

Interreg



Rakousko-Česká republika

Evropský fond pro regionální rozvoj



STROJÍRENSTVÍ

Části a mechanismy strojů



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA



EVROPSKÁ UNIE

OBSAH

1. Části a mechanismy strojů.....	4
1.1. Spoje.....	4
1.2. Vnější zatížení spoje.....	5
2. Spoje šrouby a závitů (šroubové a závitové spoje).....	7
2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti).....	7
2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti).....	8
2.3. Druhy závitů spojovaných.....	11
2.4. Materiály spojovacích šroubů a matic.....	13
2.5. Vlastnosti (reflektivní vlastnosti).....	14
3. Únosnost a pevnost při provozu.....	16
3.1. Rovnoměrné zatížení silou F_{celk}	16
3.2. Rovinné zatížení od F_{celk} a M_{celk}	17
3.3. Prostorové zatížení od F_{celk} a M_{celk}	17
3.4. Pevnost při maximálním zatížení.....	19
4. Kolíkové, nýtové a čepové spoje – konstrukční uspořádání, návrh a kontrola.....	20
4.1. Spoje čepy (čepové spoje).....	20
4.1.1. Charakteristika.....	20
4.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti).....	20
4.1.3. Reflektivní vlastnosti čepových spojů.....	22
4.2. Spoje kolíky (kolíkové spoje).....	23
4.2.1. Charakteristika (konstrukční znaky).....	23
4.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti).....	23
4.2.3. Reflektivní vlastnosti.....	27
5. Tvarové spoje hřídele s nábojem – pomocí per, klínů a drážkování.....	28
5.1. Spoje pery a klíny (spoje na pera a klíny).....	28
5.1.1. Charakteristika (konstrukční znaky).....	28
5.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti).....	29
5.1.3. Reflektivní vlastnosti.....	32
5.2. Spoje drážkami (drážkové spoje).....	33
5.2.1. Charakteristika (konstrukční znaky).....	33
5.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti).....	34

5.2.3. Reflektivní vlastnosti drážkových spojů - ROVNOBOKÉ a EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ	37
5.2.4. Reflektivní vlastnosti drážkových spojů - JEMNÉ DRÁŽKOVÁNÍ.....	38
6. Silové spoje hřídele s nábojem – nalisované a svěrné	40
6.1. Spoje nalisováním (nalisované spoje)	40
6.1.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)	40
6.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)	40
6.1.3. Reflektivní vlastnosti	41
6.2. Spoje sevřením (svěrné spoje)	43
6.2.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)	43
6.2.2. Stavební struktura svěrných spojů s válcovou stykovou plochou	43
6.2.3. Stavební struktura svěrných spojů s kuželovou stykovou plochou.....	45
6.2.4. Stavební struktura svěrných spojů s kuželovým pouzdem	45
6.2.5. Reflektivní vlastnosti svěrných spojů.....	46
7. Pružné spoje	48
7.1. Pružné spoje	48
7.1.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)	48
7.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)	48
7.1.3. Základní vlastnosti pružných spojů	50
7.1.4. Obecné poznatky pro návrh a hodnocení	51
8. Materiálové spoje – svarové, pájené, lepené	52
8.1. Spoje svary (svarové spoje).....	52
8.1.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)	52
8.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)	52
8.1.3. Reflektivní vlastnosti	55
8.2. Spoje pájkou (pájené spoje).....	56
8.2.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)	56
8.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)	56
8.2.3. Reflektivní vlastnosti	58
8.3. Spoje lepidlem (lepené spoje)	59
8.3.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)	59
8.3.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)	59
8.3.3. Reflektivní vlastnosti	60

9. Dynamické (proměnlivé) zatěžování a namáhání strojních částí TS - dynamická (únavová) pevnost	62
9.1. Základní poznatky	62
9.2. Mez únavy materiálu	64
9.3. Mez únavy materiálu při obecném harmonicky proměnlivém napětí.....	65
9.4. Faktory ovlivňující mez únavy materiálu.....	66
9.4.1. Vliv vrubu - součinitele vrubu β	66
9.4.2. Vliv velikosti součásti - součinitel velikosti součásti v	66
9.4.3. Vliv jakosti povrchu - součinitel jakosti povrchu η_P	67
9.4.4. Vliv zpevnění povrchu - součinitel zpevnění povrchu k	68
10. Hřídele.....	69
10.1. Druhy hybných hřídelí	69
11. Kluzná ložiska.....	72
11.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)	72
11.2. Uložení s hydrodynamickými ložisky.....	72
11.2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)	72
11.2.2. Druhy pouzder a pánví:	73
11.2.3. Druhy ložiskových materiálů	74
11.2.4. Reflektivní vlastnosti	75
12. Valivá ložiska	77
12.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)	77
12.2. Rozměry valivých ložisek (ČSN 02 4629)	80
12.3. Materiály valivých ložisek	82
12.4. Vlastnosti	82
13. Hřídelové spojky	84
13.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)	84
13.2. Spojky (nepružné) pevné.....	86
13.2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)	86
13.2.2. Reflektivní vlastnosti běžných pevných spojek	86
13.3. Spojky (nepružné) vyrovnávací.....	87
13.3.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)	87
13.3.1. Reflektivní vlastnosti nepružných spojek.....	87
Seznam použité literatury	89

1. ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ

I.1. Spoje

Spoje (spojení) – strojní části (stavební orgány), jejichž hlavní funkcí je „**spojit**“ (HW) díly technického produktu (TS), a to vždy v kombinaci s další funkcí, týkající se „**pohyblivosti**“:

- „**neumožnit vzájemný pohyb**“, jestliže původní části nemohly být z důvodů vyrobitelnosti, zaměnitelnosti, nastavitelnosti, dopravitelnosti, opravitelnosti, likvidovatelnosti, apod. navrženy z jednoho kusu,
- „**umožnit vzájemný pohyb**“, jestliže spojované díly vyžadují pro zajištění své funkce současně měnit vzájemnou polohu.

Poznámky:

Pokud však u spoje nabývá prioritu funkce „umožnit vzájemný pohyb“, jsou tyto spoje v ČR považovány za samostatné třídy strojních částí a v českém jazyce (např. na rozdíl od angličtiny a němčiny) označovány podle druhu umožněného pohybu:

- pro posuvný pohyb: vedení
- pro otáčivý pohyb: uložení

V dalších kapitolách proto budeme pod pojmem „spoje“ uvažovat pouze „klasické spoje“, u nichž má prioritu funkce „umožnit spojení“, a funkce „umožnit pohyb“ buď není požadována vůbec, nebo jen zčásti:

- **Spoje pevné (za provozu nepohyblivé!)** - (tj. s funkcí „neumožnit vzájemný pohyb“)
- **Spoje pohyblivé** (tj. s funkcí „umožnit (částečný) vzájemný pohyb“)

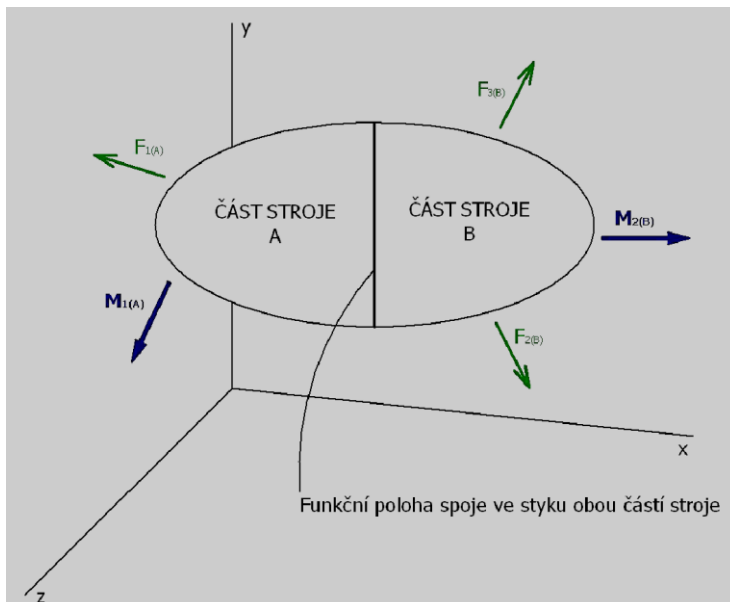
Poznámky:

- Obvyklé členění „pevných“ spojů na „**rozebiratelné**“ a „**nerozebiratelné**“ zde není uvažováno, protože toto není funkční vlastnost ani funkční/pracovní charakteristika. Tato vlastnost (např. pro montáž při výrobě, a pro demontáž & montáž při distribuci, instalaci, údržbě, opravách a demontáž při likvidaci, apod.) je však logicky uvažována jako jedna z významných reflektivních vlastností (pevných) spojů. Tím se třídění těchto spojů podstatně zjednodušilo, aniž by byla tato jejich vlastnost opomenuta.

- Pozor, v oboru strojních částí se pod pojmem „**pevné spojení**“ označují spojení, která (při provozu) „neumožňují vzájemný pohyb spojovaných částí/dílů TS.
- Pro zjednodušení znázornění a označení silových zatížení působících **rovnoměrně po celém obvodu** (např. nákržku, třecí plochy, závit, apod.) je používáno označení příslušných veličin **indexem „o“ psaným nalevo od značky příslušné síly**, apod. (viz např. Obr. A 1.4-2).

1.2. Vnější zatížení spoje

Řeší se (po vyřešení vnější rovnováhy TS!) jako výsledné účinky sil a momentů působících na část TS po jedné straně stykové (funkční) plochy řešeného spoje (tj. analogicky jako vnitřní rovnováha odpovídajícího "řezu"). Obvykle se využívá ta strana, ze které je řešení jednodušší.



Výsledné silové účinky na spoj („zleva“ i „zprava“):

$$\begin{aligned}
 F_{xSP} &= \sum_{(i)} F_{ixA} & F_{xSP} &= - \sum_{(j)} F_{jxB} \\
 F_{ySP} &= \sum_{(i)} F_{iyA} & F_{ySP} &= - \sum_{(j)} F_{jyB} \\
 F_{zSP} &= \sum_{(i)} F_{izA} & F_{zSP} &= - \sum_{(j)} F_{jzB}
 \end{aligned}$$

Výsledné momentové účinky (od momentů i sil) na spoj („zleva“ i „zprava“):

$$M_{xSP} = \sum_{(i)} M_{ix_A} \quad M_{xSP} = - \sum_{(j)} M_{jx_B}$$

$$M_{ySP} = \sum_{(i)} M_{iy_A} \quad M_{ySP} = - \sum_{(j)} M_{jy_B}$$

$$M_{zSP} = \sum_{(i)} M_{iz_A} \quad M_{zSP} = - \sum_{(j)} M_{jz_B}$$

2.SPOJE ŠROUBY A ZÁVITY (ŠROUBOVÉ A ZÁVITOVÉ SPOJE)

2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Dobře rozebíratelná spojení částí na principu spoluzabírajícího vnějšího a vnitřního závitu.

Podle umístění vnějšího závitu rozeznáváme:

- **šroubová spojení** (vnější zavit je vytvořen na pomocné spojovací části - šroubu)
- **závitová spojení** (vnější zavit je vytvořen na jedné ze spojovaných částí, vnitřní pak obvykle ve druhé z nich.)

Dále budeme uvažovat pouze podstatně běžnější šroubová (pevná, tj. nepohyblivá) spojení, která jsou při montáži "utažena", tj. uvedena do předepjatého stavu.

Poznámky:

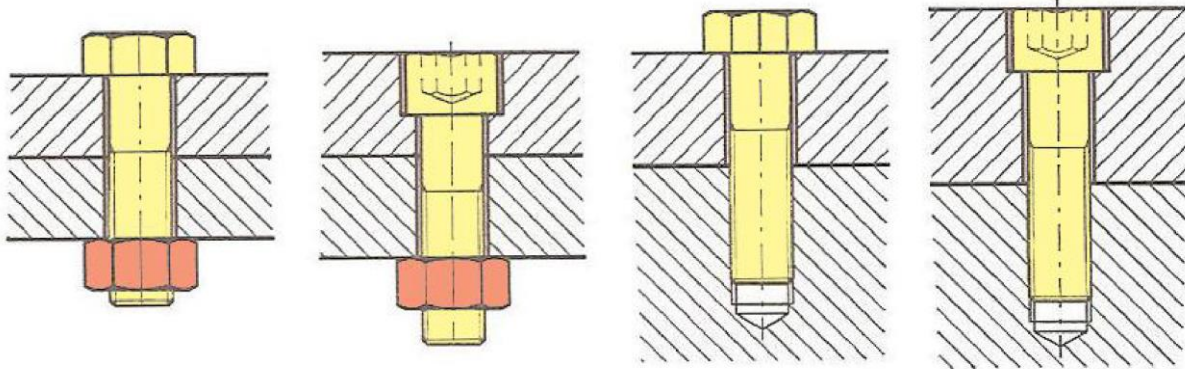
- Pozor, v literatuře jsou jako předepjaté spoje označovány pouze důležité (většinou vysoce namáhané) spoje, u nichž se při navrhování a zjišťování vlastností spoje modeluje hlavní orgánová struktura jako soustava předepjatých pružin. U méně důležitých předepjatých ("utažených") šroubových spojů se vliv předpětí na zvýšení vnějšího zatížení uvažuje zjednodušeně pomocí součinitele závislého na průměru šroubu.
- Základním modulem šroubových spojů je spojení s jedním šroubem. Šroubové spoje s více šrouby jsou často nazývány jako přírubové spoje (podle jejich nejčastějšího konstrukčního provedení). Rozhodující je však pouze tvar (a tuhost) stykové plochy a přilehlých partií spojovaných částí a navržené rozmístění a velikosti spojovacích šroubů.

2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

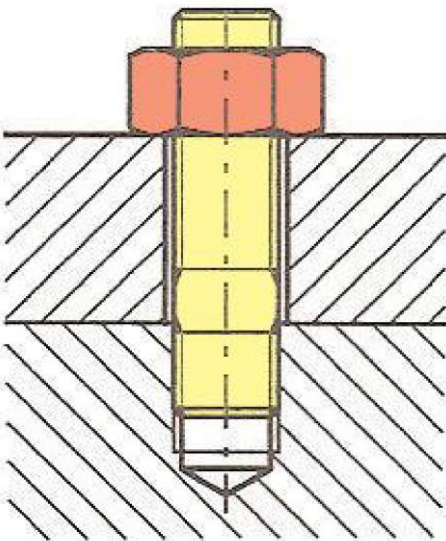
Typická provedení:

STANDARDNÍ ŠROUBOVÉ SPOJE

spojení šroubem s hlavou (s maticí a bez matic):

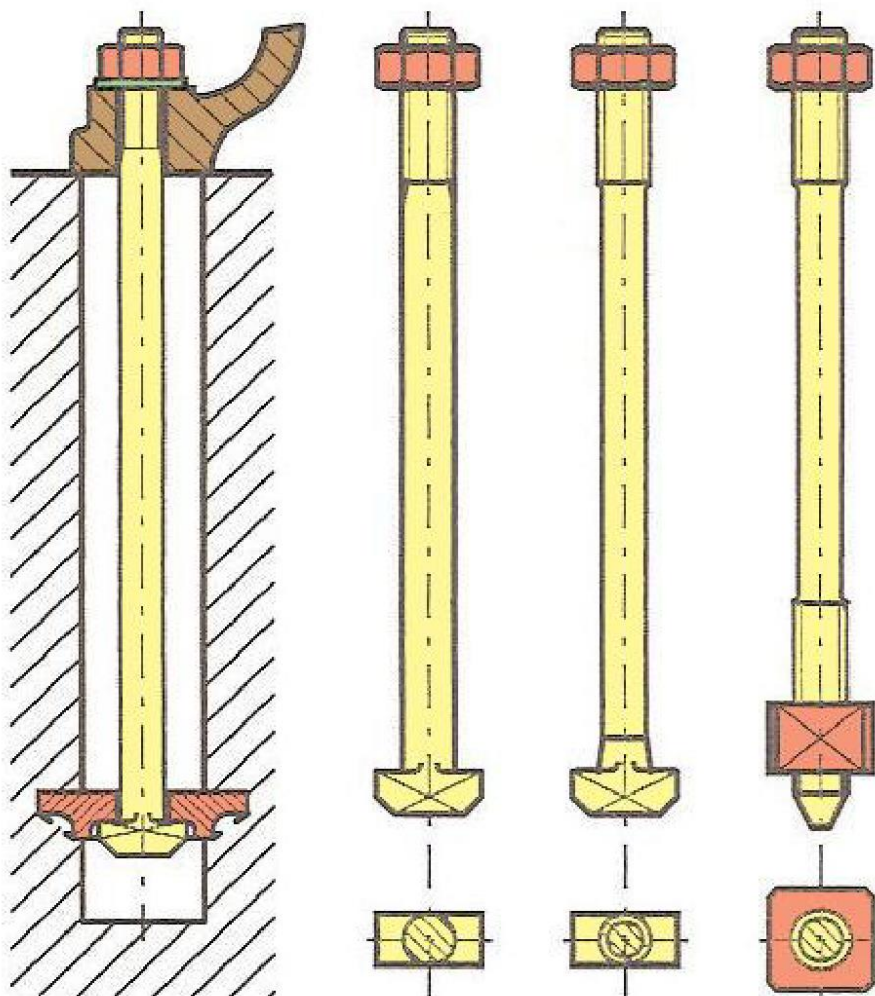


spojení závrtným šroubem (vždy s maticí):

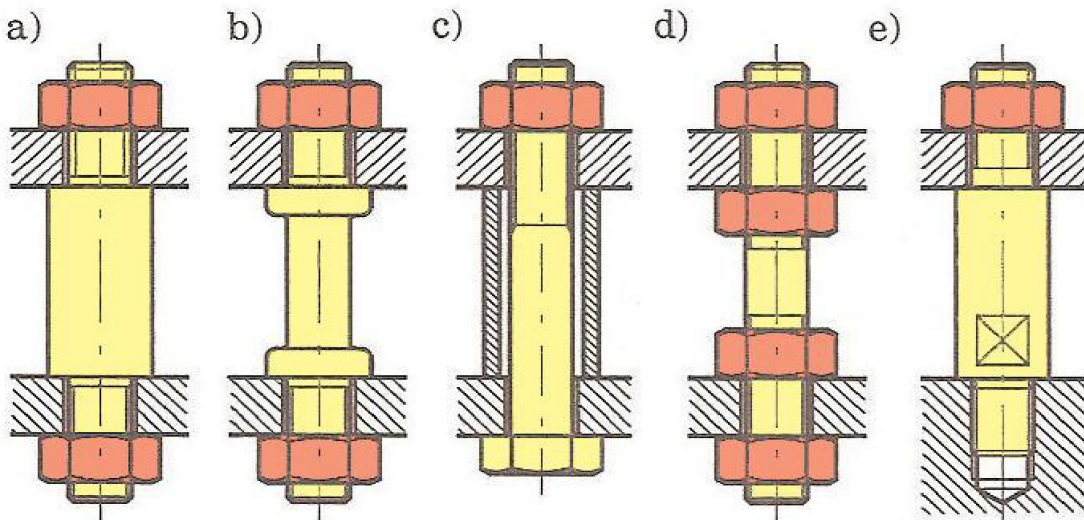


SPECIÁLNÍ ŠROUBOVÉ SPOJE

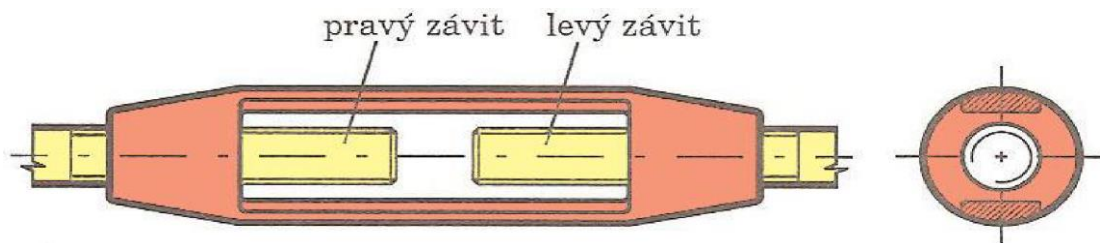
základové šroubové spoje:



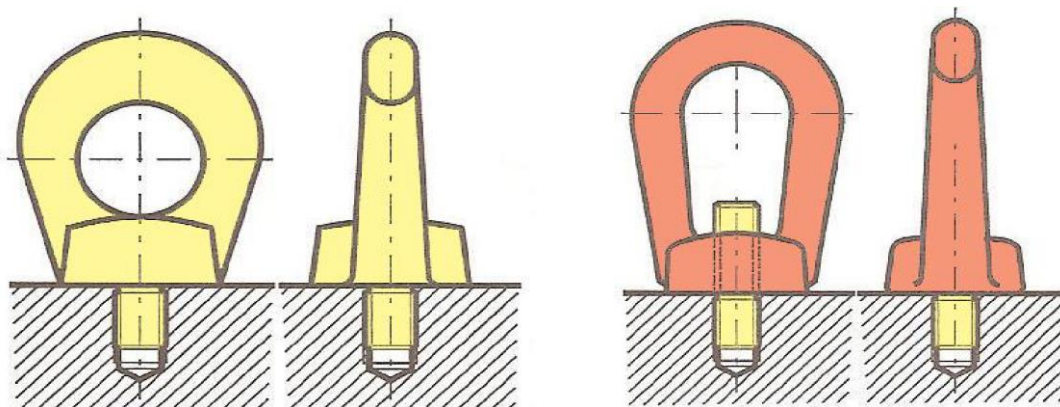
rozpěrací šroubové spoje:



napínací šroubové spoje:



