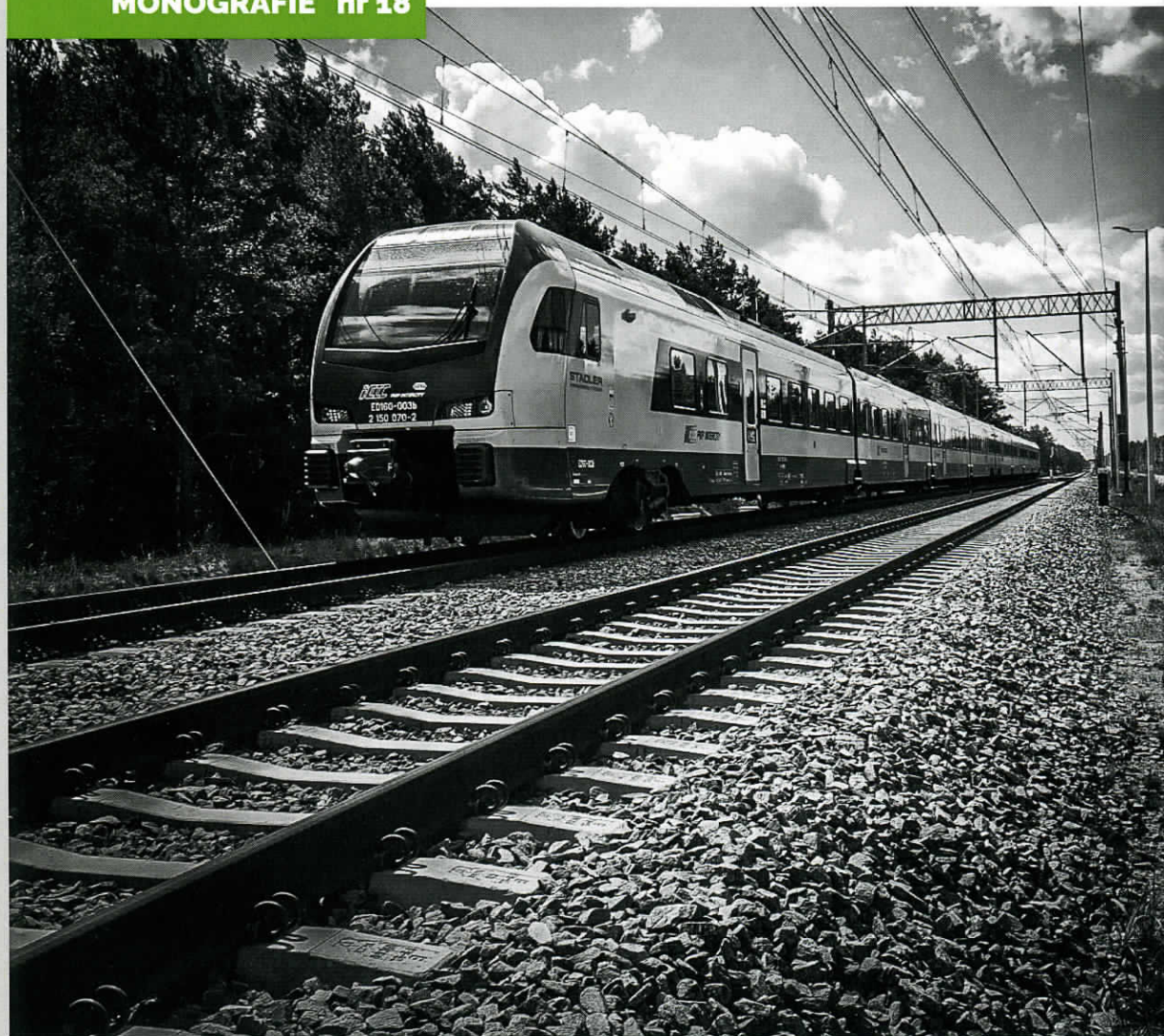


Sylwester Żak, Dariusz Woźniak

NAPRĘŻENIA WŁASNE W SZYNACH KOLEJOWYCH

MONOGRAFIE nr 18



Łukasiewicz
Instytut Metalurgii Żelaza

Sylwester Żak, Dariusz Woźniak

NAPRĘŻENIA WŁASNE W SZYNACH KOLEJOWYCH

Gliwice 2022

RECENZENCI

Prof. dr hab. inż. Józef GAWLIK

Prof. dr hab. inż. Franciszek GROSMAN

RADA NAUKOWA SERII MONOGRAFIE

Prof. dr hab. inż. Leszek BLACHA

Prof. dr hab. inż. Rafał DAŃKO

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz DERDA

Prof. dr hab. inż. Henryk DYJA, M. dr h.c.

