

Leszek Gardyński ¹⁾, Aleksander Nieoczym ²⁾

BADANIA STANOWISKOWE JAKOŚCI POŁĄCZEŃ GWINTOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań stanowiskowych zmiennych charakteryzujących jakość połączeń śrubowych. Rejestracji podlegał moment skręcający w rdzeniu śruby, moment tarcia pod łbem oraz siła osiowa w śrubie. Przeprowadzono analizę matematyczną i statystyczną uzyskanych wyników. Kolejny etap badań wynikał ze zjawisk tribologicznych, które powodują, że wartość momentu, którym należy dokręcić łącznik gwintowy w celu uzyskania żądanej siły osiowej, nie jest stała. Przeanalizowano więc wpływ obecności czynnika smarującego, rodzaju powłoki ochronnej oraz liczby cykli dokręcania i odkręcania.

Słowa kluczowe: połączenie gwintowe, moment dokręcający, moment tarcia, powłoka ochronna.

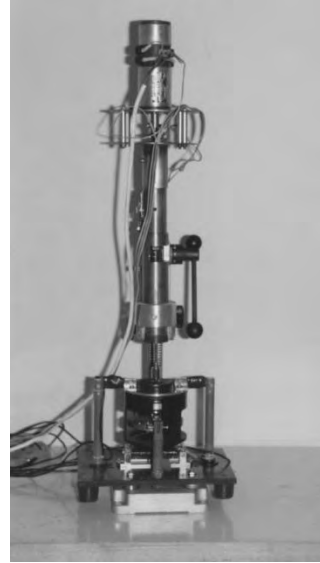
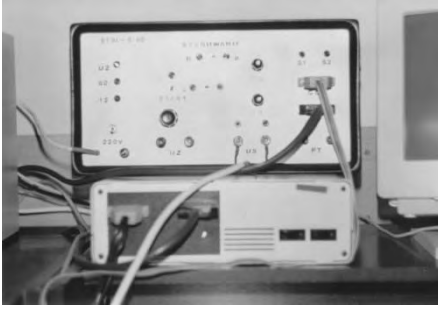
WSTĘP

W procesie dokręcania łącznik gwintowy zostaje napięty siłą zacisku wstępnego Q_w . Siła ta powinna być na tyle duża, aby po przyłożeniu obciążenia roboczego Q_r nie nastąpił luz pomiędzy łączonymi elementami. W połączeniu gwintowym zabezpieczeniem przed obluzowaniem się złącza są siły tarcia, jakie występują na powierzchni gwintu oraz na powierzchni styku łączonych elementów. Aby w złączu występowały dostatecznie duże siły tarcia, każdy łącznik gwintowy musi być dokręcony momentem o określonej wartości, a jego właściwy dobór w procesie konstruowania złącza gwintowego pozwala na zmniejszenie współczynnika bezpieczeństwa w obliczeniach wytrzymałościowych.

W celu określenia wartości parametrów wkręcania dla różnych łączników gwintowych dodatkowo charakteryzowanych przez rodzaj pokrycia ochronnego i rodzaj warstwy smarnej na powierzchni gwintowanej, zbudowano stanowisko badawcze (rys. 1). W jego skład wchodzi: głowica wkręcająca [1], przyrząd do badania przebiegu sił i momentów w procesie wkręcania [2], wzmacniacz tensometryczny, jednostka sterująca pracą głowicy, komputer jako jednostka sterująca nadrzędna oraz zbierająca dane.

¹⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej.

²⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn.



Rys. 1. Stanowisko badawcze: u góry - sterownik i wzmacniacz tensometryczny, po prawej - głowica wkręcająca wraz z przyrządem do badania przebiegu sił i momentów w procesie wkręcania

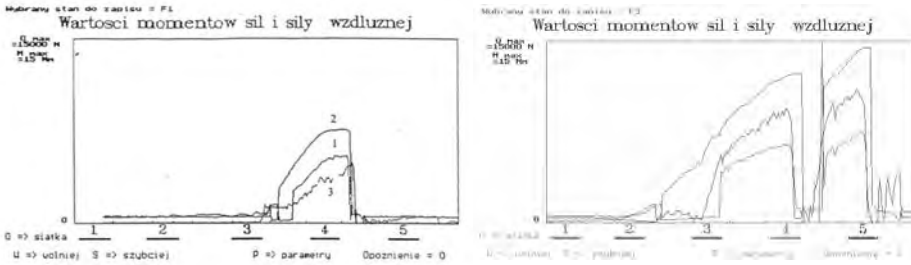
Fig. 1. Research stand: top - controller and amplifier tensometer, right - impact head installed on experiential device

