

Technological problems in the manufacture of bearing hubs

Technologiczne problemy w wytwarzaniu piast łożyskowych

STANISŁAW ADAMCZAK
MAREK GAJUR
KRZYSZTOF KUŹMICKI *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2025.12.11>

The article analyses the dimensional chain of longitudinal clearance in a third-generation combined bearing hub with a tapered bearing. It presents the tolerances of longitudinal clearance components for total interchangeability and the tolerance of the closing component for partial interchangeability. The abrasive machining process of the outer flange ring and inner flange ring is presented. The machines, machining bases and abrasive materials used, together with conditioning tools, are described.

KEYWORDS: rolling bearings, bearing hubs, axial clearance, total interchangeability, partial interchangeability

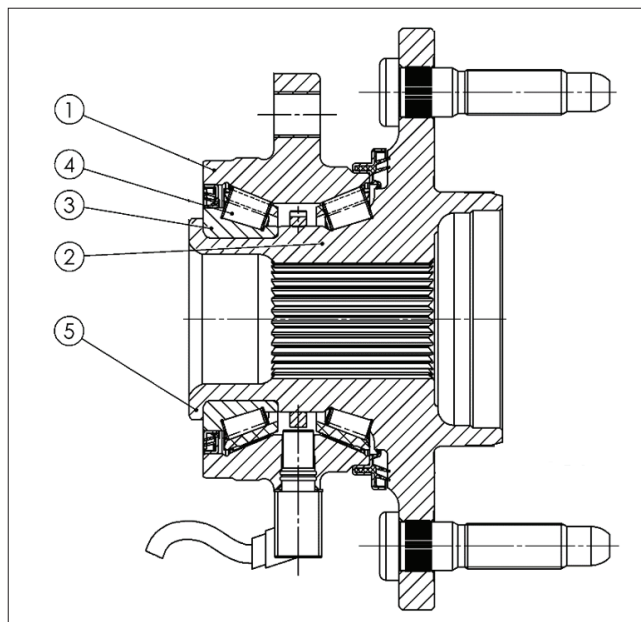
W artykule poddano analizie łańcuch wymiarowy luzu wzdłużnego zespolonej piasty łożyskowej trzeciej generacji z łożyskiem stożkowym. Przedstawiono tolerancje ogniów składowych luzu wzdłużnego dla zamienności całkowitej i tolerancję ogniwa zamykającego dla zamienności częściowej. Przedstawiono proces obróbki ścierniej pierścienia zewnętrznego kołnierзовego i wewnętrznego kołnierзовego. Opisano maszyny, bazy obróbkowe oraz użyte materiały ściernie wraz z narzędziami kondycjonującymi.

SŁOWA KLUCZOWE: łożyska toczne, piasty łożyskowe, luz wzdłużny, zamienność całkowita, zamienność częściowa

Wstęp

Ciągły rozwój motoryzacji wymusił na konstruktorach zmiany w sposobie łożyskowania kół pojazdów samochodowych. Zmiany te umożliwiły ograniczenie lub eliminację błędów podczas montażu, pozwoliły obniżyć koszty produkcji węzła łożyskowego oraz poprawić cechy użytkowe, takie jak zmniejszenie masy nieresorowanej, zmniejszenie zabudowy czy sztywność węzła [2, 7, 8]. To wszystko sprawiło, że dziś piasty łożyskowe są coraz częściej stosowane, skutecznie zastępując klasyczne rozwiązania [6]. Rozwój konstrukcji piast nie byłby możliwy bez rozwoju technologii produkcji oraz systemów pomiarowych [1]. Zespolone piasty łożyskowe trzeciej generacji to najnowsza odmiana piast łożyskowych o skomplikowanej dwukołnierzowej budowie (rys. 1). Jeden kołnierz pozwala na bezpośredni montaż piasty do zwrotnicy, drugi zaś na montaż tarczy hamulcowej i koła.

