

SKUTECZNOŚĆ NOWOCZESNYCH ZABEZPIECZEŃ ANTYKOROZYJNYCH POŁĄCZEŃ GWINTOWYCH W ŚRODOWISKACH PRACY MASZYN ROLNICZYCH

Czesław Rzeźnik, Piotr Rybacki

Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie: Praca przedstawia wyniki pomiarów wartości momentu odkręcania połączeń gwintowych, zabezpieczonych środkami czasowej ochrony antykorozyjnej. Przeprowadzono również ocenę i analizę statystyczną jakości zabezpieczenia dla poszczególnych środków czasowej ochrony antykorozyjnej oraz jej wpływu na wartości momentu odkręcania i łatwość demontażu maszyny rolniczej.

Słowa kluczowe: korozja, demontaż, maszyny rolnicze

WSTĘP I CEL PRACY

Połączenia gwintowe w procesie eksploatacji narażone są na działanie różnego rodzaju niekorzystnych warunków, których wynikiem jest głównie korozja. Występuje tu przede wszystkim korozja atmosferyczna jako suma korozji chemicznej i elektrochemicznej, przy większym udziale tej ostatniej, będącej wynikiem krótkozwartych ogniw miejscowych. Korozji w połączeniu gwintowym ulegają też powierzchnie styku nakrętki lub łba śruby z łączonymi częściami [Rzeźnik 1995]. Objętość produktów korozji jest zwykle wielokrotnie większa od materiału części połączenia, większy jest też współczynnik tarcia, co prowadzi do blokady połączenia i wzrostu wartości momentu odkręcania. Podobne działanie mają zanieczyszczenia w postaci pyłów, szczególnie ziarenka kwarcu, które podczas pracy maszyn rolniczych wnikają do wnętrza połączenia. Wynikiem korozji jest także ubytek materiału i osłabienie części połączenia. Korozja zewnętrznych powierzchni nakrętki lub łba śruby prowadzi do zmniejszenia ich wymiarów geometrycznych, co sprawia, że przy odkręcaniu wzrastają naciski klucza powodujące niekiedy uszkodzenie tych części połączenia. Skorodowane połączenia gwintowe to podstawowe utrudnienie ich demontażu. W czasie pracy połączeń gwintowych występuje wiele innych, niekorzystnych dla ich demontażu zjawisk, do których należą: wypala-

Adres do korespondencji – Corresponding Author: Czesław Rzeźnik, Piotr Rybacki; Instytut Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 50, 60-625 Poznań, e-mail: rzeznik@au.poznan.pl, prybacki@au.poznan.pl

nie się smaru w połączeniu pracującym w wysokiej temperaturze, odkształcenia części będące wynikiem eksploatacji i inne [Rzeźnik i Rybacki 2003].

W celu zapewnienia niezawodnej pracy i łatwego demontażu maszyn, połączenia gwintowe winny być zabezpieczone przed korozją zarówno w czasie ich produkcji, jak i w momencie montażu. Współczesna technologia dysponuje wieloma metodami zabezpieczania. Można je podzielić na dwie grupy [Rzeźnik i Rybacki 2004a, 2004b].

Pierwsza, to metody zabezpieczające poszczególne części połączenia przed ich montażem. Należą do nich cynkowanie, kadmowanie, fosforowanie i czernienie. Metody te jednak mają pewne wady. Zabezpieczające powłoki metalowe w czasie montażu są różnie kojarzone, następują częściowe uszkodzenia powłok, co daje możliwości tworzenia połączeń bimetalicznych, które mogą być początkiem tworzenia ogniw korozyjnych.

Druga grupa, to metody zabezpieczające powierzchnie gwintów współpracujących śruby i nakrętki w czasie montażu. Zabezpieczenie to uniemożliwia dostęp do wnętrza połączenia ze środowiska różnych substancji stymulujących proces korozji. Połączenia gwintowe w czasie montażu są zabezpieczane często powłokami malarskimi. Skuteczność takiego zabezpieczenia jest mała, ponieważ wskutek drgań, zmian napięcia wstępnego w śrubie powłoki pękają, co stwarza dobre warunki dla korozji elektrochemicznej.

Dokręcaniu połączenia gwintowego towarzyszy tarcie kinetyczne, natomiast odkręcaniu tarcie statyczne, przy czym współczynnik tarcia statycznego jest większy niż w przypadku tarcia kinetycznego. Siła zacisku wstępnego połączenia gwintowego, uzyskana przy jego montażu, maleje podczas pracy połączenia pod wpływem zmiennych obciążeń. Na intensywność i charakter tego zjawiska ma wpływ stan i sposób wykonania gwintu, sztywność powierzchni styku, mikrogeometria powierzchni styku, obecność smaru oraz wartości zacisku wstępnego.