WYKORZYSTANIE DANYCH EMPIRYCZNYCH DO OPISU MATEMATYCZNEGO PROCESU WKREĆANIA

Pomiary przeprowadzono przy wkręcaniu $n=50$ śrub wielkości M6 i M8 (PN85/M-82101) w wykonaniu średniokładnym B. Wkręcane śruby były pokryte cienką warstwą smaru maszynowego. Przykładowe zależności funkcyjne momentu na gwincie M_g i momentu tarcia M_t w zależności od siły osiowej Q przedstawiono na rys. 2 [3, 5].

Wartości otrzymane podczas wkręcania śrub M6:

- a) moment skręcający w rdzeniu śruby:
 - wartość średnia $M_g=5,316\text{Nm}$,
 - przedział wartości: $M_{g\min}=4,87\text{Nm}$, $M_{g\max}=5,26\text{Nm}$,
 - średnie odchylenie standardowe $\sigma=0,164\text{Nm}$,
 - współczynnik zmienności $\sigma/M_{g\text{m}}=0,031$;
- b) moment tarcia pod łbem śruby:
 - wartość średnia $M_T=4,11\text{Nm}$,
 - przedział wartości: $M_{T\min}=3,64\text{Nm}$, $M_{T\max}=4,24\text{Nm}$,
 - średnie odchylenie standardowe $\sigma=0,2242\text{Nm}$,
 - współczynnik zmienności $\sigma/M_{T\text{m}}=0,05456$;
- c) siła osiowa w śrubie Q :
 - wartość średnia $Q=5887\text{N}$,
 - przedział wartości: $Q_{\min}=5386\text{N}$, $Q_{\max}=6031\text{N}$,
 - średnie odchylenie standardowe $\sigma=246,66\text{N}$,
 - współczynnik zmienności $\sigma/Q_{\text{m}}=0,049$.



Rys. 2. Przykładowe charakterystyki wkręcania śrub M6 B6.8 oraz M8 B6.8:

1 - moment tarcia pod łbem śruby, 2 – moment skręcający w rdzeniu śruby,
3 – siła osiowa w śrubie; oś pozioma – kąt obrotu śruby

Fig. 2. The curie illustrating the screwing – in for M6 B6.8 and M8 B6.8 bolt:

1 - friction moment under the bolt head, 2 - moment of torque, 3 - axial force in the bolt;
axial horizon - angle of turn bolt

Zarejestrowane wartości momentu skręcającego M_g , momentu tarcia M_t oraz siły osiowej w śrubie Q zostały użyte do ilościowego określenia związku między tymi zmiennymi oraz na wyznaczeniu najbardziej prawdopodobnej funkcji średnich wartości zmiennych. Zastosowano model nieliniowy. Poza tym określono także kwadrat współczynnika korelacji krzywoliniowej, który informuje jaki procent rozrzutu wyników jest wyjaśniany modelem zależności korelacyjnej charakteryzującej się danym typem funkcji zastosowanym do wykreślenia krzywej regresji.

Dokręcanie śruby M6:

a) zależność momentu skręcającego od siły osiowej w śrubie $M_g=f(Q)$

$$y=3,488-0,01148Q+0,000012Q^2-3,5239 \cdot 10^{-9} Q^3 + 3,3187 \cdot 10^{-13} Q^4$$

$$r^2=0,8344$$

b) zależność momentu tarcia pod łbem śruby od siły osiowej $M_t=f(Q)$

$$y=3,9613-0,01509Q + 0,000021Q^2 - 1,1278 \cdot 10^{-8} Q^3 + 2,6429 \cdot 10^{-12} Q^4$$

$$r^2=0,8114$$

c) zależność momentu dokręcającego od siły osiowej $M_d=f(Q)$

$$y= 3,8542-0,011825Q + 0,000013Q^2 - 4,06634 \cdot 10^{-9} Q^3 + 4,06355 \cdot 10^{-13} Q^4$$

$$r^2=0,7803$$

Dokręcanie śruby M8:

a) zależność momentu skręcającego od siły osiowej w śrubie $M_g=f(Q)$

$$y= - 0,778287+ 0,00234Q- 5,549231 \cdot 10^{-7} Q + 8,2149 \cdot 10^{-11} Q^3 -4,2246 \cdot 10^{-15} Q^4$$

$$r^2=0,8475$$

b) zależność momentu tarcia pod łbem śruby od siły osiowej $M_T=f(Q)$

$$y= 0,5534 - 0,000664 Q+2,90845 \cdot 10^{-7} Q^2 - 1,97556 \cdot 10^{-11} Q^3$$

$$r^2=0,9231$$

c) zależność momentu dokręcającego od siły osiowej $M_d=f(Q)$

- $y = 0,077401 + 0,000823 Q + 1,9289 \cdot 10^{-7} Q^2 - 1,61223 \cdot 10^{-11} Q^3$
- $r^2 = 0,9135$

