



Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1

Šablona: Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT

Název: Spoje a spojovací součásti

Téma: Pohybové šrouby

Autor: Ing. Magdalena Svobodová

Číslo: Svobodova Magdalena_32_INOVACE_13 – 05

Anotace: *Seznámení s pohybovými šrouby, jejich druhy a použitím. Rozbor silových poměrů při zvedání a spouštění břemene. Výukový text je doplněn pracovním listem pro procvičení probíraného učiva na konkrétních příkladech. DUM je určen pro studenty druhého ročníku strojírenských oborů. Vytvořeno: květen 2012*

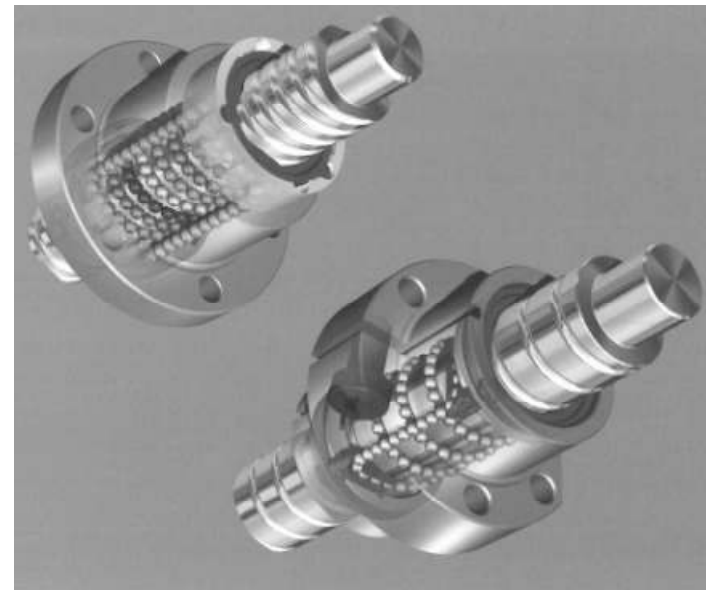
ÚČEL A POUŽITÍ POHYBOVÝCH ŠROUBŮ

Pomocí pohybových šroubů dochází k přeměně rotačního pohybu na posuvný (pouze ve výjimečných případech i naopak).

Pohybové šrouby používáme ve strojírenské praxi u zvedáků, v rozličných automatech (realizace posuvů), pro suporty CNC obráběcích strojů i jako vodící šrouby soustruhů.

ZÁVITY POHYBOVÝCH ŠROUBŮ

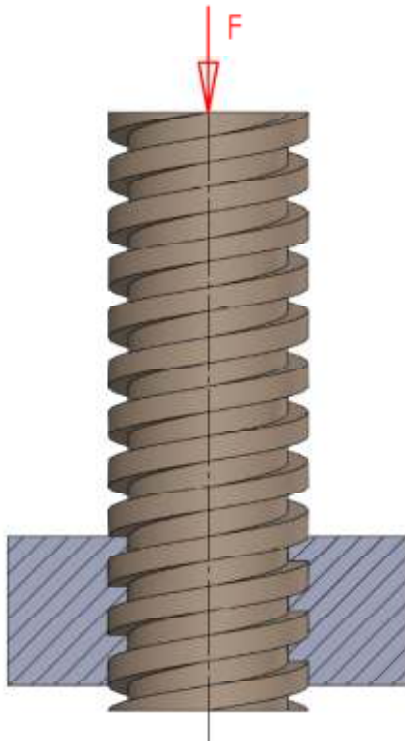
- Klasické pohybové závit (mohou být samosvorné a nesamosvorné) se smykovým třením
 - Lichoběžníkový rovnoramenný závit
 - Lichoběžníkový nerovnoramenný závit
 - Čtvercový závit
- Kuličkový šroub s maticí (s valivým třením)



Obrázek 1: Kuličkový šroub s maticí [6]