Prof. dr hab. Roman KUZIĄK

Prof. dr hab. inż. Andrzej ŁĘDZKI

Prof. dr hab. inż. Tadeusz TELEJKO

ISBN: 978-83-958775-7-5

Wydawca: Sieć Badawcza Łukasiewicz –

Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica

ul. K. Miarki 12-14, 44-100 Gliwice

ZESPÓŁ REDAKCYJNY

redaktor naczelny – prof. dr hab. inż. Adam ZIELIŃSKI

zastępcy redaktora naczelnego – dr hab. inż. Jarosław MARCISZ,

prof. dr hab. Józef PADUCH

redaktorzy tematyczni – prof. dr hab. inż. Bogdan GARBARZ, dr inż. Michał KUBECKI,

prof. dr hab. Roman KUZIĄK, dr hab. inż. Marian NIESLER, dr inż. Łukasz POLOCZEK,

dr inż. Hanna PURZYŃSKA, dr hab. inż. Krzysztof RADWAŃSKI,

dr hab. inż. Dariusz WOŹNIAK

redaktor techniczny – mgr inż. Danuta GRUSZCZYŃSKA

redaktor językowy – mgr Anna ŁUKOWIAK

sekretarz redakcji – mgr Dominika JARANOWSKA

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń	5
1. WPROWADZENIE – Sylwester Żak	7
2. HISTORIA ROZWOJU SZYNY – Sylwester Żak, Dariusz Woźniak	12
3. ZNACZENIE NAPRĘŻEŃ W SZYNACH – Sylwester Żak	23
4. WPŁYW NAPRĘŻEŃ NA WŁAŚCIWOŚCI EKSPLLOATACYJNE SZYN KOLEJOWYCH – Sylwester Żak	29
4.1. Zmiany rozkładu naprężeń własnych podczas eksploatacji szyn	31
4.2. Wady kontaktowo-zmęczeniowe	34
5. METODY POMIARU NAPRĘŻEŃ WŁASNYCH STOSOWANE W BADANIACH SZYN KOLEJOWYCH – Sylwester Żak	41
5.1. Metody niszczące	41
5.1.1. Tensometryczno-trepanacyjne	41
5.1.2. Wiercenia otworów	43
5.1.3. Wciskania penetratora	45
5.1.4. Poprzeczne cięcie templetu	45
5.2. Metody nieniszczące	46
5.2.1. Metoda magnetosprężysta	46
5.2.2. Metoda rentgenograficzna	47
5.2.3. Dyfraktometria neutronowa	49
5.2.4. Metoda ultradźwiękowa	49
5.2.5. Analiza MES	51
6. WYMAGANIA NORM ŚWIATOWYCH DOTYCZĄCE NAPRĘŻEŃ WŁASNYCH W SZYNACH – Sylwester Żak	53
6.1. Pomiar naprężeń metodą tensometryczną	54
6.2. Pomiar naprężeń metodą rozcinania szyjki	58
7. WPŁYW TECHNOLOGII PRODUKCJI SZYN KOLEJOWYCH NA ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ WŁASNYCH – Sylwester Żak, Dariusz Woźniak	62
7.1. Technologia walcowania	62
7.1.1. Walcowanie w walcowniach wyposażonych w klatki walcownicze duo lub trio	62
7.1.2. Walcowanie w walcowniach wyposażonych w klatki walcownicze czterowalcowe uniwersalne	66

7.1.3. Walcowanie w walcowniach wyposażonych w zespół walcowniczy tandem.	67
7.2. Technologia chłodzenia.	69
7.3. Technologia prostowania.	71
7.3.1. Prostowanie szyn w ułożeniu na stopie.	71
7.3.2. Prostowanie szyn w ułożeniu na boku.	73
7.3.3. Wpływ procesu prostowania na poziom naprężeń własnych w szynie.	76
8. ZASTOSOWANIE SYMULACJI NUMERYCZNYCH DO OKREŚLENIA WPŁYWU ZMIAN KALIBROWANIA WALCÓW I ROLEK PROSTOWNIC NA WARTOŚĆ NAPRĘŻEŃ WŁASNYCH – Sylwester Żak, Dariusz Woźniak ...	79
8.1. Opracowanie modeli i wyznaczenie charakterystyk materiałowych do symulacji numerycznej.	79
8.2. Symulacje numeryczne prostowania szyn.	90
8.3. Badania wpływu kalibrowania walców na rozkład naprężeń własnych w szynie.	99
9. WERYFIKACJA EKSPERYMENTALNA WYNIKÓW ANALIZY TEORETYCZNEJ – Sylwester Żak, Dariusz Woźniak.	109
9.1. Materiał do badań i metodyka badań.	109
9.2. Stanowiska badawcze.	111
9.3. Eksperymenty prostowania szyn z zastosowaniem nowego kalibrowania rolek prostownic.	113
9.4. Eksperymenty walcowania i prostowania szyn z zastosowaniem nowego kalibrowania walców.	134
9.5. Wyniki badań przemysłowych.	159
9.6. Wpływ parametrów technologicznych procesu prostowania na rozkład naprężeń własnych.	177
9.7. Podsumowanie.	180
LITERATURA.	184
STRESZCZENIE.	190
SUMMARY.	192