Niestety, skomplikowany kształt pierścieni kołnierzowych utrudnia ich wykonanie i pomiar. Problematiczne



Rys. 1. Piasta łożyskowa trzeciej generacji z wykorzystaniem konstrukcji łożyska stożkowego dwurzędowego: 1 – pierścień zewnętrzny kołnierzowy, 2 – pierścień wewnętrzny kołnierzowy, 3 – pierścień wewnętrzny, 4 – element toczny, wałeczek stożkowy, 5 – rozwalczony kołnierz piasty

jest ich podawanie do strefy obróbkowej oraz prawidłowe bazowanie na poszczególnych operacjach technologicznych. Nie wszystkie dotychczas powszechnie stosowane maszyny do produkcji łożysk są w stanie obrabiać tak skomplikowane pierścienie. Dlatego często produkcja piast łożyskowych wymaga od producenta zakupu maszyn technologicznych przeznaczonych właśnie do tego typu elementów.

Luz osiowy piasty

Właściwa i bezawaryjna praca węzła łożyskowego możliwa jest między innymi dzięki ustawieniu właściwego luzu. Ma on ogromny wpływ na trwałość węzła, jak również na opory tarcia [4, 9]. W literaturze brak jest informacji na temat właściwej wartości luzu [5]. Dla zespolonej piasty trzeciej generacji produkowanej przez FŁT Kraśnik S.A. tolerancja luzu wzdłużnego została ustalona na $TN = 50 \mu m$, a jego wartość zawiera się w przedziale $0-50 \mu m$. Na wartość wpływ mają wartości tolerancji ogniów składowych.

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak – adamczak@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0000-0002-7797-6330> – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, Polska
Mgr inż. Marek Gajur – mgajur@flt.krasnik.pl, <https://orcid.org/0000-0001-7760-8784> – Wydział Fabryka Łożysk Tocznych Kraśnik S.A., ul. Fabryczna 6, 23-204 Kraśnik, Polska
Mgr inż. Krzysztof Kuźmicki – kkuzmicki@flt.krasnik.pl, <https://orcid.org/0000-0002-8118-6593> – Fabryka Łożysk Tocznych Kraśnik S.A., ul. Fabryczna 6, 23-204 Kraśnik, Polska

TABLICA I. Zestawienie wyników tolerancji ogniów składowych dla zamienności całkowitej

Wymiar ogniwa [mm]	Metoda obliczeń			
	jednakowej tolerancji [μm]	jednakowej klasy dokładności [μm]	jednakowego wpływu [μm]	minimum kosztów [μm]
DBZ1=76,903	4,2	5,5	4,1	5
DBZ2=76,903	4,2	5,5	4,1	5
DBW1=58,754	4,2	5	4,1	5
DBW2=58,755	4,2	5	4,1	5
DWS1=9,6415	4,2	2,8	2,2	2
DWS2=9,6415	4,2	2,8	2,2	2
LOP1=29,201	4,2	4	19	10
LOP2=17,659	4,2	3,4	19	10
DP=50	4,2	4,8	5,2	6
DW=50	4,2	4,8	5,2	6

DBZ.. – średnice bieżni pierścienia zewnętrznego kołnierowego, DBW.. – średnice bieżni pierścienia wewnętrznego kołnierowego oraz pierścienia wewnętrznego, DWS.. – średnice wałeczków stożkowych, LOP.. – położenia bieżni pomocniczych, DP – średnica otworu pierścienia wewnętrznego, DW – średnica powierzchni walcowej pierścienia wewnętrznego kołnierowego, miejsce osadzenia pierścienia wewnętrznego.

Zestawienie wyników tolerancji ogniów składowych piasty łożyskowej trzeciej generacji z łożyskiem stożkowym dwurzędowym dla zamienności całkowitej, przedstawiono w tab. 1.

