

Andrzej RACZYŃSKI

Politechnika Łódzka, Katedra Techniki Ogrzewczej i Wentylacyjnej

NIEKONWENCJONALNE SPOSOBY OSADZANIA I USTALANIA ŁOŻYSK TOCZNYCH

Słowa kluczowe

Połączenie, osadzenie, stożkowe, klejowe, łożysko toczne.

Key words

Joint, fixing, bonded, conical, rolling bearing.

Streszczenie

W artykule są przedstawione dwa niezbyt często stosowane sposoby osadzania łożysk tocznych na wałkach: za pomocą klejenia oraz na tulejkach zaciskowych typu Con-Centra. To ostatnie połączenie jest zbudowane na zasadzie połączenia stożkowego, znamienne tym, że jest tu wykorzystany stożek wielokrotny (schodkowy). Są odnotowane zalety obydwóch tych rozwiązań oraz pewne wady. Autor przedstawił zależność obciążalności połączeń klejowych od warunków pracy oraz dokonał szeregu obliczeń, które ilustrują korzystne i niekorzystne cechy połączenia Con-Centra.

WSTĘP

Zwykle stosowanym sposobem osadzania łożyska na wałku jest nasunięcie pierścienia łożyska lub wciśnięcie go za pomocą siły osiowej na odpowiedni czop. Powstaje połączenie z luzem lub z wciskiem, zależnie od tolerancji czopa i pierścienia łożyska. W najczęstszym przypadku, gdy wektor obciążenia łożyska nie obraca się wraz z wałkiem, projektuje się połączenie mieszane zbliżone do ciasnego, aby uniknąć obwodowego obtaczania się łożyska po wałku, wywołującego zużycie powierzchni. Ponadto zazwyczaj niezbędne jest ustalenie łożyska w kierunku osiowym, czy to przy pomocy odsadzenia na wałku, czy to za pomocą pierścieni osadczych różnego rodzaju.

Osadzanie łożyska z pasowaniem na wałku wymaga odpowiedniego przygotowania czopa pod względem dokładności i gładkości, co pociąga za

sobą pewne koszty. Ponadto montaż połączenia właczanego lub mieszanego wiąże się z koniecznością użycia pewnej siły. Najczęściej używa się w tym celu pras i ściągaczy. Jednak w pewnych sytuacjach jest to niedogodne:

- Jeśli łożyska i elementy łożyskowe są bardzo małe (jak w przyrządach), to użycie niezbędnej siły montażowej może spowodować uszkodzenie tych elementów,
- Jeśli łożyska i elementy łożyskowe są bardzo duże, to pojawiają się trudności ze znalezieniem i użyciem odpowiedniej prasy.

W związku z tymi wadami połączeń wciskowych zaczęto szukać innych sposobów osadzania łożysk na wałkach. W niniejszym opracowaniu autor chce bliżej przedstawić dwa z nich:

- 1) połączenia klejowe,
- 2) połączenia zaciskowe Con-Centra.

POŁĄCZENIA KLEJOWE

Klejenie ma coraz większe zastosowanie w technice. Również łożyska toczne są coraz śmielej osadzane na czopach z użyciem kleju, jak np. w dyskach komputerów, w sprzęcie precyzyjno-optycznym, w maszynach drukarskich. Szczególnie duże zastosowanie mają kleje jednoskładnikowe anaerobowe, jak np. znany Loctite 603. Polimeryzacja takiego kleju jest inicjowana przez jednoczesne odtlenianie i katalityczne działanie jonów metali. Mała grubość szczeliny, do której wprowadzono klej, wpływa korzystnie na jego polimeryzację.

Połączenia z użyciem kleju mogą być wykonane w trzech postaciach:

- 1) Połączenia wyłącznie klejowe,
- 2) Połączenia klejowo-skurczowe,
- 3) Połączenia klejowo-właczane.

Szczególnie zastosowanie skurczu w skojarzeniu z klejem daje duże zwiększenie nośności połączenia. Połączenie właczania z klejeniem nie przynosi korzyści wytrzymałościowych, ale poprawia współosiowość połączenia.

