

Andrzej KOŁODZIEJ

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

Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Kalisz

## Metrologiczne aspekty połączeń w budowie maszyn. Odchyłka okrągłości w połączeniach osiowosymetrycznych

### Wprowadzenie

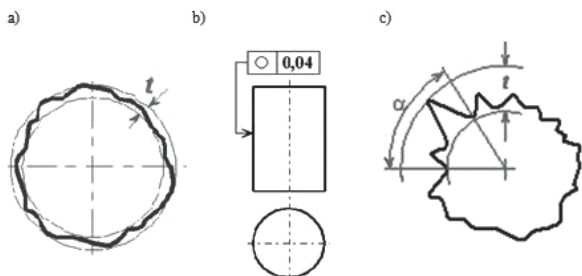
Na skutek niedoskonałości procesu produkcyjnego gotowe części zawsze wykazują odstępstwa od idealnych elementów geometrycznych określonych na rysunku konstrukcyjnym. W przypadku części walcowych ważne miejsce zajmują odchyłki kształtu (prostoliniowości, okrągłości i walcowości), których występowanie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

Celem pracy jest ocena makrogeometrii powierzchni elementów połączeń i sprawdzenie, czy odchyłki geometryczne powierzchni tworzących połączenia spoczynkowe, obniżają ich trwałość i sztywność a w połączeniach ruchowych wywołują drgania, szum, zwiększone a w połączeniach ruchowych wywołują drgania, szum, zwiększone i zmienne opory ruchu, niedokładność przemieszczeń względnych [2].

### Identyfikacja i metody pomiaru odchyłki okrągłości

W przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym znaczną wagę przykłada się do minimalizacji błędów okrągłości powierzchni walcowych. Jest to szczególnie ważne zwłaszcza w przypadku elementów wykonujących ruch obrotowy (np. elementy łożysk tocznych i ślizgowych, wrzecion obrabiarek), jak również elementów nie wykonujących obrotu, a tylko przemieszczenia liniowe (np. tłok silnika) [3]. Nowoczesny proces wytwarzania wymaga stałej kontroli jakości powierzchni. Można to uzyskać przez ciągłą weryfikację z zastosowaniem odpowiedniej aparatury charakteryzującej się dokładnością pomiaru, która odpowiadałaby tolerancjom kształtu określonym w specyfikacji [4].

W elementach typu wałek i otwór można tolerować między innymi zarys okrągłości. Typowym przypadkiem jest tolerowanie okrągłości pełnego zarysu, gdzie pole tolerancji w dowolnym przekroju jest ograniczone przez dwa okręgi współśrodkowe o różnicy promieni równej  $t$  (Rys. 1a, b). W tak określonym polu powinien zawierać się zarys zaobserwowany każdego przekroju poprzecznego walca lub stożka. W przemyśle lotniczym stosuje się dodatkowo tolerancję okrągłości w sektorze kątowym (lokalną). Zawęża ona tolerancję okrągłości na określonym kącie zarysu (Rys. 1c). Nie jest określana symbolem graficznym, lecz opisywana przez konstruktora w notach rysunkowych (np. walcowe elementy przekładni planetarnych).



Rys. 1. Tolerancja okrągłości : a) definicja, b) przykład, c) w sektorze kątowym

W technice pomiarowej stosuje się dwie grupy metod pomiaru zarysów okrągłości: bezodniesieniowe i odniesieniowe. Pierwsze polegają na pomiarze zmian promienia, w których bazę pomiarową stanowi oś przedmiotu. Mogą być realizowane w urządzeniu kłowym (najprostszy sposób – często stosowany w warunkach produkcyjnych), jeżeli badany przedmiot posiada nakielki oraz za pomocą przyrządów specjalizowanych, w dwóch rozwiązaniach konstrukcyjnych: z obrotowym stołem lub z obrotowym wrzecionem. Specjalistyczne przyrządy zapewnia-

