

Laura PERCHUĆ

## BADANIA POŚLIZGÓW KÓŁ POJAZDÓW SZYNOWYCH I TWORZENIA SIĘ MARTENZYTU

**Streszczenie.** Pęknięcia i wykruszenia spowodowane płaskimi miejscami prowadzą do dużych kosztów w konserwacji zestawów kołowych. Sądzi się, że lepsze zrozumienie procesu kształtowania (formowania) martenzytu wokół płaskich miejsc koła i wynikającego stąd wykruszenia przyczyni się do oszczędności w eksploatacji i naprawie zestawów kołowych.

### STUDY OF SLIP OF THE WHEEL RAIL VEHICLES AND MARTENSITE FORMATION

**Summary.** Flat-induced cracks and spalls lead to large costs for wheelset maintenance. It is believed that the better knowledge about the process of formation of martensite around a wheel flat, and about the ensuing spalling, will facilitate money-saving improvements in wheelset operation and maintenance.

#### 1. WSTĘP

Poślizg zestawu kołowego po torze jest zjawiskiem zupełnie normalnym i ma ono niepomysłne konsekwencje dla koła, ponieważ drastycznie zwiększa koszty naprawy [5, 6]. Przyczynami poślizgu są źle wyregulowane, zamarznięte lub uszkodzone hamulce, źle funkcjonujące urządzenia przeciwoślizgowe lub zbyt duże siły hamowania w porównaniu do sił adhezji kontaktu koło-szyna. Zanieczyszczenia na torach, takie jak liście, smar, oszronienia, mróz i śnieg, pogłębiają ten problem.

Kiedy koło jest zablokowane i ślizga się po torze, na powierzchni tocznej koła tworzy się płaskie miejsce. Wzrost temperatury wywołany poślizgiem i gwałtowne ochłodzenie warstwy wierzchniej materiału koła może doprowadzić do formowania się martenzytu wokół płaskiego miejsca [1,2]. Martenzyt stanowi fazę kruchą i posiada strukturę krystaliczną (układ

tetragonalny) prowadzący do rozszerzenia objętościowego o ok. 0.5% w porównaniu ze strukturą perlityczną. Ta zmiana objętości daje bardzo duże naprężenia własne ściskające w strukturze martenzytu i odpowiednio duże naprężenia własne rozciągające w materiale otaczającym ww. strukturę martenzytu [3].

Jeżeli zestaw kołowy z płaskimi miejscami nadal pracuje, a także martenzyt wokół płaskiego miejsca nie został usunięty poprzez reprofilację, to wtedy w obszarze struktury martenzytycznej będą powstawały pęknięcia zmęczeniowe wskutek działania naprężeń kontaktowych podczas toczenia się koła.

Pęknięcia będą się nadal powiększać i stosunkowo duże kawałki materiału będą się odrywać od powierzchni tocznej koła. Takie wykruszenia zazwyczaj pozostawiają wgłębienia o głębokości od 1 do 5 mm otoczone pęknięciami, które często osiągają od 10 do 15 mm długości licząc od linii okręgu tocznego.

Wykruszenia spowodowane płaskimi miejscami również wywołują duże obciążenia udarowe, pochodzące od toczącego się koła. Mogą one powodować poważne uszkodzenia w nawierzchni kolejowej oraz zawieszeniu pojazdu i łożyskach. Koszty w przypadku wycofania zestawu kołowego (z wykruszeniami) są wysokie z powodu częstych reprofilacji powierzchni tocznej kół.

W Szwecji wykruszenia spowodowane spłaszczeniem koła (płaskie miejsca) prowadziły do uszkodzeń w łożyskach tocznych i zawieszeniach - w niektórych przypadkach z zagrożeniem dla bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Około 25% wycofanych wszystkich zestawów kołowych posiadało wykruszenia spowodowane płaskimi miejscami. W skali rocznej przerost kosztów naprawy wskutek tego został oszacowany na ok. 2 mln dolarów [1]. Sądzi się, że dodatkowe koszty w postaci niefunkcyjnych pojazdów i zaburzeń w ruchu kolejowym, jak też dodatkowa konserwacja nawierzchni, zawieszonych pojazdów oraz łożysk tocznych są kilkakrotnie większe.