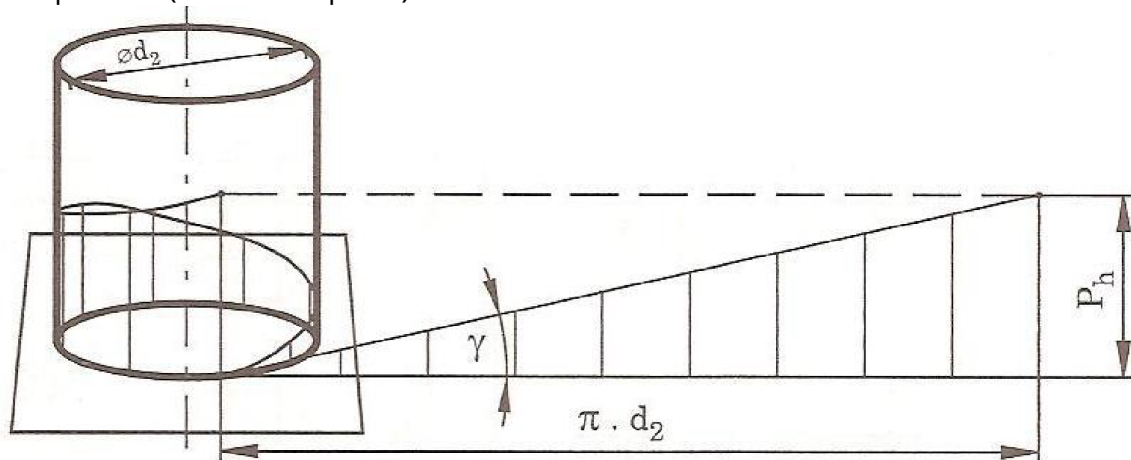
závěsné šroubové spoje (pro „spojení“ strojního dílu se závěsným okem):



Tvary, rozměry a tolerance prvků šroubového spoje

Závity

Princip závitu (na válcové ploše):



$$\operatorname{tg} \gamma = Ph \pi \cdot d_2 \text{ [rad]}$$

kde:

Ph [mm] ... stoupání závitu (pozn. $Ph = n \cdot P$; kde: n [1] ... počet chodů závitu)

P [mm] ... rozteč závitu

d_2 [mm] ... střední průměr závitu 186

2.3. Druhy závitů spojovaných

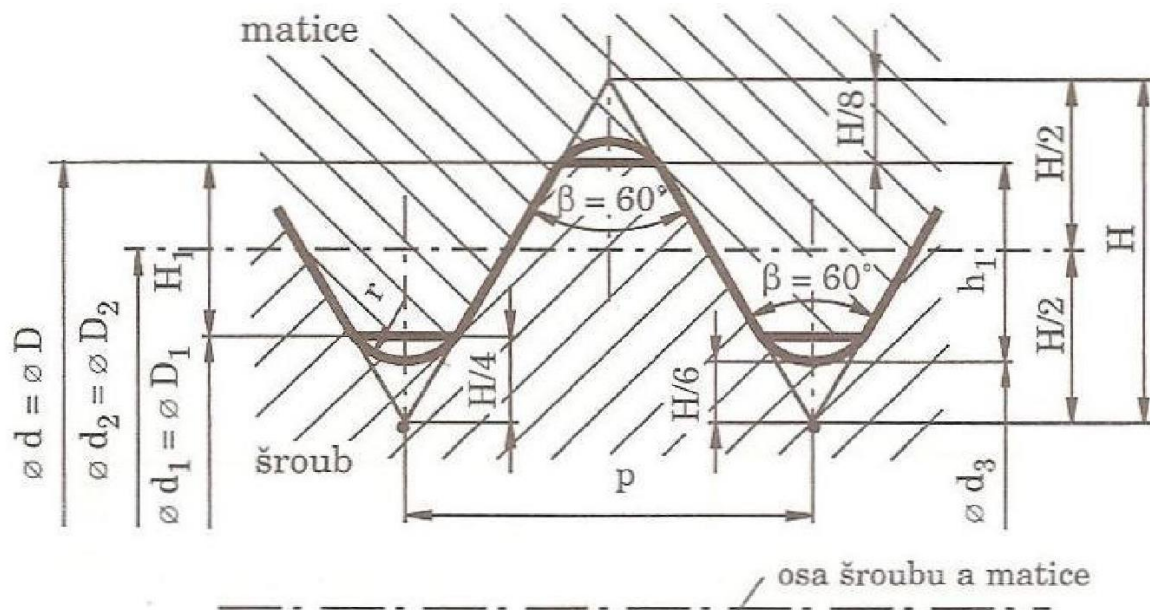
Podle ČSN 01 4000:

- metrický závit s hrubou roztečí (ČSN 01 4008): Md , např. M16
- metrický závit s jemnou roztečí (ČSN 01 4013): $Md \times P$, např. M16 x 1,5

Poznámky:

- pro levý závit: $Md \times P LH$, např. M16 x 1,5 LH
- pro vícechodý závit: $Md \times Ph/n$, např. M16 x 3/2

Osový řez (v rovině procházející osou šroubu a matice):



- d, D - velký \varnothing závitů šroubu, matice
 $d_2 = D_2$ - střední \varnothing závitů šroubu, matice
 d_3, D_1 - malý \varnothing závitů šroubu, matice
 h_1 - výška profilu závitů šroubu, matice
 H - výška základního profilu (teoretického profilu)
 H_1 - pracovní výška profilu (nosná hloubka)
 β - vrcholový úhel
 P - rozteč závitů

Lícování metrických závitů

- pro všechna uložení (ČSN 01 4314 - dle ISO)
 stupeň přesnosti: 1 - 10
 polohy tolerančního pole:
 $d p$ (pro d_2 a d), např.: M16 7g6g
 $C H$ (pro D_2 a D_1), např.: M16 5H6H
 Příklady uložení: 5H6H / 7g6g
 pokud shoda, např. 6H6H / 6g6g pak: 6H/6g (běžné) 187

2.4. Materiály spojovacích šroubů a matic

Základní pravidla:

- materiály s vysokou mezí kluzu, zejména u šroubů.
- pro tytéž hodnoty mechanických vlastností závisí volba materiálu na způsobu výroby závitu (tváření za tepla/za studena, obrábění), proto se místo druhu materiálu uvádí označení zaručených mech. vlastností po vyrobení:

Označování mech. vlastností šroubů a matic **: x.y

x ...značka velikosti meze pevnosti: čísla 4 - 12

y ...značka velikosti meze kluzu: čísla 4 - 8

Poznámky:

- Normalizované mechanické vlastnosti šroubů a matic se označují prvou doplňkovou číslicí v označení dle ČSN *
- Pro nejběžnější případy:

tvarové provedení: šrouby a matice šrouby ("imbus") s válcovou se šestihrannou hlavou hlavou a vnitř. šestihran.

* *prvá doplňková číslice: .1.5*

** *značka materiálu: 5.6 8.8*

$\sigma_{pt} \cong 100 \times \text{ozn. vel. } \sigma_{pt}$	500 MPa	800 MPa
$\sigma_{kt} \cong (0,6 + 0,8) \cdot \sigma_{pt}$	300 MPa (x 0.6)	600 MPa (x 0.8)
$\sigma_D \cong \sigma_{kt} / ([1,5 +] 2,5)$	120 [+ 200] MPa	240 [+ 400] MPa
$\sigma_{D\check{s}} \cong 0,5 \cdot \sigma_D$	60 [+ 100] MPa	120 [+ 200] MPa – vliv vrubů závitu
$\tau_{D\check{s}} \cong 0,6 \cdot \sigma_{D\check{s}}$	40 [+ 60] MPa	80 [+ 120] MPa
vliv nerovnoměrného zatížení závitů:		
$p_{Dz} \cong 0,2 \cdot p_D \cong 0,2 \cdot \sigma_D$	20 [+ 40] MPa	<— (rozhoduje materiál matice)
vliv pohybu:		
$p_{Dz \text{ poh zat}} \cong 0,2 \cdot p_{Dz}$	5 [+ 10] MPa	<— (rozhoduje materiál matice)

Materiály:

- málo namáhané spoje: ocel tř. 11 100 (11 109 a 11 100)
- běžné namáhané spoje: ocel tř. 11 300 (11 340 a 11 370)
 - 11 500 (11 500)
 - 11 600 (11 600)
 - 12 000 (12 040 a 12 050)
- vysoce namáhané spoje ocel tř. 13 200 (13 240)
 - 14 200 (14 240)
 - 15 200 (15 230)
- v agresivním prostředí: tažené mosazi tř. 42 3200 (42 3213 a 42 3223)

2.5. Vlastnosti (reflektivní vlastnosti)

CHARAKTERISTIKA VLASTNOSTÍ KOMPLEXNÍ KVALITY

Provoz, údržba, opravy

- Přenos všech druhů zatížení (přenos tečných sil buď třením nebo lícovanými šrouby).
- Snadná rozebiratelnost.
- Spolehlivost proti uvolnění lze zvýšit konstrukčními úpravami.
- Spolehlivost při dynamickém zatížení je snižována mnoha vruby

Výroba, montáž

- Nenáročnost na provedení, konstrukční úpravy spojovaných částí jsou jednoduché, vlastní spojovací části se v rozhodující většině případů nakupují jako standardizované díly.
- Nejméně vhodným prvkem jsou závity ve spojovaných částech, zejména pokud nejsou osy otvorů kolmé vůči povrchům a pokud nejsou otvory průchozí (nebezpečí zlomení nástrojů).

CHARAKTERISTIKA ČASOVÝCH/"TERMÍNOVÝCH" VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně rychlý návrh, výroba (a nákup), montáž a demontáž.

CHARAKTERISTIKA EKONOMICKÝCH/"NÁKLADOVÝCH" VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Při vhodném návrhu z hlediska výroby relativně nenákladný spoj.
- Provozní náklady nulové.
- Náklady na demontáž minimální (pokud spoj nezkorodoval).

3. ÚNOSNOST A PEVNOST PŘI PROVOZU

Provozní zatížení (max. zatíženého šroub. spoje) (jmenovité)

Typické případy:

I. nŠS šroubových spojů je zatěžováno na osu silou F_{celk1} :

(pokud není smyková síla zachycena vlož. elementy např. kolíky, pery apod. nebo lícovanými šrouby)

$$F_{\check{S}Sjm} \leftarrow F_{celk\perp} = n\check{S} \cdot F_{\check{S}Sjm} \cdot f \cdot 1_{sf} \text{ orientačně: } s_f (1,5 \text{ } 2,5) (5.1 - 2)$$

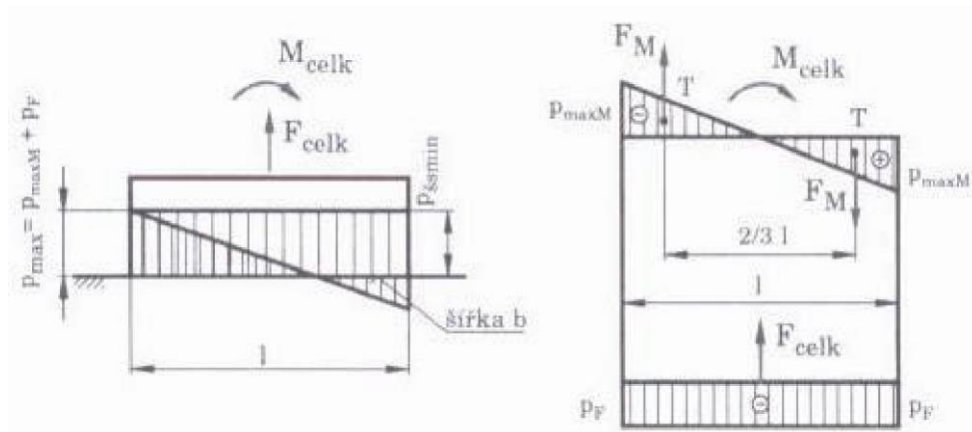
Poznámka:

Protože je předpoklad, že další řešení může být staticky neurčitě, nestanovuje se zatím max. (mezí) zatížení, ale pouze (max.) provozní (jmenovité vnější) zatížení šroubového spoje $F_{\check{S}Sjm}$.

II. nŠS šroubových spojů je zatěžováno || s osou:

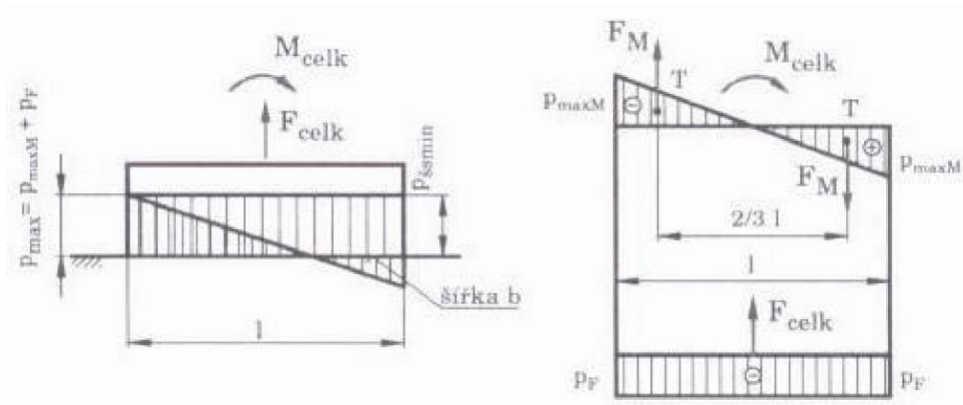
3.1. Rovnoměrné zatížení silou F_{celk}

$$F_{\check{S}Sjm} \leftrightarrow F_{celk} = n\check{S} \cdot F_{\check{S}Sjm}$$



3.2. Rovinné zatížení od F_{celk} a M_{celk}

- zjednodušeně:



$$M_{celk} = FM \cdot 23l \Rightarrow FM = M_{celk} / 23l \quad (5.1 - 3)$$

$$F_M = 12 \cdot 12 p_{max} M \cdot b \Rightarrow p_{max} M = M_{celk} / 16 \cdot l \cdot 2 \cdot b = M_{celk} / W_o \quad (5.1 - 4)$$

$$p_F = F_{celk} / b; \quad p_{max} = p_F + p_{max} M \quad (5.1 - 5)$$

$$F_{\check{S}j m} \leftarrow p_{max}(F_{celk}, M_{celk}) = p_{\check{S}j m} = n_{\check{S}} \cdot \check{S} \cdot F_{\check{S}j m} \cdot b \quad (5.1 - 6)$$

3.3. Prostorové zatížení od F_{celk} a M_{celk}

řeší se analogicky jako v rovině, ale navíc nutné uvažovat i třetí rozměr.

Stanovení max. zatížení šroubu a předpětí spoje (pro max. zatížený šroubový spoj)

Méně důležité šroubové spoje:

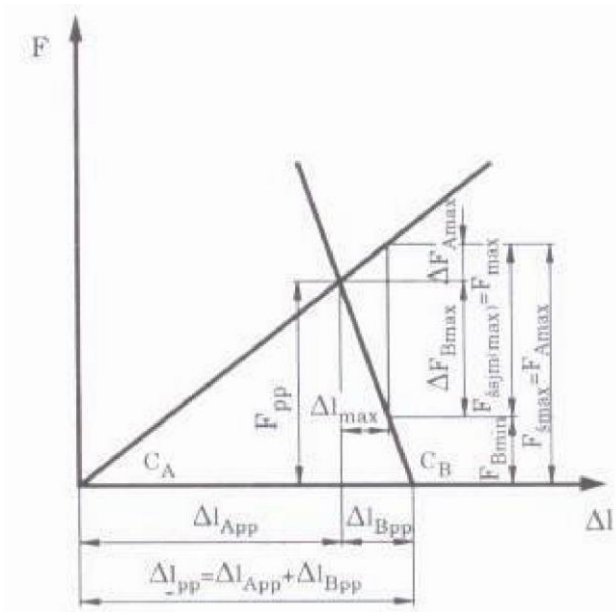
= max. zatížení šroubu: $F_{\check{S}}$ se předpokládá, že bude mít velikost max. provozního zatížení šroubového spojení $F_{\check{S}(max)}$ zvětšeného součinitelem bezpečnosti s :

$$F_{\check{S}max} = F_{\check{S}(max)} \cdot s \quad (5.1 - 7)$$

kde: s (1,5 ÷ 2,5)

přičemž nižší hodnoty se volí pro větší $\varnothing d$, vyšší hodnoty se volí pro menší $\varnothing d$ (u menších průměrů šroubů je větší nebezpečí "přetržení" při předepínání) předpětí spoje FPP se nestanovuje, předpokládá se, že při předpětí („utažení“) bude při montáži úměrné velikosti šroubu a tudíž dostatečné.

Důležité šroubové spoje (jako předepjatý spoj - PP)



kde:

k_A ...tuhost zatěžované větve šroubového spoje

k_B ...tuhost odlehčené větve šroubového spoje

Bezpečnost spoje proti odlehnutí se vyjadřuje součinitelem neodlehnutí (nevhodně „těsnosti“) c_z :

$$F_{Bmin} = c\psi \cdot F_{max} > 0$$

$$c (0,5 \div 1,5)$$

větší \varnothing sr. menší \varnothing sr.

⇒ Max. zatížení šroubu:

$$F_{šmax} = F_{Amax} = F_{Bmin} + F_{max} = (1 + c\psi) \cdot F_{max}$$

$$C_{pp} = 1,5 \div 2,5$$

⇒ Předpětí spoje (pro daný součinitel neodlehnutí spoje c_z):

$$F_{PP} = F_{Bmin} + \Delta F_{Bmax} = c\psi \cdot F_{max} + k_B k_A + k_B \cdot F_{max} = (c\psi + k_B k_A + k_B) \cdot F_{max}$$

3.4. Pevnost při maximálním zatížení

napětí v jádře šroubu

$$\sigma_t = F_{\text{šmax}} / S_{\text{šmin}} \quad (5.1 - 8)$$

kde: obvykle $S_{\text{šmin}}$ je min. průřez jádra závitu: $S_{\text{šmin}} = \pi \cdot d_{\text{šmin}}^2 / 4 \quad (5.1 - 9)$

Pozor, v tabulce uváděna (vlivem řezu závitovou plochou):

$$S_{\text{šj}} \text{ pro } d_{\text{šj}} = d_2 + d_3 / 2 > d_3$$

měrný tlak v závitech

Pokud jsou použity normalizované výšky matic a dodrženy doporučené min. délky závitů (odst. 5.1.1) není nutné tlak v závitech hodnotit.

$$p_z(\text{stř}) = F_{\text{šmax}} / S_1 Z = F_{\text{šmax}} / n_z \cdot \pi \cdot (d_2 - D_1)^2 / 4 \cong F_{\text{šmax}} / n_z \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \leq p_{DZ}$$

zjednodušeně (odst. 5.1.2)

4.KOLÍKOVÉ, NÝTOVÉ A ČEPOVÉ SPOJE – KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ, NÁVRH A KONTROLA

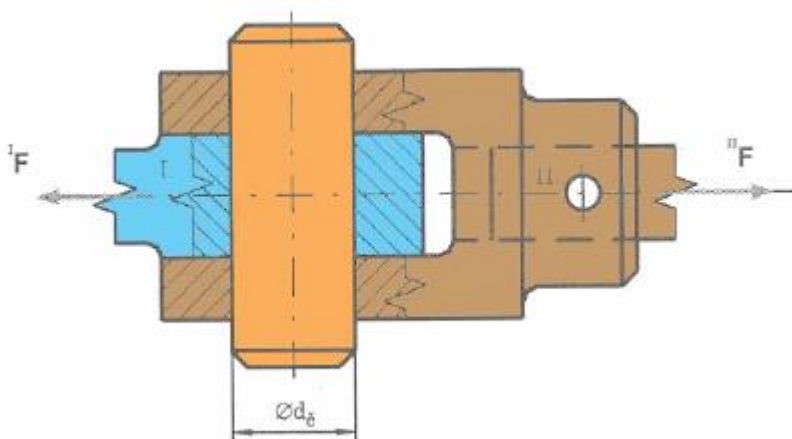
4.I. Spoje čepy (čepové spoje)

4.I.1. Charakteristika

Dobře rozebíratelná spojení pomocí válcového čepu vloženého s hybným uložením do otvorů ve spojených částech, takže jsou spojované části TS otočně pohyblivé okolo osy čepu.