ją dużą dokładność pomiaru, z błędem nie przekraczającym niekiedy  $0,1 \mu\text{m}$ , lecz są drogie i nie mogą być stosowane na produkcyjnych stanowiskach pomiarowych. Dlatego często stosuje się przybliżone metody wyznaczania odchyłki okrągłości wykorzystując proste przemysłowe sposoby kontroli z zastosowaniem uniwersalnych narzędzi pomiarowych (pryzmy, czujniki itp.). Są one oparte na założeniu, że znany jest charakter odchyłki okrągłości, tzn. że w mierzonym elemencie występuje (a praktycznie dominuje) tylko jeden rodzaj błędu kształtu (owal, trójgraniastość czy ogólnie  $n$ -graniastość). W pomiarach wykorzystuje się wzajemne usytuowanie wybranych dwóch lub więcej punktów zarysu. Są to punkty podparcia (bazowe) oraz punkty pomiaru.

### 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. Została ona podzielona na elementy połączeń zespołów podstawowych (np. sworznie tłokowe, jarzm, 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 [5]. W pracy, ze względu na obszerny materiał badawczy, przedstawiono tylko analizę występowania tolerancji okrągłości (Tab. 1).

Tab. 1 Procentowy udział oznaczeń zapisu tolerancji okrągłości sworzni

Tolerancja okrągłości sworzni (tylko zespoły podstawowe)	Przemysł	
	motoryzacyjny [%]	lotniczy [%]
Okrągłość	1,8	4,4
Okrągłość w sektorze kątowym	–	1,8
Określono minimalną graniastość	–	0,6
Okrągłość i prostoliniowość	21,6	23,1
Okrągłość i walcowość	19,6	16,8
Określono dopuszczalną owalność oraz walcowość	–	4,3
Określono dopuszczalną owalność i trójgraniastość oraz walcowość	–	1,5

W pozostałych elementach tolerowana była prostoliniowość, walcowość, lub ograniczenia występowania określonych form walcowości) oraz tylko średnica. W dokumentacji dotyczącej elementów połączeń zespołów pomocniczych dla przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego nie stwierdzono tolerowania okrągłości 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 okrągłości 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 3 pomiary odchyłki okrągłości na stałych wysokościach,
- dla niektórych wałków ponawiano wybór próbek z innych partii wyrobów (30 sztuk) na przestrzeni okresu badawczego, w celu sprawdzenia powtarzalności i stabilności produkcji,

### Stanowisko pomiarowe i wyniki badań

Pomiary odchyłek okrągłości przeprowadzono na urządzeniu specjalizowanym (okrągłościomierzu) *Talyrond 365* (Rys. 2). Powodem wyboru tego przyrządu była możliwość przeprowadzenia pomiarów odchyłek prostoliniowości, okrągłości i walcowości podczas jednego zamocowania na stole.



Rys. 2. Urządzenie pomiarowe *Talyrond 365* firmy *Taylor Hobson*

Pomiary przeprowadzono za pomocą głowicy indukcyjnej o trzpieniu 100 mm, promieniu końcówki pomiarowej 0,5 mm, nacisku pomiarowym 0,25 N, przy prędkości pomiaru 6 obr/min, stosując filtr *Gaussa* o zakresie przenoszenia fal 1-150 UPR, a do oceny wyników zastosowano element zastępczy najmniejszych kwadratów. Przykładowe wykresy odchyłki okrągłości sworzni przedstawiono na rys. 3.

