

## 1.2.12 Tření a valivý odpor II

**Předpoklady:** 010211

**Př. 1:** Navrhni způsob, jak určit koeficient tření mezi dvěma povrchy, a ověř jej v praxi.

Ze vzorce pro třecí sílu vyjádříme  $f$ :  $F_t = Nf \Rightarrow f = \frac{F_t}{N}$ .

$\Rightarrow$  Stačí změřit třecí sílu a kolmou tlakovou sílu, která ji způsobuje. Koeficient určíme jako jejich podíl.

Tření vzniká najednou dvěma mechanismy:

- Oba povrchy jsou nerovné. Při vzájemném pohybu se jejich nerovnosti navzájem odírají jedna o druhou, obrušují se a deformují. Na všechny tyto děje je nutná síla, kterou v makroskopickém měřítku vnímáme jako tření. Tento mechanismus dobře vysvětluje, proč je mezi drsnějšími povrchy větší tření, i využití brusného papíru, kterým můžeme vyhladit povrch opracovávaného předmětu.
- Druhou část síly způsobuje vzájemné přitahování povrchových částic obou předmětů. Kvůli tomuto přitahování se třecí síla vyskytuje i mezi libovolně hladkými povrchy. Právě přilnavost pneumatik k povrchu vozovky má na svědomí většinu tření, které drží automobily na silnici. Přilnavost pneumatik k vozovce se snižuje při nižších teplotách a proto se na zimní období vyrábějí speciální zimní pneumatiky, které mají při nižších teplotách přilnavost větší. Účelem dezénu pneumatiky je v případě deště odvádět vodu tak, aby zbytek povrchu pneumatiky doléhal přímo na vozovku a mohla se uplatnit přilnavost gumy pneumatiky k asfaltu, ze kterého je vyrobena silnice.

U různých povrchů se oba mechanismy uplatňují do různé míry.

Z obou mechanismů vyplývá, třecí síla nemůže být celou dobu stejná, neustále se mění kolem nějaké hodnoty střední hodnoty. Právě tato střední hodnota je určena vzorcem. Vzorec je však pouze přibližný, protože nám celkově zachycuje působení drobností obou povrchů, které nejsme schopni výpočtem ani měřením zachytit.

Vzorec pro tření je prvním příkladem „z podstaty nepřesných vzorců“. Vzorec v sobě obsahuje značné zjednodušení skutečnosti a z podstaty věci vyplývá, že poskytuje pouze přibližné (ale dost přesné na to, aby se vyplatilo ho používat) výsledky. Proto také vzorec neobsahuje žádnou závislost na rychlosti, která sice existuje, ale její vliv je při malých rychlostech velmi malý.

**Př. 2:** Zkus kvalitativně vysvětlit, proč se ve vzorci pro třecí sílu nevykazuje velikost ploch, které se o sebe třou.

Z obou mechanismů vzniku tření vyplývá, že tření bude větší pokud:

- jsou obě plochy více přitlačeny k sobě,
- jsou obě plochy větší (tře se více nerovností, více části se vzájemně přitahuje).

Pokud mezi dvěma plochami působí určitá kolmá tlaková síla, znamená:

- větší plocha větší třecí sílu kvůli větší ploše, ale zároveň menší třecí sílu kvůli menšímu přitlačování (tlaková síla se rozprostře na větší plochu)  $\Rightarrow$  třecí síla nemusí na velikosti plochy záviset.

- menší plocha menší třecí sílu kvůli menší ploše, ale zároveň větší třecí sílu kvůli většímu přitlačování (tlaková síla se rozprostře na menší plochu)  $\Rightarrow$  třecí síla nemusí na velikosti plochy záviset.

**Př. 3:** Najdi v každodenní praxi příklady situací, ve kterých je výhodné, co největší tření. Jakým způsobem se zajišťuje dostatečná velikost třecí síly v takových případech?

Tření mezi silnicí a kolem, umožňuje automobilům zatáčet a brzdit:

- Speciální složení gumy, ze které se vyrábí pneumatiky, zvyšuje přilnavost k silnici, odlišné složení letních a zimních pneumatik.
- Karosérie závodních vozů má takový tvar, aby vznikala síla, která přitlačuje automobil k silnici.

Tření mezi chodníkem a obuví umožňuje chůzi:

- podrážky (materiály s velkou přilnavostí), tvar,
- posyp náledí.

Tření mezi brzdou a kolem zastavuje auta (kola, ...)

- speciální materiály brzdy a kola (velké tření, velká trvanlivost),
- velká síla, kterou brzda tlačí na kolo (posilovače, páka u kol...).

atd.

**Př. 4:** Najdi v každodenní praxi příklady situací, ve kterých je výhodné, co nejmenší tření. Jakým způsobem se zmenšuje velikost třecí síly v takových případech?

Tření při posouvání předmětů:

- podkládání válečky nebo použití kol,
- použití mazadel – látky, která zabrání přímému dotyku obou předmětů a snižuje jejich tření (olej u strojů, voda u tobogánu – stejný efekt, kterému se snažíme zabránit u pneumatik),
- pohyb po vzduchovém nebo magnetickém polštáři (mezi předměty je vzduch, předměty se nedotýkají).

