

Roman JĘDRZEJEWSKI
Okręgowy Urząd Miar w Łodzi
Wydział Mechaniki i Akustyki

Wzorcowanie narzędzi dynamometrycznych

W artykule omówiono metody wzorcowania narzędzi dynamometrycznych, zapewnienie spójności pomiarowej poprzez odniesienie do wzorców państwowych, oraz składniki niepewności pomiaru. Przedstawiono pierwsze w administracji miar w Polsce stanowisko pomiarowe momentu siły. W podsumowaniu odniesiono się do sposobu klasyfikacji przyrządów do pomiaru momentu siły.

Słowa kluczowe: klucze dynamometryczne, przetworniki momentu siły

Calibration of dynamometric instruments

Methods of calibration of dynamometric instruments, assurance of measurement traceability with reference to the national standards, and components of measurement uncertainty have been discussed in the article. The first force moment measurement stand, in the Polish Measures Administration, has been described. Tools and instruments have been divided into two groups. In Part 2, the calibration of dynamometric wrenches at the stand shown on fig. 1, has been discussed. Part 3 describes the calibration of force moment transducers at the stand shown on fig.2. The way of classification of instruments of force moment measurement has been evaluated in the summary.

Keywords: the dynamometric wrenches, the force moment transducers

1. Wstęp

Współczesne wymagania odnośnie montażu i demontażu złącz gwintowych warunkują stosowanie narzędzi dynamometrycznych o dokładnie określonym momencie dokręcania lub odkręcania. Stwarza to zapotrzebowanie na sprawdzanie poprawności wskazań tychże narzędzi. W 2002 roku w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi rozpoczęto proces tworzenia laboratorium wzorcującego. Od 2004 roku nowe wyposażenie pomiarowe pozwoliło na poszerzenie możliwości pomiaru o dziedzinę momentu siły. Należy zaznaczyć, że obecnie jest to jedyne tego typu stanowisko w administracji miar w Polsce. Jednocześnie posiadamy akredytację Polskiego Centrum Akredytacyjnego.

2. Wzorcowanie kluczy dynamometrycznych

Wzorcami odniesienia dla sprawdzanych narzędzi są przetworniki momentu siły. Dla zapewnienia odpowiednio wysokiej dokładności pomiaru stosowane są przetworniki o zakresach pomiaru odpowiednich dla sprawdzanego narzędzia. Są to przyrządy o maksymalnych momentach pomiaru 2Nm, 25Nm, 100Nm, 1000Nm i 2500Nm posiadające świadectwa wzorcowania akredytowanego laboratorium sygnowane przez brytyjski UKAS. Pozwala to na uzyskanie szerokiego zakresu wzorcowania od 0,04Nm do 2500Nm.

Wzorcowanie przeprowadza się w oparciu o międzynarodową normę ISO 6789. Norma ta opisuje wymagania i metody badań narzędzi dynamometrycznych ręcznych. Dopuszcza ona odchyłkę wskazania lub nastawienia klucza dynamometrycznego od $\pm 4\%$ do $\pm 6\%$ rzeczywistej wartości, w zależności od rodzaju klucza i wartości momentu dokręcania. Mówi ona również jakie wymagania powinny spełniać przetworniki, którymi przeprowadzane są badania – ich błąd pomiaru nie może przekraczać 1% rzeczywistej wartości. Przetworniki wyposażone są w szereg gniazd-adapterów do wprowadzenia różnej wielkości końcówek kluczy bądź wkrętaków dynamometrycznych. Dla zapewnienia płynności i dokładności pomiaru stosuje się urządzenie napędowe (Rys.1).



Rys.1. Stanowisko wzorcowania kluczy dynamometrycznych

Fig.1. Calibration setup for dynamometric wrenches

Pokręcając tarczą powodujemy obrót przetwornika momentu wraz z nałożonym na niego kluczem dynamometrycznym. Rękojeść klucza zapiera się o przesuwную rolkę, co wywołuje wzrost momentu siły. Urządzenie wyposażone jest w przekładnię o bardzo dużym przełożeniu, co pozwala na łagodne uzyskanie określonej wartości momentu. Dla większości narzędzi dynamometrycznych wykonuje się po pięć pomiarów w każdym punkcie pomiarowym (w niektórych przypadkach określonych przez normę dziesięć). Po wykonaniu pomiarów określa się błąd wskazania klucza lub wkrętaka dynamometrycznego jako odchyłkę względną wyrażoną w procentach:

$$A_s = \frac{x_a - x_r}{x_r} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: x_a – wartość momentu siły nastawiona na sprawdzanym narzędziu dynamometrycznym
 x_r – wartość momentu siły odczytana na przyrządzie kontrolnym

