

Andrzej Białas, Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych Komel, Katowice
Jerzy Madej, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała

BADANIE NOŚNOŚCI POŁĄCZENIA SKURCZOWEGO

LOAD CAPACITY ANALYSIS OF THE THERMOCOMPRESSION BONDING

Streszczenie: W artykule przedstawiono sposób badania nośności połączenia skurczowego między wałem i tuleją. Głównym celem pracy jest określenie wpływu chropowatości powierzchni, sposobu montażu i długości badanego połączenia na jego nośność. Przedstawiono również stanowisko badawcze zaprojektowane w celu zbadania nośności połączeń.

Abstract: Description of the analysis method of the thermocompression bonding between shaft and sleeve is presented in the paper. Determine the effect of surface roughness, method and lengths of assembly for the load of joint is the main purpose. The designed test stand is shown too.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, połączenie wciskowe, wał, tuleja
Keywords: electrical machines, interference joint, shaft, sleeve

1. Wstęp

Połączenie skurczowe jest rodzajem połączenie wciskowego, które wykorzystuje zjawisko rozszerzalności cieplnej materiałów. Połączenie takie można zrealizować na trzy sposoby:

- podgrzanie oprawy,
- schłodzenia czopa,
- pogrzaną oprawy i schłodzenia czopa.

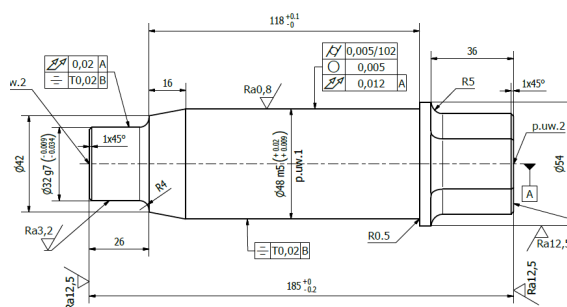
Celem zmian temperatury jednego lub obu montowanych elementów jest uzyskanie wystarczającego luzu montażowego.

Takie typy połączeń są często używane w maszynach elektrycznych [4,5,6]. Przedmiotem niniejszej pracy jest przedstawienie wstępnego etapu badań służących do określenia wpływu chropowatości powierzchni połączenia wału z tuleją oraz długości połączenia na nośność połączenia skurczowego.

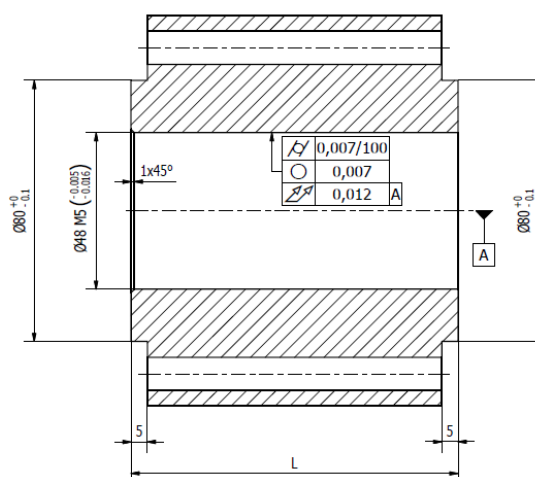
2. Pomiar przedmiotów badań

W ramach badań zaprojektowano i wykonano osiem sztuk wałów i tulei zgodnie z rysunkiem 1 i 2. Zadeklarowano średnicę wału $\varnothing 48$ mm w tolerancji klasy M5, natomiast średnicę wewnętrzną tulei $\varnothing 48$ mm w tolerancji tej samej klasy. Tolerancje te zapewniają wartość odchyłki wymiarów w zakresie od 0,014 do 0,036mm. Tuleje zostały wykonane w dwóch rozmiarach długości: 50mm (sztuk 4) i 100mm (sztuk 4).

