

Adam Tulecki

## PARAMETRY KONSTRUKCYJNO-TECHNOLOGICZNE MONTAŻU ZESTAWÓW KOŁOWYCH METODĄ SKURCZOWĄ

**Streszczenie.** W pracy scharakteryzowano parametry konstrukcyjno-technologiczne montażu wagonowych zestawów kołowych metodą skurczową. Podano zależności matematyczne oraz wyliczono wartości dla typowych konstrukcji zestawów kołowych.

## THE CONSTRUCTION TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE WAGON WHEEL SET ASSEMBLY APPLYING THE SHRINKAGE METHOD

**Summary.** The paper describes the construction and technological parameters of the wagon wheel set assembly applying the shrinkage method. The mathematical dependences and the values for typical wheel set constructions were presented.

### 1. WPROWADZENIE

Stosowane prawie od zarania kolejnictwa połączenia włączane w technologii montażu zestawów kołowych coraz częściej zastępowane są połączeniami skurczowymi. Obok wielu innych zalet decydującym czynnikiem ich stosowania jest możliwość mechanizacji i automatyzacji procesu montażu [1,2].

Warunki montażu wagonowych zestawów kołowych metodą skurczową określone są przez grupę parametrów, wśród których można wyodrębnić:

- wymiary geometryczne połączenia,
- jakość powierzchni nośnych oraz błędy kształtu,
- własności materiałowe,
- wytrzymałość połączenia,
- temperatura nagrzania koła jezdnego,
- luz montażowy.

Powyższy zbiór parametrów jest obszerniejszy w porównaniu z parametrami montażu poprzez włączanie, zwłaszcza w zakresie parametrów technologicznych.

## 2. WYMIARY GEOMETRYCZNE POŁĄCZENIA

Prowadzone w ramach ORE (obecnie ERRI) prace nad standaryzacją wagonowych zestawów kołowych zmierzają do ujednoczenia ich konstrukcji oraz wymiarów. W pracach tych biorą również udział przedstawiciele PKP, dlatego też w proponowanej technologii montażu uwzględniono zestawy kołowe zalecane przez ORE B 136. W tabeli 1 zestawiono podstawowe wymiary geometryczne zestawów kołowych, dla których może być stosowana skurczowa metoda montażu. Jak wynika z zamieszczonych danych, średnica połączenia skurczowego może wynosić 185 lub 200 mm. Istotne jest również sfazowanie czopa spoczynkowego osi od strony zewnętrznej, którego wysokość wynosi 0.2 mm na długości 10 mm.

Wymiary czopa spoczynkowego osi oraz otworu w piąście koła winny zapewniać wcisk gwarantujący wymaganą wytrzymałość połączenia. Dla połączeń skurczowych proponuje się wartość wcisku o 25% mniejszą niż dla połączeń wtłaczanych. W związku z tym wcisk dla kół obręczowych wynosi 0.17-0.25 mm, a dla kół bezobróczowych 0.09-0.19 mm. W przypadku zastosowania powłok na powierzchni nośnej połączenia wcisk można obniżyć o 50% (tabela 2) [3].

Tabela 1  
Podstawowe wymiary geometryczne wagonowych zestawów kołowych [mm]

Wymiar	Dla wagonów osobowych o nacisku 16 kN/oś		Dla wagonów towarowych o nacisku 22.5 kN/oś	
	średnica okręgu tocznego	890	920	920
szerokość wieńca	135	135	135	135
średnica zewnętrzna piasty koła	250 <sup>+10</sup>	250 <sup>+10</sup>	270 <sup>+10</sup>	
średnica otworu w piąście koła	185	185	200	
długość piasty	170 <sup>+3</sup>		185 <sup>+3</sup>	
średnica czopa spoczynkowego osi	185		200	
długość czopa spoczynkowego osi	165		180 <sup>+1</sup>	

Tabela 2  
Wartość wcisku w połączeniach wciskowych zestawów kołowych [mm]

Rodzaj połączenia	Średnica połączenia		
	185	185	200
	koła obręczowe	koła bezobróczowe	
wtłaczane	0.22-0.34	0.12-0.26	0.14-0.30
skurczowe bez powłoki	0.17-0.25	0.09-0.19	0.10-0.22
skurczowe z powłoką	0.11-0.17	0.06-0.09	0.07-0.15