W Szwecji z powodu jej surowego klimatu, zimy, trwającej od 3 do 5 miesięcy w ciągu roku, a także dużych obszarów leśnych i opadania liści jesienią oraz relatywnie krótkich odległości sygnalizacyjnych (zazwyczaj 800-1000 m na liniach konwencjonalnych) płaskie miejsca kół i wykruszenia pozostają dużym problemem. Dlatego lepsze zrozumienie mechanizmów będących u podstawy tworzenia się martenzytu wokół płaskiego miejsca na powierzchni tocznej kół powinno mieć duże znaczenie. Sądzi się, że lepsze zrozumienie tych zagadnień pozwoli na ulepszenia na następujących odcinkach funkcjonowania kolei:

- lepsze oryginalne materiały na koła, dostosowane do pracy w warunkach, gdzie należy się spodziewać płaskich miejsc,
- lepsza konserwacja zestawów kołowych mających płaskie miejsca (ostrzejsze kryteria przy określaniu ilości materiału, poddanego działaniu ciepła, który ma być usunięty),
- lepsze systemy diagnozowania pojazdów, które w przypadkach zakleszczania kół mogą posiadać ewentualne wykruszenia wskutek płaskich miejsc oraz potrzeby wymiany kół.

## 2. PRZEGLĄD LITERATURY

Badań naukowych poświęconych płaskim miejscom jest niewiele. W zasadzie w literaturze głównie można znaleźć informacje na temat badań eksperymentalnych, np.: Kumagai i in., 1991, Kigawa, 1988, Kigawa i Kimoto 1990, ewentualnie na temat płaskich miejsc (Newton i Clark, 1979, Kaku i Jamashita 1985, Igeland, 1994).

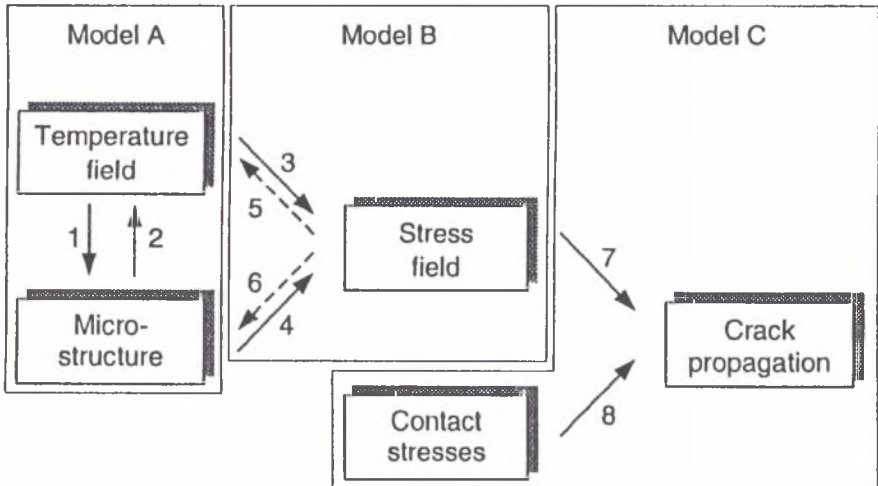
Najnowsze informacje zawarte są w projekcie J. Jergeus, 1997. Wykorzystane są w nim wyniki poprzednich badań dotyczących przemian fazowych w związku z zagadnieniami hartowania (utwardzania, ulepszania cieplnego) przeprowadzonych przez: Hildenwalla (1997), Sjostroma (1982), Jarvstrata (1990) na Politechnice w Linkoping. Oczywiście wyniki tych badań stanowią bazę dla badań ilościowych nad skomplikowanym zjawiskiem interakcji pomiędzy temperaturą, mikrostrukturą a naprężeniem.

