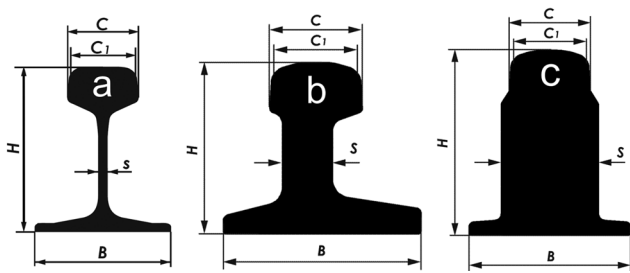


Krzysztof Aniołek, Jerzy Herian

Obciążenie i zużycie rozjazdów kolejowych w warunkach eksploatacyjnych oraz materiały stosowane do ich budowy

Kształtowniki szynowe, klockowe i iglicowe (rys. 1) stosowane w budowie rozjazdów i dróg kolejowych muszą posiadać wysokie właściwości mechaniczne, odpowiednią odporność na zużycie ścierne i zmęczeniu. Materiały o takich charakterystykach zapewniają dłuższy okres użytkowania oraz większe bezpieczeństwo transportu szynowego [1–3]. Zatem problem trwałości szyn i rozjazdów kolejowych w dalszym ciągu pozostaje otwarty na badania technologiczne, związki strukturalne i charakterystyki mechaniczne. Tematyka ta jest również ważna ze względu na przyjętą w kraju strategię rozwoju kolei dużych prędkości.

Zasadnicze wymiary kształtowników, z których budowane są tory i rozjazdy kolejowe przedstawiono w tabeli 1. Muszą one spełniać wysokie kryteria pod względem wymagań w zakresie właściwości materiału, kształtu i ciągłości materiału w całej objętości. Trwałość kształtowników szynowych jest zależna od wielu czynników mających bezpośredni wpływ na procesy degradacji elementów infrastruktury kolejowej.



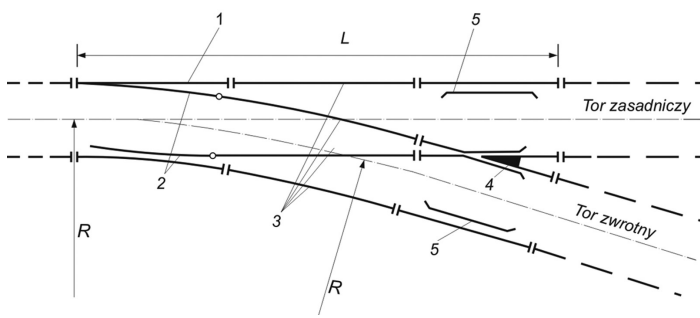
Rys. 1. Kształtowniki
a – szynowy, b- iglicowy, c - klockowy

Tabela 1

Podstawowe typy kształtowników szynowych i wymiary geometryczne

Typ kształtownika	Oznaczenie	Wymiary [mm]					Masa 1 m [kg]
		H	C	C1	B	s	
Szynowy	49E1	149	–	67,00	125	14,0	49,39
	60E1	172	–	72,00	150	16,5	60,21
Iglicowy	I49	116	70,2	66,84	145	40,0	62,00
	I60	139	72,0	70,60	160	40,0	76,00
Klockowy	KL49	149	70,0	66,84	125	85,0	96,20
	KL60	172	74,3	72,00	150	90,0	120,47

Infrastruktura kolejowego systemu transportowego, na którą składają się w głównej mierze tory i rozjazdy kolejowe, pełni zasadniczą rolę w sprawnym i bezpiecznym przemieszczaniu się pociągów. Złożoną i odpowiedzialną konstrukcją dróg kolejowych są rozjazdy. Łączą one sąsiednie tory oraz umożliwiają pojazdom szynowym zmianę kierunku jazdy. Podstawowym typem jest rozjazd zwyczajny składający się ze zwrotnicy (1, 2), szyn łączących (3), krzyżownicy (4), podrozjazdnic oraz urządzeń nastawczych (rys. 2). Newralgicznym elementem każdego rozjazdu jest krzyżownica (4) umożliwiająca toczenie się kół pojazdów szynowych przez miejsce krzyżowania się szyn. Krzyżownice ze względu na trudne warunki eksploatacyjne charakteryzujące się wysokimi obciążeniami dynamicznymi pochodzącymi od kół pojazdów szynowych, narażone są w sposób szczególny na destrukcyjny charakter obciążeń uderowych. W budowie kolejowych rozjazdów zwyczajnych i krzyżowych znajdują szerokie zastosowanie kształtowniki klockowe KL49 i KL60 wytwarzane metodą walcowania na gorąco (rys. 1c).



