

Klinowy system zabezpieczania połączeń śrubowych przed samoczynnym luzowaniem i jego przydatność w kolejnictwie

Krzysztof Włodarz

Użytkownicy maszyn i urządzeń często napotykać problemy związane z luzowaniem się śrub i nakrętek. Powszechnie stosowane metody zabezpieczania śrub przed samoczynnym luzowaniem opierające się na tarcu nie dają gwarancji skutecznego działania w warunkach oddziaływania sił dynamicznych, drgań lub wibracji oraz nie zapewniają kontroli i utrzymania wysokiej wartości siły zacisku bez narażenia śruby na uszkodzenie. Rozwiązaniem tych problemów jest metoda podtrzymująca napięcie śruby przez wykorzystanie efektu blokującego klina, który jest elementem specjalnie skonstruowanej podkładki. System ma szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu, również w kolejnictwie.



mgr inż.
Krzysztof Włodarz
Prezes Zarządu Nord-Lock
Poland
krzysztof.wlodarz@nord-lock.pl



Jedną z podstawowych kwestii występujących w projektowaniu połączeń śrubowych jest zapewnienie ich skuteczności i bezpieczeństwa późniejszego użytkowania. Muszą one pewnie łączyć skręcane elementy zapewniając stałą i wysoką wartość siły ściskającej i być odporne na rozluźniające efekty drgań i obciążeń dynamicznych, a jednocześnie muszą być łatwo demontowalne podczas prac naprawczych lub remontowych.

Metody zabezpieczania połączeń śrubowych

Jak wiadomo śruba obciążona statycznie jest utrzymywana w miejscu przez siły tarcia występujące pod łbem i na gwincie, jednak pod wpływem obciążeń dynamicznych, drgań lub wibracji wartość tych sił może stopniowo spadać. Świadomość tego problemu od zawsze zmuszała projektantów do poszukiwania metod mających zapobiec ich samo-odkręcaniu się. Najczęściej dążono do wzrostu tarcia na gwincie lub pod nakrętką czy łbem śruby, ale opracowano też inne rozwiązania, podkładkę odginaną, nakrętkę koronową blokowaną zawleczką lub łączenie drutem. W rezultacie opracowano bardzo wiele metod przeciwdziałających luzowaniu się śrub i nakrętek, spośród których najbardziej popularne to:

1. Dwuelementowa podkładka klinująca

- śruby, gdzie stosunek długości zacisku do średnicy gwintu jest jak największy; śruba jest długa i relatywnie cienka a więc i bardziej elastyczna, musi obracać się dłużej zanim zostanie utracone napięcie wstępne; koszt zakupu długich śrub jest dość wysoki;
- podkładki sprężyste, których działanie blokujące jest jednak mocno wątpliwe, gdyż w większości zwiększają one jedynie w niewielkim stopniu działanie sprężyste śrub (n.p. do 10% potencjału śruby kl.8.8);
- podkładki radełkowane, które zwiększają tarcie na powierzchniach kontaktu i mają efektywne działanie blokujące w połączeniach obciążonych statycznie;
- nakrętki koronowe, podkładki odginane, łączenie drutem, co niestety jest związane ze skomplikowanym montażem i demontażem, a jednocześnie nie zapewnia kontroli i utrzymania stabilnej wartości siły zacisku, ponieważ zawleczki, drut czy same podkładki są z reguły wykonane z miękkiej stali podatnej na odkształcenia, a nawet uszkodzenia zwłaszcza pod wpływem obciążeń dynamicznych;
- nakrętki z wkładką nylonową lub zdeformowanym gwintem gdzie wykorzystane jest wysokie tarcie na gwincie co sprawia, że nakrętka nigdy całkowicie się nie odkręci, ale wzrost tarcia nie gwarantuje uzyskania i utrzymania wysokiej wartości siły zacisku; ze względu na wysokie tarcie montaż jest dość pracochłonny; nakrętki mogą być używane tylko jednokrotnie;
- nakrętki kołnierzowe lub śruby z łbem kołnierzowym z ponacinaną/radełkowaną powierzchnią dolną w celu zwiększenia powierzchni kontaktu i tarcia, co zawsze wymaga zastosowania dużego momentu skręcającego i może m.in. doprowadzić do poważnych uszkodzeń powierzchni elementu łączonego podczas dokręcania, a zwłaszcza odkręcania; mimo, że śruba/nakrętka jest relatywnie dobrze zabezpieczona przed odkręceniem wysoka wartość tarcia wpływa na znaczne odchylenia w osiąganych wartościach siły zacisku;
- kleje, których stosowanie ze względu na konieczność przygotowania powierzchni i czas oczekiwania na związanie jest metodą bardzo pracochłonną; demontaż jest zwykle mocno utrudniony i również wymaga znacznego nakładu pracy; powtórne użycie elementów złącznych związane jest z ich pracochłonnym czyszczeniem; znaczny wzrost tarcia na gwincie wymaga użycia dużego momentu skręcającego, co nie prowadzi do uzyskania wysokiej siły zacisku, a może skutkować uszkodzeniem

