

## **Analiza stanów zużycia i metoda naprawy wężła kinematycznego czop-panewka wału korbowego silnika S 400**

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono propozycję metody naprawy wężła kinematycznego czop-panewka wału korbowego silnika S 400, polegającą na zastąpieniu szlifowania na wymiary znormalizowane szlifowaniem na wymiary swobodne. Przyczyną utraty zdatności w łożyskowaniach ślizgowych maszyn rolniczych są najczęściej nieznaczące wartości zużycia w obszarach warstwy wierzchniej i/lub źle dobrane luzy w skojarzeniu pod-czas naprawy (w porównaniu do wymiarów nominalnych części). W omówionych badaniach podjęto próbę optymalizacji stanów początkowych skojarzeń czop-panewka po naprawie w celu zwiększenia potencjalnego zasobu trwałości konstrukcyjnej.

**Słowa kluczowe:** stany początkowe, docieranie, tarcie, zużycie, smarowanie, trwałość, niezawodność, eksploatacja, naprawa.

### **Wprowadzenie**

Zwiększające się wymagania eksploatacyjne stawiane maszynom rolniczym stwarzają konieczność zmiany podejścia do zagadnień naprawy i modyfikacji tradycyjnych technologii na rzecz optymalizacji trwałości i maksymalizacji niezawodności. Dotyczy to przede wszystkim stanów początkowych skojarzeń ślizgowych po naprawie i sprzężenia zwrotnego z wytwarzaniem w celu zwiększenia potencjalnego zasobu trwałości konstrukcyjnej. Prawidłowo wykonana naprawa, zakończona docieraniem adaptacyjnym, pozwala na przygotowanie ślizgowego wężła tarcia do pracy w trudnych warunkach rzeczywistej eksploatacji.

Dynamicznie rozwijające się nowoczesne technologie wytwarzania, obsługiwanie i recyrkulacji wymuszają wykorzystanie rezerw potencjału technicznego zawartego w wyrobach. Techniki te i technologie umożliwiają wykrycie i wyeliminowanie węzłów krytycznych - nazywanych „słabymi ogniwami”. Eliminacji słabych ogniw dokonuje

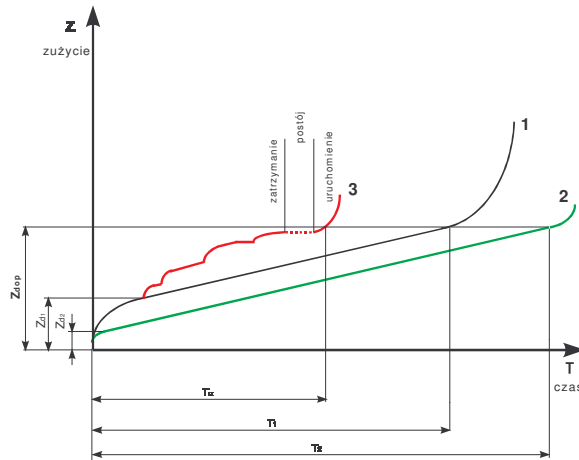
się drogą nadawania powszechnie stosowanym materiałom konstrukcyjnym (w szczególności ich warstwom wierzchnim), właściwości użytkowych odpowiadających wymuszeniom, na które są narażone w trakcie eksploatacji [Dreszczyk i in. 1996].

### **Sformułowanie problematyki badawczej**

Krytycznymi węzłami tarcia w maszynach i pojazdach rolniczych są najczęściej układy korbowo-tłokowe i układy rozrządu silników spalinowych, wały napędowe i osie, mechanizmy wodzikowe, łożyskowania ślizgowe i toczne oraz przekładnie w układach przeniesienia mocy. Przy określonej postaci konstrukcyjnej i historii technologicznej zespołów i części (nie zawsze przystosowanych do specyficznych wymagań rolnictwa), ujawniają się one w procesie eksploatacji w kolejności zdeterminowanej rzeczywistymi wymuszeniami, powodując konieczność przeprowadzenia czynności obsługowo-naprawczych. Nadanie warstwom wierzchnim elementów węzłów krytycznych indywidualnych właściwości wymaga znajomości natury procesów niszczących, warunków pracy i ich zmienności, wpływu materiału i postaci konstrukcyjnej części, metod technologicznych wytwarzania oraz podstawowych wymagań eksploatacyjnych, dotyczących instalowania, obsługiwania operacyjnego, przechowywania itp. [Śliwiński 1990].