Prowadzenie procesu w tak małych granicach tolerancji jest bardzo trudne. Dlatego konieczne staje się powiększenie tolerancji ogniów składowych. Jest to możliwe przy zastosowaniu zamienności selekcyjnej, która wymaga dodatkowych nakładów pracy, stanowisk pomiarowych, grupowania pomierzonych części i właściwej ich kompletacji oraz 100% pomiarów. Drugą metodą powiększenia wartości tolerancji jest zastosowanie zamienności częściowej, dla której wartość tolerancji ogniwa zamykającego uzyskiwana jest z założonym prawdopodobieństwem. Wartość powiększonej tolerancji dla określonego prawdopodobieństwa możemy obliczyć dzięki współczynnikowi powiększenia tolerancji ogniwa zamykającego. W przypadku łańcucha wymiarowego luzu wzdłużnego zespolonej piasty łożyskowej z łożyskiem tocznym stożkowym mamy dziesięć ogniów składowych ($m = 10$) oraz zakładamy, że wartości tych ogniów podlegają rozkładowi normalnemu (k – współczynnik zależny od typu rozkładu, przyjmujący wartość 1 dla rozkładu normalnego).

Zatem R – współczynnik powiększenia tolerancji ogniów składowych dla rozkładu normalnego przy proencie ryzyka braków równym 0,27% można obliczyć z zależności (1) i wynosi on [3]:

$$R_{0,27\%} = \frac{\sqrt{m-1}}{k} = \frac{\sqrt{10-1}}{1} = 3 \quad (1)$$

Tolerancja ogniwa zamykającego będzie więc wynosić:

$$T_{NR0,27\%} = R_{0,27\%} \cdot T_N = 3 \cdot 50 = 150 \mu m \quad (2)$$

Dzięki zamienności częściowej dla omawianego przypadku możemy powiększyć tolerancje ogniów składowych trzykrotnie przy założeniu 0,27% produkcji niezgodnej ze specyfikacją. Wartość 0,27% produkcji wadliwej oczekiwana jest przy założeniu wskaźników zdadności na poziomie $C_p, C_{pk} \geq 1$. War-

tości wskaźników C_p oraz C_{pk} dla motoryzacji muszą być powyżej wartości 1,33 [10], a więc i poziom produkcji wadliwej będzie mniejszy i można szacować, że jej wartość będzie niższa niż 0,01%.

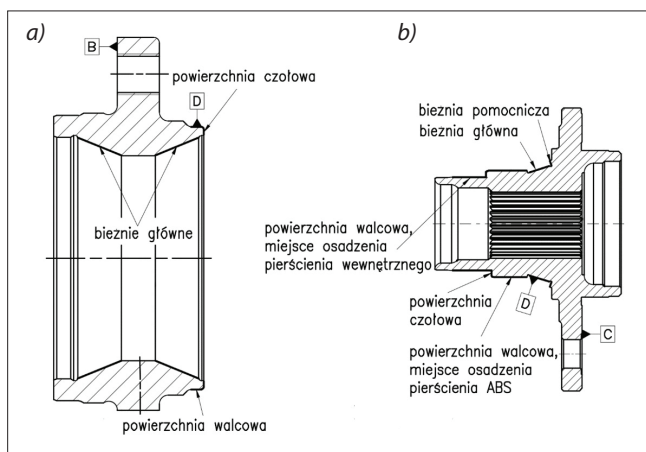
Maszyny technologiczne do obróbki ścierniej

Pierścień zewnętrzny kołnierowy

Elementami wchodzącymi w skład piasty łożyskowej, które odbiegają kształtem oraz sposobem obróbki od typowych elementów łożysk tocznych, są: pierścień zewnętrzny kołnierowy oraz pierścień wewnętrzny kołnierowy. Pierścienie te, ze względu na umieszczenie bazy obróbkowej na kołnierzu (rys. 2), wymagają zastosowania obrabiarek, które umożliwią załadunek w strefę obróbki oraz wsparcie ich na oporze, który jednocześnie nada pierścieniowi ruch obrotowy. Aby zapewnić umiejscowienie bazy obróbkowej zgodnie z bazą zadaną przez konstruktora, zdecydowano się na obrabiarki z ruchomym oporem, który na czas przeładunku zostaje wycofany ze strefy obróbki, umożliwiając tym samym załadunek pierścienia. Ze względu na konieczność przygotowania bazy obróbkowej, na której umiejscowione zostaną podpory, pierwszą operacją szlifierską dla pierścienia zewnętrznego jest operacja „szlifować czoło i fi zew.”