śruby; ze względu na zmienne wartości tarcia nie jest również możliwa kontrola wartości siły zacisku.

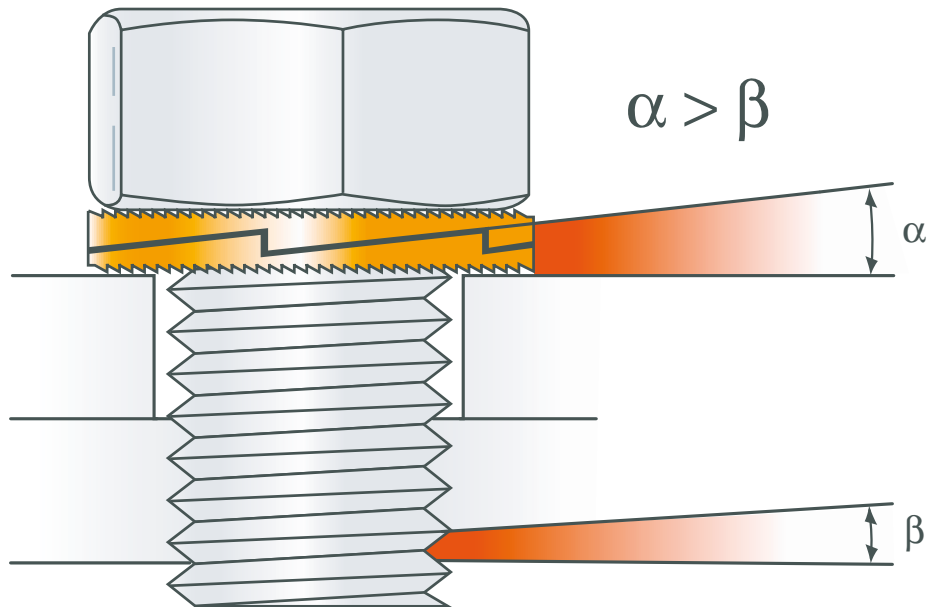
Projektanci próbowali również osiągnąć wzrost bezpieczeństwa połączeń śrubowych przez zastąpienie śrub niższej klasy śrubami klasy wyższej. Niestety, nie brali pod uwagę faktu, iż obróbka powierzchniowa śrub wyższych klas w porównaniu ze standardowym cynkowaniem galwanicznym może zmienić warunki tarcia, co jest istotne przy obliczaniu momentu skręcającego. Nawet przy większej wartości momentu skręcającego uzyskana siła zacisku może być zbyt mała ze względu na większe tarcie. W efekcie nie wzrasta poziom bezpieczeństwa połączenia śrubowego, a znacznie wzrastają koszty.

Siła zacisku a jakość połączenia śrubowego

Kolejnym problemem, z jakim musi zmierzyć się projektant połączenia śrubowego, jest określenie pożądanej siły zacisku. Wartość siły jaka ściska ze sobą łączone elementy jest przecież najistotniejszym parametrem decydującym o jakości połączenia śrubowego. Jej wyliczenie musi uwzględniać warunki w jakich funkcjonuje dane połączenie oraz parametry, bez których dokładne wyznaczenie momentu skręcającego będzie niewiarygodne. Te parametry to:

- rodzaj gwintu,
- twardość powierzchni współpracujących (elementu łączonego i łączącego),
- dodatkowe tarcie elementu "blokującego",
- rodzaj materiału elementu łączonego (stal, aluminium, itp.),
- rodzaj materiału elementu łączącego (stal, stal kwasoodporna, itp.),
- obecność warstwy adhezyjnej (klej) na gwincie,
- obecność warstwy smarującej (olej lub smar) na gwincie,
- stan zawilgocenia powierzchni elementu łączonego i łączącego,
- rodzaj łba śruby (standardowy, kołnierzo- wy, ząbkowany),
- powłoka powierzchni śruby (czarna, ocynk- owana),
- stan zużycia śruby/nakrętki (nowa, używa- na),
- współczynnik tarcia gwintu i łba śruby/na- krętki.