Na świadectwie wzorcowania należy również podać niepewność wykonania pomiaru; jest to niepewność złożona:

$$u = \sqrt{u_a^2 + u_r^2 + u_b^2} \quad (2)$$

gdzie: u_a – niepewność standardowa związana z rozdzielczością narzędzia dynamometrycznego, od której zależy dokładność odczytu wskazania (lub nastawienia – jeśli jest to narzędzie nastawne)
 u_r – niepewność standardowa związana z dokładnością użytego wzorca odniesienia

u_b – niepewność standardowa wynikająca z rozrzutu wyników pomiaru.
Ponieważ wynikiem pomiarów jest określenie procentowej odchyłki wskazania narzędzia dynamometrycznego, również niepewność winna przybrać taką postać:

$$u_{wz} = \frac{u}{x_r} \times 100\% \quad (2a)$$

3. Wzorcowanie przetworników momentu siły

Aby zachować spójność pomiarową poprzez odniesienie do państwowych wzorców masy, długości i czasu przetworniki momentu muszą być również okresowo wzorcowane poprzez zastosowanie wzorców wyższego rzędu, pozwalających z wysoką dokładnością odtworzyć jednostkę momentu siły. W 2006 utworzono w OUM w Łodzi stanowisko wzorcowania przetworników momentu (Rys.2).



Rys. 2. Stanowisko wzorcowania przetworników momentu siły
Fig. 2 Calibration setup for the force moment transducers

Wzorcowanie to polega na obciążeniu przetwornika dokładnie określoną siłą zaczepioną w dokładnie określonej odległości od osi obrotu przetwornika. Dokładnie określona siła odtwarzana jest przez zestaw obciążników wzorcowych. Wzorcem długości jest belka kalibracyjna. W wyposażeniu stanowiska znajdują się dwie belki kalibracyjne o nominalnych długościach ramienia 0,25 m i 1m. Są to wzorce wysokiej dokładności – odchyłka na długości 1m (pomniejszonego o połowę średnicy linki, na której zawieszona jest szalka z obciążnikami wzorcowymi) nie przekracza 30 μm , przy niepewności 40 μm . Tak wysoka dokładność zachowana jest na łuku opartym na kącie $\pm 8^\circ$ od osi poziomej belki kalibracyjnej. Dzięki temu obrót belki, który zawsze następuje przy obciążaniu przetwornika (mniejszy lub większy w zależności od sztywności przetwornika), nie powoduje zmiany odległości zawieszenia siły od osi obrotu. Zakres pomiarowy do 1650 Nm pozwala, po uzyskaniu akredytacji w 2008 roku, na samodzielne wzorcowanie naszych przetworników poza największym. Przetwornik o maksymalnym momencie 2500 Nm musi być nadal wzorcowany w laboratorium akredytowanym Norbar w Anglii, z którym zamierzamy przeprowadzić w 2010 roku badania porównawcze. Metoda przeprowadzenia wzorcowania oparta jest o normę brytyjską BS 7882. Zawiera ona kryteria, jakie powinny spełniać przetworniki momentu siły, takie jak: odchyłka,

powtarzalność, odtwarzalność wskazań czy błąd zera, aby mogły być stosowane do wzorcowania narzędzi dynamometrycznych ręcznych. Przeprowadzamy dwie serie pomiarów wskazań przetwornika w co najmniej pięciu równomiernie rozłożonych w zakresie pomiarowym punktach. Odbywa się to w jednym zamocowaniu przetwornika. Następnie demontujemy i ponownie montujemy przetwornik, po czym przeprowadzamy trzecią serię pomiarową. Po wykonaniu pomiarów obliczamy parametry, które pozwolą zakwalifikować przetwornik do odpowiedniej klasy określonej w normie BS 7882:

