

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Дипломске академске студије
Модул: Машинске конструкције и механизација
Предмет: Машински елементи
Број индекса: 7/ 1999**

Милош П. Вуковић

Спојнице

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Др Мирко Благојевић, ван. проф. – ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да систематизује постојећа знања из области спојница, опише њихову функцију и начин прорачуна.

Препоручена литература:

[1] Николић В. , Машински елементи – теорија, прорачун, примери , Машински факултет у Крагујевцу, 2004.

[2] Милтеновић В., Огњановић М., Машински елементи III (елементи за обртно кретање, течности и гасове), Машински факултет Ниш, Београд, 1995.

Крагујевац, 2015.

ментор:
Др Мирко Благојевић, ван. проф.

Abstract

In this labour is given an overview of couplings, their using, characteristics and description of specific couplings.

Резиме

У овом раду је дата подела и преглед спојница, њихова примена, карактеристике и опис појединих спојница.

Садржај

1. Увод	4
2. Спојнице	5
2.1 Задатак и подела	5
2.2 Нераздвојиве спојнице	6
2.2.1 Круте спојнице	6
2.2.2 Прилагодљиве спојнице	13
2.2.2.1 Прилагодљиве нееластичне спојнице	14
2.2.2.2 Прилагодљиве еластичне спојнице	31
2.3.1 Споља (даљински) управљане укључно – искључне спојнице	38
2.3.1.1 Канцаста укључно-искључна спојница	39
2.3.2.2 Укључно – искључна спојница са гуменим прстеновима	41
2.3.2.3 Зупчасте укључно – искључне спојнице	42
2.3.2.4 Фрикционе укључно - искључне спојнице	44
2.3.2.5 Сигурносне спојнице	63
2.3.2.5.1 Фрикционе сигурносне спојнице	68
2.3.2.5.2. Сигурносне спојнице са комбинованом везом обода	69
2.3.3 Хидродинамичке спојнице	72
3. Закључак	76

1. Увод

У савременом машинству спојнице имају велики значај. Спојнице су машински елементи који се користе за спајање два саосна или приближно саосна обртна машинска елемента ради преношења обртних момената. Првенствено се користе за спајање вратила, а у мањој мери зупчаника, ланчаника, ременица и других обртних преносничких елемената. Најчешће се користе за повезивање вратила погонске са вратилом радне машине. Поред преношења обртног момента са вратила погонске машине на вратило радне машине имају улогу и да спрече појаву оштећења радне машине у случају преоптерећења.



Слика 1.1 Спојница

2. Спојнице

2.1 Задатак и подела

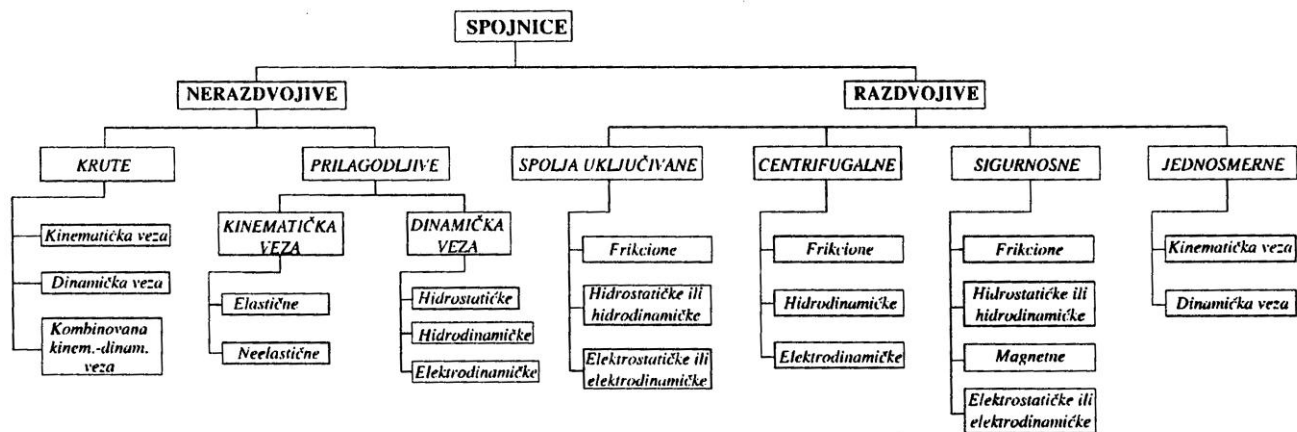
Спојнице су машински елементи који служе за спајање два коаксијална вратила или вратила са обртним деловима ради преношења обртног момента. Најчешћи случај је спајање вратила погонске машине са вратилом радне машине, али се такође могу спајати трансмисиона вратила, и вратила са обртним деловима као што су зупчаници, ланчаници, каишници, итд. С тачке гледишта израде, монтаже као и саме функције делова спојнице имају и улогу раздвајања делова.

Поред ове основне функције, спојнице имају и низ других додатних функција као што су:

- преношење обртног момента између вратила са радијалним, аксијалним и угаоним одступањима њихових оса у односу на тачан положај;
- пригушење торзионих осцилација и ударних оптерећења у току рада;
- даљинско или аутоматско управљање преноса обртног момента;
- осигурање система од преоптерећења или пренос обртног момента само у једном смеру [1].

Ради испуњења основне и допунских функција развијен је велики број различитих типова спојница. Основна подела спојница извршена је према могућности раздвајања везе у току рада и то на :

- нераздвојиве, које обезбеђују непрекидно преношење обртног момента у току рада, без могућности међусобног раздвајања вратила,
- раздвојиве, које по потреби омогућују њено укључивање и искључивање у току рада. Зависно од карактеристика, подручја примене и принципа рада могућа је класификација раздвојивих и нераздвојивих спојница. Систематска подела спојница дата је на слици 2.1.1 [1]



Слика 2.1.1 Класификација спојница, [1]

Спојнице махом производе специјализоване фабрике. Задатак конструктора је врло често, да према каталогу произвођача изврши избор типа и величине спојнице на основу пречника вратила, оптерећења и радних услова.

2.2 Нераздвојиве спојнице

Нераздвојиве спојнице спајају вратила у једну кинематичку целину, која се може раздвојити само расклапањем спојнице. Према начину преношења обртног момента и могућности компензације нетачности положаја вратила, деле се на круте и прилагодљиве.

2.2.1 Круте спојнице

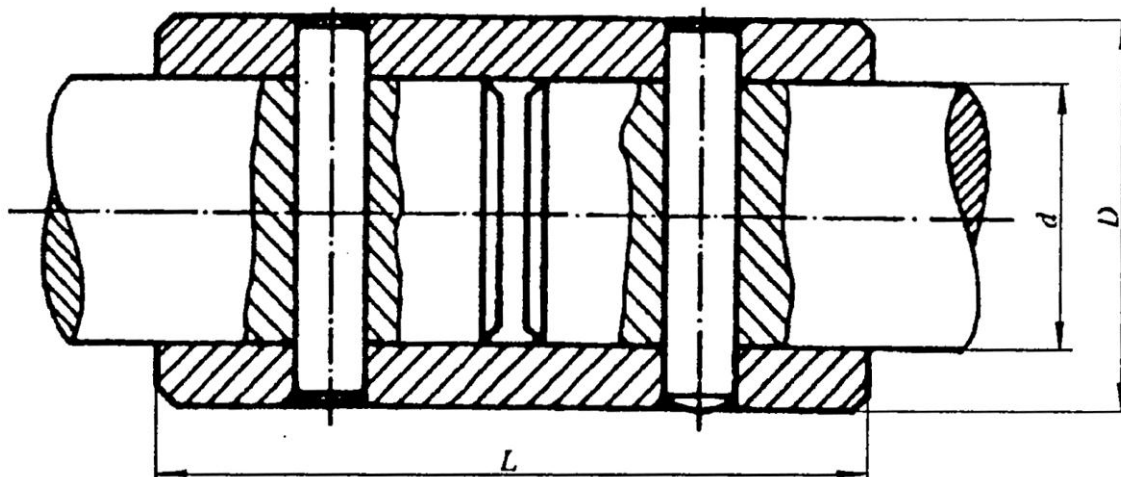
Круте спојнице спајају вратила у једну статичку целину. Сви удари, вибрације и неправилности обртног момента преносе се у потпуности са једног вратила на друго. Ове спојнице преносе се не само моменте увијања већ и моменте савијања са једног вратила на друго, односно чини спојена вратила статички неодређеним носачем.

За уградњу крутих спојница захтева се врло висока тачност у погледу саосности вратила. Уколико то није испуњено, онда при склапању спојнице долази до еластичних деформација вратила, лежаја и саме спојнице. Величину ових оптерећења је јако тешко одредити и контролисати. Према томе уградња крутих спојница препоручује се само уколико је обезбеђена потпуна саосност вратила.

Основне предности ових спојница су мале димензије, велики обртни момент који могу да пренесу у оба смера, једноставно конструкционо извођење и што у току експлоатације практично не захтевају никакво одржавање.

а) Спојница са наглавком

Наглавак од челика (Ѓ 0445) навучен је на крајеве вратила и причвршћен на вратило конусним чивијама (Слика 2.2.1) или клиновима. Одликује се једноставном конструкцијом и ниском ценом. Недостатак је отежана монтажа, због неопходног аксијалног померања вратила.



Слика 2.2.1 Спојница са наглавком, [1]

Уобичајене димензије су :

$D = (1,4 \dots 2) \cdot d$ – спољни пречник наглавка,

$L = (2,5 \dots 3,5) \cdot d$ – дужина наглавка.

Спојница са наглавком примењују се углавном за пречнике вратила $D = 10 \dots 100 \text{ mm}$.

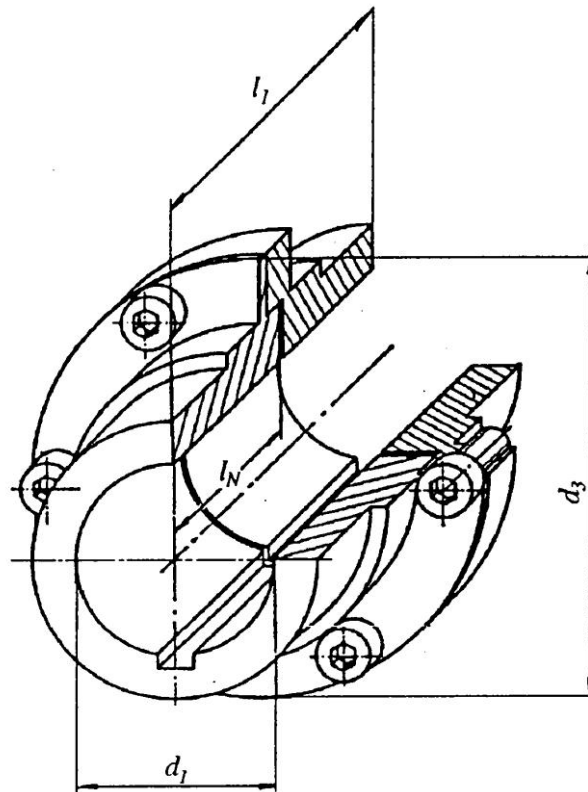
б) Спојница са ободима

Спојнице са ободима примењују се за спајање јако оптерећених вратила, која преносе обртни момент у оба смера, а оптерећена су знатним радијалним и аксијалним силама.

Полутке спојница састоје се од главчина са ободима, на којима се налазе отвори за завртње (Слика 2.2.2). Суседни ободи међусобно се спајају низом подешених завртњева, а главчине спојница навлаче на крајеве вратила тако да остварују пресовани склоп и додатно се осигуравају клиновима. За пречнике вратила од 25 до 250 mm спојнице са ободима су стандардизоване (Табела 2.1).

Завртњеви, којим се спајају полутке спојница, обезбеђују одговарајућу крутост спојнице у радијалној и у аксијалним равнинама. Код спојница се углавном примењују

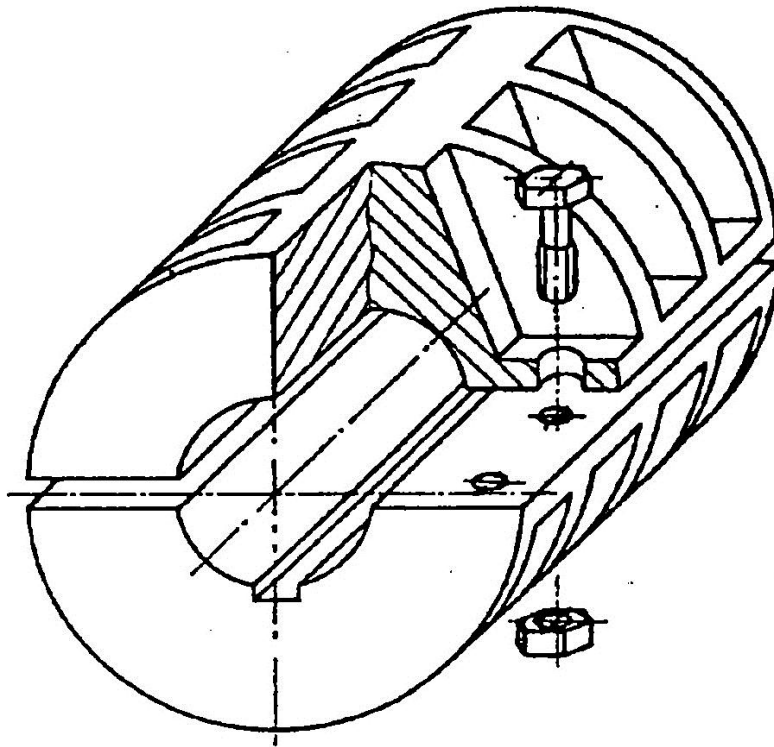
подешени завртњеви, али су они јако притегнути, тако да се обртни момент у великој мери преноси путем трења. Глава и навртка завртњева заштићени су ободима.



Слика 2.2.2. Спојница са ободима, [1]

Међусобно центрирање полутки спојница, изводи се помоћу цилиндричног испуста на једној полутки и одговарајућег удубљења на другој (Слика у Табели 2.1). Недостатак оваквог начина центрирања је неопходност аксијалног померања вратила при склапању и расклапању спојнице. Уколико то није могуће примењује се варијанта где се центрирање изводи помоћу дводелног прстена (Слика б у Табели 2.1). Спајање полутки спојнице изводи се подешеним завртњевима и то заједно са прстеном за центрирање. На ободу прстена налази се навој, тако да се помоћу посебног завртња врши њихова лака демонтажа.

Основне мере и носивост спојнице са испустом (облик А) и спојнице са дводелним прстеном (облик Б) дате су у Табели 2.1. Уколико су пречници спојених вратила различити (редукциона спојница), онда се димензије спојнице бирају према већем пречнику вратила.



Слика 2.2.3. Оклопна спојница

С обзиром да је спојница дводелна то је њена монтажа и демонтажа могућа без икаквог померања и демонтаже вратила. Мере оклопне спојнице према DIN 115 дате су у Табели 2.1.

Број завртања којима се спајају дводелни оклопи износи $i = 6 \dots 8$. Сила, којом сваки завртањ делује на половину спојнице, износи:

$$F_1 = \frac{4 \cdot K_A \cdot T}{\pi \cdot \mu \cdot i \cdot d}$$

тако да је сила притезања завртња:

$$F_p = \xi_p \cdot F_1$$

Где је : T -номинални обртни момент ;

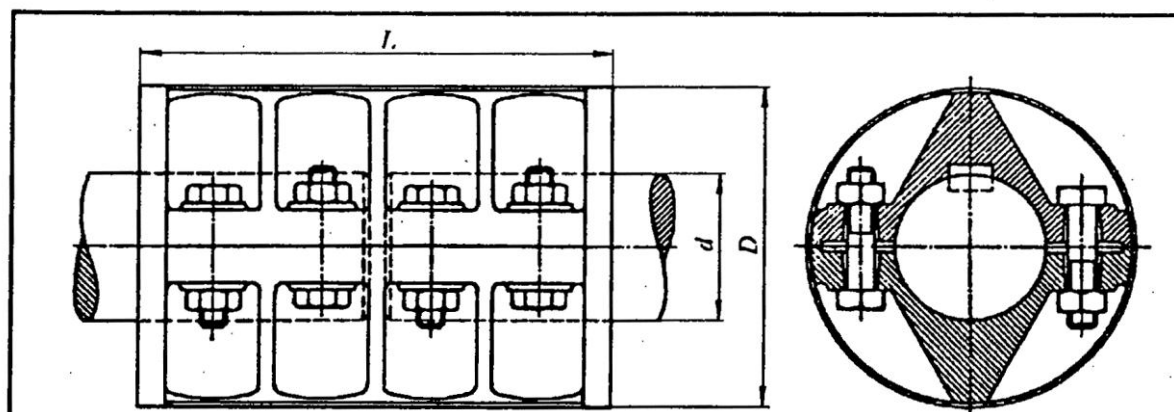
K_A - фактор радних услова;

μ - коефицијент трења, који се креће у границама $\mu = 0,2 \dots 0,25$;

d - пречник вратила;

ξ_p - фактор притезања ($\xi_p = 1,6 \dots 2,5$)

Табела 2.2 Димензије оклопне спојнице, [1]



d mm	25 i 40	30 i 35	45 i 50	55 i 60	70	80	90	100	110	125	140
D mm	105	115	140	155	180	195	220	240	270	290	320
L mm	130	160	190	220	250	280	310	350	390	430	490
G N	35	54	78	115	170	210	325	430	705	980	1450

г) Хиртова зупчаста спојница

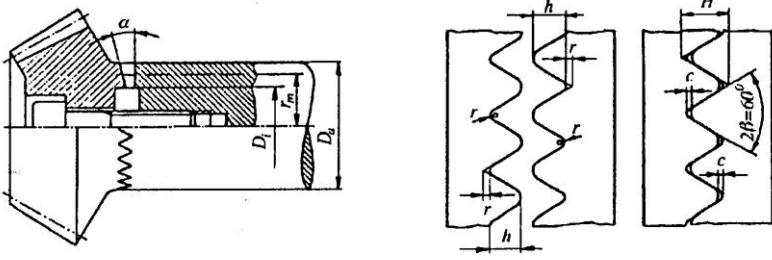
Код Хиртове зупчасте спојнице на чеоном делу вратила и дела који се са њим спаја урезани су зупци, који су постављени радијално ка средишту вратила (Voit – Hirt озубљење). Делови се међусобно повезују завртњем (Табела 2.2). Поред функције преношења обртног момента, зупци својим обликом врше и центрирање спојених делова. Због тога се при изради захтева висока тачност, што чини спојницу доста скупом.

Ова спојница погодна је за спајање вратила са зупчаницима и другим деловима, при чему се поједини делови израђују од различитог материјала, независно један од другог, затим лако међусобно спајају и по потреби замењују.

Основне мере Хиртове спојнице као и димензије озубљења дате су у Табели 2.3. Ако вратило преноси обртни момент T , на зупце делује обимна сила F_t , која доводи до притиска спрегнутих бокова у смеру окретања. При томе настаје и аксијална компонента F_a , која тежи да раздвоји спрегнуте бокове. Узимајући у обзир и трење, да не би дошло до раздвајања бокова мора бити обезбеђена аксијална сила

$$F_a > F_t \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \rho). \text{ За } \alpha = 30^\circ \text{ и } \rho = 8^\circ \text{ добија се } F_a > 0,4 F_t$$

Табела 2.3. Основне мере Хиртове спојнице, [1]



Групе	D_a у mm		z	H	α	D_a у mm		z	H	α
	od	do				od	do			
A	10					25				
B	11	109	12	$0.226D_a$	12.73°	43	224	48	$0.0566D_a$	6.45°
C	16					64				
A	20					50				
B	22	219	24	$0.1132D_a$	12.73°	64	245	72	$0.0378D_a$	4.32°
C	32					96				
A	20					50				
B	32	217	36	$0.075D_a$	8.58°	86	449	96	$0.0283D_a$	3.23°
C	48					128				

Група А		Група В		Група С	
r у mm	c у mm	r у mm	c у mm	r у mm	c у mm
0.3	0.4	0.6	0.6	0.9	0.9

Код ове спојнице критичан је притисак између спрегнутих бокова. Као меродавна притисна површина узима се пројекција додирне површине спрегнутих бокова на раван, која је нормална на правац нападне линије обимне силе F_t . Због толеранција при изради постоји и неравномерност расподеле обимне силе између зубаца, што се узима у обзир фактором ξ_r . С обзиром да се оне свде на средњи пресек, тако да израз за одређивање притиска између спрегнутих бокова p у N/mm^2 има облик

$$p = \frac{F_t \cdot \xi_r}{z \cdot b \cdot (H - 5 \cdot c)} \cdot \frac{r_a}{r_m} \leq p_{doz}$$

Где је: F_t – обимна сила у N у средњем пресеку озубљења ($F_t = \frac{T}{r_m}$)

z – број зубаца

b – дужина зупца у mm

H- теоријска висина профила у mm

ξ_r – фактор неравномерне расподеле оптерећења између зубаца ($\xi_r = 1,35$);

r_a – спољашњи полупречник озубљења у mm;

p_{doz} – дозвољени површински притисак у споју, који износи

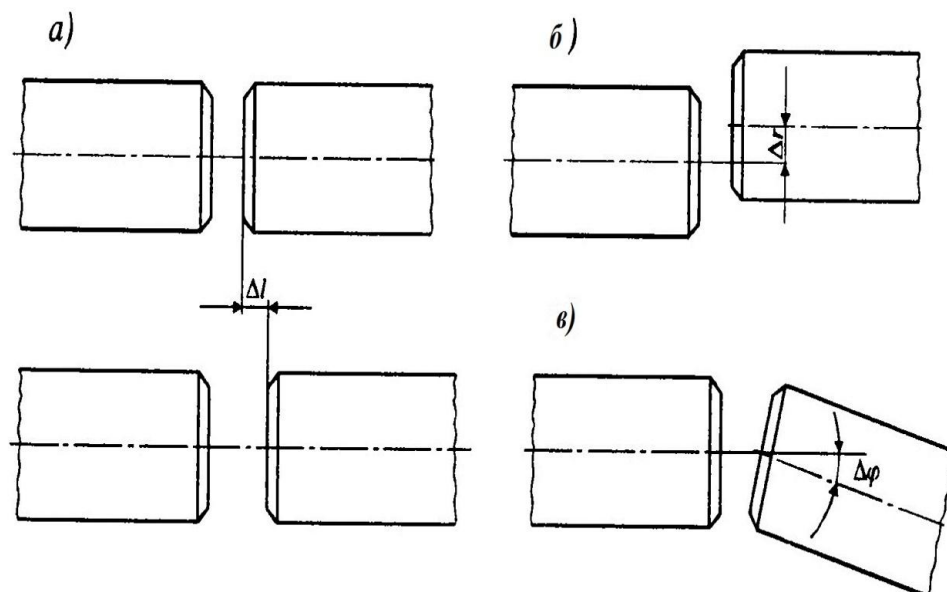
$$p_{doz} = \frac{R_e}{S} = \frac{R_e}{(2,3, \dots 3)}$$

Где се R_e односи на слабији материјал споја .

Ако се аксијална сила F_a остварује помоћу завртња, онда се узима да сила притезања завртња износи $F_p = F_a \cong F_t$. Код примене већег броја завртњева, сила притезања сваког завртња износи $F_p = F_t/i$, где је i – број завртњева. Хиртова спојница примењује се код алатних машина, као као и за спајање засебних делова коленастог вратила у једну целину, ради примене котрљајних лежаја.

2.2.2 Прилагодљиве спојнице

Код примене ових спојница, због термичких дилатација, може доћи до ометаног издужења вратила, праћено појавом додатних оптерећења лежаја. Преношење момената савијања са једног вратила на друго, као и несаосност вратила код примене крутих спојница такође додатно оптерећује лежаје и вратила. Због тога се намеће потреба примене спојница, које могу да компензују међусобна аксијална Δl , радијална Δr и угаона $\Delta \alpha$ одступања оса спојених вратила (Слика 2.2.2.1). Ове спојнице називају се прилагодљиве спојнице. Оне могу преносити обртни момент са и без пригушења удара и вибрација у раду, дакле могу бити нееластичне и еластичне.



Слика 2.2.2.1. Аксијална (а) , радијална (б) и угаона (в) одступања вратила, [1]

2.2.2.1 Прилагодљиве нееластичне спојнице

а) Канцаста спојница

Канцаста спојница састоји се од две главчине које су пресовањем навучене на крајеве вратила, и додатно осигуране клиновима. Главчине су проширене у ободу који са чеоне стране имају по три канце и по три чеона жлеба (Слика 2.2.2.1. б). Канце полутки спојница међусобно се спрежу боковима, при чему се образује налегање са малим зазорима.

Центрирање вратила изводи се или преко главчине једне полутке спојнице (Слика 2.2.2.1 а – дводелна спојница) или преко посебног прстена (Слика 2.2.2.1. б – троделна спојница).

Осим могућности компензације аксијалног померања вратила, остале особине канцасте спојнице су исте као и код крутих спојница. Примењује се код дужих трансмисионих вратила где се очекују веће термичке дилатације Δl , која мора бити мања од зазора између обода полутки спојница f , односно :

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta \vartheta \cdot < f$$

где је: l —дужина вратила; $\Delta \vartheta$ — разлика температуре; α — коефицијент линеарног ширења (за челик $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} K$; f — зазор између обода полутки спојница.

Канцасте спојнице примењују се за зупчанике вратила од 40 до 200 mm. Основне мере спојнице у mm бирају се у следећим границама (Слика 1.4. а): $D = (3 \dots 4) \cdot d$

$$D_1 = (1,75 \dots 2) \cdot d$$

$$L = (4 \dots 5,5) \cdot d$$

$$b = d + 25 \text{ mm}$$

$$h_2 = 0,3 \cdot d + 10 \text{ mm}$$

$$h_1 = (1,5 \dots 1,8) \cdot h_2$$

Код мањих пречника вратила d узимају се веће вредности основних мера спојнице и обрнуто.