### 3. JAKOŚĆ POWIERZCHNI

Połączenia skurczowe wymagają większej dokładności wykonania oraz niskiej wartości chropowatości powierzchni nośnych. Według badań ERRI dla połączeń skurczowych zaleca się chropowatość powierzchni otworu w piaście koła jako  $R_a = 0.32 \mu\text{m}$ , a chropowatość powierzchni czopa spoczynkowego  $R_a = 0.16 \mu\text{m}$ . Takie same wartości stosują koleje francuskie, natomiast wytwórnia niemiecka Klöckner-Werke przyjmuje chropowatość otworu  $R_a = 1.25 \mu\text{m}$ , a powierzchni czopa  $R_a = 0.63 \mu\text{m}$ . Należy zaznaczyć, że w przypadku stosowania powłok z tworzyw sztucznych lub metalowych chropowatość powierzchni może być znacznie wyższa i wynosić  $R_a = 2.5 \mu\text{m}$  dla otworu oraz  $R_a = 1.25 \mu\text{m}$  dla czopa spoczynkowego. Grubość powłoki cynkowej lub miedziowej wynosi  $15 \mu\text{m}$ , natomiast z tworzywa sztucznego ok.  $50 \mu\text{m}$  [3].

Dopuszczalne błędy kształtu dla połączeń skurczowych są mniejsze niż dla połączeń włączanych. Według badań ORE (ERRI) dla czopa spoczynkowego osi dopuszczalny błąd kołowości i walcowości wynosi  $0.01 \text{ mm}$ , natomiast dla otworu w piaście koła kołowość -  $0.01 \text{ mm}$ , a walcowość -  $0.02 \text{ mm}$

### 4. WŁASNOŚCI MATERIAŁOWE

W montażu skurczowym poza własnościami wytrzymałościowymi materiału istotną rolę odgrywają własności fizyczne. Należy do nich ciepło właściwe, współczynnik rozszerzalności liniowej oraz masa właściwa materiału części nagrzewanej. Wartości tych własności są wymagane przy obliczaniu mocy stanowiska grzewczego, luzu montażowego oraz temperatury nagrzania koła. Zmiana tych wartości w małym stopniu uzależniona jest od zawartości węgla w stali, a więc są one obowiązujące zarówno dla materiałów wg PN-64/H-84027, jak i PN-83/H-84027.

### 5. WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZENIA

Zgodnie z wymaganiami UIC minimalna wytrzymałość połączenia winna wynosić  $6 \text{ kN}$  na każdy milimetr średnicy czopa spoczynkowego. Dla średnicy czopa  $185 \text{ mm}$  minimalna wytrzymałość wynosi  $1110 \text{ kN}$ , a dla średnicy  $200 \text{ mm}$  -  $1200 \text{ kN}$ .

Według badań Seeflutha [4] naprężenia w strefie styku po montażu nie powinny być mniejsze od wielkości określonej wzorem:

$$p_{\text{min}} = \frac{0.08\sigma_z}{\mu(1/d)} \quad [\text{Mpa}],$$

gdzie:

$\sigma_z$  - naprężenie ścinające w osi [MPa],

$\mu$  - współczynnik tarcia statycznego pary oś-koło,

$l$  - długość powierzchni nośnej piasty [m],  
 $d$  - średnica czopa spoczynkowego osi [m].

Porównując dwie metody montażu połączeń wciskowych o tych samych wymiarach i jednakowych naprężeniach zginających, można stwierdzić, że wartość naprężeń zależy od wartości współczynnika statycznego. Jak wykazano w przeprowadzonych badaniach, wartość jego dla połączeń skurczowych jest znacznie większa niż dla wtlaczanych [5].

## 6. TEMPERATURA NAGRZANIA KOŁA JEZDNEGO

Biorąc pod uwagę zmiany zachodzące w materiale pod wpływem ciepła, temperatura nagrzania nie powinna przekraczać 575 K. Wytwórnice zagraniczne, które stosują montaż skurczowy, nie przekraczają w zasadzie 523 K. Podgrzanie do tej temperatury, przy średnicach czopa spoczynkowego osi 160-220 mm, umożliwi uzyskanie wymaganego luzu montażowego.

Podczas transportu nagrzanego koła na stanowisko montażowe następuje obniżenie temperatury. Temperaturę nagrzanego koła przed montażem można określić z zależności:

$$T_1 = e^{12,6 \cdot 10^{-6} \frac{\alpha}{c_k \rho} \tau} \cdot T_2 + T_0 \quad [\text{K}],$$

gdzie:

$\alpha = 2,78\sqrt{T_2 - T_0}$  - średnia wartość współczynnika rozproszenia ciepła w czasie transportu [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ],

$c_k$  - ciepło właściwe materiału koła [ $\text{J}/\text{kgK}$ ],

$\rho$  - gęstość materiału koła [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],

$F$  - powierzchnia nagrzanego koła [ $\text{m}^2$ ],

$\tau$  - czas transportu [s],

$V$  - objętość koła [ $\text{m}^3$ ],

$T_2$  - temperatura nagrzanego elementu w induktorze [K],

$T_0$  - temperatura otoczenia [K].