## 3. CEL BADAŃ

Celem badań było ustalenie i zastosowanie nowoczesnego modelu materiału termoplastycznego dla wyjaśnienia problemu zjawiska płaskich miejsc na kole [4].

## 4. MODELE KOMPUTEROWE

Przemiany fazowe, naprężenia oraz powstawanie pęknięć i ich rozprzestrzenianie się wywołane poślizgami kół są zagadnieniami sprzężonymi. Sprzężenia te przedstawiono na rys. 1.



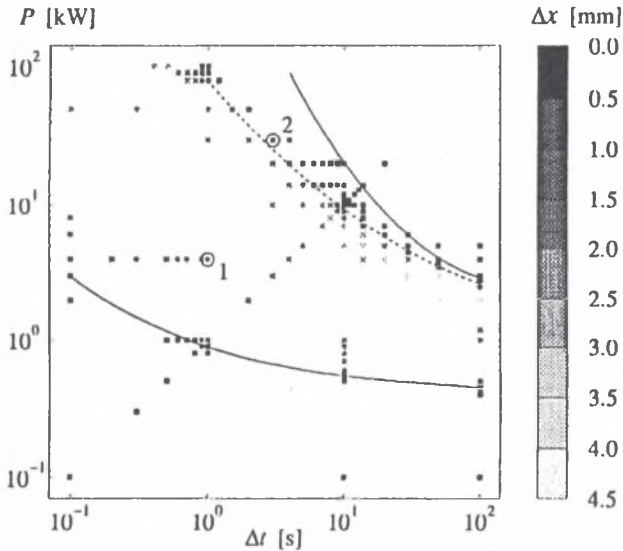
Rys.1. Pole temperatur kontroluje procesy przemian fazowych (sprężenie 1). Przemiany fazowe powodują generowanie ciepła lub jego pochłanianie, co ponownie oddziałuje na temperaturę (2). Temperatura i przemiany fazowe powodują naprężenia (3,4). Pole naprężeń oddziałuje na temperaturę, wówczas energia jest rozpraszana, dzięki odkształceniu plastycznemu (5). Mikrostruktura znajduje się również pod wpływem oddziaływania pola naprężeń (6). Zależności (5) i (6) są tutaj pominięte. Naprężenia szczątkowe wzajemnie oddziałują z naprężeniami kontaktowymi powodując rozprzestrzenianie się pęknięć (7, 8)

Fig.1. Temperature field controls phase transformation processes (coupling 1). Phase transformations generate or consume heat which re-affects temperature (2). Temperature and phase transformations cause stresses (3,4). Stress field influences temperatures as energy is dissipated due to plastic flow (5). Microstructure is also affected by stress field (6). Couplings (5) and (6) are neglected here. Residual stresses interact with rolling contact stresses causing propagation (7,8)

## 5. TWORZENIE SIĘ MARTENZYTU

Modelowe podejście do zagadnień powstawania płaskich miejsc oraz martenzytu wokół tych miejsc na powierzchniach toczonej kół kolejowych zostało wykorzystane w projekcie badawczym wykonanym na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki w Chalmers w Szwecji (Department of Engineering Metals at Chalmers University of Technology, Sweden) [3]. Dzięki wykorzystaniu programu ABAQUS udało się dokonać obliczeń i ustalić, w jakich

warunkach dochodzi do tworzenia się martenzytu. Sformułowano zależność pomiędzy głębokością powstawania martenzytu a ilością pochłoniętego ciepła przez materiał koła oraz czasem trwania poślizgu koła - rys. 2 [4].