Канцаста спојница израђује се од ливеног гвожђа. Прорачун спојнице састоји се у провери површинског притиска на додирним површинама канци:

$$p = \frac{2 \cdot K_A \cdot T \cdot \xi_r}{z \cdot h \cdot b \cdot (D - b)} \leq p_{doz}$$

где је: T – номинални обртни момент спојнице;

K_A – фактор радних услова;

z – број канџи (3 или 5);

b – дебљина канџи;

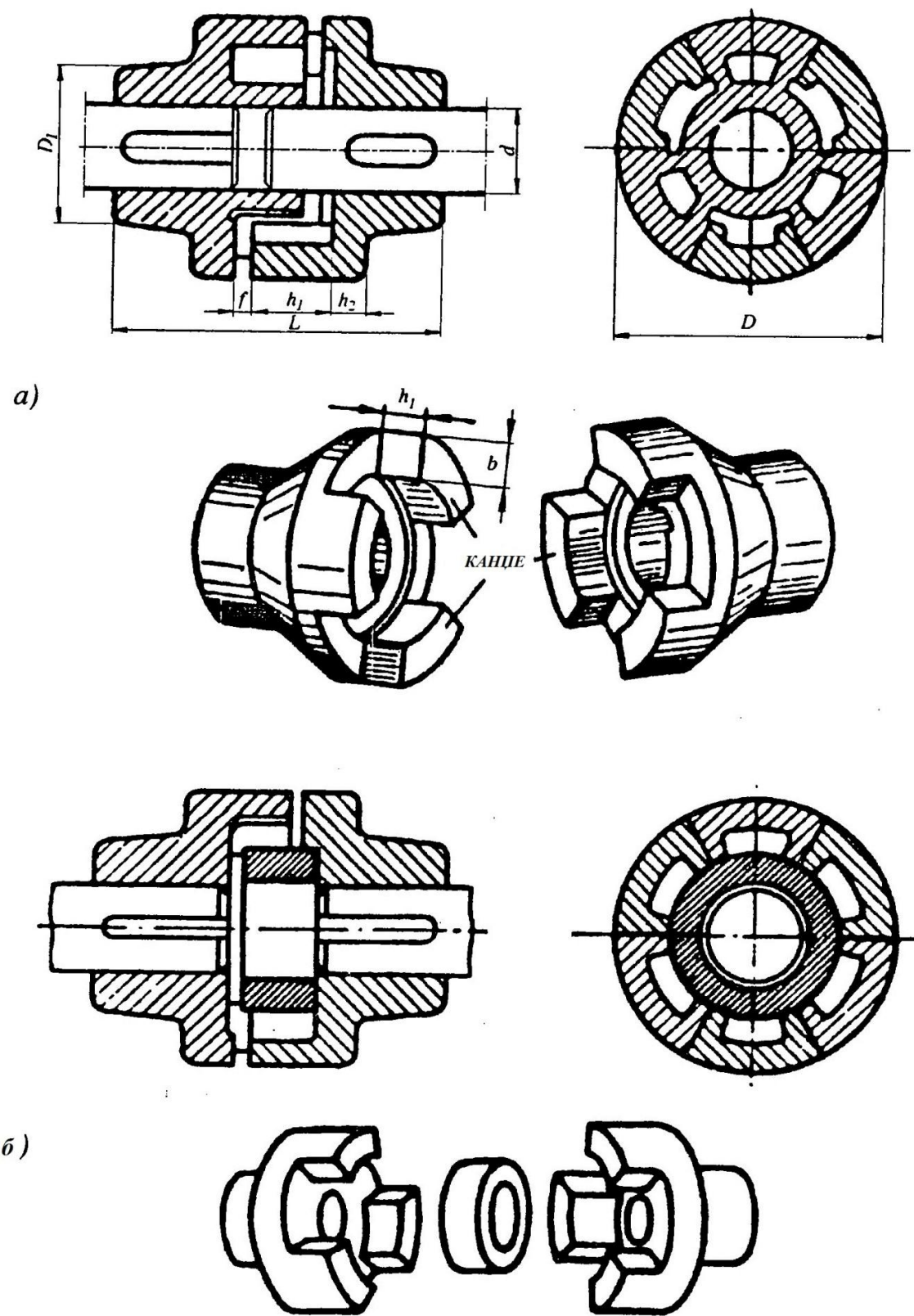
h – минимална дужина додира канџи у раду;

ξ_r – фактор неравномерне расподеле оптерећења

($\xi_r = 1,3 \dots 1,5$ – за $z = 3$; $\xi_r = 1,3 \dots 2$ – за $z = 5$)

p_{doz} – дозвољени површински притисак ($p_{doz} = 5 \dots 10 \text{ N/mm}$).

Ради смањења трења и хабања у раду додирне површине канџи подмазују се машини.

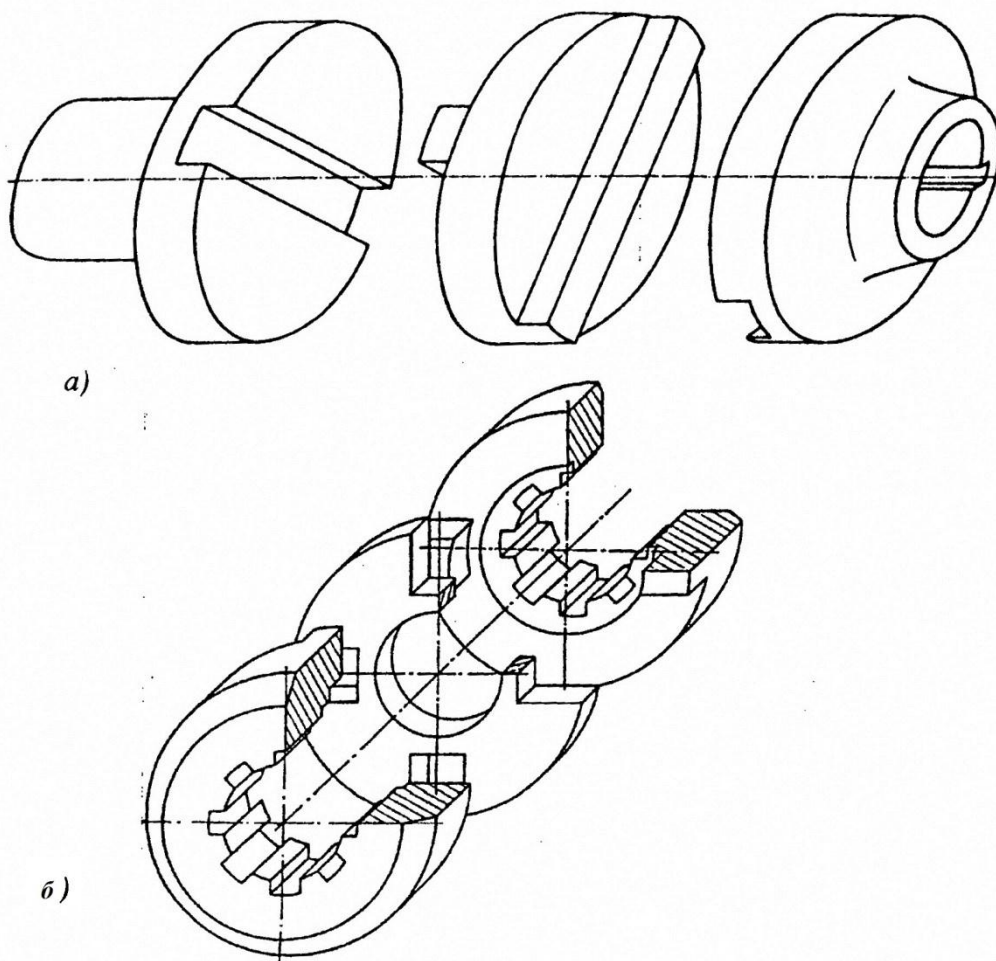


Слика 2.2.2.2. Дводелна (а) и троделна (б) спојница, [1]

б) Крстаста спојница

Крстаста спојница се састоји од две полутке чије су главчине навучене на крајеве вратила, а на ободима имају радијално постављене жлебове. Између ових полутки поставља се међуелемент (округла плоча), који има два под 90° постављена зупца (Слика 2.2.2.3 а). При склапању зупци долазе у одговарајуће жлебове полутки спојница, тако да су при окретању вратила, због радијалног клизања дуж ових жлебова, могућа померања у радијалном правцу. Такође су могућа и мања померања у аксијалном правцу, тако да ове спојнице могу да компензују радијална (до 5% пречника вратила) и мања аксијална одступања оса вратила.

За прорачун спојнице потребно је извршити проверу површинског притиска додирних површина. Због клизања између додирних површина праћено хабањем, ове спојнице су погодне за ниже учестаности обртања и мање обртне моменте. Једно од могућих конструкционих извођења ове спојнице приказано је на слици 2.2.2.3, б.

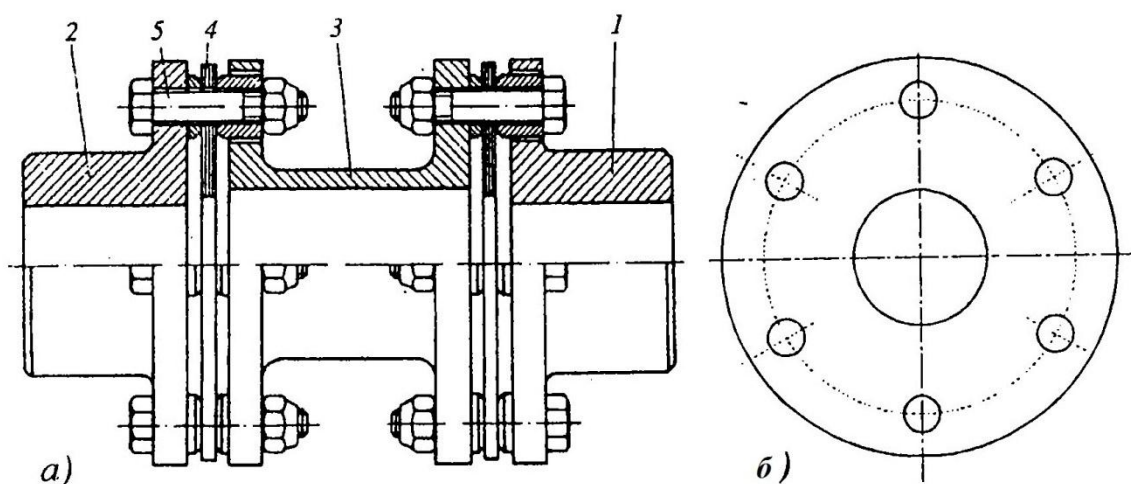


Слика 2.2.2.3. Шематски приказ (а) и конструкционо извођење крстасте спојнице (б),[1]

ц) Турбофлекс спојница

Турбофлекс спојница се састоји од две главчине са ободима (1) и (2) (Слика 2.2.2.4) између којих се налази међуелемент (3), који има облик кратког шупљег вратила са ободима на крајевима. Ободи главчина (1) и (2) повезани су међуелементом (3) са по шест подешених завртњева (5), али веза није директна него се остварује флексибилним металним прстеновима (4).

Прстенови су израђени од танког челичног лима за опруге (Слика 2.2.2.4,б), тако да се по потреби уграђује већи број прстенова истовремено. Подешеним завртњевима прстенови су наизменично повезани са ободима спојнице (три завртња) и међуелементом (3) (такође три завртња). На тај начин они преносе обртни момент и омогућују мања радијална померања, тако да ова спојница може да компензује радијална, аксијална и угаона одступања оса вратила. Турбофлекс спојнице могу да пренесу обртни момент до 2600 Nm .



Слика 2.2.2.4. Турбофлекс спојница (а) ; Флексибилни метални прстен, [2]

д) Зупчаста спојница

Зупчаста спојница представља једно од најбољих решења нееластичне спојнице. Може да пренесе велике обртне моменте, а уз то добро подноси високе учестаности обртања. Примењује се код ваљаоничких станова, пумпи, млинова, багера, дизалица, односно код тешких услова рада.

Изводи се у две конструкционе варијанте и то као једнострана (Слика 2.2.2.5, а) и двострана (Слика 2.2.2.5, б). Двострана зупчаста спојница састоји се од две полутке, чије су главчине причвршћене за вратило помоћу клинова . На ободима полутки

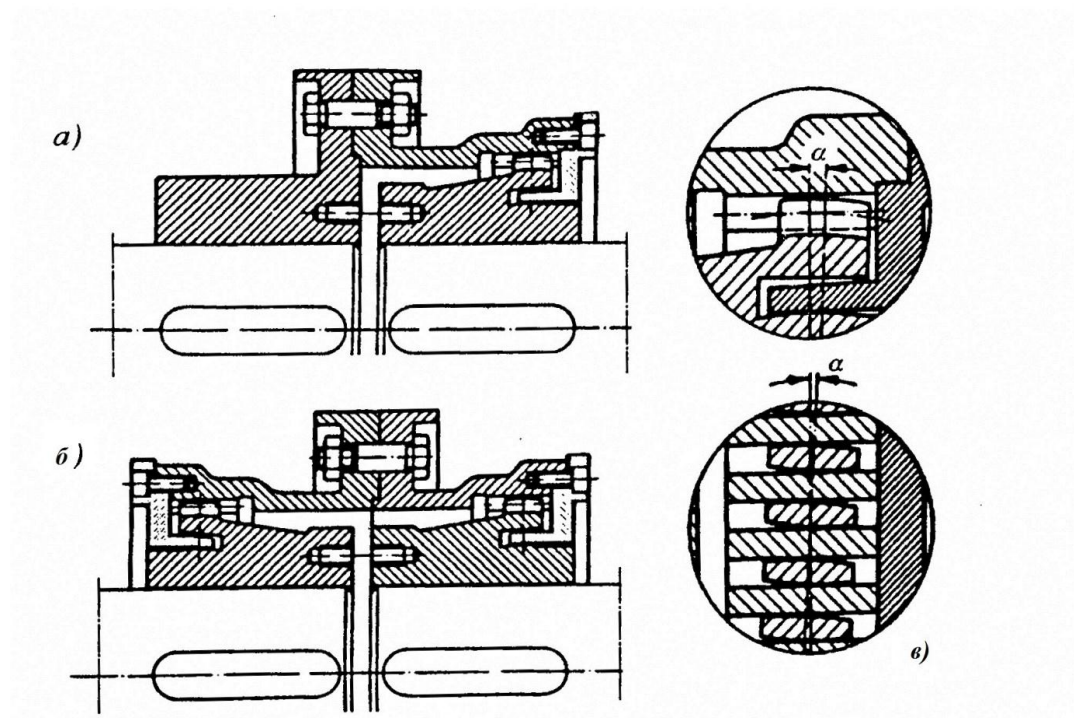
израђено је спољашње озубљење, са зупцима чије су темене и бочне површине заобљене (испупчене). Ови зупци налазе се у спрези са унутрашњим озубљењем које је израђено на омотачу спојнице. Ради лакше израде и монтаже, омотач спојнице се изводи у два дела, који се међусобно чврсто спајају подешеним завртњевима.

Једнострана спојница има озубљење само на једној половини, док је друга половина изведена у облику прирубнице, која се завртњима спаја са озубљеним омотачем.

Зупчаста спојница може да компензује аксијална, радијална и угаона одступања оса вратила (Слика 2.2.2.5, в). Аксијална одступања омогућује довољна дужина зубаца озубљеног венца, радијална темени и бочни зазори спрегнутих зубаца, а угаона заобљене темене и бочне површине спрегнутих зубаца. Једнострана зупчаста спојница може да компензује угаона одступања до $\pm 1^\circ$, а двострана до $\pm 2^\circ$.

Радни век зупчасте спојнице ограничен је хабањем зубаца, које је веће уколико су одступања које спојница компензује већа. Ради смањења хабања простор озубљења пуни се машћу или уљем уз одговарајуће заптивање. На тај начин добија се и врло високи степен искоришћења ($\eta = 0,98 \dots 0,99$).

Величина ових спојница креће се у врло широким границама. Израђује се за пречнике вратила до 800 mm , а спољашњи пречник спојнице може бити до 1800 mm . Максимални обртни момент који може да пренесе зупчаста спојница износи 450000 Nm .

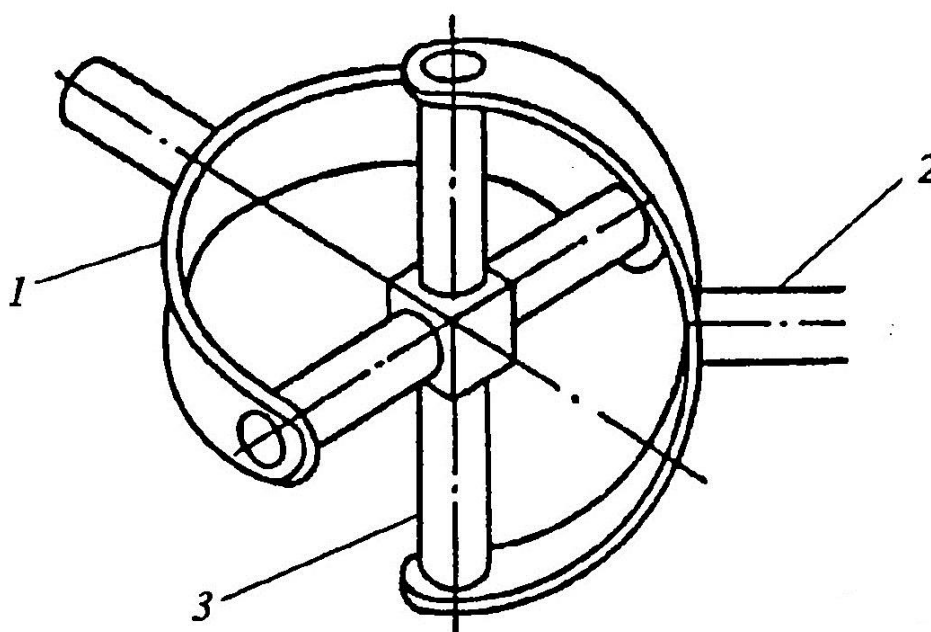


Слика 2.2.2.5. Једнострана (а) и двострана (б) зупчаста спојница и принцип рада. (в),[1]

д) Зглобна (Карданова спојница) спојница

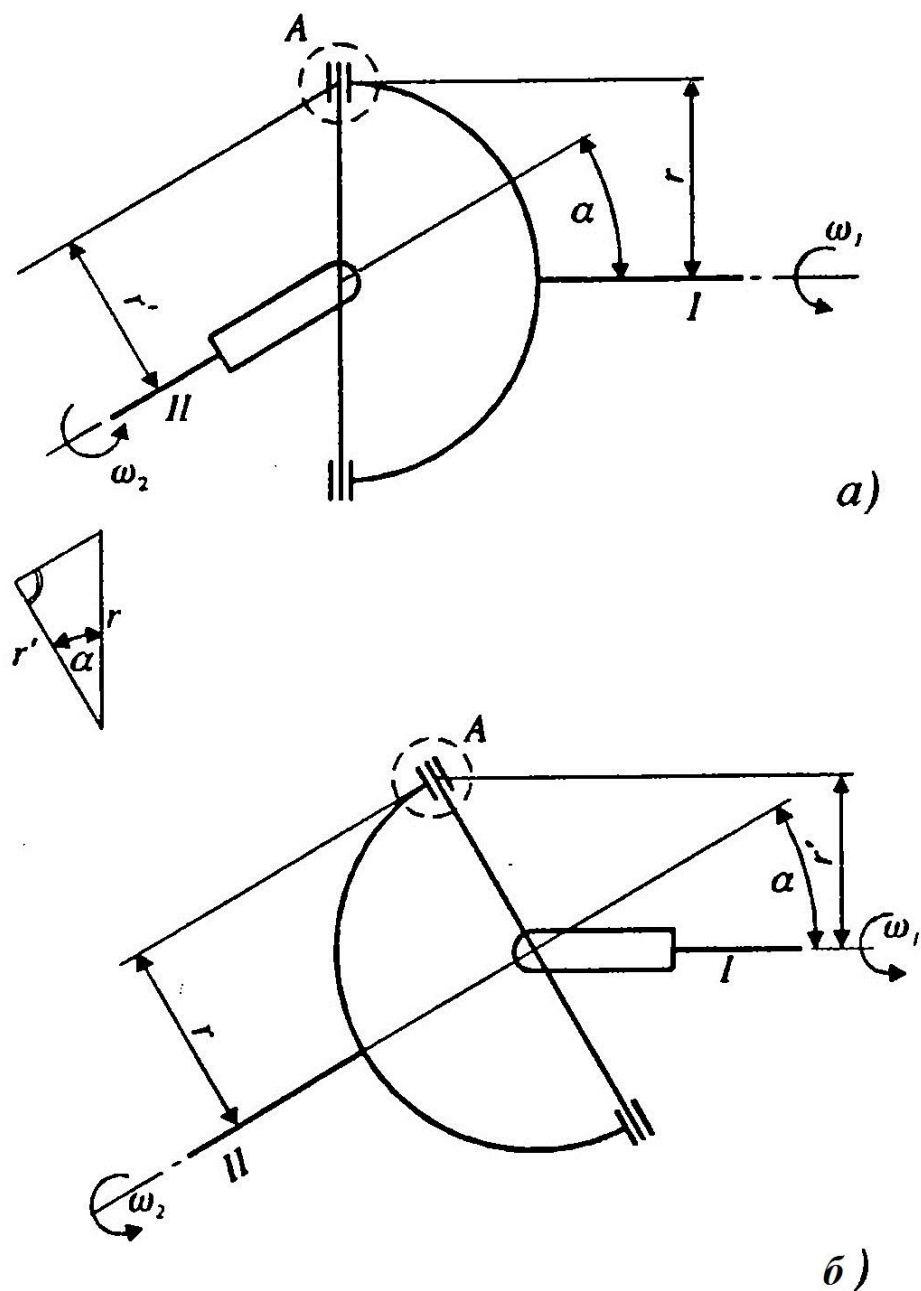
Италијански физичар Кардано (Н. Cardano) је још у XVI веку дефинисао механизам на основу кога је касније развијена зглобна спојница, (карданов зглоб). Ова спојница омогућује спајање вратила чије се осе секу под већим углом. Угао између оса вратила (угао преламања) може бити сталан и променљив и то теоријски у границама $\alpha = 0^\circ \dots 45^\circ$, а у пракси је $\alpha = 5 \dots 30^\circ$

Принцип рада ове спојнице заснива се на два под 90° постављена зглоба (Слика 2.2.2.6), где сваки зглоб појединачно може да се помера у једној равни. Зглобови се састоје од две виљушке (1) и (2) чије су ушице преко рукаваца спојене вратилима. Виљушке су преко одговарајућих главчина спојене вратилима. Обзиром да су зглобови постављени под 90° и сваки од њих може да се креће у једној равни, то ова два основна кретања омогућују у простору било који угаони положај спојених вратила.



Слика 2.2.2.6 Принцип рада зглобне спојнице, [1]

Основни недостатак карданове спојнице је неравномерност у преносу обртног момента и угаоне брзине. За сталне вредности угаоне брзине ω_1 и обртног момента T_1 погонског вратила, при константном углу преламања α , добијају се периодично променљиве вредности угаоне брзине ω_2 и обртног момента T_2 гоњеног вратила.



Слика 2.2.2.7 Карданова спојница за положај $\varphi_1 = 0^\circ$ (a) и $\varphi_1 = 90^\circ$ (б) [1]

На слици 2.2.2.7 ,а приказана су два вратила чије се осе секу под углом α , која су спојена карданским крстом. У положају $\varphi_1 = 0^\circ$ посматрана тачка А налази се на растојању r од осе гоњеног вратила II. Ако се погонско вратило I okreће константном угаоном брзином ω_1 , онда се обимна брзина тачке А може да срачуна према:

$$v_A = \omega_1 \cdot r = \omega_2 \cdot r' \quad (1.1)$$

Обзиром да је $r' = r \cdot \cos \alpha$, то се заменом у (1.1) добија

$$\omega_2 = \omega_{2max} = \omega_1 \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad (1.2)$$

Дакле за положај $\varphi_1 = 0^\circ$ је $\omega_2 > \omega_1$.

На слици 2.2.2.7, б приказана су иста вратила за положај $\varphi_1 = 90^\circ$. Сада се тачка А налази на растојању r' од осе погонског вратила I, односно r од осе гоњеног вратила II. Обимна брзина једнака је

$$v_A = \omega_1 \cdot r' = \omega_2 \cdot r \quad (1.3)$$

тако да се заменом $r' = r \cdot \cos \alpha$ у (1.3) добија

$$\omega_2 = \omega_{2min} = \omega_1 \cdot \cos \alpha \quad (1.4)$$

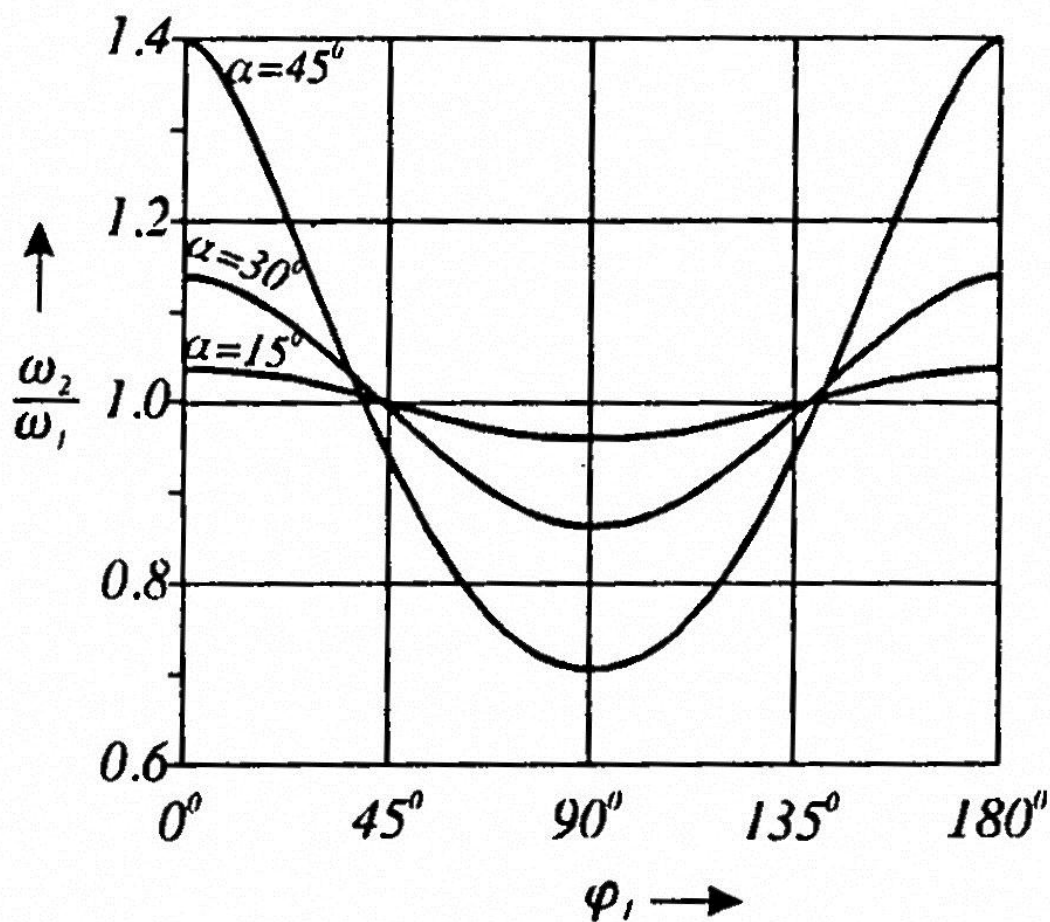
Дакле за положај $\varphi_1 = 90^\circ$ је $\omega_2 < \omega_1$. Према томе за константну угаону брзину погонског вратила ω_1 угаона брзина гоњеног вратила варира између

$\omega_{2min} = \omega_1 \cdot \cos \alpha$ и $\omega_{2max} = \omega_1 / \cos \alpha$. За било који угао обртања погонског вратила I зависност између угаоних брзина ω_1 и ω_2 је

$$\omega_{2max} = \frac{\cos \alpha}{1 - \cos^2 \alpha} \cdot \omega_1 \quad (1.5)$$

Зависност (1.5) је графички приказана на слици 2.2.2.8 за различите вредности угла преламања α . Са повећањем угла преламања α повећава се и неравномерност у преносу обртног момента и учестаности обртања гоњеног вратила. Оваква спојница је асинхрона (нехомокинетичка). Степен неравномерности у преносу кретања дефинише се као

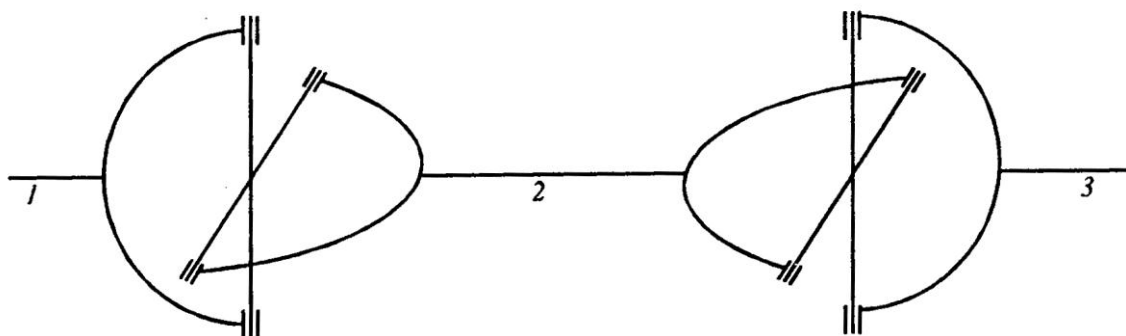
$$K_\omega = \frac{\omega_{2max} - \omega_{min}}{\omega_1} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha \quad (1.6)$$



Слика 2.2.2.8 Неравномерност преноса угаоне брзине код карданове спојнице ,[1]

Неравномерно обртање гоњеног вратила изазива додатно динамичко оптерећење преносног система. Због тога се асинхроне карданове спојнице примењују код преноса мањих обртних момената при нижим бројевима обртања и за мање углове преламања, под условом да неравномерност у преносу кретања не смета.