Zapewnienie kontrolowanej wartości siły zacisku w połączeniach śrubowych jest niezwykle istotne, a wręcz niezbędne. Aby to osiągnąć należy zminimalizować tarcie na powierzchni gwintu śruby, co zapewni minimalne odchylenia w otrzymany- ch wartościach siły zacisku przy dokręca- niu śruby takim samym momentem skręcającym.



2. Zasada działania podkładki klinującej

Problemy użytkowników maszyn

Bardzo często przyczyną uszkodzeń maszyn i urządzeń jest poluzowanie się lub pęknięcie śrub, do którego może dojść na skutek:

- spadku tarcia wytworzonego podczas dokręcania na gwincie i pod łbem pod wpływem działania obciążeń dynamicznych, zwłaszcza poprzecznych, co może doprowadzić do ścięcia śruby,
- zbyt małej długości zacisku, przy której każdy ruch śruby może spowodować poważny spadek napięcia,
- ponownego użycia tych samych śrub lub śrub z uprzednio naniesionym klejem, co powoduje znaczny wzrost tarcia, a to skutkuje bardzo niską wartością siły zacisku,
- utraty siły zacisku z powodu zbyt małej powierzchni nośnej, co prowadzi do uszkodzeń zmęczeniowych.

Jak działa klinowy system zabezpieczenia połączeń śrubowych

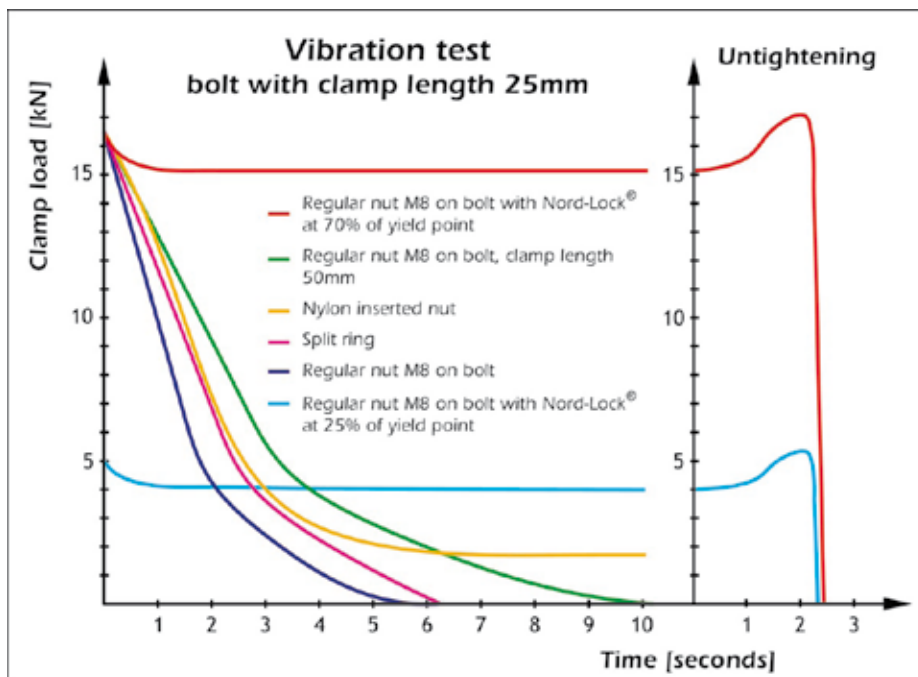
Wszystkie powszechnie stosowane metody zabezpieczeń połączeń śrubowych są oparte na tarcu i mimo, że działają całkiem nieźle w warunkach obciążeń statycznych, to jednak nigdy nie dadzą pełnej gwarancji niezawodności, a zatem i bezpieczeństwa, w warunkach obciążeń dynamicznych. Taką gwarancję daje natomiast system klinowy, który dla zabezpieczenia połączeń śrubowych wykorzystuje napięcie śruby - zamiast tarcia - w oparciu o technikę klinowania, zgodnie z wymaganiami normy DIN 25201. Jest to jedyna niezawodna metoda nie pozwalająca na odkręcenie się śruby lub nakrętki i chroniąca przed wysokimi kosztami napraw i ryzykiem utraty zdrowia lub nawet życia użytkowników maszyn i urządzeń.