Nowoczesne kleje nie wymagają chemicznego oczyszczania powierzchni łączonych; wystarcza ich przetarcie czystą szmatką. Są jednoskładnikowe, więc przenosi się je na powierzchnie klejone „prosto z tubki”, bez potrzeby wcześniejszego przygotowania kleju. Utwardzanie, przy przeciętnej wielkości szczeliny, w temperaturze pokojowej, przy łączeniu metali – trwa kilkanaście minut. Jednak pełną wytrzymałość złącze uzyskuje po kilkunastu godzinach, przy czym czas ten można skrócić do ok. 1 godz. stosując wygrzewanie w temperaturze 100÷120°C.

Jeśli połączenie jest wyłącznie klejowe, to tolerancja wałka powinna być zawarta w przedziale od $-0,10$ do $-0,16$ mm, zaś tolerancja otworu od $0,09$ do $0,15$ mm [1]. Chropowatość może sięgać do wartości $R_z = 15 \div 40 \mu\text{m}$. Należy pamiętać o przygotowaniu czopa w ten sposób, że będzie utworzona faza o kącie w granicach $15 \div 30^\circ$ mierząc od osi czopa.

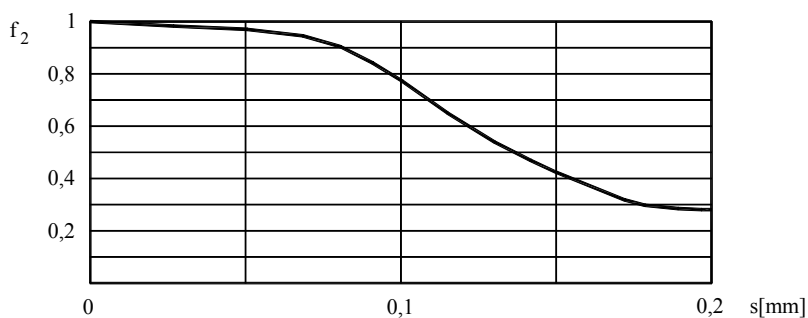
Obciążalność cylindrycznego połączenia klejowego jest określona [1] za pomocą zależności (1), w której A jest polem powierzchni klejonej, zaś k_t oznacza dopuszczalne naprężenie styczne w kleju, określane przez producenta.

$$F_{dop} = A \cdot k_t \cdot f_c \quad (1)$$

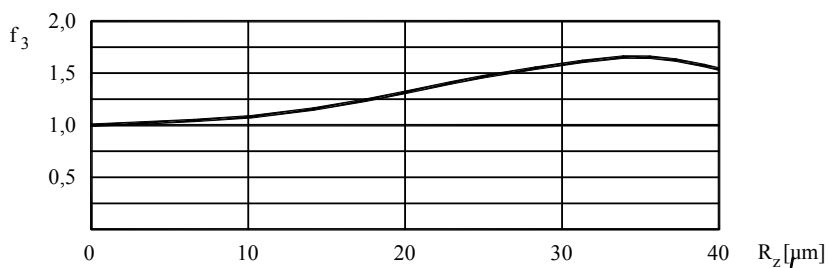
Współczynnik f_c jest iloczynem współczynników wpływu różnych parametrów eksploatacyjnych, przedstawionych poniżej [wg 1].

Tabela 1. Współczynnik wpływu rodzaju materiału elementów łączonych
Table 1. The factor of material type

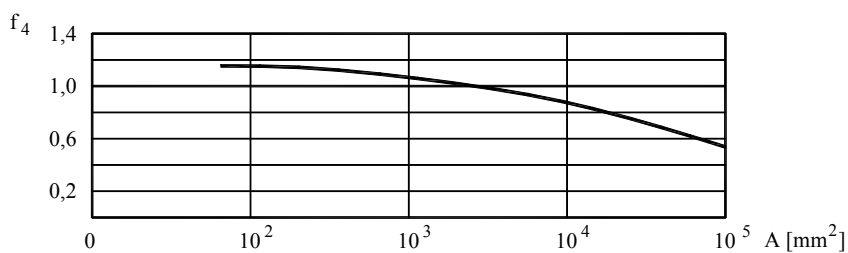
Material	f_l
Aluminium	$0,5 \div 0,7$
Staliwo	$0,8$
Stal stopowa	$0,8 \div 0,9$
Stal węglowa	1