4.I.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

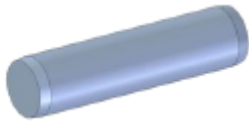
Typické provedení



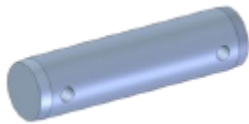
Tvary

NORMALIZOVANÉ ČEPY

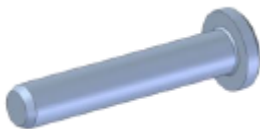
- **bez hlavy**
 - bez děr (ČSN EN 22340)



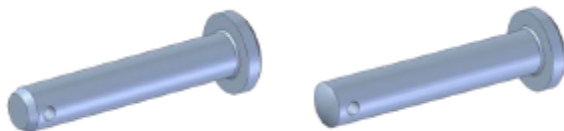
- s dírami pro závlačky (ČSN EN 22340)



- **s hlavou**
 - bez děr (ČSN EN 22341)

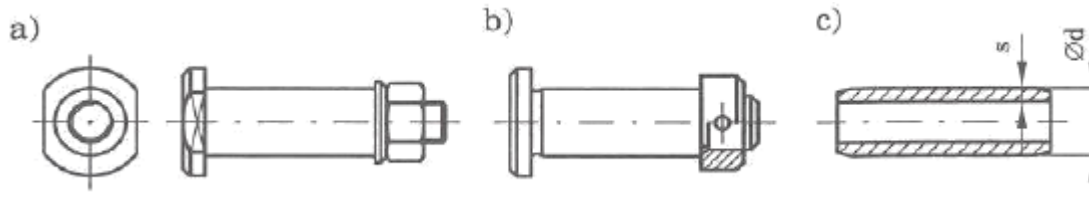


- s dírou pro závlačku (ČSN EN 22341)



NENORMALIZOVANÉ ČEPY

Příklady:



Rozměry, tolerance a uložení

Rozměry

- Normalizované čepy podle příslušné ČSN: \varnothing : 1 – 200 mm
- l: v přiřazených řadách

Tolerance a uložení

- Obvykle H11/h11 (příp. H10/h8 nebo H8/f8)

Materiály

- Normalizované čepy: oceli tř. 11 100 (11 103, 11 110)
- 11 300 (11 341, 11 373)
- 11 400 (11 423)

- Nenormalizované čepy: oceli tř. 11 500
- 11 600 91

4.1.3. Reflektivní vlastnosti čepových spojů

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTI

Provoz, údržba, opravy

- Přenos sil kolmých na osu čepu při možnosti natáčení spojených částí (jako klouby).
- Vůle ve spoji jsou na závadu při dynamickém zatěžování.
- Při provozu vyžaduje spoj mazání (pokud není opatřen samomazným pouzdem ap.).
- Rozebíratelnost závisí na způsobu axiálního zajištění čepu, většinou jednoduchá.
- Spolehlivost proti uvolnění rovněž závisí na způsobu axiálního zajištění čepu, většinou vysoká.
- Spolehlivost proti poruše je dána spíše přilehlými zónami (partiemi) spojovaných částí, než samotným čepem.

Výroba, montáž

- Velmi jednoduchá výroba, konstrukční úpravy spojovaných částí jsou jednoduché (zarovnání čel a vystružení), čepy i prvky pro zajištění polohy čepu se většinou nakupují jako normalizované díly
- (komponenty), výroba nenormalizovaných čepů je rovněž (obecně) jednoduchá.

4.2. Spoje kolíky (kolíkové spoje)

4.2.1. Charakteristika (konstrukční znaky)

Pevná (tj. nepohyblivá) rozebíratelná spojení pomocí (válcových nebo kuželových) kolíků vložených těsně do (příčných) otvorů ve spojovaných částech nebo do (podélných) otvorů mezi spojovanými částmi.

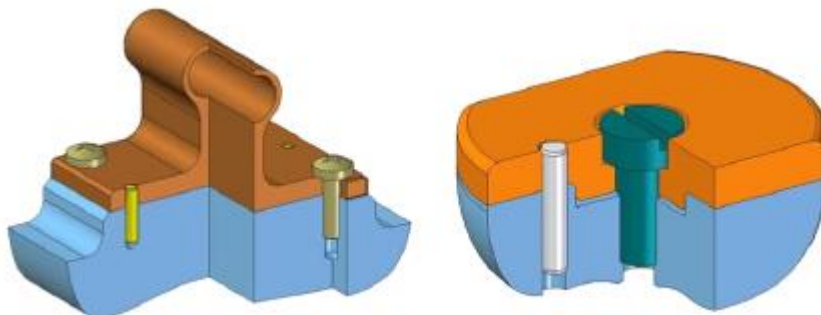
Poznámky:

- Spoje kolíky se většinou používají v kombinaci s jinými druhy spojů (příp. uložení) tak, aby bylo optimálně docíleno požadovaných vlastností výsledného spoje.
- Vzhledem k tomu, že přilehlé zóny (partie) částí strojů spojovaných kolíky (jakož i kombinace s jinými druhy spojů) bývají pro charakter své stavební struktury obtížně deformačně řešitelné, je žádoucí umísťovat tyto spoje tak, aby jejich zatížení bylo staticky určité (nebo alespoň řešitelné za přijatelného zjednodušení).

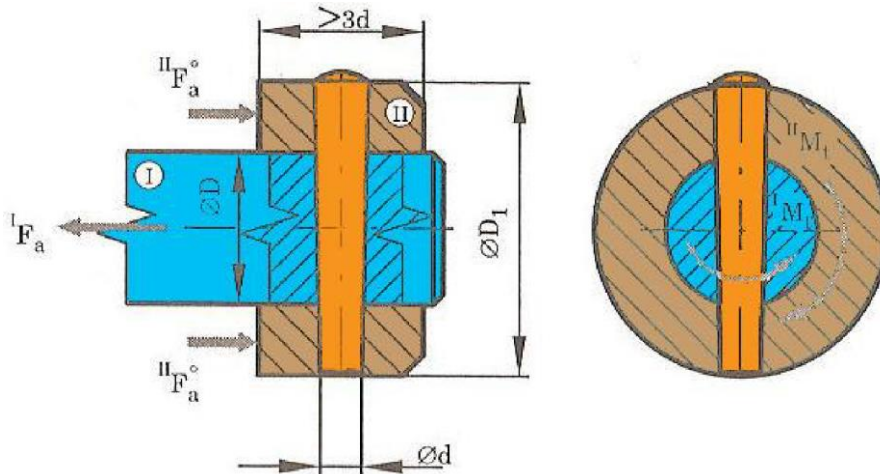
4.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

Typická provedení

PRO ZAJIŠTĚNÍ POLOHY (hlavní funkce)



PRO PŘENOS ZATÍŽENÍ (hlavní funkce)



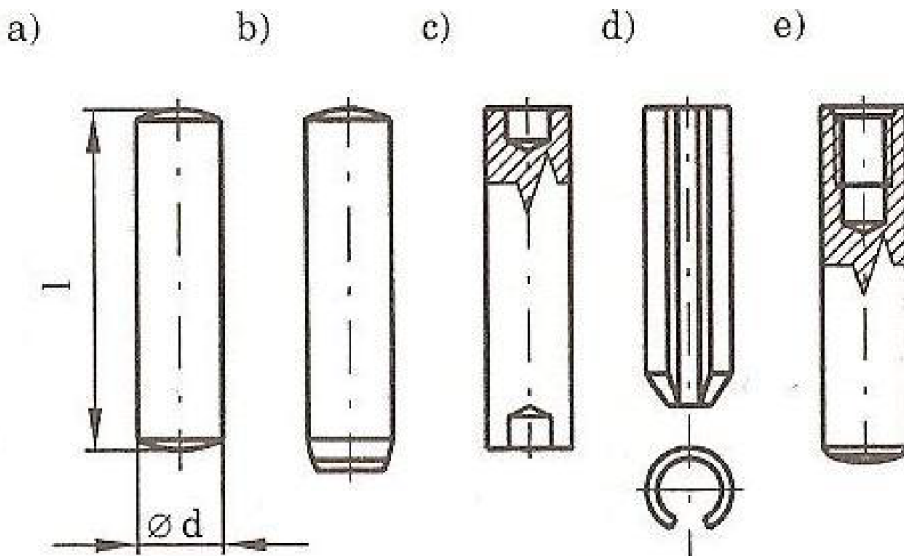
$$F_a I = F_a II = F_a$$

$$M_t I = M_t II = M_t$$

Tvary

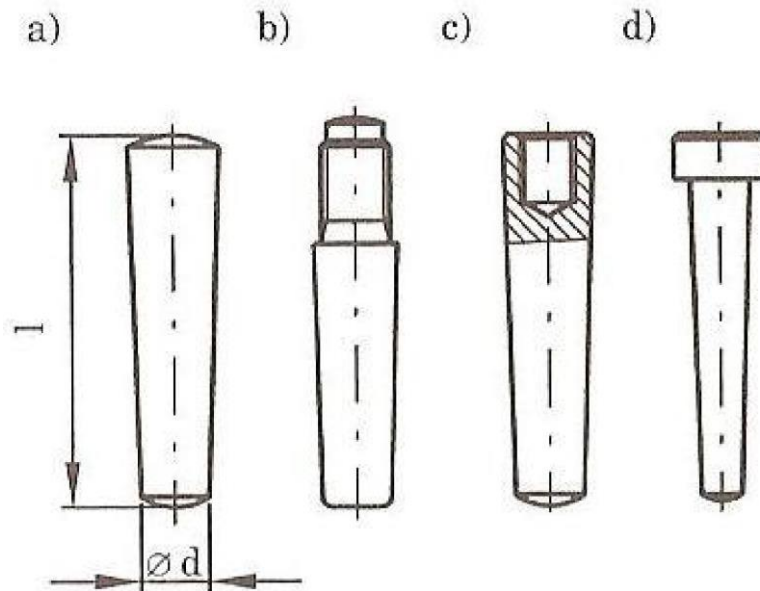
NORMALIZOVANÉ KOLÍKY

- **válcové (hladké)**
 - válcové nezakalené (standardní) (ČSN EN 22338+AC) a)
 - válcové kalené (ČSN EN 28734) b)
 - válcové s konci k roznýtování (ČSN 02 2140) c)
 - válcové pružné s mezerou (ČSN EN 28752) d)
 - válcové s vnitřním závitem kalené (ČSN EN 28735) e)
 - válcové s vnitřním závitem nezakalené (ČSN EN 28733) e)



- **kuželové (hladké) - (kuželovitost 1 : 50)**

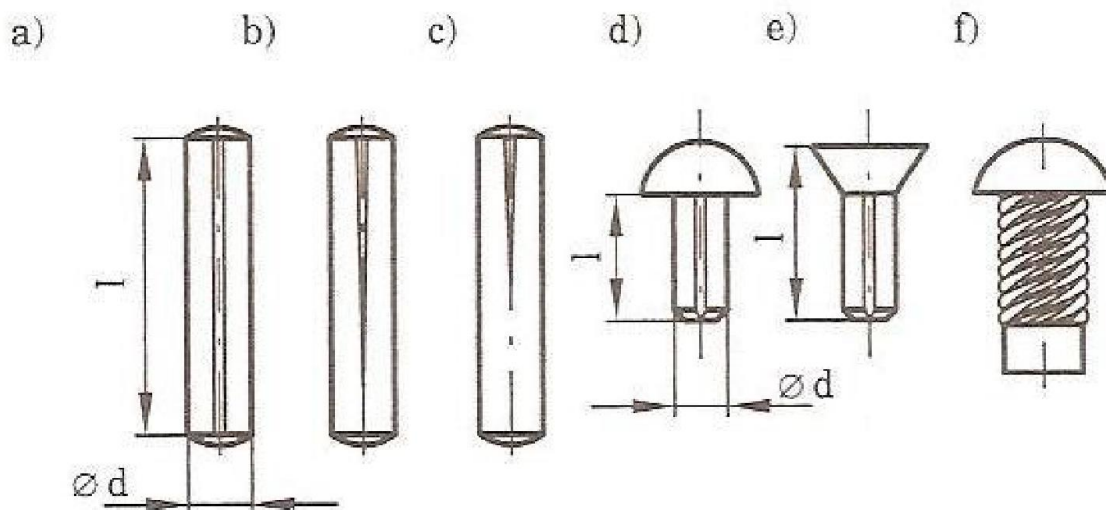
- kuželové nezakalené (standardní) (ČSN EN 22339) a)
- kuželové s vnějším závitem nezakalené (ČSN EN 28737) b)
- kuželové s vnitřním závitem nezakalené (ČSN EN 28736) c)
- kuželové s hlavou (ČSN 02 2157) d)



- **rýhované**

- bez hlavy a) ÷ c), s hlavou (označené jako hřeby d) ÷ f)**

- s vodicím čepem (ČSN EN 28739) a)
- se sražením (ČSN EN 28740)
- s rýhováním ve střední třetině délky (ČSN EN 28742) b)
- s rýhováním uprostřed na polovině délky (ČSN EN 28743)
- kuželově rýhované (ČSN EN 28744)
- kuželově rýhované s rýhováním od poloviny délky (ČSN EN 28741) c)
- kuželově rýhované s rýhováním do poloviny délky (ČSN EN 28745)
- rýhované hřeby s půlkulovou hlavou (ČSN EN 28746) d)
- rýhované hřeby se zápustnou hlavou (ČSN EN 28747) e)
- šroubové hřeby (ČSN 02 2195) f)



Rozměry, tolerance a uložení

Rozměry

- Podle příslušné ČSN $\varnothing d$: (0,6 ÷ 50) mm
- l : v přiřazených řadách

Tolerance a uložení

- Válcové hladké obvykle: H7/n6 (k roznytování H11/h11)

Materiály

- Válcové a kuželové kolíky: oceli tř. 11100 (11107, 11109)
- 11300 (11323, 11373)
- 11400 (11423)
- 11600
- Válcové pružné a kalené kolíky: oceli tř. 11700
- Válcové kalené kolíky: oceli tř. 19400 (19421)

4.2.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTI

Provoz, údržba, opravy

- Přenos sil kolmých na osu kolíku s cílem:
 - zajištění vzájemné polohy spojených částí
 - přenosu příslušného zatížení mezi spojovanými částmi

Jedna z funkcí je obvykle hlavní (viz. TYPICKÁ PROVEDENÍ SPOJE), mohou však být i rovnocenné.

- Kuželové a rýhované kolíky jsou vhodné pro bezvůlové spojení (rýhované však jen pro min. zatížení).
- Kolíky pro zajištění polohy se umísťují co nejdále od sebe, ale tak, aby při opětovné montáži nedovolily chybné spojení (např. pootočením spoj. částí, apod.).
- Rozebíratelnost a spolehlivost proti uvolnění je nutno zajistit vhodnou volbou kolíku a konstrukcí spoje.
- Spolehlivost spoje proti poruše (zejm. při dynam. namáhání) je ovlivňována především přilehlými zónami (partiemi) spojovaných částí, v nichž mají díry pro kolík nepříznivé vrubové účinky.

Výroba, montáž

- Velmi jednoduchá výroba (prakticky jediné vrtání a vystružení při montáži), kolíky se téměř výhradně nakupují.
- Při montáži nutné pojistit proti uvolnění podle typu kolíku (kuželové a rýhované např. "zaražením" apod.).

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Velmi rychlý návrh, výroba (a nákup), montáž i demontáž.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTI

Hospodárnost procesů

- Levný spoj.
- Provozní náklady dány pouze nároky na mazání.
- Náklady na demontáž minimální.

5. TVAROVÉ SPOJE HŘÍDELE S NÁBOJEM – POMOCÍ PER, KLÍNŮ A DRÁŽKOVÁNÍ

5.1. Spoje pery a klíny (spoje na pera a klíny)

5.1.1. Charakteristika (konstrukční znaky)

Jednoduše rozebíratelná spojení pomocí per, příp. klínů hranolového tvaru (u klínů se skosením na jedné z ploch) vložených do podélných vybrání nebo (výjimečně) příčných otvorů odpovídajícího tvaru ve spojovaných částech.

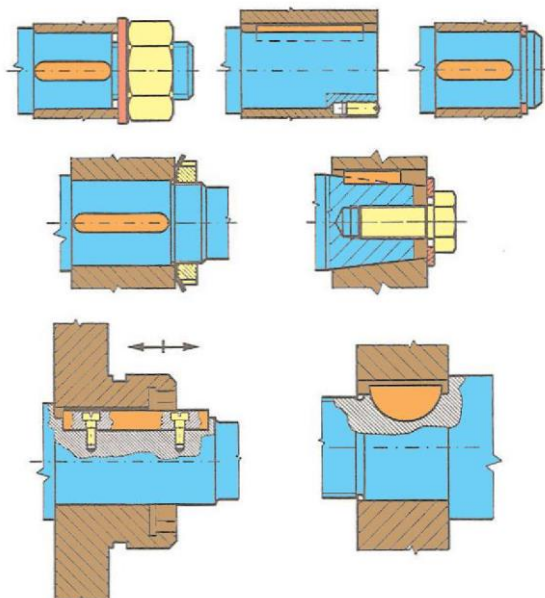
Poznámky:

- Spoje pery a klíny se používají téměř výhradně **na válcové ploše**. Dále bude proto uvažován pouze tento případ.
- Spoje pery a klíny bývají většinou používány **v kombinaci s jinými druhy spojů** a uložení tak, aby bylo optimálně docíleno všech požadovaných vlastností výsledného spoje (vzájemná axiální poloha, souosost spojovaných částí apod.).
- Vzhledem k tomu, že přilehlé zóny (partie) částí strojů spojovaných pery a klíny (jakož i kombinace s jinými druhy spojů) bývají pro charakter své stavební struktury obtížně deformačně řešitelné, je žádoucí umísťovat tyto spoje tak, **aby jejich zatížení bylo staticky určité** (nebo v krajním případě řešitelné za přijatelného zjednodušení).

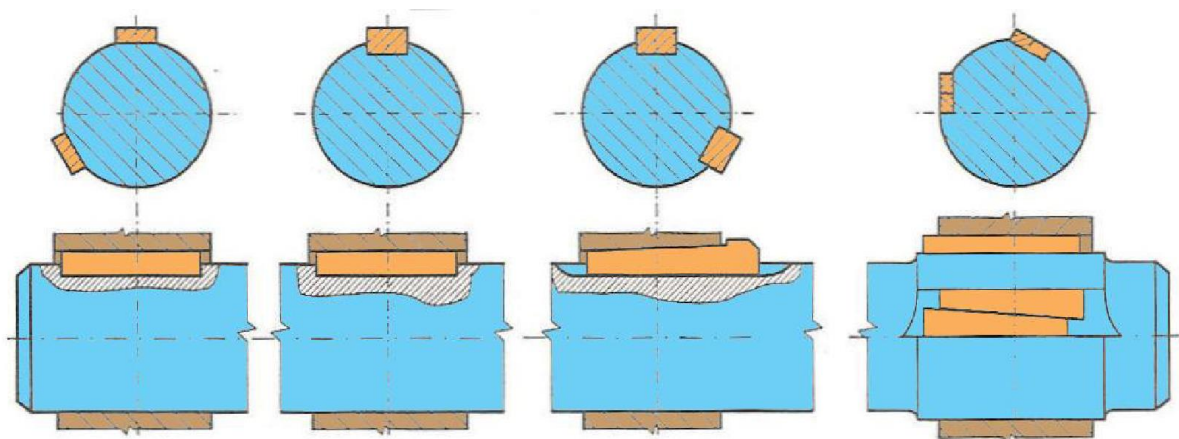
5.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

Typická provedení

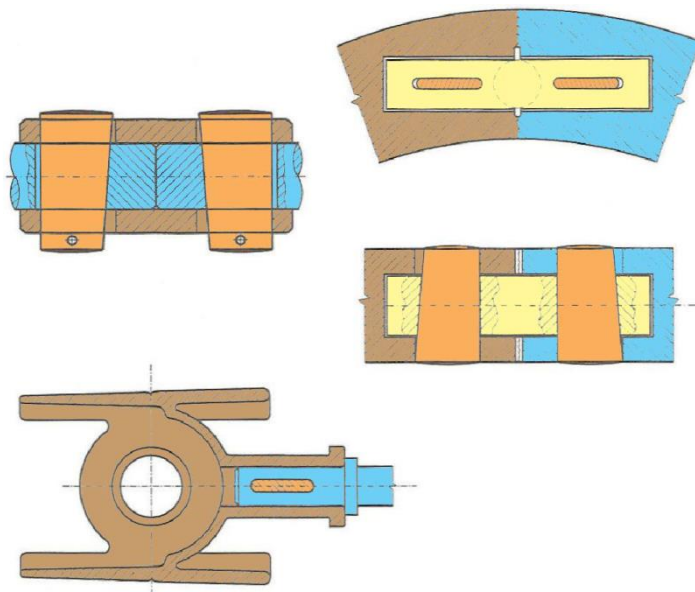
SPOJE PEREM (včetně způsobů zajištění spoj. částí proti posuvu)



SPOJE PODÉLNÝMI KLÍNY (úkos na „horní“ ploše klínu 1:100)



SPOJE PŘÍČNÝMI KLÍNY (úkos na „boční“ ploše klínu 1:25 až 1:10)



Poznámky:

- Spoj podélným klínem používaný pro spojení náboje a hřídele se liší od analogického spoje s perem především v tom, že přenáší zatížení třecí silou vyvozenou zaražením klínu do drážky s opačným smyslem úkosu (příp. na druhý klín, takže dna obou drážek pak mohou být bez úkosu). Boční plochy klínu v drážce, příp. jiné opěrné plochy slouží pouze jako pojištění proti prokluzu. Spoje s podélnými klíny jsou proto vhodné pro přenos velkých, a to i rázových, zatížení.
- Jejich zásadními nevýhodami však je, že:

= **normální sílu (tlak) vzniklou zaražením klínu** a tudíž ani tečné třecí síly zajišťující únosnost spoje **nelze zjistit**.

= vlivem zaražení klínu se ve spoji **vymezují příčné vůle pouze v jednom smyslu**, což je u jejich nejčastějšího použití mezi nábojem (řemenice, ozubeného kola, setrvačníku, apod.) a hřídelem značně na závadu.