System tworzy zespół dwóch stalowych pierścieni z których każdy ma jedną z po-

wierzchni naciętą w formie klinów a drugą w formie promieniowo rozłożonych ząbków (rys.1). Pierścienie są złożone ze sobą powierzchniami klinowymi do wewnątrz i dodatkowo sklejone dla uzyskania zespołu tworząc w ten sposób podkładkę, którą zakłada się pod łeb śruby lub pod nakrętkę. Podczas dokręcania śruby lub nakrętki ząbkowane nacięcia na zewnętrznych powierzchniach podkładki zwierają się ze współpracującymi powierzchniami elementów łączących i łączonych, tworząc z nimi połączenia kształtowe. Dzięki temu podczas odkręcania powierzchnie zewnętrzne zespołu nie przemieszczają się po powierzchniach współpracujących. Jednocześnie górny element zespołu przesuwają się po powierzchni klinowej elementu dolnego. Ponieważ kąt nachylenia powierzchni klinowych α jest większy od kąta wzniosu linii śrubowej gwintu β (rys.2), przemieszczanie się obu elementów podkładki po sobie powoduje powstanie efektu klina, co skutkuje ich wzajemnym blokowaniem się, a co za tym idzie, blokowaniem się śruby lub nakrętki. Tak więc dzięki zastosowaniu podkładki klinującej śruba lub nakrętka odkręcając się jednocześnie sama się blokuje. Odkręcenie śruby lub nakrętki jest możliwe jedynie po przyłożeniu odpowiedniego momentu koniecznego do przełamania efektu klina, co wiąże się z przyrostem napięcia w gwincie. Dla montera nie stanowi to problemu, natomiast dla śruby lub nakrętki dążącej do poluzowania się jest to niemożliwe.

Należy jeszcze raz podkreślić, że zabezpieczenie połączenia śrubowego przed poluzowaniem się uzyskuje się wyłącznie na zasadzie podtrzymania napięcia wstępnego, a nie dzięki powszechnym składowym sił tarcia.

W laboratorium szwedzkiej firmy NORD-LOCK produkującej m.in. podkładki klinują-



3. Diagram przebiegu testu wibracyjnego dla połączeń śrubowych

ce prowadzi się liczne badania zależności momentu skręcającego od obciążenia oraz testy wibracyjne dla specyficznych połączeń śrubowych zleconych przez klientów. Każdy test symuluje warunki rzeczywiste i jest realizowany metodą Junkera opisaną w normie DIN 65151. Testowane połączenie śrubowe jest poddawane działaniu drgań aplikowanych poprzecznie do osi śruby, a zmiany napięcia śruby (siły ściskającej) są mierzone w sposób ciągły czujnikiem tensometrycznym. Test służy do porównania skuteczności metod zabezpieczających śruby/nakrętki przed poluzowaniem w warunkach drgań i wibracji i ma na celu pomóc w wyborze najlepszego rozwiązania technicznego. Ponieważ uważa się go za ekstremalny, można z powodzeniem przyjąć, że metody zabezpieczające, które go przeszły będą funkcjonować bez zarzutu w warunkach rzeczywistych. Wyniki testu dla poszczególnych rodzajów zabezpieczeń można na bieżąco kontrolować obserwując diagram przedstawiający zmianę siły zacisku w czasie ekspozycji na wibracje (rys. 3). Analiza diagramu nie pozostawia wątpliwości co do oceny skuteczności poszczególnych metod. Jedynie podkładka zapadkowa utrzymuje napięcie w śrubie na poziomie powyżej 80% napięcia wstępnego, co spełnia warunki zawarte w normie DIN 65151, przy czym należy podkreślić, że ten nieznaczny spadek nie jest wynikiem poluzowania się śruby/nakrętki, lecz pochodzi od osiadania całego złącza. Pozostałe metody nie są w stanie utrzymać napięcia, które dynamicznie spada na skutek luzowania się śruby/nakrętki. Test udowadnia, że metody oparte na tarcu mogą być zawodne i nie zapewniają bezpieczeństwa, natomiast podkładka klinująca oparta

na wykorzystaniu napięcia jest całkowicie pewna i to bezpieczeństwo gwarantuje. Dodatkowym argumentem potwierdzającym unikalne działanie systemu klinowego jest odczyt diagramu uzyskanego podczas odkręcania śruby/nakrętki, gdzie działanie klina powoduje przyrost siły zacisku/napięcia w śrubie.