Неравномерност у преносу кретања могуће је отклонити применом два редно везана карданова зглоба (Слика 2.2.2.9), који су један у односу на други постављени под углом од 90° , а између њих се налази међувратило. На овај начин добијена двострука карданова спојница, која се састоји од две просте карданове спојнице и међувратила, назива се и карданово вратило.



Слика 2.2.2.9. Двострука карданова спојница, [1]

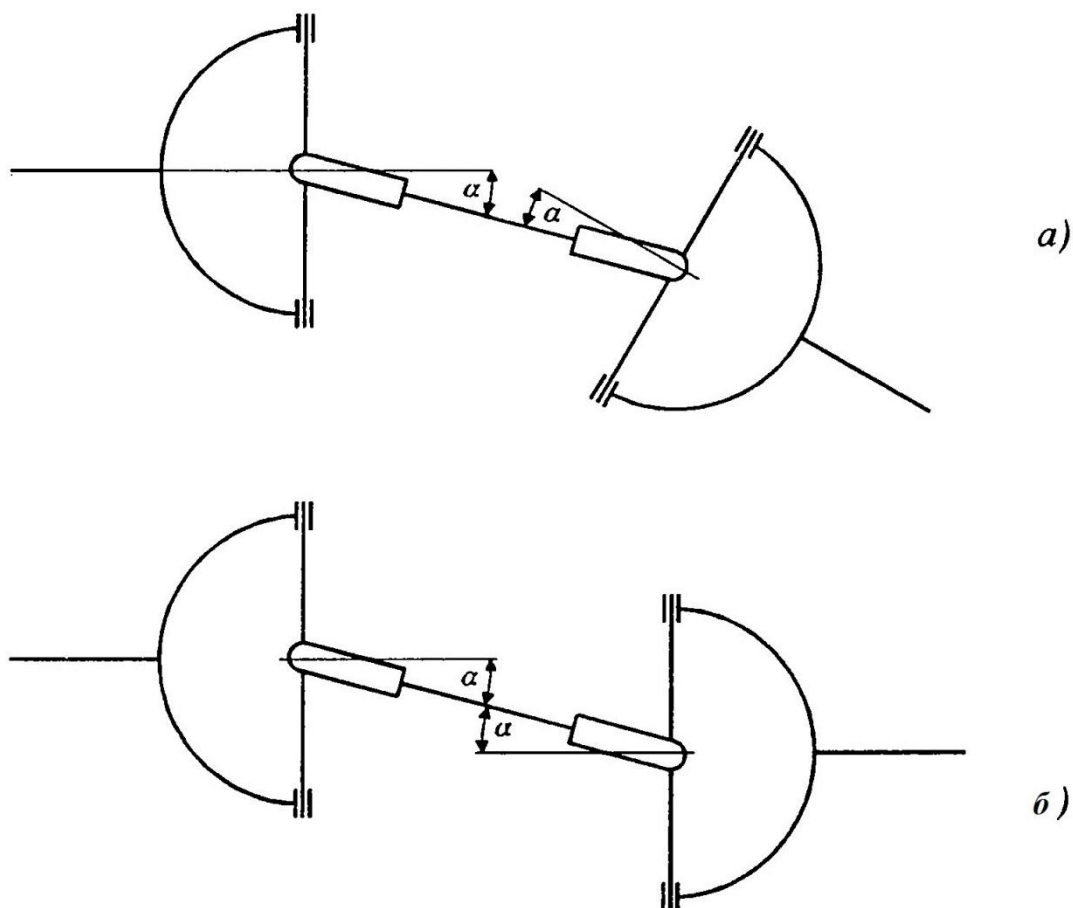
Основна предност примене кардановог вратила је у добијању већег угла преламања. То се постиже "А" распоредом вратила (Слика 2.2.2.10, а), где се угао преламања просте карданове спојнице од 15° повећава на 30° .

Применом кардановог вратила могуће је преносити обртни момент између два паралелна вратила, чије су осе знатно радијално померене. То се постиже "Z" распоредом вратила (Слика 2.2.2.10, б). За случај да се радијални положај оса вратила у току рада мења, мора се предвидети компензација промене растојања зглобова у аксијалном правцу, што се постиже применом телескопског међувратила.

Потпуна синхроност обртања погонског и гоњеног вратила постиже се под следећим условима.

1. Вратила (1), (2) и (3) морају лежати у истој равни (Слика 2.2.2.9).
2. Углови преламања α погонског и гоњеног вратила у односу на међувратило морају бити и за "Z" (Слика 2.2.2.10, б) и за "А" распоред.
3. Виљушке међувратила морају лежати у истој равни.

Применом карданског вратила постиже се синхроност само погонског и гоњеног вратила, док је обртање међувратила неравномерно. Инерцијалне силе, које при томе настају, знатно оптерећују зглобове нарочито при вишим бројевима обртања, те се због тога међувратило најчешће израђује од цеви.

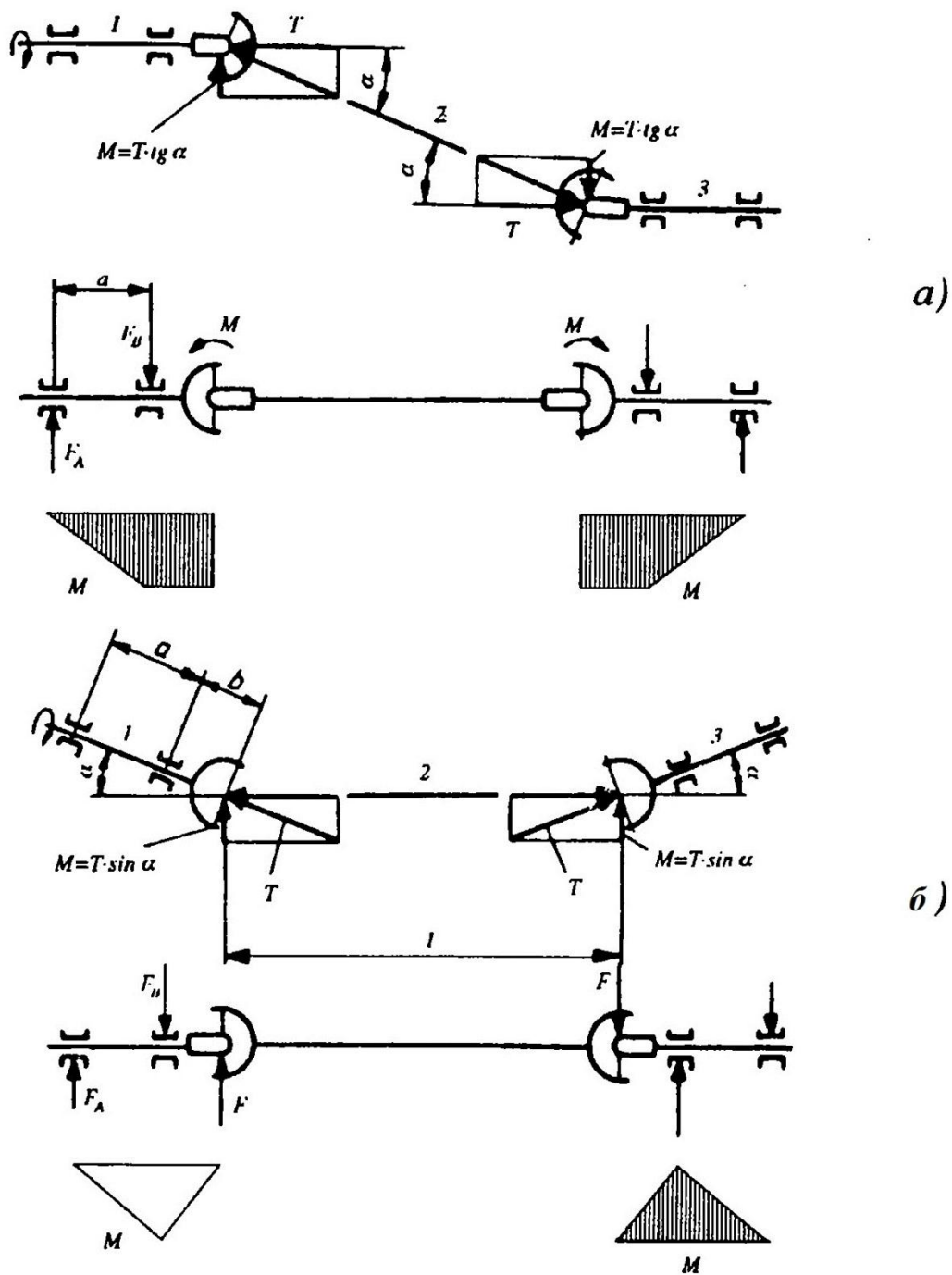


Слика 2.2.2.10. редно постављање карданове спојнице

а) " А " - распоред – увећање

б) " Z " - распоред – увећање радијалног померања паралелних вратила

При преношењу обртног момента између укрштених вратила у сваком зглобу настаје променљиви момент савијања, који додатно оптерећује ослонце погонског и гоњеног вратила (Слика 2.2.2.11). Величина овог момента се периодично мења и за угао обртања $\varphi_1 = 90^\circ$, И код " А " и код " Z " распореда, достиже своју максималну вредност (Слика 2.2.2.11,а) : $M = T \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Код " А " распореда за угао обртања $\varphi_1 = 0^\circ$ на међувратило (2) делује највећи момент савијања $M = 2T \cdot \sin \frac{\alpha}{l}$ где је l – дужина међувратила (Слика 2.2.2.11,б). Према томе веће оптерећење ослонаца јавља се код " А " распореда вратила.



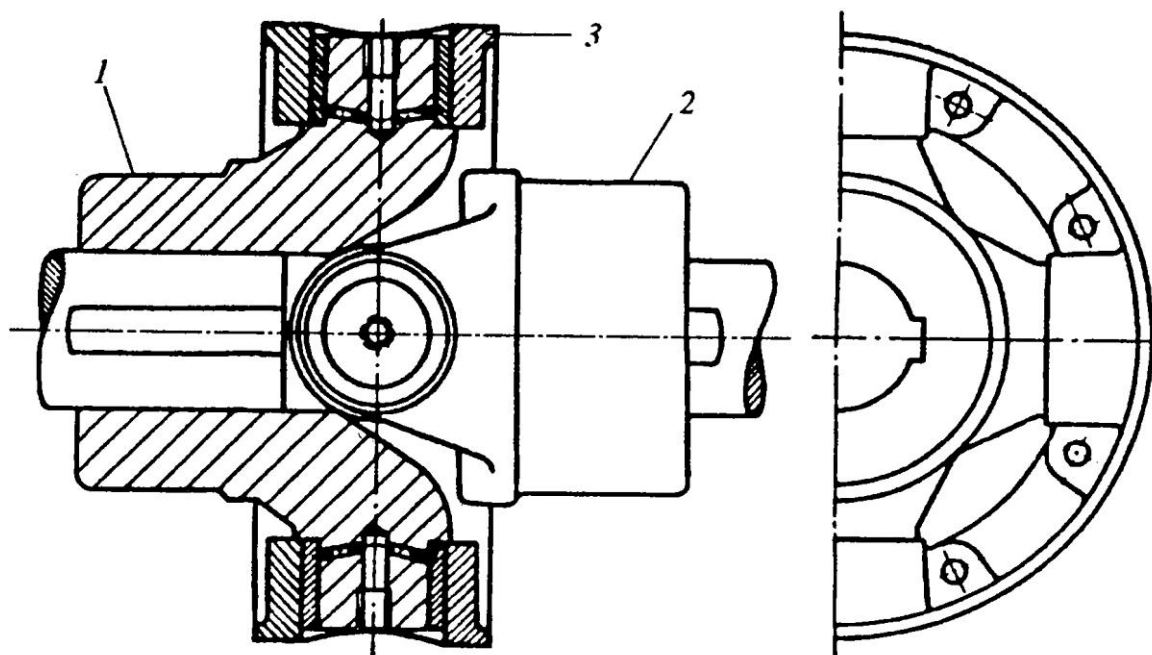
Слика 2.2.2.11. Оптерећење ослонаца код кардановог вратила;

а) Z(A) – распоред вратила за угао обртања $\varphi_1 = 0^\circ$ (270°)

б) " A " – распоред вратила за угао обртања $\varphi_1 = 0^\circ$ (180°)

Ознаке: 1 – погонско вратило; 2 – међувратило; 3 – гоњено вратило, [1]

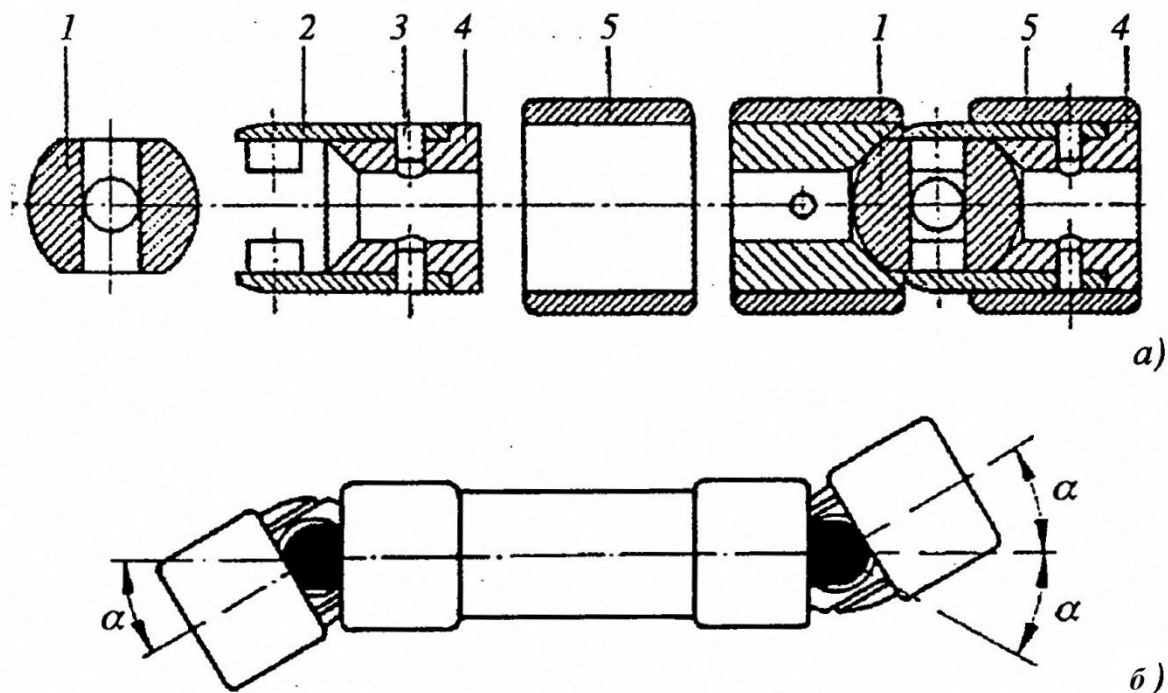
Зависно од величине оптерећења и експлоатационих услова развијен је велики број конструкционих решења зглобних спојница. Једно од врло често коришћених извођења ја зглобна спојница Вилфел (Wülfel) (Слика 2.2.2.12), која дозвољава углове преламања до 15° , а изводи се за пречнике вратила до 200 mm.



Слика 2.2.2.12. Зглобна спојница Вилфел, [1]

Главчине од ливеног гвожђа полутки спојница (1) и (2) навучене су на крајеве вратила и за њих спојене помоћу клина. Крајеви полутки спојница изведени су у облику два радијално постављена рукавца, чије се осе поклапају. Рукавци полутки спојница спојени су кардановим дводелним прстеном (3) и то један у односу на други под углом од 90° . Окретање рукаваца изводи се у бронзаним чаурама. Чије се клизне површине повремено подмазују машћу. Спојница се одликује једноставном конструкцијом, поуздана је и може да пренесе знатна оптерећења.

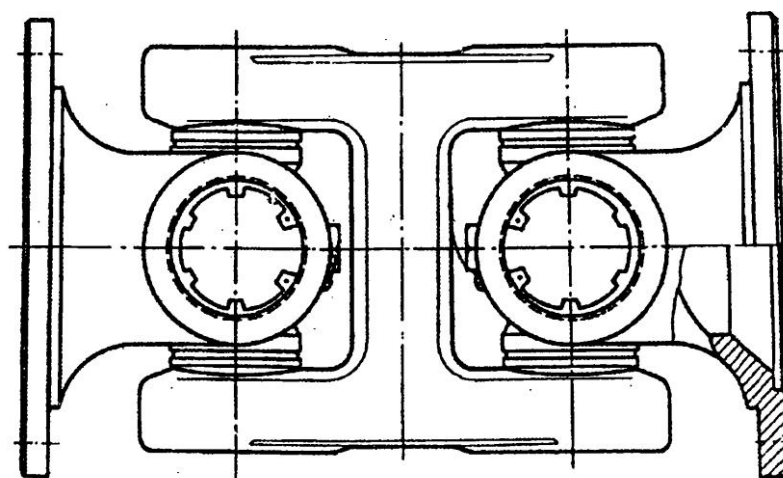
За пренос мањих обртних момената користи се конструкционо решење зглобне спојнице са сферним зглобом. Уместо кардановог крста овде се користи део сферног облика (1) на коме су дијаметрално по 90° избушена два отвора (Слика 2.2.2.13,а), а сферне површине заравњене нормално на осе отвора. У попречне отворе сферног дела постављени су рукавци (2), који су конзолно преко чивија (3) причвршћене за главчину (4) и додатно осигурани чауrom (5). Спојница се споља штити гумом, која омогућује да се простор спојнице пуни машћу и обезбеди одговарајуће подмазивање. Причвршћивање главчина за погонско и гоњено вратило изводи се попречном чивијом, клиновима без нагиба или профилисаним спојем са квадратним пресеком.



Слика 2.2.2.13. Проста (а) и двострука (б) зглобна спојница са сферним зглобом, [1]

Овакав зглоб може да пренесе угао преламања до 45° . Примењује се за пречнике вратила $6 \dots 50 \text{ mm}$, за учестаности обртања до 1000 min^{-1} , и за снаге до 12 kW односно обртни момент до 115 Nm .

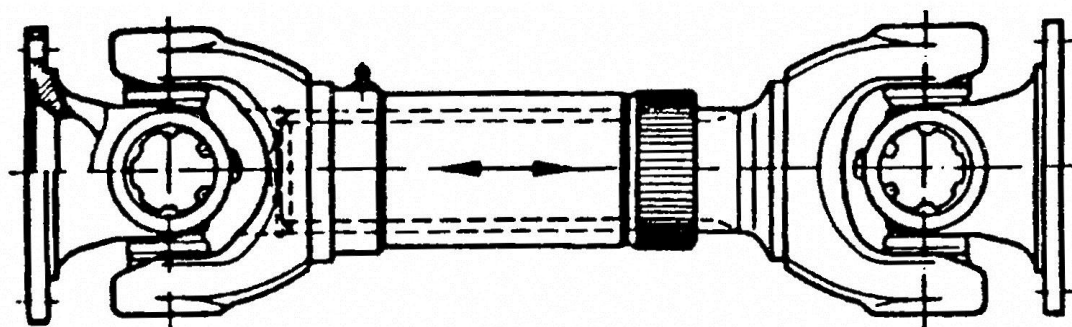
Постоји и конструкционо извођење са два зглоба (двострука зглобна спојница), која дозвољава угао преламања до 90° . Просте (облик Ц) и двоструке (облик Д) зглобне спојнице са сферним зглобом стандардизоване су према DIN 808.



Слика 2.2.2.14 Двострука зглобна спојница са "Н" носачем

За савремени пренос кретања и већих обртних момената користи се зглобна спојница са "Н" носачем (Слика 2.2.2.14). Полутке спојнице спајају се са погонским и гоњеним вратилом преко прирубница, а међувратило је изведено у облику "Н" носача. Рукавци карданових крстова улежиштени су у отворе "Н" носача односно полутки спојница преко клизних или преко игличастих котрљајних лежаја. Ова спојница се одликује компактном конструкцијом и могућношћу равномерног преноса већих обртних момената између вратила вратила чије су осе постављене под углом.

Код спајања паралелних вратила чији се положај у току рада мења примењује се телескопско међувратило. Израђује се из два међусобно жлебном везом спојена дела, који се подмазују машћу преко одговарајуће мазалице (Слика 2.2.2.15). Овакава карданова вратила предвиђена су за пренос великих обртних момената. Карданов крст је преко игличастих лежаја спојен са полуткама спојнице и међувратилом, при чему се лежај одговарајуће заптива а преко мазалице повремено пуни машћу. Полутке спојнице спајају се са погонским и гоњеним вратилом прирубницом са подешеним чврсто притегнутим завртњевима.



Слика 2.2.2.15. Телескопско карданско вратило

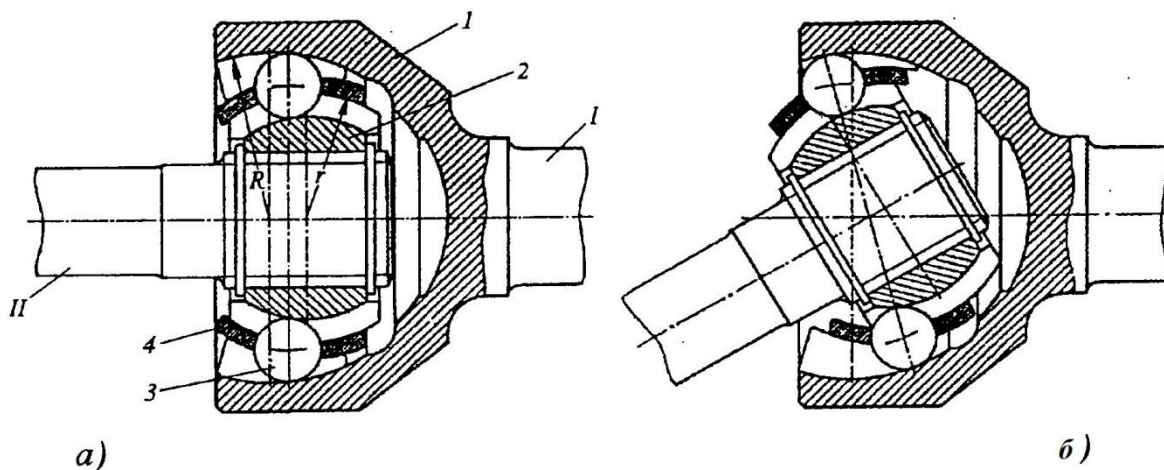
Примена карданових вратила је јако распрострањена код транспортних средстава – теретних и шинских возила. Међувратило може бити и знатне дужине са могућношћу пригушења вибрација.

Постоји и конструкционо решење синхроне зглобне спојнице која има само један зглоб. Ове спојнице су компликованије конструкције и скупље су за израду, али омогућују равномерно преношење обртног кретања ($\omega_2/\omega_1 = 1$) и могу теоријски да остваре угао преламања и до 45° . То су такозвани хомокинетички зглобови, који имају велику примену код моторних возила, алатних машина, ваљаоничких станова итд.

Услов равномерног обртања погонског и гоњеног вратила за произвољни угао преламања је да је заокретање оба дела спојнице потпуно симетрично у односу на раван синхронизације.

Хомокинетичка спојница састоји се од две полутке које су међусобно спојене куглицама (Слика 2.2.2.16). полутка спојнице вратила *I* је звонастог облика (1) и са унутрашње стране има жлебове сферног облика, који служе као стазе за кретање куглица(3). На рукавцу вратила *II* постављена је главчина (2), која такође има са спољашње стране жлебове сферног облика (4), на коме је по обиму распоређено шест куглица. Куглице преносе обртни момент између полутки спојница и у току рада могу да се крећу по сферним путањама дуж одговарајућих жлебова.

Важна особина хомокинетичког зглоба је да се центри радијуса кривине путања куглица на спољашњем и унутрашњем делу (Родносно r) не налазе у истој тачки, већ су аксијално симетрично померени у односу на раван синхронизације (Слика 2.2.2.16, а). При заокретању зглоба центар радијуса кривине спољашњег жлеба помера се изван осе зглоба (Слика 2.2.2.16, б), због чега се и једна куглица, која се у том тренутку налази у равни зглоба, помера према споља. Све куглице се међутим налазе у кавезу у истој равни и бивају вођене око центра зглоба. Због тога увек остају у додиру са боковима спољашњег и унутрашњег жлеба.



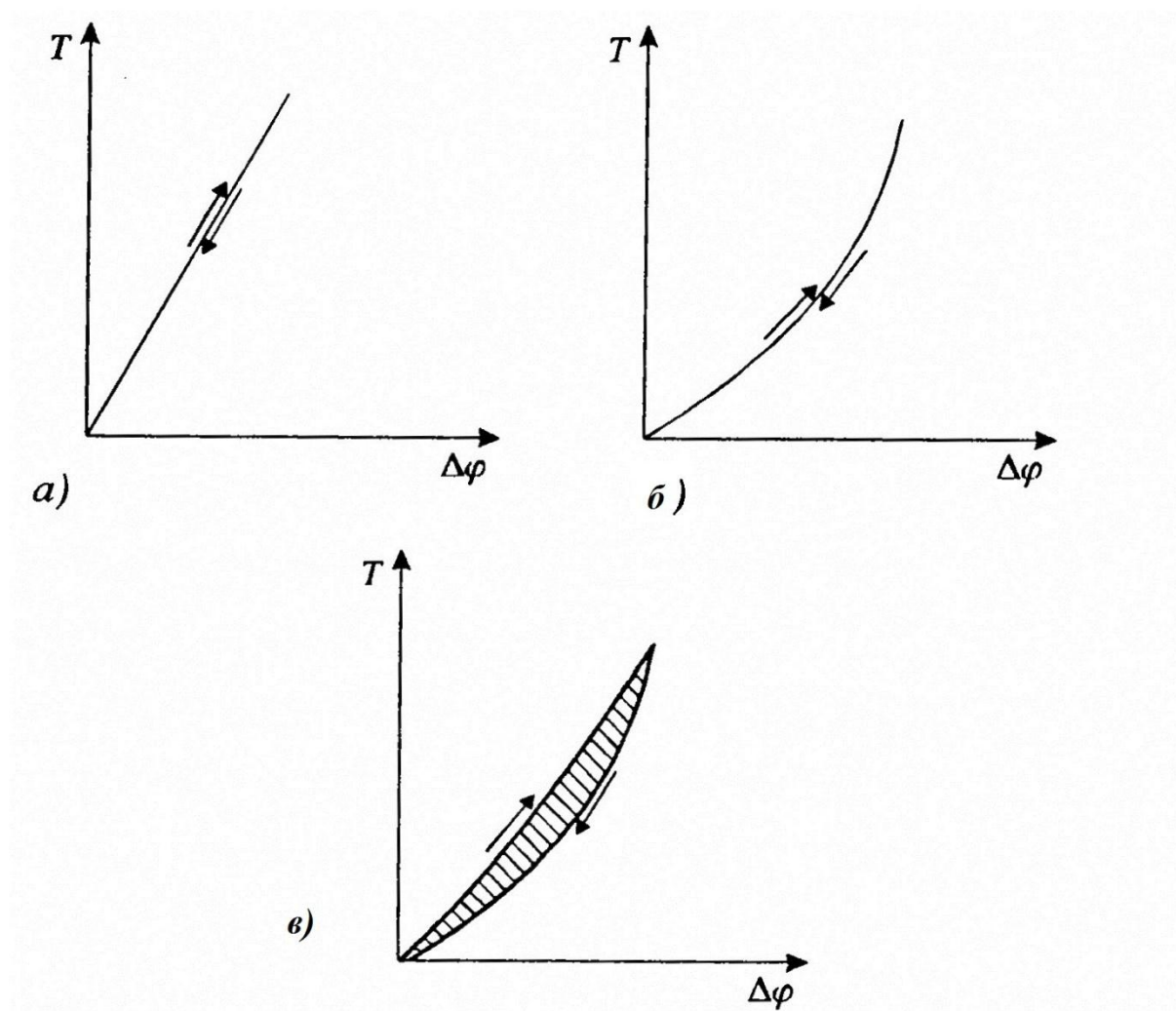
Слика 2.2.2.16. Хомокинетички зглоб: (а) без преламања и (б) са преламањем.