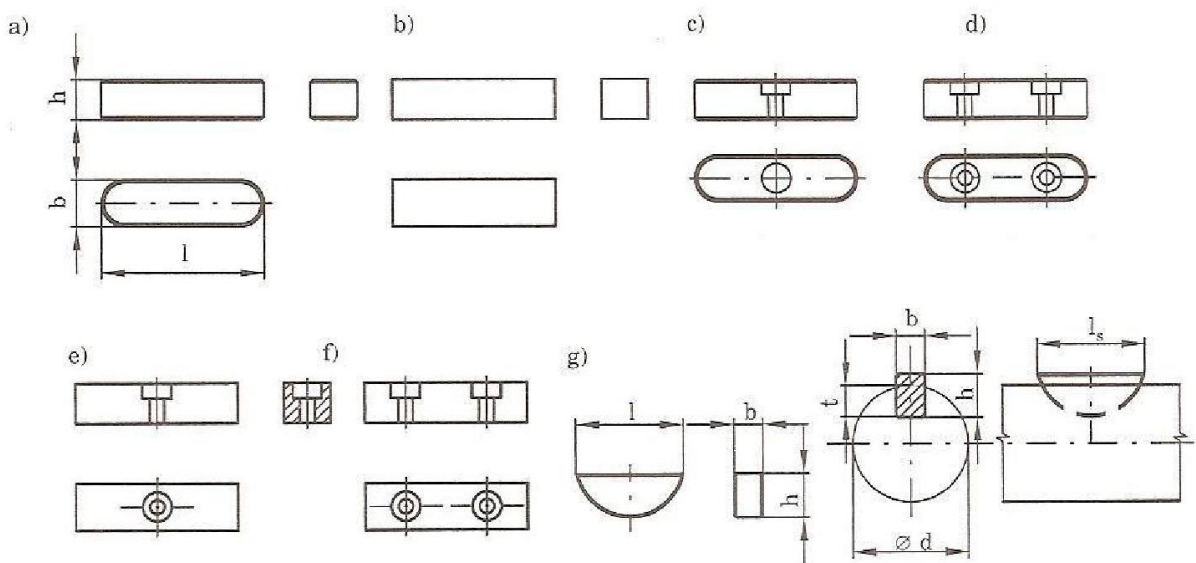
- Spoje s podélnými klíny se proto již prakticky nepoužívají a pokud výjimečně ano, tak pro uvedenou nejistotu se stejně jejich "boční" plochy obvykle navrhují a pevnostně hodnotí pro přenos plného zatížení, tj. jako u spoje s pery. V doporučené literatuře jsou uvedeny podrobné informace pro jejich řešení.
- Spoje s příčnými klíny se používaly zejména u velkých klikových mechanismů, setrvačnicků, táhel apod. V současné době se již používají zřídka. V doporučené literatuře jsou uvedeny podrobné informace pro jejich řešení

- Dále budou uvažovány pouze běžně používané spoje podélnými perami.

TVARY, ROZMĚRY, TOLERANCE A ULOŽENÍ

Druhy (dle ČSN) - (nenormalizovaná pera se prakticky nepoužívají)

- **těsná** - pro spoje neposuvné
 - zaoblená (ČSN 02 2562) a)
 - s rovnými čely (zřídka) - (ČSN 30 1382) b)
- **výměnná a volná** - pro spoje posuvné
 - zaoblená ("výměnná") - (ČSN 02 2570) 1 šr. c) - (ČSN 02 2575) 2 šr. d)
 - s rovnými čely ("volná") - (ČSN 30 1383) 1 šr. e) - (ČSN 30 1385) 2 šr. f)
- **úsečové (Woodruffovo)** - pro spoje neposuvné
 - (jen $d \leq 50$ mm) g)
 - (ČSN 30 1385)
- **ostatní tvary** (drážek, příp. závitových otvorů, apod.) – podle příslušné ČSN



Rozměry

- Podle příslušné ČSN pro $\varnothing d$: (6 ÷ 500) mm
 - l: v přiřazených řadách
- Přiřazení průřezu per k rozměrům hřídele dle ČSN
 - (ČSN 02 2507, ČSN 30 1036, ČSN 30 1037)

Poznámky:

- Pozor: přiřazení průřezu neznamena, že není nutné pero navrhovat a pevnostně hodnotit podle zatížení, rozdílly jsou ve stykové délce pera!
- Délka pera obvykle: $1 \div 1,5 d$ pro součásti z oceli
- $1,5 \div 2,5 d$ pro součásti z litiny

Tolerance a uložení

- **Válcová část spoje:**
 - neposuvné spoje (běžně): H8/h7 (příp. H8/k7)
 - (při vyšších nárocích: přechodné H8/m7, H8/p7)
 - (při vysokých nárocích: nalisované H7/r6, H7/

Materiály

- běžně: oceli 11 600
- pro větší zatížení: oceli 14 240

5.1.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos sil kolmých na podélnou osu pera; pokud není žádoucí posuv podél osy pera, nutné spoj zajistit jiným způsobem (viz. TYPICKÁ PROVEDENÍ). Při malých axiálních silách lze též použít uložení válcových ploch s přesahem.
- Vůle ve spoji jsou na závalu při dynamickém zatěžování.
- Rozebíratelnost závisí na způsobu zajištění v axiálním směru, obvykle jednoduchá.
- Spolehlivost proti uvolnění rovněž závisí na způsobu zajištění v axiálním směru, obvykle vysoká.
- Spolehlivost proti poruše je dána především přilehlými zónami (partiemi) spojovaných částí, v nichž mají drážky pro pero nepříznivé vrubové účinky.

Výroba, montáž

- Výroba drážek vyžaduje speciální nářadí, pera se nakupují
- Při montáži nutné zajistit, příp. omezit axiální posuv spojovaných část

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Velmi rychlý návrh, relativně pomalá výroba (pokud není speciální nástroje), nevhodný pro sériovější výrobu.
- Rychlost montáže a demontáže závisí na celkovém konstrukčním provedení spoje, obvykle rychlé.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Středně nákladný spoj
- Provozní náklady nulové
- Náklady na demontáž relativně malé

5.2. Spoje drážkami (drážkové spoje)

5.2.1. Charakteristika (konstrukční znaky)

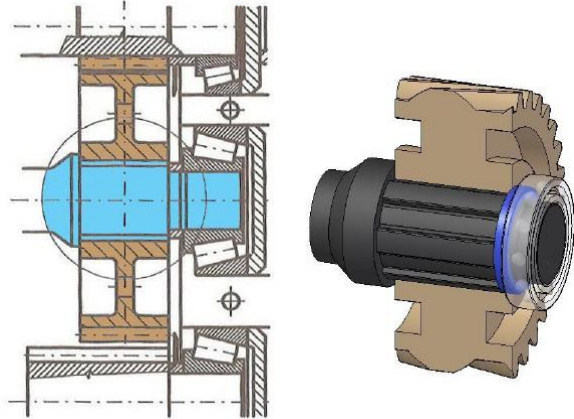
Jednoduše rozebíratelná spojení pomocí spoluzabírajících přímých drážek (zubů, per) vytvořených na spojovaných částech.

Poznámky:

- Drážkové spoje se používají výhradně s drážkami vytvořenými na osově symetrické ploše. Drážky mohou být tudíž vůči ose symetrie spoje rovnoběžné, šikmé i kolmé. Dále budou uvažovány pouze nejpoužívanější drážkové spoje na principu spoluzabírajících vnějších a vnitřních drážek (zubů) na válcové ploše, (tj. rovnoběžných s osou (středem) symetrie spoje).
- Drážkové spoje s drážkami na válcové ploše musí být většinou použity v kombinaci s dalšími druhy spojů (příp. uložení), aby bylo optimálně docíleno všech požadovaných vlastností spoje (vzájemná axiální poloha, někdy i přesnější sousost spoj. částí apod.).

5.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

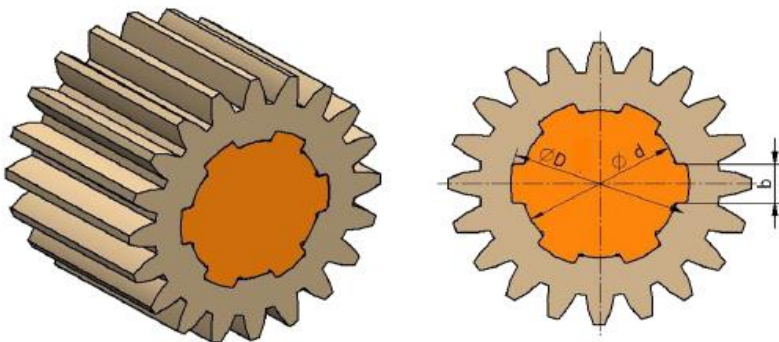
Typická provedení (včetně způsobů pojištění proti osovému posuvu)



Tvary, rozměry a tolerance

ROVNOBOKÉ DRÁŽKOVÁNÍ (ČSN 01 4942)

Základní tvar příčného řezu



Druhy dle počtu a rozměru drážek /per

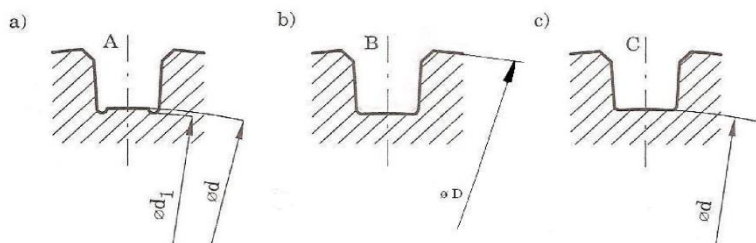
- řada lehká
- řada střední
- řada těžká

Poznámka:

- Všechny tři řady mají dle uvedené ČSN shodné odstupňování ϕ .

Druhy (provedení) dle způsobu středění a výroby

- A středění na vnitřním $\varnothing d$ při výr. odvalováním a)
- B středění na vnějším $\varnothing D$ nebo bocích b)
- C středění na vnitřním $\varnothing d$ c)



Rozměry

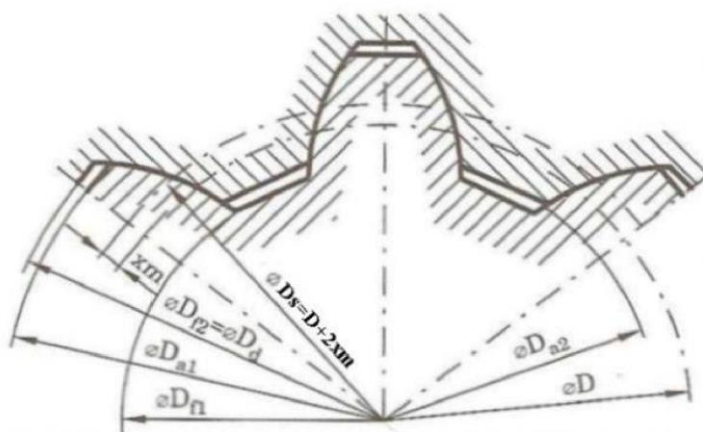
- Podle ČSN (01 4942) jmenovitý $\varnothing d$: (23 ÷ 112) mm (v řadě), styková délka l_{st} (1 ÷ 1,5) d_{st}

Tolerance a uložení

- Podle ČSN (01 4949)

EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ (ČSN 01 4952 - 01 4955)

Základní tvar příčného řezu



Ozubení

- tvar boků drážek: evolventní
- úhel záběru: $\alpha = 30^\circ$
- moduly: $m = (0,5 \div 10)$ mm

- korekce kladná i záporná: $x_m < 0$
- $x_m > 0$
- počty zubů: $z = 6 \div 20$

Druhy dle způsobu středění a tvaru (provedení) drážek:

- středění na bocích zubů, dna plochá
- středění na bocích zubů, dna oblá
- středění na hlavové ploše zubů hřídele, dna plochá

Poznámka:

- Běžně se používá středění na bocích zubů; středění na hlavové ploše zubů hřídele (vnější středění) se používá jen při požadavcích na přesnost souososti hřídele a náboje.

Rozměry

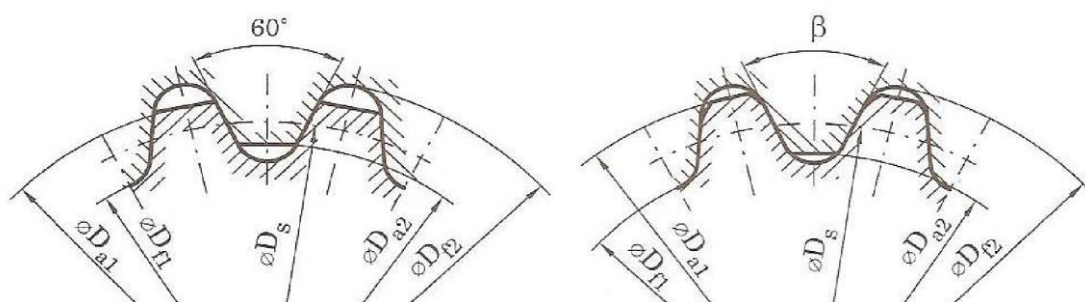
- Podle ČSN (01 4952 - 01 4955), jmenovitý $D_d = (4 \div 500)$ mm, styková délka $l_{st} (1 \div 1,5)$ dstř

Tolerance a uložení

- Podle ČSN (01 4953)

JEMNÉ DRÁŽKOVÁNÍ

Základní tvar příčného řezu



Ozubení

Pro $\varnothing D_{a1} \leq 60\text{mm}$:	
tvár boků zubů na hřídeli i náboji:	rovinný
sklon boků drážek:	$\beta = 60^\circ$
Pro $\varnothing D_{a1} > 60\text{mm}$:	
tvár boků zubů na hřídeli:	evolventní
modul:	$m = 1,5\text{ mm}$
úhel záběru:	$\alpha = 27^\circ 30'$
tvár boků zubů v náboji:	rovinný
sklon boků drážek (podle $\varnothing D_{a1}$):	$\beta \cong 60^\circ (57^\circ \div 63^\circ)$
počty zubů:	$z = 6 \div 20$

Rozměry

- Podle ČSN (01 4933) jmenovitý $\varnothing D_{a1} = (8 \div 120)$ mm, styková délka $l_{st} (1 \div 1,5)$ dstř

Tolerance a uložení

- Podle ČSN (01 4933)

Materiál

- Kvalitní oceli pro obě spojované části:
- min. pevnost v tlaku: $\sigma_{Pt} \geq 500\text{ MPa}$
- min. tvrdost boků pro posuvné spoje: $HRC \geq 55$

5.2.3. Reflektivní vlastnosti drážkových spojů - ROVNOBOKÉ a EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos vysokých točivých momentů při střídavém i rázovém zatížení, vůle v drážkách však mohou být na závadu.
- Požadavky na přesnou sousost nutné zajistit buď (dražším) druhem ozubení, nebo jiným způsobem středění.
- Vhodnost pro axiální posun spojovaných částí bez zatížení i při zatížení točivým

momentem, jinak nutné axiálně zajistit.

- Rozebíratelnost závisí na způsobu zajištění v ax. směru, obvykle jednoduchá.
- Spolehlivost proti poruše (zejména při dynam. namáhání) je nepříznivě ovlivňována vrubovými účinky drážek a jejich výběhů

Výroba, montáž

- Výroba vyžaduje speciální nářadí a strojní vybavení.
- Montáž relativně jednoduchá.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Rychlý návrh (s využitím tabulkových údajů v ČSN)
- Výroba relativně rychlá jen při vhodném vybavení, montáž a demontáž rychlá.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Nákladný spoj, ekonomický pouze při sériové výrobě, pak ale hospodárnější než spoje s pery, apod.
- Provozní náklady u přesuvných spojů dány pouze mazáním, jinak nulové.
- Náklady na demontáž minimální.

5.2.4. Reflektivní vlastnosti drážkových spojů - JEMNÉ DRÁŽKOVÁNÍ

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos točivých momentů, oproti spojm s pery menší potřebná délka spoje při témže zatížení.
- Nutné zajistit proti axiálnímu posuvu spojovaných částí.
- Rozebíratelnost závisí na způsobu zajištění v axiálním směru, obvykle jednoduchá.
- Spolehlivost proti poruše je negativně ovlivňována vrubovými účinky drážek a jejich výběhu, zeslabení hřídele je však menší než u rovnobokého a evolventního drážkování.

Výroba, montáž

- Jako u rovnobokého a evolventního drážkování.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Jako u rovnobokého a evolventního drážkování

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Jako u rovnobokého a evolventního drážkování

6.SILOVÉ SPOJE HŘÍDELE S NÁBOJEM – NALISOVANÉ A SVĚRNÉ

6.1. Spoje nalisováním (nalisované spoje)

6.1.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Pevná (tj. nepohyblivě za provozu spojená) obtížně rozebíratelná spojení na principu stálého pružného předpětí spojovaných částí pomocí přesahu v jejich stykové ploše (libovolného tvaru).

Dále však bude uvažován pouze nejběžnější nalisovaný spoj s válcovou (nebo mírně kuželovou 1 : 50) stykovou plochou.

6.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

Vnější část ("náboj")

Rotačně symetrická součást (ozubené kolo, ozubený věnec, kotouč spojky, setrvačnick, apod.), nebo její „deformačně aktivní“ část (viz dále), jejíž vnitřní (funkční) válcová (díra) je vyrobena ve stanovené toleranci a jakosti povrchu.

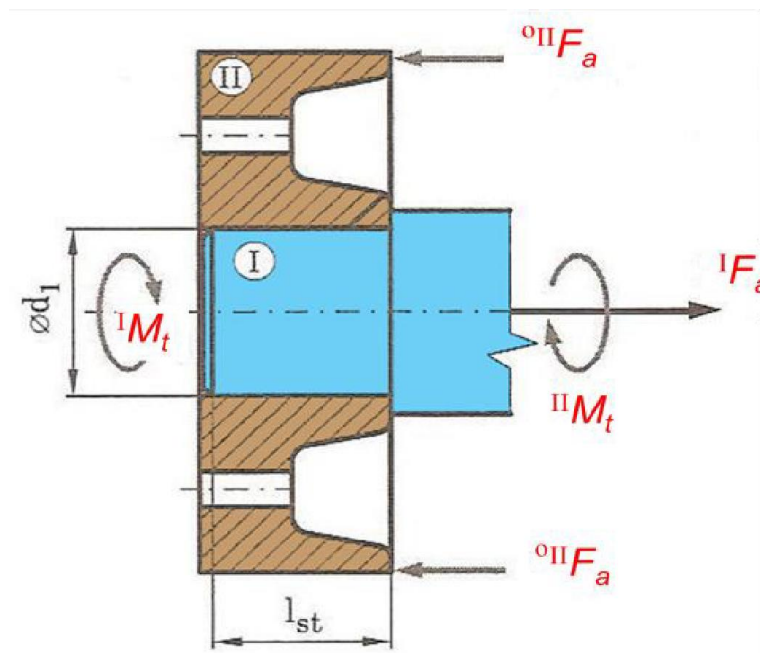
Vnitřní část ("čep")

Rotačně symetrická plná, příp. i dutá část (disk ozubeného kola, plný nebo dutý hřídel, atd.) jejíž vnější (funkční) válcový povrch je vyroben v rozměrové toleranci se stanoveným přesahem vůči rozměrům příslušného válcového otvoru vnější části a ve stanovené jakosti povrchu.

Poznámka:

- Přesah může být stanoven i v opačném pořadí (vnitřní část \Rightarrow vnější část), výše uvedená varianta je však podstatně vhodnější z hlediska výroby a je tudíž nejběžnější.

Příklad typického provedení



$$M_{tI} = M_{tII} = M_t$$

$$F_{I} = F_{II} = F$$

Označení ° znamená působení po celém obvodu

6.1.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos točivého momentu a/nebo osové síly třecí silou vyvozenou ve stykové ploše stálým předpětím a součinitelem tření. Spoj může přitom zachycovat i klopný ("ohybový") moment.
- Vhodnost i pro velká zatížení, která mohou být též střídavá i rázová, neboť spoj je bez vůle.
- Vysoká přesnost souososti i kolmosti spojení.
- Vysoká spolehlivost všech vlastností spojení.
- Nepotřebnost údržby, avšak při nutnosti demontáže (výměna, oprava, apod. spojovaných dílů), je rozebíratelnost velmi obtížná, někdy i nemožná.

Výroba, montáž

- Značná náročnost na přesnost výrobních tolerancí.
- Relativní obtížnost montáže:
 - nalisování za studena (lisovací zařízení)
 - natažení (ne nalisování!) za tepla (zařízení pro rovnoměrné ohřátí a bezpečnou

manipulaci s vnější částí) s případným ochlazením vnitřní části (zařízení pro podchlazení).

V obou případech je nezbytný osový "doraz" na součástech pro přesné ustavení vzájemné axiální polohy (tj. opěrné, nejčastěji mezikruhové plochy kolmé na osu).

- Vhodnost pro všechny typy výroby při přiměřených výrobních prostř. (kusová, malosériová, ...).