Rys. 2. Rozjazd zwyczajny
1 – opornice, 2 – iglice, 3 – szyny łączące, 4 – krzyżownica, 5 – kierownica

Rozjazdy kolejowe są szczególnie narażone na zużycie ścierne, zmęczeniowe i zmiany kształtu w wyniku oddziaływania dużych obciążeń dynamicznych o cyklicznym charakterze, które występują podczas przejazdu pojazdów szynowych. Proces mechanicznej destrukcji warstwy wierzchniej prowadzi do niepożądanego zmiany wymiarów i kształtu kontaktujących się powierzchni tocznych elementów rozjazdu i koła kolejowego. Postępująca degradacja rozjazdów, a w szczególności krzyżownic przyczynia się do dalszego wzrostu oddziaływań dynamicznych, co ma niekorzystny wpływ na współpracę układu koło–szyna [1, 4–6].

Zużycie rozjazdów w warunkach eksploatacyjnych

Trwałość rozjazdów kolejowych zależy od właściwości użytkowych materiału, konstrukcji rozjazdu oraz warunków eksploatacyjnych. Kompleksowa analiza zagadnień związanych z szeroko pojętą trwałością wymaga określenia intensywności zużycia rozjazdów w warunkach eksploatacyjnych. W tym celu wykonano pomiary zużycia czterech rozjazdów (2 zwyczajne i 2 krzyżowe), zlokalizowanych na trasie Katowice – Wisła, w których zabudowane były kształtowniki klockowe KL60. Na badanym odcinku wykonywane są przewozy towarowe i pasażerskie. Do pomiarów zarysu przekroju poprzecznego dzioba krzyżownicy wykorzystano profilomierz laserowy X-Y firmy GRAW (rys. 3). Badania wykonywano w okresie 2,5 roku.

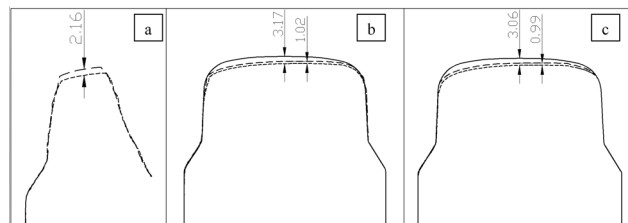


Rys. 3. Profilomierz laserowy X-Y

Pomiary zużycia krzyżownic polegały na porównaniu profilu zmierzonego z profilem wzorcowym kształtownika klockowego KL60. Linia ciągłą oznaczono profil wzorcowy, drobną linią przerywaną profil otrzymany podczas pierwszego badania, natomiast linia przerywana przedstawia profil zmierzony podczas ostatniego badania. W artykule zamieszczono tylko wyniki pierwszego i ostatniego cyklu pomiarowego ze względu na stosunkowo niewielki przyrost zużycia między kolejnymi pomiarami. Badania wykonywano w trzech płaszczyznach pomiarowych, oddalonych około 10 cm, 60 cm i 110 cm od początku dzioba krzyżownicy. Przyrząd pomiarowy bazowano w rozjeździe podczas cyklu pomiarowego, z wykorzystaniem specjalnej belki, jako bazy (rys. 3). Po ustawieniu przyrządu w wymaganym położeniu, operator prowadził kulistą końcówkę pomiarową wzdłuż kontrolowanej powierzchni, a trajektorię zapisywano w pamięci elektronicznej urządzenia.

Wykonane pomiary zużycia kształtowników klockowych w warunkach eksploatacyjnych, zabudowanych w krzyżownicach rozjazdów wykazały nierównomierność zużycia profilu powierzchni tocznej na długości dzioba krzyżownicy (rys. 4) oraz jego spłaszczenie plastyczne. Największe zużycie występuje na dziobie krzy-

żownicy w miejscu występowania największego obciążenia i zmniejsza się ono wraz ze zwiększaniem się odległości od dzioba. Zużycie o takim charakterze jest spowodowane chwilowym zwiększeniem obciążenia dynamicznego działającego na małej powierzchni tocznej dzioba. Powoduje to intensywne jego zużycie i spłaszczenie plastyczne wskutek uderzeń od kół pojazdu szynowego.