Tření při otáčení předmětů:

- použití kuličkových nebo válečkových ložisek (kola, auta, ...),
- použití mazadel.

Použití kol tření podstatně zmenší, ale tření nezmizí úplně. Třecí síla, která tak vzniká, se nazývá valivé tření (nebo také valivý odpor) a má podobné vlastnosti jako tření smykové. Působí vždy proti směru pohybu, závisí na kolmé tlakové síle na podložku a kvalitách a pevnosti styčných ploch. Navíc závisí na jedné veličině, která u smykového tření roli nehraje.

**Př. 5:** Najdi veličinu, která ovlivňuje velikost valivého tření a neuvažujeme ji u smykového tření.

Jízda na kole je pohodlnější pokud má kolo velká kola. Na malých kolech je jízda namáhavější  $\Rightarrow$  větší poloměr kola zřejmě znamená menší tření.

Velikost valivého tření je dána vzorcem  $F_{tv} = \xi \frac{N}{R}$ , kde N je velikost kolmé tlakové síly, R je poloměr valíciho se předmětu a  $\xi$  je koeficient valivého odporu (častěji nazývaný rameno valivého odporu).

**Př. 6:** Urči, v jakých jednotkách se udává rameno valivého odporu.

Vyjádříme koeficient ze vzorce:  $F_{iv} = \xi \frac{N}{R} \Rightarrow \xi = \frac{F_{iv} R}{N}$

Dosadíme jednotky:  $\xi = \frac{F_{iv} R}{N} = \frac{1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ N}} = 1 \text{ m}$

Rameno valivého odporu se udává v metrech.

**Př. 7:** Zkus najít příčiny toho, že žádný živý organismus nevyužívá ke svému pohybu kola.

- Kolo je zcela odděleno do hřídele (a tím i zbytku automobilu)  $\Rightarrow$  živý organismus by nemohl tuto svoji část vyživovat.
- Kola znamenají podstatnou úlevu při přepravě po upravených cestách, v terénu příliš výhodná nejsou.

**Př. 8:** Urči koeficient valivého odporu pro pohyb automobilu na asfaltové silnici, pokud je na vodorovné silnici možné roztláčet automobil o hmotnosti 1600 kg již silou 300 N. Průměr kol je 60 cm.

Síla, kterou automobil roztláčujeme, se musí rovnat valivému odporu automobilu  $\Rightarrow$  dosadíme do vztahu pro valivý odpor.

$F_{iv} = 300 \text{ N}$ ,  $m = 1600 \text{ kg}$ ,  $d = 60 \text{ cm} \Rightarrow R = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$ ,  $\xi = ?$

$F_{iv} = \xi \frac{N}{R} \Rightarrow \xi = \frac{F_{iv} R}{N} = \frac{F_{iv} R}{mg} = \frac{300 \cdot 0,3}{1600 \cdot 10} \text{ m} = 0,0056 \text{ m}$

Koeficient valivého odporu při pohybu automobilu se přibližně rovná 0,0056 m.

**Př. 9:** Jedním ze systémů, které zvyšují bezpečnost moderních automobilů je ABS (Anti-lock Brake System). Tento systém neustále kontroluje otáčení kol a pokud se při brzdění dostanou kola do smyku, sníží tlak v brzdách, aby se kola mohla opět roztočit. Jak je možné, že se tímto způsobem zkrátí brzdná dráha a vyšší manipulovatelnost s automobilem?

- Pokud se kolo normálně točí, místo, které se dotýká vozovky, vůči vozovce stojí  $\Rightarrow$  mezi vozovkou a kolem působí klidové tření (je větší). Pneumatika se navíc může začít pohybovat z tohoto stojícího místa do různých směrů a měnit tak směr pohybu automobilu.
- Pokud se kolo netočí a automobil se pohybuje smykem, místo, které se dotýká vozovky, se vůči ní pohybuje  $\Rightarrow$  mezi pneumatikou a silnicí působí menší smykové tření, navíc pouze v jediném směru, ve směru opačném ke směru pohybu.

ABS zabraňuje smyku  $\Rightarrow$  místo dotyku pneumatiky vůči vozovce stojí  $\Rightarrow$  větší tření s možností změny směru.

**Pedagogická poznámka:** Může se objevit dotaz, jak může automobil zastavit na kratší dráze, když ABS uvolní brzdy a kola se pak mohou volně otáčet. Ukazují na nepochopení celého procesu brzdění. Na brzdění auta se účastní dvě síly: třecí síla mezi kolem a vozovkou (pokud není vůz ve smyku, jde o klidové tření) a třecí síla mezi čelistmi brzd a brzdou plochou kola. Slabý stisk brzdy znamená zvětšení druhé síly, která

pak následně zvětší i sílu první (mezi kolem a vozovkou), která auto doopravdy brzdí. Pokud stiskneme brzdu příliš silně, zvětší se tření brzd na hodnotu, která nemůže nastat mezi kolem a vozovkou. Klidové tření mezi kolem a vozovkou už nedrží kolo v klidu a kolo se začne smýkat, čímž se zmenší brzdná síla. ABS tak ve skutečnosti kontroluje, aby se tření v brzdách nezvýšilo příliš a neprodloužilo brzdnou dráhu tím, že uvede kolo do smyku.

---

**Shrnutí:**