Zastosowanie ochrony antykorozyjnej elementów połączeń gwintowych pozwoli na dobrą pracę oraz osiągnięcie stosunkowo niskiej wartości momentu odkręcania połączeń gwintowych. Pojawia się tu jednak pytanie: jaką wartość ma maksymalny moment demontażu połączeń eksploatowanych w warunkach charakterystycznych pracy maszyn rolniczych i jaka jest skuteczność zabezpieczeń dla tych warunków?

METODA

W celu znalezienia odpowiedzi na postawione pytanie badawcze przeprowadzono badania empiryczne operacji demontażu połączeń gwintowych, zabezpieczonych środkami czasowej ochrony antykorozyjnej.

Do badań wykorzystano śruby maszynowe M10 z oznaczoną klasą właściwości mechanicznych 5.8. Elementami łączonymi były dwie blachy ze stali St3, o łącznej grubości 4 mm. Montowano połączenie, dokręcając je momentem o wartości 31,1 Nm, zgodnie z normą PN-81/82056.

Badano połączenia gwintowe dwóch rodzajów. Pierwszy był bez żadnych zabezpieczeń, natomiast drugi posiadał fabryczne zabezpieczenie antykorozyjne w postaci cynkowej powłoki metalicznej. Następnie każdy rodzaj podzielono na cztery grupy. Trzy

grupy w obrębie danego rodzaju zabezpieczono w czasie montażu środkiem ochrony antykorozyjnej, natomiast jedna grupa kontrolna takiego zabezpieczenia nie posiadała.

Kryterium doboru rodzaju zabezpieczeń antykorozyjnych była przydatność w warunkach eksploatacji maszyn rolniczych oraz dostępność tych środków na rynku. Wybrano trzy rodzaje preparatów zabezpieczających antykorozyjnie, tj. Loctite 243, Chester Molecular B12, MoTip.

Zmontowane próbki umieszczono w warunkach charakterystycznych dla eksploatacji maszyn rolniczych. Były to: atmosfera, gleba, pomieszczenie inwentarskie, obornik i kiszonka z kukurydzy. W każdym środowisku umieszczono po 20 sztuk próbek z każdej grupy i przechowywano je w tych warunkach przez okres jednego roku. Następnie połączenia demontowano, mierząc wartość maksymalnego momentu odkręcania.

Pomiary momentu demontażu poszczególnych połączeń gwintowych wykonano przy odkręcaniu ręcznym, z wykorzystaniem elektronicznego klucza dynamometrycznego.

Otrzymane wartości momentów odkręcania omawianych połączeń gwintowych opracowano statystycznie, wykorzystując w tym celu program „STATISTICA™ PL”. Obliczono średnie wartości momentów odkręcania połączeń gwintowych dla odpowiednich warunków pracy i rodzajów zabezpieczeń antykorozyjnych oraz przeprowadzono analizę wariancji.

WYNIKI

Zbiorcze wyniki wartości momentów odkręcania połączeń gwintowych, po rocznym okresie ich przebywania w warunkach charakterystycznych eksploatacji maszyn rolniczych, zestawiono w tabeli 1.

Aby określić wpływ rodzaju zabezpieczeń antykorozyjnych, w różnych warunkach pracy, na wartości maksymalnego momentu odkręcania połączeń gwintowych, korzystano z testu Duncana [Volk 1965; Żuk 1989] i określono, które różnice między średnimi można uznać za statystycznie istotne.

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie istotności różnic par średnich wartości momentu odkręcania M_d^* i dopuszczalnej wartości momentu dokręcania M_d , która dla śruby M10 wynosi 31,1 Nm. Istotne różnice oznaczono cyfrą „1”, natomiast różnice statystycznie nieistotne oznaczono „0”. Z porównania wynika, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, najwięcej statystycznie nieistotnych różnic pomiędzy średnią wartością momentu odkręcania a dopuszczalną wartością momentu dokręcania zaobserwowano w środowisku atmosfery. Może to świadczyć, w porównaniu z pozostałymi środowiskami, o najmniejszej jego agresywności. W 50% średnie wartości momentu odkręcania śrub M10, przebywające w atmosferze, nie różnią się istotnie od dopuszczalnego momentu dokręcania. W środowisku glebowym zaobserwowano 25% statystycznie nieistotnych różnic, natomiast w oborniku wystąpiło 4% nieistotnych różnic, tj. pomiędzy średnią wartością momentu odkręcania śrub M10 ocynkowanych i zabezpieczonych środkiem czasowej ochrony antykorozyjnej o nazwie Motip. Statystycznie nieistotne różnice wystąpiły przede wszystkim dla śrub niezabezpieczonych środkami czasowej ochrony antykorozyjnej oraz zabezpieczonych środkiem Motip (tab. 2).

