

МАТЕРИЈАЛ ЗА ЗУПЧАНИКЕ (издржљивост зупчаника епрувета)

Ознака	Тврдоћа језгра-бока		Трајна динамичка издржљивост у N/mm^2		Статичка чв. подн. σ_{FS} N/mm^2
			σ_H lim сред. вредност	σ_F lim средња вред.	
Конструктивни челици обични HB					
Č.0545	125	123	380	166	450
Č.0545	150	147	410	170	550
Č.0645	180	176	440	180	650
Č.0745	208	204	480	192	800
Побољшани или нормализовани челици HV 10					
Č.1331	140		480	192	600
Č.1530	185		520	205	800
Č.1731	210		520	210	900
Č.4130	260		700	270	900
Č.4131	260		700	270	950
Č.4732	280		730	275	1100
Č.5431	310		770	285	1300
Челици за побољшање каљени по обиму укл. и подножје HV10 HV1					
Č.1531	220	560	1225	319	1000
Č.4131	270	610	1208	336	1150
Č.4732	275	650	1236	350	1300
Челици за побољшање нитрирани HV10 HV1					
Č.1531	220	400	950	300	1100
Č.4732	275	500	1000	320	1450
Č.4732	270	550	1000	320	1450
гасно нитриран Челици за нитрирање (гасно нитриран)					
31CrMoV9*	320	700	1280	372	1500
Челици цементиран					
Č.1220	190	720	1480	416	900
Č.4320	270	720	1480	416	1400
Č.4321	330	720	1480	416	1400
Č.4721	270	720	1480	416	1300
Č.5420	310	720	1480	416	1300
Č.5421	400	740	1480	416	1600
17CrNiMo6*	400	740	1480	416	1700
Челични лив., сиви лив, Нодуларни лив (GGG) и темепровани црни лив (CTeL.) HB					
ČL.0545	150		400	141	470
ČL.0645	175		370	150	520
SL. 200	170		330	62	200
SL. 250	210		380	72	260
SL. 350	230		400	77	350
GGG. 42*	170		440	172	800
GGG. 60*	250		550	197	1000
GGG. 80*	275		610	207	1200
GGG. 100*	300		630	215	1300
CTeL 35	140		380	160	800
CTeL 65	235		520	194	1000

Tablica 7.187. Vrednosti parametara funkcije izdržljivosti

Materijal i termička obrada	Izdrž. bokova zubaca				Izdržljivost podnožja			
	N_D	m	N_S	Z_S	N_D	m	N_S	Y_{NTmax}
Opšti konstrukcioni, poboljšani čelici, perlitni i bainitni nodularni liv, perlitni temperliv	$50 \cdot 10^6$	13	10^5	1,63	$3 \cdot 10^6$	6,25	10^4	2,5
Površinski otvrdnuti čelici	$50 \cdot 10^6$	13	10^5	1,63	$3 \cdot 10^6$	8,7	10^3	2,5
Isti materijali sa dozvoljenim malim brojem rupica za $10^7 < n_{\Sigma} < 10^9$ prema preporukama ISO i DIN	$300 \cdot 10^6$	13	$6 \cdot 10^5$	1,63				
	$1000 \cdot 10^6$	17,5						
Nitrirani čelici za poboljšanje i nitriranje, sivi liv, feritni nodularni liv	$2 \cdot 10^6$	11,4	10^5	1,3	$3 \cdot 10^3$	17	10^3	1,5
Čelici za poboljšanje nitrirani u kupatilu ili kratkotrajno gasno	$2 \cdot 10^6$	31	10^5	1,1	$3 \cdot 10^3$	83	10^3	

Tablica 7.164. Vrednosti veličine k

inv α_s	$< 0,003$	0,003...0,008	0,008...0,016	0,016...0,026	0,026...0,035
k	3	2,95	2,9	2,85	2,8
inv α_s	0,035...0,045	0,045...0,075	0,075...0,105	0,105...0,140	$\geq 0,140$
k	2,75	2,7	2,6	2,5	2,42