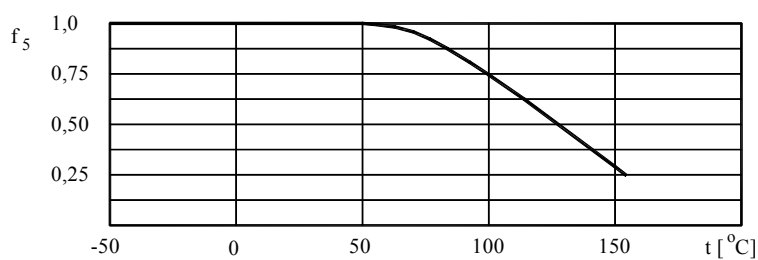
Rys. 1. Współczynnik wpływu grubości szczeliny klejowej
Fig. 1. The gap influence factor



Rys. 2. Współczynnik wpływu chropowatości
Fig. 2. The surface roughness influence factor



Rys. 3. Współczynnik wpływu pola powierzchni klejenia
Fig. 3. The fitting area influence factor



Rys. 4. Współczynnik wpływu temperatury pracy
Fig. 4. The operating temperature influence factor

Tabela 2. Współczynnik wpływu rodzaju połączenia
Table 2. The factor of fit type

Rodzaj połączenia	f_6
Wyłącznie klejowe	1
Skurczowo-klejowe	1,2
Właczane klejowe	0,5

Ponadto przy obciążeniach dynamicznych należy zastosować współczynnik f_7 równy $0,2 \div 0,5$ (zależnie od stopnia dynamiczności), natomiast

jeśli połączenie klejowe poddano podczas twardnienia wygrzewaniu w temperaturze ok. 120°C, to należy dołączyć współczynnik f_8 równy 1,2.

Podsumowując można stwierdzić, że połączenia klejowe wykazują szereg zalet:

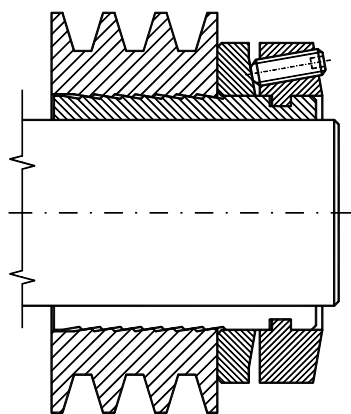
- + nieskomplikowana konstrukcja,
- + niepotrzebne powierzchnie ustalające,
- + tanie wykonawstwo dzięki mniejszej dokładności i gładkości,
- + nie jest potrzebny siłowy montaż,
- + połączenie nie ma wpływu na luz w łożysku,
- + demontaż można przeprowadzić bez uszkodzenia czopa i łożyska (zwykłym ściągaczem),
- + na powierzchniach połączenia nie powstaje korozja ani fretting.

Wadami takich połączeń są:

- czas tracony na utwardzenie połączenia,
- niebezpieczeństwo przedostania się kleju w miejsca, w których jest zagrożeniem (np. do wnętrza łożyska),
- mniejsza dokładność biegu wskutek gorszego wyosiowania, co ma znaczenie przy pracy szybkoobrotowej,
- brak przewodnictwa elektrycznego,
- spadek wytrzymałości przy wysokiej temperaturze pracy,
- mała obciążalność w porównaniu z połączeniami kształtowymi.

POŁĄCZENIE CON-CENTRA

Połączenia stożkowe są od dawna znane i stosowane do osadzania na czopach wałów zarówno łożysk, jak i elementów napędowych. Najdawniej znane jest połączenie stożkowe bezpośrednie, w którym element ze stożkowym otworem jest osadzany na czopie o takim samym kształcie stożka. W dwudziestym wieku rozpowszechniły się połączenia ze stożkowymi elementami pośrednimi, stosowane do czopów walcowych, takie jak tuleje wciągane, tuleje wciskane, stożkowe pierścienie sprężyste. Do tej rodziny połączeń stożkowych doszły ostatnio opatentowane przez SKF połączenia pod nazwą Con-Centra [2]. Nazwa ma wyrażać bardzo dobrą współosiowość elementu osadzonego na wale i wału. Połączenie tego rodzaju tym się odróżnia od znanego połączenia z tuleją wciąganą, że na elemencie wewnętrznym, jak też w otworze elementu zewnętrznego, jest wykonany wielokrotny stożek o większym kącie tworzącej, niż w tulei wciąganej (rysunek 5).