Ostatní hlediska

- Relativně nebezpečná montáž - lisování, příp. manipulace s horkou součástí při nasazování za tepla.
- Relativně bezpečné v provozu - hladké tvary.
- Tolerance uložení musí odpovídat ČSN.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Spoj je vhodný pro rychlý návrh a realizaci, nevyžaduje žádná speciální opatření (materiál, polotovary, nářadí), pokud jsou k dispozici vhodné lisovací nebo ohřívací (ochlazovací) technické prostředky.
- Není vhodný pro rychlé opravy a demontáže.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

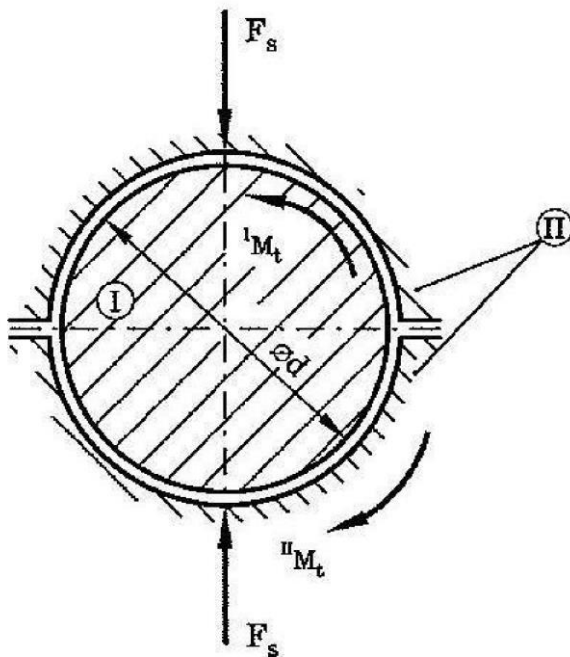
Hospodárnost procesů

- Výrobní náklady střední.
- Provozní náklady nulové.
- Náklady na demontáž značné, případně

6.2. Spoje sevřením (svěrné spoje)

6.2.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)

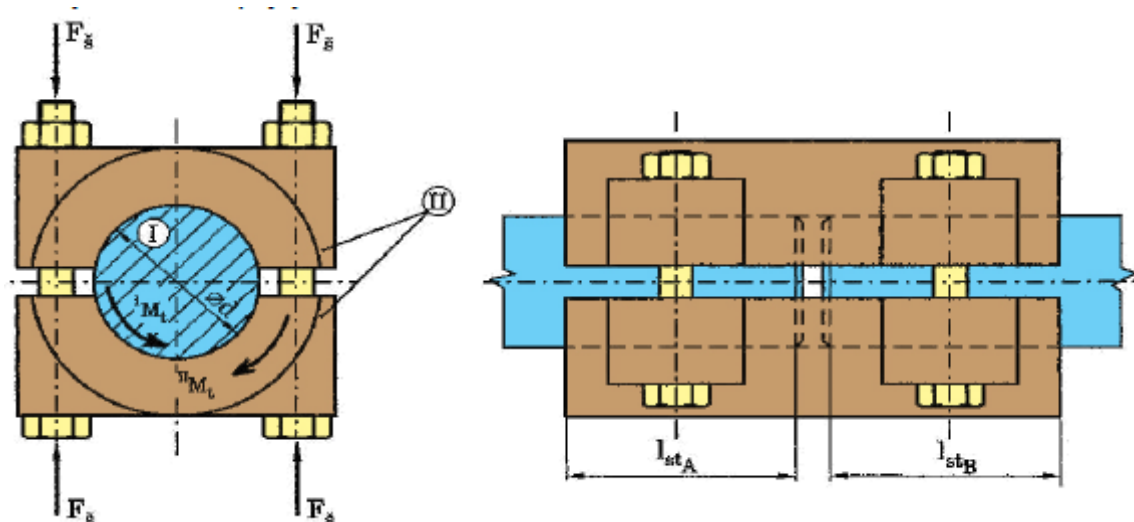
Pevná, snadno rozebíratelná spojení na principu sevření (příp. vzepření) spojovaných částí v jejich stykové ploše (libovolného tvaru) pomocí elementů, které se přímo nezúčastňují vlastního přenosu zatížení. Dále budeme uvažovat pouze nejběžnější svěrné spoje s rotačně symetrickou stykovou plochou.



styková délka: l_{st}
 $M_t I = M_t II = M_t$

6.2.2. Stavební struktura svěrných spojů s válcovou stykovou plochou

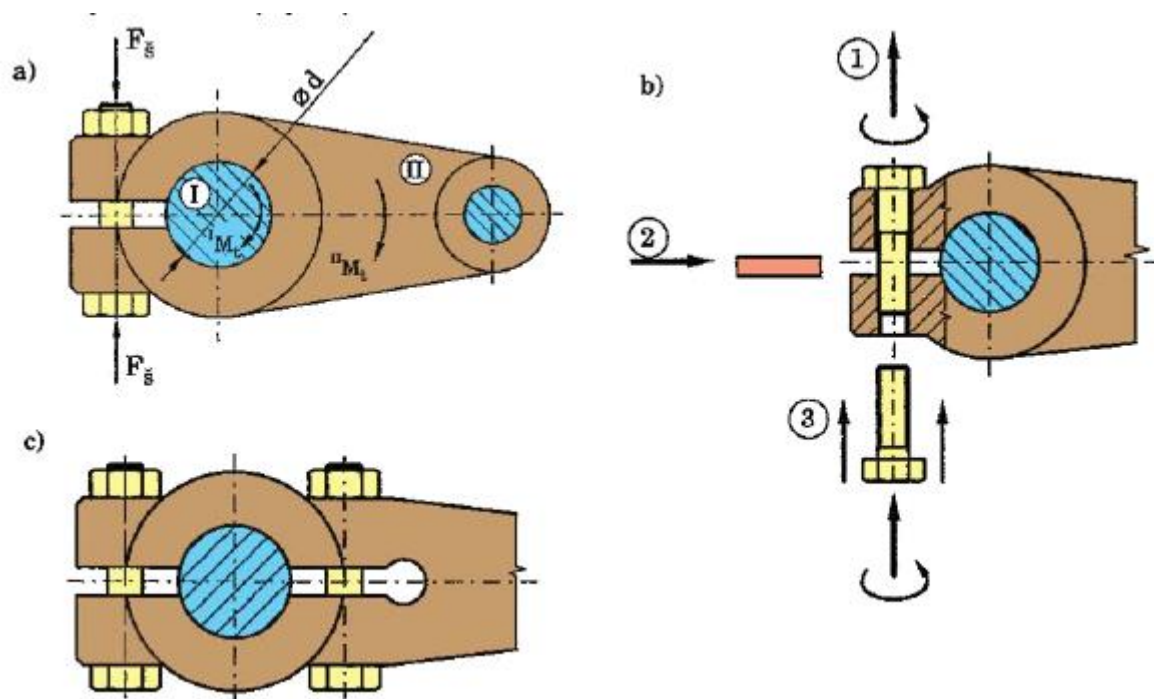
A) S DĚLENOU VNĚJŠÍ ČÁSTÍ
obvykle svěrné spojky hřídelů:



$$M_t I = M_t II = M_t$$

B) S ČÁSTEČNĚ DĚLENOU VNĚJŠÍ ČÁSTÍ

obvykle svěrná spojení pák s hřídelí:



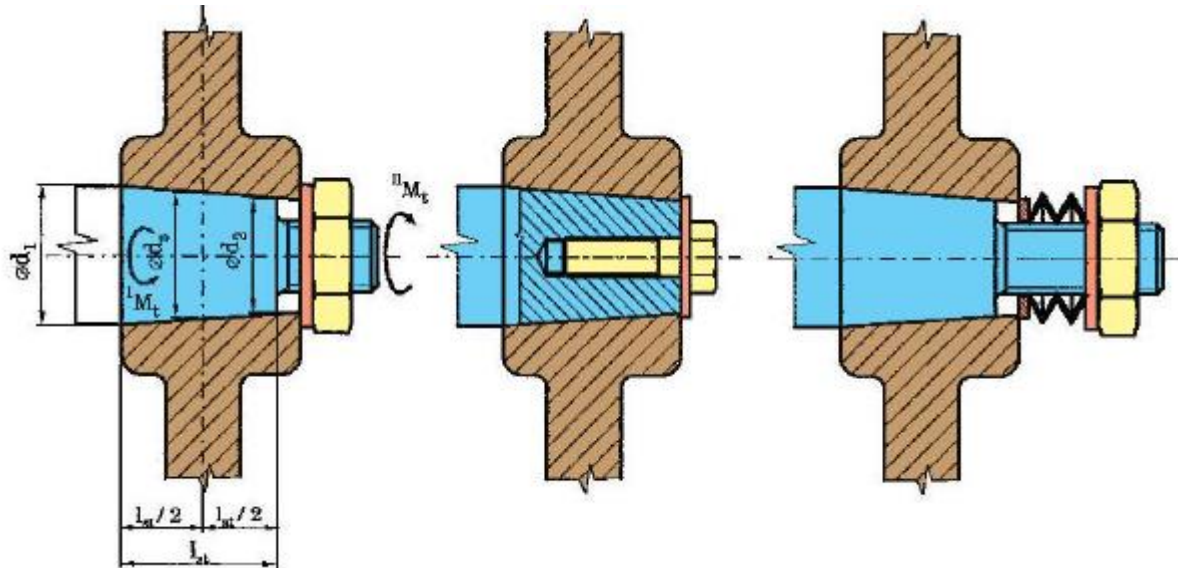
Uložení vnější a vnitřní části:

- A), B) a) b) – přechodná B) c) – s přesahem (malé A)
- buď H8/j7 nebo H8/k7 H8/n7 nebo H8/p7
- příp. H7/j6 nebo H7/k6 H7/n6 nebo H7/p6
- C) S NEDĚLENOU VNĚJŠÍ ČÁSTÍ (pro malé \varnothing a malé M_t)

6.2.3. Stavební struktura svěrných spojů s kuželovou stykovou plochou

(pouze s nedělenou vnější částí)

obvykle ke spojení nábojů s hřídelí na jejich koncích:



$$M_{tI} = M_{tII} = M_t$$

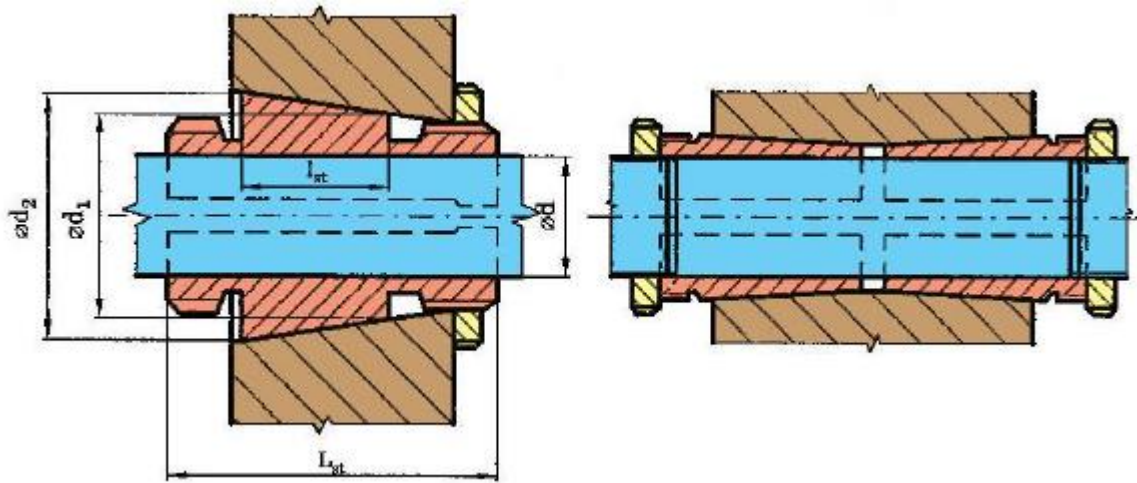
$$d_s = d_1 + d_2$$

Kuželovitost: 1:5 až 1:10

6.2.4. Stavební struktura svěrných spojů s kuželovým pouzdem

(pouze s nedělenou vnější částí)

obvykle ke spojení ("nábojů") vnitřních kroužků ložisek apod. s hřídelí kdekoli po její délce:



Kuželovitost: 1:10 až 1:15

Uložení pouzder na hřídeli – přechodná: H8/j7

Tyto spoje se nepoužívají pro přenos větších zatížení, nebudeme proto dále uvažovat.

6.2.5. Reflektivní vlastnosti svěrných spojů

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos točivého momentu a osově síly (třecí silou vyvozenou ve stykové ploše vyvozeným sevřením) vzepřením a součinitelem tření). Spoj může zachycovat i klopný ("ohybový") moment.
- Jednoduchost demontáže, výměny i opětovného nastavení vzájemné polohy spojovaných částí (s výjimkou nezaručené axiální polohy u spojů s kuželovou stykovou plochou).
- Spolehlivost spoje závisí významně na spolehlivosti pojištění svíracích elementů proti uvolnění.
- Spolehlivost oproti únavovému lomu značná (žádné tvarové vruby na hřídeli).

Výroba, montáž

- Výroba i montáž relativně nenáročná
- Dělené součásti nutné obrábět společně
- Jednoduchost montáže a nastavení vzájemné polohy spojovaných částí (s výjimkou nezaručené axiální polohy u spojů s kuželovou stykovou plochou).

Ostatní hlediska

Relativně nebezpečné pro obsluhu při otáčení vlivem vnějších nerotačních tvarů (někdy nutné zakrytovat).

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Vhodnost pro rychlý návrh, výrobení, montáž, údržbu i demontáž.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Výrobní náklady relativně malé.
- Provozní náklady nulové.
- Náklady na demontáž minimální.

7. PRUŽNÉ SPOJE

7.1. Pružné spoje

7.1.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Strojní částí (orgány), jejichž hlavní funkcí je přijmout, uchovat a opět vydat mechanickou energii na principu pružné deformace materiálu.

Poznámky:

- Základním modulem každé pružiny je "jednotlivá pružina". U složených pružin je proto nejprve nutné na základě silových (např. momentových) a deformačních podmínek určit zatížení jednotlivých pružin, které se pak řeší samostatně. Vlastnosti složené pružiny se pak získají opačným postupem. · V rozhodující většině případů se používají pružiny na principu poddajných tvarů nebo tvarově poddajných materiálů. Pružiny na principu objemově poddajných materiálů (pneumatické, hydropneumatické apod.) se používají pouze ve speciálních případech a jsou proto dále uvažovány jen v úvodní společné části této kapitoly.

7.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

PRACOVNÍ CHARAKTERISTIKA A DIAGRAM PRUŽINY

Posunutí a natočení od deformace:

$$u = f(k, F [N]) [mm], \varphi = f(k\varphi, Mt [Nmm]) [rad]$$

Tuhost a torzní tuhost:

$$k = dF[N] / du[mm] [N.mm^{-1}], k\varphi = dMt[Nmm] / d\varphi[rad] [N.mm.rad^{-1}]$$

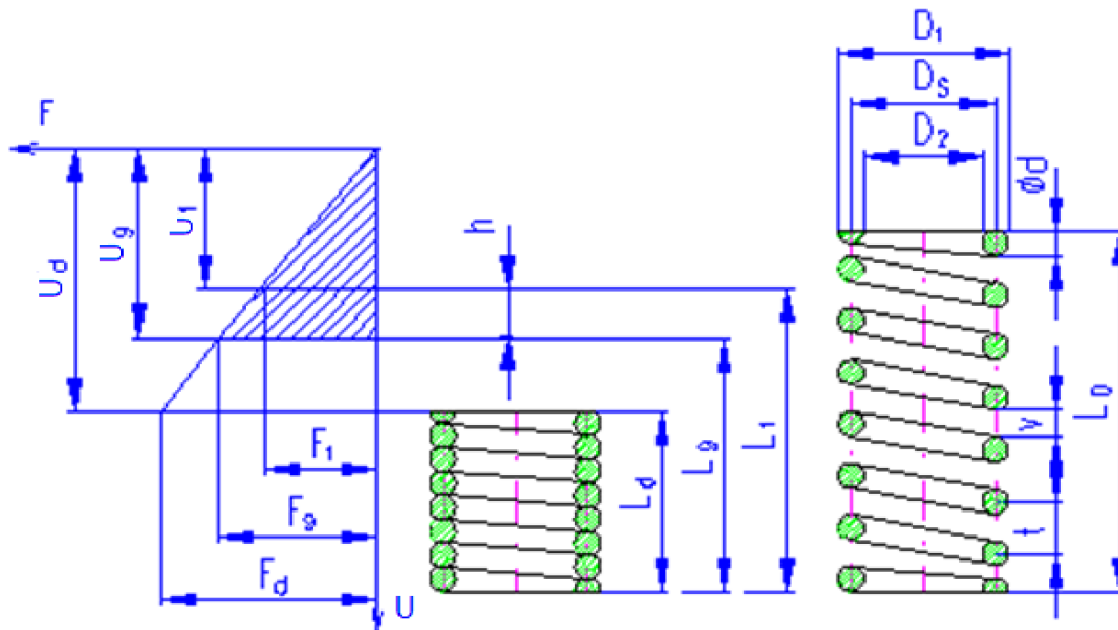
Druhy pracovních charakteristik:

- **podle závislosti deformace na zatížení:**
 - lineární
 - nelineární (spojité i lomené)

- progresivní
- degresivní
- **podle vnitřních ztrát v pružině:**
 - bez hystereze a)
 - s hysterezí b)

Pracovní diagram pružiny

Příklad pro lineární šroubovitou pružinu:



DRUHY MATERIÁLŮ

A) Kovové materiály

Oceli

Pro vysoká namáhání včetně dynamických. Kvalitní tepelně zušlechtnuté oceli s vysokou mezí pružnosti, pevnosti, únavy a vysokou houževnatostí: oceli všech tříd: 11 000 (min 11 800) až 19 000.

Pevnost drátů pro pružiny je zvyšována i jejich mechanickým zpevněním (tažením) při výrobě. Vliv zpevnění je však tím menší, čím je průměr drátu větší.

Při zjišťování pevnosti materiálu drátů je proto nutné vzít v úvahu nejen druh materiálu (včetně jeho tepelného zpracování), ale i průměr drátu (viz následující příklady).

B) Nekovové materiály

Pryže

Pro malá namáhání a speciální požadavky (vysoký vnitřní útlum, elektrická nevodivost, tepelné izolační vlastnosti, apod.)

Nevýhodou je malá odolnost proti nízkým i vysokým teplotám ($-35^{\circ}\text{C} < t < 50^{\circ}\text{C}$), kratší životnost zejména při dynamickém namáhání a malá chemická odolnost proti oleji a benzínu.

Plasty

Pro malá namáhání a speciální požadavky podobně jako pryže, oproti nimž mají větší odolnost při vyšších teplotách ($-40^{\circ}\text{C} < t < 120^{\circ}\text{C}$) a větší chemickou odolnost proti oleji a benzínu.

C) Zvláštní materiály ("media")

Kromě uvedených kovových a nekovových materiálů se jako pružný materiál využívají též kapaliny a plyny uzavřené ve speciálních pružících elementech obvykle s nezbytnou podporou celých hydraulických, příp. i hydropneumatických systémů.

KRITERIA PRO VOLBU MATERIÁLŮ

- druh pružiny (stavební struktura, ...)
- použití pružiny (funkce, parametry, ...)
- namáhání a deformace (druhy, velikosti, ...)
- provozní prostředí (teplota, agresivnost, ...)
- zvláštní požadavky (elektrická vodivost, magnetičnost, ...)

7.1.3. Základní vlastnosti pružných spojů

Vlastnosti akumulátorů mechanické energie se využívají v pohonech a reverzních mechanismech:

- pro zachycování statických i dynamických sil, příp. točivých momentů
- pro změny vlastních frekvencí a tvarů kmitů mechanických soustav
- pro měření a regulaci sil a momentů

Provozní náklady jsou obvykle nulové.

Další provozní, výrobní, časové, nákladové vlastnosti apod. jsou významně ovlivněny konkrétní stavební strukturou pružiny, tj:

- stavebními prvky a jejich uspořádáním
- tvary
- rozměry
- materiály
- druhy výroby
- stavy povrchu
- odchylkami od jmenovitých hodnot v zamontovaném stavu.

7.1.4. Obecné poznatky pro návrh a hodnocení

(pro docílení požadovaných a predikci dosažených reflektivních a reaktivních vlastností)

Vzhledem k relativně malým tuhostem a hmotnostem pružin vůči velkým tuhostem a hmotnostem okolních strojních částí jsou vlastní frekvence těchto kmitavých soustav (zjednodušeně: $\Omega = \sqrt{k/m}$ [rad.· s⁻¹]) obecně podstatně nižší než ostatních běžných strojních částí. Z toho pak vyplývá, že pro běžné nízkofrekvenční dynamické provozní zatížení je nutné návrhy a hodnocení pružin řešit též dynamicky a nelze jejich návrh a hodnocení běžně zjednodušovat na statické zatížení zvýšené pouze provozním (dynamickým) součinitelem *cdyn*, jako u ostatních běžných strojních částí.

V některých případech je možné použít zpřesněné postupy jako u hřídelových spojek. Vzhledem k podstatně vyšší variabilitě použití pružin to však je spíše výjimka. Z těchto důvodů jsou dale uváděny pouze poznatky pro návrhy a hodnocení pružin při statickém zatěžování.

Poznatky pro návrhy a hodnocení dynamicky namáhaných pružin je třeba vyhledat ve speciální odborné literatuře.

Poznámky:

- Při návrhu staticky zatěžované pružiny obvykle: *zatížení(max)*, *def(max)* => tvary, rozměry, materiál ...
- Při hodnocení staticky zatěžované pružiny obvykle: bezpečnost, *def(max)* <= *zatížení(max)*, tvary, rozměry, materiál ...

8.MATERIÁLOVÉ SPOJE – SVAROVÉ, PÁJENÉ, LEPENÉ

8.1. Spoje svary (svarové spoje)

8.1.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)

Pevná (tj. nepohyblivá) nerozebíratelná spojení na principu místního roztavení spojovaných částí za působení tepla anebo tlaku a to bez použití nebo s použitím přídavného materiálu.

8.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

ZPŮSOBY VÝROBY (ZHOTOVENÍ) - DRUHY SVAŘOVÁNÍ

A) Tavně: spojení místním roztavením materiálu (spojovaných částí a příp. přídavného materiálu) teplem bez působení tlaku.

