

**POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
KATEDRA KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI MASZYN**



**BADANIE NAPIĘCIA WSTĘPNEGO W ŁĄCZNIKACH ŚRUBOWYCH.
OSZACOWANIE WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA W POŁĄCZENIACH
GWINTOWYCH**

**ĆWICZENIE LABORATORYJNE NR 2
Z EKSPLOATACJI**

Opracował: dr inż. Krzysztof KURZYCH

GDAŃSK 2000

1. CEL ĆWICZENIA.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą badania siły w obciążonych złączach śrubowych oraz sposobem oszacowania współczynnika tarcia w połączeniu gwintowym. Poszerzenie i utrwalenie wiedzy na temat spoczynkowych połączeń śrubowych, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu stanu powierzchni elementów śrubowych na rzeczywistą wartość siły w śrubie i moment dokręcania.

2. WPROWADZENIE DO ĆWICZENIA.

Moment dokręcania złącza śrubowego oblicza się ze wzoru :

$$M_n = M_1 + M_2 = 0,5 \cdot P \cdot d_p \cdot \operatorname{tg}(\rho' + \gamma) + 0,5 \cdot P \cdot D_T \cdot \mu \quad [1]$$

- M_n - moment przyłożony do nakrętki (lub śruby)
- P - siła rozciągająca śrubę
- d_p - średnica podziałowa śruby
- ρ - zredukowany kąt tarcia
- μ - współczynnik tarcia

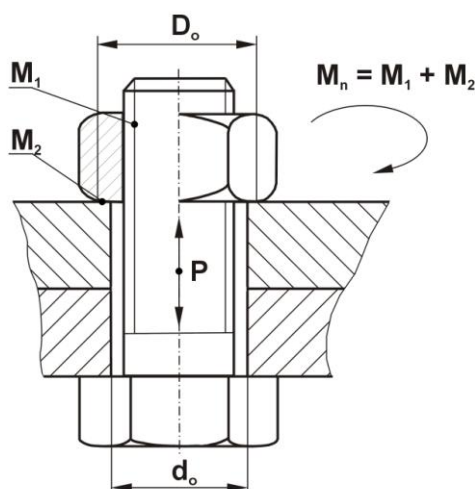
$$\rho' = \operatorname{arctg} \mu = \operatorname{arctg} \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad [2]$$

- γ - kąt wzniosu linii śrubowej

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left(\frac{h}{\pi \cdot d_p} \right) \quad [3]$$

- h - skok gwintu
- D_T - średnia średnica styku nakrętki i elementu łączonego przyjmowana za średnicę, na której działa siła tarcia

$$D_T = \frac{D_o + d_o}{2} \quad [4]$$



Rysunek 1. Model pojedynczego złącza śrubowego ze śrubą luźną.

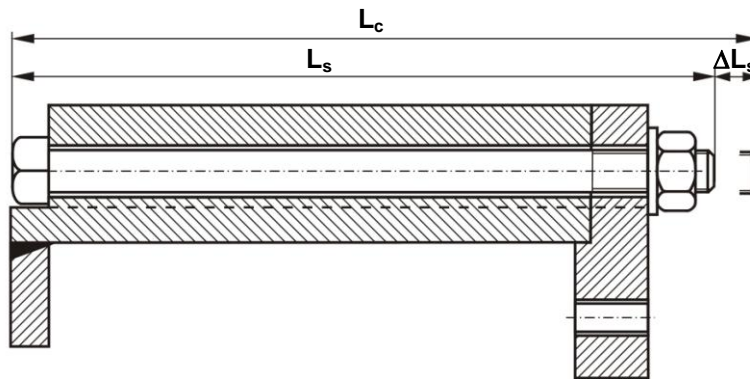
Po przekształceniu wzoru [1] wyznaczmy wartość siły w śrubie :

$$P = \frac{2 \cdot M_n}{d_p \cdot \operatorname{tg}(\rho' + \gamma) + D_T \cdot \mu} \quad [5]$$

Pod wpływem siły P śruba wydłuży się o wartość ΔL_S , zgodnie z prawem Hooke'a:

$$\Delta L_S = \varepsilon \cdot L_S = \frac{\sigma \cdot L_S}{E} = \frac{P}{E} \cdot \frac{L_S}{F} = \frac{P}{C_{\text{śr}}} \quad [6]$$

- ΔL_S - przyrost długości śruby
- ε - wydłużenie względne
- L_S - swobodna długość śruby
- L_C - całkowita długość śruby
- F - pole przekroju poprzecznego śruby
- E - moduł sprężystości podłużnej (Younga)
- $C_{\text{śr}}$ - sztywność śruby



Rysunek 2. Model złącza obciążonego siłą P.

Po podstawieniu wyrażenia [5] do [6] i przekształceniu otrzymamy wartość wydłużenia śruby ΔL_S :

$$\Delta L_S = \frac{8 \cdot M \cdot L_S}{[d_p \cdot \operatorname{tg}(\rho' + \gamma) + D_T \cdot \mu] \cdot \pi \cdot d_r^2 \cdot E} \quad [7]$$

gdzie: d_r - średnica rdzenia śruby

Różnice w wydłużeniu śrub wywołane momentem M_n są miernikiem rozrzutu siły rozciągającej śruby. Wyznaczona wartość wydłużenia pozwala na oszacowanie wartości współczynnika tarcia w połączeniu.