Rys. 4. Zużycie pionowe na przekroju poprzecznym kształtownika KL60 w odległości od dzioba krzyżownicy: a – 10 cm, b – 60 cm, c – 110 cm

Modelowanie obciążenia rozjazdu kolejowego

Określenie charakterystyki obciążenia w funkcji czasu i drogi, pochodzącego od zestawów kołowych pojazdów szynowych, działającego wzdłuż rozjazdu jest niezbędne do precyzyjnego określenia trwałości poszczególnych elementów rozjazdu kolejowego. Popularną metodą umożliwiającą wyznaczenie sił działających na konstrukcje rozjazdów jest metoda polegająca na pomiarze przyspieszeń drgań. W praktyce metoda ta naraża jednak pewne problemy techniczne. Metodą pozwalającą wyznaczyć rozkład sił wzdłuż rozjazdu jest metoda modelowania dynamiki systemu pojazd szynowy–tor przy wykorzystaniu oprogramowania komputerowego. W modelowaniu dynamiki układu koło–szyna najczęściej stosowanymi programami są VI Grade Adams/Rail oraz Universal Mechanism. Większe możliwości w zakresie modelowania zjawisk dynamicznych zapewnia program Universal Mechanism [7].

Do analizy obciążeń dynamicznych wytypowano rozjazd zwyczajny prawy. Parametry konstrukcyjne rozjazdu wynosiły: promień toru zwrotnego $R = 300$ m, a skos 1:9. Model rozjazdu zbudowano na podstawie wyników pomiarów profilu przekroju poprzecznego, występującego na długości zwrotnicy, szyn łączących i krzyżownicy rozjazdu. Do pomiarów użyto profilomierza laserowego X-Y firmy Graw. Punkty pomiarowe zarysów profili poprzecznych dobrano w taki sposób, aby odzwierciedlić ich zmianę, jaka występowała w rzeczywistym rozjeździe zwyczajnym. Na długości zwrotnicy i krzyżownicy punkty pomiarowe zagęszczono ze względu na znaczne zmiany profilu występujące na małej długości. W kolejnym etapie uzyskane zarysy przekroju poprzecznego przekonwertowano do postaci wymaganej w programie Universal Mechanism. Następnie ustawiono przekroje w odpowiedniej kolejności, ustalając odległość między profilami zgodną z wykonanymi pomiarami w badanym rozjeździe rzeczywistym. Przyjęta długość badanego odcinka toru prostego wraz z rozjazdem zwyczajnym wynosiła 200 m. Zwrotnica rozjazdu miała swój początek przed setnym metrem, a krzyżownica – na 125 m. Przed i za rozjazdem założono odcinek prosty toru z szynami typu 60E1.

W modelowaniu wykorzystano zbudowany model rozjazdu i lokomotywy spalinowej SM42. Otrzymane modele poddano analizie dynamicznej. Symulację dla toru zasadniczego rozjazdu zwyczajnego przeprowadzono dla prędkości pojazdu szynowego

od 20 do 80 km/h. Wyniki symulacji dla prędkości 20 i 60 km/h przedstawiono na rysunku 5.

Przed rozjazdem (na odcinku prostym) siła pionowa F_z wynikająca z masy lokomotywy spalinowej SM42 była stała i wynosiła ok. 92,5 kN. Pierwsze oddziaływania dynamiczne występują w momencie wjazdu zestawu kołowego na zwrotnicę. Podczas przenoszenia obciążenia z opornicy na iglicę (prawy tok szynowy) zaobserwowano niewielkie zmniejszenie siły pionowej, a następnie jej zwiększenie, po czym amplituda stabilizuje się, aż do najazdu koła na krzyżownicę.