Rys.2. Obliczona głębokość martenzytu pomniejszona o głębokość materiału roztopionego (rozdartego). Każdy kwadrat przedstawia jedno ciepłne/mikrostrukturalne obliczenie. Krzywe (linie ciągłe) bez linii przerywanej obejmują obszar prawdopodobnego tworzenia się martenzytu. Obszar pomiędzy górną linią ciągłą a linią przerywaną jest to obszar powstawania materiału roztopionego (rozdartego) do większej głębokości niż materiał przy powstawaniu martenzytu (Jergeus, 1994)

Fig.2. Calculated martensite depth reduced by depth of melted down/torn away material. Each square represents one thermal/microstructural calculation. Solid curves encompass area where martensite is likely to have formed. In area between upper solid line and dashed line material is likely to be melted down/torn away to a greater depth than that of martensite formation, see (Jergeus (1994)). Examples 1 and 2 are marked with circles and numbers

## 6. PODSUMOWANIE

Ostatnie wyniki badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych [5] kół wskazują na to, że martenzyt tworzy się tylko w przypadku pewnych kombinacji wzbudzonej mocy cieplnej oraz czasu trwania poślizgu - rys. 2. Poniżej zagrożonego obszaru austenityzowanie nie jest możliwe. Powyżej tego samego obszaru objętość nagrzanego materiału wokół spłaszczenia na

powierzchni koła jest zbyt duża, aby umożliwić gwałtowne schłodzenie niezbędne do rozpoczęcia tworzenia się i uformowania się martenzytu.

Niestety, jak na razie korelacja wyników numerycznych i eksperymentalnych jest trudna, ponieważ część generowanego ciepła wydzielanego na zewnątrz koła nie jest znana. W przyszłości jednak ten czynnik będzie uwzględniany. Duże nadzieje związane są z udoskonaleniem oprogramowania pozwalającego na uwzględnienie wielu modelowanych właściwości.

## 7. WNIOSKI

Ze względu na szerokie zainteresowanie problemem formowania się martenzytu wokół płaskich miejsc na powierzchni tocznej kół kolejowych wywołanych poślizgami kół wydaje się wskazane kontynuowanie badań prowadzących do lepszego zrozumienia warunków sprzyjających powstawaniu tego typu struktury.

## LITERATURA

1. Jergeus J.: Martensite formation in railway wheel flats. Chalmers University of Technology, Division of Solid Mechanics, Gothenburg, Szwecja, 1994.
2. Jergeus J., Lunden R. and Gullers P.: Martensite formation around railway wheel flats. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Wheelset Congress, Paris, France, 1995.
3. Jergeus J.: Martensite formation and residual stresses around railway wheel flats. Report F191, Chalmers University of Technology, Division of Solid Mechanics, Gothenburg, Szwecja, 1996.
4. Jergeus J.: Martensite formation and damage around railway wheel flats, 6<sup>th</sup> International Heavy Haul Conference, Cape Town, South Africa, 1997.
5. Perchuć L., Sitarz M.: Badania laboratoryjne i eksploatacyjne poślizgu kół napędowych pojazdów szynowych, Międzynarodowa Konferencja „TRANSPORT’ 97”, Ostrawa-Katowice 1997.

6. Perchuc L., Sitarz M., Wiedermann J.: Klasyfikacja i przyczyny defektów kolejowych zestawów kołowych w czasie eksploatacji, Konferencja Naukowo-Techniczna „Postęp i przemiany w PKP-1997”.

Recenzent: Dr hab.inż. Marek Sitarz  
Prof. Politechniki Śląskiej

### **Abstract**

A railway wheel flat is a flat spot on the rolling surface of a wheel caused by its unintentional sliding on the rail. Under certain sliding conditions, martensite, which is a brittle phase of carbon steel, will form around such a flat. The presence of martensite often leads to cracking and spalling of the material in the tread of a rolling wheel having a flat. Flat-induced cracks and spalls lead to large costs for wheelset maintenance. It is believed that the better knowledge about the process of formation of martensite around a wheel flat, and about the ensuing spalling, will facilitate money-saving improvements in wheelset operation and maintenance.