Rys. 5. Połączenie Con-Centra zastosowane do koła pasowego
Fig. 5. Con-Centra joint in application to belt pulley

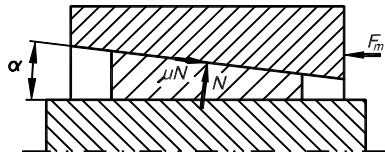
Element wewnętrzny jest rozcięty (podobnie jak w przypadku tulei wciąganej) w celu ułatwienia odkształcania. Przesuwanie stożków następuje w wyniku równomiernego dokręcania kilku wkrętów na pomocniczym pierścieniu. Według właściciela patentu, rozwiązanie to wykazuje pod każdym względem przewagę nad tuleją wciąganą: większy kąt stożka zmniejsza drogę przesunięcia elementów przy montażu, umożliwia większą tolerancję średnicy czopa i zapobiega zakleszczaniu połączenia a dokręcanie kilku wkrętów jest łatwiejsze, niż dokręcanie nakrętki na tulei wciąganej. Oczywiście poza tym występuje tu znana zaleta tulei wciąganej, tzn. nie ma konieczności wykonywania na wale powierzchni służących do przeniesienia sił obwodowych czy też poosiowych. System ten może być także stosowany do elementów z gładkimi otworami; wówczas potrzebne są dwie tuleje z wielokrotnymi stożkami (wewnętrzna i zewnętrzna).

Aby przekonać się, jak duże są różnice liczbowe w parametrach połączenia Con-Centra w porównaniu z innymi połączeniami, dokonano odpowiednich obliczeń.

A) Siła osiowa potrzebna do zmontowania – porównanie tulei wciąganej i połączenia Con-Centra

Przyjęto następujące założenia:

- a) Połączenie stożkowe jest montowane przez przesuwanie tylko po zewnętrznej powierzchni wkładki (rys. 6),
- b) współczynnik tarcia może się zawierać w granicach $0,12 \div 0,15$,
- c) kąt tworzącej połączenia Con-Centra wynosi 9° [wg 1],
a zbieżność tulei wciąganej jest typowa (1:12)



Rys. 6. Model obliczeniowy
Fig. 6. Analytical model

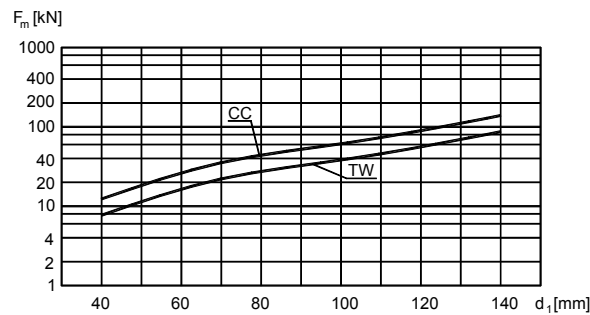
Za punkt wyjścia przyjęto, że porównywane połączenia powinny przenieść takie obciążenie, jakie jest przyjmowane dla tulei wciąganej. Wg [2] obciążenie osiowe dopuszczalne F_{dop} [N] dla tulei wciąganej w zastosowaniu do łożysk tocznych wynosi $3Bd$, gdzie d jest średnicą otworu łożyska tocznego, a B jego szerokością. Stąd wymagany nacisk jednostkowy:

$$p_{wym} = \frac{3B}{\pi l \mu_{min}} \text{ [N/mm]} \quad (2)$$

Siła potrzebna do zmontowania, obliczona przy podanych założeniach wg ogólnie znanych zasad [np. wg 3], wynosi:

$$F_m = 3Bd \frac{\mu_{max} \cos \alpha + \sin \alpha}{\mu_{min}} \text{ [N]} \quad (3)$$

Na wykresie (rys.7) jest przedstawiona zależność siły, potrzebnej do zmontowania porównywanych połączeń, od średnicy czopa wału d_1 .