Tabela 1. Średnie wartości momentu odkręcania połączeń gwintowych po rocznej eksploatacji M_d^{\wedge} w środowiskach charakterystycznych pracy maszyn rolniczych, M_d – wartość dopuszczalnego momentu dokręcania, M_d^{\vee} – wartość momentu odkręcania

Table 1. The average values of slackening torque of screw joints after using the agricultural machine in the characteristic operational conditions for one year M_d^{\wedge} ; M_d – value of acceptable tightening torque, M_d^{\vee} – value of slackening torque

Fabryczne zabezpieczenie Factory protection	Rodzaj zabezpieczenia Type of protection	Środowisko – Medium									
		obornik manure		kiszonka silage		pomieszczenie inwentarskie inventory room		gleba soil		atmosfera atmosphere	
		M_d^{\vee} Nm	M_d^{\wedge} M_d	M_d^{\vee} Nm	M_d^{\wedge} M_d	M_d^{\vee} Nm	M_d^{\wedge} M_d	M_d^{\vee} Nm	M_d^{\wedge} M_d	M_d^{\vee} Nm	M_d^{\wedge} M_d
Czarna Unprotected	Bez zabezpieczenia Unprotected	34,8	1,12	37,8	1,22	34,6	1,11	34,3	1,10	31,5	1,01
	Loctite 243	35,9	1,15	38,9	1,25	34,7	1,12	34,9	1,12	36,4	1,17
	Chester Molecular B12	37,0	1,19	38,4	1,23	34,7	1,12	33,9	1,09	34,9	1,12
	Chester Molecular B12	37,0	1,19	38,4	1,23	34,7	1,12	33,9	1,09	34,9	1,12
	Motip	35,4	1,14	42,7	1,37	34,5	1,11	34,4	1,11	29,7	0,95
Ocynkowana Zinc plated	Bez zabezpieczenia Unprotected	36,2	1,16	36,2	1,16	34,3	1,10	33,0	1,06	32,1	1,03
	Loctite 243	38,5	1,24	36,7	1,18	35,1	1,13	36,8	1,18	34,7	1,12
	Loctite 243	38,5	1,24	36,7	1,18	35,1	1,13	36,8	1,18	34,7	1,12
	Chester Molecular B12	36,2	1,16	38,9	1,25	34,9	1,12	37,1	1,19	37,3	1,20
	Chester Molecular B12	36,2	1,16	38,9	1,25	34,9	1,12	37,1	1,19	37,3	1,20
	Motip	32,8	1,05	35,4	1,14	34,9	1,12	31,3	1,01	30,9	0,99
	Motip	32,8	1,05	35,4	1,14	34,9	1,12	31,3	1,01	30,9	0,99

W przypadku pozostałych dwóch środków zaobserwowano istotny statystycznie wzrost momentu odkręcania. Może mieć to swoje uzasadnienie w tym, że roczny okres przebywania połączeń gwintowych w charakterystycznych środowiskach pracy maszyn rolniczych nie odzwierciedla faktycznych możliwości zabezpieczenia przed korozją tych środków. Za takim wnioskowaniem przemawiają nieistotne różnice pomiędzy wartością średnią momentu odkręcania, a dopuszczalną wartością momentu dokręcania dla śrub niezabezpieczonych żadnym środkiem czasowej ochrony. Natomiast wystąpiły istotne różnice dla śrub zabezpieczonych środkami Loctite i Chester Molecular B12, które są również zalecane do zabezpieczeń przed samoodkręcaniem. Dodatkowe badania pokazały, iż śruby zabezpieczone omawianymi środkami, dokręcone z dopuszczalnym momentem 31,1 Nm i odkręcone po czasie wymaganym dla uzyskania wytrzymałości pełnej środka zabezpieczającego, charakteryzował wzrost wartości momentu odkręcania w stosunku do wartości dopuszczalnego momentu dokręcania, o około 12% i wartość ta wynosiła średnio 34,8 Nm. Uwzględniając tę cechę środków, Loctite i Chester Molecular B12 dokonano porównania wartości momentu odkręcania, otrzymanych po rocznym przebywaniu w środowiskach charakterystycznych pracy maszyn rolniczych do momentu odkręcania po utwardzeniu środka. Takie porównanie bardziej odzwierciedla rzeczywistą dynamikę zmian wartości momentu jako funkcji czasu pracy połączenia, co przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Wyniki pomiarów wartości momentu odkręcania, M_d i dopuszczalnej wartości momentu dokręcania, $M_d = 31,1$ Nm,Table 2. Results of the studies of values of slackening torque, M_d and values of acceptable tightening torque, $M_d = 31,1$ Nm,