Obrabiarka wykorzystywana do tej operacji posiada automatyczną wyważarkę ściernicy. Z uwagi na kształt szlifowanej powierzchni do kondycjonowania ściernicy używana jest rolka diamentowa kształtowa. Do operacji tej użyta jest ściernica o charakterystyce 6A100J8V76.

Drugą operacją szlifierską dla pierścienia zewnętrznego jest operacja „szlifować bieżnie zgrubnie”. Bazami dla tej operacji jest powierzchnia kołnierza (B) oraz średnica zewnętrzna (D) (rys. 2a). Szlifierka użyta do tej operacji posiada urządzenie do napędu rolki kondycjonującej oraz kontrolę czynną szlifowanej średnicy bieżni. Do kondycjonowania ściernicy na tej operacji używana jest rolka diamentowa kształtowa. Do operacji tej użyte są dwie ściernice o charakterystyce CrA80K7V.



Rys. 2. Bazy obróbkowe oraz powierzchnie obrabiane obróbkami ściernymi: a) pierścień zewnętrzny kołnierzowy, b) pierścień wewnętrzny kołnierzowy

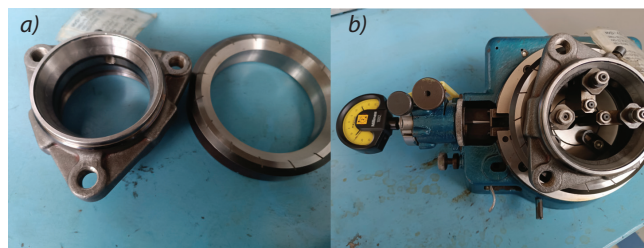
Trzecia operacja szlifierska dla pierścienia zewnętrznego to operacja „szlifować bieżnie wykańczając”. Bazy, materiały ściernie oraz maszyna użyta do tej operacji są identyczne jak dla szlifowania zgrubnego. Z uwagi na dużą stabilność czasową parametrów kondycjonowania oraz możliwość korekty wypukłości i kątów bieżni, do kondycjonowania ściernicy na tej operacji używana jest rolka trawersująca.

Czwartą operacją dla pierścienia zewnętrznego jest operacja „dogładszać bieżnie”. Podczas tej operacji dogładzane są obie bieżnie jednocześnie. Do operacji tej używane są dwa pilniki o charakterystyce FA600-150FV51S.

Pierścień wewnętrzny kołnierzowy

Pierwszą operacją szlifierską dla pierścienia wewnętrznego kołnierzowego jest operacja szlifowania dwóch powierzchni walcowych, powierzchni czołowej oraz bieżni głównej, na której umieszczone są podpory. Powierzchnie bieżni głównej (D) oraz czoła kołnierza (C) służą jako bazy obróbkowe dla następnych operacji (rys. 2b). Obrabiarka użyta do tej operacji posiada automatyczną wyważarkę ściernicy, kontrolę czynną szlifowanej powierzchni oraz urządzenie do napędu rolki. Z uwagi na kształt szlifowanej powierzchni do kondycjonowania ściernicy używana jest rolka diamentowa kształtowa. Do operacji tej użyta jest ściernica o charakterystyce 6A100J8V76. Drugą operacją szlifierską dla pierścienia wewnętrznego kołnierzowego jest operacja „szlifować bieżnię główną”.