Największe obciążenia dynamiczne występują w momencie wjazdu zestawu kołowego na krzyżownicę. W pierwszym etapie zaobserwowano zmniejszenie wartości siły pionowej F_z , co następuje w momencie zaniku obciążenia na szynie skrzydłowej krzyżownicy. W drugim etapie dochodzi do uderzenia koła

w dziób krzyżownicy, co jest widoczne w postaci wysokiego pikę na wykresach zmiany siły pionowej i poprzecznej w funkcji drogi (rys. 5). Po przejeździe zestawu kołowego przez dziób krzyżownicy obciążenie dynamiczne maleje, po czym następuje zmniejszenie amplitudy siły pionowej i jej stopniowa stabilizacja. Oddziaływania dynamiczne powstałe podczas przejazdu pojazdu szynowego przez rozjazd zwyczajny ulegają stabilizacji po opuszczeniu rozjazdu, jednak przez kolejne kilkadziesiąt metrów mają negatywny wpływ na współpracę układu koło–szyna.

W torze zasadniczym rozjazdu przy prędkości 20 km/h, wskutek braku ciągłości toru na krzyżownicy, siła pionowa F_z osiąga wartość 119 kN. Ze zwiększeniem prędkości do 60 km/h zwiększa się wartość siły pionowej, osiągając 172 kN. Prędkość pojazdu zasadniczo nie wpływa na wartość siły poprzecznej. Przed rozjazdem była zbliżona do zera, a w momencie uderzenia w dziób wynosi ok. 33–34 kN. Zwiększenie prędkości przejazdu zdecydowanie zmienia charakterystykę obciążenia dynamicznego. Zwiększenie prędkości o 40 km/h skutkuje zwiększeniem obciążenia pionowego o blisko 45%.

Materiały stosowane w budowie torów i rozjazdów kolejowych

Szyny i kształtowniki przeznaczone na rozjazdy kolejowe produkowane są głównie ze stali wysokowęglowych o strukturze perlitycznej. Stale te charakteryzują się wysoką wytrzymałością i twardością, dużą odpornością na ścieranie oraz mniejszą ciągliwością i odpornością na pękanie. Materiały o strukturze perlitycznej dużą odporność na ścieranie zawdzięczają mikrostrukturze, składającej się z płytek twardego cementytu w miękkiej osnowie ferrytowej [1,2].

Europejska Norma Szynowa (PN-EN 13674) wyróżnia siedem perlitycznych gatunków stali, których twardość zmienia się w szerokim zakresie od 200 do 390 HB. Norma ta obejmuje pięć gatunków stali stosowanych na szyny w stanie surowym (po walcowaniu) i dwa gatunki szyn obrobionych cieplnie. Są to stale

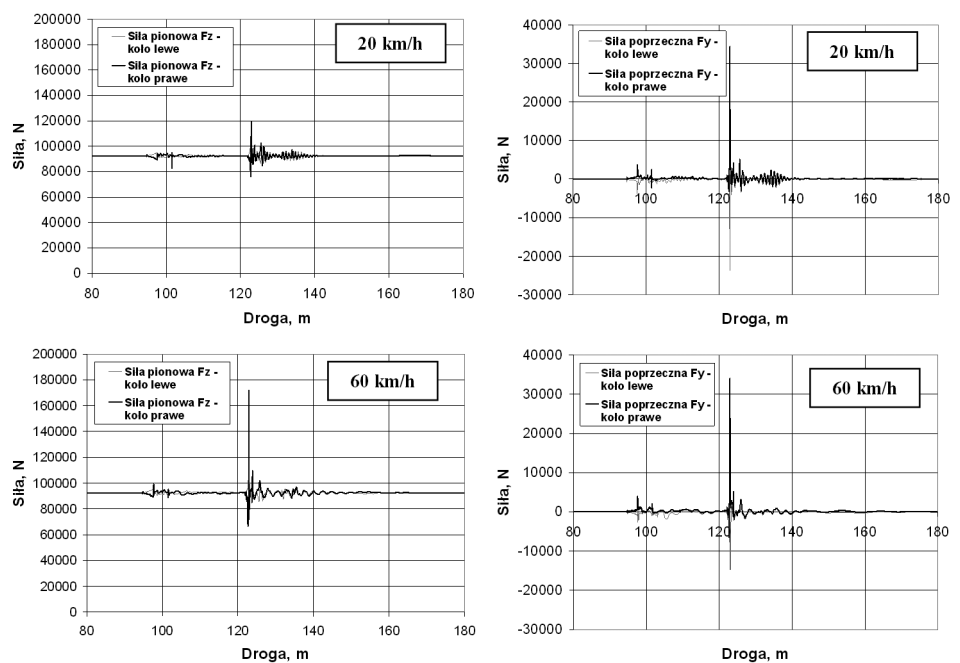
wysokowęglowe: R200, R220 i R260 stosowane w stanie surowym i R350HT – w stanie obrobionym cieplnie. Stale R260Mn, R320Cr stosowane są w stanie surowym i R350LHT – w stanie obrobionym cieplnie. Stal R320Cr ma zwiększoną zawartość chromu i krzemu. Chrom wpływa na opóźnienie przemiany perlitycznej, powodując rozdrobnienie struktury perlitu oraz zwiększenie własności wytrzymałościowych. Krzem, podobnie jak mangan utwardza ferryt, ale wywiera niekorzystny wpływ na ciągliwość, dlatego ogranicza się jego zawartość (maks. do ok. 0,6%). Gatunki R350HT i R350HLT są obrabiane cieplnie, dzięki czemu uzyskują dużą wytrzymałość na rozciąganie, wynoszącą ponad 1175 MPa oraz twardość do 390 HB, zapewniającą dużą odporność na ścieranie. Najpowszechniej wykorzystywanym gatunkiem stali szynowej jest R260, z którego produkuje się nie tylko szyny, ale również kształtowniki iglicowe i klockowe.