1. WPROWADZENIE

opracował Sylwester Żak

Nowoczesny transport szynowy, szczególnie dużych prędkości, stawia wysokie wymagania odnośnie do jakości torowisk, których najważniejszym elementem jest szyna spełniająca w torze podwójną rolę zarówno podpory, jak i prowadnicy. Nowoczesne szyny muszą charakteryzować się wysokim poziomem właściwości mechanicznych, w tym odporności na kruche pękanie, wytrzymałości zmęczeniowej i małym wskaźnikiem szybkości rozwoju pęknięcia zmęczeniowego, a także odpowiednimi cechami geometrycznymi, przede wszystkim małymi odchyłkami wymiarowymi i prostością na całej długości szyn. Europejska norma EN 13674-1 [18] dopuszcza maksymalną odchyłkę prostości w płaszczyźnie pionowej 0,3 mm na długości pomiarowej 3 m. Tak wysokie wymagania w zakresie prostości są wynikiem konieczności obniżenia amplitudy drgań w płaszczyźnie pionowej szyny podczas eksploatacji toru. Zbyt duże odchyłki od prostości mogą zainicjować drgania prowadzące nie tylko do obniżenia komfortu jazdy, ale także do uszkodzenia pojazdów szynowych i torowiska. Szyny po walcowaniu i chłodzeniu nie spełniają wymagań odnośnie prostości, dlatego wymaganą wartość prostości szyn uzyskuje się poprzez prostowanie przy użyciu prostownic rolkowych. Podczas tej operacji wprowadzane są największe naprężenia własne do gotowego wyrobu.

W większości norm i specyfikacji towarzystw kolejowych [18, 52–55] zawarta jest konieczność pomiaru naprężeń własnych szyny oraz ustalony jest ich maksymalny dopuszczalny poziom nie tylko w jednym punkcie, ale niejednokrotnie także w ściśle określonych miejscach na obwodzie szyny. Zgodnie z normą europejską EN13674-1 [18] pomiar naprężeń wykonywany jest w osi stopki szyny, a maksymalna dopuszczalna ich wartość nie może przekroczyć 250 MPa dla wszystkich produkowanych typów szyn i gatunków stali szynowej. Wysokie wymagania stawiane przez towarzystwa kolejowe odnośnie naprężeń w szynach wynikają z faktu nakładania się naprężeń własnych z quasi-statycznymi naprężeniami termicznymi i naprężeniami dynamicznymi pochodzącymi z eksploatacji, co w rezultacie może prowadzić do powstawania pęknięć zaczynających się od pojedynczych powierzchniowych nieciągłości materiału albo podpowierzchniowych pęknięć zlokalizowanych w główce lub stopce szyny. W gotowej szynie po procesie walcowania, chłodzenia i prostowania, ustala się następujący charakterystyczny rozkład naprężeń normalnych: w główce występują naprężenia rozciągające, które następnie zmieniają swój charakter przechodząc w ściskające, osiągając największą wartość w osi obojętnej szyjki i ponownie zmieniają się w naprężenia rozciągające w stopce. W główce szyny w wyniku zgniotu warstwy powierzchniowej, po pewnym okresie eksploatacji naprężenia rozciągające zmieniają swój znak i przechodzą w naprężenia ściskające, ale tylko do głębokości około 7–10 mm, w pozo-

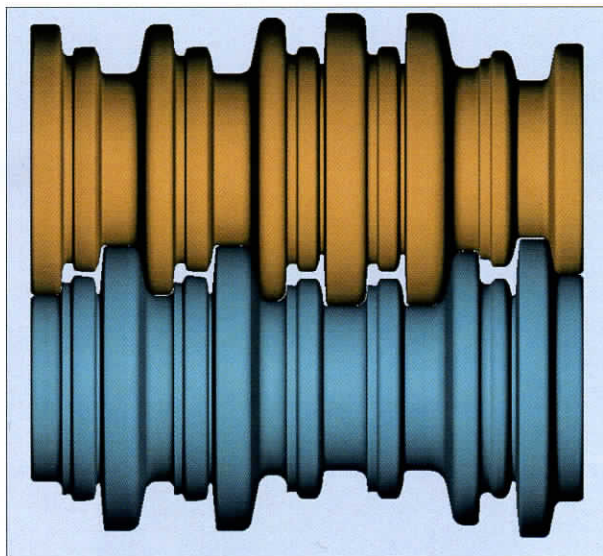
stałej części główki występują naprężenia rozciągające, natomiast w stopce szyny pozostaje niezmienny stan naprężeń w całym okresie jej eksploatacji. Obniżając poziom naprężeń własnych w stopce szyny wpływamy jednocześnie na podwyższenie krytycznej głębokości pęknięcia mającego swój początek w tym obszarze. Ponadto zmniejszony poziom naprężeń własnych skutkuje obniżeniem średniej wielkości naprężeń eksploatacyjnych, co w rezultacie spowalnia rozwój pęknięcia. W główce szyny dodatkowo mogą rozwijać się wady kontaktowo-zmęczeniowe typu shelling, head checking, squat i inne, które często prowadzą do powstania przełomu szyny. Dla przeciwdziałania rozwojowi tych wad pożądanym jest możliwie jak najniższy stan naprężeń rozciągających w główce szyny. Jeżeli naprężenia rozciągające osiągną krytyczną wartość współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} (określającego odporność na kruche pękanie) pęknięcie rozwija się w sposób niekontrolowany, doprowadzając do przełomu szyny.

