Seria: TRANSPORT z. 7

New Sek. M. Sechnyek

Roman BAK Michał ZACHARSKI

MODELOWANIE NUMERYCZNE POŁĄCZENIA KOŁA BEZOBRĘCZOWEGO Z OSIĄ

<u>Streszczenie</u>. Połączenie koła z osią ma podstawowe znaczenie dla zapewnienia właściwej trwałości i niezawodności zestawu, a więc również bezpieczeństwa jazdy pojazdu szynowego. W związku z tym istotnym problemem jest określenie warunków powstawania i działania złącza, a także możliwość opisu zjawisk w sensie fizycznym. Przeprowadzono próbę modelowania numerycznego procesu montażu zestawu przy wykorzystaniu metody elementów skończonych. Przeprowadzono porównanie wyników obliczeń z wynikami pomiarów siły wtłaczania w trakcie rzeczywistego procesu wytwarzania oraz po zakończeniu eksploatacji kolejowych zestawów kołowych. Badania powyższe umożliwiły określenie warunków powstawania i działania złącza koła z osią oraz pomiar statystyczny liczby tarcia na powierzchni styku pomiędzy elementami łączonymi.

Hys. 1. Disgosd notine saryse powfersohni

Postać geometryczna zestawu kołowego ukształtowana została jako wypadkowa tradycyjnej konstrukcji koła nasadzonego na oś oraz wzrastających obciążeń przenoszonych przez układ nawierzchnia toru - koło - układ usprężynowania - rama wagonu.

Rozwój procesu technologicznego zestawu doprowadził, w przypadku zestawów monoblokowych, do rozdzielenia konstrukcji i wykonywania jako odrębnych elementów kół i osi.

Odrębne elementy wymagają trwałego połączenia w niezawodny węzeł konstrukcyjny zdolny do przeniesienia obciążeń statycznych, dynamicznych i okresowych naprężeń cieplnych przy wciskach nie wyczerpujących nadmiernie nośności tarczy i wieńca [1].

W zakresie zjawisk fizycznych zachodzących na kojarzonych powierzchniach można rozdzielić proces na następujące składowe od chwili nadania kształtu przez końcową obróbkę plastyczną:

- wykonanie obróbki skrawaniem na powierzchni osi i w otworze koła,

- nałożenie warstwy smarującej,
- przeprowadzenie procesu wtłaczania,
- "utrwalenie połączenia" w okresie kilku godzin po połączeniu,
- tworzenie się warstwy wspólnej koła i osi w trakcie eksploatacji.

U podstaw konstrukcji połączeń wciskowych leży założenie, iż po zmontowaniu elementów powstanie w nich taki stan naprężenia, że na styku będą istniały naciski i związane z nimi siły tarcia, które uniemożliwią przemieszczenie elementów względem siebie.

1987

rainba

Nr kol. 914





Rys. 1. Długość nośna zarysu powierzchni Fig. 1. Capacity length of surface counture

 $U_{L} = \frac{L_{i}}{L_{p}} = \frac{\sum b_{i}}{L_{p}}$

Stan powierzchni po obróbce skrawaniem prezentuje profilogram, z zetknieciem się dwu takich elementów związane jest powstanie napreżeń kontaktowych. Dociśniecie do siebie powierzchni spowoduje wnikanie nierówności. Podstawowe pytanie dotyczyło rzeczywistej powierzchni styku odkształcalnych powierzchni.

" nakohenie waretwy summissien

- two h and healdque version of a sinestont -

eldele scholgzw widenonole elezantes

Wyniki przedstawione przez Kragielskiego i Demkina [2] pozwalają na określenie rzeczywistej powierzchni styku. Pomijeny jest wpływ przemieszczeń stycznych. I które w istotny sposób zmieniają kształt stykających się powierzchni.

Bester alcounts muse

Proces montażu połączenia wtłaczanego związany jest z pokonaniem sił tarcia.

Łączy się to z odkształceniem plastycznym polegającym na zmianach stanu nierówności a nawet geometrii powierzchni.

Następuje płynięcie materiału oraz zmiany w budowie i własnościach podpowierzchniowej warstwy materiału. Na powierzchni ulega zmianie stan nierówności powierzchni, następuje niszczenie błon powierzchniowych, zmisny struktury materiału, umocnienie i zmiany stanu naprężenia, a w granicznym przypadku naruszenie spójności materiału.

Kragielski [2] rozważa warunki odkształcenia i oddzielenie materiału przez występ modelowany w postaci stożka ściętego zakończonego powierzchnią sferyczną. W takim przypadku kształt nierówności jest określony przez promień kulki R, a warunki styku przez wgłębienie h.