Druhy (dle způsobu přívodu tepla)

- elektrickým obloukem: mezi kovovou (střídavý nebo stejnosměrný proud) nebo uhlíkovou (stejnosměrný proud) elektrodou a základním materiálem:
 - ručně s kovovou elektrodou
 - automat. se svařovacím drátem pod tavidlem
 - automat. s wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře
 - automat. s uhlíkovou elektrodou
- plamenem: spalování plynů - acetylén nebo propanbutan a kyslík
- elektrostruskově: bez oblouku - zdrojem tepla proud procházející vodivou struskou a tavným drátem
 - plazmou: dva oblouky - základní a nosný vytvářející plazmu
 - elektron. paprskem: kovy s vysokou teplotou tavení - W, Mo ...
 - termitem: směs kysličníku železa s hliníkovým práškem

- slévárensky: tekutý kov - opravy odlitků

B) Tlakově: spojení místním roztavením materiálu (spojovaných částí a příp. přídavného materiálu) teplem při působení tlaku.

Druhy (dle způsobu provedení)

- odporově: roztavení el. proudem o nízkém napětí a vysoké intenzitě
 - stykově: odtavováním nebo přechováním
 - bodově: dvě, obvykle vodou chlazené elektrody (tenké plechy).
 - švově: mezi dvěma kotoučovými elektrodami, nebo kotouč. elektroda proti součásti (pro těsné nádoby).
 - výstupkově: jedna součást - výstupky. Sevře se mezi ploché elektrody (hromadná výroba, jinak nákladné).
- třením (suchém): roztavení třením (pro rotační součásti).
- indukčně: roztavení indukovaným proudem (pro výrobu švových trubek).
- ultrazvukem: roztavení vysokým kmitočtem.
- výbuchem: výbušninou, jiskrovým výbojem, magnetickou vlnou.

Dále jsou převážně uvažovány pouze běžnější spoje tavnými svary.

DRUHY SVAROVÝCH SPOJŮ (DRUHY SVARŮ)

Druhy dle tvaru příčného řezu

Dáno normami: ČSN 05 0025 ÷ 05 0028
ČSN 13 1075 (pro potrubí)

SPOJOVANÉ A PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

A) Spojované materiály

Základní pravidlo:

Používat jen materiály se zaručenou nebo podmíněně zaručenou svařitelností (uvedeno v normách jakosti ocelí (materiálové listy) ČSN 41 0000 ÷ 41 9858).

Stupně svařitelnosti

zaručená (vždy)	1a	pouze $t > 0^{\circ} \text{C}$	i dynamicky namáhané svary
zaručená podmíněně	1b	za urč. podm. zaruč.	staticky namáhané svary
dobrá	2	nezaručuje, ale lze	podřadné svary
obtížná	3	nevyhovující svary	nedoporučuje se

Poznámky k jednotlivým druhům materiálů:

- obecně pro oceli: pro svař. el. obloukem $C \leq 0,2\%$, $P, S \leq 0,1\%$
- oceli tříd 10 -17 : speciální druhy se zaruč svařit. (v tab.)
- kalitelné oceli: obtížná svař. (musí se předehtřívát)
- oceli na odlitky (vyšší C): obtížná svař. (vznik trhlin)
- šedá litina (vyšší C): obtížná svař. (předehtř. na 650°C)
- temper litiny (422530,35,40): dobrá svař.
- neželezné kovy : obtížná svař. (vysoká tepelná vodivost (mědi, bronzu, mosazi) a nízká teplota tavení)

B) Přídavné materiály

Druhy (podle tvaru a úpravy)

- obalené elektrody: pro ruční obloukové svařování
 - podle druhu svař. materiálu
 - podle druhu obalu (zásaditý, kyselý,)
 - podle průměru : (1,6 ÷ 8) a délky: (200 ÷ 500)
- holé dráty: pro svař. bez přístupu vzduchu (pod tavidlem nebo v ochranném plynu)
 - podle druhu svař. materiálu
 - podle průměru: (1,6 ÷ 5) v metrových délkách
- tyčinky
 - podle průměru: (5 ÷ 20)

8.1.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos všech druhů zatížení.
- Nerozebíratelnost.
- Spolehlivost ovlivněna náchylností na vnitřní pnutí a vrubové účinky.

Výroba, montáž

- Značná náročnost na provedení.
- Umožnění výroby i velkých strojů i jejich částí (co nelze pomocí odlitků a výkovků).

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně rychlý návrh i výroba (zhotovení).
- U složitějších výrobků nutné žihání nebo "stárnutí" pro odstranění vnitřních pnutí (lze i pomocí vibrací), což výrobní čas prodlužuje.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- V kusové výrobě levnější než odlitky, výkovky apod. (úspora materiálu a nižší pracnost), avšak odstraňování vnitřních pnutí u složitějších svařenců náklady zvyšuje.
- Provozní náklady nulové, pokud není na závadu nerozebíratelnost spojení.
- Značné náklady na "demontáž" (pálení plemenem, apod.).

8.2. Spoje pájkou (pájené spoje)

8.2.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)

Pevná (tj. nepohyblivá) nerozebíratelná spojení dvou (zpravidla) kovových částí pomocí kovu, který je při spojování roztaven a difúzí přilne ke spojovaným částem, aniž by se zpravidla roztavily.

Pájené spoje se využívají v řadě průmyslových odvětví (přesná mechanika, zlatnictví, instalatérství, konzervářství, stavba vozidel, apod.).

8.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

ZPŮSOBY VÝROBY (ZHOTOVENÍ)

Podle teploty tavení (vždy menší než teplota tavení spoj. částí)

- měkkým pájením (do 450° C)
- tvrdým pájením (nad 450° C)

Příprava kovově čistého povrchu

- mechanicky (oškrabání, kartáčování)
- ultrazvukem
- chemicky (působením tavidla)

Ohřátí na potřebnou teplotu

- místně (el. pájedlem, páj. lampou, hořákem, elektricky odporově nebo vysokofrekvenčně, apod.)
- celkově (v peci ochrannou atmosférou, vysokofrekvenčně ve vakuu, ponořením do taveniny solí, roztavenou pájkou)

SPOJOVANÉ MATERIÁLY, PÁJKY A TAVIDLA

A) Měkké pájení

Spojované materiály:

- měď, zinek, ocel, olovo a jejich slitiny (norm.)
- šedá litina, hliník, sklo, kovokeramické slitiny (spec.)

Pájky: (ČSN 05 5612 ÷ 50)

- cínové
- zvláštní

Tavidla:

- pryskyřice, lůj, stearin, kalafuna (nedostačující na oxidy)
- chloridy (způsobují však korozi)

B) Tvrdé pájení

Spojované materiály:

- ocel, šedá litiny
- měď, nikl a jejich slitiny

Pájky:

- mosazné (ČSN 05 5680 ÷ 86)
- stříbrné (ČSN 05 5660 ÷ 76)
- na hliník (ČSN 05 5700 ÷ 80)

Tavidla: (ČSN 05 5700 ÷ 80)

- borax, kyselina boritá
- chloridy, soda, potaš, kysličník křemičitý

TVARY PÁJENÝCH SPOJŮ

Základní případy:

- natupo
- se šikmou plochou
- s vyhnutým plechem
- s přeplátováním
- se stykovým členem

8.2.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos všech druhů relativně malých zatížení, nevhodněji při namáhání smykem.
- Měkké pájení zejména pro spoje kde je žádána těsnost, příp. vodivost při nepřilíh velké pevnosti spoje a tam, kde nelze materiály ohřívat na vyšší teploty.
- Tvrdé pájení zejména je-li žádána vyšší pevnost, houževnatost, odolnost proti únavě a korozi za vyšších teplot než při měkkém pájení.
- S použitím tepla možné opravovat.

Výroba, montáž

- Značná náročnost na provedení (očištění povrchů, malá a rovnoměrná spára, rovnoměrná prohřátí na potřebnou teplotu).

Ostatní hlediska

- Odmašťovadla a tavidla mohou být hygienicky a alergicky nevhodná
- Prakticky nemožná recyklace

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně rychlý návrh i výroba (zhotovení)

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Relativně levné při malých sériích.
- Provozní náklady nulové, pokud není na závadu nerozebíratelnost spojení.
- Znehodnocení pájek při likvidaci.

8.3. Spoje lepidlem (lepené spoje)

8.3.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)

Pevná (tj. nepohyblivá) spojení pomocí přídatného tekutého materiálu (lepidla), který při tuhnutí přilne adhezí (v tenké vrstvě okolo 0,1 mm) ke spojovaným částem.

Lepené spoje se využívají zejména tam, kde nevyhovují nebo nejsou možné klasické způsoby spojení. S výhodou se využívají též při opravách strojů.

8.3.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

ZPŮSOBY VÝROBY (ZHOTOVENÍ)

Podle teploty a tlaku potřebných pro ztuhnutí lepidla:

- při normální teplotě okolo 20° C
- při zvýšené teplotě 20° ÷ 200° C
- při vysoké teplotě okolo 200° C
- při vysoké teplotě okolo 200° C a při tlaku
- Příprava čistého povrchu:
- mechanicky
- chemicky
- od nečistot, tuků, oxidů.

SPOJOVANÉ MATERIÁLY A LEPIDLA

Druhy spojovaných materiálů:

- **Kovové:** v letectví i všeob. strojírenství pro spojování plechů, nádrží, rámu potrubí, nábojů na hřídeli, ap.
- **Nekovové:** ve všech oblastech pro spojování částí ze dřeva, PVC, keramiky, termosetů, skla, ap.

Druh	teplota tuhnutí	tlak při tuhnutí	pevnost τ_{Pt} [MPa]
Polyester	norm.	ne	až 20
Polyvinylacetát	norm.– zvýš.	ne	až 30
Epoxid. pryskyřice	norm.– zvýš.	ne	až 30
Syntetický kaučuk	zvýš.– vysoká	ano	až 30
Fenolové pryskyřice	zvýš.– vysoká	ano	až 30
Fenolformaldehyd	zvýš.– vysoká	ano	až 30

Volba

- druh a rozměry spojovaných materiálů.
- způsob (tah, smyk, ohyb) a druh (stat., dyn.) zatížení.
- provozní teplota a chem. vlivy prostředí.

TVARY LEPENÝCH SPOJŮ

Základní případy:

- natupo: nevhodné
- se šikmou plochou: lepší
- s přeplátováním: vhodné
- se stykovými členy: vhodné
- s úpravami ploch: velmi dobré, ale drahé

8.3.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Vhodnost pro přenos relativně malých zatížení při namáhání smykem, přičemž je zajištěna (u dostatečně tuhých spojovaných částí) vysoká rovnoměrnost rozdělení zatížení. (v porovnání s nýtovanými, příp. svařovanými spoji).

- Vhodnost pro spoje vyžadující těsnost.
- Vhodnost pro spoje vyžadující elektrickou izolaci.
- Vhodnost pro spoje vyžadující útlum chvění a hluku.
- Nevhodnost pro normální a dynamická zatížení.
- Nevhodnost pro vyšší provozní teploty.
- Nevhodnost do agresivního prostředí.
- Nevyžadují údržbu, avšak nelze je demontovat.

Výroba, montáž

- Vhodnost pro spojování materiálů, které nelze ohřívat.
- Vhodnost pro spojování nesvařitelných materiálů.
- Vhodnost pro spojování tenkých plechů, které nelze nýtovat ani svařovat.
- Vhodnost pro spojování materiálů zcela odlišných vlastností.
- Jednoduchost výroby přípojovacích tvarů na součástech.
- Relativní náročnost na přípravu (očistění povrchů).
- Při lepení za tepla a tlaku náročnost na potřebné technické prostředky.

Ostatní hlediska

- Odmašťovadla a lepidla mohou být hygienicky a ekologicky nevhodná.
- Prakticky nemožná recyklace.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Rychlý návrh.
- Jednoduchá stavební struktura zrychluje výrobu spojovaných částí.
- Doba tuhnutí může prodlužovat dobu výroby (od několika vteřin do několika hodin).

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Jednoduchá stavební struktura snižuje náklady na pracnost a materiál.
- Případné speciální technické prostředky pro vytvrzování za tepla, vyžaduje přídatné náklady.
- Provozní náklady nulové, pokud není na závadu nerozebíratelnost spojení.

9.DYNAMICKÉ (PROMĚNLIVÉ) ZATĚŽOVÁNÍ A NAMÁHÁNÍ STROJNÍCH ČÁSTÍ TS - DYNAMICKÁ (ÚNAVOVÁ) PEVNOST

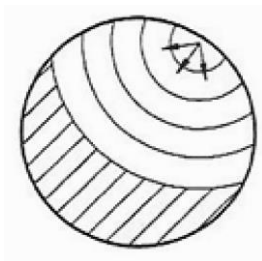
9.1. Základní poznatky

Projevy dynamického (proměnlivého) zatížení na pevnost strojních částí:

- porušení součástí i při napětích $\sigma \ll \sigma_D$
- křehké lomy součástí i z houževnatých materiál

Příklad typického lomu strojní části (hřídele, čepu apod.) způsobeného únavovým porušením

(horní část řezu znázorňuje vyhlazenou počáteční plochu porušení způsobeného únavou materiálu, dolní vyšrafovaná část znázorňuje konečný klasický zrnitý statický lom)



Vznik dynamického zatížení a napětí:

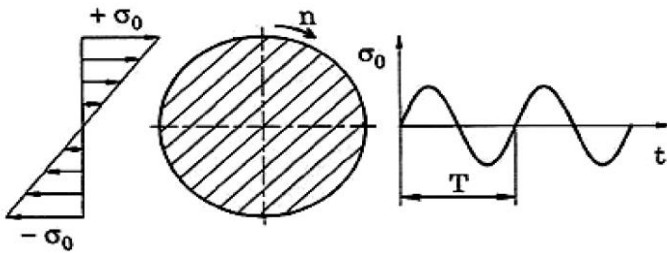
a) změnami vnějšího zatížení:

Příklad: $M_o = M_{o\max} \cdot \sin(\omega \cdot t), n=0$

b) změnami polohy součásti vůči konstantnímu (neproměnnému) zatížení:

Příklad: $M_o = M_{o\max}', n \neq 0$

Vznik dynamického zatížení otáčením součásti vůči vnějšímu statickému (ustálenému) zatížení



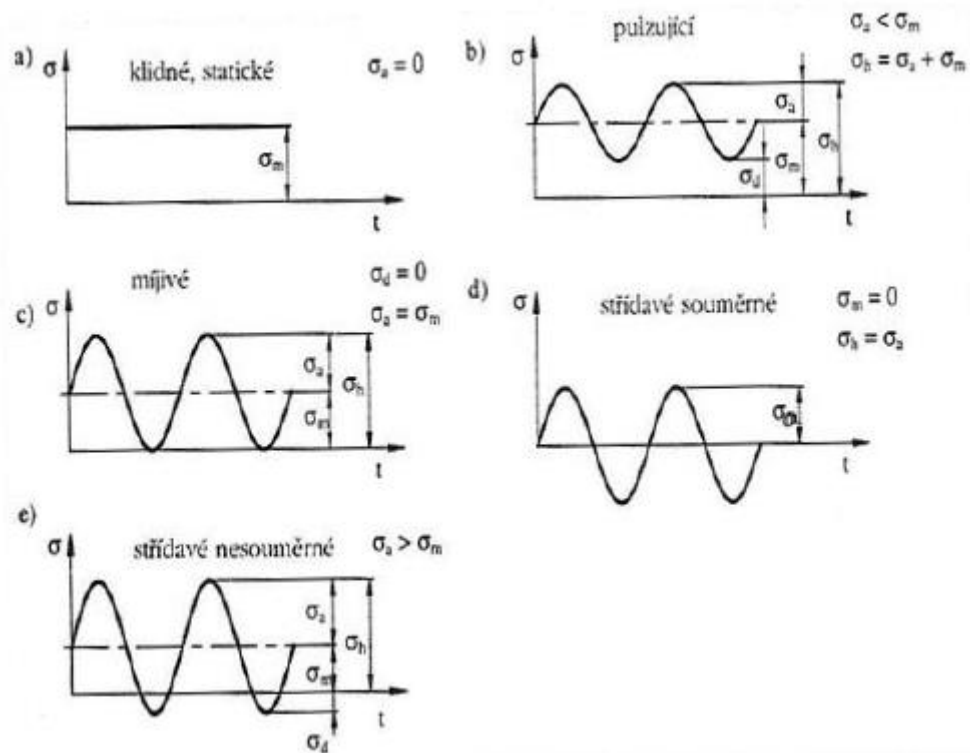
Průběhy proměnlivého zatížení a napětí:

- **obecný průběh:**

- stochastický
- periodický

- **harmonický průběh:**

- sinový/cosinový s jednou příp. i více harmonickými složkami (je obvyklé i jako ekvivalentní náhrada obecného periodického průběhu pro výpočty a experimenty)



Diagramy průběhu typických druhů harmonického napětí

kde:

m - střední napětí kmitu,

a - napětí amplitudy kmitu,

h - horní napětí kmitu,
 d - dolní napětí kmitu

Životnost (trvanlivost) strojní části při harmonickém napětí:

Životnost (trvanlivost) součásti se udává počtem kmitů N , při němž dojde k jejímu únavovému porušení.

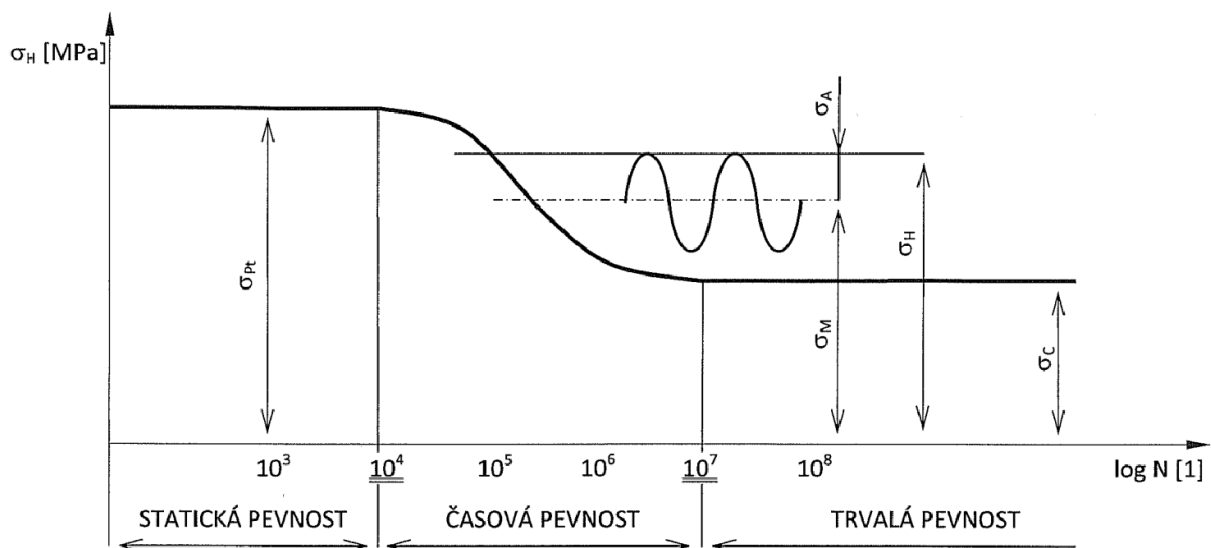
9.2. Mez únavy materiálu

Časová mez únavy (časová pevnost na únavu pro obecnou strojní část):

$\sigma_N = \sigma_M + \sigma_A N$... kmitavé napětí (σ_M, σ_A), při němž je životnost v uvažovaném místě strojní části N cyklů

Mez únavy („trvalá“ pevnost na únavu pro obecnou strojní část):

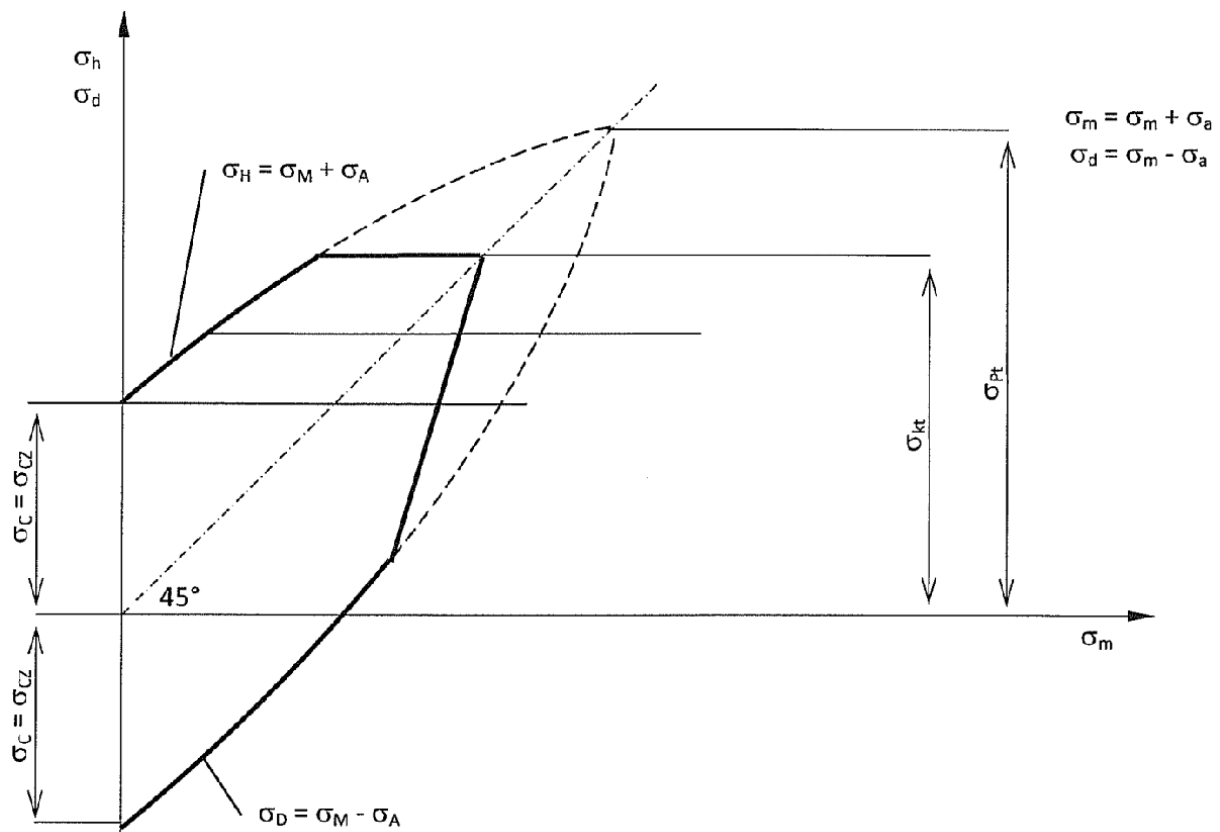
$\sigma_C = \sigma_C = \sigma_M + \sigma_A N$... pulzující harmonické napětí, ($\sigma_M \neq 0, \sigma_A \neq 0$, tj. $\sigma_H = \sigma_M + \sigma_A$) při němž je životnost uvažovaném místě strojní části $N = \sigma$ cyklů



9.3. Mez únavy materiálu při obecném harmonicky proměnlivém napětí

Základní Smithův diagram:

Smithův diagram vymezuje svými čarami mezní velikosti parametrů harmonického napětí, tj. dvojic mezního středního napětí kmitu a mezního napětí amplitudy kmitu, při nichž dochází k únavovým lomům hladké leštěné tyče (obecně určitého místa na obecné strojní části). Diagram je nutné experimentálně zjišťovat pro každý druh materiálu (i místo na strojní části) samostatně.



