

PŘEHLED TECHNICKÝCH ÚDAJŮ PRVKŮ PŘEVODOVÝCH ÚSTROJÍ

1. ÚVOD DO PŘEVODOVÝCH ÚSTROJÍ	2
2. PRVKY PŘEVODOVÉHO ÚSTROJÍ	2
2.1 Zuby	2
2.2 Přímé ozubení	3
2.3 Ozubnice	4
3. TECHNICKÉ POZNÁMKY	4
3.1 Kombinace	4
3.2 Osová vzdálenost	4
3.3 Mazání	5
3.4 Obrábění	5
3.5 Materiály	5
4. APLIKACE	5
SLOVNÍČEK	6



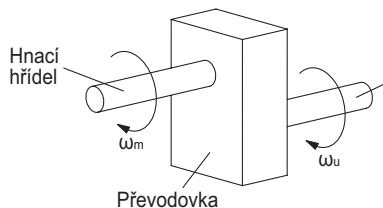
Strojní prvky

1. ÚVOD DO PŘEVODOVÝCH ÚSTROJÍ

Mechanické převodové ústrojí se skládá ze soustavy prvků, které přenášejí výkon na mechanický systém, jinými slovy po určitou dobu přenášejí energii z motoru na prvek, který ji spotřebovává:



Přenos výkonu z motoru do převodového ústrojí obecně zajišťuje hnací hřídel. Tento výkon z převodového ústrojí přenáší na spotřebič hřídel spotřebiče (také nazývaná poháněná hřídel).



Výkon přenesený na spotřebič není nikdy shodný s výkonem motoru. Během převodu dochází k jeho částečným ztrátám vlivem tření a tepla. Ke stanovení množství skutečně spotřebovaného výkonu vůči generovanému výkonu se používá hodnota účinnosti (η):

$$\eta = \frac{P_u}{P_m} = \frac{M_r \cdot \omega_u}{M_m \cdot \omega_m} < 1$$

kde:

- hnací výkon (P_m) = užitečný výkon (P_u) + ztráta výkonu (P_d).
- M_m a M_r je hnací výkon, respektive odporový výkon (ztráta).
- ω_m a ω_u je úhlová rychlost hnací hřídele, respektive úhlová rychlost poháněné hřídele.

Hnací výkon se obecně vyjadřuje jako:

$$P_m [W] = M_m [Nm] \cdot \omega_m \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] = \frac{M_m [Nm] \cdot n_m [\text{rpm}]}{9.55} \quad \text{kde:} \quad \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

Kde n_m je počet cyklů hnací hřídele vyjádřený v otáčkách za minutu (ot/min) a 9,55 je převodní číslo pro převod radiánů za sekundu na ot/min.

Charakteristickým parametrem převodu je **převodový poměr (τ)**, který vyjadřuje vztah mezi úhlovou rychlostí hnací hřídele a úhlovou rychlostí poháněné hřídele:

$$\tau = \frac{\omega_m}{\omega_u} = \frac{n_m}{n_u}$$

$\tau > 1$: Převod do pomala

$\tau = 1$: Převod 1:1

$\tau < 1$: Převod do rychla

2. PRVKY PŘEVODOVÉHO ÚSTROJÍ

Pro přenos pohybu popsany v předchozí části jsou nezbytné speciální mechanické díly. Převodové ústrojí je mechanismus určený k převodu pohybu a/nebo mechanického momentu z jednoho tělesa na jiné. Obecně se skládá z dvou nebo více ozubených kol, která mohou být stejné nebo různé velikosti. Jedno z kol (hnací kolo) převádí pohyb a druhé (poháněné kolo) ho přijímá. Poháněné kolo se otáčí ve směru opačném vůči směru otáčení hnacího kola. Menší kolo se obvykle nazývá pastorek, zatímco největší je jednoduše označováno jako ozubené kolo.

Existují různé typy ozubených soukolí: s přímým ozubením, se šikmým ozubením, kuželová, ozubnice s pastorkem a šneková soukolí. Všechny typy ozubených soukolí umožňují převod pohybu mezi různě uloženými osami.