SILOVÉ POMĚRY PŘI ZVEDÁNÍ A SPUŠTĚNÍ BŘEMENE

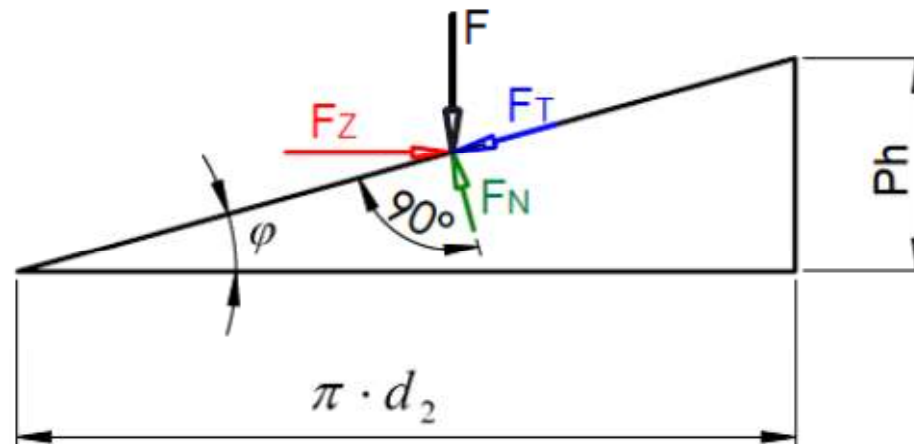
Na obr. 2 je znázorněn pohybový šroub zvedáku s maticí, který je zatížen osovou silou (tíhou břemene). Na následujících obrázcích je rozvinutý jeden závit šroubu s působícími silami.



Obrázek 2: Pohybový šroub s maticí

Silové poměry při zvedání břemene

- F tíha břemene
- F_z síla potřebná pro zvedání břemene
- F_T třecí síla
- F_N normálová síla
- φ úhel stoupání závitu (šroubovice)
- d_2 střední průměr závitu
- P_h stoupání závitu



Obrázek 3: Zvedání břemene

Síla pro zvedání břemene u pravotočivého závitu působí doprava, třecí síla působí vždy proti pohybu.

Velikost třecí síly určíme ze vztahu: $F_T = f \cdot F_N$

Soustava je ve statické rovnováze musí tedy platit:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_Z - F_N \cdot \sin \varphi - F_T \cdot \cos \varphi = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

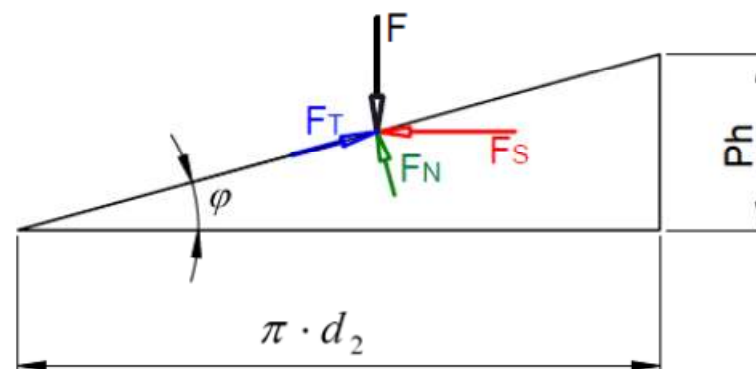
$$F + F_T \cdot \sin \varphi - F_N \cdot \cos \varphi = 0$$

Po úpravě vztahu a vyloučení normálové síly dostaneme sílu potřebnou pro zvedání břemene.

$$F_Z = \frac{F(\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi)}{\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi}$$

Silové poměry při spuštění břemene jsou obdobné.

F_S síla potřebná pro spuštění břemene



Obrázek 4: Spouštění břemene

Rovnice rovnováhy pro spuštění břemene:

$$\sum F_x = 0$$

$$-F_S - F_N \cdot \sin \varphi + F_T \cdot \cos \varphi = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F - F_T \cdot \sin \varphi - F_N \cdot \cos \varphi = 0$$

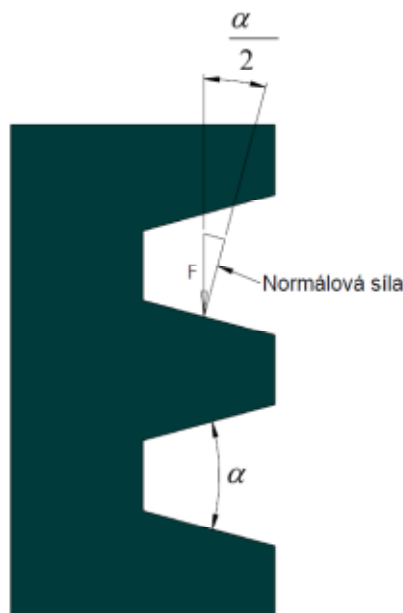
Po úpravě vztahu dostaneme sílu potřebnou pro spouštění břemene.