- błąd względny powtarzalności δ_{R1} :

$$\delta_{R1} = \frac{|d_1 - d_2|}{d_{R1}} \times 100\% \quad (3)$$

gdzie:

d_1, d_2 – wyniki pomiarów w 1-szej i 2-giej serii

d_{R1} – średnia pomiarów dla 1-szej i 2-giej serii

- błąd względny odtwarzalności δ_{R2}

$$\delta_{R2} = \frac{(d_{\max} - d_{\min})}{d_{R2}} \times 100\% \quad (4)$$

gdzie:

$d_{\max}, d_{\min}$ – maksymalne i minimalne wskazanie przetwornika dla danego momentu kalibracyjnego w trzech seriach

d_{R2} – średnie wskazanie przetwornika dla 1-szej i 3-giej serii

- błąd względny momentu zerowego δ_{R0}

$$\delta_{R0} = \frac{d_{0\max}}{d_{R2\max}} \times 100\% \quad (5)$$

gdzie:

$d_{0\max}$ – maksymalne wskazanie przetwornika po zdjęciu momentu kalibracyjnego

$d_{R2\max}$ – średnie wskazanie przetwornika przy maksymalnym momencie kalibracyjnym

- błąd względny wskazań δ_E

$$\delta_E = \frac{(\bar{d}_{R2} - T_a)}{T_a} \times 100\% \quad (6)$$

gdzie:

d_{R2} – jw.

T_a – podany moment kalibracyjny

Im niższe są wartości błędów obliczonych według powyższych wzorów tym do wyższej klasy można zaliczyć przetwornik. Wartości dopuszczalne dla danej klasy określa norma BS 7882.

Wszystkie podane wyżej parametry są podane na świadectwie wzorcowania wraz z niepewnością pomiaru, która jest niepewnością złożoną,

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad (7)$$

która zawiera takie składowe jak:

- u_1 – względna niepewność standardowa wynikająca z dokładności zastosowanych wzorców odtwarzających jednostki długości i siły
- u_2 – względna niepewność standardowa wynikająca z rozrzutu wskazań określonego przez odtwarzalność względną
- u_3 – względna niepewność standardowa wynikająca z rozrzutu wskazań określonego przez powtarzalność względną
- u_4 – względna niepewność standardowa wynikająca z dokładności odczytu, a więc rozdzielczości wzorcowanego przetwornika
- u_5 – względna niepewność standardowa wynikająca z reszkowego odczytu na wzorcowanym przetworniku pozostającym po zdjęciu momentu kalibracyjnego
- u_6 – względna niepewność standardowa wynikająca z wpływu temperatury na zastosowany wzorzec długości

Sposób obliczania poszczególnych składowych niepewności przedstawiony jest w załączniku do normy BS 7882. Uwzględniają one wartości błędów określonych równaniami (3)..(6). Ponieważ wartości błędów są podawane w postaci względnej, również składowe niepewności mają taką postać.

4. Podsumowanie

Zachowanie spójności pomiarowej poprzez stosowanie wzorców mających odniesienie do wzorców państwowych zapewnia wiarygodność wyników wzorcowania przyrządów dynamometrycznych. Jednakże wiele czynników składających się na niepewność pomiaru i występująca czasami wysoka wartość niepewności sprawia problem w zakwalifikowaniu przyrządu pomiarowego do określonej klasy dokładności. W tym kontekście na uwagę zasługuje fakt odmiennego traktowania tego problemu przez brytyjską normę BS7882 dotyczącą przetworników momentu siły i stanowiącą o nieuwzględnianiu niepewności pomiaru przy określaniu klasy oraz przez stosowaną w Polsce normę PN-EN ISO 14253-1 dotyczącą ogólnie przyrządów pomiarowych, nakazującą uwzględniać niepewność. Świadectwo wzorcowania przetwornika momentu siły, na którym określamy klasę przetwornika, musi zawierać odniesienie do normy, na podstawie której zostało dokonane zaklasyfikowanie.

Literatura

- [1] PN-ISO 6789:2005 Narzędzia montażowe do śrub i nakrętek. Narzędzia dynamometryczne ręczne. Wymagania i metody badań.
- [2] BS 7882:2008. Metody kalibracji i klasyfikacji przyrządów pomiarowych momentu.