Dla maszyn i urządzeń, które wymagają regularnego serwisu i obsługi podkładka klinująca jest idealnym rozwiązaniem dla zabezpieczenia połączeń śrubowych. Pozwala na szybki i łatwy montaż połączenia śrubowego z użyciem standardowych narzędzi oraz umożliwia smarowanie poszczególnych elementów, co nie jest oczywiście wskazane tam, gdzie ich zabezpieczenie jest oparte na tarcu. Smarowanie dodatkowo zabezpiecza elementy złączne przed korozją i ułatwia późniejszy demontaż, ale także dzięki zmniejszeniu tarcia na gwincie, obniża wartość naprężeń skręcających. Jak wiadomo w śrubie powstają naprężenia skręcające i naprężenia rozciągające, które składają się na naprężenie zwane zastępczym zgodnie z formułą

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

Każda śruba może być rozciągana jedynie do swojej granicy plastyczności, powyżej tej granicy ulega uszkodzeniu. Aby maksymalnie wykorzystać potencjał śruby, to znaczy osiągnąć jej maksymalnie wysokie naprężenie, a tym samym siłę zacisku, a jednocześnie jej nie uszkodzić, należy zminimalizować naprężenia skręcające τ_{xy} w celu zmaksymalizowania naprężeń rozciągających σ_x . Najskuteczniejszym sposobem jest właśnie naniesienie smaru na gwint śruby.

Dodatkową korzyścią jest uzyskanie powtarzalności w uzyskiwanych wartościach siły zacisku.

Na rynku podkładki klinujące są dostępne w wykonaniu:

- ze stali węglowej EN 1.5528 lub EN 1.7182 z powierzchnią zabezpieczoną przed korozją przez nanoszenie płatków cynku w technologii DELTA PROTEKT®, dla gwintów w zakresie wymiarowym od M3 do M130 oraz w wersji z powiększoną średnicą zewnętrzną dla gwintów w zakresie wymiarowym od M3,5 do M36;
- ze stali kwasoodpornej EN.14404 typu A4 dla gwintów w zakresie wymiarowym od M3 do M80 oraz w wersji z powiększoną średnicą zewnętrzną dla gwintów w zakresie wymiarowym od M3,5 do M30.

Podkładki stalowe są hartowane na wskroś i osiągają twardość ponad 465 HV1, podkładki kwasoodporne są utwardzane powierzchniowo metodą dyfuzji węglowej w warunkach niskich temperatur i otuliny gazowej (Bodycote Kolsterising®) i osiągają twardość ponad 520HV0,05 (ss)

Stalowe podkładki zabezpieczone według technologii DELTA PROTEKT® są bardzo odporne na korozję (wytrzymują ponad 600-godzinny test komory solnej według ISO 9272).

Podkładki stalowe są odporne na temperaturę w zakresie od -20 do 200°C, kwasoodporne na temperaturę od -160 do 500°C.

Zastosowanie w kolejnictwie

System podkładek klinujących jest znany na całym świecie od blisko 30 lat. Jest szeroko stosowany w kolejnictwie m.in. przez koleje niemieckie DB i francuskie SNCF. W Polsce podkładki klinujące produkowane przez szwedzką firmę NORD-LOCK uzyskały dopuszczenie BDK PKP PLK do ich stosowania w łączeniach szyn i w rozjazdach kolejowych. Posiadają również dopuszczenie PKP CARGO S.A. do stosowania w wagonach towarowych oraz pozytywne opinie firm PKP Intercity, SKM w Trójmieście i Przewozy Regionalne. Są stosowane m.in. przez firmy NEWAG, PESA, ZNTK Oleśnica, Bombardier, Axtone, Modertrans, Protram, Solaria, KZN Bieżanów. ◀

Materiały źródłowe

- [1] www.nord-lock.pl, 05.03.2012
- [2] NORD-LOCK AB, Informacje Techniczne, 2007