Otrzymane funkcje pozwalają na obliczenie wartości momentów charakteryzujących proces wkręcania w zależności od wartości siły Q koniecznej do uzyskania w łączniku gwintowym. Model krzywoliniowy może służyć do określenia zadaną tolerancją parametrów wkręcania w obliczeniach dokładnych zmierzających do zmniejszenia współczynnika bezpieczeństwa połączenia gwintowego. Można go także stosować w złączach z ciasno pasowanymi gwintami gdzie w procesie skręcania następuje deformacja plastyczna powierzchni nośnej gwintu oraz starcie wierzchołków nierówności na powierzchni styku.

BADANIE ZJAWISK TRYBOLOGICZNYCH W POŁĄCZENIACH GWINTOWYCH

Wartość momentu, którym należy dokręcić łącznik gwintowy, w celu uzyskania żądanej siły osiowej, nie jest stała. Zależy ona od wielu czynników, z których głównymi są: obecność czynnika smarującego, rodzaju powłoki ochronnej oraz liczba cykli dokręcania i odkręcania.

Poniżej przedstawiono rezultaty badań zmiany siły osiowej w śrubie w zależności od wartości momentu dokręcającego. Eksperyment przeprowadzono z użyciem śrub $M6 \times 30$ B6.8 wkręcanych głowicą wkręcającą w trzpień stalowy przyrządu pomiarowego. Wyniki badań pochodzą z [4, 7].

Wzrost wartości momentu dokręcającego śrub z powłokami ochronnymi w stosunku do śruby stalowej bez żadnej powłoki:

- powłoka tlenkowa - 8%,
- niklowa oraz miedziowo - niklowa - 22%,
- cynkowa - 21%,
- fosforanowa - 22%,
- cynkowo - chromianowa - 25%,

Określenie wartości momentu dokręcającego niezbędnego do uzyskania w śrubie określonej siły osiowej Q z uwzględnieniem wpływu smarowania i powłoki ochronnej. Podczas badań rejestrowano moment dokręcający M_d niezbędny do uzyskania siły w śrubie $Q = 8682,48 \text{ N}$ (PN 81/M - 82056). Badania prowadzono podczas jednego dokręcenia oraz n kolejnych dokręceń. Określenie „ n kolejnych dokręceń” oznacza sytuację, kiedy śruba jest dokręcana do czasu uzyskania żądanej siły osiowej a następnie połączenie jest luzowane. Czynność ta powtarzana jest do chwili, gdy zarejestrowana zostanie maksymalna wartość momentu dokręcającego. Wyniki badań przedstawiono na rys. 3 - 5.

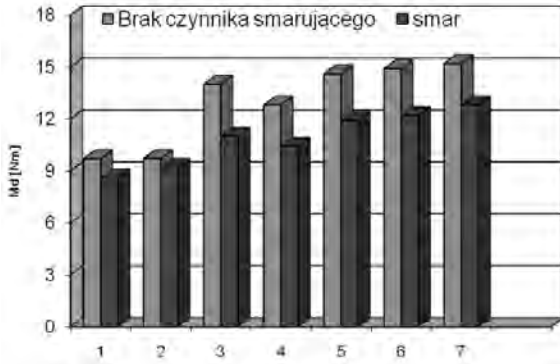


Fig. 3. Effect lubrication on change of tightening torque for M6 bolts with various protective coats. Constant axial force $Q = 8682,48 \text{ N}$, n - number of screwing impulse: 1 - steel (without coat), 2 - oxides coat, 3 - zinc and chromate coat, 4 - zinc coat, 5 - copper and nickel coat, 6 - nickel coat, 7 - phosphate coat

