,  $b = (b/a)a$  fogszélességet kerekítjük,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $C_S \cdot C_D = 2 \dots 2,5$  a külső terhelésektől függő lökéstényező és a fogazat pontossági fokozatától függő dinamikus tényező szorzata. Legyen  $C_S \cdot C_D = 2$ .

**2. Határozza meg a pontos fogazatgeometriát.** A kis kerék fogszámát a  $z_1 = 19 \dots 30$  tartományban vegye fel. Nagyobb áttételeknél választhatjuk a kisebb értékeket.

$$z_2 = i \cdot z_1$$

A két fogszám lehetőleg relatív prím legyen. Teljesítményhajtásnál a tényleges kinematikai áttétel 3%-kal eltérhet a megadottól.  $i = z_2/z_1$ .

A modul értéke

$$m = \frac{2a}{z_1 + z_2}, \text{ melyet szabványosra kerekítünk.}$$

A szabványos (és ajánlott) modulsor mm-ben:

1    1,25    1,5    2    2,5    3    4    5    6    8    10.

Értéke legyen nagyobb a fentebb meghatározott minimumtól.

A tengelytávolság a választott szabványos modullal

$$a = \frac{z_1 + z_2}{2} m,$$

melyet nem szabad kerekíteni, és mindenképpen nagyobbak kell lennie a (köbgyökös képlettel) fentebb meghatározott legkisebb értéknél.

Az osztókör átmérők:

$$d_1 = z_1 m$$

$$d_2 = z_2 m$$

A fejmagasság tényező  $h_a^* = 1$  és a lábhezag tényező  $c^* = 0,25$  ismeretében a fogazat többi mérete meghatározható.

$$\text{Fejmagasság: } h_{a1} = h_{a2} = h_a = h_a^* m$$

$$\text{Lábmagasság: } h_{f1} = h_{f2} = h_f = (h_a^* + c^*) m$$

$$\text{Fogmagasság: } h = h_a + h_f$$

Osztóköri fogosztás:  $p = m \cdot \pi$

Alapköri fogosztás:  $p = m \cdot \pi \cdot \cos \alpha$

A fejkör átmérők:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a$$

$$d_{a2} = d_2 + 2h_a$$

A lábkörátmérők:

$$d_{f1} = d_1 - 2h_f$$

$$d_{f2} = d_2 - 2h_f$$

Az alapkör átmérők:

$$d_{b1} = d_1 \cos \alpha$$

$$d_{b2} = d_2 \cos \alpha$$

### 3. Számítsa a többfogmértet

Párhuzamos mérőfelületekkel rendelkező hossz mérő műszerrel  $k=z/9+0,5$  számú fogat közrefogunk, ezzel biztosítva, hogy a műszer a fogközép közelében érintse az egymással átellenes fogfelületeket.  $k$  értékét természetesen egész számra kerekítjük. Külső fogazat ellenőrzésére alkalmas ez a módszer, mert könnyen számíthatjuk ezt a méretet.

Elemi fogazat esetén

$$W(k) = [(k - 0,5)\pi + z \cdot \operatorname{inv}\alpha] m \cdot \cos \alpha,$$

ahol  $\operatorname{inv}\alpha = \tan \alpha - \alpha \frac{\pi}{180^\circ}$ .

A számítást mindkét fogaskerekre el kell végezni.

### 4. Számítsa a fogazatra ható fognormálerőt és összetevőit

A fognormálerő érintő irányú összetevője  $F_t = \frac{2M}{d_1}$ .

A fognormálerő  $F_n = \frac{F_t}{\cos \alpha}$ .

A sugárirányú összetevő  $F_r = F_t \tan \alpha$ .

### 5. Készítse el a kis fogaskerék alkatrészrajzát

Egy fogaskerék alkatrészrajza tartalmazza a kerék teljes metszeti képét és egy résznézetet az agyfuratról, valamint egy fogaskerék táblázatot. E feladat keretében csak a kis fogaskereket kell ábrázolni. Géptan- géprajz tárgyból már találkoztak ilyen feladattal, ezért segítségképpen érdemes rápillantani az ottani 5. feladat segédletére (a tanszéki honlapról elérhető).

Arra figyeljenek, hogy a feliratmező 180x30 méretű legyen, a kiemelt érdességi jel a feliratmező fölé jobb oldalra kerüljön, a fogaskerék táblázat pedig a jobb felső sarokba, 100 mm széles, 7mm magas sorokkal, 70,15,15 szélességű oszlopokkal, amint az a következő ábrán látható.

Megnevezés		Jel	Adat
Fogsorszám		z	
Modul		m	
Alaprofil	Fejmagasság tényező	$h_a^*$	1
	Lábhézag tényező	$c^*$	0,25
	Alaprofil szög	$\alpha$	20°
Minőség		8 C	
Profileltolás tényező		x	0
Osztókör átmérő		d	
Alapkör átmérő		$d_b$	
fogmagasság		h	
Ellenkerék fogszáma		$z_2$	
Tengelytávolság		a	
Többfogméret		W( )	

## 6. A mértékegységekről

Fizikusok bujócskáznak. Einstein a hunyó. Úgy adódott, hogy Newtonnak nem maradt rejtekhely. Lehajolt, és egy 1m oldalhosszúságú négyzetet rajzolt maga köré. Einstein egyből rátalált és rákiáltott: Newton! Mire a megszólított: Tévedsz, Pascal vagyok.

