

Andrzej KOŁODZIEJ

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

Katedra Mechaniki i Budowy Maszyn, Wydział Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Kalisz

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

### Wprowadzenie

Na skutek niedoskonałości procesu produkcyjnego gotowe części wykazują odstępstwa od postaci w 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 [Humienny, 2004].

Ranga problemu oceny makrogeometrii powierzchni elementów połączeń wynika z powszechności ich występowania w wielu odpowiedzialnych zespołach konstrukcyjnych. Odchyłki geometryczne powierzchni tworzące połączenia spoczynkowe obniżają ich trwałość i sztywność. W połączeniach ruchowych wywołują drgania, szum, zwiększone i zmienne opory ruchu, niedokładność przemieszczeń względnych [Żebrowska-Lucyk, 2001].

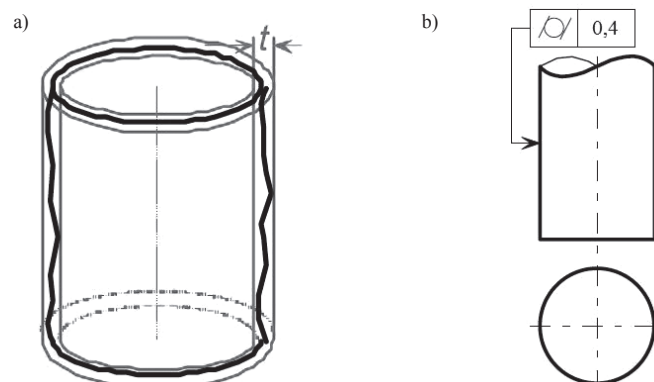
### Identyfikacja i metody pomiaru odchyłki walcowości

W przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym znaczną wagę przykłada się do minimalizacji błędów 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, prowadnice) [Adamczak, 2008]. Nowoczesny proces wytwarzania wymaga stałej kontroli jakości powierzchni wykonanych elementów. Można to uzyskać przez ciągłą weryfikację z zastosowaniem odpowiedniej aparatury charakteryzującej się dokładnością pomiaru, która odpowiadałaby tolerancjom kształtu określonym w specyfikacji [Grzelka i inni, 2010].

W elementach typu wałek i otwór można tolerować między innymi zarys walcowości. Typowym przypadkiem jest tolerowanie walcowości pełnego zarysu, które ogranicza również odchyłki prostoliniowości tworzących i osi walca, odchyłki okrągłości w przekrojach poprzecznych i odchyłki równoległości przeciwległych tworzących.

Celem pracy jest odpowiedź na pytanie, czy jeśli pole tolerancji jest zdefiniowane przez dwa współosiowe walce o różnicy promieni równej  $t$  (Rys. 1a, b), to w tak określonym polu zawiera się zarys wytwarzanego walca.

W technice pomiarowej stosuje się dwie grupy metod pomiaru zarysów walcowych: bezodniesieniowe i odniesieniowe. Pierwsza polega na pomiarze zmian promienia, w których bazę pomiarową stanowi oś



Rys. 1. Tolerancja walcowości : a) definicja, b) przykład

przedmiotu. Mogą być realizowane w urządzeniu kłowym (najprostszy sposób – często stosowany w warunkach produkcyjnych), jeżeli badany przedmiot ma nakielki oraz za pomocą przyrządów specjalizowanych, w dwóch rozwiązaniach konstrukcyjnych: z obrotowym stołem lub z obrotowym wrzecionem. Specjalistyczne przyrządy zapewniają dużą dokładność pomiaru, z błędem nie przekraczającym niekiedy 0,1  $\mu\text{m}$ , lecz są drogie i nie mogą być stosowane na stanowiskach produkcyjnych. Dlatego często stosuje się przybliżone metody wyznaczania odchyłki walcowości (np. pomiar 3-punktowy), wykorzystując proste przemysłowe sposoby kontroli z zastosowaniem uniwersalnych narzędzi pomiarowych (pryzmy, czujniki itp.).

