

Andrzej KOŁODZIEJ

e-mail: a.kolodziej@ip.pwz.kalisz.pl

Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Kalisz

Metrologiczne aspekty połączeń w budowie maszyn Odchyłka prostoliniowości w połączeniach osiowosymetrycznych

Wprowadzenie

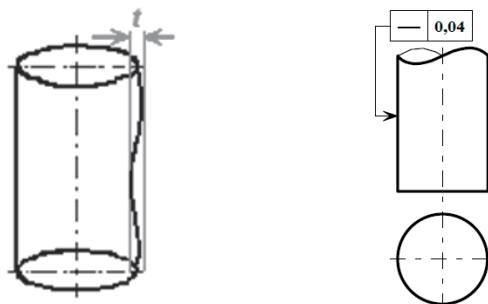
Na skutek niedoskonałości procesu produkcyjnego gotowe części zawsze wykazują odstępstwa od postaci z wymiarów geometrycznych określonych na rysunku konstrukcyjnym. W przypadku części walcowych ważne miejsce zajmują odchyłki kształtu (prostoliniowości, okrągłości i walcowości), których występowanie ma wpływ na dalszy proces obróbczy, utrudnia montaż i obniża właściwości funkcjonalne gotowych wyrobów [1].

Ranga problemu oceny makrogeometrii powierzchni elementów połączeń wynika z powszechności ich występowania w wielu odpowiedzialnych zespołach konstrukcyjnych. Odchyłki geometryczne powierzchni tworzących połączenia spoczynkowe obniżają ich trwałość i sztywność. W połączeniach ruchowych wywołują drgania, szum, zwiększone i zmienne opory ruchu, niedokładność przemieszczeń względnych [2].

Identyfikacja i metody pomiaru odchyłki prostoliniowości

W przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym znaczną wagę przykładają się do minimalizacji błędów prostoliniowości powierzchni walcowych. Jest to szczególnie ważne przy przemieszczeniach liniowych elementów (np. tłok silnikowy), jak również części wykonujących tylko ruch obrotowy (np. elementy łożysk walcowych i stożkowych) [3]. Nowoczesny proces wytwarzania wymaga stałej kontroli jakości powierzchni. Można to uzyskać przez ciągłą weryfikację z zastosowaniem odpowiedniej aparatury charakteryzującej się dokładnością pomiaru tolerancji prostoliniowości określonej w specyfikacji.

W elementach typu wałek i otwór można tolerować między innymi prostoliniowość tworzącej lub osi. Typowym przypadkiem jest tolerowanie prostoliniowości tworzącej, gdzie polem tolerancji jest prostokąt leżący w płaszczyźnie przechodzącej przez oś walca. Krótszy bok równa się tolerancji prostoliniowości, dłuższy pokrywa się z długością tolerowanej tworzącej (Rys. 1). W tak określonym polu powinien zawierać się zarys każdej tworzącej.



Rys. 1. Tolerancja prostoliniowości tworzącej walca; a) definicja, b) przykład

W technice pomiarowej używa się wielu metod pomiaru i oceny prostoliniowości. Zalicza się do nich proste przemysłowe sposoby kontroli prostoliniowości z wykorzystaniem uniwersalnych narzędzi pomiarowych (czujniki, poziomice optyczne itp.), a także metody które uwzględniają zastosowanie specjalistycznych przyrządów pomiarowych. Szczególną grupę stanowią przyrządy stykowe wyposażone welektryczne czujniki pomiarowe, których istotną częścią jest końcówka z ostrzem o ustalonym promieniu (specjalizowane lub typowe profilometry).

Do oceny zarysów prostoliniowości tworzących powierzchnie walcowe i prostoliniowości osi tych powierzchni mogą być stosowane typowe przyrządy do pomiarów zarysu walcowości obrotowych części

maszyn. Przyrządy te charakteryzują się tym, że czujnik pomiarowy może wykonywać ruch prostoliniowy po odpowiednich, dokładnie wykonanych prowadnicach, a umieszczony liniał elektroniczny umożliwia automatyczny pomiar wysokości tego czujnika.

Analiza stanu zapisu konstrukcji i metodyka badań

Do prawidłowej oceny metrologicznej istniejących obecnie rozwiązań konstrukcyjnych połączeń sworzniowych, a przede wszystkim wyników podjętych badań konieczne było przeprowadzenie analizy zapisu konstrukcji tych elementów w aktualnych dokumentacjach zakładowych [4]. Została ona podzielona na elementy połączeń zespołów podstawowych (np. sworznie tłokowe, jarzma, śmigła) i pomocniczych (sworznie układu: włączania sprzęgła, skrzyni biegów, przeciwwag). Analizowano zapis o średnicy i długości wałków, ich tolerancji, chropowatości powierzchni oraz tolerancjach kształtu, o ile występowały na rysunkach. W tym opracowaniu ze względu na obszerny materiał badawczy przedstawiono tylko analizę występowania tolerancji prostoliniowości (Tab. 1).