$$F_S = \frac{F(f \cdot \cos \varphi - \sin \varphi)}{\cos \varphi + f \cdot \sin \varphi}$$

Podíváme-li se na obrázky silových poměrů na šroubu, zjistíme, že úhel stoupání závitu lze odvodit ze základních parametrů závitu.

$$\tan \varphi = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2}$$

Odvozené vztahy platí pro čtvercový závit. U lichoběžníkového závitu dochází vlivem úhlu profilu závitu k odklonu síly, která působí kolmo na bok závitu.



Velikost normálové síly

$$F' = \frac{F}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Moment potřebný pro zvedání a spouštění břemene

Točivý moment můžeme vyjádřit jako součin síly a ramene, na kterém síla působí. V daném případě jde o sílu potřebnou pro zvedání/spouštění břemene (F_Z nebo F_S) a ramenem je střední poloměr závitu ($d_2/2$).

Pro zvedání břemene po úpravě dostáváme vztah:

$$M_Z = \frac{F \cdot d_2}{2} \left[\frac{P_h \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \cdot f \cdot d_2}{\pi \cdot d_2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f \cdot P_h} \right]$$

Pro spouštění břemene platí:

$$M_S = \frac{F \cdot d_2}{2} \left[\frac{\pi \cdot f \cdot d_2 - P_h \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi \cdot d_2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + f \cdot P_h} \right]$$

Uvedené rovnice platí pro souměrné profily závitů a lze je využít i při výpočtech spojovacích šroubů.

Při návrhu pohonu pomocí pohybových šroubů potřebujeme určit i účinnost. Účinnost při zvedání břemene:

$$\eta = \frac{F \cdot P_h}{2 \cdot \pi \cdot M_Z}$$

Účinnost závisí tedy i na úhlu stoupání závitu. Zvětšování úhlu stoupání nad 20° přináší pouze minimální zvětšení účinnosti. Vztah pro výpočet účinnosti můžeme upravit pomocí využití třecího úhlu (viz samosvornost šroubu).

Samosvornost šroubu

V některých případech (pokud je součinitel tření malý nebo stoupání závitu velké) dochází vlivem tíhy břemene k samovolnému roztočení šroubu a spuštění břemene. Děje se tak bez vnějšího silového působení.

V rovnici rovnováhy pro spuštění břemene vidíme, že velikost síly F_S závisí na vzájemném poměru x - složky síly třecí a normálové. V případě, že tato síla bude nulová, mluvíme o hranici samosvornosti. Závit je tedy samosvorný, pokud síla F_S je větší než nula.

$$F_S = F_T \cdot \cos \varphi - F_N \cdot \sin \varphi = F_N \cdot f \cdot \cos \varphi - F_N \cdot \sin \varphi$$
$$F_N \cdot f \cdot \cos \varphi > F_N \cdot \sin \varphi \Rightarrow f > \tan \varphi$$

Šroub se čtvercovým závitem je samosvorný, když součinitel tření v závitu je větší než tangens úhlu stoupání.

Pro závity jejichž boky nejsou rovnoběžné (svírají úhel α) je podmínka samosvornosti:

$$f > \tan \varphi \cdot \cos \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

Nesamosvorné pohybové šrouby umožňují přesné nastavení polohy (nemají mrtvý chod při změně směru otáčení).



Pohybový šroub s lichoběžníkovým závitem má nižší účinnost než šroub se čtvercovým závitem. V konstrukcích však dáváme přednost lichoběžníkovému závitu, který umožňuje použití příčně dělené matice pro vymezení vůle v závitech a také výroba lichoběžníkového závitu v matici je jednodušší.