Pomiar kontrolny wałów i tulei obejmował pomiar chropowatości oraz pomiar tolerancji kształtu.



Rys. 1. Rysunek konstrukcyjny badanego wału



Rys. 2. Rysunek konstrukcyjny badanej tulei

W tabeli 1 przedstawiono chropowatość powierzchni wałów i tulei po obróbce wykańczającej. Pomiar chropowatości został wykonany przy użyciu mobilnego urządzenia do pomiaru chropowatości firmy Hommel typ T1000.

Tabela 1

	Długość tulei L [mm]	Pomierzona chropowatość Ra [μm]
Wał (szt.8)		0,4
Tuleja (szt 4)	50	5,9 oraz 1,3
Tuleja (szt 4)	100	

Pomiary średnicy oraz tolerancji kształtu – okrągłości i walcowatości powierzchni zostały wykonane na współrzędnościowej maszynie pomiarowej Zeiss Accura 7 (rys.3), której deklarowana dokładność wynosi $2\mu\text{m}$. Sposób zamocowania oraz przykład pomiaru tulei przeznaczonej do badań nośności połączenia wciśkowego przedstawia rysunek 4.



Rys. 3. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Zeiss Accura 7

Na rysunku 4 przedstawiono sposób pomiaru średnicy oraz tolerancji okrągłości i walcowatości wału i tulei. Pomiar średnicy i tolerancji okrągłości wykonano w sześciu miejscach dla wału i tulei 100 mm oraz w 4 miejscach dla tulei 50mm. Pomiar odchyłki walcowatości wykonano według strategii pomiarowej polegającej na pomiarze tworzących [7]. W omawianym

przypadku są to cztery tworzące przedstawione na rys.5 rozmieszczone co 90° .



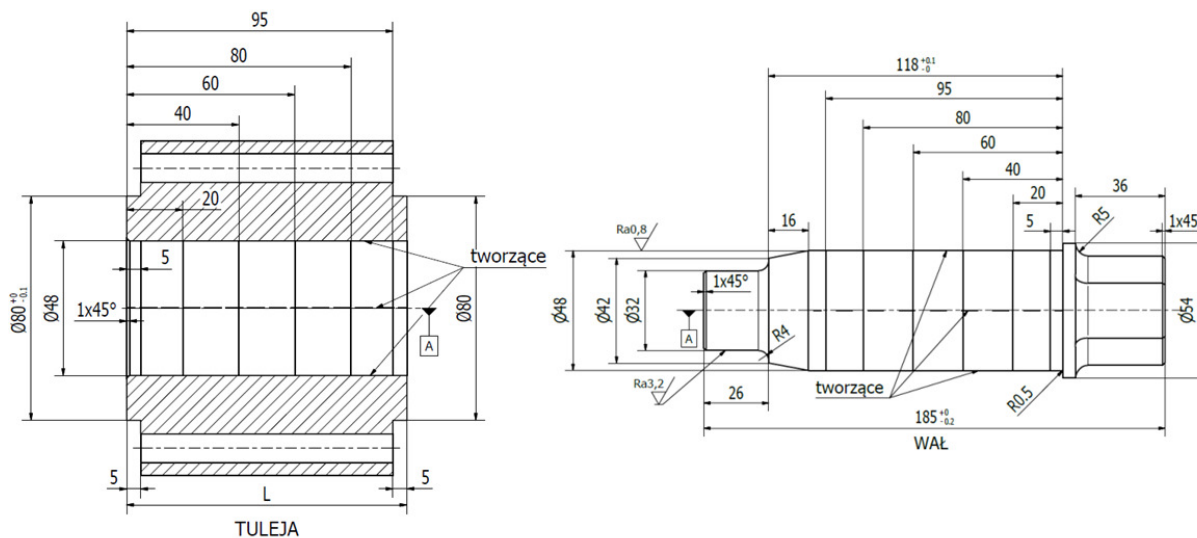
Rys. 4. Pomiar modelu rzeczywistego

Przykładowe wyniki pomiarów średnic i tolerancji kształtu okrągłości i walcowatości dla tulei nr 2 o długości 100 mm i chropowatości Ra1,6 przedstawiono w tabeli 2 oraz na rys 6.