Fabryczne zabezpieczenie Factory protection	Rodzaj zabezpieczenia Type of protection	Środowisko – Medium									
		obornik manure		kiszonka silage		pomieszczenie inventarskie inventory room		gleba soil		atmosfera atmosphere	
		M_d Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference
Czarna Unprotected	Bez zabezpieczenia Unprotected	34,8	1	37,8	1	34,6	1	34,3	1	31,5	0
	Loctite 243	35,9	1	38,9	1	34,7	1	34,9	1	36,4	1
	Loctite 243										
	Chester Molecular B12	37,0	1	38,4	1	34,7	1	33,9	1	34,9	1
	Chester Molecular B12										
Ocynkowana Zinc plated	Motip	35,4	1	42,7	1	34,5	1	34,4	1	29,7	0
	Motip										
	Bez zabezpieczenia Unprotected	36,2	1	36,2	1	34,3	1	33,0	0	32,1	0
	Loctite 243	38,5	1	36,7	1	35,1	1	36,8	1	34,7	1
	Loctite 243										
Ocynkowana Zinc plated	Chester Molecular B12	36,2	1	38,9	1	34,9	1	37,1	1	37,3	1
	Chester Molecular B12										
	Motip	32,8	0	35,4	1	34,9	1	31,3	0	30,9	0
	Motip										

1 – różnica istotna, essential difference; 0 – różnica nieistotna, inessential difference

Tabela 3. Wyniki pomiarów wartości momentu odkręcania bezpośrednio po zmontowaniu, M_{d1} i po rocznej eksploatacji, M_d Table 3. Results of the studies of values of slackening torque after assembling, M_{d1} and after using for one year, M_d

Fabryczne zabezpieczenie Factory protection	Rodzaj zabezpieczenia Type of protection	Środowisko – Medium									
		obornik manure		kiszonka silage		pomieszczenie inventarskie inventory room		gleba soil		atmosfera atmosphere	
		M_{d1} Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference	M_{d1} Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference	M_{d1} Nm	różnica difference
Czarna Unprotected	Loctite 243	35,9	0	38,9	1	34,7	0	34,9	0	36,4	0
	Loctite 243										
	Chester Molecular B12	37,0	1	38,4	1	34,7	0	33,9	0	34,9	0
	Chester Molecular B12										
Ocynkowana Zinc plated	Loctite 243	38,5	1	36,7	0	35,1	0	36,8	0	34,7	0
	Loctite 243										
	Chester Molecular B12	36,2	0	38,9	1	34,9	0	37,1	1	37,3	1
	Chester Molecular B12										

1 – różnica istotna, essential difference; 0 – różnica nieistotna, inessential difference

Tabela 4. Wyniki pomiarów wartości momentu odkręcania połączeń po rocznym okresie przebywania w środowiskach charakterystycznych eksploatacji maszyn rolniczych M_d i wartości momentu odkręcania, połączeń niezabezpieczonych środkiem czasowej ochrony antykorozyjnej i demontowanych bezpośrednio po montażu $M_{d2}=26,0$ Nm

Table 4. Results for studies of values of slackening torque of screw joints moment after using the agricultural machine in the characteristic operational conditions for one year M_d and values of slackening torque of screw joints without protection and dissembled just after assembling, $M_{d2}=26,0$ Nm

Fabryczne zabezpieczenie Factory protection	Rodzaj zabezpieczenia Type of protection	Środowisko – Medium									
		obornik manure		kiszonka silage		pomieszczenie inwentarskie inventory room		gleba soil		atmosfera atmosphere	
		M_d Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference	M_d Nm	różnica difference
Czarna Unprotected	Bez zabezpieczenia Unprotected	34,8	1	37,8	1	34,6	1	34,3	1	31,5	1
	Loctite 243	35,9	1	38,9	1	34,7	1	34,9	1	36,4	1
	Loctite 243										
	Chester Molecular B12	37,0	1	38,4	1	34,7	1	33,9	1	34,9	1
	Chester Molecular B12										
Ocynkowana Zinc plated	Motip	35,4	1	42,7	1	34,5	1	34,4	1	29,7	1
	Motip										
	Bez zabezpieczenia Unprotected	36,2	1	36,2	1	34,3	1	33,0	1	32,1	1
	Loctite 243	38,5	1	36,7	1	35,1	1	36,8	1	34,7	1
	Loctite 243										
	Chester Molecular B12	36,2	1	38,9	1	34,9	1	37,1	1	37,3	1
	Chester Molecular B12										
	Motip	32,8	1	35,4	1	34,9	1	31,3	1	30,9	1
	Motip										