Poziom naprężeń własnych przekłada się na trwałość i niezawodność eksploatacyjną szyn, które stanowią najdroższy składnik szlaków kolejowych, a co za tym idzie wpływa na efekty ekonomiczne towarzystw kolejowych, ale przede wszystkim w sposób bezpośredni oddziałuje na bezpieczeństwo ruchu kolejowego.

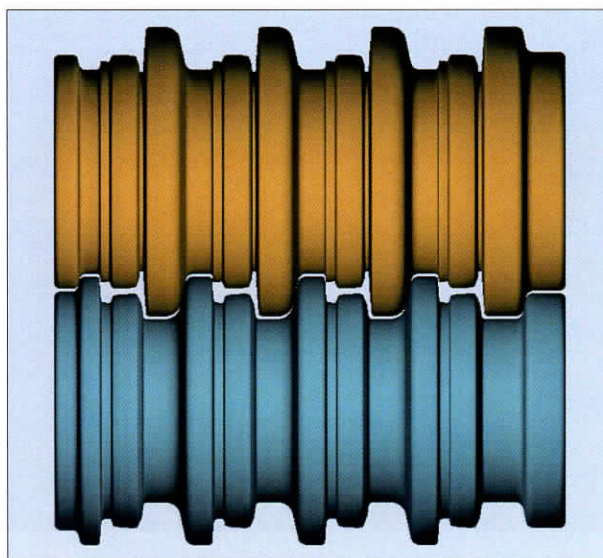
W niniejszej monografii podjęto próbę określenia związku między kształtowaniem stopki szyny w procesach walcowania i prostowania a stanem naprężeń. Poznanie tej zależności pozwoliło na opracowanie takiego kalibrowania walców i rolek prostownicy, które zapewnia obniżenie poziomu naprężeń własnych w stopce szyny do poziomu poniżej 145 MPa. Osiągnięcie tak niskiej wartości naprężeń własnych w gotowej szynie wymaga zmiany powodującej obniżenie naprężeń stykowych rolka – pasmo, przez zmniejszenie wielkości powierzchni kontaktu rolki z prostowanym pasmem w obszarze pomiaru naprężeń.

Proces produkcji szyn kolejowych w jednej z polskich walcowni dużych rozpoczyna się od wygrzania w piecu pokrocznym kęsisk, które następnie poddawane są operacji walcowania. Zespół walcowniczy składa się z klatki wstępnej, dwóch klatek pośrednich typu duo-nawrotne, klatki przedgotowej i z klatki wykańczającej. Graficzną ilustracją wykrojów walców powyższych klatek walcowniczych zawarto na rysunkach 1.1–1.3. Dwie ostatnie klatki pracują w układzie synchronicznym z uwagi na maksymalną długość pasma szynowego wynoszącego około 128 m, które po obcięciu nadadatków technologicznych ma zapewnić długość gotowej szyny wynoszącą 120 m. Odwalcowane szyny transportowane są na chłodnię, gdzie poddawane są wstępnym przegięciom dla kompensacji naprężeń termicznych wynikających z nierównomiernego stygnięcia główki, szyjki i stopki szyny. Szyny o temperaturze maksymalnie 50 °C są następnie prostowane w zespole prostownic pionowej i poziomej. Schematyczna ilustracja procesu prostowania szyn została przed-