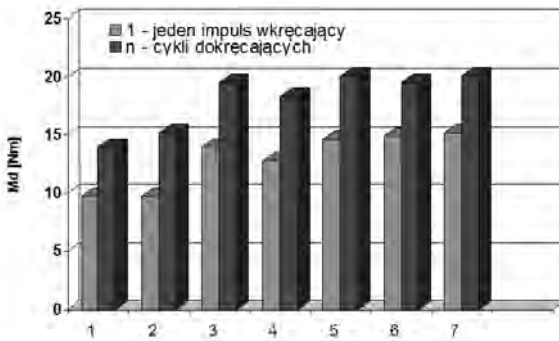


Fig. 4. Effect of quantity tightening steps on change of tightening torque for M6 bolt without lubrication: 1 - steel (without coat), 2 - oxides coat, 3 - zinc and chromate coat, 4 - zinc coat, 5 - copper and nickel coat, 6 - nickel coat, 7 - phosphate coat

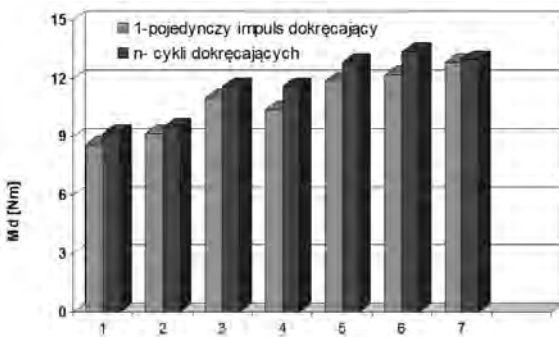


Fig. 5. Effect of quantity tightening steps on change of tightening torque for M6 bolt with lubrication: 1 - steel (without coat), 2 - oxides coat, 3 - zinc and chromate coat, 4 - zinc coat, 5 - copper and nickel coat, 6 - nickel coat, 7 - phosphate coat

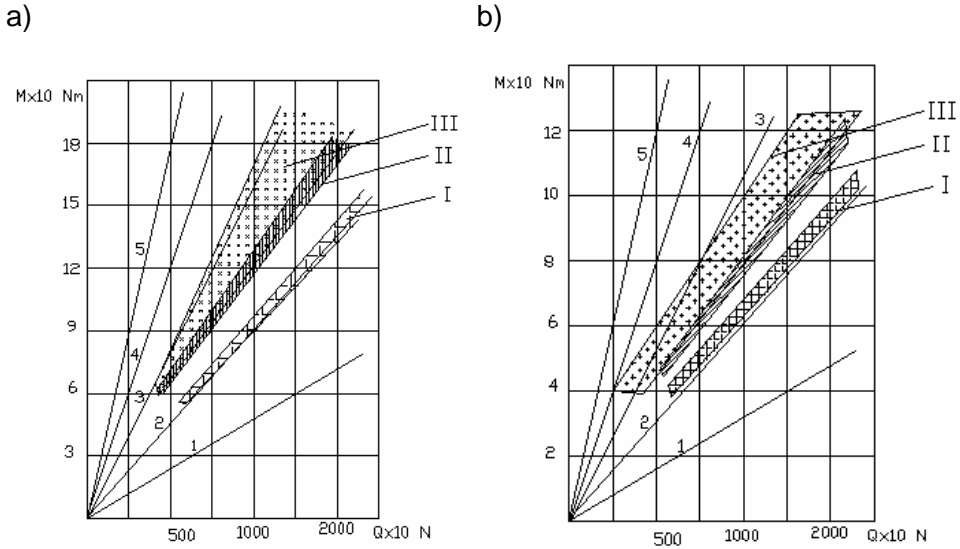
Rys. 3. Wpływ smarowania na zmianę wartości momentu dokręcającego śruby M6 z różnymi powłokami ochronnymi. Pomiar przy stałej sile $Q = 8682,48 \text{ N}$, n - dokręceń:

- 1 - śruba stalowa (bez powłoki),
- 2 - powłoka tlenkowa, 3 - powłoka cynkowo-chromianowa,
- 4 - powłoka cynkowa, 5 - powłoka miedziowo-niklowa, 6 - powłoka niklowa, 7 - powłoka fosforanowa

Rys. 4. Wpływ ilości cykli dokręcania na zmianę momentu dokręcającego śruby nie pokrytej warstwą smaru: 1 - śruba stalowa (bez powłoki), 2 - powłoka tlenkowa, 3 - powłoka cynkowo-chromianowa, 4 - powłoka cynkowa, 5 - powłoka miedziowo-niklowa, 6 - powłoka niklowa, 7 - powłoka fosforanowa

