

Przybliżone wartości współczynnika tarcia statycznego μ_T w szczelinie podziałowej

według VDI 2230, wydanie 2015

Dobór par materiałów (Reguła: stan po edycji)	Współczynnik tarcia statycznego μ_T w stanie	
	stan suchy	stan nasmarowany
Stal – stal/ staliwo (standardowe)	0,1 do 0,23	0,07 do 0,12
Stal – stal; oczyszczona	0,15 do 0,40	–
Stal – stal; hartowana	0,04 do 0,15	–
Stal – GJL	0,11 do 0,24	0,06 do 0,1
Stal – GJL; oczyszczona	0,26 do 0,31	–
Stal – GJS	0,1 do 0,23	–
Stal – GJS; oczyszczona	0,2 do 0,26	–
GJL – GJL	0,15 do 0,3	0,06 do 0,2
GJL – GJL; oczyszczona/odtłuszczone	0,09 do 0,36	–
GJS – GJS	0,25 do 0,52	0,08 do 0,12
GJS – GJS; oczyszczona/odtłuszczone	0,08 do 0,25	–
GJL – GJS	0,13 do 0,26	–
Stal – Brąz	0,12 do 0,28	0,18
GJL – Brąz	0,28	0,15 do 0,2
Stal – stopy miedzi	0,07 do 0,25	–
Stal – stop aluminium	0,07 do 0,28	0,05 do 0,18
Aluminium – aluminium	0,19 do 0,41	0,07 do 0,12
Aluminium – aluminium; oczyszczona/odtłuszczone	0,10 do 0,32	–

Uwaga: Z powodu dużej ilości wielkości oddziałujących na współczynnik tarcia można wyznaczać jedynie typowe obszary. W konkretnym przypadku minimalny współczynnik tarcia nie musi być zgodny z dolną granicą aktualnego obszaru i w razie potrzeby należy wykonać eksperymentalne badania. Zaleca się ich wykonanie także w przypadku działań zmierzających do zwiększenia współczynnika tarcia.

Orientacyjne wartości współczynnika dociągnięcia α_A i wynikowych sił naprężenia montażowego

według VDI 2230, wydanie 2015

Współczynnik dociągnięcia α_A (niepewność montażu) uwzględnia błędy przy oszacowaniu wartości współczynnika tarcia, rozrzutu wartości współczynnika tarcia, metodę dociągania, tolerancje przyrządów jak i również błędy obsługi i niedokładność odczytu.

Zatem współczynnik α_A uwzględnia rozrzut wartości wynikowej siły naprężenia montażowego pomiędzy $F_{M \max}$ i $F_{M \min}$. Wymiary śrub wyznacza się w oparciu o maksymalny moment dociągający $M_{A \max}$, tak, aby podczas montażu śruba nie była przeciążona. Tak więc współczynnik dociągnięcia α_A jest zdefiniowany jako:

$$\alpha_A = \frac{\text{max. możliwa siła naprężenia montażowego } F_{M \max}}{\text{min. wymagana siła naprężenia montażowego } F_{M \min}}$$

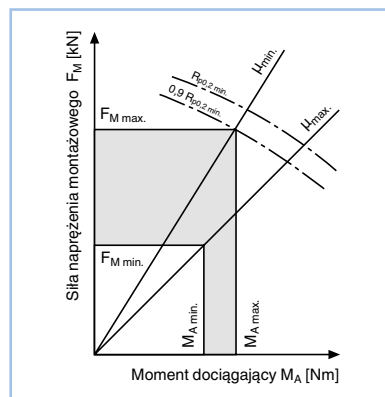
Nawet proste, współczesne wkrętarki dynamometryczne pozwalają dzisiaj na osiągnięcie momentu dociągającego w bardzo wąskich tolerancjach. Maksymalny rozrzut momentu dociągającego mieszczący się w przedziale $\pm 2\%$, to niemal standard w produkowanych dzisiaj wkrętarkach.

Mimo to rozrzut możliwy do uzyskania wartości siły naprężenia montażowego w zależności od wartości współczynnika dociągnięcia α_A wynosi od $\pm 9\%$ aż do $\pm 60\%$.

