

Přibližné hodnoty statického koeficientu tření μ_T v dělicí rovině

podle VDI 2230, vydání 2015

Kombinace materiálů (Obvykle: stav po opracování)	Statický koeficient tření μ_T ve stavu suchém	naolejovaném
Ocel – ocel / litá ocel (všeobecně)	0,1 až 0,23	0,07 až 0,12
Ocel – ocel; čistěná	0,15 až 0,40	–
Ocel – ocel; cementačně kalená	0,04 až 0,15	–
Ocel – GJL	0,11 až 0,24	0,06 až 0,1
Ocel – GJL; čistěná	0,26 až 0,31	–
Ocel – GJS	0,1 až 0,23	–
Ocel – GJS; čistěná	0,2 až 0,26	–
GJL – GJL	0,15 až 0,3	0,06 až 0,2
GJL – GJL; čistěná / odmaštěná	0,09 až 0,36	–
GJS – GJS	0,25 až 0,52	0,08 až 0,12
GJS – GJS; čistěná / odmaštěná	0,08 až 0,25	–
GJL – GJS	0,13 až 0,26	–
Ocel – bronz	0,12 až 0,28	0,18
GJL – bronz	0,28	0,15 až 0,2
Ocel – měděná slitina	0,07 až 0,25	–
Ocel – hliníková slitina	0,07 až 0,28	0,05 až 0,18
Hliník – hliník	0,19 až 0,41	0,07 až 0,12
Hliník – hliník; čistěná / odmaštěná	0,10 až 0,32	–

Poznámka: Z důvodu velkého počtu veličin, které součinitel tření ovlivňují, mohou být uvedeny pouze typické rozsahy. V konkrétním případě nemusí minimální součinitel tření odpovídat spodní hranici příslušného rozsahu a v případě potřeby je třeba provést experimentální průzkumy. Ty se doporučují také v případě opatření k zvýšení součinitele tření.

Doporučené hodnoty faktoru utažení α_A a odpovídající montážní síly předpětí

podle VDI 2230, vydání 2015

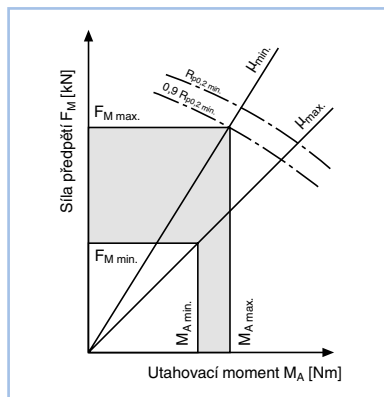
Faktor utažení α_A (montážní nejistota) zohledňuje chyby při odhadu součinitele tření, rozptyl koeficientu tření, způsob utahování, tolerance utahovacího nástroje, provozní chyby a nepřesnosti při odečtu.

α_A tak zohledňuje rozptyl dosažitelné montážní síly předpětí mezi $F_{M \max}$ a $F_{M \min}$. Šroub je dimenzován na maximální utahovací moment $M_{A \max}$, aby šroub při montáži nebyl nadměrně namáhán. Faktor utažení α_A je definován jako:

$$\alpha_A = \frac{\text{max. možné montážní předpětí } F_{M \max}}{\text{min. požadované montážní předpětí } F_{M \min}}$$

Dnes již i jednoduché moderní momentové klíče je možno nastavit s velmi úzkými tolerancemi. Maximální odchylky momentu udávaných výrobcí jsou v rozpětí $\pm 2\%$.

Nicméně výsledné předpětí při montáži, v závislosti na faktoru utažení, může kolísat od $\pm 9\%$ až do $\pm 60\%$.



– utahování s měřením prodloužení – hydraulická utahování – jsou prakticky nezávislá na tření. Jejich faktory α_A jsou nízké.

– utahování řízená utahovacím momentem reagují na vlivy tření. Faktory α_A jsou obecně vyšší:

Menší rozptyl a tím i nižší činitele α_A jsou u koeficientů tření, odvozených z předběžných zkoušek. Totéž platí pro tuhé šrouby s malou svěrnou délkou a pro rychlé způsoby utahování. Vyšší hodnoty α_A jsou u odhadovaných koeficientů tření, v případě měkkých šroubů s pomalejším utahováním, jako např. rázové utahovky či ruční montáž.