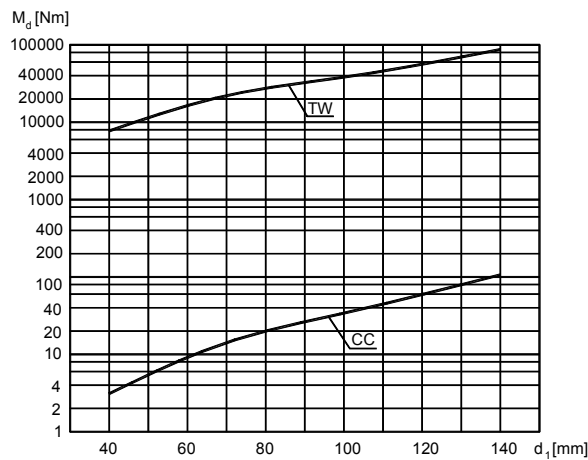
Rys. 7. Siła potrzebna do zmontowania tulei wciąganej (TW) i połączenia Con-Centra (CC)
Fig. 7. Assembly force for adapter sleeves (TW) and for Con-Centra joint (CC)

B) Porównanie momentu potrzebnego do dokręcenia nakrętki tulei wciąganej oraz wkręta dociskowego w złączu Con-Centra.

Moment M_d potrzebny do dokręcania nakrętki na tulei wciąganej obliczono wg znanej [np. 4] zależności:

$$M_d = 0,5 \cdot F_m \left[d_2 \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \rho') + \mu_{max} \cdot d_{sr} \right] \quad (4)$$

gdzie d_2 jest podziałową średnicą gwintu, γ jest kątem wzniosu linii gwintu, ρ' jest pozornym kątem tarcia w gwincie, a d_{sr} jest średnią średnicą tarcia na czole nakrętki. Wymiary tulei przyjęto odpowiednio do średnicy wału d_1 [3]. Maksymalny współczynnik tarcia przyjęto = 0,15 (podobnie jak w rozdz.A). Siłę F_m przyjęto zgodnie z zależnością (3).



Rys. 8. Moment potrzebny do zmontowania tulei wciąganej (TW) i połączenia Con-Centra (CC)

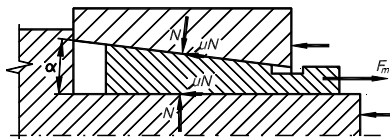
Fig. 8. The turning moment for adapter sleeves (TW) and for Con-Centra joint (CC)

Odnośnie wkrętów dociskowych połączenia Con-Centra przyjęto (na podstawie dostępnych przykładów), że wymiar gwintu jest na poziomie 1/7 średnicy czopa. Wartości momentu napinającego odczytano z katalogu [5], opierając się na założeniu, że w połączeniu są trzy wkręty. Wyniki obliczeń odniesione do takiej samej założonej średnicy czopa wału przedstawiono na rys. 8.

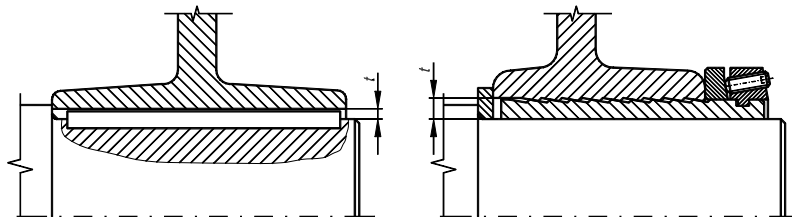
C) Porównawcza ocena grubości połączenia Con-Centra

Do przenoszenia momentu obrotowego służą nie tylko połączenia cierne, ale też kształtowe. Dokonano więc porównania ilości miejsca, jakie potrzebne jest w piaście koła osadzonego na wale za pomocą połączenia wpustowego, z ilością miejsca zajmowanego przez połączenie Con-Centra. Za punkt wyjścia przyjęto połączenie wpustowe o wymiarach $b \cdot h$ zalecanych przez odpowiednią normę dla danej średnicy czopa, a długość połączenia przyjęto jako właściwą dla tzw. czopa krótkiego wg PN. Z przyjętego przekroju wpustu wynika głębokość rowka w piaście t , która jest wymiarem porównawczym, zaś na podstawie długości połączenia obliczono moment obrotowy dopuszczalny, przyjmując nacisk jednostkowy $p_{dop} = 200$ MPa. Z momentu M_{dop} wynika siła osiowa F_m potrzebna dla połączenia Con-Centra (jak w rozdz. A), która wyznacza potrzebną grubość tulei w najcieńszym miejscu ze względu na