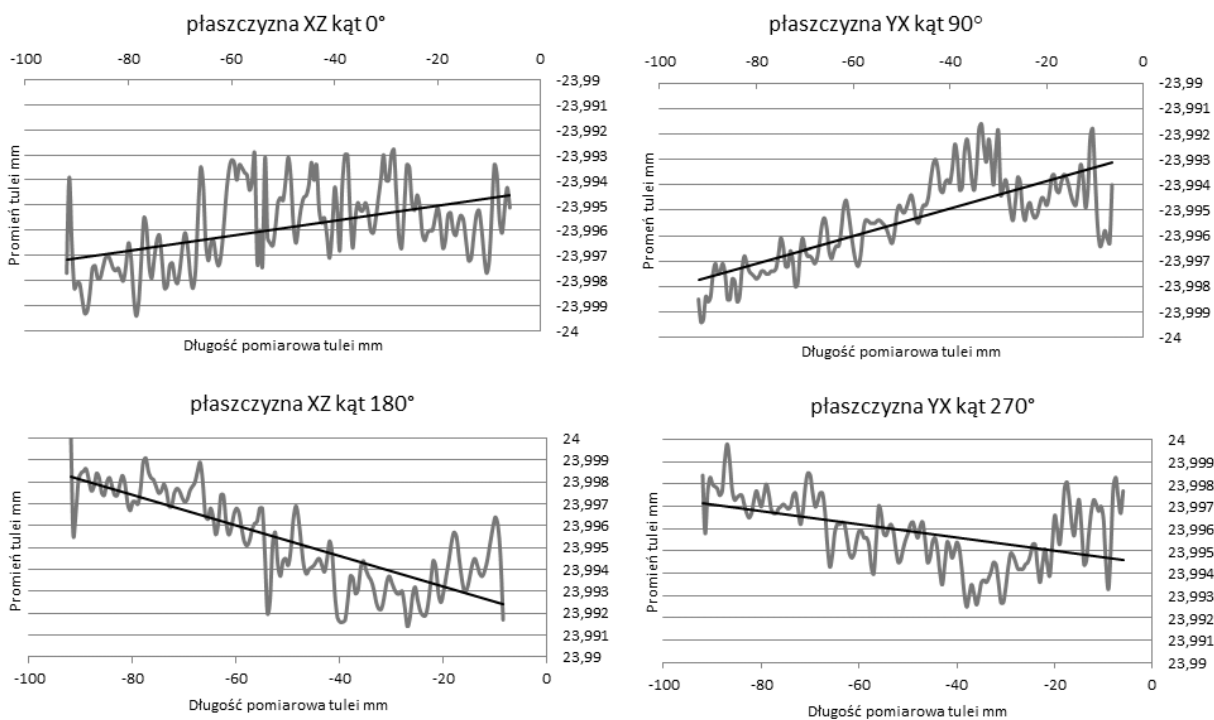
Tabela 2

Name	ID	Aktual
■ Srednica_Okrag_A5	D	47.9903
■ ISO Okraglosc A5	ISO Okr	0.0068
■ Srednica_Okrag_A20	D	47.9884
■ ISO Okraglosc A20	ISO Okr	0.0057
■ Srednica_Okrag_A40	D	47.9883
■ ISO Okraglosc A40	ISO Okr	0.0040
■ Srednica_Okrag_A60	D	47.9916
■ ISO Okraglosc A60	ISO Okr	0.0036
■ Srednica_Okrag_A80	D	47.9946
■ ISO Okraglosc A80	ISO Okr	0.0034
■ Srednica_Okrag_A95	D	47.9940
■ ISO Okraglosc A95	ISO Okr	0.0054

Z otrzymanych wyników pomiarowych tworzących można stwierdzić, że tuleja posiada odchyłkę walcowatości, nadającą jej kształt stożka. Taka odchyłka występuje dla wszystkich badanych próbek, lecz w przypadku wałów odchyłka ta jest mniejsza.