Prva približna vrednost napadnog ugla α_k dobija se neposredno po izboru veličine k

$$\alpha_k = \sqrt[k]{\text{inv} \alpha_s}$$

a sa njim i evolventni ugao

$$\text{inv} \alpha_k = \text{tg} \alpha_k - \alpha_k$$

Pozitivna razlika između zadanog i dobijenog evolventnog ugla

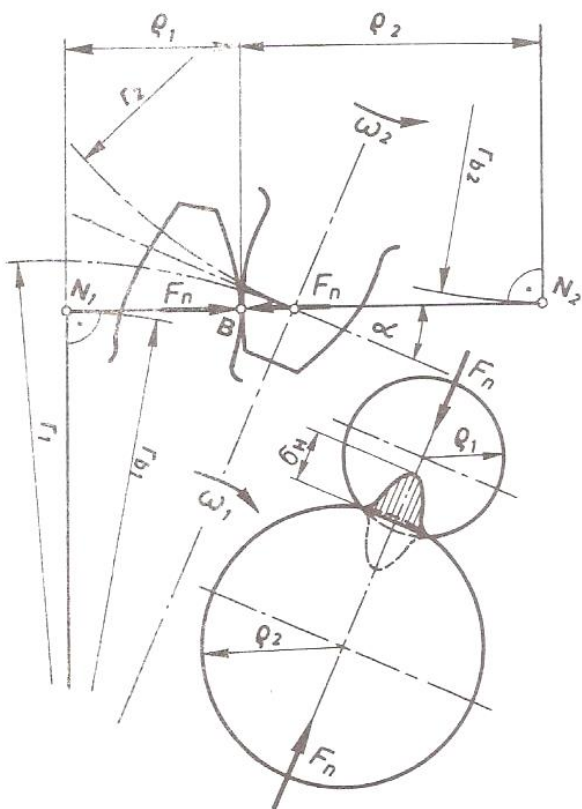
$$\text{inv} \alpha_k - \text{inv} \alpha_s = \delta_k$$

pokazuje da je izračunat napadni ugao veći od napadnog ugla α_s koji bi odgovarao evolventnom, i obratno. Ako je izračunata razlika δ manja od neke unapred određene δ_{dov} , koja se usvaja u zavisnosti od željene tačnosti $\delta_{\text{dov}} = 10^{-4}$ ili 10^{-5} , izračunati napadni ugao dovoljno tačno odgovara evolventnom. Ukoliko je izračunata razlika veća od dozvoljene,

proba se sa prvim manjim ako je razlika δ pozitivna, a sa prvim većim ako je razlika negativna, prema jednačini

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k \mp \delta_k / \text{tg}^2 \alpha_k$$

(znak minus je za pozitivnu razliku δ , a znak plus za negativnu). Za ovaj $k+1$ napadni ugao određuje se ponovo razlika $\text{inv} \alpha_{k+1} - \text{inv} \alpha_s = \delta_{k+1}$ a ako je manja od dozvoljene, traženi napadni ugao $\alpha_s = \alpha_{k+1}$ u radijanima, a $\alpha_s = \alpha_{k+1} \cdot 180 / \pi$ u stepenima. Ako je i dalje razlika veća od dozvoljene, čini se sledeći korak $\alpha_{k+2} = \alpha_{k+1} \mp \delta_{k+1} / \text{tg}^2 \alpha_{k+1}$, sve dok se ne dostigne željena razlika δ . Sa datim veličinama za k najčešće je dovoljan jedan ili dva koraka. U principu, proračun se može vršiti samo sa najvećom vrednošću $k=3$, ali je potreban broj koraka znatno veći.



Сл. 4.51 - Распредела напона σ_H на боковима зубаца

силу F_n обимном силом F_t на подеоној кружности (пречника d_1) на којој је нападни угао α , $F_n = F_t / \cos \alpha$, увећану фактором оптерећења K_H , једначина за напон добија облик:

$$\sigma_H = Z \sqrt{\frac{F_t}{b \cdot d_1} \frac{u+1}{u}} K_H \leq \sigma_d.$$

За зупчанике са правим зупцима без померања профила величине Z приближно износи $2,5 Z_E$, а са помереним профилима ($x_1 + x_2 > 0$) $Z = (2,3 \dots 2,5) Z_E$, при чему за веће вредности збира померања треба усвајати мање вредности Z . Величином Z_E узима се у обзир утицај еластичности материјала, те за оба зупчаника од челика износи $Z_E = 189 \sqrt{(\text{N/mm}^2)}$, а ако је велики зупчаник од сивог лива — $Z_E = 163 \sqrt{(\text{N/mm}^2)}$.

Напони на еволвентним завојним боковима зубаца косозубних зупчаника су мањи, те фактор Z треба смањити: $Z = 2,5 Z_E \cos \beta$.

Израчунати напони могу бити приближно једнаки дозвољеном σ_d , који се добија на основу трајне издржљивости $\sigma_{H \text{ lim}}$ у N/mm^2 и степена сигурности S , тј.