- metody dociągania poprzez pomiar bezwzględnego wydłużenia śruby – dociąganie hydrauliczne, są praktycznie niezależne od tarcia. Wartość współczynnika α_A w tych metodach jest niska.
- metody dociągania z regulacją momentu obrotowego reagują na wpływy tarcia. Wartości współczynnika α_A są tutaj generalnie wyższe:

Mniejszy rozrzut a tym samym niższe wartości współczynnika α_A uzyskuje się przy tych współczynnikach tarcia, które zostały ustalone podczas wstępnych prób praktycznych. To samo obowiązuje dla śrub twardych o krótkiej długości ścisku oraz przy dokręcaniu płynnym (bez przerw).

Współczynnik α_A osiąga wyższe wartości przy szacunkowych wartościach współczynnika tarcia, w przypadku śrub miękkich oraz przy metodach dokręcania, które nie przebiegają płynnie, np. przy dociąganiu wkrętarką udarową, wkrętarką sterowaną impulsowo i montażu ręcznym.



Metody dokręcania, współczynnik dociągnięcia α_A

Współczynnik dociągnięcia α_A	Rozrzut $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{\alpha_A - 1}{\alpha_A + 1}$	Metoda dociągania	Metoda nastawienia	Uwagi
1,1 do 1,2	$\pm 5\%$ do $\pm 9\%$	Dokręcanie ze sterowaniem lub kontrolowaniem wydłużenia przy użyciu ultradźwięku	Czas trwania mocy akustycznej	– wymagane wartości kalibrowania – w przypadku $l_e/d < 2$ przestrzegając progresywnego wzrostu ryzyka błędu – mniejszy błąd przy bezpośrednim dociskaniu mechanicznym, większy przy pośrednim dociskaniu
1,1 do 1,3	$\pm 5\%$ do $\pm 13\%$	Wydłużenie mechaniczne przy użyciu śrub dociskowych z dopasowaną nakrętką lub łbem	Wyrównanie wydłużenia śruby, wyregulowanie śrub dociskowych poprzez wykorzystanie momentu obrotowego	– hartowana podkładka do podparcia śrub dociskowych – od rozmiaru ok. M24
1,2 do 1,5	$\pm 9\%$ do $\pm 20\%$	Wydłużenie mechaniczne przy użyciu wieloczęściowej nakrętki ze ślepą tulejką	Moment obrotowy narzędzia mocującego	– zasadniczo dokręcanie bez skręcania – od rozmiaru ok. M30
1,1 do 1,5	$\pm 5\%$ do $\pm 20\%$	Dokręcanie z mechanicznym pomiarem lub kontrolowaniem wydłużenia	Prosta procedura: Wyregulowanie poprzez wykorzystanie Pomiaru wydłużenia w procedurze pośredniej: Wykorzystany luz osiowy do kołka kontrolnego	– konieczne: dokładne ustalenie proporcjonalnej osiowo elastycznej podatności śruby – zasięg istotnie uzależniony od dokładności procedury pomiarowej – für niedrige Werte Kalibrierung erforderlich – w przypadku $l_e/d < 2$ progressive Fehlerzunahme beachten
1,1 do 1,4	$\pm 5\%$ do $\pm 17\%$	Hydrauliczne dokręcanie bez tarcia i skręcania	Wyregulowanie poprzez wykorzystanie pomiaru docisku lub wydłużenia, albo dodatkowego kąta obrotu nakrętki	– w przypadku $l_e/d \geq 5$ osiągnięte są mniejsze wartości, w przypadku mechanicznej obróbki śrub i płytek możliwe $\alpha_A = 1,05$ – w przypadku zwykłych śrub i nakrętek $\alpha_A \geq 1,2$ – mniejsze współczynniki długości zaciskowych prowadzą do zwiększenia wartości α_A – dochodzi do utraty sprężystości wstecznej, która nie ma wpływu na współczynnik dokręcania – zastosowanie od rozmiaru M20
1,2 do 2,0	$\pm 9\%$ do $\pm 33\%$	Klucz impulsowy z hydrauliczną komorą pulsującą, ze sterowaniem momentu obrotowego oraz / lub kąta obrotu	Wyregulowanie poprzez wykorzystanie kąta obrotu lub dodatkowego momentu obrotowego	– małe wartości tylko w przypadku wyregulowania wstępnego na gwintowanym połączeniu śrubowym przy wykorzystaniu kąta obrotu, zaworu sprężonego powietrza i współczynnika pulsowania – w szczególnym przypadku możliwy także ponadelastyczny zakres montażu