Różnorodne warunki pracy związane z oddziaływaniami cieplnymi, mechanicznymi i korozyjnymi w obszarach węzłów tarcia powodują zróżnicowane intensywności zużycia współpracujących powierzchni. Efekt ten w maszynach rolniczych jest potęgowany procesami zachodzącymi w miejscu styku w czasie długotrwałych postojów, przerw w pracy lub przestojów międzykampanijnych. W związku z tym około 10% zespołów maszyn rolniczych (w tym szczególnie łożyska ślizgowe) uznaje się za krytyczne węzły tarcia. Osiągają one stan graniczny przy ubytku liniowym materiału i błędach makrogeometrii rzędu ( $10^{-5} \div 10^{-4}$ )m, co stanowi około (0,1÷0,5)% całkowitej masy współpracujących elementów. Przyczyną utraty zdatności są nieznaczne wartości zużycia w obszarach warstwy wierzchniej i/lub źle dobrane luzy w skojarzeniu podczas naprawy (w porównaniu do wymiarów nominalnych części), co uniemożliwia skuteczne smarowanie powierzchni roboczych [Szczerek i in. 2000].

Każda zmiana parametrów ruchu oraz właściwości ośrodka może spowodować zmianę intensywności zużycia tribologicznego. Zmienność stanu eksploatacyjnej warstwy wierzchniej (EWW) w czasie jest funkcją jej stanu na końcu każdego odcinka czasowego eksploatacji, który jest jednocześnie stanem początkowym następnego przedziału czasu eksploatacji (rys. 1, krzywa 3), i różni się istotnie od

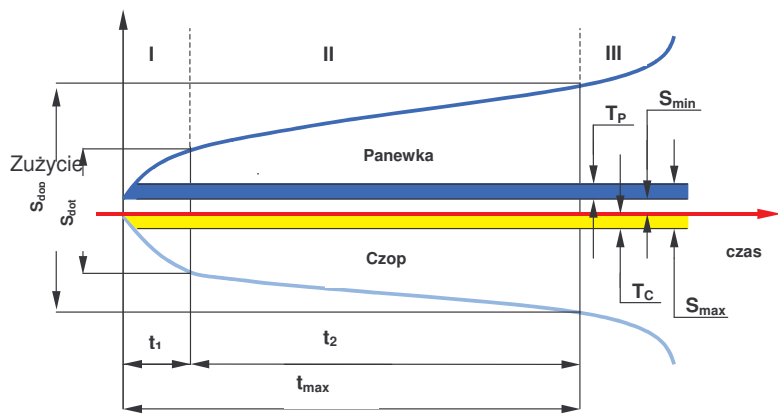


teoretycznego modelu przebiegu zużycia (rys. 1, krzywa 1) [Wanke 2000].

**Rys. 1.** Wpływ zużycia w czasie docierania skojarzeń na optymalizację trwałości: 1, 2, 3 – krzywe przebiegu zużycia skojarzeń,  $Z_{d1}$ ,  $Z_{d2}$  – wielkość zużycia do chwili dotarcia,  $Z_{dop}$  – zużycie dopuszczalne,  $T_{rz}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  – czasy pracy do osiągnięcia zużycia dopuszczalnego

**Fig. 1.** The influence of wear in matchings running-in time on durability optimisation: 1, 2, 3 – matchings wear course curves,  $Z_{d1}$ ,  $Z_{d2}$  – wear size at running-in moment,  $Z_{dop}$  – admissible wear,  $T_{rz}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  – working time before reaching admissible wear

W prowadzonych badaniach przyjęto założenie, że uzyskanie szybkiej stabilizacji procesu w krytycznych okresach docierania adaptacyjnego jest możliwe (rys. 1, krzywa 2) dzięki zapewnieniu węzłom tarcia wymaganej smarności (parametr opisujący wzajemne, synergiczne oddziaływania środka smarnego, mikrogeometrii powierzchni i właściwości materiału konstrukcyjnego części w kierunku tworzenia warstw granicznych w obszarach styku) i trwałego rozdzielenia ślizgowymi warstwami pośrednimi współpracujących powierzchni



roboczych. Konsekwencją sformułowanej problematyki badawczej jest konieczność zapewnienia takiej rzeczywistej wartości luzu w pasowaniach, która umożliwi uzyskiwanie stabilnych warunków smarowania hydrodynamicznego lub elastohydrodynamicznego, gwarantującego występowanie mechano-chemicznej formy zużycia ściernego nazywanej powszechnie zużyciem normalnym.