При једном окретају зглоба свака куглица се релативно креће дуж жлебова напред и назад и то за величину угла преламања. Куглице увек остају у равни синхронизације. При овом осцилаторном кретању јавља се трење, које може да доведе до загревања зглоба. Због тога је број обртаја за нормалне радне услове ограничен на $1000 \dots 2000 \text{ min}^{-1}$.

Прорачун хомокинетичког зглоба састоји се у провери површинског притиска куглица и жлебова.

2.2.2.2 Прилагодљиве еластичне спојнице

Еластичне спојнице имају могућност компензације мањих радијалних, аксијалних и угаоних одступања оса вратила. Основна њихова предност огледа се у могућности пригушења удара и вибрација, као и смањење неравномерности у преносу кретања. При томе спој два вратила може бити потпуно еластичан (еластичне спојнице без пригушења) или еластичним пригушењем (еластичне спојнице са пригушењем).



Слика 2.2.2.2.1 Торзиона крутост спојница: а) линеарна; б) прогресивна; в) прогресивна са пригушењем, [1]

Еластичне спојнице без пригушења смањују ударе превдећи кинетичку енергију система у деформациони рад и акумулирајући је. Као еластични преносни елемент користе се челичне опруге. Торзиона крутост ових спојница може бити линеарна (Слика 2.2.2.2.1.а) и прогресивна (Слика 2.2.2.2.1.б). Кинетичка енергија удара погонског вратила еластично деформише опруге, које касније исту енергију предају гоњеном вратилу, али са смањеним интензитетом удара.

Еластичне спојнице са пригушењем имају уграђене пригушне елементе, који смањују ударе, тако што кинетичку енергију претварају делом у деформациони рад а делом у топлоту. Торзиона крутост обих спојница је прогресивна са хистерезисом (Слика 2.2.2.2.1,в). Као еластични елемент најчешће се користи гума, кожа или полиуретан.

Еластичне спојнице са пригушењем одликују се једноставном конструкцијом, нижом ценом и већом еластичношћу у односу на еластичне спојнице без пригушења. Недостаци су им велике димензије и краћи радни век.

Компензација одступања положаја оса вратила изводи се на рачун еластичних деформација елемената спојнице, што има за последицу додатно оптерећење ослонаца вратила.

1. Еластичне спојнице без пригушења

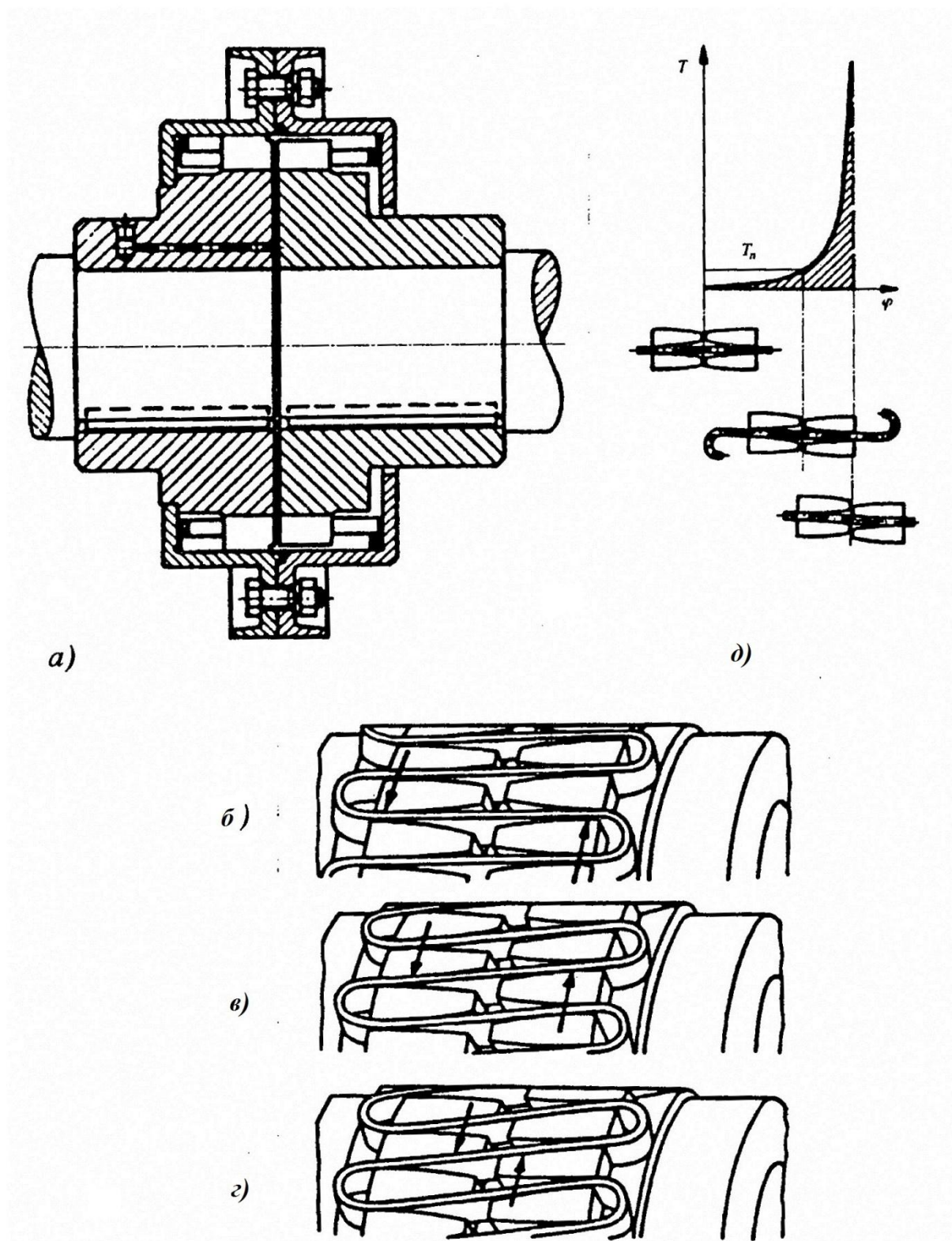
а) Спојница са еластичном траком (Биби спојница)

Биби спојница састоји се од две идентичне челичне полутке у облику главчина, које ободу имају челичне зупце посебног облика (Слика 2.2.2.2.2. а). Између зубаца обе полутке постављена је трака израђена од челика за опруге а преко на овај начин спојених обода налази се двodelни оклоп. Делови оклопа се међусобно спајају завртњима, и његов задатак је да штити ободу од нечистоће, да спречи испадање челичне траке и да омогући подмазивање спојнице машћу.

Пренос обртног момента обезбеђује челична трака, која уједно обезбеђује еластичност у преносу обртног момента. За већу носивост могу бити уграђене и две до три траке по висини зупца. Ради једноставније уградње, укупна дужина опруге дели се на шест секција.

У неоптерећеном стању, или код мањих оптерећења, опруга је права и належе на зупце само у делу жлеба (Слика 2.2.2.2.2, б). Повећањем оптерећења опруга се деформише и све више належе дуж бокова зубаца, чиме се смањује и слободна дужина опруге (Слика 2.2.2.2.2, в). Долази до повећања крутости опруге, а нападна тачка силе помера се ка средини зупца. Због тога облик бокова зубаца мора да одговара облику еластичне линије завојака опруге. Код јаког оптерећења, опруга належе дуж целе дужине бокова зубаца, а нападна тачка силе помера се ка суженом делу зупца (Слика 2.2.2.2.2,г). Спојница губи еластичност и постаје крута (Слика 2.2.2.2.2,д).

Биби спојница има изванредне радне карактеристике и погодна је за тешке услове рада. Малих је димензија у односу на оптерећење које може да издржи и има високу еластичност, тако да може да прими јака ударна оптерећења. Може да компензује аксијална ($\Delta l = 4 \dots 20 \text{ mm}$), радијална ($\Delta r = 0,5 \dots 3 \text{ mm}$) и угаона ($\Delta \alpha \leq 1,25^\circ$) одступања оса вратила. Поред тога смањује и неравномерност кретања, тј. Омогућује компензацију угла обртања $\Delta \varphi = 1 \dots 12^\circ$

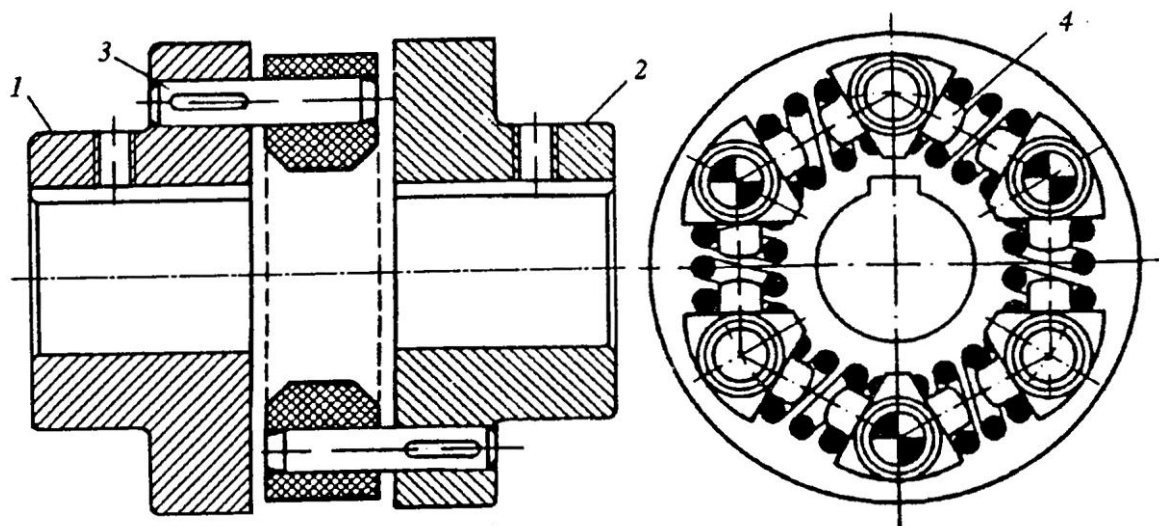


Слика 2.2.2.2.2 Спојница са еластичном траком: а) конструкционо извођење; б) без оптерећења; в) нормално оптерећење; г) преоптерећење; д) торзиона крутост спојнице, [1]

Ова спојница има широку примену за преношење великих обртних момената у тешким условима рада, као што су вратила ваљаоничких станова, дизалица, тешких млинова, багера, итд. Израђују је специјализовани произвођачи, па се задатак конструктора састоји у избору одговарајуће спојнице на основу оптерећења и пречника вратила.

б) Спојница са завојним опругама

Полутке спојнице (1) и (2) имају на чеоним површинама распоређене по три до шест конзолно постављене чивије(3) (слика 2.2.2.2.3) преко чивија навучене су вођице опруга (4), које несметано могу да се обрћу и аксијално померају. На овим вођицама тангенцијално су постављене завојне опруге, тако да се свака опруга се једним крајем ослања на вођицу полутке (1), а другим на вођицу полутке (2).



Слика 2.2.2.2.3 Спојница са завојним опругама, [1]

Носивост и еластичност спојнице зависи од опруга. Торзиона крутост спојнице је линеарна. Опруге су уграђене са преднапрезањем, тако да мања ударна оптерећења спојница може да пренесе потпуно еластично. Код већих ударних оптерећења долази до потпуног сабијања опруга, тако да спојница постаје крута. Спојница може да компензује мања аксијална ($\Delta l < 0,05D$), радијална ($\Delta r = (0,04 \dots 0,01)D$) и угаона ($\Delta \alpha < 2^\circ$) одступања оса вратила, као и промену угла обртања $\Delta \varphi \leq 5^\circ$. (D - спољашњи пречник спојнице).

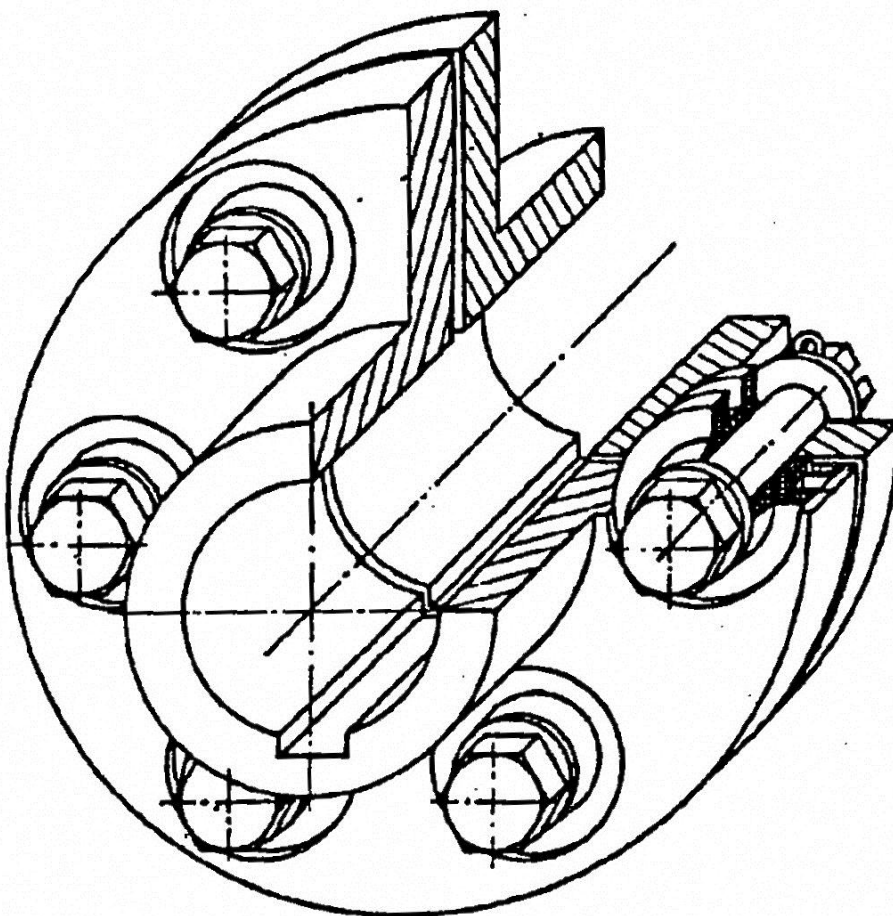
Спојница са завојним опругама може да пренесе обртни момент до 18000 Nm , а највећи спољашњи пречник иде до 700 mm . При великом оптерећењу долази до смицања чивија, па може да се примени и као сигурносна спојница.

2. Еластичне спојнице са пригушењем

а) Спојница са гуменим прстеновима

Ова спојница слична је крутој спојници са ободима. Полутке спојница међусобно су спојене завртњима (Слика 2.2.2.4), али за разлику од круте спојнице, завртњи су у једној полутки чврсто везани, а у другој се ослањају преко гумених прстенова. Ради повећања еластичности спојнице, спољне површине гумених прстенова израђују се са жлебовима. На тај начин добија се прогресивна карактеристика торзионе крутости опруге.

Максимални обртни момент који може да пренесе спојница са гуменим прстеновима је 500000 Nm , а спољашњи пречник креће се до 1600 mm .

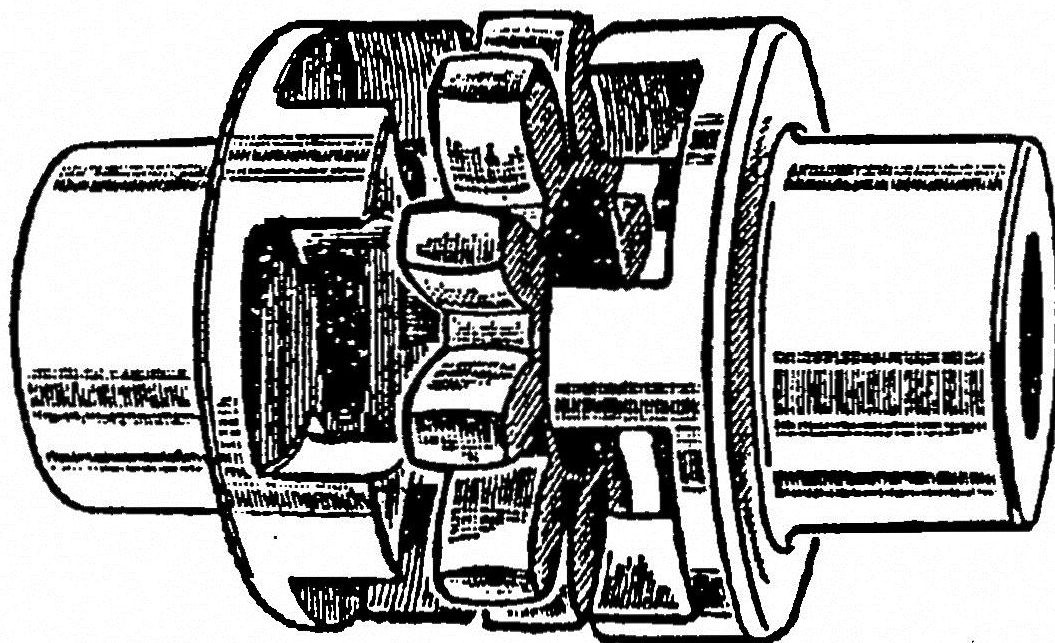


Слика 2.2.2.4. Спојница са гуменим прстеновима, [1]

б) Еластична канцаста спојница

Конструкција еластичне канцасте спојнице слична је као и конструкција круте канцасте спојнице. Разлика је у томе што су чеони жлебови већи од канци, тако да се између металних канци може да постави еластични пригушни елемент

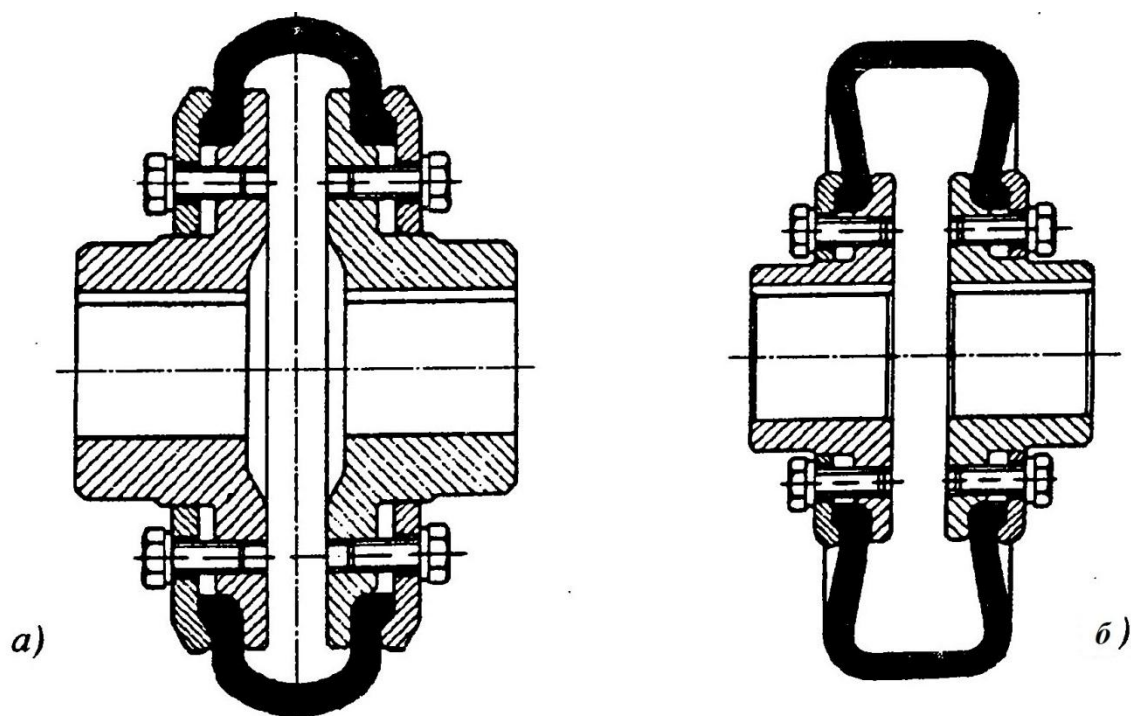
Постоји већи број конструкционих варијанти еластичне канцасте спојнице. Код конструкционог решења приказаног на слици 2.2.2.2.5 као еластични међуелемент користи се гумена звезда, чији се зупци постављају у међупростор између металних канци. Бокови зубаца су лучно заобљени (испупчени), чиме се постиже равномернија расподела оптерећења и већа еластичност у преносу оптерећења. Недостатак ове спојнице је, што при окретању у једном смеру, оптерећење не преносе сви зупци гумене звезде већ сваки други.



Слика 2.2.2.2.5 Еластична канцаста спојница, [1]

ц) Перифлекс спојница

Перифлекс спојница је високо еластична спојница, код које се као еластични елемент примењује торус од гуме. Ивице гуменог торуса причвршћене су посебним прстеном за обода полутки спојница (Слика 2.2.2.2.6). Потребан притисак између прстена и гуме остварује се помоћу завртњева.



Слика 2.2.2.2.6. Перифлекс спојница, [1]

Носивост спојнице ограничена је проклизавањем везе торуса и обода, дејством центрифугалне силе на гумени торус и његовим увијањем при преносу обртног момента. Учестаност обртаја спојнице ограничена је величином центрифугалне силе.

Гумени торус је доста еластичан тако да омогућује ублажавање знатних удара. Поред тога ова спојница може да компензује аксијална одступања до 8 mm, радијална до 4 mm и угаона до 4°. Већу могућности компензације има варијанта на слици 2.2.2.2.6,б.

Перифлекс спојница је релативно великих димензија, али с обзиром на предности које показује у току експлоатације, доста се примењује у свим областима машиноградње. Може да пренесе обртни момент до 34000 Nm , а спољни пречник креће се до 700 mm .

2.3 Укључно – искључне спојнице

У експлоатационим условима врло често се јављају захтеви за укључивањем и искључивањем неког вратила односно система. У том случају примењују се укључно – искључне или раздвојиве спојнице. Укључно - искључне спојнице омогућају успостављање и прекидање везе спојених вратила како у стању мировања тако и за време обртања. Класификација укључно искључних спојница може да се изведе на неколико начина :

1. Према начину укључивања и искључивања деле се на :
 - Спојнице са управљаним (даљинским) укључивањем и искључивањем (изводи се механичким, електромагнетним, хидрауличким или пнеуматским путем)
 - Спојнице са самоукључивањем и самоискључивањем (зависно од бројева обртаја, обртног момента или смера окретања, односно могу бити центрифугалне, сигурносне или једносмерне) [1];
2. Према начину преношења обртног момента деле се на :
 - Спојнице са кинематичком везом, које преносе обртни момент обликом делова (са тренутним укључивањем);
 - Спојнице са динамичком везом, које преносе обртни момент трећем делова (са тренутним укључивањем) [1];
3. Према конструкционом извођењу могу бити: канцасте, зупчасте, фрикционе, сд ламелама, итд [1].

Постоје спојнице које могу да преносе обртни момент само уколико постоји разлика угаоних брзина погонског и гоњеног вратила, односно уколико између њихових радних површина постоји клизање (индукционе, хидродинамичке). У том смислу могућа је и подела на спојнице са клизањем и спојнице без клизања.

Постоји врло велики број различитих типова укључно – искључних спојница, па ће надаље бити приказана само типична конструкциона решења.

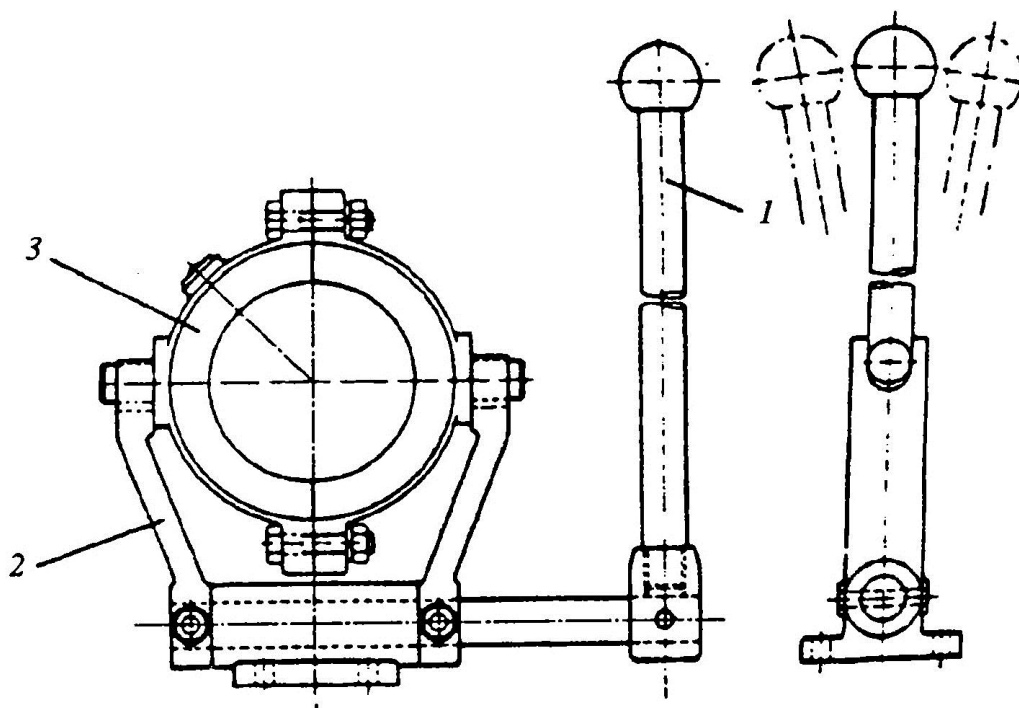
2.3.1 Споља (даљински) управљане укључно – искључне спојнице

Тренутно укључивање и искључивање остварује се код спојница које преносе обртни момент обликом. Ове спојнице могу да се укључе и искључе само у стању

мировања или код синхроног обртања полутки спојница, при чему оне морају да имају тачан међуосни положај одређен углом обртања.

Једна полутка спојнице је увек чврсто везана за вратило, а друга може аксијално да се помера на другом вратилу. Ради смањења трења и загревања, покретна полутка спојнице најчешће је постављена на гоњеном вратилом. Укључивање и искључивање најчешће се изводи изводи механички преко одговарајућег уређаја који је приказан на слици 2.3. Померањем полуге (1) преко виљушке (2) и прстена – обујмице (3) помера се аксијално покретна полутка спојнице, чиме је омогућено укључивање и искључивање спојнице.