A fogaskerék szilárdsági előtervezését a mértékegységek ismeretének hiánya megnehezíti. A helyzet bonyolult, mert többféle lehetőségünk is van. Most csak egyet ismertetnénk. A nyomaték mértékegysége a Nm, melyet a teljesítmény és szögsebesség hányadosaként számíthatunk. A teljesítmény mértékegysége a Watt, jele W.  $1W = 1 \text{ Nm/s}$ . A szögsebesség jele  $\omega$ , mértékegysége az 1/s. A szögsebességet a fordulatszámából számítjuk.  $\omega = 2\pi \cdot n$ , ahol a fordulatszám mértékegysége 1/s.

A mechanikai feszültség mértékegysége a Pascal, jele Pa.  $1Pa = 1N/m^2$ . A fogfelület kifáradási határ egy fajta feszültség, mértékegysége MPa.  $1MPa = 10^6Pa = 10^6N/m^2 = 1N/mm^2$ . A tengelytávolság képletébe a feszültséget  $N/mm^2$  egységben helyettesítsük, ezért a nyomatékot Nmm mértékegységben. ( $1Nm = 10^3Nmm$ ). Figyeljük meg, hogy a képletben csak M és  $k_0$  rendelkezik mértékegységgel, és ezeket egymással el kell osztanunk.  $M/k_0$  mértékegysége

$$1 \frac{Nmm}{\frac{N}{mm^2}} = 1Nmm \cdot \frac{mm^2}{N} = 1mm^3$$

Ebből köbgyököt vonva nyerjük a tengelytávolság mm mértékegységét.

A modul képletébe is Nmm-ben kell behelyettesítenünk a nyomatékot, a fogtőfeszültséget pedig  $N/mm^2$ -ben, hogy a modult (ez is távolság!) mm-ben kapjuk eredményül.

## 7. Irodalom

- [1] Terplán Zénó, Gépelemek II. (kézirat), Tankönyvkiadó, Budapest, 1991. J14-1571
- [2] Ungár T. & Vida A., Segédlet a Gépelemek I.- II. kötetéhez, TK., Bp., 1985. J14-1575
- [3] Nagy G. (szerk.), Gépszerkesztési atlasz, ME Gépelemek Tanszéke - GTE, 1991.

## 8. Adatok

Sorszám	$P$ (motor) [kW]	$n_1$ (motor) [1/min]	hajtómű $i$
1	14	720	3
2	12	2880	2
3	10	1440	2
4	8	960	3
5	6	720	3
6	4	2880	2
7	20.5	720	2
8	18.5	960	2
9	5	960	3
10	6	1440	3
11	7	1440	2
12	8	1440	2
13	10	2880	3
14	12	2880	3
15	15	1440	2
16	15	960	2
17	18.5	1440	2
18	18.5	960	3
19	20.5	960	3
20	19	960	2
21	4.5	960	2
22	7.5	720	3
23	10.5	720	3
24	11.5	720	2
25	13.5	960	2
26	4.5	720	2
27	7.5	720	3
28	19	960	3
29	4.5	720	2
30	7.5	2880	2
31	13	960	2
32	18.5	960	3
33	20.5	960	3
34	19	720	2
35	4.5	720	2
36	7.5	720	2
37	10.5	960	3
38	11.5	720	3
39	13.5	720	2
40	4.5	960	2

Sorszám	$P$ (motor) [kW]	$n_1$ (motor) [1/min]	hajtómű $i$
41	5	720	2
42	7	1440	3
43	10	1440	2
44	12	2880	3
45	15	2880	2
46	6	1440	3
47	8	1440	2
48	11	1440	3
49	13	2880	2
50	16	2880	3
51	5.5	1440	2.5
52	7.5	720	2
53	10.5	720	2.5
54	12.5	1440	3
55	15.5	1440	2.5
56	6.5	720	3
57	8.8	1440	2
58	11.5	2880	2.5
59	13.5	2880	3
60	16.5	2880	2.5
61	4	720	2
62	7	720	3
63	11	2880	3
64	13	2880	2
65	16	1440	2
66	19	2880	3
67	17	2880	2
68	13	1440	3
69	11	1440	2
70	9	720	2
71	20	2880	2.5
72	17	2880	2
73	14	1440	2.5
74	12	960	2
75	10	960	2.5
76	20.5	1440	3
77	18.5	1440	2
78	16.5	1440	3
79	13.5	1440	2
80	10.5	1440	3

Sorszám	$P$ (motor) [kW]	$n_1$ (motor) [1/min]	hajtómű $i$
81	21	2880	3
82	23	2880	2
83	19	2880	3
84	17	2880	2
85	15	2880	3
86	20.5	1440	2
87	18.5	960	2
88	5	960	2
89	6	960	3
90	7	960	2
91	8	720	3
92	10	720	3
93	12	720	2
94	15	960	2.5
95	15	720	2
96	18.5	720	3
97	20.5	960	2
98	19	720	3
99	4.5	720	2
100	7.5	960	3
101	10.5	960	2.5
102	11.5	1440	2
103	13.5	1440	3
104	4.5	960	3
105	7.5	960	2
106	9	1440	2.5
107	11.5	1440	3
108	14.5	2880	2
109	16	960	3
110	3.5	720	2
111	6.5	720	2
112	8.5	960	3
113	10.5	960	3
114	12.5	1440	2
115	14.5	1440	3
116	16.5	1440	2
117	18.5	2880	2
118	20	2880	2
119	18	1440	2
120	16	960	3