Szlifierka użyta do tej operacji posiada automatyczną wyważarkę ściernicy, kontrolę czynną szlifowanej powierzchni oraz urządzenie do napędu rolki trawersującej. Do operacji tej używana jest ściernica o charakterystyce 6A100J8V76. Trzecią operacją szlifierską jest operacja szlifowania bieżni pomocniczej. Obrabiarka do tej operacji wyposażona jest w urządzenie do napędu rolki trawersującej. Do operacji tej użyta jest ściernica o charakterystyce 32A150J8VS3. Czwartą operacją jest operacja dogładzania bieżni głównej i pomocniczej. Podczas tej operacji dogładzane są obie bieżnie jednocześnie. Do operacji tej używane są dwa pilniki firmy o charakterystyce FA600-150FV51S.



Rys. 3. a) podkładka pierścieniowa wraz ze wzorcem pierścienia zewnętrznego kołnierzowego, b) podkładka pierścieniowa wraz ze wzorcem na przyrządzie do pomiaru bieżni głównej

Jedną z baz obróbkowych dla operacji szlifierskich oraz bazę pomiarową stanowi powierzchnia kołnierza (dla obu pierścieni), która powstaje w wyniku operacji toczenia. Aby wyeliminować wpływ jakości tej powierzchni na pomiar obrabianych powierzchni, przy pomiarach obu pierścieni zastosowano specjalne podkładki pierścieniowe (rys. 3), które mają wymiary średnicowe, takie jak opory na obrabiarkach. Zastosowanie tych pierścieni pozwoliło na właściwą ocenę wytworzonych elementów.

Wnioski

Obróbka ścierna piast łożyskowych to proces niezwykle ważny dla zapewnienia wysokiej jakości i trwałości tych kluczowych elementów mechanicznych. Proces obróbki stawia przed technologami liczne wyzwania. Odpowiednie podejście technologiczne, wykorzystanie nowoczesnych narzędzi oraz urządzeń pozwala na ich skuteczne pokonanie. Przyczynia się to do zwiększenia efektywności i niezawodności pojazdów samochodowych. Statystyczna analiza tolerancji pozwala na optymalizację tolerancji, zwiększenie elastyczności produkcji i redukcję kosztów.

LITERATURA

- [1] Adamczak S. *Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (2008), s. 9.
- [2] Furukawa K. *2.5th Generation Double-Row Tapered Roller Bearing Hub Unit for SUVs and Pickup Trucks*. JTEKT ENGINEERING JOURNAL. English Edition No. 1009R (2012), s. 49–53.
- [3] Jeziński J. *Analiza tolerancji i zamienności części maszyn*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (1973), s. 191, 168–188, 194.
- [4] Kaczor J. *Effect of tapered roller bearings preload on bearing system durability*. Tribologia 4/2021, s. 15–26.
- [5] Kaczor J. *Selection of preload in tapered roller bearings arrangement according to durability criterion*. Tribologia 3/2023, s. 31–42.
- [6] Maciejczyk A., Zdziennicki Z. *Łożyskowanie piast kół pojazdów. Autobusy*. Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe. Nr 3/2013.
- [7] Numata T. *Latest Technical Trends regarding Hub unit Bearings*. Koyo engineering Journal English Edition No. 168E (2005), s. 8–13.
- [8] Sakamoto J. *Trends and New Technologies of Hub Unit Bearings*. NSK Technical Journal. Motion & Control. No. 17 May (2005), s. 2–9.
- [9] Takahashi K., Suzuki D., Nagatomo T. *Effect of Axial Clearance on Rolling Element Load of Double Row Tapered Roller Bearings*. QR of RTRI, Vol. 60, No. 3 Aug. (2019), s. 196–201.
- [10] VDA 4. *Podstawy, analizy ryzyka, metody, modele procesów. Kształtowanie procesu i nadzór nad procesem w aspekcie ekonomicznym*. Wydanie drugie, zmienione i rozszerzone, (2009), s. 27.