Utahovací faktor q_A	Rozptyl $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{q_A - 1}{q_A + 1}$	Způsob utahování	Způsob nastavení	Poznámky	
1,1 až 1,2	$\pm 5\%$ až $\pm 9\%$	Utahování s kontrolou prodloužení nebo monitorování pomocí ultrazvuku	Doba trvání zvuku	– jsou vyžadovány kalibrační hodnoty – při $l_k/d < 2$ je třeba dát pozor na progresivní nárůst chyb – menší chyby při přímém mechanickém spojení, větší při nepřímém spojení	
1,1 až 1,3	$\pm 5\%$ až $\pm 13\%$	Mechanické prodloužení díky přítláčným šroubům, umístěným v matici nebo hlavě šroubu	Specifikace prodloužení šroubu, nastavení prostřednictvím utahovacího momentu přítláčných šroubů	– kalená podložka pro podepření přítláčných šroubů – počínaje cca M24	
1,2 až 1,5	$\pm 9\%$ až $\pm 20\%$	Mechanické prodloužení díky vicedílné matici se závitovým pouzdrem	Utahovací moment utahovacího nástroje	– šroubování do značné míry bez torze – od cca M30	
1,1 až 1,5	$\pm 5\%$ až $\pm 20\%$	Utahování s mechanickým měřením, resp. mechanickou kontrolou prodloužení	Přímá metoda: Nastavení prostřednictvím měření prodloužení Nepřímá metoda: Axiální vůle vůči kontrolnímu kolíku	– vyžadováno: přesné určení poměrných axiálních elastických poddajností šroubu – rozptyl je do značné míry závislý na přesnosti metody měření – pro nízké hodnoty je nutná kalibrace – při $l_k/d < 2$ je třeba dát pozor na progresivní nárůst chyb	
1,1 až 1,4	$\pm 5\%$ až $\pm 17\%$	Hydraulické utahování bez tření a točení	Nastavení prostřednictvím měření tlaku nebo délky nebo úhlu další rotace matice	– při $l_k/d \geq 5$ lze dosáhnout nižších hodnot, u mechanicky opracovaných šroubů a ploch je možné $q_A = 1,05$ – u normovaných šroubů a matic $q_A \geq 1,2$ – nižší hodnoty svěrných délek vedou k vyšším hodnotám q_A – v utahovacím faktoru nejsou brány v úvahu vzniklé ztráty – aplikace od M20 výše	
1,2 až 2,0	$\pm 9\%$ až $\pm 33\%$	Impulzní šroubovák s hydraulickou pulzní jednotkou, s řízením utahovacího momentu a/ nebo úhlu rotace	Nastavení pomocí úhlu rotace nebo dalšího utahovacího momentu	– nízké hodnoty pouze při přednastavení na šroubování přes úhel rotace, servoventil stlačeného vzduchu a počítání pulzů – ve zvláštních případech je možná také montáž přes mez pružnosti	
1,2 až 1,4	$\pm 9\%$ až $\pm 17\%$	Utahování s řízením meze pružnosti, motorické nebo manuální	Daná hodnota relativního momentu a koeficientu úhlu otočení	Rozptyl síly předpětí je v podstatné míře dán rozptylem meze kluzu dané výrobní šarže šroubů. Šrouby jsou zde dimenzovány na $F_{M \min.}$; u tohoto způsobu utahování tedy odpadá dimenzování šroubů na $F_{M \max.}$ s faktorem utažení q_A .	
1,2 až 1,4	$\pm 9\%$ až $\pm 17\%$	Motorové nebo ruční utahování na úhel pootočení	Experimentální stanovení předběžného utahovacího momentu a úhlu rotace (ve stupních)		
1,4 až 1,6	$\pm 17\%$ až $\pm 23\%$	Utahování hydraulickým nástrojem s řízením utahovacího momentu	Nastavení pomocí měření tlaku	– aplikace od M30 výše	
1,4 až 1,6	$\pm 17\%$ až $\pm 23\%$	Utahování momentovým klíčem s řízením utahovacího momentu, klíčem se signalizací nebo motorickým šroubovákem s dynamickým měřením utahovacího momentu	Experimentální stanovení předepsaných utahovacích momentů na originálním šroubovacím dílu, např. pomocí měření prodloužení šroubu	Nízké hodnoty: Vyžadován větší počet pokusů nastavení nebo sledování (např. 20); nutný nízký rozptyl poskytovaného momentu (např. $\pm 5\%$)	Nízké hodnoty pro: – malé úhly rotace, to znamená relativně tuhé spoje – relativně malá tvrdost protipozice ^{a)} – protipozice, které nemají sklon k zadření, např. fosfátované nebo s dostatečným mazáním
1,6 až 2,0 (Reibungszahl-klasse B)	$\pm 23\%$ až $\pm 33\%$	Utahování momentovým klíčem s řízením utahovacího momentu, klíčem se signalizací nebo motorickým šroubovákem s dynamickým měřením utahovacího momentu	Stanovení požadovaného utahovacího momentu odhadem součinitele tření (velký vliv mají vlastnosti povrchů a mazání)	Nízké hodnoty pro: Měřicí momentové klíče při rovnoměrném utahování a pro přesné šroubováky Vysoké hodnoty pro: Momentové klíče se signalizací nebo zalamovací momentové klíče	Vysoké hodnoty pro: – velké úhly rotace, to znamená relativně poddajné spoje a také závit s jemným stoupáním – velká tvrdost protipozice, spojená s hrubým povrchem
1,7 až 2,5 (Reibungszahl-klasse A)	$\pm 26\%$ až $\pm 43\%$				
2,5 až 4	$\pm 43\%$ až $\pm 60\%$	Utahování rázovým šroubovákem, šroubovákem s přímým pohonem nebo impulzním šroubovákem; utahování rukou	Nastavení klíče na základě dotahovacího momentu, odvozeného od požadovaného utahovacího momentu (pro odhadovaný součinitel tření) plus přípustná rezerva; utahování rukou podle subjektivního odhadu	Nízké hodnoty pro: – velký počet pokusů o nastavení (dotahovací moment) – na horizontální křivce charakteristiky šroubu – přenos impulzu bez vůle Metoda vhodná k předběžnému utahování, při utahování rukou hrozí přílišné protažení u M10 a menších	

^{a)} Povrch: Utahovaný díl, jehož povrch je ve styku s utahovacím prvkem spoje (hlava šroubu nebo matice).

Poznámka: V konkrétním případě jsou možné menší utahovací faktory. Jsou náročnější, pokud jde o proces seřizování, kvalitu nástroje a/nebo kvalitu spojovacích prostředků a konstrukčních dílů.