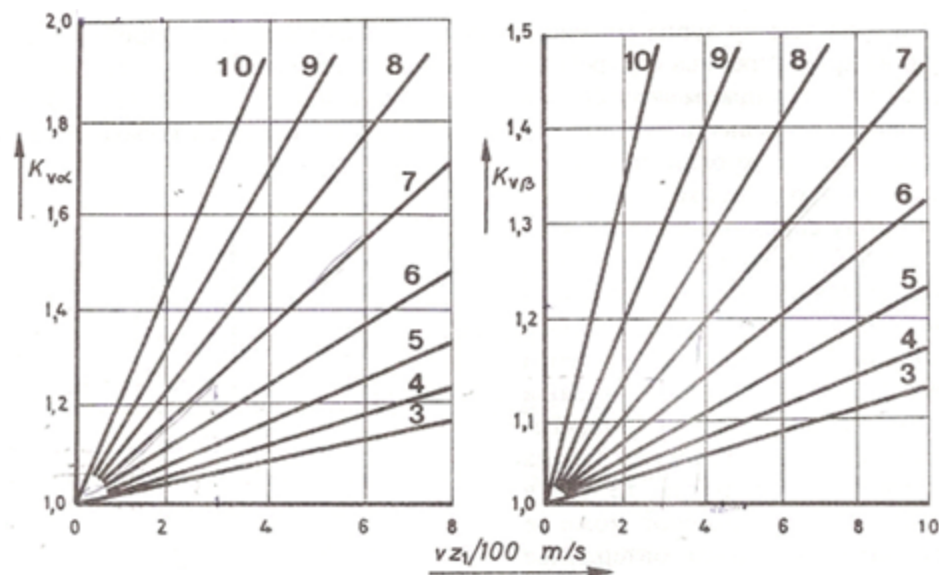
$$\sigma_d = \sigma_{H \text{ lim}} / S.$$

$S = 1,4$ до 2 , а бира се у зависности од процењене тачности коришћених величина оптерећења и значаја негативних последица разарања бокова.

У претходном прорачуну горња једначина за напон може користити за претходно одређивање пречника подеоне кружности малог зупчаника ако се претпостави однос ширине зупчаника b и овог пречника $\varphi = b/d_1$, а обимна сила F_t изрази обртним моментом $F_t = 2T/d_1$:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{2 T_1}{\varphi \cdot \sigma_d^2} \frac{u+1}{u} K_H \cdot Z^2}.$$

За зупчанике од побољшаних челика однос φ се усваја од $\varphi = 0,5 \dots 1,4$, за цементиране зупце $\varphi = 0,4 \dots 1$. Веће вредности треба бирати за зупчанике симетрично постављене између лежишта и за боље квалитете течности израде, а мање за зупчанике на препусту и за грубе квалитете толеранција.



Сл. 4.47 - Фактор унутрашњих динамичких сила а) $K_v = K_{v\alpha}$ за цилиндричне зупчанике са правим зуцима, б) код косозубних зупчаника $K_v = K_{v\beta}$ за $\varepsilon_\beta > 1$, а за $\varepsilon_\beta < 1$ $K_v = K_{v\beta} - \varepsilon_\beta (K_{v\beta} - K_{v\alpha})$; v - обимна брзина у m/s, z_1 - број зубаца малог зупчаника

ПРИБЛИЖНЕ ВРЕДНОСТИ ФАКТОРА РАСПОДЕЛЕ ОПТЕРЕЂЕЊА ($K_{H\beta}$)

$\frac{b}{d_1}$	Оба зупчаника симетрична између ослонаца	Зупчаник несиметричан између ослонаца		Зупчаник на препусту
		A	B	
0,4	1 ... 1,03	1,03 ... 1,07	1,05 ... 1,15	1,12 ... 1,3
0,6	1,02 ... 1,05	1,05 ... 1,10	1,08 ... 1,20	1,2 ... 1,5
0,8	1,04 ... 1,08	1,08 ... 1,20	1,12 ... 1,25	1,3 ... 1,6
1	1,05 ... 1,12	1,10 ... 1,27	1,15 ... 1,35	—
1,2	1,07 ... 1,15	1,12 ... 1,35	1,2 ... 1,5	—
1,4	1,10 ... 1,25	1,10 ... 1,42	1,25 ... 1,50	—
1,6	1,13 ... 1,30	1,20 ... 1,50	1,3 ... 1,6	—

b - ширина зупчаника; d_1 - пречник мањег зупчаника
 Мање вредности треба бирати за побољшање или термички необрађене зупчанике, за боље квалитете толеранција и кориговане бочне линије зубаца.
 Веће вредности треба бирати за површински отврднуте бокове зубаца или за грубље квалитете толеранције.
 Вредности под А односе се на вратила са већим деформацијама при савијању.
 Вредности под В треба бирати за мање деформациј, круће вратило, као на пример ако је однос растојања између ослонаца и пречника вратила мањи од 3.
 Фактор $K_{F\beta}$ - усвајати мањи од $K_{H\beta}$.