2.1 ZUBY

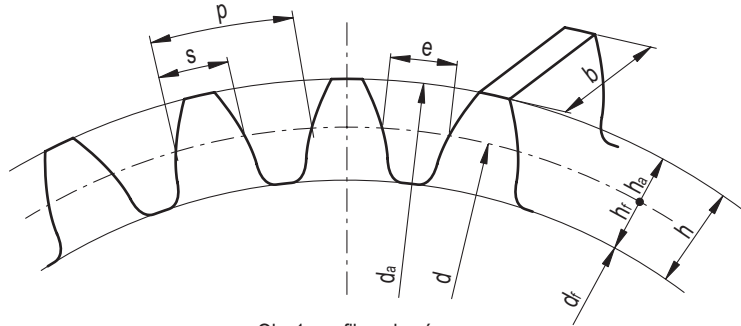
Ozubená soukolí zajišťují převod výkonu mezi pevnými tělesy prostřednictvím vzájemného působení zubů, které do sebe postupně zapadají. Obvod, po kterém dochází k záběru dvou ozubených kol, se nazývá **roztečná kružnice**. Vzdálenost mezi středy roztečných kružnic dvojice ozubených kol se nazývá **osová vzdálenost**.

Zuby můžou mít různé typy profilů. Nejrozšířenější profily mají tvar **evolventy**, tedy křivky, která je trajektorií bodu na přímce odvalující se bez prokluzu po obvodu.

Obvykle se zuby pohybují v radiálním směru a zapadají do roztečné plochy. Hlava zuby je část vystupující z roztečné plochy, která představuje rozdíl mezi roztečnou kružnicí a vrcholovou kružnicí. Část mezi roztečnou kružnicí a patní kružnicí je pata zuby. Boční plocha jednotlivých zubů se nazývá profil. Od roztečné kružnice se dělí na dvě části: horní část se nazývá **bok hlavy zuby**, spodní část je **bok paty zuby**.

Profil zuby (obrázek 1) je možné rozdělit na dvě části: **výška hlavy (h_a)** se definuje jako vzdálenost mezi **roztečnou kružnicí (d)** a **vrcholovou kružnicí (d_a)** v radiálním směru; **výška paty (h_f)** se definuje jako radiální vzdálenost mezi roztečnou kružnicí a **patní kružnicí (d_f)**, která vymezuje patu zuby. Součet těchto dvou rozměrů tvoří **výšku zuby (h)**.

Roztečná kružnice (p) se definuje jako vzdálenost mezi dvěma shodnými body dvou po sobě následujících zubů měřená po roztečné kružnici. **Šířka zubové mezery (e)** je délka oblouku roztečné kružnice mezi dvěma po sobě následujícími zuby. **Tloušťka zuby (s)** je délka oblouku roztečné kružnice vymezená zubem. **Šířka boku hlavy zuby (b)** se definuje jako axiální rozměr zuby.



Obr.1: profil ozubení

Správný záběr dvou ozubených kol o poloměru roztečné kružnice rovném r_1 a r_2 vyžaduje shodnou rozteč (p). Vztah obou roztečných kružnic tedy vychází z následujícího poměru:

$$2\pi \cdot r_1 = p \cdot z_1 \quad \text{a} \quad 2\pi \cdot r_2 = p \cdot z_2$$

kde z je počet zubů kola. Odtud lze odvodit základní rozměr pro použití ozubených kol, tj. **modul (m)**:

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2}$$

Aby byla dvě ozubená kola v záběru, musí mít stejnou rozteč (p), takže musí mít i stejný modul (m). Počet zubů může souviset také s převodovým poměrem (τ) podle následujícího vzorce:

$$\tau = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1}$$

Další nezbytnou podmínkou záběru dvou ozubených kol je stejný úhel sklonu šroubovice. Zuby hnacího kola přenášejí na zuby poháněného kola sílu (F) ve smyslu potřebném pro vytvoření úhlu záběru (α) s tečnou společnou oběma roztečným kružnicím. Hodnota úhlu záběru (α) ovlivňuje minimální počet zubů, který může kolo mít, aby byl celý profil zuby evolventní. Prvky převodového ústrojí značky ELESA mají úhel záběru 20° .

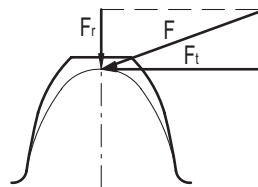
2.2 Přímé ozubení

Nejběžnější ozubená kola mají tzv. přímé ozubení se zuby na vnější (nebo vnitřní) ploše kola. Přímé ozubení se uplatňuje především tam, kde je potřeba přenést rotační pohyb mezi dvěma souběžnými osami (nebo hřídelemi).

