

**Politechnika Śląska**

**Wydział Inżynierii Materiałowej**



**Rozprawa doktorska**

mgr inż. Sylwester Dariusz Żak

**Sterowanie stanem naprężeń własnych w szynach kolejowych poprzez modyfikację kalibrowania walców i rolek prostujących prostownic**

Promotor:  
dr hab. inż. Dariusz Woźniak, prof. IMŻ

Katowice 2019

## STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Sylwester Dariusz Żak

### „Sterowanie stanem naprężeń własnych w szynach kolejowych poprzez modyfikację kalibrowania walców i rolek prostujących prostownic”

Koncepcja pracy zakłada uzyskanie niższego poziomu naprężeń własnych w stopce szyn kolejowych w stosunku do obecnie wymaganych normatywnie wartości poprzez zastosowanie nowego, unikatowego kalibrowania wykrojów walców i rolek prostownic oraz związanych z tym zmian parametrów technologicznych procesów walcowania i prostowania.

W części teoretycznej pracy omówiono znaczenie naprężeń własnych oraz ich wpływ na właściwości eksploatacyjne szyn kolejowych, w szczególności ich odporności na pękanie, rozwój wad kontaktowo-zmęczeniowych oraz nakładanie się naprężeń własnych występujących w szynach na naprężenia termiczne i naprężenia dynamiczne pochodzące z eksploatacji. Dokonano także przeglądu światowych norm w zakresie wymagań stawianych szynom kolejowym odnośnie dopuszczalnego poziomu naprężeń oraz metodyki ich pomiaru jak również przeglądu aktualnie dostępnych niszczących i nieniszczących metod badania naprężeń własnych w szynach. Ostatni rozdział części teoretycznej rozprawy zawiera analizę wpływu technologii produkcji szyn kolejowych w zakresie procesów walcowania, chłodzenia i prostowania na rozkład naprężeń własnych w gotowym wyrobie.

W części badawczej przedstawiono wyniki przyjętego programu badań obejmującego określenie wpływu zmian kształtu powierzchni roboczej rolek prostownic pionowej i poziomej na stan naprężeń własnych w stopce szyny oraz rezultaty wpływu zmiany kształtu wykrojów walców w walcarkach Z2, D1 i D2 w obszarze stopki szyny, które po procesie prostowania prowadzą do obniżenia naprężeń. W pierwszym etapie badań własnych wykonano symulacje numeryczne procesu prostowania z zastosowaniem różnych wariantów układu rolek kształtowych prostownic oraz symulacje komputerowe procesu walcowania z wykorzystaniem nowego kalibrowania wykrojów walców. Następnie przeprowadzono w warunkach przemysłowych eksperymenty prostowania przy użyciu innowacyjnych rolek kształtowych prostownic oraz walcowania szyn z zastosowaniem nowego kalibrowania wykroju klatki wykańczającej w celu nadania wklęsłości stopki i prostowania szyn z zastosowaniem tradycyjnych i kształtowych rolek prostownic. Przeprowadzono badania laboratoryjne składu chemicznego, właściwości mechanicznych stali szynowej oraz badania rozkładu naprężeń własnych w różnych miejscach na obwodzie szyny metodą tensometryczną i wiercenia otworu.

W części podsumowującej zawarto statystyczną analizę wyników badań empirycznych oraz dokonano oceny przeprowadzonych eksperymentów walcowania i prostowania na poziom naprężeń własnych nie tylko w stopce szyny ale także w jej szyje i główce oraz w wybranych 16 miejscach na jej obwodzie. Analizowano również wpływ poszczególnych eksperymentów na uzyskaną prostotę w płaszczyźnie pionowej i poziomej oraz poprawność geometryczną gotowego wyrobu. Opracowano metodę obliczania naprężenia uśrednionego jako wskaźnika skuteczności obniżenia naprężeń własnych w szynach. Sformułowane wnioski końcowe mają formę weryfikującą przyjęty cel pracy oraz wskazują wybrany wariant prostowania do zastosowania w warunkach przemysłowych.

**Słowa kluczowe:** szyna kolejowa, naprężenie własne, kalibrowanie rolek prostownic, kalibrowanie walców, metoda tensometryczna pomiaru naprężeń, metoda wiercenia otworu, walcowanie szyn, prostowanie szyn.

## SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

M. Sc. Eng. Sylwester Dariusz Żak

### **"The way of controlling the state of residual stresses in railway rails by modifying the roll pass design of rolls and straightening rollers"**

The concept of the thesis assumes obtaining a lower level of residual stresses in the rail foot in relation to the currently required normative values by means of the use of a new, unique roll pass design of roll grooves and straightening rollers and related changes in technological parameters of rolling and straightening processes.

The theoretical part of the thesis covers the importance of residual stresses in rails and their impact on the operational properties of railway rails, in particular their resistance to cracking, development of rolling contact fatigue and overlapping residual stresses occurring in rails on thermal stresses and dynamic stresses from operation. A review was also made of worldwide standards in the field of requirements imposed on railway rails regarding the permissible level of residual stresses and the measurement methodology as well as a review of currently available destructive and non-destructive methods of testing residual stresses in rails. The last chapter of the theoretical part of the dissertation contains the analysis of the impact of rail technology in the field of rolling, cooling and straightening processes on the distribution of residual stresses in the finished product.

The research part presents the results of the accepted study programme including the determination of the impact of changes in the shape of the working surface of the rollers of vertical and horizontal straighteners on the state of residual stresses in the rail foot and the results of the impact of changing the shape of roll grooves in Z2, D1 and D2 stands in the rail foot area, which after straightening process lead to a reduction of the residual stresses. In the first stage of own research, numerical simulations of the straightening process were carried out using different variants of the straightening rollers and computer simulations of the rolling process using new roll pass design of roll grooves. Then, in industrial conditions, straightening experiments were carried out using innovative straightening rollers and rolling rails using a new roll pass design of finishing stand groove to give the concavity of the rail foot and straightening the rail using traditional and shaped straightening rollers. Laboratory tests of chemical composition, mechanical properties of rail steel and tests of the residual stresses distribution in various places on the rail perimeter by the method of strain gauges and hole drilling were carried out.

The summarizing part contains a statistical analysis of the results of empirical research and assesses the influence of carried out rolling and straightening experiments on the level of residual stresses not only in the rail foot but also in rail web and rail head and in selected 16 places on rail perimeter. The influence of individual experiments on the obtained straightness in the vertical and horizontal plane as well as the geometrical correctness of the finished product were also analysed. A method of calculating the averaged stresses as an indicator of the effectiveness of reducing the residual stresses in rails has been developed. Formulated final conclusions have the form verifying the accepted objective of the thesis and indicate the selected straightening variant for use in industrial conditions.

**Key words:** railway rail, residual stresses, roll pass design of straightening rollers, roll pass design of rolls, strain gauge method of measuring residual stresses, hole drilling method, rail rolling, rail straightening.