Z uwagi na uniwersalność zastosowań coraz częściej w pomiarach odchyłek kształtu zastosowanie mają współrzędnościowe maszyny pomiarowe. Pomiar z ich wykorzystaniem charakteryzuje się dużą szybkością i łatwością wykonania, natomiast z uwagi na znaczne błędy identyfikacji pojedynczego punktu pomiarowego oraz charakteru systemu próbkowania pomiar na maszynach należy uznać jako orientacyjny.

### 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, 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 [Kołodziej, 2010; Kołodziej, 2011].

W opracowaniu ze względu na obszerny materiał badawczy przedstawiono tylko analizę występowania tolerancji walcowości (Tab. 1).

Tab. 1. Procentowy udział oznaczeń zapisu tolerancji walcowości sworzni

Tolerancja walcowości sworzni (tylko zespoły podstawowe)	Przemysł	
	motoryzacyjny [%]	lotniczy [%]
Walcowość	49,2	36,2
Walcowość i okrągłość	19,6	16,8
Określono walcowość oraz dopuszczalną owalność	–	4,3
Określono walcowość oraz dopuszczalną owalność i trójgraniastność	–	1,5

W pozostałych elementach tolerowana była prostoliniowość, prostoliniowość i okrągłość, okrągłość lub ograniczenia występowania określonych form okrągłości oraz tylko średnica. W dokumentacji dotyczącej elementów połączeń zespołów pomocniczych dla przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego nie stwierdzono tolerowania walcowości sworzni.

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

Jedną ze sprawdzanych cech geometrycznych była odchyłka walcowości sworzni. Pomiary realizowano według założonego programu:

- oszacowano niepewność pomiaru metodą A,  $U_{05} = \pm 0,2 \mu\text{m}$ ,
- 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 walcowości przeprowadzono na urządzeniu specjalizowanym (okrągłościomierzu) *Talyrond 365* (Rys. 2) strategią przekrojów poprzecznych. Powodem wyboru tego przyrządu była możliwość przeprowadzenia pomiarów odchyłek prostoliniowości, okrągłości i walcowości z jednego zamocowania na stole.



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

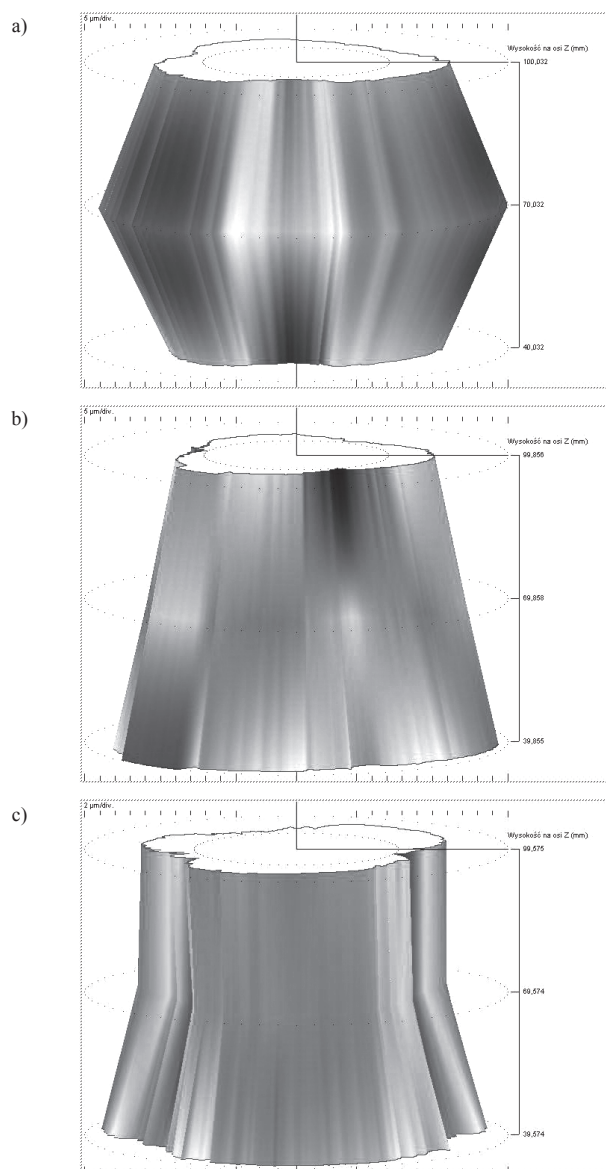
Pomiary przeprowadzono z użyciem głowicy indukcyjnej o długości trzpienia 100 mm i promieniu końcówki pomiarowej 0,5 mm. Założony nacisk pomiarowy wyniósł 0,25 N, prędkość pomiaru – 6 obr/min, filtr *Gaussa* o zakresie przenoszenia fal 1-150 UPR, a do oceny uzyskanych wyników przyjęto element zastępczy najmniejszych kwadratów. Przykładowe wykresy odchyłki walcowości sworzni przedstawiono na rys. 3.