Rys. 5. Sposób pomiaru badanych elementów



Rys. 6. Wyniki pomiaru tolerancji walcowości

3. Zakres badań

W praktyce nośność połączenia mierzono wartością momentu obrotowego, który może przenieść połączenie. W tabeli 3 zestawiono rozważane konfiguracje połączenia, obejmujące różne możliwości połączenia wału i tulei w zależności od chropowatości powierzchni oraz długości połączenia. Na podstawie kontroli pomiarowych zostały wyznaczone uśrednione wartości średnicy wewnętrznej tulei i średnicy wału. Bazując na tych wartościach dobrano wał z tuleją tak, aby wartość obliczona tolerancji wymiarów

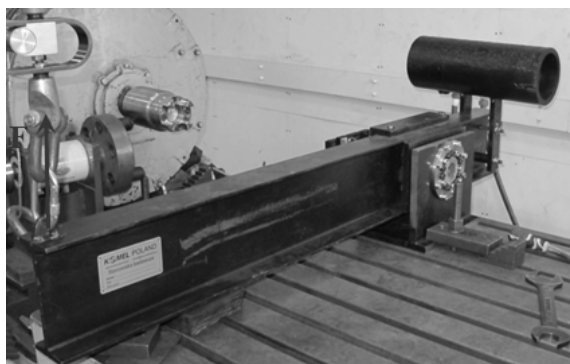
połączenia wiskowego była zbliżona. Zakres tych wartości znajdował się w przedziale od 0,015 do 0,024 mm. Technologia montażu połączenia skurczowego obejmowała podgrzanie tulei do temperatury 200°C oraz schłodzenia wału do temperatury -15°C. Zakres tych temperatur zapewniał, że średnica wewnętrzna tulei była większa od średnicy wału. Kolejnym krokiem było wsunięcie wału w tuleję, a następnie chłodzenie do temperatury 20°C. W wyniku tego powstało połączenie skurczowe oraz naprężenia przeciwdziałające rozłączeniu połączenia

czonych części. Tabela 3 przedstawia zestawienie badanych par wału i tulei.

Tabela 3

Nr połączenia	L tulei	Ra Tulei	Ra Wału	Średnia tolerancja wymiarów połączenia
1	100	5,9	0,4	0,0147
2	100			0,0193
3	100	1,3		0,0189
4	100			0,0186
5	50			0,0188
6	50			0,0196
7	50	5,9		0,0249
8	50			0,0207

Na rys. 7 przedstawiono stanowisko badawcze, pozwalające na pomiar maksymalnego momentu obrotowego, przy którym nastąpi zerwanie połączenia między wałem a tuleją. Stanowisko składa się z części stałej, w której montowany jest wał oraz ruchomej, do której jest montowana tuleja. Do części ruchomej w odległości 1,1 m od osi obrotu ramienia przykładano siłę F , którą zwiększano aż do chwili zerwania połączenia.



Rys. 7. Stanowisko badawcze

Pomiar wartości siły dokonano przy użyciu siłomierza indukcyjnego DiR3-03, w którym zmiana napięcia prądu elektrycznego odpowiada odpowiednio przeliczonej wartości siły.

4. Wyniki badań

W tabeli 4 przedstawiono maksymalny moment, jaki był potrzebny do zerwania każdego z badanych połączeń.