**Rys. 2.** Schemat przebiegu zmian wartości luzów w procesie eksploatacji skojarzenia ślizgowego: I – docieranie, II – zużywanie normalne, III – zużywanie przyspieszone,  $t_1$  – czas docierania,  $t_2$  - czas normalnej eksploatacji,  $S_{\min}$  – minimalny luz początkowy pasowania,  $S_{\max}$  - maksymalny luz początkowy pasowania,  $S_{\dot{}}$  – luz po dotarciu,  $S_{\text{dop}}$  – dopuszczalny luz eksploatacyjny,  $T_p$  – pole tolerancji wykonania panewki,  $T_c$  – pole tolerancji wykonania czopa

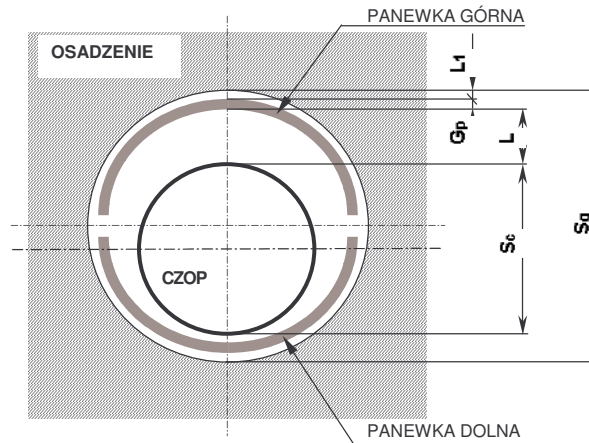
Fig. 2. Diagram of allowance value changes course in the usage process of a slide matching: I – running-in, II – normal wear, III – accelerated wear,  $t_1$  – running-in time,  $t_2$  – normal usage time,  $S_{\min}$  – minimum preliminary fit allowance,  $S_{\max}$  - maximum preliminary fit allowance,  $S_{\dot{}}$  – allowance after running-in,  $S_{\text{dop}}$  – admissible usage allowance,  $T_p$  – tolerance field for bearing performance,  $T_c$  – tolerance field for pin performance

Przebieg zmian wartości zużycia - w poprawnie zaprojektowanym, wykonanym i zmontowanym skojarzeniu ślizgowym – jest funkcją właściwości przeciwzużyciowych i przeciwwzrostowych oraz dokładności pasowania (rzeczywisty rozkład pól tolerancji) współpracujących części (rys. 2). Chociaż najważniejsze decyzje związane z zapewnieniem trwałości węzłów tarcia, zgodnie z przedstawionymi uwarunkowaniami, podejmowane są na etapie konstrukcyjnym, to dopiero w połączeniu z odpowiednimi działaniami obsługowo-naprawczymi w eksploatacji skutkują one możliwością optymalizacji wykorzystania potencjalnego zasobu trwałości konstrukcyjnej [Szymura 2003].

### Zagadnienia modelowania wyników badań

Do badań wytypowano łożyskowania ślizgowe wałów korbowych silników spalinowych S 400(1÷3), wykorzystywanych do napędu ciągników rolniczych, wykonywane według pasowania konstrukcyjnego G6h6. Model matematyczny doboru średnicy szlifów naprawczych

czopów głównych i korbwodowych opracowano na podstawie schematu graficznego zilustrowanego na rys. 3.



Rys. 3. Schemat poglądowy luzów w pasowaniu:  $L$  – wartość luzu skojarzenia (czop - panewki),  $L_1$  – wartość luzu osadzenia panewek,  $S_c$  – średnica czopa,  $S_g$  – średnica gniazda panewek,  $G_p$  – grubość panewki

Fig. 3. Demonstrative diagram of allowances in fits:  $L$  – matching allowance value (pin - bearings),  $L_1$  – bearing assembly allowance value,  $S_c$  – pin diameter,  $S_g$  – bearing hole diameter,  $G_p$  – bearing thickness

Po uwzględnieniu nominalnych średnic czopów (głównych i korbwodowych), otworów osadczych i wartości odchyłek analizowanego pasowania, obliczeniowe graniczne luzy początkowe skojarzenia wynoszą odpowiednio  $L_{\min} = 0,010$  mm,  $L_{\max} = 0,048$  mm, a tolerancja pasowania 0,038 mm. Przyjęto, że w pasowaniach na kolejne wymiary naprawcze należy uzyskać luzy początkowe nie większe niż połowa pola tolerancji, tj. od  $L_{\min} = 0,010$  mm do  $L_{\max} = 0,030$  mm, aby zapewnić optymalizację ресурсu. Zakładając, że  $0,010 \text{ mm} \leq L_{\text{opt}} \leq 0,030$  mm i najkorzystniej gdy  $L_{\text{opt}} = 0,020$  mm, wyliczono średnicę czopów wału, którą należy uzyskać w skojarzeniu podczas szlifowania na wymiary naprawcze, wg podanego modelu matematycznego.