Właściwości perlitycznych stali szynowych zależne są głównie od składu chemicznego. Podstawowym pierwiastkiem decydującym o właściwościach stali jest węgiel. Zwiększenie zawartości węgla w stalach perlitycznych wpływa korzystnie na zwiększenie własności wytrzymałościowych i twardości. Mangan z kolei utwardza ferryt i obniża temperaturę przemiany perlitycznej, co sprzyja powstaniu rozdrobnionych kolonii perlitu [1, 2].

O właściwościach stali szynowej decydują ponadto następujące parametry mikrostruktury perlitycznej:

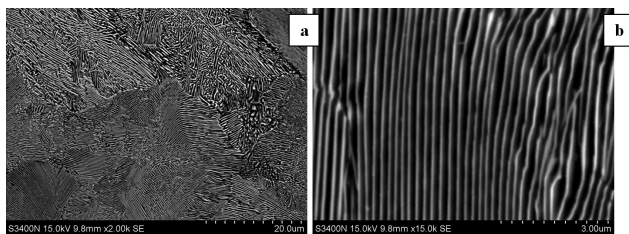
- odległość między płytkami cementytu w perlicie,
- rozmiar kolonii perlitu,
- grubość płytek cementytu,
- rozmiar byłego ziarna austenitu.

Najważniejszym parametrem mikrostruktury perlitycznej jest odległość między płytkami cementytu. Odległość ta w perlicie zależy od zawartości węgla w ziarnie austenitu oraz temperatury i szybkości przemiany eutektoidalnej. Zmniejszeniu odległości międzypłytkowej odpowiada podwyższenie umownej granicy plastyczności $R_{p0,2}$, wytrzymałości na rozciąganie R_m oraz twardości [8]. Typową mikrostrukturę stali stosowanych na kształtowniki



Rys. 5. Wyznaczone rozkłady siły pionowej i poprzecznej dla różnych prędkości przejazdu pojazdu szynowego przez tor zasadniczy rozjazdu zwyczajnego

szynowe w stanie po walcowaniu na gorąco przedstawiono na rysunku 6.

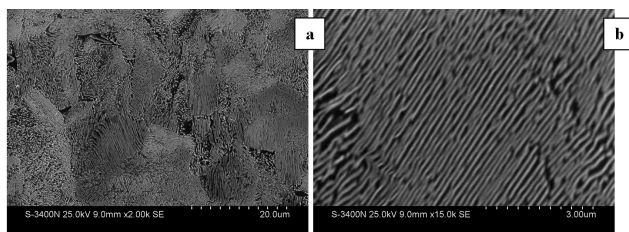


Rys. 6. Mikrostruktura stali R260 w stanie po walcowaniu na gorąco przy powiększeniu 2000 (rys. a) i 15000× (rys. b)