Przyjmując temperaturę nagrzania  $T_2 = 553$  K i temperaturę otoczenia  $T_0 = 293$  K, uzyskujemy wartość temperatury  $T_1 = 223$  K

## 7. LUZ MONTAŻOWY

W wyniku podgrzania koła jezdnego następuje powiększenie wymiaru otworu o wartości wcisku i luzu montażowego  $\delta$ . Niezbędna wartość luzu przy montażu na stanowisku półautomatycznym określa się z zależności [6]:

$$\delta = \delta_c + \delta_k \quad [\text{mm}],$$

gdzie:

$\delta_k$  - luz montażowy uwzględniający wymiary połączenia oraz względne przesunięcia osi łączonych elementów,

$\delta_\varepsilon$  - luz kompensujący zmniejszenie się  $\delta_k$  w wyniku wymiany ciepła między łączonymi elementami.

Wielkość luzu  $\delta_\varepsilon$  dla elementów o sfazowanych powierzchniach nośnych:

$$\delta_\varepsilon = \frac{l(d - h_1) - \varepsilon \cdot k}{\sqrt{l^2 - \varepsilon^2}} - (d + h_2) \quad [\text{mm}],$$

gdzie:

$l$  - długość czopa spoczynkowego osi [mm],

$d$  - średnica czopa spoczynkowego [mm],

$h_1, h_2$  - wysokość sfazowania łączonych elementów [mm],

$\varepsilon$  - względne dopuszczalne przesunięcie osi łączonych elementów [mm],

$k$  - długość sfazowania osi [mm].

Natomiast luz  $\delta_k$  zapewniający swobodne osadzenie koła, bez przedwczesnego ostudzenia, oblicza się z zależności [6]:

$$\delta_k = w \cdot \frac{B \left( e^{2 \cdot 10^{-3} a \delta A \tau} - 1 \right)}{\alpha_k \cdot d \cdot A \cdot e^{2 \cdot 10^{-3} a \delta A \tau}} \quad [\text{mm}],$$

gdzie:

$w$  - wcisk,

$\alpha_k$  - współczynnik rozszerzalności liniowej materiału koła [1/K],

$S$  - pole powierzchni nośnej połączenia [m<sup>2</sup>],

$\tau$  - czas połączenia [s].

Współczynniki  $A, B$  określa się z zależności:

$$A = \frac{1}{419} \left( \frac{1}{c_k m_k} + \frac{1}{c_o m_o} \right),$$

$$B = \frac{d}{419} \left[ \frac{\alpha_k}{c_k} (1 - \chi) + \frac{\alpha_o}{c_o m_o} \right],$$

gdzie:

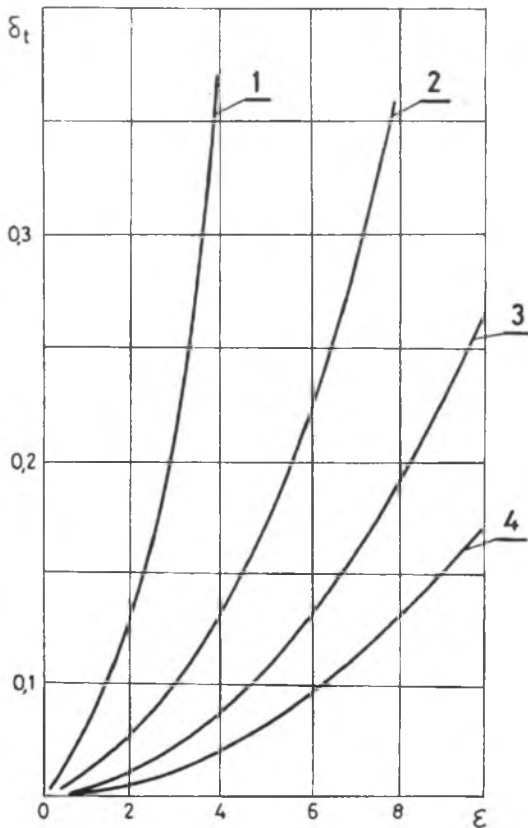
$m_k, m_o$  - masa koła i osi [kg],

$c_k, c_o$  - ciepło właściwe materiału koła i osi [J/kg °C],

$\alpha_k, \alpha_o$  - współczynnik rozszerzalności liniowej materiału koła i osi [1/K],

$\chi$  - współczynnik uwzględniający straty ciepła do otoczenia.