1,2 do 1,4	$\pm 9\%$ do $\pm 17\%$	Dokręcanie ze sterowaniem granicą odległości, motoryczne lub manualne	Zadana wielkość względnego współczynnika momentu obrotowego i kąta obrotu.	Istotny wpływ na rozrzut siły naprężenia montażowego ma rozrzut granicy plastyczności w odniesieniu do zamontowanej partii śrub. Wymiary śrub określane są w tym przypadku dla F_{Mmin} . Dlatego przy tej metodzie dokręcania można pominąć wyznaczanie parametrów śruby dla F_{Mmax} z zastosowaniem współczynnika dociągnięcia α_A .
1,2 do 1,4	$\pm 9\%$ do $\pm 17\%$	Dociąganie: z regulacją kąta obrotu, wkrętkarką silnikową lub ręcznie	Próbne ustalenie wstępnego momentu dokręcania i kąta obrotu (zakres)	
1,4 do 1,6	$\pm 17\%$ do $\pm 23\%$	Dokręcanie ze sterowaniem momentem obrotowym przy użyciu narzędzia hydraulicznego	Wyregulowanie przy wykorzystaniu pomiaru docisku	– od rozmiaru ok. M30
1,4 do 1,6	$\pm 17\%$ do $\pm 23\%$	Dokręcanie ze sterowaniem momentem obrotowym przy użyciu klucza dynamometrycznego, klucza sygnałowego lub motorycznego śrubokręta obrotowego z dynamicznym pomiarem momentu obrotowego	Próbne ustalenie żądanego momentu dokręcania na oryginalnym elemencie śruby, np. przez pomiar wydłużenia śruby	Obniżone wartości: Wymagany wysoki współczynnik prób wyregulowania lub sprawdzania (np. 20); niezbędny niewielki zasięg wyznaczonego momentu (np. $\pm 5\%$) Obniżone wartości dla: – małego kąta obrotu, to znaczy względnie sztywne połączenia – względnie niewielkiej twardości łączenia graniowego ^{a)} – połączeń graniowych, które mają skłonność do „wyzerania”, np. fosforowanych lub odpowiednio nasmarowanych
1,6 do 2,0 (Współczynnik tarcia, klasa B)	$\pm 23\%$ do $\pm 33\%$	Dokręcanie ze sterowaniem momentem obrotowym przy użyciu klucza dynamometrycznego, klucza sygnałowego lub motorycznego śrubokręta obrotowego z dynamicznym pomiarem momentu obrotowego	Ustalenie żądanej wartości momentu dociągającego poprzez oszacowanie współczynnika tarcia (Duże oddziaływanie na warunki powierzchniowe i smarne)	Obniżone wartości dla: Wymierzonego klucza dynamometrycznego w przypadku jednoczesnego dokręcania oraz Dla wkrętaka precyzyjnego duże wartości dla: Sygnałowego lub zagiętego klucza dynamometrycznego Wysokie wartości dla: – wysokiego kąta obrotu, to znaczy względnie elastyczne połączenia oraz gwinty drobnozwojowe – dużej twardości łączenia graniowego, łączenie z szorstkimi powierzchniami
1,7 do 2,5 (Współczynnik tarcia, klasa A)	$\pm 26\%$ do $\pm 43\%$			
2,5 do 4	$\pm 43\%$ do $\pm 60\%$	Dokręcanie przy użyciu wkrętaka udarowego «wkrętek przeciążeniowy» lub klucza impulsowego; dokręcanie ręczne	Nastawienie wkrętkarki na wartość momentu dociągającego, wynikającego z żądanej wartości momentu dociągającego (dla przybliżonego współczynnika tarcia) oraz wielkości naddatku; Dokręcanie ręczne według subiektywnej oceny	Obniżone wartości dla: – wysokiego współczynnika prób regulacji (moment dokręcania) – poziomej charakterystyki wkrętaka – przekazywania impulsu pozbawionego luzu Procedura odpowiednia do dokręcania wstępnego, w przypadku dokręcania ręcznego istnieje ryzyko rozciągnięcia w przypadku rozmiaru M10 i mniejszego

^{a)} Warstwa współpracująca: dociągnięty detal, którego powierzchnia styka się z powierzchnią elementu dociągającego (łeb śruby lub nakrętka).

Uwaga: W konkretnym przypadku możliwe są mniejsze współczynniki mocowania. Wymagają one większego wysiłku w odniesieniu do procesu regulacji, jakości narzędzia oraz/lub jakości łącznika i komponentu.