1 – różnica istotna, essential difference; 0 – różnica nieistotna, inessential difference

Przedstawione w tabeli 3 wyniki pokazują, iż jedynie w 35% przypadków nastąpił istotny statystycznie wzrost wartości momentu odkręcania M_d dla środków, Loctite i Chester Molecular B12, uwzględniając ich właściwości zabezpieczania przed samoodkręcaniem. Najwięcej statystycznie istotnych różnic wystąpiło w środowisku kiszonki, następnie w oborniku, natomiast nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic w środowisku pomieszczenia inwentarskiego.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki pomiarów wartości momentu odkręcania połączeń gwintowych po rocznym okresie przebywania w charakterystycznych środowiskach eksploatacji maszyn rolniczych M_d oraz wartości momentu odkręcania połączeń niezabezpieczonych środkiem czasowej ochrony antykorozyjnej M_{d2} i demontowanych bezpośrednio po montażu. Średnia wartość momentu M_{d2} dla analizowanych śrub M10 wynosiła 26,0 Nm, czyli 83,6% dopuszczalnej wartości momentu dokręcania dla tego wymiaru śrub. Z porównania wynika, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, wystąpił statystycznie istotny wzrost dla każdej porównywanej pary średnich wartości momentu odkręcania połączeń M_d , po rocznym okresie przebywania w środowiskach charakterystycznych eksploatacji maszyn rolniczych w stosunku do wartości momentu odkręcania połączeń niezabezpieczonych środkiem czasowej ochrony antykorozyjnej i demontowanych bezpośrednio po montażu M_{d2} .

WNIOSKI

Wykonane w pracy badania i analizy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wartość maksymalnego momentu demontażu połączenia gwintowego jest funkcją warunków ich eksploatacji i w dużej mierze zależna od agresywności środowiska pracy oraz od sposobu zabezpieczenia.

2. Najbardziej uniwersalnym i skutecznym środkiem, zabezpieczającym w długotrwały sposób połączenia gwintowe przed wzrostem wartości momentu ich odkręcania w maszynach rolniczych, są materiały Loctite 243 i Chester Molekular B12. Wynika to także z faktu, że tworzywa te są bardzo odporne na destrukcyjne działanie czynników biologicznych i chemicznych w długim okresie.

PIŚMIENNICTWO

- Chester Molecular. Kleje i uszczelniacze anaerobowo-stykowe – katalog firmowy.
Loctite BU. Utrzymanie i konserwacja urządzeń mechanicznych – katalog firmowy.
MoTip. Spraye smarujące – katalog firmowy.
PN-81/M-82056. Połączenia gwintowe stalowe. Dopuszczalne momenty dokręcania.
Rzeźnik C., 1995. Proces demontażu maszyn rolniczych w systemie ich obsługi technicznej. Roczn. AR w Poznaniu, Poznań.
Rzeźnik C., Rybacki P., 2003. Moment odkręcania połączeń gwintowych jako parametr podatności maszyn rolniczych na recykling. Inż. Roln. 8, s. 377-383.
Rzeźnik C., Rybacki P., 2004a. Structural method of evaluating the susceptibility of agricultural machines to recycling. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Agricultural Engineering, Vol. 7, Iss. 2.
Rzeźnik C., Rybacki P., 2004b. Ocena podatności maszyn rolniczych na recykling metodą strukturalną. Acta Sci. Pol., Technica Agraria, 3 (2/2), 49-55.
Volk W., 1965. Statystyka stosowana dla inżynierów, Wyd. Nauk.-Techn., Warszawa.
Żuk B., 1989. Biometria stosowana. PWN, Warszawa.

EFFICIENCY OF THE MODERN ANTICORROSION PROTECTION OF SCREW JOINTS IN THE CHARACTERISTIC OPERATIONAL CONDITIONS OF THE AGRICULTURAL MACHINE

Summary: This work reveals the results of the measurement of values of slackening torque which are protected by modern anticorrosion means. There was also carried out the estimation and statistical analysis of protection quality of each protections modern means, and their influence on value of slackening torque and easiness of disassembly process of the agricultural machine.

Key words: corrosion, disassembly process, agricultural machines

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.09.2005