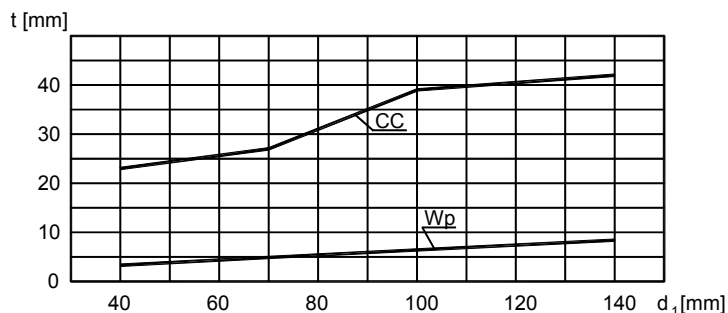
jej rozrywanie. Dla pewności przyjęto, że tuleja jest przesuwana względem piasty i wału, co zwiększa siłę potrzebną do jej przesunięcia, gdyż siły tarcia pojawiają się na dwóch powierzchniach (rys. 9). Oprócz poprzednich założeń przyjęto, że dopuszczalne naprężenie na rozciąganie tulei wynosi 120 MPa. Za wymiar porównawczy t dla połączenia Con-Centra przyjęto podwójny wymiar grubości obliczonej, gdyż taka jest przybliżona relacja między największą średnicą otworu w piaście a grubością tulei w najcieńszym miejscu. Obydwie rozważane konstrukcje są zilustrowane na rysunku 10, a wyniki obliczeń są przedstawione na rys. 11.



Rys. 9. Model obliczeniowy
Fig. 9. Analytical model



Rys. 10. Wymiar porównawczy połączenia wpustowego (Wp) i Con-Centra (CC)
Fig. 10. Comparative dimension of key joint (Wp) and Con-Centra joint (CC)

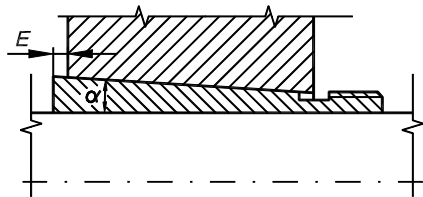


Rys. 11. Wielkość wymiaru porównawczego połączenia wpustowego (Wp) i połączenia Con-Centra (CC)

Fig. 11. The magnitude of comparative dimension of key joint (Wp) and Con-Centra joint (CC)

D) Montażowe przemieszczenie tulei wciąganej i połączenia Con-Centra
Przy montażu rozpatrywanych połączeń występuje przemieszczenie poosiowe. W pewnych sytuacjach jest to niedogodne. Co więcej, wartość tego

przemieszczenia ma pewien rozrzut wskutek tolerancji wykonawczych, co wpływa na rozrzut pomontażowego wymiaru E , zilustrowanego na rys. 12.

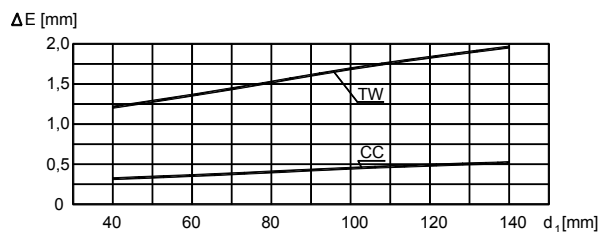


Rys. 12.

Dokonano więc obliczenia, jakie mogą być wartości tego rozrzutu przy zastosowaniu tulei wciąganej i połączenia Con-Centra. Założono, że czop jest wykonany z tolerancją $h9$, zaś połączenie służy do osadzenia łożyska wykonanego w klasie P0. Pominęto tolerancje samej tulei. Biorąc pod uwagę tylko tolerancję czopa Δd i tolerancję otworu łożyska T , otrzymuje się zależność opisującą rozrzut wymiaru E :

$$\Delta E = \frac{\Delta d + T}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (5)$$

Na rysunku 13 jest przedstawione porównanie tego rozrzutu dla rozważanych połączeń.