9.4. Faktory ovlivňující mez únavy materiálu

$\sigma_C = \sigma_{CZ}$... (základní) mez únavy pro hladkou leštěnou tyč

$\sigma_{C^*} = \sigma_{CZ^*}$... snížená (základní) mez únavy pro místo na součásti (tj. **ne pro součást jako celek!!!**) vlivem faktorů uvedených

9.4.1. Vliv vrubu - součinitele vrubu β

Vruby jsou náhlé změny tvaru na součástech, které vyvolávají lokální zvýšení (koncentraci) „řádného“ napětí v daném místě, což způsobuje:

- snížení pevnosti
- snížení houževnatosti materiálu

9.4.2. Vliv velikosti součásti - součinitel velikosti součásti v

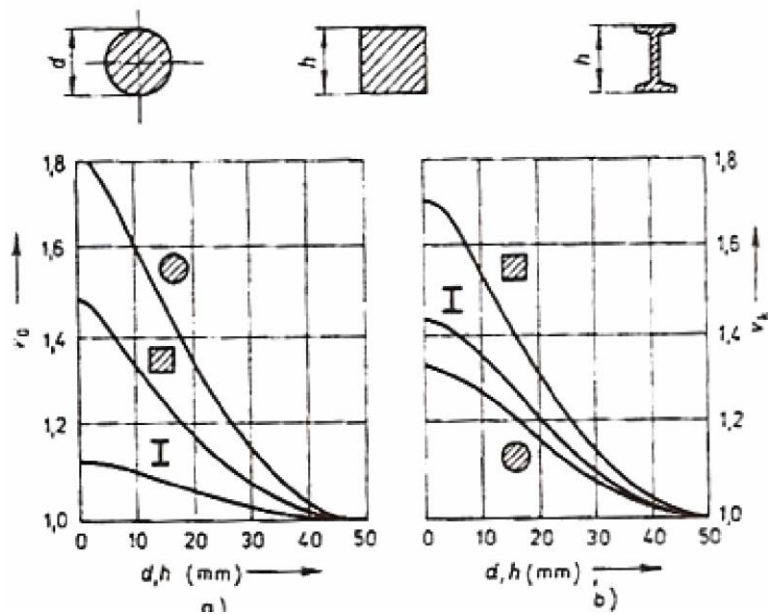
Pro základní druhy napětí analogicky platí:

$\sigma_{C^*} = v \cdot \sigma_C$... pro tah - tlak

$\sigma_{C_o^*} = v \cdot \sigma_{C_o}$... pro ohyb

$\tau_{Ck^*} = v_k \cdot \tau_{Ck}$... pro krut

Příklad diagramů pro stanovení hodnoty součinitele velikosti součásti v



9.4.3. Vliv jakosti povrchu - součinitel jakosti povrchu η_P

$\sigma C^* = \eta_P \cdot \sigma C$... pro tah - tlak

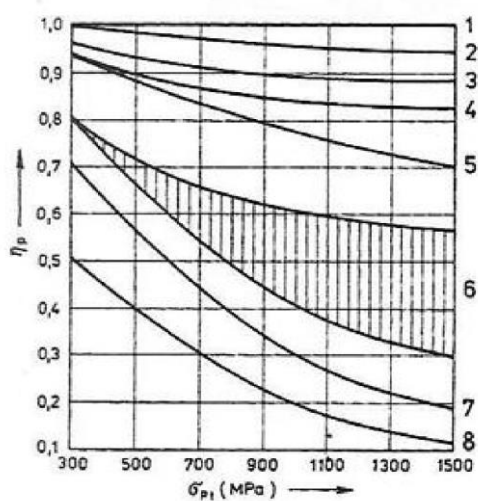
$\sigma C o^* = \eta_{Po} \cdot \sigma C o$... pro ohyb

$\tau C k^* = \eta_{Pk} \cdot \tau C k$... pro krut

$\eta_{Po} = \eta_P$

$\eta_{Pk} = 0,5 \cdot (1 + \eta_P)$

Diagram pro stanovení hodnoty součinitele kvality povrchu η_P



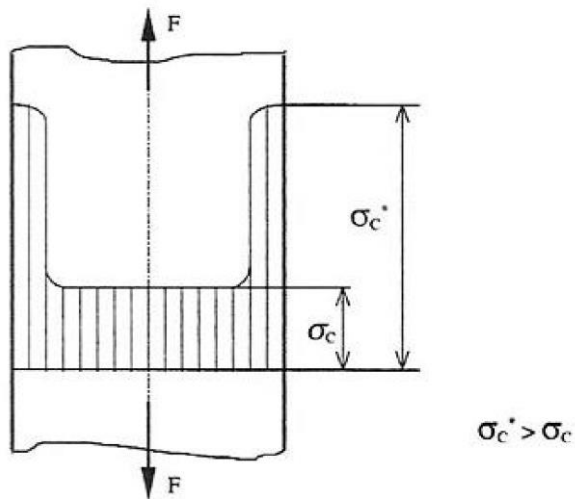
9.4.4. Vliv zpevnění povrchu - součinitel zpevnění povrchu k

$\sigma_{C^*} = k \cdot \sigma_C$... pro tah - tlak

$\sigma_{Co^*} = k_o \cdot \sigma_{Co}$... pro ohyb

$\tau_{Ck^*} = k_k \cdot \tau_{Ck}$... pro krut

Vliv zpevnění povrchu součásti na zvýšení meze únavy při jejím povrchu (kritickém pro únavové poruchy)



Hodnoty součinitelů k pro jednotlivé druhy namáhání a typické druhy zpevňování je nutné vyhledat ve speciální odborné literatuře. Pro rozhodující většinu nezpevňovaných povrchů však:

$$k = k_o = k_k = 1$$

10. HŘÍDELE

Hřídel je strojní součást válcovitého tvaru sloužící k převodu otáčivého pohybu a mechanické práce. Na hřídeli mohou být nasazeny ozubená kola, řetězová kola, řemenice, kladky, pojezdová kola, spojky, brzdy zdrže a jiné rotační i nerotační části, např. vačky. Podle funkce a namáhání můžeme hřídele rozdělit do dvou skupin, a to na hřídele nosné a hřídele hybné.

Nosné hřídele

Nosné hřídele nepřenášejí žádný točivý moment (výkon). Jsou namáhány pouze na ohyb. Nosné hřídele nesou ozubená kola, řemenice, pojezdová kola a jiné rotační strojní součásti, které jsou na nich uloženy buď otočně, nebo pevně. Typickými představiteli nosných hřídelí jsou nápravy železničních strojů.

Hybné hřídele

Hybné hřídele, jinak se jim také říká pohybové. Používají se mnohem častěji než hřídele nosné. Jsou namáhány především kroutícím momentem, který přenášejí z místa pohonu k místu pracovnímu. Na rozdíl od hřídelí nosných jsou hybné namáhány kombinací ohybu a krutu. Hřídele jsou otočně upevněny v ložiskách. Typickým představitelem hybných hřídelí jsou hřídele v převodových skříních, to jsou všechny hřídele, které jsou nuceně poháněny.

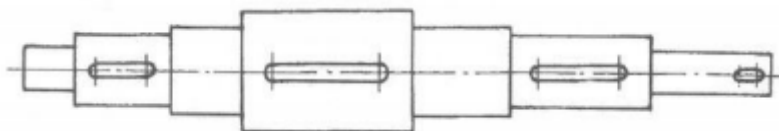
10.1. Druhy hybných hřídelí

Podle způsobu použití a tvaru dělíme hybné hřídele na:

- Normální
- Duté
- Drážkové
- Klikové
- Ohebné

Normální hybná hřídel

Vyrábí se soustružením, protože namáhání hřídele se po jeho délce mění, mění se obvykle i jeho průměr. Nejméně jsou namáhány koncové části hřídelů, proto bývá jejich průměr nejmenší. Změnou průměrů hřídele vznikají různá osazení, která usnadňují nasazení rotačních částí na hřídel.



Dutá hybná hřídel

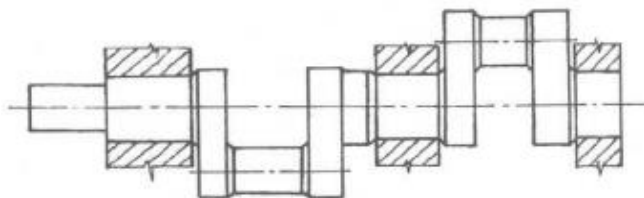
Využívá mnohem ekonomičtěji materiál. Při stejné hmotnosti je schopen přenášet větší silová zatížení než hřídel plný. Je to dáno tím, že při namáhání na krut a ohyb je střední část hřídele namáhána mnohem méně než jeho vnější část.

Drážková hřídel

Má na svém obvodě provedeny podélné drážky, čím se vlastně vytvoří na povrchu hřídele několik per. Drážkový hřídel tedy plní stejnou funkci jako perový spoj. Používá se hlavně tam, kde potřebujeme zajistit možnost axiálního posuvu rotačních částí na hřídeli umístěných nejčastěji ozubených kol.

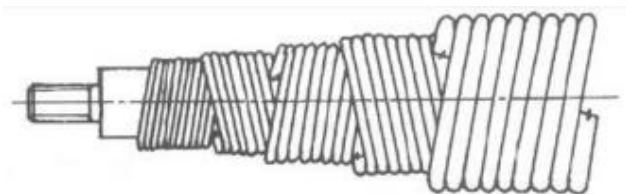
Kliková hřídel

Je součástí klikového ústrojí měnící přímočarý vratný pohyb na otáčivý a naopak. Klikové hřídele se vyrábějí z kovaných polotovarů a pak se dokončují na obráběcích strojích.

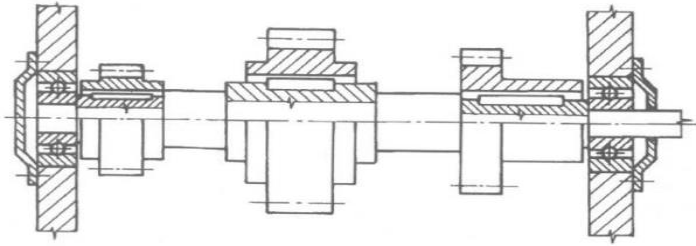


Ohebná hřídel

Používá se tam, kde je třeba v průběhu práce měnit polohu hřídele hnacího vzhledem k hnanému přímo za rotace. Aby měl hřídel potřebnou ohebnost, zhotovuje se z drátu navinutého v několika vrstvách na sobě. Jednotlivé vrstvy jsou vinuty v opačném směru, aby hřídel neměl tendenci se rozmotávat. Např. ruční bruska



Uložení pohybových hřídelů



Příklad uložení pohybového hřídele na dvou valivých kuličkových ložiskách.

11. KLUZNÁ LOŽISKA

II.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Otočná uložení na principu plošného dotyku s kluzným třením (rozdílného druhu).

Poznámky:

- Druhy kluzného tření (podle intenzity mazání):
 - suché tření: bez maziva, příp. s tuhým mazivem (grafit, apod.), třecí plochy se plně dotýkají
 - mezné tření: při nedostatečné vrstvě maziva, třecí plochy se zčásti dotýkají
 - tekutinové tření: dostatečná vrstva maziva (kapalina, plyn, příp. plast. mazivo), třecí plochy se nedotýkají
- Průvodním jevem tření je opotřebení kluzných ploch závisící na úrovni mazání.

II.2. Uložení s hydrodynamickými ložisky

II.2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Kluzná otočná uložení (ložiska), u nichž vrstva maziva (tzv. hydrodynamický klín) vzniká při relativním pohybu kluzných ploch (vytvářejících klínovou mezeru). Při rozběhu a doběhu proto vzniká tzv. mezné tření s počátkem, příp. koncem pohybu za suchého tření.

TVARY, ROZMĚRY, DRSNOSTI POVRCHU A TOLERANCE

A) Kluzné plochy

Geometrický tvar

- Dociluje se obrobením načisto (vyvrtáváním, soustružením, broušením) bez dodatečného zaškrabávání (zhoršuje geometrický tvar).
- Při vyšších parametrech: předepsána přesnost geometrického tvaru.

Drsnost povrchu

provozní podmínky drsnost Ra: čepu ložiska [μm]

- vysoké parametry 0,2 0,4
- parametry 0,4 0,8
- nízké parametry 0,8 1,6

Tolerance

- U radiálních kluzných ložisek třída přesnosti IT5 ÷ IT7

B) Přívod maziva

Tvary a rozměry:

- mazací otvory, drážky, kapsy dle ČSN 01 5906 (vždy mělké se zaoblenými tvary)

Poloha mazacích drážek u rad. ložisek:

- v nezátížené oblasti (kolmo na směr pohybu, nikdy až ke krajům)

C) Pouzdra a pánve (komponenty rad. ložisek)

Poznámky:

- Pouzdro: vložka kluzného ložiska ve tvaru dutého válce.
- Pánev: část děleného pouzdra, příp. celé, avšak dělené pouzdro.

II.2.2. Druhy pouzder a pánví:

- **dle tloušťky pouzdra/pánve s vůči průměru čepu d:**
 - tenkostěnné: tloušťka s ($0,02 \div 0,1$) d
(*obrábí se načisto již před zamontováním - přesnost závisí na přesnosti vývrtu v ložiskovém tělese*)
 - silnostěnné: tloušťka s ($0,1 \div 0,2$) d
(*obrábí se: načisto tak jako tenkostěnné, nebo s přídavkem na dodatečné obrobení*)

- **dle počtu vrstev:**

- jednovrstvé ("masivní"): z ložiskových materiálů, jen výjimečně (je to nákladné)
- dvouvrstvé ("bimetalické"): s výstelkou z ložiskových materiálů (tloušťka $s_{výst}$ 0,2 mm), s klesající tloušťkou výstelky životnost ložiska stoupá
- třívrstvé: s další galvanicky nanášenou vrstvou z měkké kompozice ($P_b - S_n$, apod.), která umožňuje použití i netvrzených čepů.

Uložení pouzder a pánví (v tělese ložiska)

S přesahem, který musí zajistit spolehlivé přenesení třecího momentu v ložisku (pomocné jazýčky, kolíky, ap. slouží pouze k zajištění správné polohy při montáži).

Obvykle uložení: H7/p6, H7/r6, H7/s6 (u tenkostěnných se však udává mírou na obvodu).

II.2.3. Druhy ložiskových materiálů

Třída materiálů $p \cdot v$ [MPa · m · s⁻¹]

- slitiny cínu a olova (kompozice) 20 ÷ 100
- slitiny mědi s cínem, olovem, ap. (bronzu) 20 ÷ 100
- slitiny hliníku 20 ÷ 100
- další kovy (šedá litina, pórovité kovy) 10
- plasty 10 ÷ 30
- další nekovové materiály (grafit, pryž, dřevo)

Volba ložiskového materiálu

Volba ložiskového materiálu je spolu s konstrukčním uspořádáním a vlastnostmi maziva klíčová pro spolehlivost a životnost ložiska.

Hlavní kritéria:

- **Vnější vlastnosti ložiska (požadované):**
 - druh a velikost zatížení, kluzná rychlost, životnost
 - provozní teplota, druh maziva a okolní prostředí
 - cena

- **Konstrukční vlastnosti ložiska (navrhované):**
 - druh a tvrdost materiálu čepu (min o 100 HB vyšší než tvrdost ložiskového materiálu)
 - drsnosti kluzných ploch (dle výše uvedeného doporučení)
 - druh a množství maziva (dostatečné množství kvalitního maziva (bez nečistot) - s výjimkou bezmazných a samomazných ložisek)

- **Kluzné, mechanické a fyzikální vlastnosti ložiskových materiálů ("volené"):**
 - odolnost proti zadírání (kompatibilita s mater. čepu), přizpůsobivost a jímavost tvrdých částic,
 - součinitel tření.
 - zatížitelnost (charakterizovaná součinem $p \cdot v$), únavová pevnost, ...
 - korozivzdornost, otěruvzdornost, tvrdost, ...

II.2.4. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Zachycování radiálních nebo axiálních posuvů a sil, zajištění obou funkcí lze však konstrukčně řešit v jednom stavebním celku (viz výše)
- Jsou vhodná i pro rázová a dynamická zatížení (vysoký útlum)
- Velmi klidný a tichý chod bez vibrací
- Vůle v ložisku ("naplávání") mohou být na závadu
- Vhodné především pro trvalý provoz (na začátku a na konci pohybu se nevytváří hydrodynamická vrstva maziva - suché a mezní tření s vysokým opotřebením, lze zlepšit tlakovým mazáním, ale dražší)
- Větší šířka než u valivých ložisek
- Menší vnější průměr než u valivých ložisek
- Jednoduchost demontáže ovlivněna konstrukcí tělesa uložení
- Větší nároky na údržbu a čistotu (mazání a čistota oleje)

Výroba, montáž

- Vysoké požadavky na přesnost výroby a čistotu prostředí
- Jednoduchost montáže ovlivněna konstrukcí nosné části

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně časově náročný návrh, výroba, údržba, opravy apod.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Relativně nákladné uložení na návrh i výrobu
- Relativně nákladný provoz, údržba i opravy

12. VALIVÁ LOŽISKA

12.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Otočná uložení na principu valivého dotyku s valivým třením obvykle s použitím samostatně vyráběného komponentu - valivého ložiska.