Т 4.2 стандардне величине модула

Група I	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50
Група II		1.25	1.375	1.75	2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	7	9	11	14	18	22	28	36	45

За полазну издржљивост подножја зубаца узима се одговарајућа трајна динамичка издржљивост за једносмерну промену напона $\sigma_{F \text{ lim}}$ чије су вредности дате у табелици 4.5.

Ове вредности одговарају условима испитивања, односно зупчаницима са фактором концентрације напона $Y_{ST}=2$, са модулом до 5 mm и са храпавошћу $R_z = 10 \mu\text{m}$. За радне услове који се могу разликовати од огледних критични напони $\sigma_{F \text{ lim}}$ се могу добити приближним кориговањем:

$$[\sigma_F]_M = Y_{\Pi} \sigma_{F \text{ lim}},$$

где је:

$Y_{\Pi} = 2$ за модул $m \leq 5 \text{ mm}$, а

$Y_{\Pi} = 1,7 \dots 2$ за модуле $m \geq 5 \text{ mm}$ и грубље храпавости од $R = 10 \mu\text{m}$. За зупчанике са наизменичним оптерећењем левих и десних бокова зубаца горњи критичан напон $[\sigma_F]_M$ треба смањити, односно помножити са $0,7$.

Степен сигурности против лома зубаца добија се као однос критичног и радног напона:

$$s = \frac{[\sigma_F]_M}{\sigma_F}$$

Вредности овог степена сигурности треба да су веће од степена сигурности против разарања бокова, јер лом зубаца изазива непосредан прекид рада и може имати неповољне последице за друге елементе. Стога степен сигурности против лома треба да се налази у границама $s = 1,6 \dots 2,4$.

138

Таблица 4.8.

ФАКТОР ОБЛИКА Y_{Fa}

Z_n	$x = -0,4$	$-0,2$	$-0,1$	0	$+0,1$	$+0,2$	$+0,3$	$+0,4$	$+0,6$
8	—	—	—	—	—	—	3,325	2,98	2,465
9	—	—	—	—	—	3,50	3,125	2,83	2,40
10	—	—	—	—	3,66	3,30	2,98	2,72	2,34
11	—	—	—	—	3,48	3,15	2,875	2,645	2,30
12	—	—	—	3,66	3,33	3,03	2,785	2,58	2,27
14	—	—	—	3,36	3,10	2,86	2,655	2,48	2,215
16	—	—	3,455	3,17	2,945	2,73	2,565	2,42	2,18
18	—	3,53	3,26	3,02	2,825	2,64	2,50	2,37	2,16
20	—	3,35	3,12	2,91	2,74	2,58	2,45	2,33	2,14
22	—	3,21	3,01	2,83	2,67	2,525	2,41	2,30	2,125
24	3,54	3,09	2,92	2,75	2,605	2,48	2,375	2,275	2,12
26	3,395	2,95	2,84	2,69	2,56	2,44	2,345	2,26	2,1
30	3,18	2,85	2,72	2,60	2,48	2,38	2,35	2,225	2,095
35	2,985	2,72	2,615	2,51	2,415	2,33	2,265	2,195	2,085
40	2,86	2,63	2,54	2,45	2,37	2,295	2,23	2,177	2,08
45	2,76	2,55	2,48	2,405	2,325	2,27	2,215	2,165	2,075
50	2,675	2,50	2,43	2,37	2,295	2,245	2,195	2,15	2,07
60	2,57	2,42	2,37	2,315	2,255	2,215	2,175	2,135	2,069
80	2,43	2,325	2,29	2,245	2,20	2,175	2,14	2,212	2,067
100	2,35	2,27	2,24	2,21	2,175	2,15	2,125	2,10	2,065
150	2,25	2,19	2,17	2,15	2,13	2,115	2,10	2,085	2,064
200	2,21	2,17	2,16	2,135	2,12	2,11	2,095	2,083	2,063
300	2,16	2,13	2,12	2,11	2,105	2,095	2,085	2,07	2,063

За зупчаницу $Y_{Fa} = 2,065$

- $Z_n = Z$ — за цилиндричне правозубе зупчанике
- $Z_n = Z / \cos^3 \beta$ — за цилиндричне косозубе зупчанике
- $Z_n = Z_v = Z / \cos^0$ — за коничне правозубе зупчанике
- $Z_n = Z_v = Z / \cos \delta \cos \beta_m$ — за коничне косозубе зупчанике

Угао основне зупчанице $\alpha_n = 20^\circ$, висина праволинијског дела подношке једнака је $1 m_n$, висина главе алата $1,25 m_n$, полупречник заобљења главе алата $\rho_a = 0,25 m_n$.