Zagłębienie odpowiadające przejściu materiału w stan plastyczny aproksymowano zależnościa: samroresalo obidido puochos servis

U podniau konstrukcji polaszak weiskawych laży zalożenie, iż po znontovanin alcountés prestante a nich taki atan neprojemia, fe na stylu beda istuisiy moduld i uwissame a mist ally terois, ktore unionosituita pres-

$$\frac{b}{R} \ge 240(\frac{c \cdot R_{0}}{E})^{2}$$

gdzie:

Modelowanie numeryczne połączenia koła ...

to a b

Powiązanie warunków odkształcenia plastycznego z siłami oporu o₁ R_e i c₂ R_e, gdzie c₁ i c₂ są współczynnikami zależnymi od kształtu obszaru styku elementu ślizgającego się i umocnienia, a µ jest współczynnikiem tarcia molekularnego, pozwoliło na wyprowadzenie zależności:

$$P \ge R \left[1 - \frac{\mu c_2 + c_1}{\sqrt{(c_1^2 + c_2^2)(1 + \mu^2)}} \right].$$

Modelowanie rzeczywistego procesu technologicznego wymagałoby włączenia do opisu kontaktu ciał odkształcalnych i nieustalonego przepływu cieczy lepkiej.

Ujęcia lokalnego zjawisk zachodzących w mikroobszarach przemieszczających się nierówności nie udało się wprowadzić do obliczeń stosowanych w praktyce inżynierskiej.

Pozostaje zatem poszukiwanie rozwiązań doświadczalnych i łączenie z wynikami modelowania numerycznego.

Dla przeanalizowania powstawania połączenia wtłaczanego oraz pól naprężeń z nim związanych wykorzystano metodę elementów skończonych (MES).

Proces montażu zestawu M 920 rozpatrywano jako skończoną liczbę położeń osi względem piasty, co odpowiadało poszczególnym fazom montażu. Każde położenie osi względem piasty można rozpatrzyć jako przypadek n-krotnie statycznie niewyznaczalny.



Rys. 2. Położenie piasty względem osi w czasie wtłaczania Fig. 2. Position of hub and axle during joining

Dla położenia j można napisać układ równań kanonicznych ujmujący liczby wpływowe wyliczone dla węzłów reprezentujących zdyskretyzowane do powierzchni zewnętrznej elementu osi i piasty:

$$\delta_{ak1} X_1 + \delta_{bk(m-j+1)} X_1 + \delta_{ak2} X_2 + \delta_{bk(m-j+2)} X_2 + \delta_{akj} X_j + \delta_{bkm} X_j = \Delta_{ab},$$

gdzie:

Saki' Sp	ki - przemieszczenie k-tego węzła pod działaniem siły i-tej
he marking	jednostkowej.
X1 ···· Xj	- siły węzłowe występujące w czasie wtłaczania na powierz
-anavora tele	chni styku koła z osią.
Aab	- wcisk między osią i piestą.

Równanie powyższe może być zapisane w formie:

$$\sum_{i=1}^{j} (\delta_{aki} + \delta_{bk(m-j+i)} X_i) = \Delta_{ab}$$

W wyniku obliczeń określono strefy szczególnie podatne na powstanie odkształceń trwałych - strefy te zaznaczono na rys. 3.



Rys. 3. Obszary występowania odkaztał ceń plastycznych w trakcie procesu wtłaczania

anitation antrana dana hana

Fig. 3. Zones of apperence of plastic strain during process of joining Własności tworzyw są mało zmienne, także uzyskiwane w procesie technologicznym cechy geometryczne mieszczą się w dość wąskich granicach. Pomimo to rzeczywiste siły wtłaczanie znacznie różnią się między sobą.

Dla porównania teoretycznej siły wtłaczania z siłami rzeczywistymi przeprowadzono analizę statystyczną 250 procesów wtłaczania zestawu M920, określając dla każdego z nich wcisk oraz maksymalną siłę wtłaczania [3].

Określono wartość średnią rzeczywistych sił wtłaczania i porównano z siłami teoretycznymi wyznaczonymi dla stałej liczby tarcia $\mu = 0,08$. Modelowanie numeryczne połączenia koła

Tablica 1

Porównanie teoretycznych i rzeczywistych sił wtłaczenia

Wcisk	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
Średnia wartość rzeczywistej siły wtłaczania	93,4	92	92,2	95,2	93,8	93,8	96,4	94,7	95,9
Siła teoretyczna W	61,4	64,8	68,3	71,7	75,1	78,5	81,9	85,3	88,7

Należy zaznaczyć, że dla wcisków minimalnych smarowano[.] powierzchnie łączone kredą, przy średnich pozostawiano suche, a przy maksymalnych smarowano olejem.

Dla znanych sił węzłowych przy całkowitym wtłoczeniu koła na oś oraz rzyczywistych wartościach sił wtłaczania, można dla określonych wcisków wyznaczyć liczbę tarcia μ_{r} .

$$\mu_{k} = \frac{\left(\mathbb{W}_{rzecz}\right)_{k}}{\left(\sum_{i=1}^{i} \mathbf{x}_{i}\right)_{k}}$$

μ. - liczba tarcia dla wcisku Δ_k,

(Wrzecz)k - rzeczywista siła wtłaczania dla wcisku Ak,

 $(\sum_{i=1}^{k} X_i)_k$ - suma sił węzłowych przy całkowitym połączeniu koła z osią dla wcisku Δ_k .