Wartość współczynnika tarcia w połączeniach śrubowych zawiera się w szerokich granicach (0,05 ÷ 0,4) i zależy od materiału, dokładności wykonania gwintu, stosowanego pokrycia galwanicznego, smarowania, stanu czystości powierzchni, chropowatości, wilgotności powietrza. Duży rozrzut współczynnika tarcia pociąga za sobą rozrzut wartości siły P. Polska Norma zaleca napinanie śrub blisko granicy plastyczności (około $0,8R_e$). Zbyt małe napięcie wstępne w śrubie nie zapewnia poprawnych warunków pracy połączenia; zbyt duże, oprócz trwałego odkształcenia łączonych elementów może doprowadzić do zerwania śruby lub uszkodzenia

nakrętki. Ze względu na duży rozrzut wartości współczynnika tarcia w połączeniu gwintowym konieczne jest zaproponowanie szybkiej metody, która w przybliżeniu pozwoli oszacować jego wartość. Jednym ze sposobów stabilizacji (zawężenia rozrzutu) współczynnika tarcia jest zastosowanie powłok. Powłoki nie tylko mają na celu zmianę współczynnika tarcia i jego stabilizację, ale także chronią powierzchnię przed wpływem atmosfery. Producenci oferują duży asortyment łączników z różnymi pokryciami na przykład:

Cynkowo chromianowa	Fe/Zn6 c
Miedziowo niklowa	Fe/Cu6 Ni3 b
Kadmowo chromianowa	Fe/Cd15 c
Cynkowa	Fe/Zn6
Tlenkowa wytworzona metodą elektrochemiczną	Fe/An
Fosforanowa nasycona olejem	Fe/Fg
Niklowo chromowa	Cu/Ni6Cr1r
itd.	

Wartość liczbowa oznacza grubość powłoki w μm .

Symbole literowe:

c	-	chromianowana,
b	-	błyszcząca,
r	-	chromowa zwykła,
An	-	anodowa.

W oznaczeniach nie określa się grubości powłok tlenkowych i fosforanowych. Istnieje cała grupa powłok, które można wytworzyć bezpośrednio w procesie montażu, używając w tym celu różnych środków smarowych, np. oleje, smar z dwusiarczkiem molibdenu, smary plastyczne, smary plastyczne z dodatkiem grafitu lub pokrycia oferowane przez firmę Loctait, które mogą zabezpieczać także przed luzowaniem się połączeń. Stosowanie smarów i past, prócz zmniejszania współczynnika tarcia, powodują także zmniejszenie rozrzutu jego wartości.

3. OPIS ĆWICZENIA.

Ćwiczenie jest wykonywane samodzielnie przez grupę pod nadzorem prowadzącego. Studenci przystępujący do ćwiczenia są zobowiązani do wcześniejszego zapoznania się z instrukcją oraz przypomnienie sobie wiadomości z połączeń gwintowych spoczynkowych.

Przed ćwiczeniem należy obliczyć (w domu) wartość momentu jakim należy dokręcić śrubę M12; pozostałe parametry śruby:

$$D = d = 12\text{mm}$$

$$H = 1.75\text{mm}$$

$$D_p = 10,863\text{mm}$$

$$D_0 = 18,05\text{mm}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$d_0 = 13\text{mm}$$

$$\mu = 0,05$$

Prowadzący sprawdza przygotowanie studentów do wykonania ćwiczeń.

3.1. Czynności przygotowawcze.

Ćwiczenie należy przeprowadzić dla różnych rodzajów pokryć (minimum trzech). Rodzaje pokryć podaje prowadzący zajęcia.

Czynności dla wybranego rodzaju pokrycia :

Wykonać montaż połączeń (minimum trzech) śrub z wybranym pokryciem przez wstępne dokręcenie śrub ręką do oporu. W tym stanie bez napięcia wstępnego dokonujemy pomiaru długości śrub L_s . Otrzymane wyniki należy zanotować. Następnie dokręcić śruby kluczem dynamometrycznym. Należy szczególną uwagę zwrócić na sposób montażu połączenia.

Nakrętkę należy dokręcać ze stałą prędkością, bez zatrzymań i szarpnięć. Po dokręceniu nakrętki powtórnie dokonujemy pomiaru długości śruby L_c i notujemy otrzymane wyniki.

Dla danej powłoki należy przeprowadzić analizę statystyczną pomiarów (patrz dodatek „Analiza statystyczna”). Czynności powtórzyć dla danego zestawu (z tą samą powłoką) dwukrotnie. Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników. Wykonać sprawozdanie, które powinno być oddane w terminie nie dłuższym niż tydzień po zakończeniu ćwiczenia.

Analiza statystyczna pomiarów

1. Średnia wartość wydłużenia śruby $\Delta \bar{L}_S$

$$\Delta \bar{L}_S = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (L_{ci} - L_{si}) \quad [8]$$

- L_{ci} - całkowita długość i-tej śruby
- L_{si} - swobodna długość i-tej śruby
- n - ilość dokonanych pomiarów

2. Błąd średni kwadratowy σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta L_{si} - \Delta \bar{L}_S)^2} \quad [9]$$

3. Błąd średni kwadratowy od wartości średniej σ_r

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta L_{si} - \Delta \bar{L}_S)^2} \quad [10]$$

4. Wynik pomiaru ΔL_S

$$\Delta L_S = \Delta \bar{L}_S \pm t \cdot \sigma_r \quad [11]$$

gdzie:

- t - współczynnik uwzględniający ilość pomiarów dla danego poziomu ufności. Dla $n=6$ i poziomu ufności $P=0,95$; $t=2,571$

4. Literatura.

1. Maciakowski R.: „Połączenia śrubowe" Gdańsk 1991 Skrypt PG
2. Korewa W.; Zygmunt K. : „Podstawy Konstrukcji Maszyn - część II" Warszawa, WNT 1973
3. Szywczyk K.: „Połączenia gwintowe" Warszawa, PWN 1991
4. Jezierski J.: „Analiza tolerancji i niedokładności pomiarów w budowie maszyn" Warszawa, PWN 1983