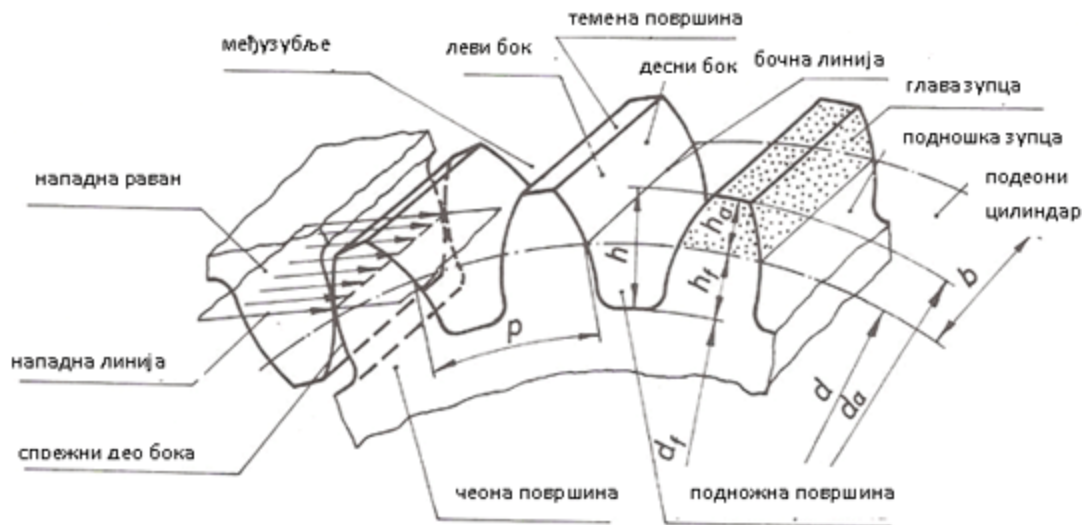


Таблица 4.8.