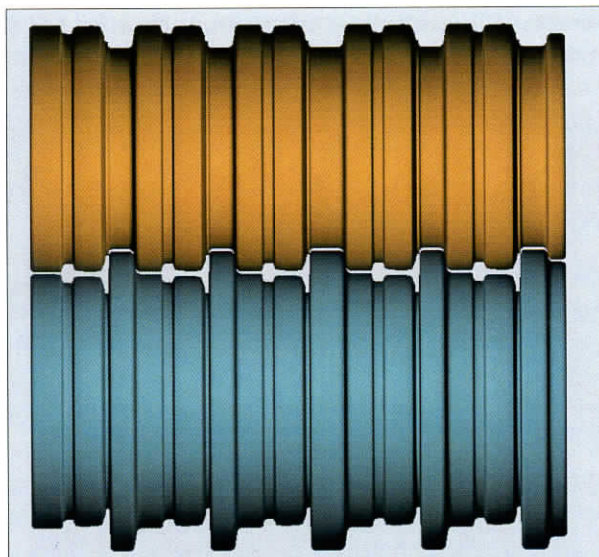
stawiona na rysunku 1.4, natomiast na rysunkach 1.5 i 1.6 zaprezentowano usytuowanie szyny w rolkach prostujących prostownicy pionowej i poziomej.



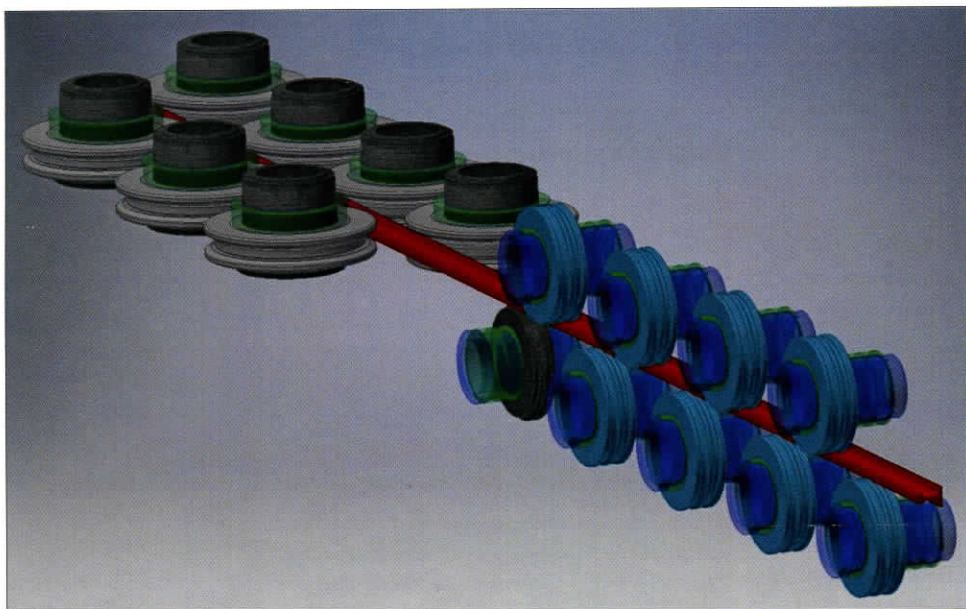
Rys. 1.1. Złożenie walców klatki pośredniej, ilustracja własna



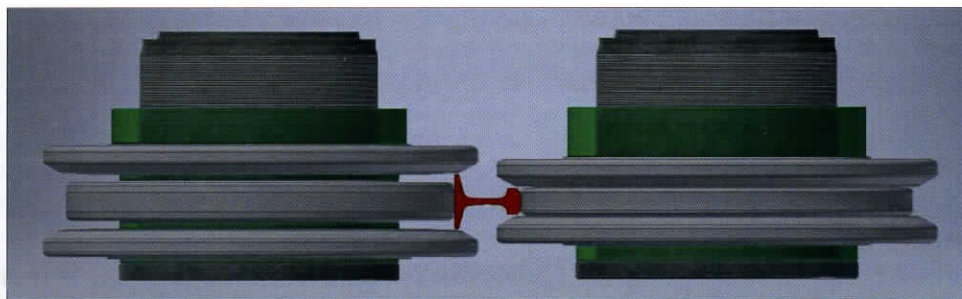
Rys. 1.2. Złożenie walców klatki przedgotowej, ilustracja własna



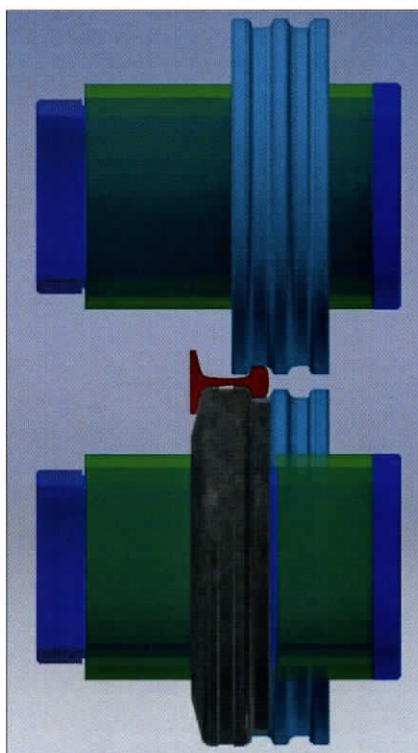
Rys. 1.3. Złożenie walców klatki wykańczającej, ilustracja własna