TVARY (DRUHY/TYPY) VALIVÝCH LOŽISEK (ČSN 02 4629)

Podle směru zachycovaných sil (a pohybů)

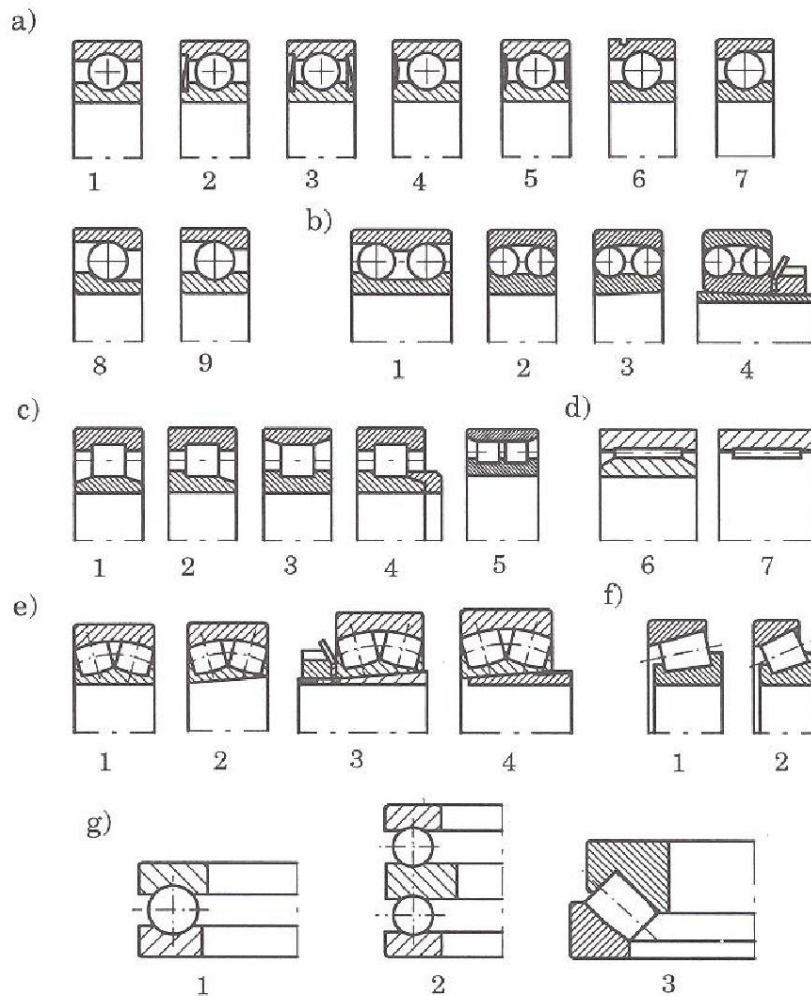
- radiální (vnější a vnitřní kroužek, klec, val. tělesa)
- axiální (kroužky, klec, valivá tělesa)

Podle konstrukce (základem je tvar valivých těles)

A) Standardní ložiska

- Jednořadá kuličková a)
 - čistě radiální 1 ÷ 6
 - s kosoúhlým stykem 7 ÷ 9
- Dvouřadá kuličková b)
 - s kosoúhlým stykem 1
 - naklápěcí 2 ÷ 4
- Válečková ložiska c)
 - Jednořadá (NU, NJ, N) 1 ÷ 4
 - dvouřadá (NN s kuželovou dírou) 5
- Jehlová ložiska d)
 - jednořadá 1
 - jednořadá bez vnitř. kroužku 2
- Dvouřadá soudečková e) ... 1 ÷ 4
- Kuželíková ložiska f)1 ÷ 2
- Axiální ložiska g)
 - kuličková jednosměrná 1
 - kuličková obousměrná 2

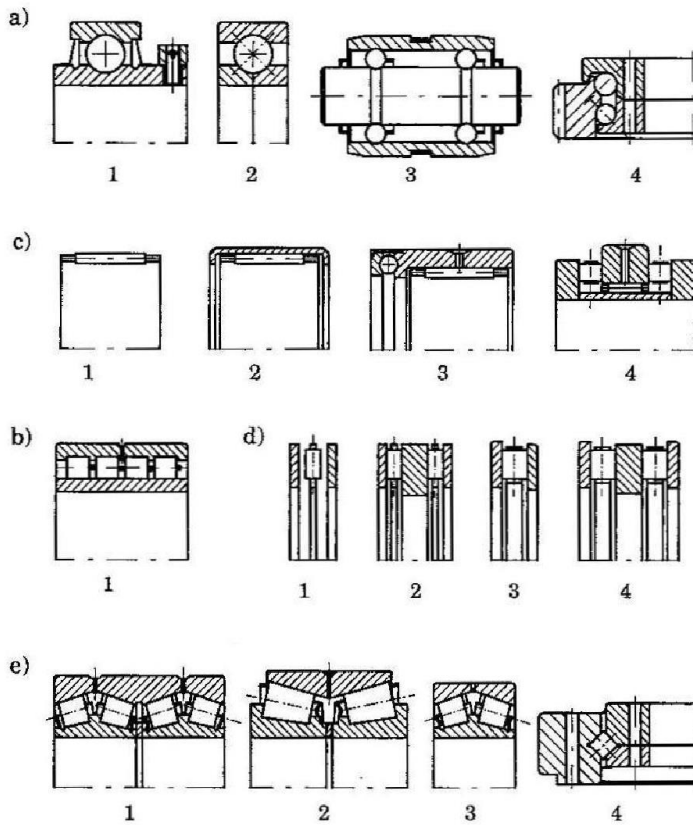
- soudečková 3



B) Speciální ložiska

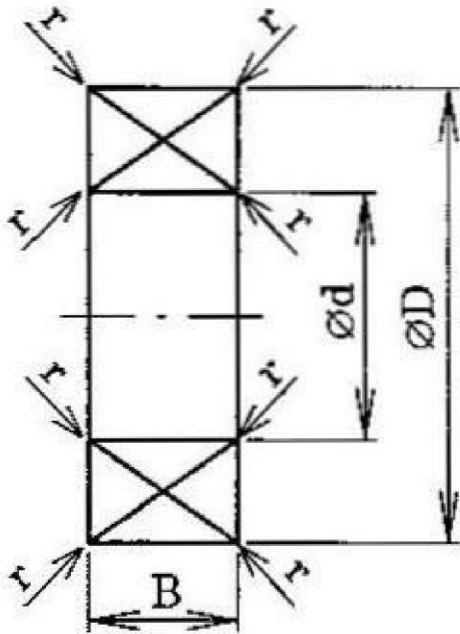
- Kuličková a)
 - se čtyřbodovým stykem 2
- Válečková b)
 - víceřadá 1
- Jehlová c)
 - klec s jehlami 1
 - pouzdro s jehlami 2
- Axiální d)
 - jehlová 1 a 2
 - válečková 3 a 4

- Kuželíková e)
 - víceřadá 1, 2, 3
 - křížová 4



12.2. Rozměry valivých ložisek (ČSN 02 4629)

Základní rozměry:



$\varnothing d$... vnitřní průměr

$\varnothing D$... vnější průměr

B ... šířka

r ... poloměr zaoblení

Rozměrové řady

Jednotlivé typy ložisek v rozměrových řadách: $d \Rightarrow D, B, \dots \Rightarrow$

Poznámky:

- pro d : 20 ÷ 480 mm:
 $d = (\text{poslední dvojčíslí označení dle ČSN}) \times 5$
např.: 6220 $\Rightarrow d = 20 \times 5 = 100$ mm

PŘESNOST ROZMĚRŮ A CHODU VAL. LOŽISEK (ČSN 02 4612) - (ČSN ISO 492)

Tolerance:

- rozměrů
- házení při otáčení:
 - radiální pro rad. ložiska
 - axiální pro ax. ložiska

PŘESNOST ROZMĚRŮ A CHODU VALIVÝCH LOŽISEK (ČSN 02 4612) - (ČSN ISO 492)

Tolerance:

- rozměrů
- házení při otáčení:
 - radiální pro rad. ložiska
 - axiální pro ax. ložiska

ULOŽENÍ VALIVÝCH LOŽISEK

Důležité pro trvanlivost valivého ložiska.

Faktory ovlivňující volbu uložení:

- velikost a způsob zatížení
- materiál a tuhost uložených částí
- tepelné poměry v ložisku
- dilatace uložených částí
- požadavky na přesnost
- požadavky na montáž a demontáž

Pravidla a doporučená uložení:

- Kroužek otáčející se vůči směru působícího zatížení (obvodové zatížení) musí být uložen pevně (aby se neodvaloval):
(J7, K7)/j6, k6
(díra pro vnější kroužek - častější případ / čep pro vnitřní kroužek - častější případ)
- Kroužek neotáčející se vůči směru zatížení může být uložen volně (bodové zatížení)
H7, H8 (G7)/(h6, g6)
(díra pro vnější kroužek - častější případ / čep pro vnitřní kroužek)

12.3. Materiály valivých ložisek

Kroužky a valivá tělesa

Vysoké nároky (lokální střídavé napětí), proto kromě vysoké statické pevnosti a přesného složení též vysoké nároky na homogenitu.

Obvykle: chromové oceli tř. 14, kalené a popouštěné na min. tvrdost 59 HRC

Klece

Obvykle lisovány z ocelového plechu.

Kvalitnější ložiska mají mosazné klece, resp. klece z keramických materiálů.

12.4. Vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Zachycování radiálních a axiálních posuvů a sil podle druhu použitého ložiska a jeho uložení na/v obou částech stroje (obvykle na hřídeli a ve skříni) a to i při vysokých otáčkách a teplotách.
- Nejsou vhodná pro rázová zatížení.
- Vůle v ložisku mohou být na závadu.
- Malé ztráty, účinnost η 0,98 .
- Malé podélné rozměry v porovnání s jinými typy uložení.
- Větší průměry v porovnání s jinými typy uložení.
- Jednoduchost výměny ložisek je ovlivněna konstrukcí nosné a uložené části, obvykle jednoduchá.
- Malé nároky na údržbu (mazání tukem, příp. olejem pro mazání ozubení).

Výroba, montáž

- Výroba uložení je poměrně náročná na přesnost, ložiska se nakupují.
- Jednoduchost montáže je ovlivněna konstrukcí nosné a uložené části, obvykle jednoduchá.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně rychlý návrh, výroba (a nákup), montáž i demontáž.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Při vhodném návrhu z hlediska výroby relativně levné uložení (výrazně zlevňuje hromadná výroba ložisek).
- Provozní náklady malé (mazání).
- Náklady na demontáž malé.

13. HŘÍDELOVÉ SPOJKY

13.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Strojní části (stavební orgány), jejichž funkcí je umožnit přenos točivého momentu a pohybu mezi dvěma blízkými otočnými částmi technického zařízení (systému), jejichž osy otáčení mohou (obecně) být:

- totožné
- mírně různoběžné
- mírně mimoběžné

Tato funkce je často kombinována s dalšími funkcemi (které pak obvykle bývají hlavními):

- omezit přenášený točivý moment
- tlumit torzní kmity
- umožnit vyrobení rozměrného dílu (jeho rozdělením)
- umožnit montáž a demontáž (zařízení po částech)
- eliminovat změny polohy spojovaných částí (vlivem geometrických nepřesností, poddajností, tepelné roztažnosti, apod.)

Podle principu a způsobu přenosu točivého momentu a otáčení (tj. podle funkčního/pracovního principu a způsobu) lze spojky rozřadit na:

A) Mechanické spojky

- **nerozpojované (za provozu trvale spojené):**
 - (nepružné) pevné (trubkové, korýtkové, přírubové/kotoučové, s čelním ozub.)
 - (nepružné) vyrovnávací (trubkové, kolíkové, ozubcové, s křížovým kotoučem, s klouby, zubové)
 - pružné (kotoučové, s integrovanými pruž. tělesy, s vloženými pruž. tělesy, obroučové a talířové, s kovovými pružinami, membránové)
- **ovládané (mechanicky, hydraulicky, pneumaticky, elektromagneticky), se změnami spojení řízenými z okolí spojky:**
 - zubové (čelní, válcové)
 - třecí (kotoučové/diskové, lamelové)

- **automatické / poloautomatické , se změnami spojení řízenými plně/zčásti spojkou**
 - pojistné (destruktivní, vysmekávací, prokluzovací)
 - rozběhové (práškové, segmentové)
 - volnoběžné (axiální princip, radiální princip)

B) Hydraulické spojky:

- **hydrodynamické**
 - s uzavřeným okruhem (neřízené, samočinně řízené, řízené)
 - s otevřeným okruhem
- **hydrostatické**

C) Elektrické spojky:

- **asynchronní**
 - s vírovou kotvou
 - s klecovou kotvou
- **synchronní**
 - s reluktanční kotvou
 - s buzenou kotvou

D) Magnetické spojky (bez dalšího členění)

Poznámky:

- Uvedené třídění vychází z ČSN 02 6400, u mechanických spojek je však použito upravené výstižnější funkční strukturování a označení.

Podle zabezpečování dílčích funkcí lze na spojce rozlišit (orgány):

- **část hnací** (spojení s hnací částí tech. zařízení)
- **část hnanou** (spojení s hnanou částí tech. zařízení)
- **část spojovací** (spojení mezi hnací a hnanou částí spojky)

Pokud je spojka "symetrická" (rozměrově, hmotnostně, ale zejména "funkčně"), je rozlišení hnací a hnané části stanoveno pouze zvolenou orientací v technickém zařízení. U řady druhů "nesymetrických" spojek je však správná orientace hnací a hnané části spojky (vůči hnací a hnané části technického zařízení) nutnou podmínkou jejich správné funkce.

Poznámky:

- Spojky se pro svoji dobrou typizovatelnost většinou navrhují, vyrábějí a dodávají jako komponenty. Téměř výhradně to platí pro všechny typy mechanických "nemechanicky" (tj. elektromagneticky, hydraulicky a pneumaticky) ovládaných spojek a do značné míry i pro spojky hydraulické, elektrické a magnetické, používaných ve speciálních případech.
- Informace pro použití hromadně vyráběných spojek je nutné vyhledat v katalogu výrobce, příp. ve speciální odborné literatuře. Dále jsou proto uvažovány pouze převážně používané mechanické spojky, přičemž je pozornost soustředěna především na individuálně navrhovatelné a vyrobitelné typy.

13.2. Spojky (nepružné) pevné

13.2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Spojky na principu pevných spojů zabraňující všem vzájemným pohybům spojovaných otočných částí (obvykle hřídelů).

13.2.2. Reflektivní vlastnosti běžných pevných spojek

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos i periodicky proměnlivých točivých momentů
- Možnost přenosu i ohybových momentů
- Nesouosost spojovaných částí může vyvolat při provozu značná přídatná zatížení vedoucí až k poškození spojky

Výroba, montáž

- Výroba relativně jednoduchá
- Montáž relativně náročná, vždy nutná přesná souosost spojovaných částí, některé typy navíc vyžadují při montáži možnost axiálního posuvu (alespoň jedné ze) spojovaných částí

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Rychlý návrh a výroba (nákup)
- Montáž a demontáž může být pomalá (náročná)

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Relativně levné spojky
- Náklady na provoz nulové

13.3. Spojky (nepružné) vyrovnávací

13.3.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Spojky na principu (tuhých) kinematických dvojic umožňujících odchylky vzájemné polohy spojovaných částí.

13.3.1. Reflektivní vlastnosti nepružných spojek

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos točivého momentu při umožnění axiální, radiální úhlové, příp. i kombinované odchylky os spojovaných otočných částí
- Obvykle vyžadují mazání

Výroba, montáž

- Jednoduchost výroby závisí na typu spojky
- Montáž obvykle relativně jednoduchá

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Závisejí na typu spojky, montáž a demontáž obvykle rychlá

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Výrobní náklady závisejí na typu spojky
- Provozní náklady dány nutností údržby, zejména mazání

Poznámka:

- Protože jednodušší typy těchto spojek jsou určeny pouze pro přenos minimálních zatížení a protože spojky pro přenos větších zatížení jsou vyráběny jako komponenty s parametry uváděnými v katalozích, je dále uveden

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Bach C.: *Die Maschinen-Elemente; Ihre Berechnung und Konstruktion, Erster Band: Text*, Arnold Bergsträsser Verlagsbuch Handlung, Stuttgart, 1903.

Bach C.: *Die Maschinen-Elemente; Ihre Berechnung und Konstruktion, Zweite Band: Tafeln und Tabellen*, Arnold Bergsträsser Verlagsbuch Handlung, Stuttgart, 1903.

Berard S. J., Watters E. O.: *Machine Design Problems*; D. Van Nostrand Company, New York, 1927.

Bhushan, B.: *Handbook of Nanotechnology*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ISBN 3-540-01218-4.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů – Zásady konstruování spoje*; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1984.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů II – Hřídele, tribologie, ložiska*; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1987.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů III – Převody*; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1987.

Boháček, F. et al.: *Základy strojnictví*, SNTL, Praha, 1989, ISBN 80-03-00083-1.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů - Díl II; Převody a převodová ústrojí*; Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 1963.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů, 1. Svazek*, SNTL Praha, Praha, 1989, ISBN 80-03-00046-7.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů, 2. Svazek*, SNTL Praha, Praha, 1990, ISBN 80-03-00426-8.

Branowski, B.: *Podstawy konstrukcji napędów maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Poznanskiej, 2007, ISBN 978-83-7143-347.

Budynas a kol.: *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 8th edition, Boston: Mc Graw Hill, 2008, ISBN 978-0-07-312193-2 (ještě nenaskenovaný obsah).

Bureš, V.: *Části strojů II (Převody; pružiny, součásti potrubí)*; Ediční středisko VŠSE Plzeň, Plzeň, 1979.

Bureš, V.: *Části strojů I (Části spojovací, hřídele, osy, ložiska a spojky)*; Ediční středisko VŠSE Plzeň, Plzeň, 1988.

Černoch, S.: *Strojně technická příručka*; SNTL, Praha, 1959.

Dejl, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. – Spojovací části strojů*. Praha: MONTANEX a.s., 2000, ISBN 80-7225-018-3.

Dietrych, J.: *Podstawy konstrukcji maszyn*, Wydawnictwa naukowo - techniczne, Warszawa, 1967.

Deutschman, A. D. a kol.: *Machine Design - Theory and Practice*; Macmillan Publishing Co., Inc., New York and Collier Macmillan Publishers, London, 1963, ISBN 0-02-329000-5 (Hardbound), ISBN 0-02-979720-9 (International Edition).

Dubbel, I.: *Inženýrská příručka pro stavbu strojů – Díl I*; SNTL, Praha, 1961.

Dubbel, I.: *Inženýrská příručka pro stavbu strojů – Díl II*; SNTL, Praha, 1961.

Faires, V. M., Wingren, R. M.: *Problems on the Design of Machine Elements*; The Macmillan Company, New York, 1955.

Glezl, Š. a kol.: *Základy strojíctva*, Alfa vydavateľstvo Technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1986.

Grote, A.: *Handbook of Mechanical Engineering*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ISBN 978-3-540-49131-6.

Hamrock a kol.: *Fundamentals of Machine Elements*, 2nd edition, Boston: Mc Graw Hill, 2005, ISBN 978-0-07-246532-7.

Hájek, E. a kol.: *Pružnost a pevnost I*, SNTL, Praha, 1988.

Heiligeberg Workshop: *Die Zukunft der Maschinenelementen – Lehre (Heilingenberger Manifest)*, Institute für Maschinen – Konstruktionlehre und Kraftfahrzeugbau Universität Karlsruhe a Maschinenelemente und Konstruktionslehre TH Darmstadt (Prof. Dr. Ing. Birkhofer), Schloß Heiligeberg, 23. – 24. 4. 1997.

Hosnedl, S., Krátký, J.: *Příručka strojího inženýra - Obecné strojíčásti 1*. Praha: Computer Press, 1999, ISBN 80-7226-055-3.

Hosnedl, S., Krátký, J.: *Příručka strojího inženýra - Obecné strojí části 2* Praha: Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-202-5.

Juinall, R. C.: *Fundamentals of Machine Component Design*, John Wiley&Sons, New York, 1983, ISBN 0-471-06485-8.

Kenneth, S. E., McKee, R.B.: *Fundamentals of Mechanical Component Design*, McGraw-Hill, New York, 1991, ISBN 0-07-019102-6.

Klepš, Z., Nožička, J.: *Technické tabulky*; SNTL, Praha, 1986.

Kochman, J. a kol.: *Části strojů - Díl I; Spojování částí strojů a spojovací části*; Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 1956.

Kříž, R. Vávra, P.: *Strojírenská příručka, 5. svazek; Technika konstruování, Technická dokumentace, Části strojů a převody (1. část)*; Praha: Scientia, 1994, ISBN 80-85827-59-X.

Kříž, R., Vávra, P.: *Strojírenská příručka, 6. svazek*; Praha: Scientia, 1995, ISBN 80-85827-88-3.

Málik, L. a kol.: *Konstruovanie*, Žilinská univerzita v Žilině, 2007, ISBN 978-80-8070-971-6.

Medvecký, Š. a kol.: *Základy konstruovania*, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, Žilina, 1999, ISBN 80-7100-547-9.

Medvecký, Š. a kol.: *Konstruovanie 1*, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, Žilina, 2007, ISBN 978-80-8070-640-1.

Meerkamm, H.: *Maschinenelemente*, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 1985.

Moravec, V.: *Konstrukce strojů a zařízení II – Čelní ozubená kola*. Praha: MONTANEX a.s., 2000, ISBN 80-7225-051-5.

Mott, R. L.: *Machine Elements in Mechanical Design*, Upper Saddle River, New Jersey, 2004, ISBN 0-13-061885-3.

Neukirchner, J.: *Fachwissen des Ingenieurs*; Veb Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig, 1976.

Němec, J. a kol.: *Pružnost a pevnost ve strojírenství*, SNTL, Praha, 1989, ISBN 80-03-00193-5.

Niemann, V. a kol.: *Maschinen-elemente*. Berlin: Springer, 2001, ISBN 3-540-65816-5.

Orlov, P. I.: *Základy konstruovania*, Alfa vydavateľstvo Technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1979.

Pešík, L.: *Části strojů, stručný přehled, 1. díl*, TU v Libereci, Liberec: Spoltisk s.r.o., 2001, ISBN 80-7083-584-2.

Pešík, L.: *Části strojů, stručný přehled, 2. díl*, TU v Libereci, Liberec: Spoltisk s.r.o., 2002,

7083-608-3.

Roloff, H. a kol.: *Aufgabesammlung Maschinenelementen*, F. Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1975, ISBN 3-528-34015-0.

Schmidt, Z., Dobrovolný, B.: *Technická příručka - Výpočty a konstrukce*; Práce - Vydavatelstvo ROH, Praha, 1956.

Shigley, J.E., Mitchell, L.D.: *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983, ISBN 0-07-056888-X.

Shigley, J. E.: *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1983, ISBN 0-07-056898-7.

Shigley, J. E., Budynas, R. G., Nisbett K. J.: *Shigley's Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 2008, ISBN 978-0-07-312193-2.

Shigley, J. E., Mischke, R. Ch., Budynas, R. G.: *Konstruování strojních součástí*. Z angl. orig. *Mechanical Engineering Design*, 7th ed. 2004 přel. M. Hartl at al. Eds. M. Hartl a M. Vlček. VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, Brno, 2010, ISBN 978-80-214-2629-0 .

Spotts, M. F.: *Design of Machine Elements*, Third Edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1961.