Właściwości plastyczne stali szynowej są ściśle związane z grubością płytek cementytu i wielkością pierwotnego ziarna austenitu. Grubość płytek cementytu przy określonej zawartości węgla jest proporcjonalna do odległości międzyplątkowej. Zatem zmniejszenie odległości międzyplątkowej skutkuje równoczesnym pocienieniem płytek cementytu. Grubość płytek ma istotny wpływ na własności ciągliwe stali perlitycznych. Cienkie płytki mogą być znacznie odkształcone bez pękania, natomiast płytki grube pękają już przy małym odkształceniu. Pocienienie płytek cementytu zwiększa ich podatność do odkształcenia plastycznego, stąd perlit drobnopłytkowy może akumulować większe odkształcenie plastyczne niż perlit o grubych płytkach cementytu. Zmniejszenie grubości płytek cementytu oraz zmniejszenie wielkości ziarna austenitu wpływa korzystnie na poprawę udarności oraz temperatury przejścia w stan kruchy stali eutektoidalnej. Dobrą odporność na kruche pęknięcie stali perlitycznej o podwyższonej wytrzymałości można uzyskać przy chłodzeniu w zakresie temperatur występowania drobnego austenitu, zapewniając tym samym uzyskanie cienkich płytek cementytu.

Jedną z dróg prowadzących do zwiększenia trwałości stali wysokowęglowych o strukturze perlitycznej jest kształtowanie jej morfologii. Morfologię perlitu można w szerokim zakresie regulować parametrami procesów obróbki cieplnej (wyżarzania izotermicznego). Zmieniając rozmiar kolonii perlitu i odległość między płytkami cementytu można regulować właściwości materiału kształtowników szynowych.

Strukturę perlityczną stali R260 o zróżnicowanej morfologii perlitu uzyskano podczas fizycznego modelowania wyżarzania izotermicznego na symulatorze Gleeble w Instytucie Metalurgii Żelaza w Gliwicach. Próbkę nagrzewano do temperatury austenitacji 800°C, następnie wygrzewano je w tej temperaturze w czasie 720 s. Kolejnym etapem było chłodzenie próbek z szybkością 15°C/s do temperatury izotermicznego wytrzymania (620, 570, 550 i 520°C) oraz wytrzymanie izotermiczne w czasie 300 s. W końcowym etapie próbki chłodzono do temperatury otoczenia.



Rys. 7. Mikrostruktura stali R260 po wyżarzaniu izotermicznym w temperaturze 620°C przy powiększeniu 2000 (rys. a) i 15000× (rys. b)

Materiał po wyżarzaniu izotermicznym wykazuje strukturę perlityczną o koloniach drobniejszych w stosunku do kolonii po walcowaniu na gorąco. Mikrostruktury po obróbce cieplnej charakteryzują się mniejszą odległością międzyplątkową i mniejszą grubością płytek cementytu (rys. 7). Przeprowadzona obróbka cieplna korzystnie wpływa na właściwości plastyczne, takie jak wydłużenie względne i przewężenie, wyznaczone w statycznej próbie rozciągania (tab. 2).

Tabela 2

Skład chemiczny i właściwości mechaniczne stali R260

	Właściwości mechaniczne			
	R_m [MPa]	A_5 [%]	Z [%]	HB
R260 (w stanie powalcowaniu na gorąco)	935	13,9	10,9	268
R260 (w stanie po obróbce cieplnej)	1143	14,4	42,8	321

W zależności od przyjętych parametrów obróbki cieplnej materiał miał mikrostrukturę perlityczną o różnej odległości między płytkami cementytu. Stal po gorącym walcowaniu miała średnią odległość międzyplątkową 0,28 mm, a po wyżarzaniu izotermicznym – od 0,12 do 0,17 mm. Obniżenie temperatury wytrzymania izotermicznego powodowało zmniejszenie odległości międzyplątkowej. Najmniejszą średnią odległość między płytkami cementytu, równą 0,12 μm , uzyskano w przypadku materiału wyżarzanego izotermicznie w temperaturze 520°C.

Alternatywne materiały stosowane w torach i rozjazdach kolejowych

W przypadku dużych obciążeń dynamicznych, występujących szczególnie w rozjazdach, wykorzystuje się stal austenityczną z dużą zawartością manganu, wynoszącą do 14%. Stal tego typu ma następujący skład chemiczny:

- 0,75–0,9%C;
- 13–14% Mn;
- 0,2–0,4 Si.

Stal o takim składzie charakteryzuje się wysoką odpornością na zużycie ściernie, związaną z dużą szybkością umocnienia odkształceniowego. Właściwości mechaniczne:

- $R_m = 820\text{--}970$ MPa,
- $R_{p0,2} = 355\text{--}385$ MPa,
- $A = 40\text{--}60\%$.