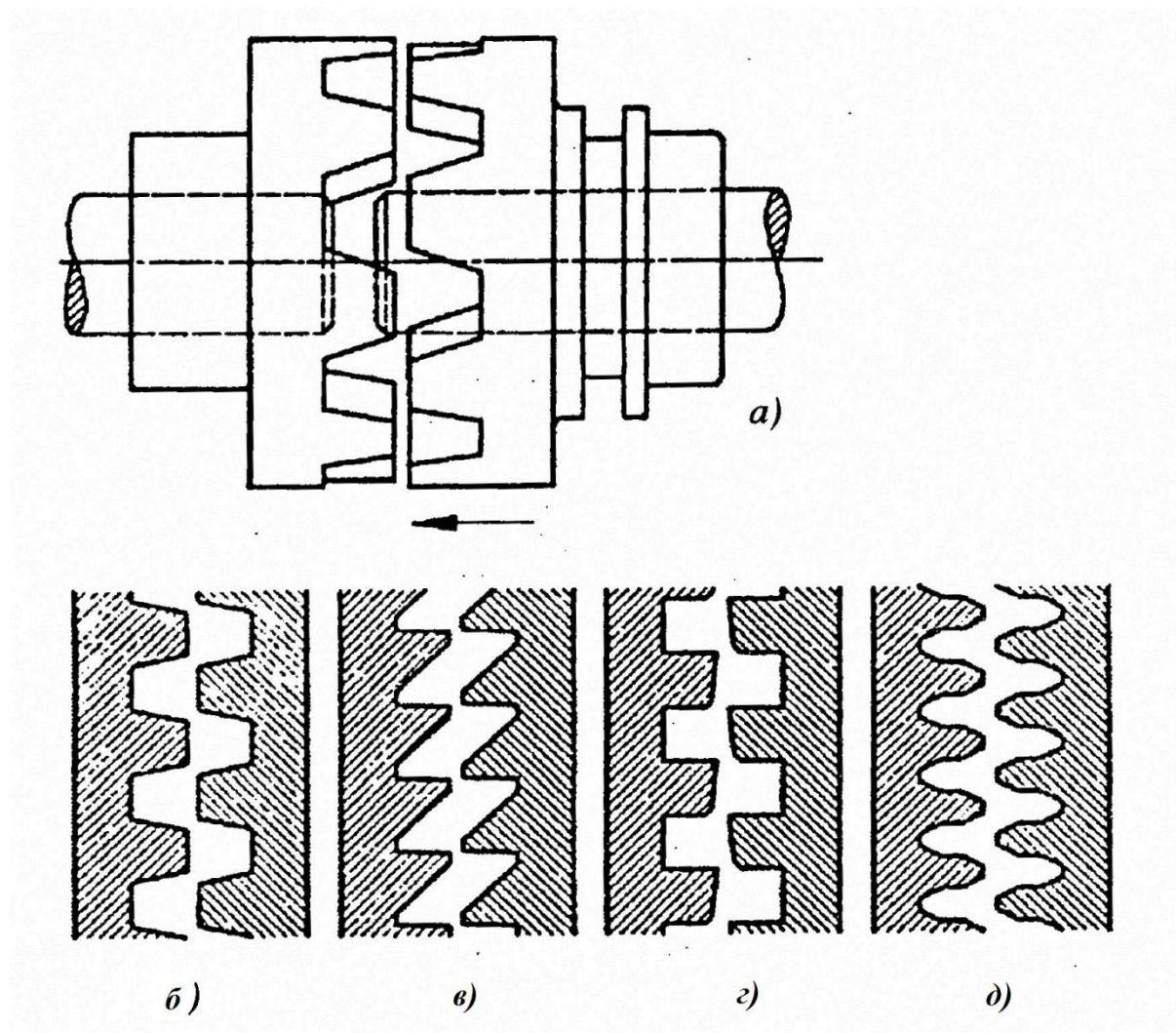
Најчешће коришћени типови ових спојница су канцаста, зупчаста и спојница са еластичним прстеновима.



Слика 2.3. Уређај за укључивање и искључивање спојница [2]

2.3.1.1 Канцаста укључно-искључна спојница

Ако се код канцасте спојнице приказане на слици 2.3.1.1, једна полутка спојнице чврсто веже за погонско вратило, а друга полутка на гоњеном вратилу може аксијално да се помера, онда се добија укључно – искључна канцаста спојница. Покретна полутка спојнице везује се за вратило жлебном везом без нагиба.

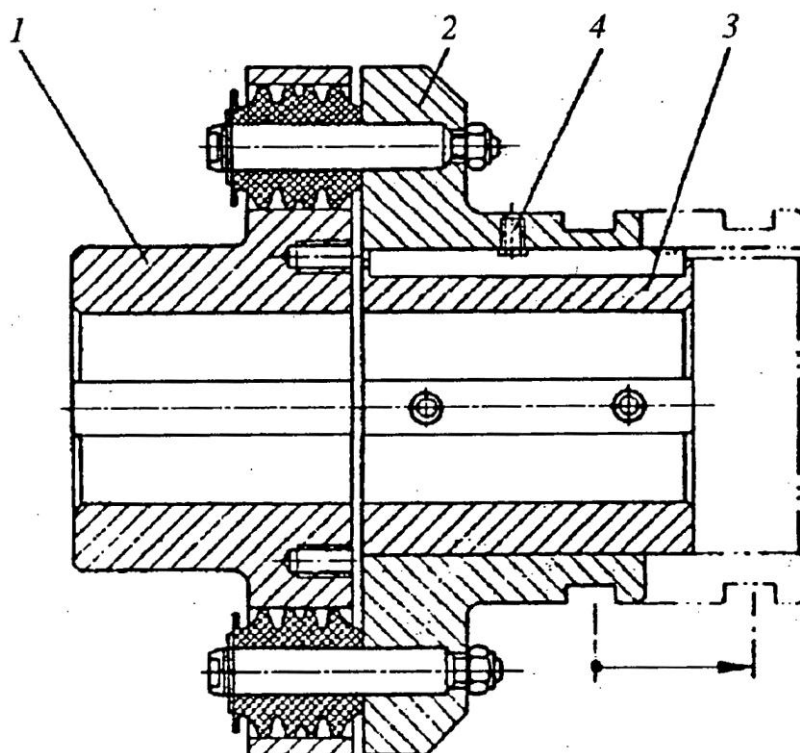


Слика 2.3.1.1 Укључно – искључна канцаста спојница (а) и облици канци б) трапезни; в) тестерастии; г) трапезно тестерастии; д) специјални, [1]

Профил канци је одговарајуће коригован (Слика 2.3.1.1 б, в, д, е) ради лакшег укључивања и искључивања. Трапезни облик канци (Слика 2.3.1.1 г) за пренос обртног момента само у једном смеру, трапезно-тестерастии облик (Слика 2.3.1.1 д) за спречавање повратних ходава при кретању. Облик зубаца приказан Слика 2.3.1.1,е спречава повратно кретање у било ком положају и у било ком смеру.

2.3.2.2 Укључно – искључна спојница са гуменим прстеновима

Спојница са гуменим прстеновима приказана на слици 2.3.2.2.1 уз одговарајуће конструкционе измене може да се примени и као укључно – искључна спојница (Слика 2.3.2.2.1). Укључивање и искључивање спојнице изводи се у стању мировања. Аксијално непокретна полутка спојнице (1) везана је са погонским вратилом. Полутка спојнице која носи гумене прстенове састоји се из два дела – главчине (3) везане за гоњено вратило и обода. Укључивање спојнице изводи се аксијалним померањем обода (2), при чему гумени прстенови долазе у одговарајуће отворе полутке спојнице (1). Аксијални положај обода (2) фиксира се помоћу завртња (4). Аксијално померање обода (2) може да се изведе (код већих спојница) преко уређаја приказаног на слици 2.3, или преко радијалних отвора на цилиндричном делу обода (2).

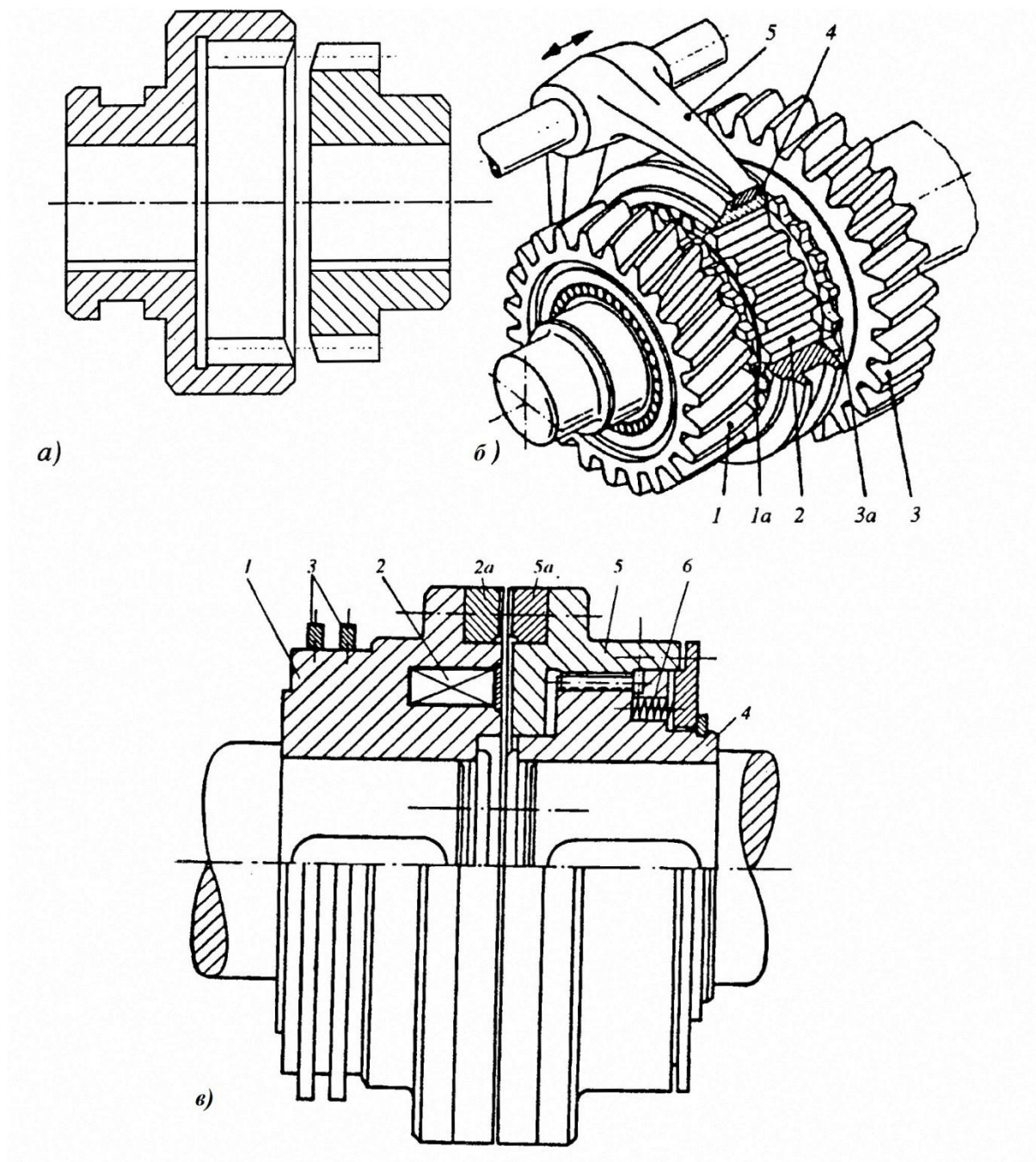


Слика 2.3.2.2.1. Укључно - искључна спојница са гуменим прстеновима, [1]

2.3.2.3 Зупчасте укључно – искључне спојнице

Постоји већи број конструкционих извођења зупчастих укључно – искључних спојница. Најједноставније конструкционо решење приказано је на слици 2.3.2.3.1 а. Једна полутка спојнице израђена је у облику цилиндричног еволвентног зупчаника са спољашњим зупцима, а друга на ободу има унутрашње озубљење. Озубљења су, наравно, са истим модулом и истим бројем зубаца. Укључивање и искључивање спојнице могуће је само у стању мировања и изводи се аксијалним померањем једне полутке спојнице.

На слици 2.3.2.3.1 б приказана је спојница која се користи код мењача степена преноса моторних возила.



Слика 2.3.2.3.1 . Зупчaste укључно искључне спојнице : а) проста зупчаста спојница ; б) синхрона зупчаста спојница; в) електромагнетна зупчаста спојница, [1]

На слици 2.3.2.3.1 б приказана је спојница која се користи код мењача степена преноса моторних возила. Зупчаници (1) и (3) могу слободно да се okreћу, док је зупчаник (2) чврсто везан вратилом. Озубљени прстенови (1a) и (3a) израђени су изједна са зупчаницима (1) и (3). Зупчаста обујмица (4) налази се стално у спреси са

зупчаником (2), а преко виљушке (5) може аксијално да се помера. Померањем зупчасте обујмице у једну или другу страну везује се у једну целину зупчаник (1) (или зупчаник (3)) преко зупчаника (2) са вратилом.

За укључивање спојнице при обртању вратила неопходно је да се најпре изврши синхронизација бројева обртаја. То се изводи преко синхронизационог прстена, који у принципу има конусну фрикциону спојницу за предукључивање.

На слици 2.3.2.3.1 в приказана је електро-магнетна зупчаста спојница са радијалним зупцима. У полутки спојнице (1) погонског вратила уграђен је прстенасти електромагнет (2), а по ободу су постављени клизни прстенови (3) за довод једносмерне струје. На главчини (4) полутке спојнице гоњеног вратила налази се аксијално покретни обод (5), који је са главчином повезан жлебним спојем. Укључивањем електричне струје, електромагнет (2) привлачи покретни обод (5), тако долази до спрезања зупчаника (2а) и (5а), односно до укључивања спојнице. Искључивањем електромагнета, затена завојна опруга (6) враћа обод (5) у првобитни положај, чиме је спојница искључена.

2.3.2.4 Фрикционе укључно - искључне спојнице

Фрикционе укључно - искључне спојнице дозвољавају да се укључивање и искључивање обави под оптерећењем при произвољној разлици угаоних брзина погонског и гоњеног вратила. Преносе обртни момент преко отпора клизању на додирним површинама обода спојнице. Ове спојнице могу да пренесу обртни момент само уколико између радних додирних површина делује нормална сила односно постоји одговарајући притисак. У току укључивања обртни момент се постепено повећава сагласно притиску додирних површина, при чему постоји знатна разлика угаоних брзина погонског и гоњеног дела спојнице, односно постоји проклизавање. Проклизавање се јавља све док се угаоне брзине погонског и гоњеног вратила не изједначе.

Због проклизавања долази до загревања и хабања додирних површина. Хабање може да се смањи подмазивањем додирних површина, чиме се делом одводи трењем произведена топлота, али се на овај начин знатно смањује коефицијент трења. Повећањем површине преко које се топлота одводи у околну средину постиже се и ефикасније хлађење спојнице. Уколико и то није довољно, мора се предвидети принудно хлађење ваздухом или водом.

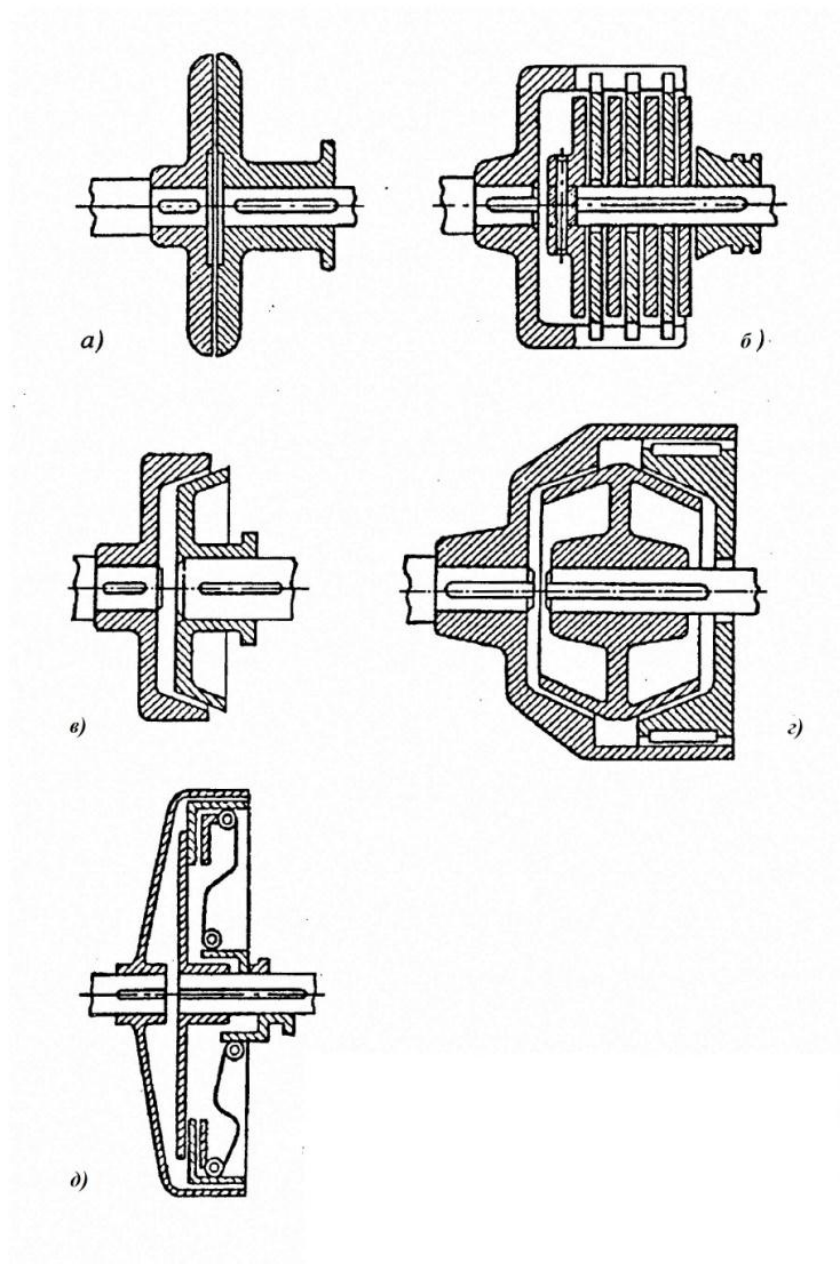
Проклизавање међутим има и позитиван ефекат, јер омогућује да укључивање гоњеног вратила буде меко и постепено, дакле без удара. У случају наглог преоптерећења у току рада, долази до клизања фрикционих елемената по додирној површини, чиме се систем штити од преоптерећења и разарања.

Као материјали, од кога су израђени или којим су обложени фрикциони делови на додирним површинама, користе се челик, челични лив, ливено гвожђе, бронза, месинг, кожа, дрво, пресована хартија, азбестне масе, металокерамички материјали, итд. Додирне површине од металокерамичких материјала и азбестних маса се не подмазују, а код свих осталих материјала врши се подмазивање додирних површина фрикционих делова.

Карактеристике неких фрикционих материјала везане за коефицијент трења μ , максимално дозвољену радну температуру ϑ_{max} и дозвољени површински притисак p_{doz} дати су у Табели 2.3.4.

Табела 2.3.4 Карактеристике фрикционих материјала, [1]

Parovi frikcionih površina	μ		ϑ_{max} °C	p_{doz} N/mm ²
	suve	podmazane		
Kaljeni čelik/kaljeni čelik - podmazivanje prskanjem - podmazivanje mlazom ulja	-	0.06-0.11 0.03-0.06	100 120	0.5 - 2.0
Kaljeni čelik/sinter.mater. - podmazivanje prskanjem - podmazivanje mlazom ulja	0.15-0.25	0.06-0.11 0.03-0.06	180	0.5 - 2.0
Čelik/liveno gvožđe	0.15-0.20	0.03-0.06	260	0.8 - 1.4
Liveno gvožđe/liveno gvožđe	0.15-0.25	0.02-0.10	300	1.5 - 2.0
Presov. azbest sa veštačkom smolom/Č,ČL,SL	0.20-0.40	0.10-0.15	250 (500)	0.05 - 8.0
Metalna vuna/Č,ČL,SL	0.46-0.65	0.10-0.20	200 (300)	0.05 - 6.0
Grafit/čelik	0.25	0.05-0.10	300 (550)	0.05 - 2.0
Pluta/Č,ČL,SL	0.20-0.35	0.10-0.15	100 (160)	0.05 - 0.5
Koža/Č,ČL,SL	0.30-0.60	0.12-0.15	100	0.05 - 0.3
Čelični pesak sa dodatkom grafita/Č,SL	0.40-0.50		350	
Čelične kuglice sa dodatkom grafita/Č,SL	0.20-0.50		300	
Napomene: 1) Vrednosti u zagradama odnose se na kratkotrajan pogon 2) Gustina čeličnog peska krupnoće 0.6 do 1 mm je $\rho=4.4 \text{ gcm}^{-3}$ 3) Gustina čeličnih loptica krupnoće 2 do 3 mm je $\rho=4.3 \text{ gcm}^{-3}$				

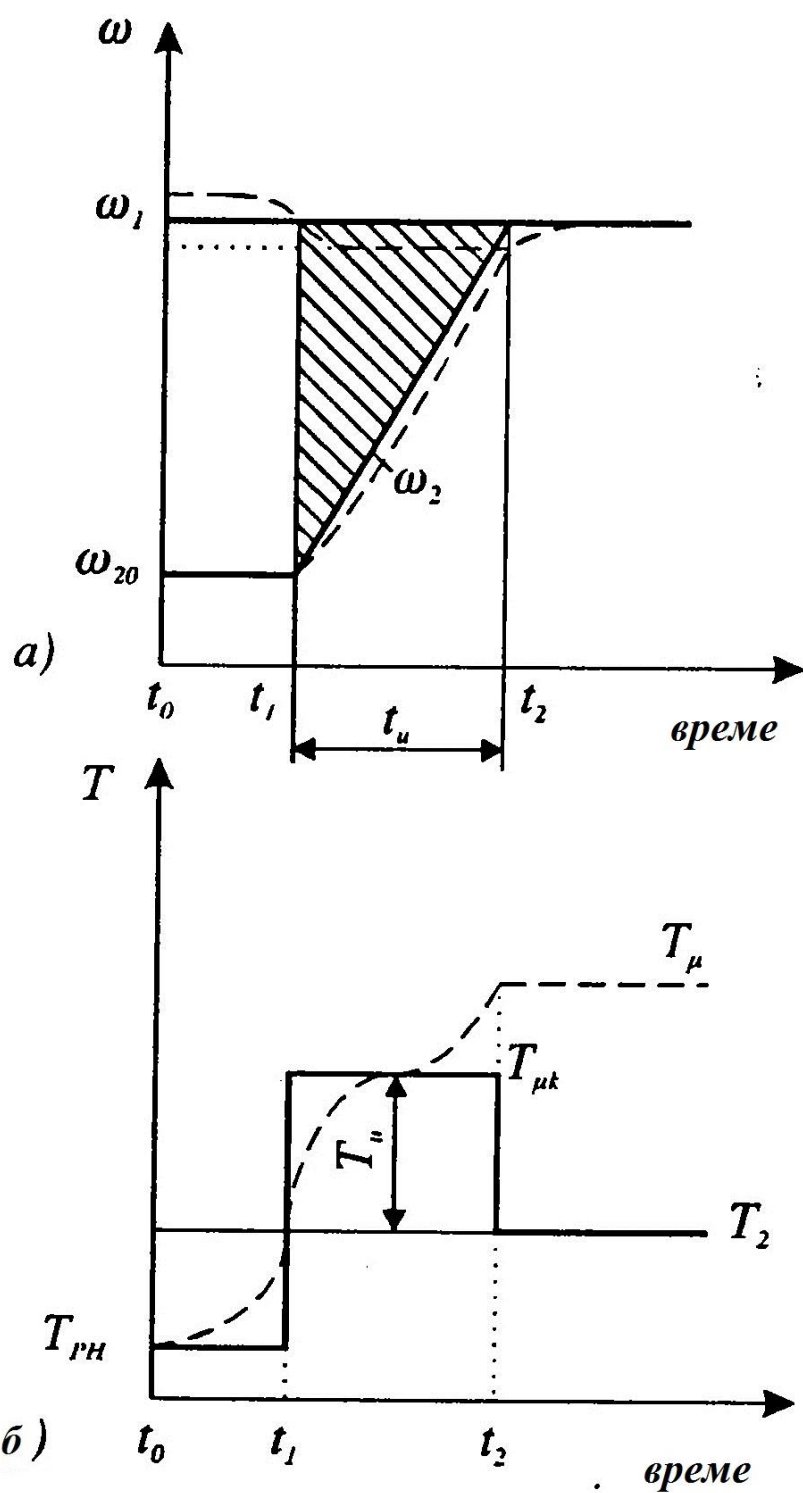


Слика 2.3.2.4.1 Шематски приказ фрикционих спојница:
 (а,б) са равним додирним површинама;
 (в,г) са конусним додирним површинама;
 (д) са цилиндричним додирним површинама; [1]

Фрикционе површине могу бити изведене као равне (Слика 2.3.2.4.1, а,б), конусне (Слика 2.3.2.4.1 в,г) или цилиндричне (Слика 2.3.2.4.1,д).

У циљу повећања носивости изводе се фрикционе спојнице са два или више парова додирних површина. Већи број парова додирних површина конструкционо се изводи преко ламела, које су наизменично преко одговарајућих жлебова везане за једну или другу полутку спојнице (Слика 2.3.2.4.1, б). На овај начин добијају се мање димензије спојница, мањи површински притисак између додирних површина и већа носивост.

При укључивању фрикционе спојнице, погонско и гоњено вратило по правилу имају различите угаоне брзине, при чему најчешће погонско вратило има већу угаону брзину од гоњеног (Слика 2.3.4.2). У периоду укључивања долази до изједначавања њихових угаоних брзина уз проклизавање додирних површина спојнице. Тада спојница може да пренесе момент трења при проклизавању $T_{\mu k}$. Ако се укључивање гоњеног вратила врши под оптерећењем, онда је основни предуслов да спојница уопште може да се укључи, да момент трења при проклизавању буде већи од момента оптерећења на гоњеном вратилу T_2 . Разлика између ова два момента ($T_{\mu k} - T_2$) је момент који служи за убрзавање обртних маса гоњеног вратила, и он треба приближно бити једнак моменту оптерећења T_2 .



Слика 2.3.2.4.2. Шематски приказ тока укључивања фрикционе спојнице (пуна линија) и стварни ток промене (испрекидана линија);
 а) Промена угаоне брзине; б) промена обртног момента, [1]

У процесу укључивања угаона брзина гоњеног вратила расте од вредности ω_{20} у тренутку t_1 до вредности $\omega_2 = \omega_1$ у тренутку t_2 . По правилу, због великог оптерећења које се преноси, угаона брзина погонског вратила нешто опада, тако да се после изједначавања њихове угаоне брзине увећавају до нивоа ω_1 (Слика 2.3.2.4.2,а). Време од тренутка t_1 до тренутка t_2 означава се као време укључивања спојнице $t_u = t_2 - t_1$.

Ток преноса обртног момента приказан је на слици 2.3.2.4.2,б. Када је спојница искључена, тада се евентуално преноси момент празног хода T_{PH} . У тренутку када се обимне брзине погонског и гоњеног вратила изједначе, спојница може да пренесе обртни момент трења T_μ . Пошто је коефицијент трења при релативном кретању додирних површина спојнице μ (период без проклизавања), то је момент трења T_μ већи од момента трења при проклизавању $T_{\mu k}$. Зависно од примењеног фриксионог материјала и конкретних радних услова ова разлика износи 1,1....2,6 пута, односно $T_\mu = (1,1 \dots 2,6) \cdot T_{\mu k}$.

Максимални момент трења при проклизавању може да се одреди према:

$$T_{\mu kmax} = p_{doz} \cdot \mu \cdot i \cdot r_\mu \quad (1.7)$$

А максимални момент трења у тренутку проклизавања

$$T_{\mu max} = \frac{\mu_0}{\mu} \cdot T_{\mu kmax} \quad (1.8)$$

где је : p_{doz} – дозвољени површински притисак између додирних површина;

A – додирна површина;

μ – динамички коефицијент трења;

μ_0 – статички коефицијент трења;

i – број парова додирних површина;

$r_\mu = \frac{1}{3} \cdot \frac{d_s^3 - d_u^3}{d_s^2 - d_u^2}$ – средњи полупречник силе трења (d_s, d_u – спољашњи и унутрашњи пречник прстенасте површине).

Део момента трења при проклизавању који се троши на убрзање маса гоњеног вратила износи $T_u = T_{\mu k} - T_2$. У периоду укључивања $t_u = t_2 - t_1$, спојница преноси уз стално проклизавање обртни момент $T_{\mu k}$, који је знатно већи од момента оптерећења гоњеног вратила T_2 . Због тога је неопходно да време укључивања буде што мање, јер је у том периоду спојница изложена и великом оптерећењу и јаком загревању.