Tab. 1. Procentowy udział oznaczeń zapisu odchyłki prostoliniowości tworzącej sworzni

Tolerancja prostoliniowości tworzącej sworzni	Przemysł	
	motoryzacyjny, %	lotniczy, %
Prostoliniowość (tylko zespoły podstawowe)	7,8	11,3
Prostoliniowość i okrągłość (tylko zespoły podstawowe)	21,6	23,1

W pozostałych elementach tolerowana była okrągłość, walcowość, przypadki szczególne (okrągłość z określeniem dopuszczalnej granistości lub ograniczenia występowania określonych form walcowości) oraz tylko średnica. W dokumentacji dotyczącej elementów połączeń zespołów pomocniczych dla przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego nie stwierdzono tolerowania prostoliniowości tworzącej walca.

Badania jakości wykonania przeprowadzono w laboratoriach przedsiębiorstw przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego, w których wytwarzane są elementy osiowosymetryczne, w okresie luty 2009 – luty 2010 na grupie 25 różnych typów sworzni. Przesłanką do wyboru tych zakładów była wysoka jakość wytwarzania, ostre wymagania dotyczące cech bezpieczeństwa (wytrzymałości i niezawodności) oraz oceny jakości produktu, którą otrzymuje się w wyniku stosowania najnowocześniejszych technik pomiarowych.

Jedną ze sprawdzanych cech geometrycznych była odchyłka zarysu prostoliniowości tworzącej wałków.

Pomiary realizowano według założonego programu:

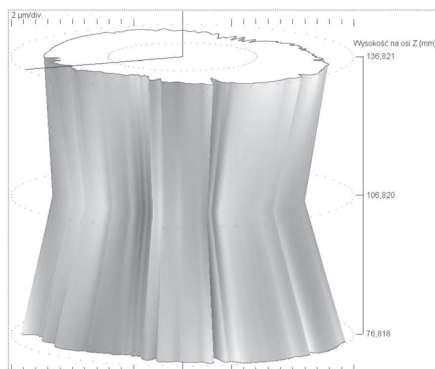
- oszacowano niepewność pomiaru metodą A, $U_{95} = \pm 0,2 \mu\text{m}$,
- próbki do badań pobierano losowo z serii produkcyjnych w liczbie 30 sztuk,
- dla każdego wałka przeprowadzono 4 pomiary odchyłki prostoliniowości,
- dla niektórych wałków ponawiano wybór próbek z innych partii wyrobów (30 sztuk) okresu badawczego, w celu sprawdzenia powtarzalności i stabilności produkcji.

Stanowisko pomiarowe i wyniki badań

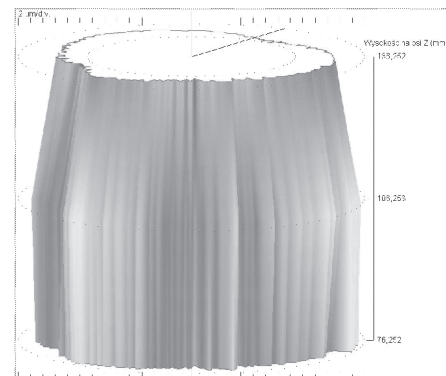
Pomiary odchyłek prostoliniowości przeprowadzono na urządzeniu specjalizowanym (okrągłościomierzu) *Talyrond 365* (Rys. 2), a nie na



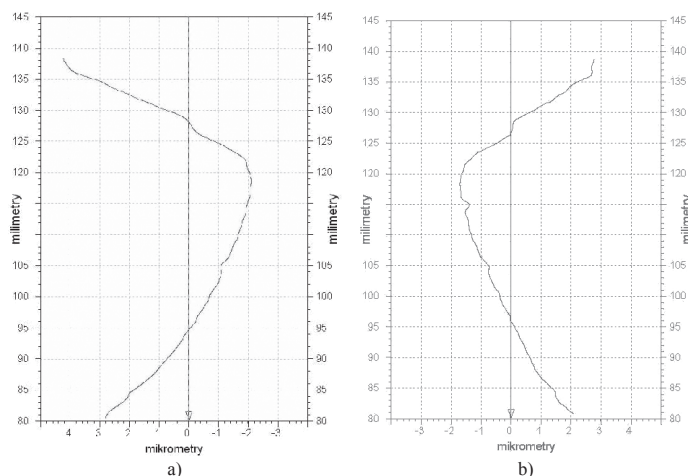
Rys. 2. Urządzenie pomiarowe Talyrand 365 firmy Taylor Hobson



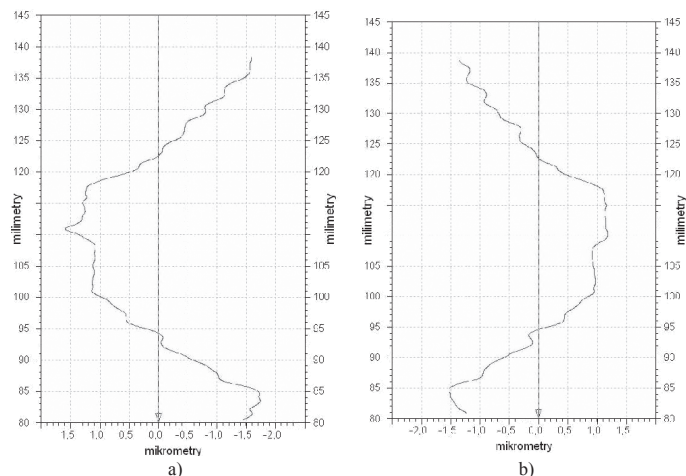
Rys. 3. Zarys siódłowy z odchyłką walcowości wierzchołek – wgłębienie CYLt = 15,81 μm (zakres przeniesienia fal 1-150 UPR, prędkość pomiaru 6 obr/min)