Rys. 1.4. Schemat prostowania szyn kolejowych – układ prostownic, pierwsza pionowa 7-rolkowa, druga pozioma 9-rolkowa, ilustracja własna



Rys. 1.5. Prostowanie szyn kolejowych – prostownica pionowa, ilustracja własna



Rys. 1.6. Prostowanie szyn kolejowych – prostownica pozioma, ilustracja własna

9.7. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone symulacje numeryczne, eksperymenty w warunkach przemysłowych w zespole walcowniczym i w zespole prostownic oraz badania laboratoryjne przyczyniły się do rozszerzenia wiedzy w zakresie wpływu kształtu narzędzi, jakimi są walce i rolki prostownic, na stan naprężeń własnych w szynach. We wszystkich przeprowadzonych eksperymentach osiągnięto obniżenie poziomu naprężeń własnych w stopce szyny w stosunku do wartości odniesienia zapewniając jednocześnie ich wielkość znacznie poniżej wymaganej normą EN13674-1 [18] maksymalnej wartości 250 MPa. Jednak ze względu na problemy z uzyskaniem właściwych cech geometrycznych stopki szyny oraz nadmiernym wzrostem naprężeń rozciągających w główce szyny pewne warianty prostowania nie mogły zostać uznane za pozytywne. Ocena efektów każdego eksperymentu walcowania i prostowania winna obejmować analizę wartości wprowadzanych naprężeń po prostowaniu, ich rozkładu na przekroju poprzecznym szyny, naprężenia uśrednionego oraz parametrów tolerancji przekroju poprzecznego i prostości w odniesieniu do zapisów normy jako wymagań nadrzędnych. Na podstawie wykonanych eksperymentów walcowania i prostowania szyn w warunkach przemysłowych w walcowni du-

żej ArcelorMittal Poland S.A. oraz badań naprężeń własnych uznano, iż najbardziej korzystne ze względu na poziom i rozkład wprowadzanych naprężeń własnych w szynie podczas prostowania oraz poprawność geometryczną wyrobu jest zastosowanie rolki kształtowej o mniejszej wklęsłości na wale R5 prostownicy pionowej oraz użycie rolek z małym kołnierzem i rolek bez kołnierza w prostownicy poziomej, czyli zastosowanie takiego układu jak w wariancie 2. eksperymentu numer 3. Taki układ rolek prostownicy pionowej i poziomej zapewnił obniżenie naprężeń własnych w stopce szyny do średniego poziomu 112 MPa, przy jednoczesnym obniżeniu naprężeń własnych w główce szyny, a więc pozwolił na znaczną optymalizację rozkładu naprężeń. Obliczone wartości naprężeń uśrednionych w tym wariancie prostowania były najniższe ze wszystkich eksperymentów prostowania i niższe od pomiarów odniesienia aż o 31 %. Przyjęty wariant prostowania umożliwił ponad dwukrotne obniżenie poziomu naprężeń własnych w stopce szyny w stosunku do wymagań normy EN13674-1 [18]. Uzyskanie tak niskiego poziomu naprężeń własnych i korzystnego ich rozkładu na przekroju poprzecznym, wyrażonego za pomocą naprężeń uśrednionych w szynie będzie miało bezpośrednie przełożenie na właściwości eksploatacyjne szyn w torze poprzez podwyższenie krytycznych głębokości pęknięć rozpoczynających się od stopki, a co za tym idzie wpłynie na zwiększenie bezpieczeństwa w ruchu kolejowym. Mniejsze naprężenia własne w szynie powodują, iż obniża się również średni poziom naprężeń eksploatacyjnych, co spowalnia rozwój pęknięcia.

Szereg przeprowadzonych eksperymentów w warunkach przemysłowych przyczynił się do poszerzenia wiedzy odnośnie do możliwości kształtowania poziomu naprężeń własnych w szynach za pomocą zmian kalibrowania walców i zmian kalibrowania rolek prostujących na finalny poziom naprężeń własnych w wyrobie. Wykonane prace badawcze doprowadziły także do osiągnięcia założonego celu polegającego na opracowaniu nowego sposobu kalibrowania walców i rolek prostujących prostownic zapewniającego zmniejszenie naprężeń własnych w środku stopki szyny do maksymalnej wartości 145 MPa oraz implementacji tej technologii do praktyki przemysłowej.