Údaje o maximálním momentu uvedené v tabulkách v technickém listu jsou výsledkem teoretických výpočtů a zároveň experimentálních údajů získaných v laboratoři.

Teoretické výpočty vycházejí z Lewisova vzorce. Podle tohoto vzorce na zub (obrázek 2) v částečném záběru nepůsobí síla (F) (považovaná za statickou) přenášená ozubenými koly. Tato teorie vychází z následujících předpokladů:

- celková síla (F) působí pouze na vrchol zuby
- radiální složka síly (F_r), která ovlivňuje tlakové namáhání zuby je zanedbatelná; následuje složka síly F určující ohýbání zuby, která je zohledněna jako jediná a pro zjednodušení má stejnou hodnotu jako tangenciální síla (F_t) na roztečné kružnici
- pro potřeby výpočtu se zohledňují nejméně výhodné okolnosti pouze se dvěma zuby v záběru



Obr.2: Aplikace sil na zub pomocí vzorce Lewis

Síla (F_t) následně koreluje s momentem (M) prostřednictvím roztečného průměru:

$$M = F_t \cdot \frac{d}{2}$$

Experimentální údaje byly získány laboratorními testy a ověřeny pomocí softwaru při zohlednění směrnice VDI 2736 platné pro technopolymerní ozubená kola. Testy byly provedeny za nepřetržitého provozu při rychlosti 100–150 ot/min bez jakéhokoli mazání, aby test probíhal za co nejnáročnějších podmínek.

Momenty uvedené v tabulkách v technických listech jsou přibližné údaje a nelze je považovat za platné pro všechny případné aplikace. Výkon významně ovlivňují provozní podmínky (ot/min, provozní teploty, funkčnost s prvky převodových ústrojí z různých materiálů, mazání nebo provoz na sucho, činitel zatížení atd.).

Konstruktor musí zohlednit skutečné provozní podmínky a jejich odlišnosti od laboratorních podmínek.

2.3 Ozubnice

Ozubnici, neboli hřeben, lze považovat za ozubené kolo s nekonečným poloměrem. Slouží k převodu rotačního pohybu na posuvný pohyb a naopak. Ozubené kolo v záběru s ozubnicí se nazývá pastorek.

Na rozdíl od ozubených kol s přímým ozubením je nejdůležitější mechanickou hodnotou ozubnic maximální namáhání jednotlivých zubů. Důvodem je to, že na tento prvek převodového ústrojí nepůsobí žádný moment.

Hodnoty maximálního namáhání uvedené v tabulkách v technickém listu jsou výsledkem laboratorních testů, při kterých se síla působící na zub ozubnice zvyšuje, dokud se zub nevylomí. Maximální hodnoty namáhání uvedené v technickém listu platí při maximálním namáhání zubu v záběru.

Zvýšením počtu zubů v záběru nedojde k lineárnímu nárůstu maximálního možného namáhání, protože optimální provozní podmínky bude mít pouze jeden zub.

3. TECHNICKÉ POZNÁMKY

3.1 Kombinace

Technopolymerní prvky převodových ústrojí lze kombinovat s technopolymerními i kovovými ozubenými koly. U kombinací s kovovými koly přispívá vyšší tepelná vodivost kovu k rychlejšímu odvodu tepla nahromaděného během provozu. V případě kombinací kovu a technopolymeru je nejlepší volbou kovový pastorek a technopolymerní ozubené kolo, protože opotřebení technopolymerního kola je nižší.

3.2 Osová vzdálenost

Osová vzdálenost (I) je vzdálenost mezi středy hřídelí, na kterých jsou ozubená kola namontovaná, a je dána následujícím vzorcem:

$$I = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

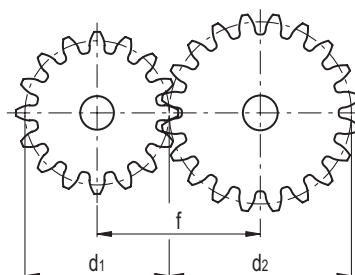
kde d_1 a d_2 jsou roztečné průměry ozubených kol.

Aby bylo dosaženo optimálního vzájemného propojení mezi dvěma převodovými koly, je nutné mít kladnou vůli mezi oběma hřídeli: rozteč (f) mezi dvěma středy hřídelí, na nichž jsou umístěna převodová kola je o něco delší než provozní vzdálenost (I).