Rys. 5. Zarys baryłkowy z odchyłką walcowości wierzchołek – wgłębienie CYLt = 11,18 μm (zakres przeniesienia fal 1-150 UPR, prędkość pomiaru 6 obr/min)



Rys. 4. Odchyłki prostoliniowości walca wierzchołek – wgłębienie ustalone w płaszczyźnie 0° i 180° (prędkość pomiaru 10 mm/s, długość fali granicznej 2,5 mm) wynoszą odpowiednio: a) STRt = 6,35 μm , b) STRt = 4,49 μm



Rys. 6. Odchyłki prostoliniowości walca wierzchołek – wgłębienie ustalone w płaszczyźnie 0° i 180° (prędkość pomiaru 10 mm/s, długość fali granicznej 2,5 mm) wynoszą odpowiednio: a) STRt = 3,33 μm , b) STRt = 2,72 μm

profilometrze, który jest powszechnie stosowany w praktyce przemysłowej do tego typu zadań. Powodem wyboru tego przyrządu była możliwość przeprowadzenia pomiarów odchyłek prostoliniowości, okrągłości i walcowości z jednego zamocowania na stole. Istotną była również możliwość pomiaru odchyłek prostoliniowości tworzących wałków w płaszczyznach 0° i 180° oraz 90° i 270° , gdyż otrzymane pary wykresów obrazują zarys przekroju wzdłużnego wałka.

Pomiary przeprowadzono: głowicą indukcyjną o trzpieniu 100 mm, promieniu końcówki pomiarowej 0,5 mm, nacisku pomiarowym 0,25 N, zastosowano filtr Gaussa, a do oceny wyników element zastępczy najmniejszych kwadratów. Przykładowe wykresy charakterystycznych przypadków odchyłki walcowości otrzymanych z trzech przekrojów poprzecznych sworzni przedstawiono: siódłowość (Rys. 3) i baryłkowość (Rys. 5).

Natomiast odpowiadające im pary wykresów odchyłki prostoliniowości tworzących obrazują rys. 4 i 6.

Sto procent elementów, dla których zapis w dokumentacji uwzględnił tolerancję prostoliniowości zostało wykonanych w określonym przez ten zapis polu, o wartości odchyłki do 25% (przemysł lotniczy) i 21% (przemysł motoryzacyjny) zapisanej tolerancji średnicy. W 30% mierzonych elementów stwierdzono szczególnie przypadek odchyłki prostoliniowości – wypukłość, w 22% wklęsłość, a w 48% prostoliniowość. Wałki, dla których nie było zapisu w dokumentacji o tolerancji prostoliniowości zostały wykonane z odchyłką prostoliniowości o wartości do 32% (przemysł lotniczy) i 35% (przemysł motoryzacyjny) zapisanej tolerancji średnicy. W 30% elementów stwierdzono wypukłość, w 31% wklęsłość, a w 39% zarys prostoliniowy.

Podsumowanie

Na podstawie analizy dokumentacji technicznej i otrzymanych wyników pomiarów można stwierdzić, iż w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym dla elementów zespołów podstawowych stosowane są klasy dokładności wykonania IT2, IT3, IT4, dla których odchyłki prostoliniowości przyjmują do 25% wartości liczbowej tolerancji. Natomiast elementy zespołów pomocniczych wykonuje się w IT6, IT7, dla których odchyłki prostoliniowości przyjmują do 35% wartości tolerancji. Podobna analiza przeprowadzana jest również dla odchyłek okrągłości i walcowości wałków oraz współpracujących z nimi otworów, co umożliwi określenie rzeczywistej powierzchni kontaktu skojarzonej pary obciążonej różnymi kompilacjami odchyłek kształtu. Wyniki badań poddane zostaną analizie statystycznej, która pozwoli na opracowanie wytycznych co do budowy algorytmów projektowych i symulacyjnych. Przestrzenny opis powierzchni przylegania zapewni możliwość modelowania pasowań celem kształtowania decyzji o wyborze koncepcji rozwiązania projektowego oraz analizę naprężeń kontaktowych.

LITERATURA

- [1] Z. Humienny (red): Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [2] S. Żebrowska-Lucyk: Bezodniesieniowa metoda badania makrogeometrii powierzchni elementów obrotowych, Praca Naukowa, Zeszyt 187, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [3] S. Adamczak: Pomiary geometryczne powierzchni, WNT, Warszawa 2008.
- [4] M. Dudziak, Z. Humienny, A. Kołodziej: Mechanik nr 5-6, 356 (2010).