Duża szybkość umocnienia odkształceniowego skutkuje szybkim zwiększeniem twardości wyjściowej, wynoszącej 180–210HB do 400HB. Przyczyną dużego umocnienia odkształceniowego jest tworzenie się błędów ułożenia w austenicie. Stal ta w temperaturze większej niż ok. 950°C wykazuje stabilną strukturę austenityczną, a po powolnym ochłodzeniu do temperatury pokojowej jest mieszaniną ferrytu i cementytu manganowego. Podczas ochłodzenia stali z wychłodzeniem izotermicznym w temperaturze ok. 600°C z austenitu wydzielają się węgliki i następnie częściowo przebiega przemiana perlityczna. Stal w tym stanie wykazuje dobrą obrabialność. W wyniku przesycania z temperatury ok. 1000°C, z chłodzeniem w wodzie, w temperaturze pokojowej stal uzyskuje strukturę austenityczną [8].

Norma europejska nie przewiduje wytwarzania szyn ze stali o strukturze bainitycznej. Tymczasem wielu światowych producentów (m.in. Association of American Railroads, Nippon Steel, a w Europie Thyssen Stahl, Krupp i British Steel) rozpoczęło wytwarzanie takich szyn. Szyny o strukturze bainitycznej, ze stali niskowęglowych charakteryzują wysokie własności wytrzymałościowe.

we: R_m do 1400 MPa, $R_{p0,2}$ do 900 MPa oraz twardość do 400HB, mają dobrą odporność na pękanie – K_{Ic} do 92 MPa \times m^{1/2}. Przy dobrych właściwościach wykazują jednak zmniejszoną odporność na ścieranie o ok. 15–30% w stosunku do tradycyjnych szyn. Zastosowanie stali o strukturze bainitycznej może przynieść wymierne korzyści eksploatacyjne i finansowe, szczególnie na liniach o bardzo dużym obciążeniu, jednak konieczne są dalsze badania w tym zakresie.

Badania odporności na zużycie ścierne

Modelowanie fizyczne odporności na zużycie przeprowadzono na stanowisku tribologicznym typu Amstler o skojarzeniu rolka–rolka. Badane materiały w postaci pierścieni o średnicy \varnothing 32 mm mocowano na dwóch obracających się w przeciwnych kierunkach wałkach. Wartość poślizgu między próbką a przeciwpróbką regulowano poprzez zmianę średnicy przeciwpróbkki. Obciążenie regulowano za pomocą mechanizmu sprężynowego. Przyjęto trzy wartości poślizgu 0,1; 1 i 5%. Badania tribologiczne w zakresie do 54 000 cykli prowadzono w 18 etapach badawczych. Po każdym etapie demontowano próbkę i przeciwpróbkę w celu wyznaczenia ubytku masy za pomocą wagi laboratoryjnej. Parametry badań odpowiadały rzeczywistym warunkom eksploatacyjnym rozjazdów kolejowych. Badania zużycia ściernego przeprowadzono z zastosowaniem par ciernych, współpracujących w warunkach rzeczywistych. Na materiał próbki wykorzystano stal R260 o zróżnicowanej morfologii perlitu w procesach walcowania na gorąco oraz izotermicznego wyżarzania. Jako przeciwpróbkę wykorzystano stal P60 stosowaną powszechnie na obręcze kół kolejowych, zwiększając tym samym wiarygodność wyników zużycia stali w gat. R260. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

Odporność na zużycie ścierne dla stali w gat. R260 po gorącym walcowaniu i wyżarzaniu izotermicznym jest funkcją cech mikrostruktury oraz właściwości stali i warunków eksploatacyjnych (rys. 8, 9). Wielkość zużycia jest ściśle zależna od morfologii perlitu, która ma decydujący wpływ na właściwości stali (rys. 8).