Tabela 4

Nr połączenia	L tulei	Ra Tulei	Ra Wału	Maksymalny moment [Nm]
1	100	5,9	0,4	2517
2	100			2815
3	100	1,3		4451
4	100			4649
5	50			2505
6	50			2848
7	50	5,9		1680
8	50			1470

Przedmiotem niniejszej pracy jest przedstawienie wstępnego etapu badań służących do określenia wpływu chropowatości powierzchni połączenia wału z tuleją oraz długości połączenia na nośność połączenia skurczowego.

4.1. Wnioski

1. Przedstawione badania zostały przeprowadzone dla różnej chropowatości powierzchni łączonych oraz długości badanego połączenia. Ze względu na to, że badania mają charakter badań wstępnych przeprowadzono tylko po dwie próby dla każdego z wariantów. Głównym celem pracy było ustalenie wielkości charakterystycznych dla tego typu badań oraz wielkości zakłócających pomiar.

2. Stwierdzono, że chropowatość powierzchni współpracujących ma duży wpływ na wartość przenoszonego obciążenia. W zależności od chropowatości powierzchni zmienia się rozkład naprężeń w obszarze styku dwóch elementów chropowatych. Przy tych samych średnicach nominalnych i zbliżonych tolerancjach połączeń wciskowych wartość przenoszonego obciążenia jest wyższa im mniejsza jest chropowatość powierzchni współpracujących. Przy zmniejszeniu chropowatości powierzchni współpracujących zwiększamy rzeczywistą powierzchnię styku części łączonych zapewniając zwiększenie nośności połączenia.

3. Wydaje się, że wartość przenoszonego obciążenia w przypadku długości połączenia wciskowego równej 50 mm powinna być dwukrotnie mniejsza stosunku do długości połączenia wynoszącej 100 mm. Jednak wartość momentu przenoszonego przez połączenie dłuższe jest większa tylko o około 80-90%. Jest to najprawdopodobniej spowodowane błędami wyini-

kającymi z obróbki powierzchniowej (tolerancja kształtu).

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono sposób pomiaru oraz wyniki badań wstępnych dotyczących nośności połączenia realizowanego między wałem a tuleją. Podjęte prace umożliwią poszerzenie wiedzy dotyczącej nośności połączeń, które są coraz częściej stosowane ze względu na dużą wytrzymałość złącza, brak karbu i możliwość zachowania współosiowości elementów łączonych. Planowane jest modelowanie połączeń skurczowych przy użyciu metody elementów skończonych. Wyniki prac w tym zakresie zostaną opublikowane w kolejnych artykułach.

Literatura

- [1]. Praca zbiorowa, „Mały poradnik mechanika”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1994.
- [2]. Dziurski A., Kania L., Mazanek E.: „Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 2009.
- [3]. Rutkowski A.: „Części maszyn”, WSiP, 2009.
- [4]. Radwański W., Będkowski B.: „Obliczenia trakcyjne pojazdu sportowo-rekreacyjnego UTV”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 3/2012(96).
- [5]. Dukalski P., Brymora L.: „Nowa koncepcja silnika trakcyjnego wzbudzanego magnesami trwałymi przeznaczonego do zastosowania w napędach kopalń”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 2/2012(99).
- [6]. Gawron S., Bernatt J., Król E.: „Zastosowania trakcyjne nowoczesnych silników z magnesami trwałymi.” Przegląd Elektrotechniczny Nr 12/2009, str. 20-23
- [7]. Nowakowski P., Gapiński B.: „Analiza niepewności pomiaru odchyłki walcowości w zależności od stosowanej strategii pomiarowej”, Inżynieria Maszyn, R.18, z.3, 2013, str. 35-47.

Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych
KOMEL
al. Roździeńskiego 188.
40-203 Katowice

dr hab. inż. Jerzy Madej, prof. ATH
juma@ath.bielsko.pl
Akademia Techniczno-Humanistyczna
Katedra Podstaw Budowy Maszyn
Zakład Wytrzymałości Materiałów i Maszyn
Przepływowych
43-309 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2

Autorzy

mgr inż. Andrzej Białas
a.bialas@komel.katowice.pl