$$(1) \quad S_c = S_g - (G_p \cdot 2) - L_{\text{opt}} - L_1$$

$$(2) \quad L_{\text{opt}} = S_g - (G_p \cdot 2) - S_c - L_1$$

W łożyskach głównych  $S_g = 76,000^{+0,019}$  mm, stąd

- średnica czopów głównych

$$S_{cg} = 76,000 - (G_p \cdot 2) - L_{opt} - 0,019 \quad (3)$$

W łożyskach korbowodowych  $S_g = 64,000^{+0,019}$  mm, stąd

- średnica czopów korbowodowych

$$S_{ck} = 64,000 - (G_p \cdot 2) - L_{opt} - 0,019 \quad (4)$$

W przypadku wystąpienia wymiarów granicznych w pasowaniach początkowych, gdy  $L_1 \leq 0$  oraz  $G_{p \min}$  i  $G_{p \max}$  wzór (1) można przedstawić w postaci

$$S_{c \max} = S_g - (G_{p \min} \cdot 2) - L_{\min} - L_1 \quad (5)$$

lub

$$S_{c \min} = S_g - (G_{p \max} \cdot 2) - L_{\max} \quad (6)$$

i po przekształceniach

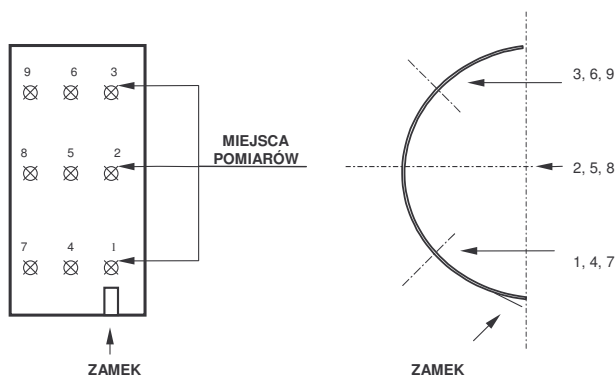
$$L_{\min} = S_g - (G_{p \min} \cdot 2) - S_{c \max} - L_1 \quad (7)$$

$$L_{\max} = S_g - (G_{p \max} \cdot 2) - S_{c \min} \quad (8)$$

Przedstawione zależności umożliwiają szybką i skuteczną analizę wymiarową pasowań początkowych ślizgowych węzłów tarcia jeszcze przed wykonaniem szlifowania wykańczającego. Pozwala to na wyznaczenie nowych wartości średnic czopów w zależności od rzeczywistej grubości panewek w kompletach naprawczych, rezygnując tym samym z wymiarów znormalizowanych na rzecz wymiarów swobodnych. Można w ten sposób zapewnić optymalny luz pasowania, który bezpośrednio zależy od rzeczywistego (a nie teoretycznego) stanu wymiarowego panewek ślizgowych i luzów w gniazdach osadczych.

## Weryfikacja modelu

Wszystkie badania przeprowadzono w Zakładzie PROMECH w Karlinie na wałach korbowych i kompletach naprawczych panewek silników S 400(1÷3), w warunkach rzeczywistego warsztatu obsługowo-naprawczego. Po demontażu wały poddawano weryfikacji, a następnie szlifowano na wymiary naprawcze zgodnie z zaleceniami producenta.



Pomiary czopów głównych i korbowodowych wykonywano w trzech przekrojach poprzecznych wzdłuż tworzącej czopów, w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach, zgodnie z PN. Pomiary grubości panewek prowadzono w dziewięciu miejscach na obwodzie. Rozpoczynano od miejsca położonego najbliżej zamka, zgodnie ze schematem zilustrowanym na rys. 4.

Rys. 4. Schemat pomiaru grubości panewek: 1-9 miejsca kolejnych pomiarów na obwodzie

Fig. 4. Bearing thickness measurement diagram: 1-9 spots of consecutive measurements on the perimeter

Do pomiarów wykorzystano mikrometry elektroniczne o dokładności wskazań  $10^{-6}$  m, które zerowano na płytkach wzorcowych. Badania przeprowadzono na grupie statystycznej wałów korbowych tego samego typu o liczebności około 50 sztuk. W tabelach 1 i 2 przedstawiono przykładowe zestawienia zmierzonych wartości średnic czopów głównych i korbowodowych po szlifowaniu na wymiary naprawcze oraz grubości dobranych do nich panewek w kompletach regeneracyjnych. Pod tabelami zilustrowano porównawczo rozkłady statystyczne wartości rzeczywistych w seriach pomiarowych.

