

Tilnærmelsesværdier for statisk friktionskoefficient μ_T i samlingens skilleflade

i henhold til VDI 2230, udgave 2015

Materiale parring (Normalt: tilstanden efter bearbejdningen)	Statisk friktionskoefficient μ_T i tilstanden	
	tør	smurt
Stål – stål/ støbt stål (generelt)	0,1 til 0,23	0,07 til 0,12
Stål – stål; rengjort	0,15 til 0,40	–
Stål – stål; indsatsshærdet	0,04 til 0,15	–
Stål – GJL	0,11 til 0,24	0,06 til 0,1
Stål – GJL; rengjort	0,26 til 0,31	–
Stål – GJS	0,1 til 0,23	–
Stål – GJS; rengjort	0,2 til 0,26	–
GJL – GJL	0,15 til 0,3	0,06 til 0,2
GJL – GJL; rengjort/ affedt	0,09 til 0,36	–
GJS – GJS	0,25 til 0,52	0,08 til 0,12
GJS – GJS; rengjort/ affedt	0,08 til 0,25	–
GJL – GJS	0,13 til 0,26	–
Stål – bronze	0,12 til 0,28	0,18
GJL – bronze	0,28	0,15 til 0,2
Stål – kobberlegering	0,07 til 0,25	–
Stål – aluminiumlegering	0,07 til 0,28	0,05 til 0,18
Aluminium – aluminium	0,19 til 0,41	0,07 til 0,12
Aluminium – aluminium; rengjort/ affedt	0,10 til 0,32	–

Bemærkning: På grund af de mange faktorer, der påvirker friktionskoefficienten, kan der kun angives typiske friktionsområder. I konkrete tilfælde må den minimale friktionskoefficient ikke svare til den laveste værdi i det pågældende friktionsområde, og der skal eventuelt udføres eksperimentelle undersøgelser. Disse anbefales også ved foranstaltninger til en forøgelse af friktionskoefficienten.

Vejledende værdier for tilspændingsfaktoren α_A og forspændingskraft

i henhold til VDI 2230, udgave 2015

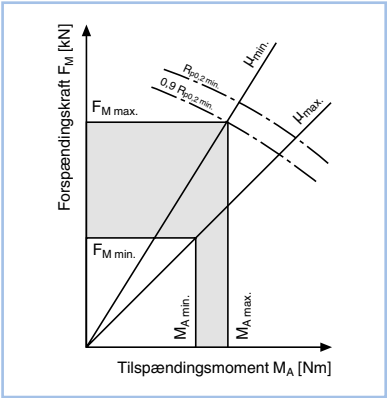
Tilspændingsfaktoren α_A (usikkerhed ved montagen) tager hensyn til fejl ved friktionskoefficientens vurdering, spredning i friktionskoefficient, tilspændingsmetoden, tolerancer på værktøj, såvel som betjeningsfejl og unøjagtig aflæsning.

α_A tager hermed hensyn til den opnåelige montage forspændingskrafts spredning mellem $F_{M \max}$ og $F_{M \min}$. Skruen bliver beregnet ved det maksimale tilspændingsmoment $M_{A \max}$, hvorved skruen ikke bliver overbelastet ved montagen. Tilspændingsfaktoren α_A er herved defineret som:

$$\alpha_A = \frac{\text{max. mulig tilspændingskraft } F_{M \max}}{\text{min. nødvendig tilspændingskraft } F_{M \min}}$$

Selv enkle, moderne skruetrækkere leverer i dag tilspændingsmoment i meget snæver tolerance. Maksimal momentetsspredning indenfor $\pm 2\%$ er sædvanligvis angivet af producenten. Trods dette er den resulterende forspændingskraft afhængig af tilspændingsfaktoren fra $\pm 9\%$ op til $\pm 60\%$.

- Tilspændingsmetoder med måling af forlængelse f.eks. hydraulisk tilspænding er praktisk uafhængig af friktion. Deres α_A faktorer er lave.
- Drejemomentets regulære tilspændingsmetoder reagerer på friktionens indflydelse. α_A faktorer er generelt højere.: Mindre spredning og dermed lavere α_A faktorer fremkommer ved friktionskoefficienter som skaffes ved praktiske forsøg. Det samme gælder for stive boltesamlinger med korte klemlængder og for tilspændingsmetoder med jævn hastighed. Højere α_A faktorer opstår ved anslåede friktionskoefficienter, ved bløde boltesamlinger såvel ved tilspændingsmetoder som ikke forløber jævnt som f. eks. ved slagskruetrækker, impuls-skruetrækker og håndmontage.