Hodnoty součinitele tření v závitech f

Materiál šroubu	Materiál matice			
	Ocel	Bronz	Mosaz	Litina
Ocel bez mazání	0,15÷0,25	0,15÷0,23	0,15÷0,19	0,15÷0,25
Ocel, závity olejovány	0,11÷0,17	0,10÷0,16	0,10÷0,15	0,11÷0,17
Bronz	0,08÷0,12	0,04÷0,06	-	0,06÷0,09

Hodnoty do tabulky převzaty z [2].

Některá odborná literatura zavádí pojem třecí úhel. Označení tohoto úhlu bývá různé, my budeme používat označení γ' .
Třecí úhel je definován vztahem:

$$f = \tan \gamma'$$

Při použití třecího úhlu můžeme upravit vztahy pro výpočet účinnosti šroubu i momentu pro zvedání a spouštění břemene.
Účinnost šroubu pro zvedání břemene:

$$\eta = \frac{\tan \varphi}{\tan(\varphi + \gamma')}$$

φ (°) úhel stoupání závitu

Síla potřebná pro zvedání břemene:

$$F_Z = F \cdot \tan(\varphi + \gamma')$$

Síla potřebná pro spouštění břemene:

$$F_S = F \cdot \tan(\varphi - \gamma')$$

Momenty pro zvedání a spouštění břemene:

$$M_Z = \frac{F \cdot d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \gamma')$$

$$M_S = \frac{F \cdot d_2}{2} \cdot \tan(\varphi - \gamma')$$

Návrh a kontrola pohybových šroubů

Lichoběžníkové závity jsou z hlediska namáhání na ohyb a stříh předimenzovány. Proto se při návrhu pohybového šroubu zpravidla kontrola na stříh a otláčení neprovádí. Závity pohybových šroubů se kontrolují na otláčení.

Pro tlak v závitech platí vztah:

$$p = \frac{F}{\pi \cdot D_2 \cdot n \cdot H_1} < p_D$$

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2}$$

n	(-)	počet závitů matice
H ₁	(mm)	nosná výška závitu
p _D	(MPa)	dovolený tlak v závitech
D ₂	(mm)	střední průměr závitu matice
D ₁	(mm)	malý průměr závitu matice

Materiál šroubu	Materiál matice	Dovolený tlak v závitech p _D (MPa)	Rychlost (m.s ⁻¹)
ocel	bronz	17÷24	menší než 0,02
		11÷17	0,05
		5÷10	0,1÷0,2
		1÷2	0,25
ocel	litina	12÷17	0,04
		4÷7	0,1÷0,2

Hodnoty do tabulky převzaty z [2].

KULIČKOVÉ ŠROUBY

Kuličkové šrouby využívají mezi šroubem a maticí valivé tření, proto mají téměř nulový mrtvý chod. V současné době se jejich výrobou zabývá celá řada firem. Konstrukčně se vzájemně liší zpětným vedením kuliček a možnostmi uchycení jak kuličkového šroubu, tak i matice.



ZPĚTNÉ VEDENÍ KULIČEK



ZPĚTNÉ VEDENÍ KULIČEK

Výhody kuličkových pohybových šroubů:

- Malé tření
- Malý výkon tepla
- Nižší opotřebení
- Možnost použití při vyšších otáčkách

S pomocí diskuze hledejte nevýhody kuličkových šroubů.

Použitá literatura

1. KŘÍŽ, Rudolf a kol. *Stavba a provoz strojů I: Části strojů*. SNTL - Nakladatelství technické literatury. Praha: SNTL, 1977. L13-C2-V-43f/25559.
2. SHIGLEY Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Vysoké učení technické v Brně. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
3. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Druhé, zcela přepracované vydání. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-123-9.
4. DILLINGER, Josef a kol. *Moderní strojírenství: pro školu i praxi*. Vydání první. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
5. FISCHER, Ulrich, Roland GOMERINGER, Max HEINZLER, Roland KILGUS, Friedrich NÄHER, Stefan OESTERLE, Heinz PAETZOLD a Andreas STEPHAN. *Tabellenbuch Metall*. 44., neu bearbeitete Auflage. Haan-Gruiten: Europa Lehrmittel, 2008. ISBN 978-3-8085-1724-6.
6. BOSCH REXROTH AG. *Precision Ball Screw Assemblies*. R310EN 3301. Deutschland, 2009.08.