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2} + t$$

Záběr bez vůle nebo se zápornou vůlí vede k nárůstu tření mezi zuby, což zvyšuje provozní teplotu a snižuje odolnost vůči opotřebení a namáhání. Aby nedocházelo k podobným problémům, doporučují se pro ozubená kola ELESa následující vůle:

- (+0.03 +0.1) u modulů 1.0 – 1.5
- (+0.08 +0.3) u větších modulů



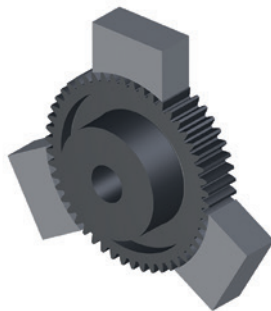
3.3 Mazání

Díky speciálním vlastnostem technopolymeru je jednou z hlavních výhod vyztužených technopolymerových ozubených kol možnost jejich použití bez mazacího oleje. Podle možností se však doporučuje kola mazat, aby se snížilo tření a opotřebení a prodloužila se životnost produktů. Na ozubená kola Elesa doporučujeme použít mazací tuk na bázi lithiového mýdla a syntetického oleje.

V porovnání s provozem na sucho mazání výrazně prodlužuje životnost ozubených kol, především pokud jsou provozní podmínky, otáčky za minutu a moment stabilní.

3.4 Obrábění

Správný provoz technopolymerových ozubených kol s přímým ozubením vyžaduje mechanické opracování umístěním svorek na zuby, jak ukazuje obrázek 3. Průměr svorek je nutné upravit podle hlavy ozubeného kola.



Obr.3: Zubové obrábění

3.5 Materiály

Ozubená kola ELESA s přímým ozubením a ozubnice ELESA jsou vyrobená z polyamidu na bázi technopolymeru a vyztužena skelnými vlákny. Hlavní mechanické vlastnosti tohoto typu materiálu jsou následující:

- vysoká odolnost vůči zkroucení a pevnost v tahu (asi trojnásobná oproti acetalové pryskyřici),
- dobrá odolnost vůči vysokým teplotám
- nízký součinitel tření, především v porovnání s ocelí, technopolymerová kola lze díky těmto vlastnostem použít i v aplikacích, kde je mazání zakázáno,
- nízká specifická hmotnost – technopolymerová kola jsou celkově lehčí než kovová kola,
- lepší rozměrová stabilita, vyšší odolnost vůči opotřebení a působení chemických látek.

4. APLIKACE

Prvky převodového ústrojí z vyztuženého polyamidu na bázi technopolymeru jsou vhodnou alternativou ke stejným kovovým prvkům a lze je použít ve všech aplikacích s požadavkem na nižší hlučnost nebo tam, kde je zakázáno mazání. Díky nízké hmotnosti je technopolymerové prvky převodových ústrojí možné použít také v případech, kdy se klade důraz na snížení celkové hmotnosti. Vysoká odolnost technopolymeru vůči působení chemických látek navíc pomáhá předcházet korozi v agresivních prostředích.

Účinné použití ocelových kol v příslušné aplikaci často vyžaduje, aby byla větší, než je nezbytné nutné. I v tomto případě jsou technopolymerová ozubená kola vynikajícím řešením a nabízejí dobrou mechanickou odolnost v kombinaci s úsporou prostředků.

Technopolymerová ozubená kola se uplatní v řadě různých aplikací:

- balicí stroje a dopravníky
- průmyslové čisticí stroje
- stroje na obrábění skla a keramiky
- stravovací zařízení
- tiskařský průmysl
- zemědělské stroje
- chemický a farmaceutický průmysl
- domácí spotřebiče





1 Bok hlavy zubu: boční plocha zubu nad roztečnou kružnicí.

Bok paty zubu: boční plocha zubu pod roztečnou kružnicí.

Hlava zubu: část zubu vystupující nad roztečnou kružnicí.

Hnací hřídel: válcový prvek převodového ústrojí s různou délkou a tloušťkou, na který působí hnací síla generovaná strojem a který převádí pohyb a výkon.

Kruhová rozteč: vzdálenost mezi dvěma shodnými body dvou po sobě následujících zubů měřená po roztečné kružnici. Kruhová rozteč umožňuje vypočítat modul ozubení a je základem pro posouzení možností kombinace dvou ozubených kol – ozubená kola s různými roztečemi nemohou být v záběru.