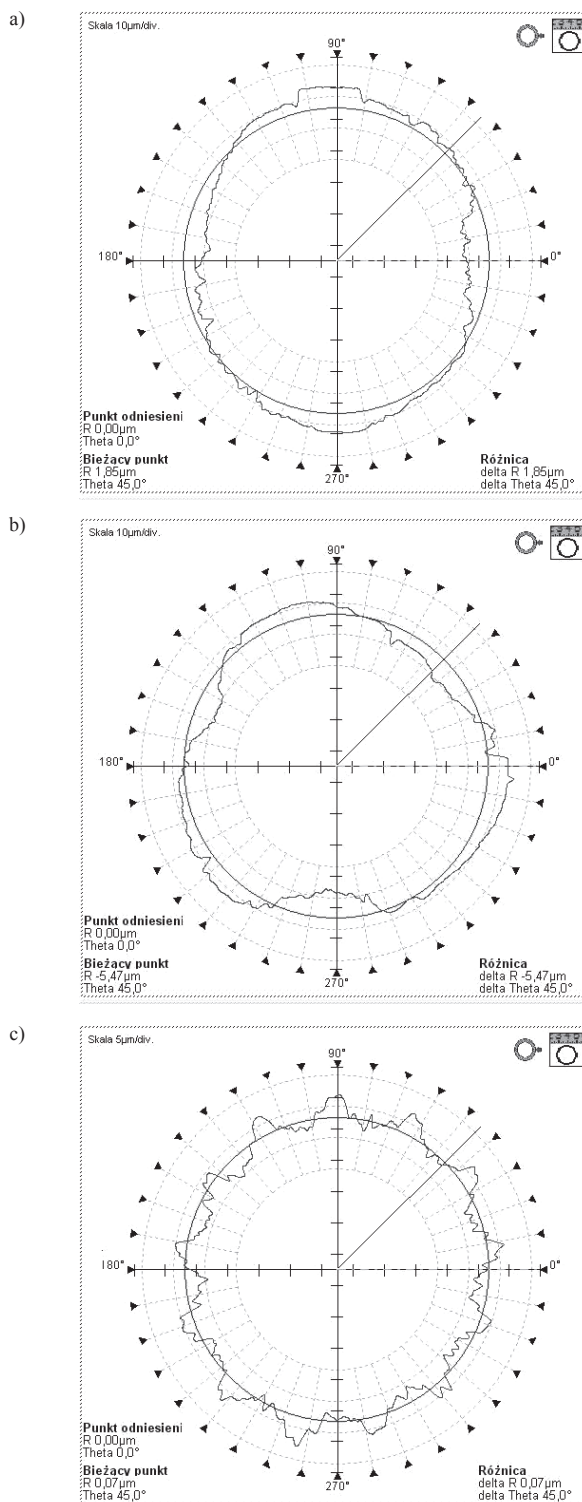
Wszystkie elementy, dla których zapis w dokumentacji uwzględniał tolerancję okrągłości zostały wykonane w określonym przez ten zapis polu, o wartości odchyłki do 30% (przemysł lotniczy) i 28% (przemysł motoryzacyjny) zapisanej tolerancji średnicy. W 22% mierzonych elementów stwierdzono szczególny przypadek odchyłki okrągłości – owalność, a w 78% graniastość (w tym w 7% trójgraniastość). Wałki, dla których nie było zapisu w dokumentacji o tolerancji okrągłości zostały wykonane z odchyłką okrągłości o wartości do 35% (przemysł lotniczy) i 32% (przemysł motoryzacyjny) zapisanej tolerancji średnicy. W 30% elementów stwierdzono owalność, w 70% graniastość (w tym w 29% trójgraniastość).

### 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 okrągłości przyjmują do 30% wartości liczbowej tolerancji. Natomiast elementy zespołów pomocniczych wykonuje się w IT6, IT7, dla których odchyłki okrągłości przyjmują do 35% wartości tolerancji.

Podobną analizę przeprowadzono również dla odchyłek prostoliniowości i walcowości wałków oraz współpracujących z nimi otworów, co umożliwi określenie rzeczywistej powierzchni kontaktu skojarzonej pary obciążonej różnymi kombinacjami odchyłek kształtu.

Wyniki badań zostały poddane analizie statystycznej, która pozwoliła na opracowanie wytycznych 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.



Rys. 3. Graficzne przedstawienie wybranych odchyłek okrągłości badanych sworzni; a) owalność  $RON_t = 15,52 \mu\text{m}$ , b) trójgraniastość  $RON_t = 14,57 \mu\text{m}$ , c) trzynastograniastość  $RON_t = 16,31 \mu\text{m}$

### LITERATURA

- [1] Z. *Humienny (red.)*: Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Oficyna Wyd. 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. *Grzelka, B. Gapiński, L. Marciniak, M. Wieczorowski, K. Matliński, I. Olszewska*: Pomiary Automatyka Kontrola, **56**, nr 1, 35 (2010).
- [5] A. *Kołodziej*: Inż. Ap. Chem. **49**, nr 5, 63 (2010).