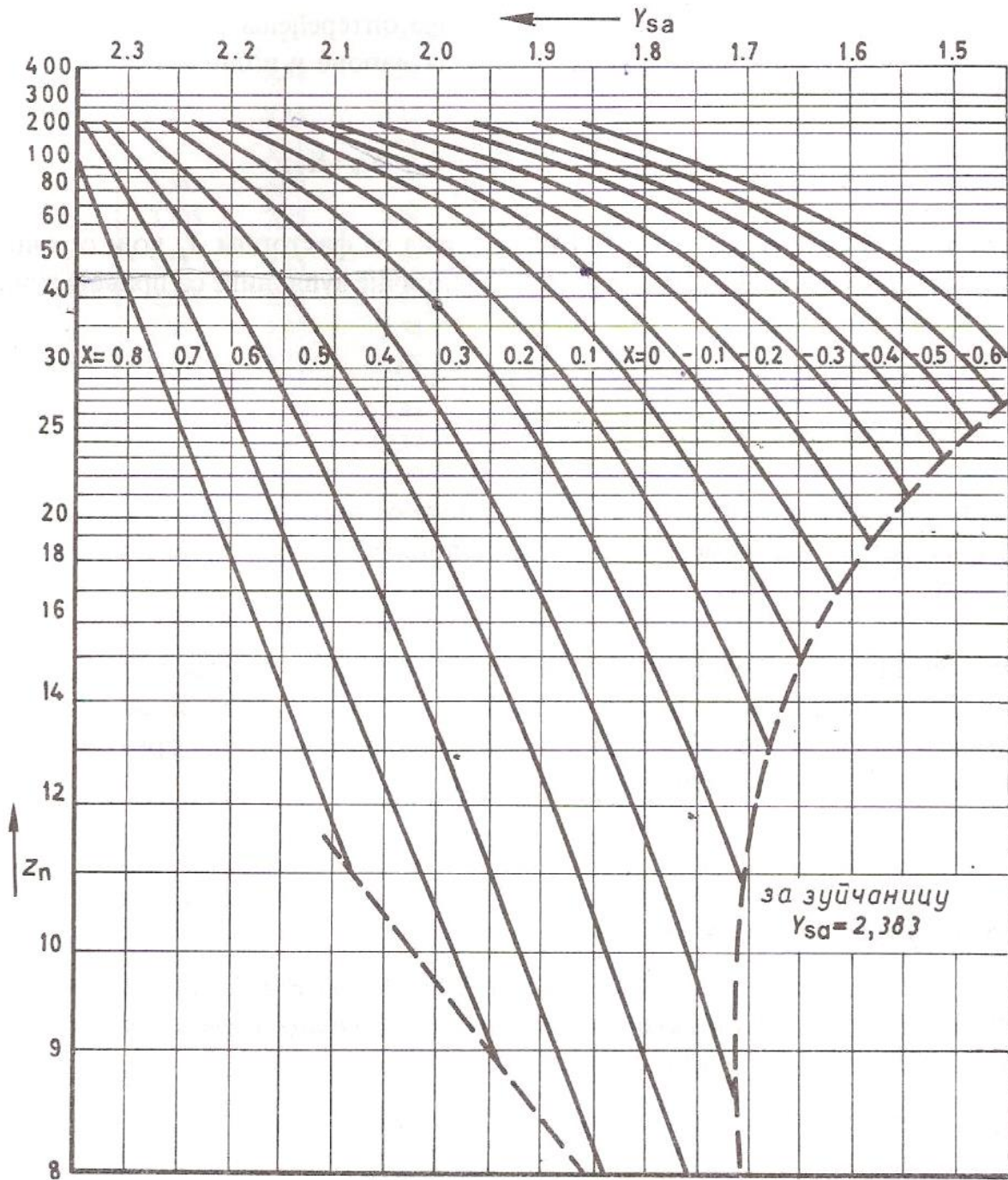
ФАКТОР ОБЛИКА Y_{Fa}

Z_n	$x = -0,4$	$-0,2$	$-0,1$	(0)	$+0,1$	$+0,2$	$+0,3$	$+0,4$	$+0,6$
8	—	—	—	—	—	—	3,325	2,98	2,465
9	—	—	—	—	—	3,50	3,125	2,83	2,40
10	—	—	—	—	3,66	3,30	2,98	2,72	2,34
11	—	—	—	—	3,48	3,15	2,875	2,645	2,30
12	—	—	—	3,66	3,33	3,03	2,785	2,58	2,27
14	—	—	—	3,36	3,10	2,86	2,655	2,48	2,215
16	—	—	3,455	3,17	2,945	2,73	2,565	2,42	2,18
18	—	3,53	3,26	3,02	2,825	2,64	2,50	2,37	2,16
20	—	3,35	3,12	2,91	2,74	2,58	2,45	2,33	2,14
22	—	3,21	3,01	2,83	2,67	2,525	2,41	2,30	2,125
24	3,54	3,09	2,92	2,75	2,605	2,48	2,375	2,275	2,12
26	3,395	2,95	2,84	2,69	2,56	2,44	2,345	2,26	2,1
30	3,18	2,85	2,72	2,60	2,48	2,38	2,35	2,225	2,095
35	2,985	2,72	2,615	2,51	2,415	2,33	2,265	2,195	2,085
40	2,86	2,63	2,54	2,45	2,37	2,295	2,23	2,177	2,08
45	2,76	2,55	2,48	2,405	2,325	2,27	2,215	2,165	2,075
50	2,675	2,50	2,43	2,37	2,295	2,245	2,195	2,15	2,07
60	2,57	2,42	2,37	2,315	2,255	2,215	2,175	2,135	2,069
80	2,43	2,325	2,29	2,245	2,20	2,175	2,14	2,212	2,067
100	2,35	2,27	2,24	2,21	2,175	2,15	2,125	2,10	2,065
150	2,25	2,19	2,17	2,15	2,13	2,115	2,10	2,085	2,064
200	2,21	2,17	2,16	2,135	2,12	2,11	2,095	2,083	2,063
300	2,16	2,13	2,12	2,11	2,105	2,095	2,085	2,07	2,063

За зупчаницу $Y_{Fa} = 2,065$

$Z_n = Z$ — за цилиндричне правозубе зупчанике
 $Z_n = Z / \cos^3 \beta$ — за цилиндричне косозубе зупчанике
 $Z_n = Z_v = Z / \cos^3 \alpha$ — за коничне правозубе зупчанике
 $Z_n = Z_v = Z / \cos \delta \cos \beta_m$ — за коничне косозубе зупчанике