Rys. 13. Charakterystyka rozrzutu wymiaru E dla tulei wciąganej (TW) i połączenia Con-Centra (CC)

Fig. 13. The characteristic of the scatter of E -dimension for adapter sleeve (TW) and Con-Centra joint (CC)

Analizując przedstawione charakterystyki można spostrzec, że główne zalety połączenia typu Con-Centra, to niewielki moment dokręcania wkrętów i niewielki rozrzut przemieszczenia montażowego. Ta pierwsza zaleta jest szczególnie istotna przy dużych połączeniach, gdzie kłopotliwe jest przeciwdziałanie momentowi dokręcania tulei wciąganej. Do tego należy dodać, że łożyska toczne dostosowane do użycia tulei wciąganej mają stożkowy otwór wewnętrznego pierścienia, co powoduje wyraźnie niesymetryczny kształt tego pierścienia. To z kolei źle wpływa na pracę łożyska wałeczkowego (naprężenia

i odkształcenia rozkładają się niesymetrycznie. Nie wykazuje tej wady tuleja Con-Centra. Natomiast do jej wad należy zaliczyć względnie dużą „grubość”, jeśli chcemy uzyskać taką nośność połączenia, jaka charakteryzuje połączenie wpustowe. Ponadto trzeba zauważyć, że dla dobrej współpracy elementów o wielokrotnym stożku konieczne jest zachowanie bardzo małych błędów podziałki, kątów i średnic na wszystkich kolejnych odcinkach stożkowych. Powoduje to dość duże koszty elementów tego połączenia. Również błąd walcowości czopa wału źle wpłynie na przyleganie kolejnych odcinków stożkowych. Warto też odnotować, że połączenie Con-Centra nie jest samohamowne, co przy demontażu jest wygodne, ale zmniejsza odporność połączenia na drgania.

WNIOSKI

Klejowe osadzanie łożysk może być przydatne w sytuacji, gdy łożysko nie przenosi znaczącej siły osiowej, nie stawia się wysokich wymagań co do współosiowości ani też nie zachodzi ryzyko znacznego nagrzania zespołu. Szczególnie przydatne może być w zastosowaniu do małych łożysk. Z kolei system Con-Centra zapewnia względnie łatwy montaż i demontaż dużych łożysk, chroni też wał przed powstawaniem karbu, co ma miejsce w połączeniu wpustowym, ale z drugiej strony wymaga dostosowania kształtu otworu piasty do tulei wielostożkowej (koszty), albo wiąże się z koniecznością pozostawienia dużej przestrzeni na samo połączenie. Jedno i drugie należy zaliczyć do wad. Ostatecznie jednak trzeba stwierdzić, że obydwa te połączenia wykazują zalety w pewnych zastosowaniach i przez to poszerzają spektrum możliwości, jakie stoją przed konstruktorem przy projektowaniu maszyn i urządzeń.

LITERATURA

- [1] FAG- Technical information, TI No. WL 80-45, 1994.
- [2] Evolution –Magazyn SKF, nr 3/2002.
- [3] SKF- General Catalogue 4000/III, 1992
- [4] Osiński Z., Bajon W., Szucki T.: Podst.Konstrukcji Maszyn, PWN W-wa
- [5] Bossard AG-Schrauben-katalog, Wien 1997

Non-conventional means of the fixing of rolling bearing

Abstract

In this article there are introduced rarely used ways of fixing rolling bearings on shafts: with the aid of adhesives and on the clamping sleeves "Con-Centra". This last joint is made on the basis of conical joint, characteristic by the fact that the multiple cone is used in here. There are noted advantages and disadvantages of both of these solutions. The author has shown the dependence of the maximum holding force of the bonded joint on service conditions and made calculations that illustrates beneficial and adverse features of the joint Con-Centra. There is shown that the bonded fixing of bearings may be useful in the situation when the bearing doesn't carry significant axial force, the coaxiality is not required and there is no risk of considerable heating the unit. It can be especially useful in using with small bearings. In contrast the system Con-Contra provides comparatively easy assembly and disassembly of large bearings and also protect the shaft from forming the notch, what takes place in the key joint. From the other site it requires the adapting of the hub bore to polyconical sleeve, or it is connected with the necessity of leaving a large space for the joint. The both of these requires should be rank as a disadvantage. Eventually, never the less, one has to admit that both of these joints have their advantages in some applications and that is why they enlarge the spectrum of possibilities, which has the constructor for mechanism and machines designing.