У каталозима произвођача фриксионих спојница могу се наћи подаци о номиналним вредностима момента трења при проклизавању $T_{\mu kn}$ и момента трења у

тренутку проклизавања $T_{\mu n}$. То су максималне вредности обртних момената који спојница са сигурношћу може да пренесе.

Рачунски се номинални обртни момент при проклизавању $T_{\mu kn}$ и у тренутку проклизавања $T_{\mu n}$ добијају преко израза (1.7) и (1.8) и степена сигурности S_μ , односно:

$$T_{\mu kn} = \frac{T_{\mu kmax}}{S_\mu} ; \quad T_{\mu n} = \frac{T_{\mu max}}{S_\mu} \quad (1.9)$$

За избор величине фрикционе спојнице меродавни су обртни момент који преноси T , време укључивања t_u , односно дозвољена температура загревања спојнице ϑ_{max} . При томе одлучујућу улогу игра обртни момент спојнице.

Код укључивања спојнице под оптерећењем потребно је да обртни момент при проклизавању који спојница може да пренесе $T_{\mu n}$ буде најмање два пута већи од момента оптерећења на гоњеном вратилу T_2 , да би се располагало довољним моментом за убрзање маса обртних делова.

За конкретне вредности обртног момента погонског и гоњеног вратила, и за познато време укључивања спојнице t_u , потребно је да у току укључивања спојница располаже са следећим обртним моментом $T_{\mu k}$ у Nm:

$$T_{\mu k} = T_u + T_2 = \varepsilon \cdot J_2 + T_2 = J_2 \cdot \frac{\omega_1 - \omega_{20}}{t_u} + T_2 \leq T_{\mu kn0} \quad (2.0)$$

где је: J_2 – момент инерције обртних маса погонског вратила у kgm^2

ω_1 – угаона брзина погонског вратила у s^{-1} ;

ω_{20} – угаона брзина гоњеног вратила у s^{-1} ;

ε – угаоно убрзање гоњеног вратила у s^{-1} ;

t_u – време укључивања спојнице у s;

T_2 – момент оптерећења сведен на гоњено вратило спојнице у Nm;

$T_{\mu kn}$ – номинални обртни момент трења при проклизавању према каталогу произвођача у Nm.

Ако се погонско и гоњено вратило обрћу у супротним смеровима онда се уместо ($\omega_1 - \omega_{20}$) у изразу (2.0) користи ($\omega_1 + \omega_{20}$).

За случај да је убрзање без оптерећења ($T_2 = 0$) и да је гоњено вратило у стању мировања ($\omega_{20} = 0$), потребан обртни момент спојнице је :

$$T_{\mu k} = J_2 \cdot \frac{\omega_1}{t_u}$$

Ако је познат номинални обртни момент трења при проклизавању $T_{\mu kn}$, онда време укључивања t_u у s износи:

$$t_u = \frac{J_2}{T_{\mu kn} - T_2} \cdot (\omega_1 - \omega_{20}) \quad (2.1)$$

Номинални обртни момент трења у тренутку проклизавања $T_{\mu n}$ меродаван је за одређивање номиналног обртног момента који спојница може да пренесе при оптерећењу.

Рад потребан за убрзање обртних маса погонског вратила A у Nm за случај да је $T_2 = 0$ и $\omega_{20} = 0$ износи:

$$A = \int_{t_1}^{t_2} T_u \cdot \omega_1 \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} J_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \omega_1 \cdot t = J_2 \cdot \omega_1 \cdot \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon_2 \cdot dt = J_2 \cdot \omega_1 \cdot \int_0^{\omega_1} d\omega_2 = J_2 \cdot \omega_1^2 \quad (2.2)$$

Кинетичка енергија која је предата гоњеном вратилу после извршеног укључивања износи:

$$E_k = \frac{J_2 \cdot \omega_1^2}{2}$$

Сходно изразу (2.2) друга половина рада претвара се у топлоту:

$$Q = A - E_k = \frac{J_2 \cdot \omega_1^2}{2} < Q_{doz}$$

За случај да је $T_2 > 0$ и $\omega_{20} > 0$ добија се :

$$Q = T_{\mu kn} \cdot \frac{\omega_1 - \omega_{20}}{2} \cdot t_u = J_2 \cdot \frac{(\omega_1 - \omega_{20})^2}{T_{\mu kn} - T_2} < Q_{doz} \quad (2.3)$$

Према томе при сваком укључивању спојнице троши се рад Q у Nm дат изразом (2.3), који мора бити мањи од Q_{doz} , чије вредности су дате у каталозима произвођача (таблица 2.3.4.1)

Ако се спојница у току једног часа укључује z_h пута, онда рад утошен на укључивање фриксионе спојнице у току једног часа Q_h у Nm / h износи:

$$Q_h = Q \cdot z_h < Q_{hdoz} \quad (2.4)$$

Вредности Q_{hdoz} дате су у каталозима произвођача спојница. Према томе при укључивању фриксионе спојнице половина доведене енергије се претвара у топлоту. Да не би дошло до прегревања спојнице, неопходно је да ова топлота буде одведена у околну средину. Код спојница које раде без подмазивања ово се постиже струјањем ваздуха најчешће преко вентилатора. Код спојница са подмазивањем ово се изводи преко средства за подмазивање, док се код спојница са ламелама примењује циркуларно подмазивање уљем са $0,1 \dots 0,15 \text{ l/min}$.

Прорачун фриксионих спојница састоји се у провери површинског притиска на додирним површинама

$$p = \frac{F_n}{A} < p_{doz} \quad (2.5)$$

где је : F_n – нормална сила притиска на додирним површинама;

A – додирна површина фриксионих делова (за прстенасту површину пречника d_u и d_s износи $A = \frac{\pi}{4} \cdot (d_s^2 - d_u^2)$;

p_{doz} – дозвољени површински притисак (Табела 2.3.2.4.1).

Сила притиска на додирним површинама одређује се према:

$$F_n = \frac{2 \cdot S_\mu \cdot T}{i \cdot \mu \cdot d_\mu} \quad (2.6)$$

где је : T – радни обртни момент који спојница преноси;

S_μ – степен сигурности против клизања ($S = 1,1 \dots 1,6$);

μ – динамички коефицијент трења (Табела 2.3.4.1)

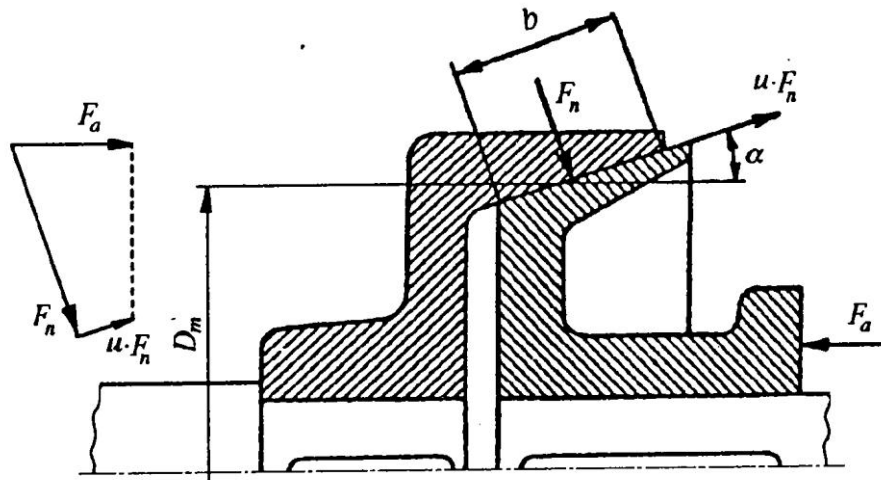
i – број парова додирних површина (код спојница са ламелама $i = z_s + z_u - 1$ где је z_s и z_u број спољашњих и унутрашњих ламела.

Код фриксионих спојница са равнима додирним површинама (Слика 2.3.2.4.1, а, б) и спојница са ламелама нормална сила F_n једнака је аксијалној сили F_a . Код фриксионих спојница са конусним додатним површинама аксијална сила је мања од нормалне силе. Према слици 2.3.2.4.3 аксијална сила износи

$$F_a = F_n \cdot \sin \alpha + \mu \cdot F_n \cdot \cos \alpha \quad (2.7)$$

где је α – полуугао конуса.

Број парова додирних површина код фрикционих спојница са конусним додирним површинама је $i = 1$ па је аксијална сила већа него код спојнице са ламелама.



Слика 2.3.2.4.3 Шема фрикционе спојнице са конусним фрикционим површинама, [1]

Величина аксијалне силе зависи од угла α , и за мање углове α смањује се потребна аксијална сила F_a . Због уклињавања конуса угао α мора бити већи од угла трења ρ , тако да се креће у границама $\alpha = 12 \dots 16^\circ$.

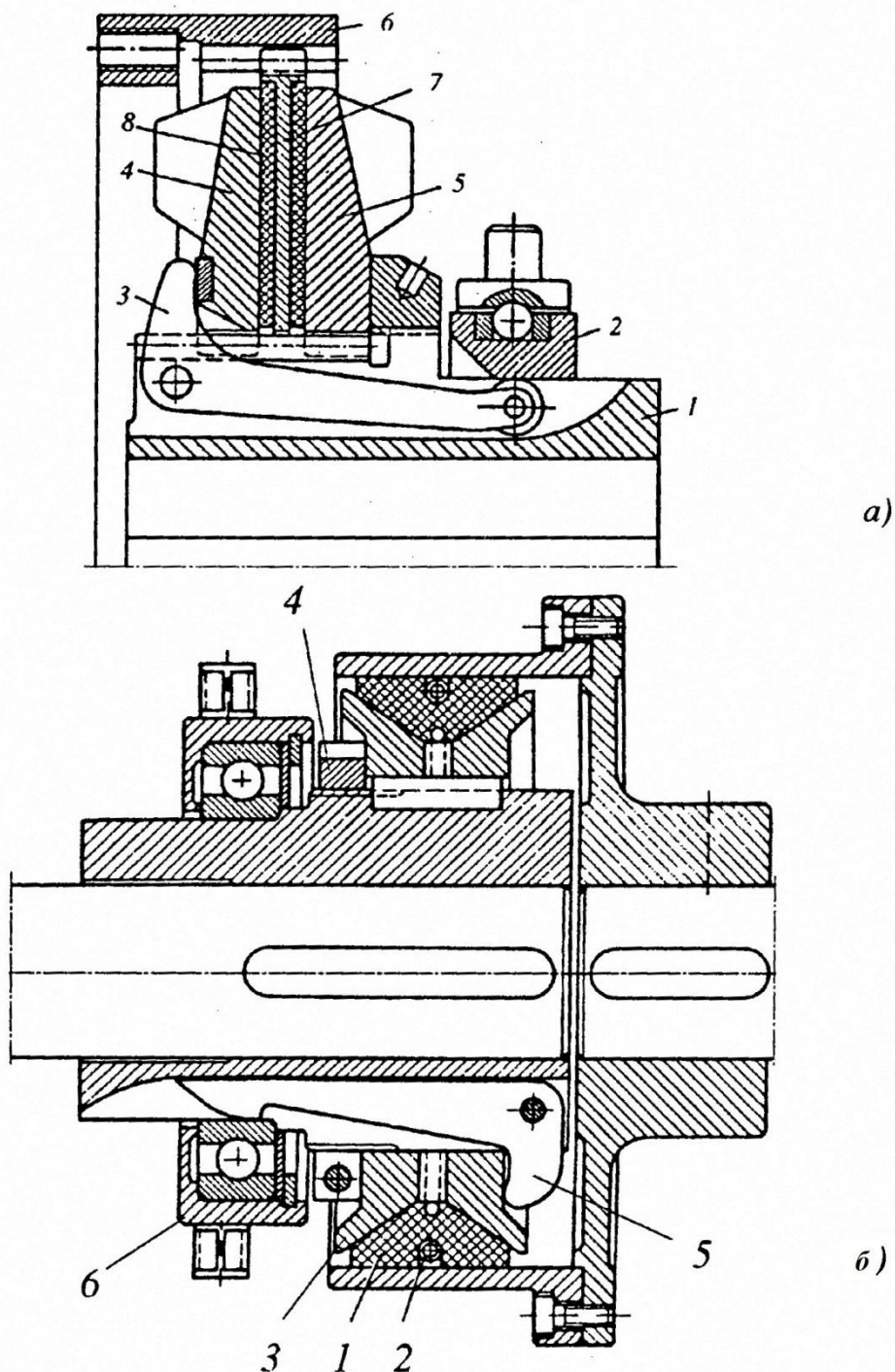
Развијен је велики број различитих типова фрикционих спојница. Потребна нормална сила за укључивање фрикционе спојнице може се остварити механичким, хидрауличним, пнеуматским и електромагнетним путем.

а) Фрикционе спојнице са механичким укључивањем и искључивањем

Потребна нормална сила код ових спојница остварује се механичким путем и то најчешће системом угаоних полуга или преко опруга. Овај начин користи се код захтева за даљинским укључивањем. На слици 2.3.2.4.4, а приказана је спојница са два пара додирних површина са механичким укључивањем и искључивањем. На главчини спојнице (1) налази се обујмица (2), која преко одговарајућих полуга може аксијално да се помера. У подужним жлебовима по обиму главчине постављене су угаоне полуге (3), којих има најмање три. Фрикциони дискови (4) и (5) одређен је навртком, која служи и за фино подешавање његовог аксијалног положаја, док фрикциони диск (4) може слободно аксијално да се помера.

Друга полутка спојнице (6) преко жлеба је повезана са диском (7), који је са обе стране обложен фрикционим слојем. Дејством полуге (3) на диск (4) остварује се

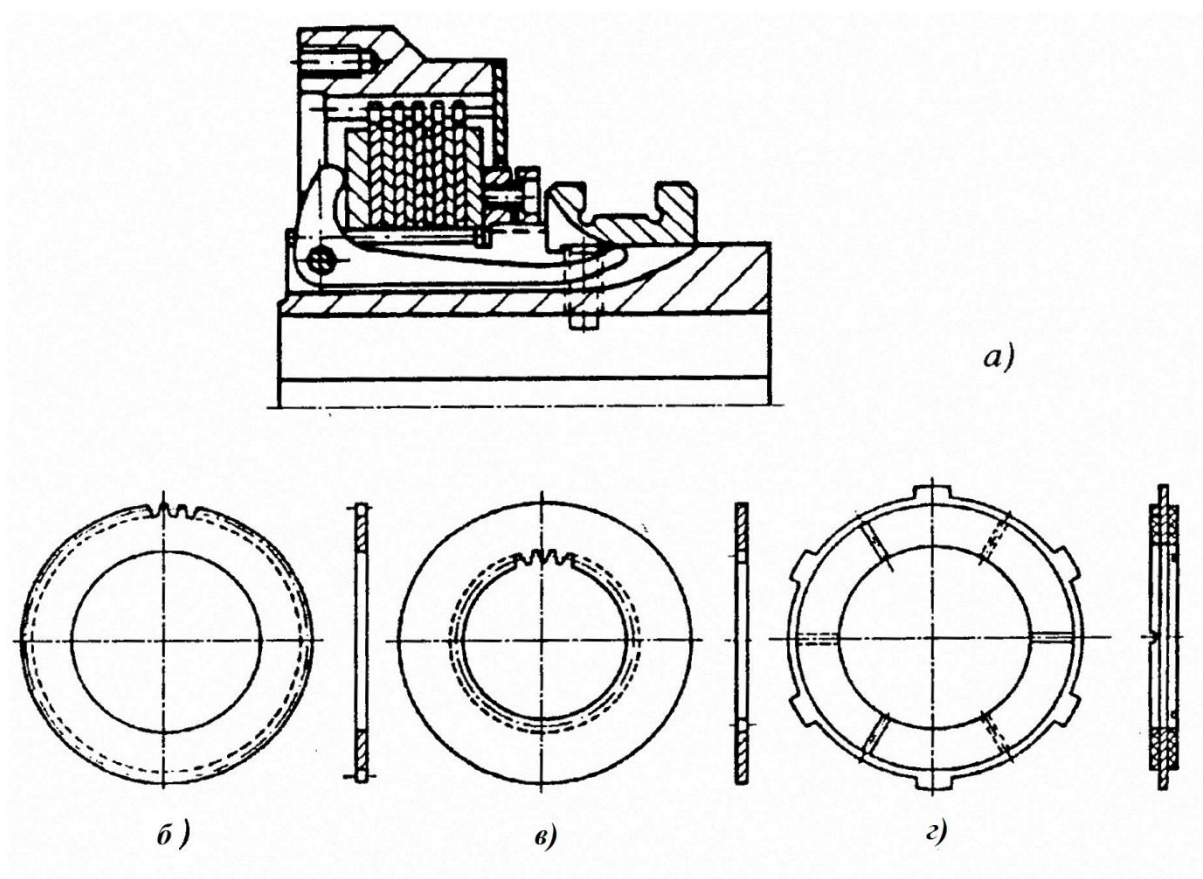
одговарајући притисак између додирних површина, чиме је спојница укључена. Померањем обујмице (2) удесно, ослобађа се угаона полуга (3) и спојница је укључена.



Слика 2.3.2.4.4 Фрикционе спојнице са механичким укључивањем и искључивањем
 а) са два пара додирних површина; б) са фрикционим прстеном, [1]

Слична конструкциона решења су и код спојнице са фрикционим прстеном (Слика 2.3.4.4,б) и спојнице са ламелама (Слика 2.3.2.4.5)

Спојница са фрикционим прстеном представља комбинацију коничних и цилиндричних додирних површина. Одликује се добрим одвођењем топлоте и малом силом неопходном за укључивање и искључивање. Као преносни елемент код ове спојнице користи се фрикциони прстен (1) који је клинастог пресека, односно ограничен је са две конусне и једном цилиндричном површином. Подељен је на шест сегмената, који су опругом (2) увек притиснути на конусне дискове (3). Аксијални положај једног конусног диска подешава се преко навртке (4), док се други под дејством угаоне полуге (5) аксијално помера. Аксијалним померањем обујмице (6) удесно унутрашњи прстен кугличног лежаја делује на угаону полуку, која аксијално помера конусни прстен. Сегменти фрикционог прстена померају се радијално чиме се остварује одговарајући притисак између цилиндричне површине фрикционог прстена и обода спојнице повезане са другим вратилом. На тај начин спојница је укључена. Померањем обујмице (6) улево полуку се ослобађају и спојница се искључује раздвајањем цилиндричних површина. Фрикциони прстен је тако изведен да у току рада аутоматски одржава коаксијалност спојених вратила.



Слика 2.3.2.4.5 Фрикциона спојница са ламелама са механичким укључивањем и искључивањем (а) и облици без (б, в) и са (з) облогом, [1]

Постоје и конструкциона решења где се овакав тип фрикционе спојнице укључује хидрауличним или пнеуматским путем. примењује се најчешће без подмазивања додирних површина.

Спојнице са ламелама имају широко подручје примене. Постављањем већег броја ламела једне иза друге, које су наизменично у вези са једном и са другом полутком спојнице, повећава се додирна површина и носивост спојнице сагласно броју ламела. Ламеле су прстенастог облика (Слика 2.3.2.4.5, б, в, г), а са полуткама спојнице спајају се жлебном везом.

Предност спојница са ламелама огледа се у компактној конструкцији и повољнијој цени. Негативна страна ових спојница огледа се у брзом загревању у току рада. При празном ходу код ових спојница увек постоје извесни губици енергије због трења између ламела.

Постоји велики број конструкционих решења спојнице са ламелама. Код конструкционе варијанте приказане на слици 2.3.2.4.5, а ламеле су постављене између два диска прстенастог облика од којих је један аксијално фиксиран, а други се под дејством угаоне полуге може да се аксијално помера. На тај начин остварује се одговарајући притисак између ламела и спојница се укључује. Обод полутке спојнице са спољашњим ламелама везује се другим вратилом или обртним елементом преко завртњева.

Постоје и друга конструкциона решења фрикционе спојнице са ламелама. Димензије и основне карактеристике БСД фрикционих спојница са ламелама са механичким укључивањем за два различита извођења дате су у табели 2.3.4.1.

б) Електромагнетне фрикционе спојнице

Код ових спојница потребна сила притиска између додирних површина остварује се помоћу електромагнета. Електромагнетна фрикциона спојница може бити изведена као трајно укључена и као трајно искључена. Код трајно укључене спојнице потребна сила притиска на додирним површинама остварује се преко опруга, а спојница се искључује преко електромагнета. Трајно искључена фрикциона спојница укључује се преко електромагнета, који обезбеђује потребну силу притиска између додирних површина, а опруге код искључене спојнице раздвајају додирне површине. Трајно укључена спојница примењује се када је спојница у раду скоро стално укључена, а само се повремено искључује, или када у случају нестанка струје искључивање спојнице може довести до нежељених последица.

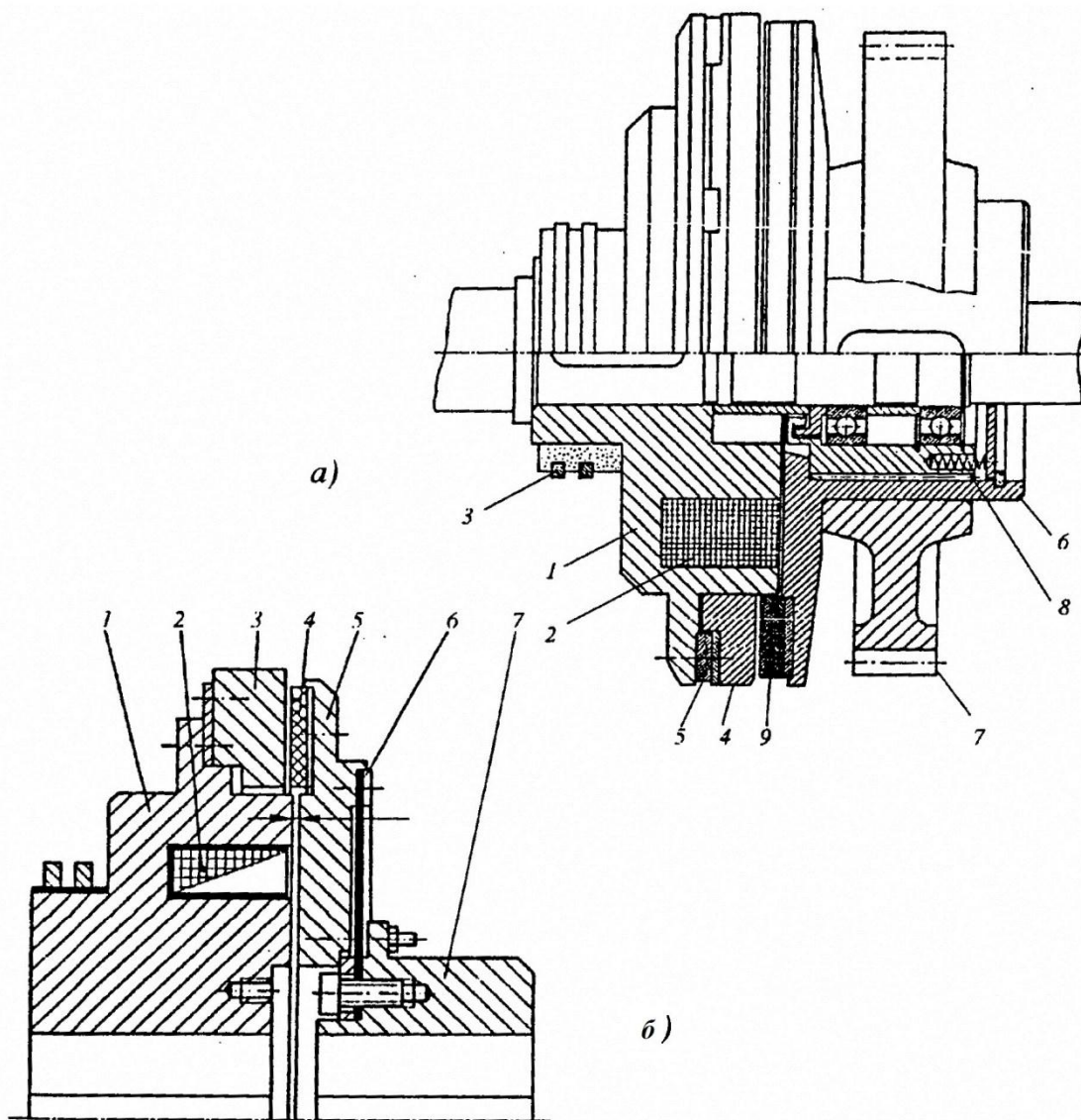
Електромагнетне фрикционе спојнице могу бити изведене тако да електромагнетно поље обухвата радне додирне површине или да буде изван њих.

Табела 2.3.4.1 Димензије и основне карактеристике БСД фрикционих спојница са ламелама са механичким укључивањем, [1]

ОБЛИК 493

Према начину довођења струје до електромагнета разликују се спојнице са клизним прстеновима (где се електромагнет у току рада окреће заједно са спојницом) и спојнице без клизних прстенова (где електромагнет мирује). Укључивање и искључивање фрикционих спојница помоћу електромагнета најчешће се примењује у пракси. Могуће је даљинско укључивање и искључивање спојница компактне конструкције, што је нарочито значајно код аутоматизације.

Негативна страна ових спојница је што електромагнет трајно ствара топлоту, магнетизује околну средину и захтева трајни довод струје у току рада.



Слика 2.3.2.4.6. Електромагнетне фрикционе спојнице са клизним прстеновима и једним паром радних додирних површина
а) веза вратила са зупчаником; б) веза два вратила, [1]

Фрикциона спојница са једним паром додирних површина и са клизним прстеновима приказана на слици 2.3.2.4.6, а, служи за пренос обртног момента са вратила на зупчаник, спада у групу трајно искључених спојница. У полутки спојнице

(1) погонског вратила уграђен је електромагнет (2), који је повезан са клизним прстеновима (3). На ободу ове спојнице причвршћен је фриксиони прстен (4), чији аксијални положај може да се подешава преко дистантних лимова (5). Друга полутка спојнице (6) носи зупчаник (7) има могућност аксијалног померања. Полутка спојнице (6) служи као котва електромагнета и на њеној чеоној страни постављена је фриксиона облога (9). У искљученом стању положај полутке (6) одређују притисне завојне опруге (8), када су додирне површине спојнице раздвојене. Укључивањем електричне струје електромагнет (2) привлачи котву (6), чиме се остварује одговарајући притисак између додирних површина и спојница је укључена. У укљученом стању увек постоји зазор између полутки спојница, што се постиже подешавањем положаја фриксиононг прстена (4) преко дистантних лимова (5).

Ради лакше замене фриксиона облога (9) је дводелна. Преко клизних прстенова (3) у електромагнет се доводи једносмерна струја напона 24 V. Магнетно поље код ове спојнице делује ван радних додирних површина.