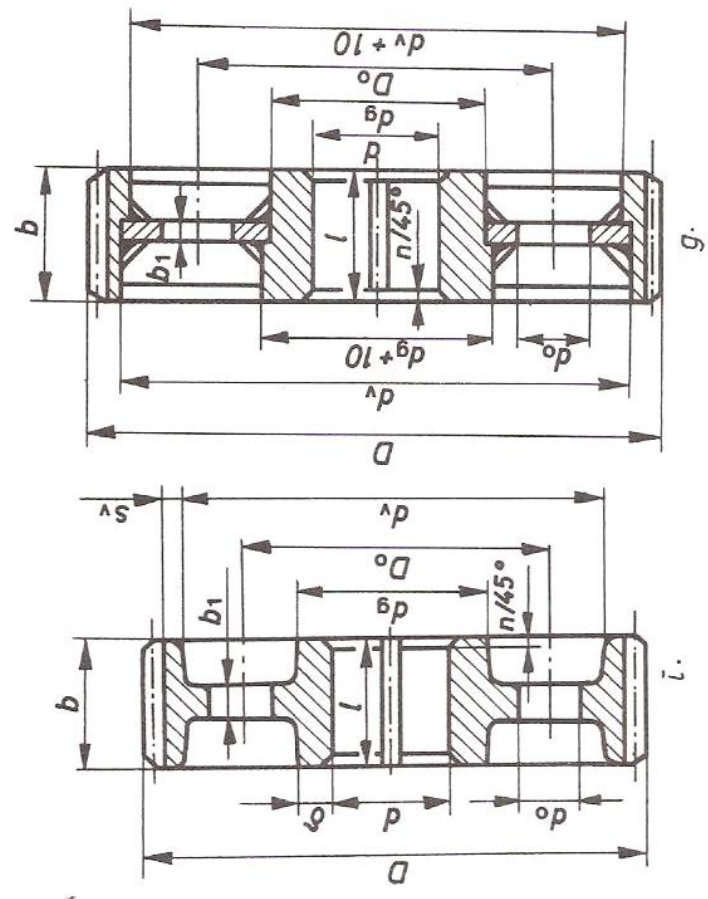
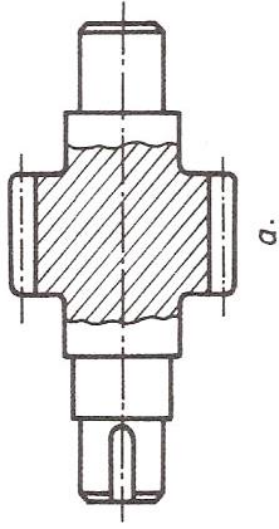
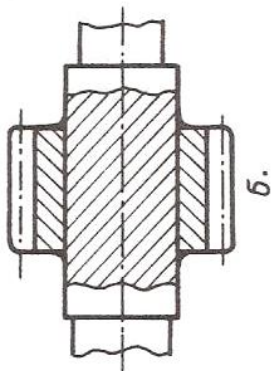
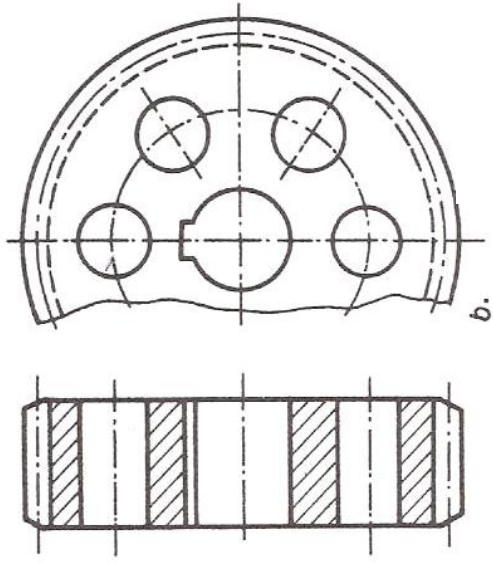
Угао основне зупчанице $\alpha_n = 20^\circ$, висина праволинијског дела подношке једнака је $1 m_n$, висина главе алата $1,25 m_n$, полупречник заобљења главе алата $\rho_a = 0,25 m_n$.



Угао основне зупчанице $\alpha = 20^\circ$, висина праволинијског дела подношке је m_n , висина главе алата $1,25 m_n$ полупречник заобљења галве алата $R_{a\sigma} = 0,25 m_n$

- | | |
|--|--|
| $Z_n = Z$ | — за цилиндричне правозубе зупчанике |
| $Z_n = Z / \cos^3 \beta$ | — за цилиндричне косозубе зупчанике |
| $Z_n = Z_v = Z / \cos \beta$ | — за коничне правозубе зупчанике |
| $Z_n = Z_v = Z / \cos \delta \cos \beta_m$ | — за коничне зупчанике са кривим зупцима |