Przyjęto, że rozkład liczb tarcia jest rozkładem normalnym.

Powyższy sposób postępowania pozwolił ustalić, że liczba tarcia μ_k jest wielkością losową, a jej wartość średnia w przedziale wcisków 0,18-0,26 mm wynosi 0,102 i liczba ta mieści się w przedziale 0,14-0,063 z prawdopodobieństwem 95%.

Stąd też warunki tercia w złączu określić można jako graniczne.

Następny stap tworzenia złącza obu elementów stanowi stabilizacja trwająca kilka godzin po montażu.

Określenie wpływu eksploatacji na nośność złącza było trudne. Autorzy dysponowali zestawami wycofanymi z eksploatacji w wyniku zużycia.

Na zestawach przeprowadzano zabiegi regeneracyjne polegające na odcięciu wieńca starego i przyspawaniu nowego. Wynik analizy [4] pozwala jednak przyjąć, że wpływ procesów prowadzonych na wieńcu nie wpływa w sposób znaczący na połączenie koła z osią (rys. 5).





Rys. 4. Wyznaczone wartości liczby dla przedziału wcisków 0,18-0,3 mm Fig. 4. Determined value of coefficent of friction for range of interference 0,13-0,3 mm



Rys. 5. Rozkład nacisków w połączeniu koło - oś w zestawie M920 Fig. 5. Distribution of preasure in joints wheel-axle of wheel set M920

Modelowanie numeryczne połączenia koła



Rys. 6. Połączenie wciskowe koło - oś Fig. 6. Force joint of wheel-axle

Przeprowadzono stłaczanie kół na 8 zestawach bezobręczowych. Wyniki prezentuje rys. 6. W grupie tej części zestawów była wyposażona w koła produkcji francuskiej (F) i Huty 1 Maja (M920). Obszar zakreskowany oznacza zakres dopuszczalnych sił i wcisków dla nowego zestawu.

Wyniki potwierdzają trwałość połączenia. Wielkość siły potrzebnej do stłoczenia była wyższe niż osiągana w trakcie stłaczania nowych zestawów. Oznacze to, że liczba tarcia wzrosła w stosunku do wielkości określonej w trakcie badania procesu montażu zestawów nowych.

- Podsumowując uzyskane wyniki można stwierdzić, iż:
- w trakcie procesu montażu koła na oś mogą pojawić się na osi i w środkowej części piasty odkształcenia trwałe zmieniające wciski i nośność połączenia,
- wielkość próbki stosowanej w badaniach procesu stłaczania była zbyt mała dla szukania korelacji statystycznych, lecz istotne dla konstruktora jest stwierdzenie, że pomimo wieloletniej eksploatacji pewność połączenia nie uległa zmianie,
- dla pełniejszego poznania zjawisk montażu niezbędne jest opracowanie modeli numerycznych obejmujących kontakt nierówności powierzchni i przemieszczanie cieczy smarującej.

LITERATURA

- Bak R. i inni: Ustalenie przyczyn wyłamania się części koła zestawu pod jadącym pociągiem. Praca zlecona NB-481 (RLK) 76.
- [2] Kragielskij I.W.: Trienije i iznis. Maszgis, Moskwa 1962.
- [3] Bak R. i inni: Określenie optymalnych cech geometrycznych połączenia koła wagonu z osią. Praca zlecona NB-500/391/RMK/10/8/74.
- [4] Bak R. i inni: Badanie możliwości regeneracji zestawów monoblokowych. Praca zlecona NB-163/RT1/84.

Recenzent: Prof. dr bab. inż. Jan BROS

НОМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ ЦЕЛЬНОКАТАНОГО КОЛЕСА С ОСЬЮ

Резюме

Соединение колеса с осью имеет основное значение дла обеспечения требуемой стойкости и надежности колесном пары а также безопастности движения поезда. В авязы с этим важной проблемой является определение целовии возникмовения и действия соединения а также описания возникающих явлении. Производено пробу номерного моделирования процесса монтажа колесной пары с цепользованием оконченных элементов. Произведено сравнение результатов расчотов с данными изморении силы напрессовки во время дойствительного процесса а также после окончания эксплуатации железнодорожных колесных пар. Эти исследования дали возможность определения условии возникновения и действия соединнения колеса с осью а также изморения числа трения на поворхности контакта соединяемых элементов.

A NUMERICAL MODEL OF FASTENING A MONOBLOC WHEEL AND AXLE

Summary

The fastening wheel with axle bass a basis signification for stability and reliability of wheel set. Determination conditions of formulation and working of joints is important as well as posibility of describing a phenomena.

In the paper has been done an example of a numerical modeling of assembling by the finite elements method. The successive phases of forcing wheel on axle have been described. The comparsion has been done of numerical and experimental results in factory.

Mcrever it was done for results of numerical modeling and disconnecting joints after the process of using too.

The investigation described upper was used for determining a coefficent of friction and conditions of forming and working of joints.