Tabela 1. Zestawienie pomiarów z rozkładami rzeczywistymi wyników (czopy główne)

Table 1. Comparison of measurements with the results actual distribution (main pins)





Analogicznie w przypadku czopów korbowodowych dokonano przeliczeń i porównań, dzięki którym uzyskano następujące wartości:  $S_{ck\ \acute{s}r} = 58,997\text{ mm}$  ( $S_{ck\ N=} = 59,000\text{ mm}$ ),  $S_{ck\ rz} = 59,004\text{ mm}$ ;  $L_{max\ rz} = 0,072\text{ mm}$ ,  $L_{min\ rz} = 0,043\text{ mm}$ , pole tolerancji  $0,029\text{ mm}$  ( $L_{min} = 0,010\text{ mm}$  i  $L_{max} = 0,048\text{ mm}$ , pole tolerancji  $0,038\text{ mm}$ ). W tym przypadku nastąpiło przekroczenie o ok. 50% dopuszczalnych wartości granicznych dla pasowania początkowego i przesunięcie pola tolerancji, co może skutkować zmianą warunków docierania adaptacyjnego i istotnym skróceniem przebiegów ponaprawczych. Podobną sytuację zaobserwowano w ok. 40% przypadków wykonanych pomiarów czopów korbowodowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano metodę wspomaganie komputerowe przedstawionej procedury optymalizacji luzów w pasowaniach początkowych łożyskowań ślizgowych wałów korbowych po naprawie [Szymura 2003]. Umożliwia ona natychmiastowe wyznaczenie wartości średnicy szlifowania naprawczego czopów (łącznie z wymiarami granicznymi) dla  $L_{opt} = 0,020\text{ mm}$  już w trakcie weryfikacji, dla rzeczywistej grubości panewek w kompletach naprawczych i wartości rzeczywistych luzów w gniazdach osadczych.

## **Wnioski**

1. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że rzeczywiste wartości luzów początkowych w łożyskowaniach ślizgowych wałów korbowych silników S 400(1÷3) istotnie różnią się od wartości konstrukcyjnych. W skrajnych przypadkach są większe od wymaganych o ok. 70% - czopy główne, i o ok. 50% - czopy korbowodowe. Może to skutkować zmianą warunków docierania adaptacyjnego i obserwowanym w praktyce eksploatacyjnej skracaniem przebiegów ponaprawczych.
2. Optymalizacja wykorzystania potencjalnego zasobu trwałości konstrukcyjnej łożyskowań ślizgowych po naprawie jest możliwa poprzez zastąpienie wymiarów znormalizowanych czopów wału wymiarami swobodnymi, wyznaczonymi w trakcie procedur weryfikacyjnych. Można w tym celu wykorzystać, opracowaną na podstawie przedstawionego modelu matematycznego, metodę wspomaganie komputerowe.

## **Bibliografia**

Dreszczyk E. I in. 1996. Umacnianie powierzchni roboczych węzłów kinematycznych ze szczególnym uwzględnieniem fazy docierania.

Inżynieria powierzchni, 4, s. 47-53

Praca zbiorowa pod red. M. Szczerka i M. Wiśniewskiego. 2000. Tribologia i tribotechnika. Wyd. ITE, Radom, 727s.

Szymura D. 2003. Analiza wymiarowa pasowań początkowych elementów węzłów krytycznych po naprawie na przykładzie łożysk ślizgowych wału korbowego. Praca magisterska, Akademia Rolnicza w Szczecinie, Szczecin

Śliwiński W. 1990. Proces docierania metalowych par trących w warunkach smarowania. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej. Mechanika, z. 71, Kraków

Wanke P. 2000. Zagadnienia technologiczne projektowania procesów eksploatacji węzłów krytycznych. Konwersatorium pt. „Problemy inżynierii eksploatacji”, Informator Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa, z. 6, s. 153-162

### **Analysis of wear conditions and a method of repairing "bearing bush – journal" kinematic pair of the crankshaft of a S 400 engine**

#### **Summary**

In the paper a method of repairing the "bearing bush – journal" kinematic pair of the crankshaft of a S 400 engine was presented. The method consists of the replacement of grinding to normalized dimensions by grinding to floating dimensions. The most frequent reason for a loss of maintainability of the slide bearings of agricultural machines is minimum wear value of the surface layer and/or the misplacement of running clearances occurring during the repair (in comparison to the normalized dimensions of the spare parts). In the discussed research the attempt was made to optimize the initial states of slide bearings in order to increase the installation life of the engine after the repair.

**Key words:** initial status, engine run-in, friction, wear, lubrication, durability, reliability, maintenance, repair.