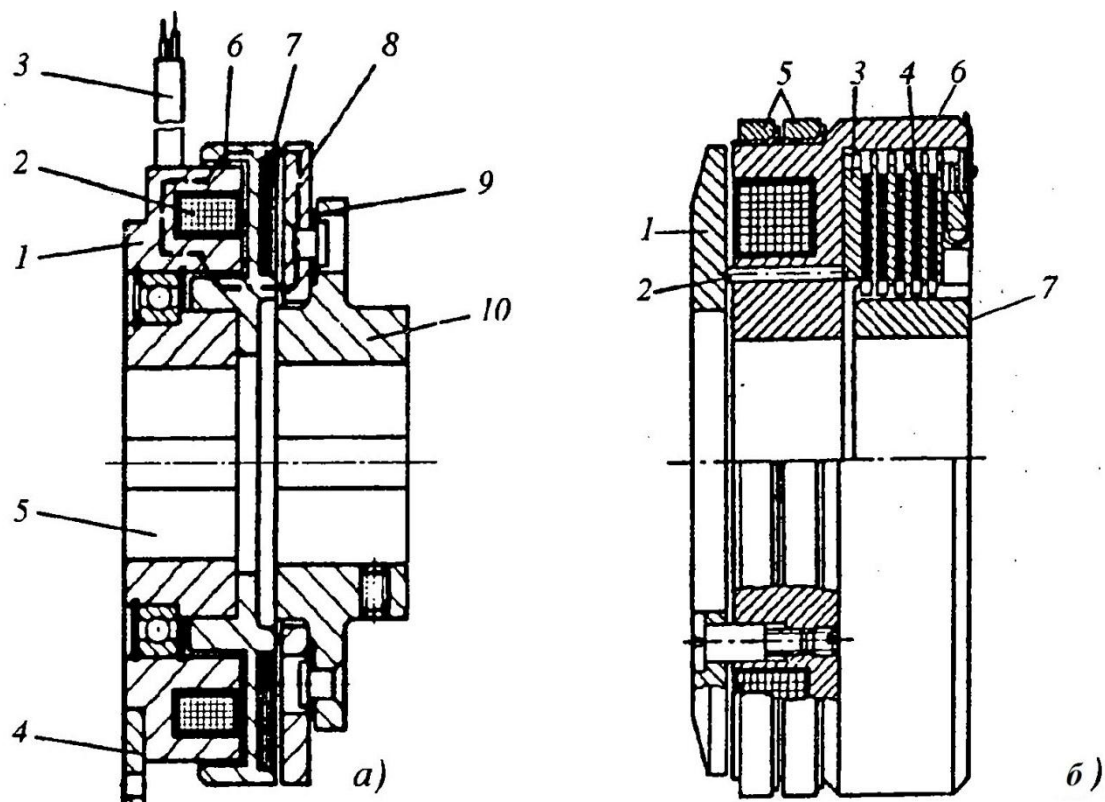
Конструкциона варијанта електромагнетне фриксионе спојнице приказане на слици 2.3.2.4.6, б, намењена је за пренос обртног момента између два вратила. За разлику од претходне спојнице, котва (5) повезана је са главчином (7) преко мембране (6) израђене од челика за опруге. У искљученом стању челична мембрана обезбеђује раздвајање додирних површина фриксионе облоге (4) и фриксионог прстена (3), а у укљученом стању омогућује аксијално померање котве (5) и преноси обртни момент.

Електромагнетне фриксионе спојнице раде са сувим додирним површинама са комбинацијом фриксионих материјала челик/азбест (челик/синт. бронза), или челик/специјална пластична маса. По правилу полутка спојнице са електромагнетом постављена је на погонско вратило, а полутка са котвом, која је мање масе, на гоњено вратило. На тај начин смањује се енергија потребна за убрзање обртних маса при укључивању спојнице, као и загревање саме спојнице. Обзиром да постоји потпуно раздвајање радних додирних површина, то је обртни момент празног хода једнак нули. Магнетно поље не делује на радне додирне површине.

Код електромагнетне спојнице без клизних прстенова (слика 2.3.2.4.7, а) део спојнице са електромагнетом (1) је на главчину спојнице (5) ослоњен преко котрљајних лежаја и преко држача (4) фиксиран, тако да се не окреће. Ротор (6) чврсто је везан са главчином (5) и има две магнетне међусобно изоловане површине између којих се налази фриксиона облога (7). Веза између котве (8) и главчине спојнице (10) остварена је преко челичне мембране (9), која је по обиму наизменично заковицама везана за котву и главчину.

При укључивању спојнице доводи се у електромагнет преко прикључног кабла(3) једносмерна струја, тако да он привлачи котву (8) и остварује одговарајући притисак између радних додирних површина. Искључивањем струје мембрана раздваја котву (8) од фриксионих облога (7), чиме је спојница искључена. Спојница може да

преноси обртни момент у оба смера. Код ове спојнице, за разлику од решења на слици 2.3.2.4.7, а, б, магнетни флуks обухвата и додирне радне површине.



Слика 2.3.2.4.7 а) електромагнетна фриксиона спојница без клизних прстенова, са једним паром радних додирних површина; б) електромагнетна фриксиона спојница са ламелама и клизним прстеновим, [1]

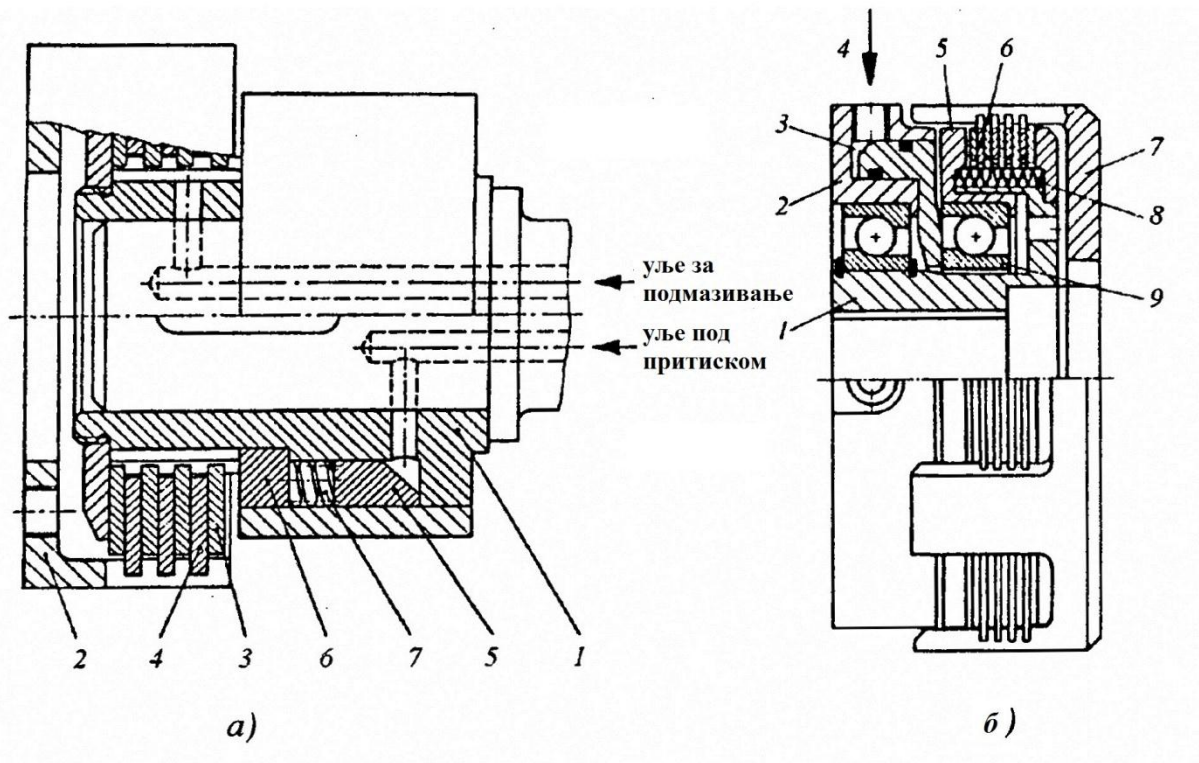
На слици 2.3.2.4.7, б приказана је електромагнетна фриксиона спојница са ламелама. Полутка спојнице са електромагнетом (6) везана је за погонско вратило. Са спољашње стране обода има постављене клизне прстенове (5), а са унутрашње стране носи пакет унутрашњих ламела (4) (на слици тамно означене). При укључивању спојнице електромагнет привлачи котву(1), која преко осовиница (2) делује на притисну плочу (3), чиме се између ламела остварује потребан притисак. Код искључивања електромагнетна котва (1) враћа се у првобитан положај преко притисних завојних опруга (нису приказане на слици), чиме је спојница искључена.

Спојница може да пренесе обртни момент $T = 30 \dots 2000 \text{ Nm}$. Спољашњи пречник спојнице креће се у границама 100 до 300 mm.

в) Хидрауличке и пнеуматске фриксионе спојнице

Потребна сила притиска код ових спојница остварује се хидрауличким или пнеуматским путем. Укључивање фриксионих спојница хидрауличким путем изводи се махом код спојница са ламелама. Ове спојнице одликују се малим димензијама, могућношћу даљинског управљања, регулацијом величине обртног момента који

преносе, високом учестаношћу обртања, могућношћу честог укључивања и искључивања и малим моментом празног хода.



Слика 2.3.2.4.8 а) Хидрауличка фрикциона спојница са централним доводом уља;
б) Хидрауличка или пнеуматска фрикциона спојница са радијалним доводом флуида, [3]

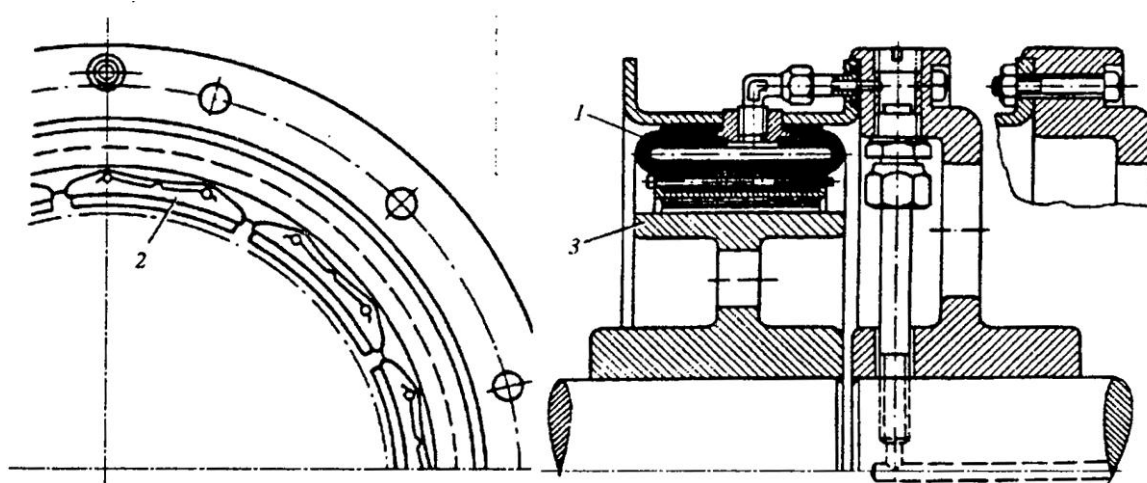
На слици 2.3.2.4.8, а приказана је хидрауличка фрикциона спојница код које се уље под притиском доводи преко подужног отвора у погонском вратилу и главчине (1) до прстенастог клипа (5). Клип сабија завојну притисну опругу (7) и аксијално помера притисну плочу (6), чиме се остварује потребан притисак између унутрашњих (3) и спољашњих (4) ламела спојнице. На тај начин спојница је укључена. Полутка спојнице (2), која носи пакет спољашњих ламела, повезана је са гоњеним вратилом. Спојница се искључује смањењем притиска уља, при чему опруга (7) враћа клип назад, чиме се остварује аксијални зазор између ламела. Уље за хлађење и подмазивање ламела се доводи посебним водовима.

На слици 2.3.2.4.8, б приказана је фрикциона спојница са ламелама код које је могуће укључивање и искључивање хидрауличким или пнеуматским путем. Прикључак за довод флуида под притиском постављен је радијално.

Цилиндрично кућиште (2), са отворима за довод уља (4), улежиштено је на главчини (1) погонског вратила преко прстеног кугличног лежаја са косим додиром. Пакет унутрашњих ламела везан је са главчином погонског вратила (1), а пакет спољашњих ламела са ободом полутке спојнице (7) гоњеног вратила. Под притиском

уља или ваздуха прстенасти клип (3) делује на унутрашњи прстен лежаја са косим додиром (9), који ово оптерећење преко котрљајних тела и спољашњиц прстенова преноси на притисну плочу(5). На тај начин остварује се потребан притисак између додирних површина ламела и спојница је укључена. По престанку притиска уља, опруга (8) враћа клип (3) у првобитни положај, чиме се обезбеђује аксијални зазор између ламела и спојница је искључена.

Пнеуматске фрикционе спојнице изводе се са равним, конусним или цилиндричним радним површинама. Одликују се веома брзим и тачним укључивањем и искључивањем. Примењују се за случај убрзања или успорења великих маса, када се захтева врло кратко време укључивања и искључивања, као на пример код преса, маказа, машина за обраду дрвета, грађевинских машина, итд,



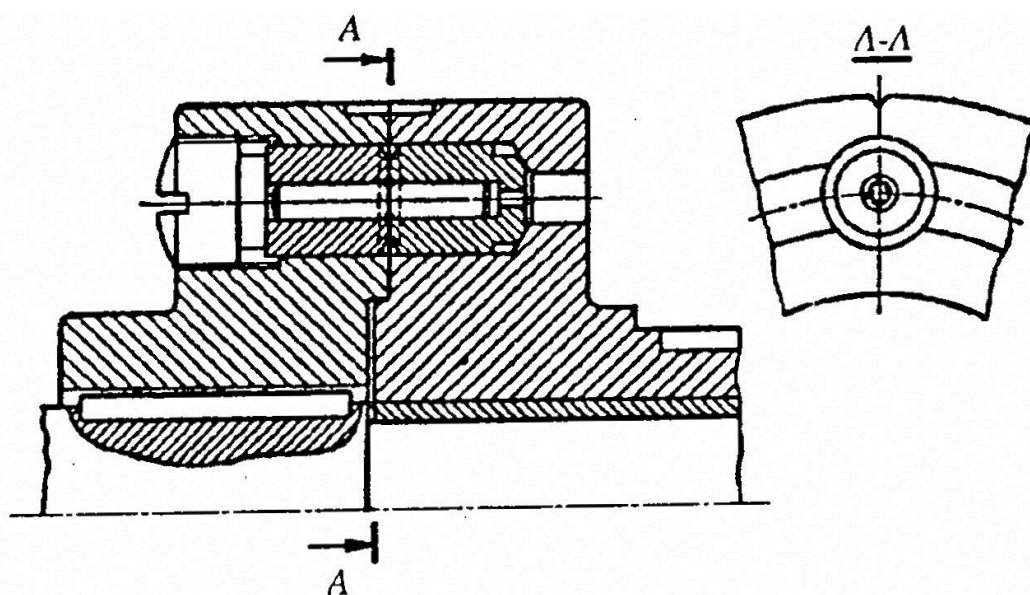
Слика 2.3.2.4.8 Пнеуматкса фрикциона спојница, [3]

На слици 2.3.2.4.8 приказана је пнеуматска фрикциона спојница са еластичном гумом. Ваздух под притиском доводи се преко погонског вратила и полутке спојнице од еластичне гуме (1) елиптичног попречног пресека. Са унутрашње стране гуме по целом обиму постављене су папуче (2) са фрикционом облогом. Полутка спојнице гоњеног вратила (3) изведена је у облику добоша. Под притиском ваздуха гума се еластично шири, тако да папуче (2) належу на обод полутке спојнице (3), чиме се остварује потребан притисак између цилиндричних додирних површина. На тај начин спојница је укључена. У искљученом стању постоји већи зазор између папуча и добоша. Спојница има могућност компензације мањих радијалних и угаоних одступања оса вратила.

2.3.2.5 Сигурносне спојнице

Сигурносне спојнице аутоматски прекидају везу обртних делова у тренутку када обртни момент достигне унапред задату вредност. Ове спојнице преносе обртни момент обликом (кинематичка веза) или трењем (динамичка веза). Код преноса обртног момента обликом долази до потпуног прекида везе, а код преноса обртног момента трењем долази до проклизавања додирних површина односно не долази до прекида везе обртних делова. Проклизавање међутим доводи до брзог загревања и хабања додирних површина, тако да је неопходна одговарајућа заштита спојнице.

Ове спојнице омогућују регулацију величине обртног момента који преносе, чиме се систем штити од преоптерећења. На овај начин могуће је постићи мање димензије преносних система, што је нарочито важно код мобилних средстава.



Слика 2.3.2.5.1. Сигурносна спојница са ломљивим осовиницама, [1]

Најпростија сигурносна спојница приказана је на слици 2.3.2.5.1 као сигурносни елементи користе се осовинице (глатке или са зарезом) којима су ободи полутки спојница међусобно повезани. При оптерећењу осовинице се ломе тако да се кинематичка веза између обода спојница тренутно прекида, и систем штити од преоптерећења. Осовинице се димензионишу према максималном обртном моменту, који износи:

$$[T] = S_s \cdot K_A \cdot T = z \cdot A \cdot \tau_M \cdot \frac{D}{2}$$

где је :

A – број опасног пресека осовинице;

z – број сигурносних осовиница;

τ_M – смицајна чврстоћа осовинице;

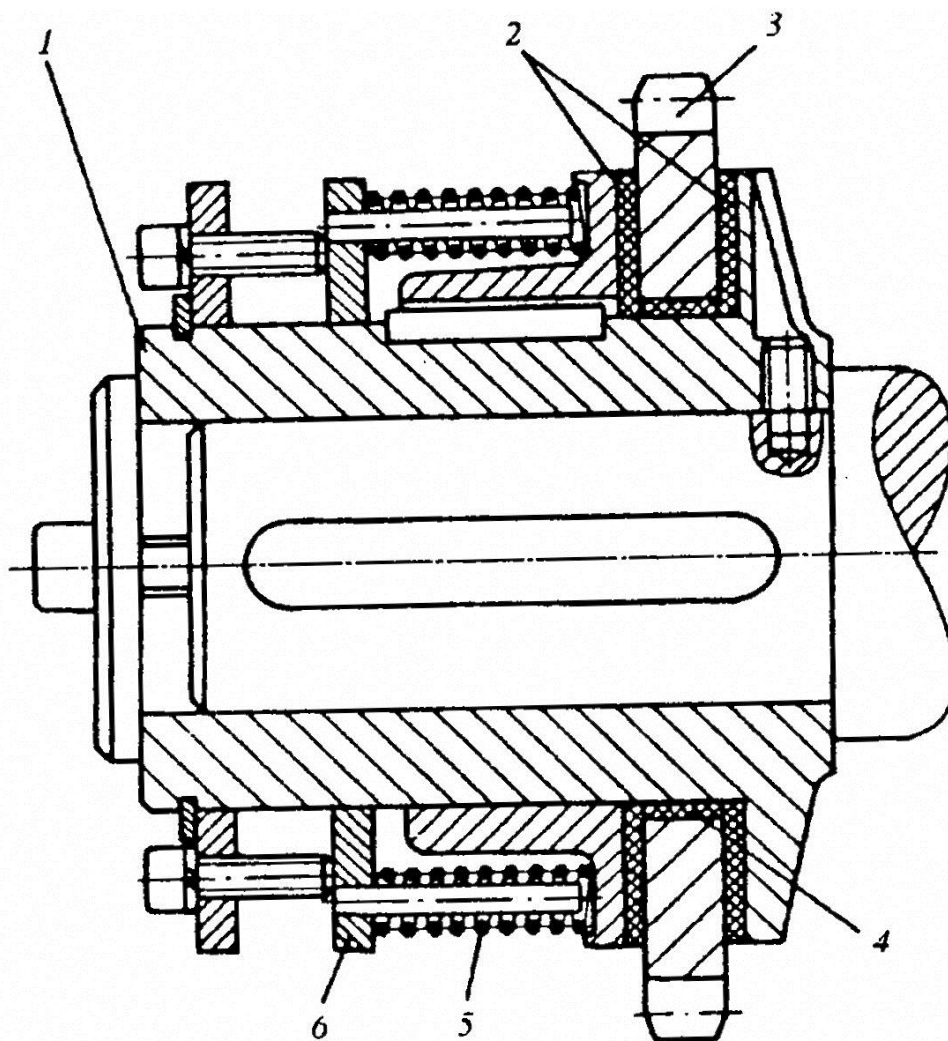
D – пречник на коме су по обиму распоређене осовинице;

S_s – степен сигурности против случајног активирања спојнице ($S_s = 1,2 \dots 1,25$);

K_A – фактор радних услова;

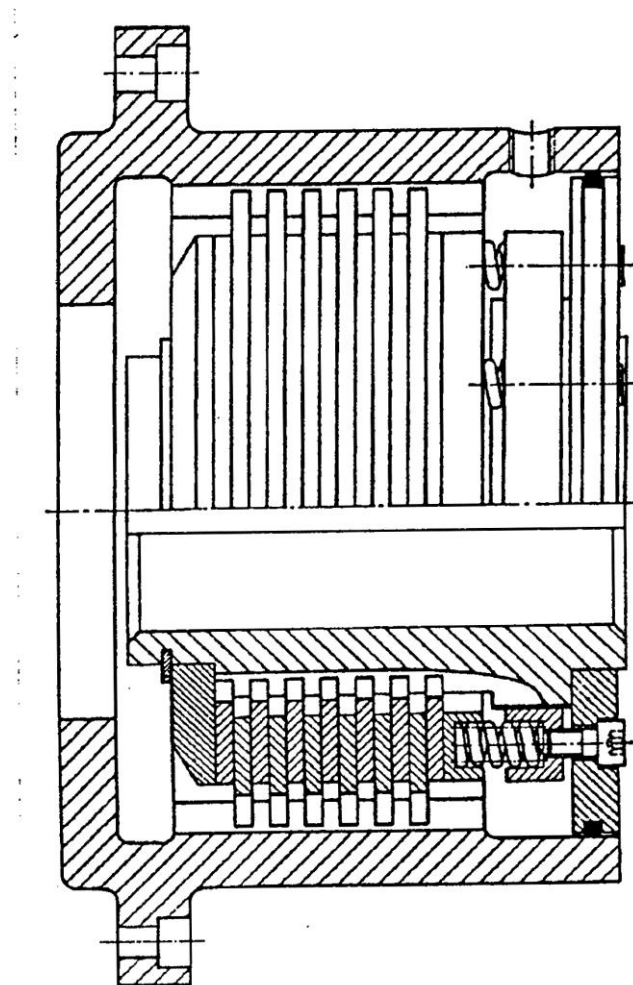
T – номинални обртни момент који спојница преноси;

Недостатак ових спојница је што се највећи обртни момент не може тачно да одреди због расипања вредности смицање чврстоће материјала. Вредности обртног момента при коме се ломе осовинице варира у доста широким границама. Због тога може даћи до лома осовиница при пуштању спојнице у рад или при њеном заустављању.



Слика 2.3.2.5.2. Сигурносна спојница са проклизавањем, [1]

На слици 2.3.2.5.2 приказана је сигурносна спојница са проклизавањем. На главчини (1) полутке спојнице постављен је ланчаник (3), чије се чеоне површине додирују са фрикционим облогама (2). По обиму ланчаник се ослања на главчину преко клизне чауре (4). Притисак између додирних површина (фрикционих облога и ланчаника) остварује се преко већег броја притисних завојних опруга (5). Осовинице – носачи опруга, конзолно су постављене по обиму прстенастог диска (6), који може аксијално да се помера помоћу завртњева. Завртњеви уједно служе за регулацију притиска између додатних радних површина. У случају преоптерећења долази до проклизавања између додирних радних површина фрикционих облога и ланчаника.



Слика 2.3.2.5.3 Сигурносна спојница са ламелама, [2]

Код преноса већег обртног момента као сигурносна спојница са проклизавањем може да се примени спојница са ламелама (Слика 2.3.2.5.2). Подешавање величине максималног обртног момента који спојница преноси изводи се преко завртњева и притисних завојних опруга. Спојница може да ради са сувим и подмазаним радним површинама. Максимални обртни момент одређује се према изразу:

$$T_{\mu max} = \frac{\mu_0}{\mu} \cdot T_{\mu k max}$$

Где је : $T_{\mu k max}$ - максимални момент трења при проклизавању и може да се одреди према:

$$T_{\mu k max} = p_{doy} \cdot A \cdot \mu \cdot i \cdot r_{\mu}$$

p_{doz} - дозвољени површински притисак између додирних површина;

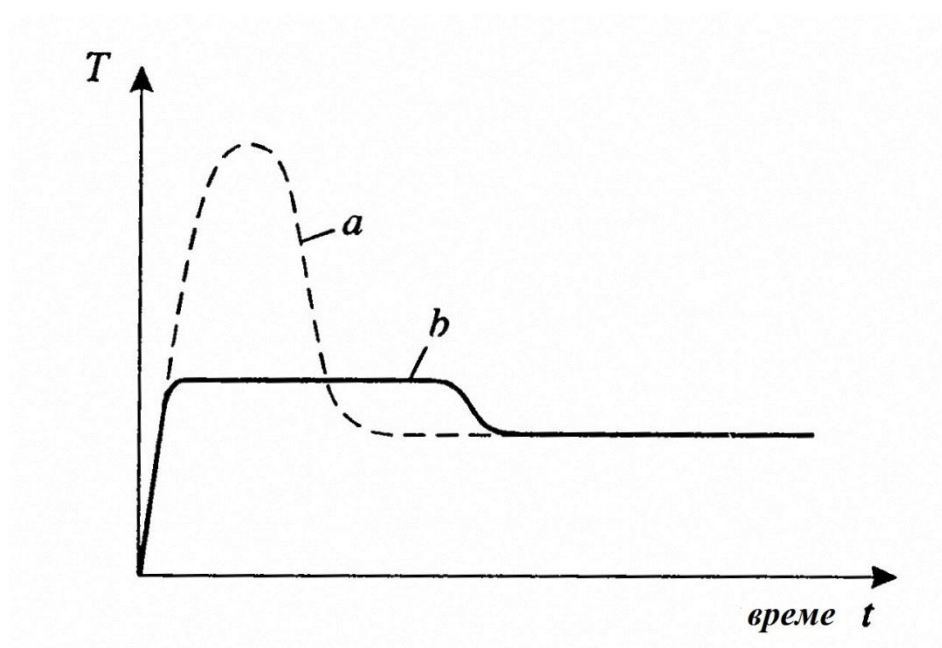
A – додирна површина;

μ – динамички коефицијент трења;

μ_0 – статички коефицијент трења;

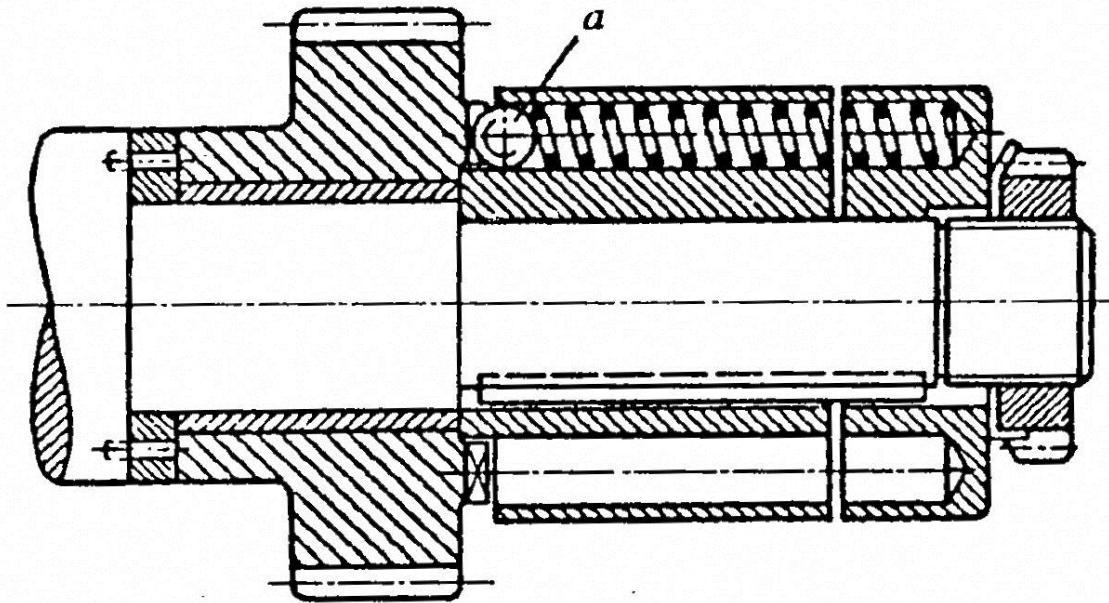
i – број парова додирних површина;

$r_\mu = \frac{1}{3} \cdot \frac{d_s^3 - d_u^3}{d_s^2 - d_u^2}$ – средњи полупречник силе трења (d_s, d_u – спољашњи и унутрашњи пречник прстенасте површине).