Wstawiając do podanych wzorów dane dla połączenia skurczowego o średnicy 185 mm i 200 mm uzyskano wartość luzu montażowego odpowiednio 0.0778 mm i 0.0826 mm.



Rys. 1. Zależność luzu montażowego od wzajemnego przesunięcia osi łączonych elementów dla długości połączenia: 1 - 50 mm, 2 - 100 mm, 3 - 150 mm, 4 - 200 mm

Fig. 1. The dependence between the assembly clearance and the mutual displacement of the axles of joint elements for the joint length: 1 - 50 mm, 2 - 100 mm, 3 - 150 mm, 4 - 200 mm

Przyjmując wartości wcisków z tabeli 2 i uwzględniając obliczone luzy montażowe, wartość powiększenia wymiarów otworu w piaście koła jezdnego w wyniku nagrzania wynosi:

- koła bezobrotowe: 0.25-0.33 mm,

- koła obręczowe:  $d = 185 \text{ mm} \rightarrow 0.17\text{-}0.27 \text{ mm}$ ,
- $d = 200 \text{ mm} \rightarrow 0.18\text{-}0.30 \text{ mm}$ .

Wymagany luz montażowy można również określić na podstawie wykresów (rys. 1) podających zależność luzu montażowego od względnego przesunięcia osi łączonych elementów [6]. Jak wynika z wykresu, dla długości połączenia 200 mm i względnego przesunięcia 6 mm, luz montażowy  $\delta = 0.1 \text{ mm}$ . W przypadku montażu skurczowego kół jezdnych względne przesunięcie  $\varepsilon$  jest znacznie mniejsze i zawiera się w granicach 2.0-3.0 mm [7].

## 8. ZAKOŃCZENIE

Krótką charakterystyka parametrów konstrukcyjno-technologicznych montażu wagonowych zestawów kołowych metodą skurczową pozwala na stwierdzenie, że metoda ta wymaga znacznie dokładniejszych warunków montażu niż montaż poprzez wtłaczanie. Parametry te istotnie wpływają na przebieg procesu montażu oraz jakość uzyskanego połączenia, stąd też w przypadku niektórych (temp. nagrzania, luz montażowy) zachodzi konieczność bieżącej kontroli ich wartości podczas montażu.

## Literatura

1. Praca zbiorowa pod red. J. Brosia: Montaż wagonowych zestawów kołowych z zastosowaniem połączeń skurczowych. Instytut Pojazdów Szynowych PK, Kraków, 1985.
2. Kulikowski H., Tułecki A.: Stanowisko do montażu zestawów kołowych z nagrzewaniem indukcyjnym kół jezdnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej, seria 48, nr 11, 1986.
3. Karwala K., Kulikowski H., Tułecki A.: Zwiększanie trwałości połączeń wciskowych. Przegąd mechaniczny nr 12, 1978.
4. Seefluch R.: Dauerfestigkeitsuntersuchungen an Wellen - Naben - Verbindungen. Dissertation Technische Universität, Berlin, 1970.
5. Tułecki A.: Zagadnienia tarcia statycznego w połączeniach wciskowych zestawów kołowych. Materiały konferencyjne. Konferencja Naukowa Wydziału Transportu Politechniki Krakowskiej, Kraków 1985.
6. Nowikow N.P.: Naucznyje osnovy automatizacji sborki maszin. „Maszynostrojenije”, Moskwa, 1976.
7. Cegielný E.: Wybrane zagadnienia montażu zestawów kołowych przy zastosowaniu połączeń wciskowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 7, Gliwice 1987.

Recenzent: dr hab. inż. prof. Pol. Śl. Andrzej Wilk

Wpłynęło do redakcji: 10 lipca 1995 r.

## Abstract

The paper presents the characteristic of the construction and technological parameters of the wheel set assembly applying the shrinkage method, which are:

- joint geometrical dimension,
- bearing surfaces quality, as well as shape errors,
- material properties,
- joint strength,
- road wheel heating temperature,
- assembly clearance.

The parameter values were given basing on international conditions and on mathematical interdependences. In the aspect of the automatic wheel set assembly the most important is the road wheel hub heating temperature, necessary for the assembly clearance, which allows to mount the wheel freely on the axle pivot. The temperature value should not be higher than 573 K, because of some structural changes in the road wheel material. The calculations proved, that the temperature 523 K meets the requirements of the automatic assembly.