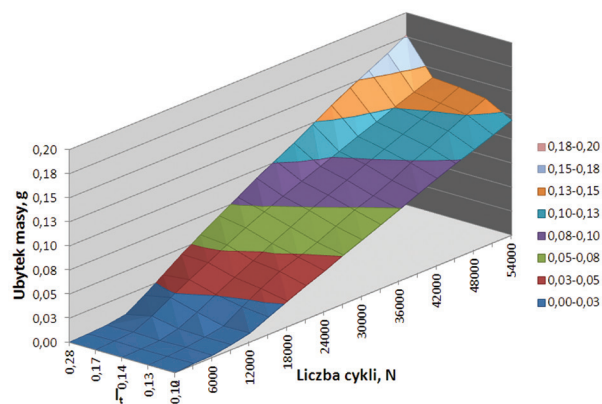
W zakresie od 8000 do 12 000 cykli zaobserwowano brak zużycia ściernego. Powyżej 12 000 cykli zużycie przyjmuje charakter zbliżony do liniowego (rys. 8 i 9). Największe zużycie zaobserwowano dla stali po walcowaniu na gorąco (odległość między płytkami cementytu 0,28 mm). Struktury po wyżarzaniu izotermicznym wykazały większą odporność na zużycie ścierne. Im mniejsza odległość między płytkami cementytu, tym większa odporność na zużycie ścierne (rys. 8).

Przy porównywalnych warunkach obciążenia i liczbie cykli zwiększenie poślizgu z w sposób znaczący intensyfikuje proces zużycia (rys. 9). Jedną z podstawowych przyczyn tego zjawiska jest podwyższenie współczynnika tarcia między próbką i przeciwpróbką, co prowadzi do zwiększenia siły tarcia i tym samym zwiększenia naprężeń ścinających.

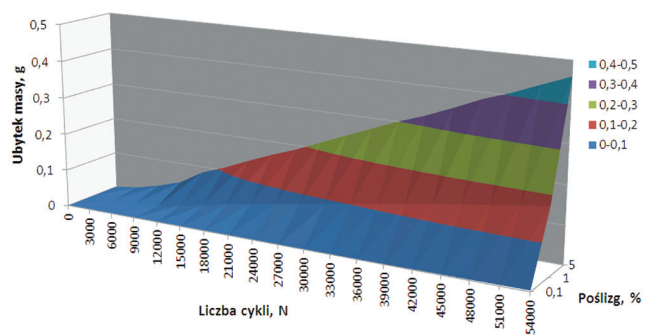
Zatem, zastosowanie na elementy rozjazdu kształtowników klockowych ze stali o strukturze perlitycznej i małej odległości między płytkowej zwiększy zdecydowanie odporność na zużycie ścierne i tym samym wydłuży ich okres eksploatacyjny.

Podsumowanie

Rosnące wymagania w zakresie bezpieczeństwa ruchu kolejowego oraz tendencja do zwiększania parametrów eksploatacyjnych kolei (prędkości, nacisków) stawiają coraz to wyższe wymagania



Rys. 8. Przebieg zużycia ściernego stali R260 o różnej odległości między płytkami cementytu l , w zależności od liczby cykli dla poślizgu $\gamma = 1\%$ i nacisku 663 MPa



Rys. 9. Przebieg zużycia ściernego stali R260 w zależności od liczby cykli dla różnego poślizgu i nacisku 663 MPa

materiałom stosowanym na konstrukcje torów i rozjazdów kolejowych. Od nowoczesnych materiałów stosowanych w kolejnictwie wymaga się przede wszystkim zwiększonej odporności na zużycie ścierne oraz korzystniejszych właściwości mechanicznych zapewniających bezawaryjną pracę elementów infrastruktury torowej.

Działające na elementy rozjazdów kolejowych, zmienne w czasie, duże obciążenia dynamiczne prowadzą do znaczących zmian właściwości, szybszego zużycia ściernego oraz lokalnego odkształcenia plastycznego materiału w warstwie toczonej kształtowników szynowych. Znajomość obciążenia występującego w trakcie przejazdu pojazdu szynowego przez rozjazd pozwala określić rzeczywiste warunki eksploatacyjne rozjazdu. Za pomocą modelowania numerycznego można wytypować elementy najbardziej narażone na destrukcyjne działanie obciążeń dynamicznych. Znajomość obciążenia występującego wzdłuż rozjazdu pozwala dobrać materiały zapewniające wysoką trwałość i bezpieczną eksploatację rozjazdu.

Na podstawie otrzymanych wyników sformułowano następujące wnioski:

- rozkład obciążenia podczas przejazdu przez rozjazd ma charakter dynamiczny;
- największe obciążenia występują podczas wjazdu zestawu kołowego na dziób krzyżownicy, są to obciążenia udarowe powstające wskutek nieciągłości w toku szynowym;

Dokończenie na s. 96 ➤