Слика 2.3.2.5.4. Ток промене обртног момента при пуштању система у рад са (в) и без (а) спојнице са проклизавањем, [1]

На слици 2.3.2.5.4 приказан је ток промене обртног момента при пуштању система у рад без (а) и са (б) сигурносном спојницом са проклизавањем. Величина обртног момента који делује на систем битно се смањује применом сигурносних спојница са проклизавањем, што пружа могућност смањења димензија делова система у току процеса конструисања.



Слика 2.3.2.5.5 Сигурносна спојница са куглицама, [3]

На слици 2.3.2.5.5 приказана је сигурносна куглица са куглицама за везу вратила и зупчаника. Зупчаник је на вратило ослоњен преко клизних прстенова, а са чеоне стране има жлебове. Као сигурносни елементи користе се куглице (или ваљчићи) (а) који су притиснути у ове жлебове помоћу притисне завојне опруге. При преоптерећењу куглице сабијају опруге и излазе из жлебова, тако да долази до прекида у преносу обртног момента. Уколико се обртни момент смањи, куглице се поново враћају у одговарајуће жлебове и веза између вратила и зупчаника поново се остварује. Величина максималног обртног момента регулише се помоћу навртке.

На истом принципу ради и сигурносна кандаста спојница.

2.3.2.5.1 Фрикционе сигурносне спојнице

Фрикционе сигурносне спојнице омогућавају проклизавање гоњеног обода при достизању преоптерећења.

Конструкција спојнице и прорачун граничног момента је исти као за укључно – искључне фрикционе спојнице, с том разликом што немају механизам за управљање и што је степен сигурности против проклизавања за преоптерећење једнак:

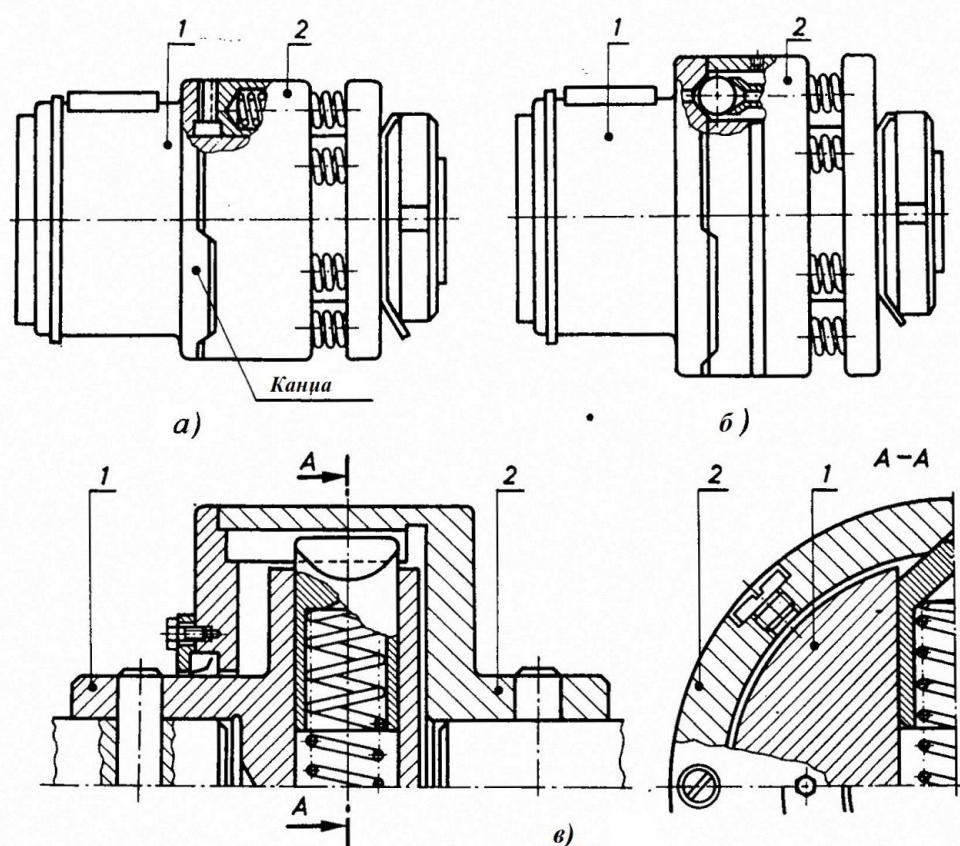
$$S_{\mu} = 1,1 \dots 1,15$$

2.3.2.5.2. Сигурносне спојнице са комбинованом везом обода

Спојнице са комбинованом везом обода ; која се остварује одређеном силом притиска опруга на посебно обликоване елементе за везу погонског са гоњеним ободом приказане су на слици 2.3.2.5.2.1. При преоптерећењу $[T]$ прекида се веза обликованих елемената, почиње проклизавање обода и брзо загревање целе спојнице праћено јаким шумом. Кад обртни момент опадне на вредност $T \leq [T]$, престаје проклизавање, поново се успоставља веза обликом, која омогућава даље преношење снаге. Елементи за везу могу бити куглице, ваљчићи и гребени или канце и зупчаници израђени на ободима.

Витални делови спојнице су опруге и елементи за везу. Последњи су изложени знатним контактним напрезањима у свим фазама рада и хабању током повремених проклизавања. Прорачун спојнице се своди на одређивање мера и преднапрезања опруга при монтажи, потребних за одређену носивост спојнице, као и на проверу напонских стања на местима додира делова за везу обода.

Због стабилнијих карактеристика опруге од коефицијента отпора клизању, ове спојнице имају већу тачност и поузданост активирања од фрикционих. Користе се за преношење релативно малих оптерећења при малим угаоним брзинама.



Слика 2.3.2.5.2.1. Сигурносна спојница са канцама (а), куглицама (б) и радијалним гребенима (в), [4]

2.3.2.5.3. Сигурносна спојница са ломљивим чивијама

Сигурносна спојница са ломљивим чивијама тренутно прекида кинематичку везу обода (1 и 2), остварену помоћу једне или две цилиндричне чивије – глатке или са зарезом, које под дејством преоптерећења бивају пресечене. Највећи обртни момент који спојница са z чивија може пренети износи:

$$[T] = S_s \cdot K_A \cdot T = 0,5 \cdot D \cdot z \cdot \frac{\pi \cdot d_\varepsilon^2}{4} \cdot \tau_M$$

где је :

$S_s = 1,2 \dots 1,25$ Степен сигурности против случајног активирања спојнице;

d_ε – пречник опасног пресека чивије;

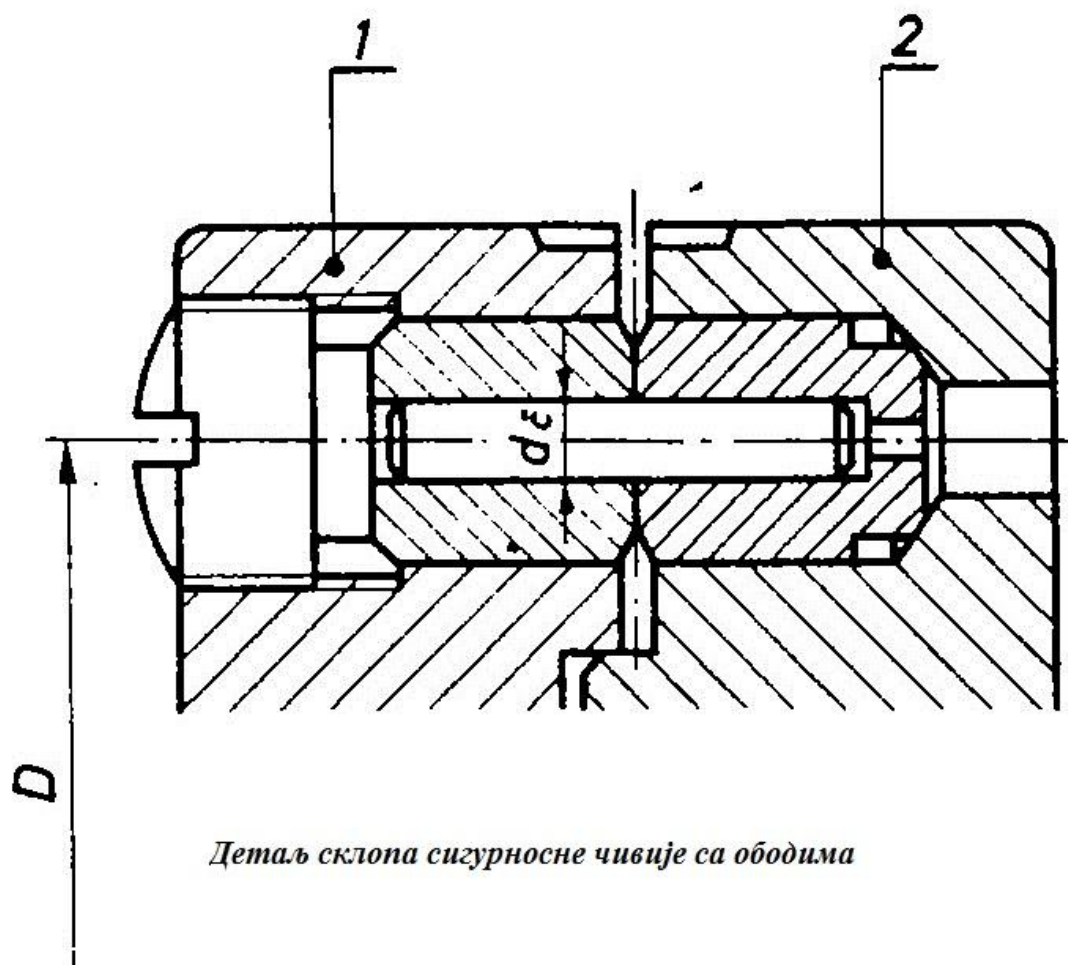
D – пречник кружнице оса чивија;

$\tau_M = (0,84 \dots 0,87) \cdot R_m$ за челик;

$R_m(\sigma_M)$ – затезна чврстоћа;

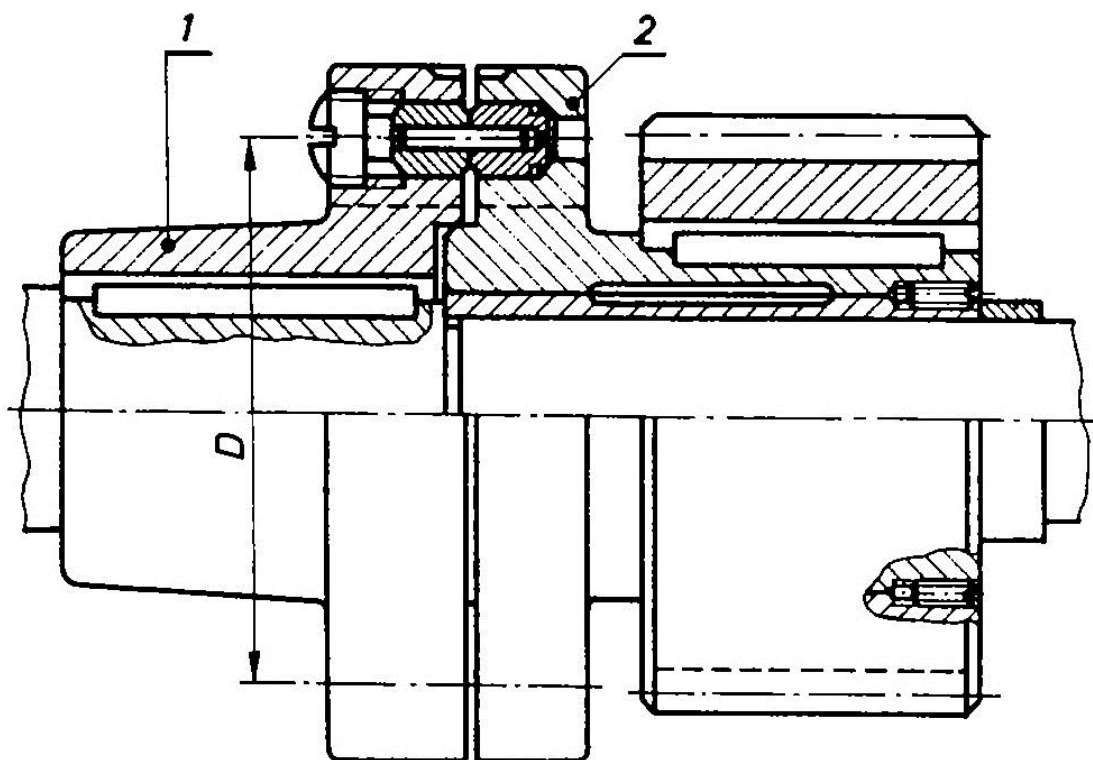
Недостаци ове спојнице су недовољна сигурност која ће препотерећења активирати спојницу, могућност нежељеног лома чивија при неприлагођеном пуштању у рад машина са великим потезним обртним моментом и потреба заустављања целог преносника ради замене поломљених (чивија) осигурача.

Због изузетно једноставне конструкције и експлоатације, често се примењују у механизмима који су сразмерно ретко преоптерећени а не захтевају велику тачност активирања спојнице.



Детаљ склопа сигурносне чивије са ободима

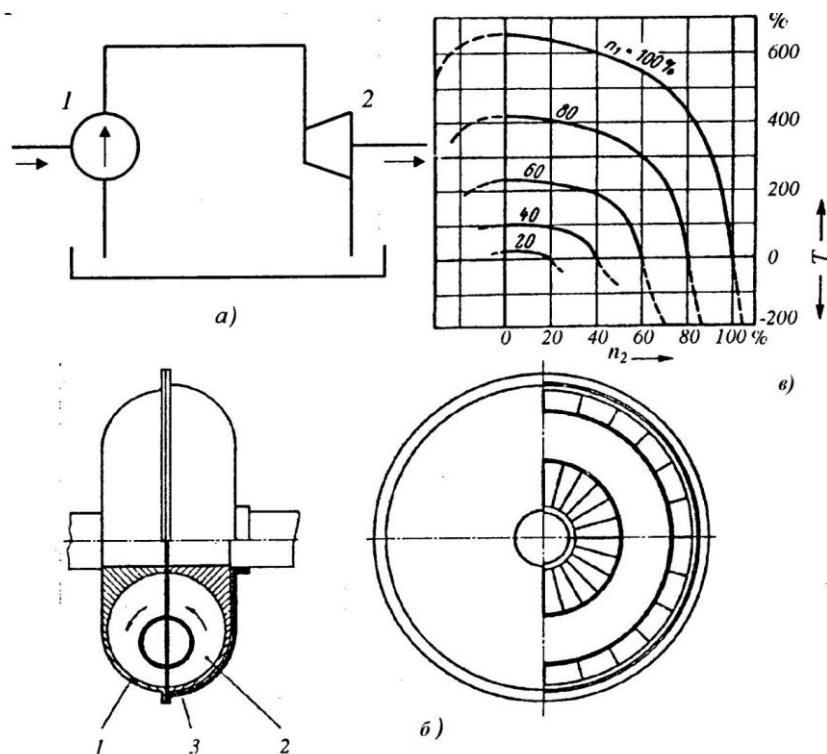
Слика 2.3.2.5.3.2. Детаљ склопа сигурносне чивије са ободима, [4]



Слика 2.3.2.5.3.3 Сигурносна спојница са ломљивом чивијом, [2]

2.3.3 Хидродинамичке спојнице

Хидродинамичке спојнице настале су од једног проналаска Фетингера из 1905. године. Тада су означене као струјне спојнице. Рад ових спојница заснива се на коришћењу кинетичке енергије струјне течности малог притиска. Принцип рада спојнице шематски је приказан на Слици 2.3.3.1а. Пумпа (1) је са турбином (2) повезана цевним водовима и једним заједничким уљним резрвоаром. Пумпа претвара механичку енергију погонског вратила у кинетичку енергију течности (енергију струјања), која се затим у турбини поново претвара у механичку енергију гоњеног вратила.



Слика 2.3.3.1 а) Принцип рада хидродинамичке спојнице . б) Шема конструкционог извођења. в) Ток промене обртног момента, [2].

Конструкција хидродинамичке спојнице шематски је приказана на слици 2.3.3.1, б. Спојница се састоји од пумпног кола (1), турбинског кола (2) и омотача (3), који зартњевима везан за пумпно коло тако да чини целину – кућиште. Пумпно коло је везано са погонским вратилом, а турбинско са гоњеним вратилом. И пумпно и турбинско колико имају по обиму полуторусне шупљине са радијално постаљеним лопатицама.

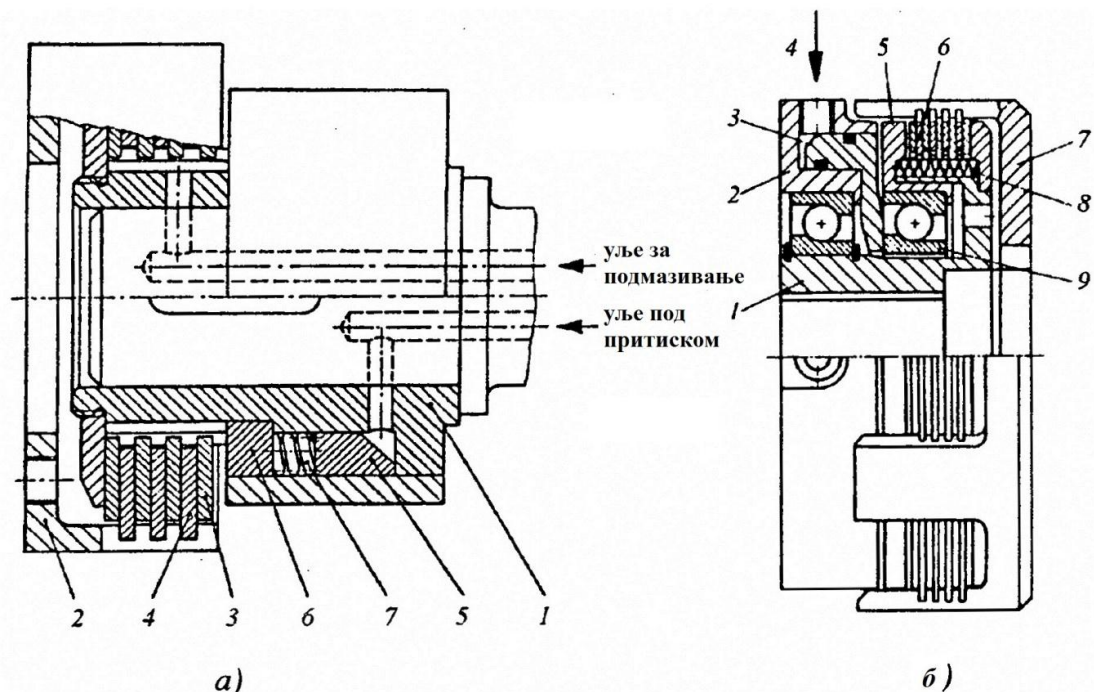
При обртању пумпног кола, услед центрифугалне силе уље почиње да струји према споља, стварајући струју и у турбинском колу. Уколико турбинско коло има мањи број обртаја од пумпног кола, долази до смањења брзине струјања уља, тако да се уље поново враћа у пумпно коло. При томе умањена кинетичка енергија струјања претвара се у механичку енергију гоњеног вратила. У случају да и пумпно и турбинско коло имају исту учестаност обртања, уље ће бити притиснуто према споља, без струјања између њих, односно при томе између погонског и гоњеног вратила нема преношења обртног момента.

Са порастом разлике угаоних брзина погонског и гоњеног вратила (клизања) повећава се и обртни момент који спојница преноси (Слика 2.3.3.1, в). Истовремено опада и степен искоришћења спојнице. Ако се занемаре губици због трења у ослоњцима, степен искоришћења може да се одреди као однос угаоних брзина (бројева обртаја) гоњеног и погонског вратила, односно $\eta = \omega_2 / \omega_1 = n_2 / n_1$. За случај мировања гоњеног вратила ($n_2 = 0$) степен искоришћења је нула ($\eta = 0$).

Хидродинамичке спојнице по правилу се тако подешавају да у раду постоји клизање од $((\omega_1 - \omega_2)/\omega_1 = 0,02 \dots 0,03 - (2\% \dots 3\%))$, тако да степен искоришћења износи $\eta = 0,97 \dots 0,98$. Због клизања утростена кинетичка енергија претвара се у топлоту. Да не би дошло до прегревања уља при дужем преоптерећењу, спојница има сигурносни лако топливи чеп, који омогућује истицање уља и прекид везе спојних делова. Хидродинамичке спојнице имају могућност пригушења ударних и вибрационих оптерећења. Резонантна подручја рада код њих су искључена. Променом пуњења спојнице уљем мења се и обртни момент који спојница може да пренесе. Пуњење спојнице износи 60 ... 80 % расположивог простора спојнице. Величина пуњења зависи од радног подручја бројева обртаја.

Хидродинамичке спојнице са константним пуњењем могу да се примене и као спојнице за упуштање у рад и као сигурносне спојнице.

Конструкционо извођење хидродинамичке спојнице са константним пуњењем дато је на слици 2.3.3.2. Спојница има додатну комору са резерним уљем (7). Код упуштања спојнице, део уља се налази у простору пумпног и турбинског кола, а део у додатној комори. Уље које се налази у додатној комори бива услед центрифугалне силе распоређено по обиму и преко млазница (8) се убацује у радни простор спојнице. Временом радни простор спојнице бива испуњен целокупном количином уља. На тај начин постиже се меко упуштање радне машине. Постављањем млазница различитог пречника може се утицати на процес упуштања радне машине. У стању мировања, део уља се поново враћа назад у додатну комору.

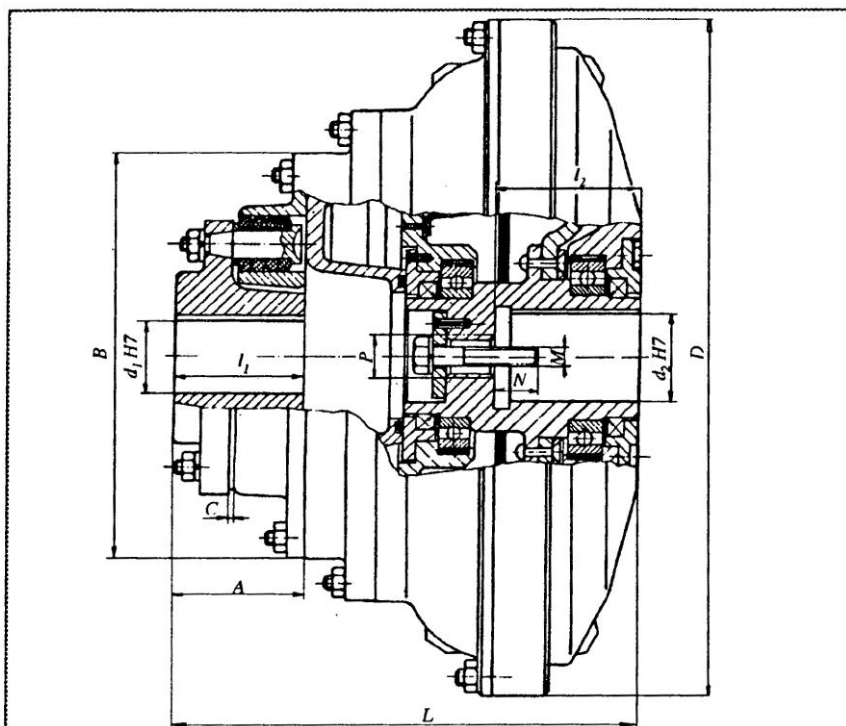


Слика 2.3.3.2 Хидродинамичка спојница са константним пуњењем уља.
Ознаке: 1 - пумпно коло; 2 - турбинско коло; 3 - омотач; 4 - лопатица; 5 - еластична спојница; 6 - предкомора; 7 - допунска комора; 8 - млазница, [1]

Хидродинамичке спојнице променљивог пуњења припадају укључно – искључним спојницама. Код њих је могућа континуална промена обртаја са могућношћу управљања. Користе се и као спојнице за упуштање.

Димензије и основне карактеристике хидродинамичке спојнице производње " 14. Октобар " Крушевац дате су у Табелии 2.4.1.

Табела 2.4.1. Хидродинамичке спојнице за електромоторе производње " 14 Октобар " Крушевац, [1]



Naz. prečnik	210	240	280	320	370	425	490	565	650	750
P [KW]	0,2-6	0,3-15	0,6-37	1,5-60	3-140	7,5-60	15-120	30-220	65-440	130-800
n [min ⁻¹]	725-2900					725-1450				
m [kg]	10,6	14,6	20	33	37,9	73	118	156	198	272
D _{max} [mm]	250	286	334	378	430	490	566	645	735	842
L _{max} [mm]	180	190	220	252	282	336	410	474	503	575

Naz. preč.	Mere u [mm]												Punjenje [l]	Masa [kg]	J [kgm ²]
	A	B	C	D	d ₁	d ₂	L	l ₁	l ₂	M	N	P			
210	50	198	2	250	14-36	36	148	50	60	M10	25	M18x1,5	0,7-1,4	10,6	0,06
240	55	168	2	286	14-42	42	190	50	63	M10	23	M18x1,5	1,4-2,4	14,6	0,08
280	55	180	2	334	20-48	48	220	50	73	M10	18	M18x1,5	2,4-3,5	20	0,166
320	76	226	2	378	25-50	50	252	70	85	M12	24	M24x2	3,5-6	33	0,365
370	83	256	2	430	25-65	65	282	80	90	M12	25	M24x2	5,5-7,5	37,9	0,71
425	104	306	4	490	35-80	80	336	98	108	M16	21	M33x2	8-12	73	1,42
490	132	354	4	566	35-90	90	410	110	150	M16	40,5	M33x2	13-19	118	2,87
565	160	480	4	645	50-100	100	474	160	170	M20	32	M33x2	20-26	156	6,2
650	178	495	4	732	50-120	120	503	160	169	M20	51	M33x2	29-38	198	8,77
750	178	495	4	842	50-136	135	575	160	215	M20	46	M33x2	39-53	272	15,5

3. Закључак

Спојнице су машински елементи који се користе за спајање два саосна или приближно саосна машинска елемента ради преношења кретања и обртних момената.

Најчешћи случај је спајање вратила погонске машине са вратилом радне машине, али се такође могу спајати трансмисиона вратила и вратила са обртним деловима као што су зупчаници, ланчаници, каишници, итд. С тачке гледишта израде, монтаже као и саме функције делова спојнице имају и улогу раздвајања делова. Код крутих спојница сви удари и вибрације и неправилности обртног моментна преносе се са једног вратила на друго.

Постоји велики број различитих конструкционих извођења спојница. Примењују се у свим областима машинства. Предности су мале димензије, велики обртни момент који могу да преносе, крутост.

Омогућавају регулацију величине обртног момента који преносе, чиме се систем штити од преоптерећења.

Као материјали за израду појединих елемената користе се гума, челик, бронза, челични лив, металокерамички материјали, азбестне масе...

Примењују се за вратила пречника од 6 mm до пречника 1800 mm .

Могу да пренесу изузетно велике обртне моменте и неизоставне су у готово свим машинским системима.

Литература

- [1] Николић В. , Машински елементи – теорија, прорачун, примери , Машински факултет у Крагујевцу, 2004.
- [2] Милтеновић В., Огњановић М., Машински елементи III (елементи за обртно кретање, течности и гасове), Машински факултет Ниш, Београд, 1995.
- [3] Инжењерско машински приручник, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1992.
- [4] Милтеновић В., Машински елементи (облици, прорачун, примена), Машински факултет, Ниш, 1999.
- [5] Огњановић М., Машински елементи, Научна књига, Београд, 1999.