Tilspændings-faktor α_A	Spredning	Tilspændingsmetoder	Indstillingsmetoder	Bemærkninger	
	$\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{\alpha_A - 1}{\alpha_A + 1}$				
1,1 til 1,2	$\pm 5\%$ til $\pm 9\%$	Tilspænding med forlængelsesstyring eller kontrol vha. ultralyd	Løbetid på lyd	– kalibreringsværdier nødvendige – ved $l_k/d < 2$ skal progressiv fejlforgørelse tages i betragtning – mindre fejl ved direkte mekanisk tilkobling, større ved indirekte tilkobling	
1,1 til 1,3	$\pm 5\%$ til $\pm 13\%$	Mekanisk forlængelse ved hjælp af trykskruer placeret i møtrikken eller bolthovedet	Fordefineret forlængelse af bolten, indstilling via moment på trykskruerne	– hærdet underlagsskive til understøtning af trykskruerne – fra ca. M24	
1,2 til 1,5	$\pm 9\%$ til $\pm 20\%$	Mekanisk forlængelse ved hjælp af møtrikker i flere dele med gevindbøsning	Moment på tilspændingsværktøjet	– overvejende torsionsfri tilspænding – fra ca. M30	
1,1 til 1,5	$\pm 5\%$ til $\pm 20\%$	Tilspænding med mekanisk forlængelsesmåling eller -kontrol	Direkte metode: indstilling via forlængelsesmåling Indirekte metode: aksialt spillerum til kontrolstift opbrugt	– nødvendigt: præcis bestemmelse af den proportionale aksiale elasticitet på bolten – spredningen meget afhængig af præcisionen i målingen – for lave værdier er kalibrering nødvendig – ved $l_k/d < 2$ skal progressiv fejlforgørelse tages i betragtning	
1,1 til 1,4	$\pm 5\%$ til $\pm 17\%$	Hydraulisk friktions- og torsionsfri tilspænding	Indstilling via tryk- eller forlængelsesmåling eller yderligere rotationsvinkel på møtrik	– ved $l_k/d \geq 5$ kan mindre værdier opnås, ved mekanisk bearbejdede bolte og plader er $\alpha_A = 1,05$ mulig – ved standardbolte og -møtrikker $\alpha_A \geq 1,2$ – mindre klemlængdeværdier fører til højere α_A-værdier – der sker et tab i fjedringsevne, der ikke tages i betragtning i tilspændingsfaktoren – anvendelse fra M20	
1,2 til 2,0	$\pm 9\%$ til $\pm 33\%$	Impuls værktøj med hydraulisk impulsgenerator, moment og/eller vinkelstyret	Indstilling via rotationsvinkel eller yderligere moment	– små værdier kun ved forindstilling til tilspænding via rotationsvinkel, tryklufservoventil og impulstælling – i særlige tilfælde er montage op til flydespændingen også mulig	
1,2 til 1,4	$\pm 9\%$ til $\pm 17\%$	Strækgrænsestyret tilspænding, motorisk eller manuelt	Forindstilling af den relative moment-rotation vinkel koeficient	Spredningen i klemkraften er et resultat af spredningen i flydespændingen i det anvendte bolteparti. Boltene bliver her dimensioneret for $F_{M \min.}$; et design af bolte for $F_{M \max.}$ med tilspændingsfaktoren α_A er derfor bortfaldet for denne tilspændingsmetode.	
1,2 til 1,4	$\pm 9\%$ til $\pm 17\%$	Rotationvinkelstyret tilspænding motorisk eller manuelt	Forsøgsræssig bestemmelse af indledende tilspændingsmoment og rotationsvinkel (trin)		
1,4 til 1,6	$\pm 17\%$ til $\pm 23\%$	Momentstyret tilspænding med hydraulisk værktøj	Indstilling via trykmåling	– fra ca. M30	
1,4 til 1,6	$\pm 17\%$ til $\pm 23\%$	Momentstyret tilspænding med momentnøgle, signalgivende nøgle eller motorisk nøgle med dynamisk momentmåling	Forsøgsræssig bestemmelse af nominelle tilspændingsmomenter på den originale klemdele, f.eks. via forlængelsesmåling af bolten	Lave værdier: højt antal af indstillings- og kontrolforsøg (f.eks. 20) nødvendigt; lav spredning på det fremkomne moment (f.eks. $\pm 5\%$) nødvendigt	Lave værdier for: – små rotationsvinkler, dvs. relativt stive forbindelser – relativt lav hårdhed på modstående flade ^{a)} – modstående flader, der ikke har en tendens til «fastbrænding» eks. fosfaterede eller ved tilstrækkelig smøring
1,6 til 2,0 (Friktionskoefficient klasse B)	$\pm 23\%$ til $\pm 33\%$	Momentstyret tilspænding med momentnøgle, signalgivende nøgle eller motorisk nøgle med dynamisk momentmåling	Fastlæggelse af det nominelle tilspændingsmoment ud fra en vurdering af friktionskoefficienten (overflade- og smørebetingelser har stor betydning)	Lave værdier for: målende momentnøgler ved ensartet tilspænding og for præcisionssnøgler	Høje værdier for: – store rotationsvinkler, dvs. relativt elastiske forbindelser samt fugevind – stor hårdhed på modstående flade sammen med en ru overflade
1,7 til 2,5 (Friktionskoefficient klasse A)	$\pm 26\%$ til $\pm 43\%$			Høje værdier for: signalgivende eller «click»-momentnøgler med	
2,5 til 4	$\pm 43\%$ til $\pm 60\%$	Tilspænding med slagnøgle, eller impuls værktøj; manuel tilspænding	Indstilling af skruetrækker vha. efterspændingsmomentet, som skabes af det ønskede tilspændingsmoment (for en estimeret friktionskoefficient) plus et tillæg; manuel tilspænding efter subjektiv vurdering	Lave værdier for: – højt antal af indstillingsforsøg (efterspændingsmoment) – på den horisontale gren af skruemaskinekarakteristikken – spillerumsfri impulsoverførsel Metode kun egnet til indledende tilspænding, ved manuel tilspænding er der fare for overstrækning ved M10 og mindre	

^{a)} Overflade: Forspændt del, hvis overflade er i kontakt med samlingens tilspændingselement (boltens hoved eller møtrik).

Bemærkning: Mindre tilspændingsfaktorer er mulige i den konkrete situation. De kræver en større indsats i forhold til indstillingsprocessen, kvaliteten af værktøjet og/eller kvaliteten af forbindelseselementer og komponenter.