Wyniki uzyskane w badaniach opisanych w niniejszej pracy prowadzą do wniosku, iż zastosowanie innowacyjnych rolek kształtowych prostownicy pionowej powoduje mniejsze oddziaływanie rolki w miejscu pomiaru naprężeń własnych w stopce szyny, jednocześnie zwiększenie ich powierzchni roboczej w stosunku do tradycyjnych rolek skutkuje rozłożeniem działających podczas prostowania sił na większą powierzchnię i tym samym zmniejszeniem naprężenia jednostkowego. Interesujące spostrzeżenia, a zarazem wyjaśnienie mechanizmu oddziaływania rolek kształtowych na poziom naprężeń własnych, przyniosły badania metodą wiercenia otworów. Przeprowadzone badania rozkładu naprężeń własnych w stopce szyn metodą wiercenia otworów w pierwszym, trzecim, czwartym i siódmym eksperymencie prostowania ujawniły, iż w niewielkim obszarze w pobliżu osi szyny występują naprężenia ściskające

$\sigma_x = -47$ MPa lub niewielkie rozciągające naprężenia własne o maksymalnej wartości $\sigma_x = 13$ MPa w kierunku równoległym do osi szyny, poziom tych naprężeń jest znacznie niższy od uwolnionych naprężeń zmierzonych z całej objętości stopki w próbie wycinania plastra szyny wg normy EN13674-1 [18]. Dowodzi to, że zmiana kształtu rolek oraz kształtu szyny w procesie walcowania ma wpływ na poziom i rodzaj naprężeń własnych oraz ich rozkład w warstwie podpowierzchniowej po procesie prostowania. Taka modyfikacja stanu naprężeń w stopce szyny prowadzi w konsekwencji do obniżenia wzdłużnych naprężeń rozciągających w całej objętości stopki. Szczególnie było to widoczne w eksperymencie 7., w którym szyny były prostowane przy użyciu rolek kształtowych. W osi symetrii stopki szyny zanotowano nieznaczne naprężenia rozciągające $\sigma_x = 13$ MPa, a w odległości 14 mm od osi szyny ich poziom wzrósł kilkanaście razy do wartości $\sigma_x = 167$ MPa.

Istnieje pewien potencjał do dalszego obniżenia naprężeń w stopce szyny oraz ich optymalizacji w główce szyny na przykład w wyniku następnych modyfikacji kalibrowania w klatce przedgotowej i pośredniej w celu uzyskania odpowiedniego kształtu stopki szyny po procesie walcowania i zastosowania płaskich rolek stopkowych na prostownicy pionowej, co uprościłoby proces technologiczny prostowania szyn. Większe możliwości obniżenia naprężeń własnych w szynach przyniosłoby zastosowanie prostownicy pionowej 9-rolkowej, charakteryzującej się podwyższonymi odległościami między wałami oraz zwiększoną średnicą rolek prostujących, co w połączeniu z większą ilością trójkątów przeginających doprowadzi do lepszej optymalizacji procesu prostowania skutkującego wprowadzaniem mniejszych sił koniecznych do przegięcia pasma szynowego. Można założyć, iż w rezultacie powyższych zmian możliwe będzie znaczące obniżenie naprężeń własnych nie tylko w stopce szyny, ale również w jej główce, jak i szyjce. Kolejnym obszarem, w którym można upatrywać istotnego potencjału do redukcji naprężeń własnych jest zastosowanie kilku rolek kształtowych stopkowych w układzie posobnym prostownicy pionowej. Pierwsze eksperymenty opisane w niniejszej monografii przyniosły największe obniżenie tych naprężeń, nawet do poziomu kilkunastu MPa. Jednak ze względu na towarzyszące tym eksperymentom drobne deformacje dolnej powierzchni stopki szyny rozwiązania te nie zostały uznane za pozytywne. Można przyjąć jako prawdopodobne założenie, iż możliwe byłoby uzyskanie poprawnej powierzchni stopki przy użyciu kilku rolek kształtowych, ale o jeszcze bardziej zmodyfikowanej powierzchni kontaktu ze stopką szyny, tak aby uzyskać mniejsze oddziaływanie tych rolek w zakresie odkształceń plastycznych nie wywołujących deformacji stopki przy zachowaniu ich sumarycznego wpływu na obniżenie naprężeń własnych w szynie po jej prostowaniu.

Uzyskane rezultaty pracy i zidentyfikowane zależności pozwalają na przewidywanie poziomu wprowadzanych naprężeń własnych w poszczególnych obszarach szyny na przekroju poprzecznym w zależności od parametrów tech-

nologicznych, w szczególności takich jak kalibrowanie rolek prostownic i kalibrowanie wykrojów walców. Zaproponowany sposób obliczenia naprężenia uśrednionego można z powodzeniem przyjąć jako wskaźnik skuteczności obniżenia naprężeń własnych w szynach i stosować jako kryterium parametrycznej oceny wpływu zmian technologicznych na uzyskiwany poziom naprężeń.