Сл. 4.54 — Фактор концентрације напона y_{sa} ; z — број зубаца правозубих зупчаника, z_n — број зубаца еквивалентног зупчаника



$$d_g = (1.6 \dots 1.8) d$$

$$b_1 = 0.3 b$$

$$d_v = d_k - 10 m$$

$$d_0 = \frac{d_v - d_g}{5}$$

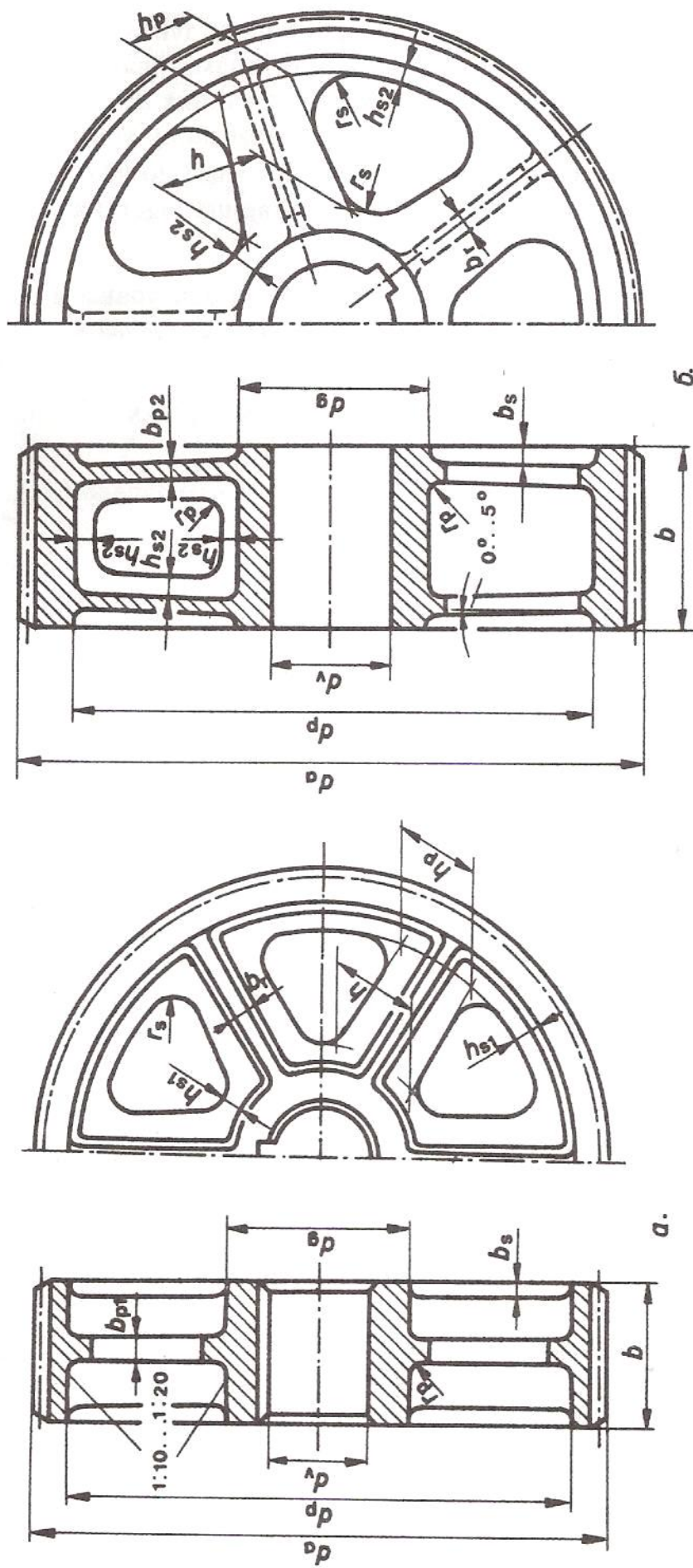
$$D_0 = \frac{d_v + d_g}{2}$$

$$l = (1 \dots 1.3) d$$

$$n = 0.5 m$$

m — модуль

Обликовање зупчаника од челика: а) изједна са вратилом, б) заварених са вратилом, в) облику плоче, г) ковањем, д) заваривањем



За $d_a < 1000$ mm ; $b < 200$ mm ; $m < 25$ mm
 $d_p = d_a - 10m$; $d_g = 16d_v$; $b_{p1} = (0.15 \dots 0.2)b$; $b_{p2} = (0.12 \dots 0.15)b$; $b_r = (0.7 \dots 0.8)b_{p1}$; $b_s = (0.15 \dots 0.2)h$
 $h = (0.8 \dots 1)d_v$; $h_p = (0.7 \dots 0.8)h$; $h_{st} = (0.15 \dots 0.2)d_v$; $h_{s2} = (0.1 \dots 0.18)d_v$; $r_s > 0.4h$; $r_p > 10$ mm .

Обликовање зупаника од сивога лива и челичног лива