Rys. 5. Wpływ liczby cykli dokręcania na zmianę momentu dokręcającego śruby pokrytej warstwą smaru: 1 - śruba stalowa (bez powłoki), 2 - powłoka tlenkowa, 3 - powłoka cynkowo-chromianowa, 4 - powłoka cynkowa, 5 - powłoka miedziowo-niklowa, 6 - powłoka niklowa, 7 - powłoka fosforanowa

Określenie zmian siły osiowej w śrubie podczas dokręcania momentem zmieniającym się skokowo w granicach od 2 do 18Nm. Wyniki badań wykorzystano do sporządzenia diagramów (rys. 6) umożliwiających określenie wartości momentu dokręcającego w funkcji siły osiowej Q i rodzaju smarowania.



Rys. 6. Zależność momentu dokręcającego M_d od siły osiowej w śrubie Q : a) śruba stalowa z powłoką ochronną fosforanową, nakrętka bez powłoki ochronnej, liczba dokręceń n ; b) śruba stalowa bez powłoki ochronnej, nakrętka bez powłoki ochronnej; liczba dokręceń n ; rodzaj smarowania: I – smar, II – olej, III – brak czynnika smarującego; 1 - $\mu=0,05$, 2 - $\mu=0,1$, 3 - $\mu=0,2$, 4 - $\mu=0,3$, 5 - $\mu=0,5$

Fig. 6. Tightening torque M_d vs. axial force Q in the bolt: a) steel bolt with phosphate coat, nut without protective coat, b) steel bolt without protective coat, nut without protective coat. Several successive tightening steps – n . Kind of lubrication: I - grease, II - oil, III - without lubrication factor: 1 - $\mu=0,05$, 2 - $\mu=0,1$, 3 - $\mu=0,2$, 4 - $\mu=0,3$, 5 - $\mu=0,5$

Na diagramie umieszczono liniowe funkcje wartości współczynnika tarcia μ . Umożliwiają one określenie granicznych wartości współczynnika tarcia dla danego typu powłoki i rodzaju smarowania.

WNIOSKI

Zastosowanie powłoki smarującej w postaci smaru lub oleju wpływa na stabilizację współczynnika tarcia. Powłoka smaru powoduje zmniejszenie wartości momentu dokręcającego niezbędnego do uzyskania wymaganej siły osiowej w śrubie. Warstwa oleju krócej utrzymuje się na smarowanej powierzchni i gorzej ją

zwilża. Zmniejsza rozrzut momentu dokręcającego, ale jego górne wartości są często w granicach dolnych wartości momentu uzyskiwanego w śrubach pozbawionych warstwy smarnej.

PIŚMIENNICTWO

1. Nieoczym A., Wituszyński K.: Impulsowa głowica wkręcająca. Patent nr 329139.
2. Nieoczym A., Kisiel J. : Stanowisko do pomiaru momentu dokręcającego i siły osiowej. Wzór użytkowy nr W 105608.
3. Nieoczym A.: Wybrane zagadnienia wytrzymałościowe połączeń gwintowych. LTN, Lublin 2003.
4. Nieoczym A. : Zabezpieczenie antykorozyjne elementów gwintowych i ich wpływ na technologię montażu”. Kwartalnik Naukowo – Techniczny „Technologia i Automatyzacja Montażu” nr 4, 2007.
5. Szabajkowicz W., Nieoczym A. – Montażowe połączenia gwintowe. Monografia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.
6. Nieoczym A.: Effect of tightening method on tension in bolts. Tribologia, nr 2, 2005.
7. Nieoczym A., Gardyński L.: Fatigue strength of screw joints at loading variable”. Rozdział w monografii pod red. J. Jonaka: Aspects of fracture and cutting mechanics of materials. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2010, s. 61-70.

WORKPLACE RESEARCH ON THE QUALITY OF SCREWING-IN HEAD

Summary

In the article findings of workplace variables being characteristic of a quality of screw connections were described. A moment screwing screws together in the core, a moment of friction under the head and axial power were subject to a registration in the screw. An analysis was conducted and statistical of achieved results. The consecutive research stage resulted from tribology effect which cause, the value of the moment, with which one should screw the thread elevated walkway in properly with a view to getting demanded axial power, isn't permanent. So an influence of the presence of the greasing factor, the kind of a protective layer and the number of cycles of screwing in properly and twisting off was analysed.

Keywords: screw joint, moment of torque, friction moment, protective coat.