Sto procent elementów, dla których zapis w dokumentacji uwzględniał tolerancję walcowości zostało wykonanych w określonym przez ten zapis polu, o wartości odchyłki do 39% (przemysł lotniczy) i 37% (przemysł motoryzacyjny) zapisanej tolerancji średnicy. W 33% mierzonych elementów stwierdzono szczególnie przypadkowy odchyłki walcowości – baryłkowość, w 20% siodłowość, a w 17% stożkowość. Wałki, dla których nie było zapisu w dokumentacji o tolerancji walcowości zostały wykonane z odchyłką o wartości do 51% (przemysł lotniczy) i 55% (przemysł motoryzacyjny) zapisanej tolerancji średnicy. W 38% elementów stwierdzono baryłkowość, w 26% siodłowość, a w 21% stożkowość.

### Podsumowanie i wnioski

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 walcowości przyjmują do 40% wartości liczbowej tolerancji. Natomiast elementy zespołów pomocniczych wykonuje się w IT6, IT7, dla których odchyłki walcowości przyjmują do 55% wartości tolerancji.

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



Rys. 3. Graficzne przedstawienie wybranych odchyłek walcowości badanych sworzni; a) baryłkowość  $CYLt = 38,98 \mu\text{m}$ , b) stożkowość  $CYLt = 39,44 \mu\text{m}$ , c) siodłowość  $CYLt = 14,46 \mu\text{m}$

Wyniki badań poddane zostały analizie statystycznej, która pozwoliła na opracowanie wytycznych co do budowy algorytmów projektowych i symulacyjnych.

Przestrzenny opis przylegania powierzchni zapewnia możliwość modelowania pasowań przydatny w podejmowaniu decyzji o wyborze koncepcji rozwiązania konstrukcyjnego oraz pozwala na przewidywanie naprężeń kontaktowych.

### LITERATURA

- Adamczak S., 2008. *Pomiary geometryczne powierzchni*. WNT, Warszawa.
- Grzelka M., Gapiński B., Marciniak L., Wieczorowski M., Matliński K., Olszewska I., 2010. Pomiary cech geometrycznych przedmiotów obrotowo-symetrycznych *Pomiary Automatyka Kontrola*, **56**, nr 1, 35-37.
- Humienny Z. (red), 2004. *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS)*. Wyd. Pol. Warsz.
- Kołodziej A., 2010. Metrologiczne aspekty połączeń w budowie maszyn. Odchyłka prostoliniowości w połączeniach osiowosymetrycznych. *Inż. Ap. Chem.* **49**, nr 5, 63-64.
- Kołodziej A., 2011. Metrologiczne aspekty połączeń w budowie maszyn. Odchyłka okrągłości w połączeniach osiowosymetrycznych. *Inż. Ap. Chem.* **50**, nr 2, 24-25.
- Żebrowska-Lucyk S., 2001. *Bezodniesieniowa metoda badania makrogeometrii powierzchni elementów obrotowych*. Pr. Nauk., z. 187, Wyd. Pol. Warsz.