Mazivo: obvykle kapalná látka používaná ke snížení tření mezi dvěma plochami, které po sobě kloužou, a zajišťující ochranu mechanických dílů podléhajících opotřebení. Na ozubená kola Elesa doporučujeme použít mazací tuk na bázi lithiového mýdla a syntetického oleje.

Modul ozubení: poměr průměru roztečné kružnice ozubeného kola a počtem jeho zubů. Jde o jeden z charakteristických parametrů zubů ozubeného kola – aby mohla být dvě ozubená kola v záběru, musí mít stejný modul ozubení.

Opotřebení: ztráta materiálu v důsledku otěru o jiný materiál.

Osová vzdálenost: teoretická vzdálenost mezi středy hřídelí, na kterých jsou namontována ozubená kola. Je dána jako součet polopřímek rozteče obou ozubených kol.

Ozubnice: ozubnice je lineární ozubený prvek (ozubené kolo s nekonečným poloměrem), který v kombinaci s dalším ozubeným prvkem nazývaným vřetenem nebo pastorkem převádí rotační pohyb na trvalý posuvný pohyb a naopak.

Ozubené kolo s přímým ozubením: ozubené kolo se zuby rovnoběžnými s osou válce, které umožňuje převod pohybu mezi dvěma souběžnými osami.

Pastorek: v soukolí se dvěma ozubenými koly je pastorek kolo s menším průměrem. Zároveň může jít o ozubené kolo v záběru s ozubnicí (považovanou za ozubené kolo s nekonečným poloměrem) určené k převodu rotačního pohybu na posuvný nebo naopak.

Pata zubu: část zubu pod roztečnou kružnicí.

Patní kružnice: kružnice, která vymezuje patu zubu.

Poháněná hřídele: válcový prvek převodového ústrojí s různou délkou a tloušťkou, který přijímá pohyb z hnací hřídele nebo hnacího kola.

Převod: mechanismus určený k přenosu pohybu z jedné hřídele na jinou pomocí dvou ozubených prvků, nejčastěji ozubených kol. Obecně se skládá z dvou nebo více ozubených kol, která mohou mít shodnou nebo různou velikost.

Roztečná kružnice: kružnice, na které dochází ke styku páru ozubených kol.

Šířka zubové mezery: délka oblouku roztečné kružnice mezi dvěma po sobě následujícími zuby. Představuje mezeru mezi zuby.

Tloušťka zubu: je definována obloukem na roztečné kružnici.

Tloušťka zubu: axiální rozměr zubu.

Tření: třecí síla, která vzniká při kontaktu dvou těles tlačících proti sobě a omezuje jejich relativní pohyb. Třením dochází ke ztrátě mechanické energie, která se ztrácí v podobě tepla.

Úhel záběru: úhel mezi tečnou roztečné kružnice a normálou na plochu zubu, přičemž obě jsou vedeny do bodu, kde se roztečná kružnice dotýká plochy zubu. Jde o základní vlastnost ozubení – v záběru mohou být pouze ozubená kola se stejným úhlem záběru.

Vrcholová kružnice: kružnice, která vymezuje vrchol zubu.

Vůle: vzdálenost mezi zuby dvou ozubených kol v záběru. Vůli lze popsat také jako rozdíl skutečné vzdálenosti mezi středy hřídelí, na kterých jsou namontována ozubená kola, a osově vzdálenosti měřené jako součet polopřímek rozteče obou ozubených kol. V důsledku záporné vůle (při skutečné vzdálenosti nižší než je osová vzdálenost) jsou k sobě zuby ozubených kol blíže, což vede

k těsnějšímu kontaktu mezi zuby, který komplikuje převod a zvyšuje riziko zadíráání. Kladná vůle naopak snižuje riziko zadíráání, ale pokud je příliš velká, vede k nedostatečnému kontaktu mezi zuby, což snižuje přenos momentu a také účinnost převodového ústrojí.

Výška hlavy zubu: část zubu mezi roztečnou kružnicí a vrcholovou kružnicí.

Výška paty: výška základny zubu, tj. část zubu mezi patní kružnicí a roztečnou kružnicí.

Zub: prvek vystupující z patní kružnice směrem ven nebo dovnitř, který svým kontaktem se zubem dalšího prvku převodového ústrojí umožňuje přenos momentu nebo síly mezi dvěma převodovými sestavami.