Większość prac opisanych w niniejszej monografii była wykonana w ramach projektu Innostal pt.: „Innowacyjne i bezpieczne szyny kolejowe z niskim poziomem naprężeń własnych w stopie szyny” – POIR.01.02.00-00-0167/16 dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

NAPRĘŻENIA WŁASNE W SZYNACH KOLEJOWYCH

STRESZCZENIE

Koncepcja prac przedstawionych w niniejszej monografii 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 monografii 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 monografii 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: pośredniej Z2, przedgotowej D1 i wykańczającej 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 wykrojów klatek wykańczającej, przedgotowej i pośredniej 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 jej szyjce i główce oraz w wybranych 16 miejscach na jej obwodzie. Analizowano również wpływ poszczególnych eksperymentów na uzyskaną prostość w płaszczyźnie pionowej i poziomej oraz poprawność geometryczną gotowego wyrobu. Opracowano metodę obliczania naprężenia uśrednionego jako wskaźnika skuteczności obniżenia naprężeń własnych w szynach. W podsumowaniu zwięźle przedstawiono najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań w ramach eksperymentów przemysłowych i wskazano na najbardziej optymalne warianty pod kątem wdrożenia do praktyki przemysłowej.

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



Dr inż. Sylwester Żak pełni funkcję kierownika wsparcia w Zespole Ekspertów Dyrektora Zarządzającego Oddziału Wyrobów Długich w ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Dąbrowie Górniczej. Posiada 28-letnie doświadczenie zawodowe związane z technologią produkcji szyn kolejowych i tramwajowych, opiniowaniem zamówień, przygotowaniem dokumentacji technicznej, udziałem w komisjach reklamacyjnych oraz pracami nad rozwojem i doskonaleniem produktu. W trakcie swojej działalności zawodowej uczestniczył w pracach wdrożeniowych realizowanych w Arcelor-Mittal Poland S.A. (dawna Huta Katowice) obejmujących opracowanie nowych gatunków stali szynowej o wysokiej twardości, wdrożenie do produkcji nowych typów szyn kolejowych i tramwajowych oraz uruchomienie produkcji szyn kolejowych o długości 120 metrów. Był kierownikiem i członkiem zespołów kilku własnych projektów badawczo-wdrożeniowych huty oraz kierownikiem zespołów badawczo-rozwojowych projektów współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Jest autorem lub współautorem blisko 20 publikacji naukowych w recenzowanych czasopismach, monografi, 2 patentów oraz kilku wdrożeń przemysłowych. Dr inż. Sylwester Żak jest specjalistą z zakresu inżynierii materiałowej, ukończył studia na kierunku inżynieria materiałowa Politechniki Śląskiej w Katowicach, następnie kontynuował naukę na studiach podyplomowych z zakresu przeróbki plastycznej na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Uzyskał stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa na Politechnice Śląskiej w Katowicach. Tematem jego pracy doktorskiej były badania nad wpływem kalibrowania wykrojów walców i rolek prostownic na stan naprężeń własnych w szynach kolejowych.



Dr hab. inż. Dariusz Woźniak jest Liderem Obszaru pełniącym funkcję Lidera Grupy Badawczej Technologię Wytwarzania i Zastosowania Wyrobów, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica. Jego dorobek zawodowy jest wynikiem ponad 30-letniej pracy naukowo-badawczej w dyscyplinie inżynieria materiałowa w specjalności przeróbka plastyczna. Kierunki działalności naukowo-badawczej i inżynieryjno-technicznej obejmują badania technologii procesów walcowania wyrobów długich i płaskich, kalibrowanie wykrojów i walców, teorię walcowania, symulacje fizyczne procesów walcowania. W trakcie pracy zawodowej dr hab. inż. Dariusz Woźniak odbył szkolenie seminaryjne w Wirtschaftsvereinigung Stahl w Niemczech, gdzie zapoznał się z nowoczesnymi technologiami hutniczymi, problematyką badawczą w Max-Planck-Institut für Eisenforschung w Düsseldorfie i ze strukturą oraz działaniem niemieckiego przemysłu stalowego. Doświadczenie we współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym zdobył kierując projektami badawczo-rozwojowymi, ukierunkowanymi na praktyczne zastosowania oraz w trakcie ich realizacji. Opracowane i wdrożone do praktyki przemysłowej rozwiązania technologiczne, prace koncepcyjne i eksperckie dotyczą kalibrowania prętów, szyn i kształtowników – w tym specjalnych, projektów osprzętu walcowniczego, gospodarki walcami i osprzętem walcowniczym oraz technologii walcowania i prostowania wyrobów. Wynikiem pracy naukowo-badawczej jest dorobek obejmujący łącznie ponad 200 wykonanych prac badawczych i ekspertyz, z czego 46 wdrożonych w przemysł, 5 patentów, 2 monografie i ponad 100 publikacji w recenzowanych czasopismach zagranicznych i krajowych. Jest promotorem 4 prac doktorskich.