

Nowoczesne technologie materiałowe w rozjazdach kolejowych

Mariusz Buława, Krzysztof Semrau



Mariusz Buława

voestalpine Railway Systems
Polska Sp. z o.o.

mariusz.bulawa@tens.pl



Krzysztof Semrau

voestalpine Railway Systems
Polska Sp. z o.o.

krzysztof.semrau@tens.pl

Eksploatacja urządzeń i nawierzchni infrastruktury kolejowej staje w obliczu nowych wyzwań i konieczności sprostania nowym potrzebom wynikającym ze wzrostu zwiększenia obciążeniami dynamicznymi nawierzchni szynowej, związanymi ze wzrostem prędkości, jak i ze wzrostem częstotliwości przejazdu taboru.

Droga kolejowa obok zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, wymaga ciągłego dążenia do uzyskania wysokiej dostępności infrastruktury przy racjonalizacji nakładów utrzymaniowych.

Konieczność w zakresie gwarantowanego poziomu dostępności (urządzeń) infrastruktury przekłada się na coraz wyższe koszty incydentów skutkujących perturbacjami ruchowymi, co pociąga za sobą potrzebę zapewnienia możliwie nieprzerwanej sprawności i funkcjonalności infrastruktury.

Zgodnie z wynikami badań Projektu INNOTRACK, doświadczenia z eksploatacji nawierzchni kolejowej wskazują na następujący rozkład statystyki występujących incydentów i wad:

- Tor: nieprawidłowa geometria toru - 75%
- Podtorze: niestabilny grunt - 63%
- Szyna: zmęczenie kontaktowe powierzchni tocznej - 63%
- Zwrotnice i krzyżownice: zużycie zwrotnic - 63%
- Szyna: fałdowanie - 37%
- Szyna: zużycie - 37%
- Złącza: uszkodzenie złącza izolacyjnego - 37%
- Konstrukcje: zamknięcia głównych linii - 25%
- Mocowania: zużycie/brak przekładek - 25%
- Podkłady: trudne modernizacje - 25%

- Przepusty/rury: zalania - 25%
- Podsyпка: zużycie - 25%
- Stan powierzchni: pogorszenie przylegania - 25%
- Złącza: jakość spoin - 25%
- Zwrotnice i krzyżownice: pęknięcia krzyżownic - 25%
- Zwrotnice i krzyżownice: konserwacja geometrii - 25%
- Zwrotnice i krzyżownice: utrata detekcji położenia - 25%
- Szyna: wady zmęczeniowe (pęknięcia nerkowate) - 25%

Zagadnienie trwałości konstrukcji rozjazdowych było i jest przedmiotem szeregu analiz i prac badawczych. Wśród obszarów zainteresowań można wyróżnić poszukiwania:

- adekwatnych materiałów,
- odpowiednich geometrii minimalizujących oddziaływania dynamiczne tor-pojazd,
- optymalnego rozkładu i przeniesienia sił na podtorze,
- minimalizacji połączeń.

Przedmiotem niniejszego referatu jest przedstawienie możliwości minimalizacji czynników degradujących stalową część nawierzchni kolejowej poprzez stosowanie odpowiednich materiałów szyn, iglic, opornic i krzyżownic.

Opierając się na wynikach badań Projektu INNOTRACK można potwierdzić tezę, że szyna jest najbardziej przeciążonym elementem drogi przejazdu pociągu, choć dotyczy to również elementów rozjazdu takich jak iglice, szyny skrzydłowe i krzyżownice.

Można również stwierdzić, że powszechnie i standardowo stosowane w Unii Europejskiej szyny i profile szynowe gatunku R260 stopniowo nie są zdolne poddać obciążeniom eksploatacyjnym.

Wymagania dotyczące szyn można wyrazić w skrócie w dwóch głównych parametrach:

1. Szyny winny charakteryzować się najwyższą możliwą odpornością na ścieranie, dzięki czemu będą w

eksploatacji wymagały mniejszych korekt profilu i wydłużony zostanie okres ich eksploatacji,

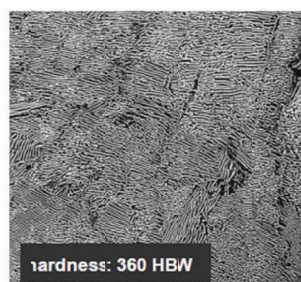
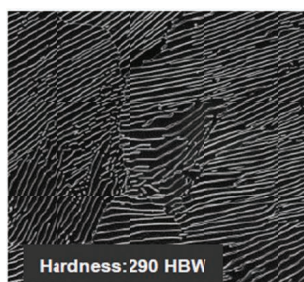
2. Szyny powinny charakteryzować się możliwie dużą odpornością na zmęczenie kontaktowe powierzchni tocznej, dzięki czemu zmniejszona zostanie ilość uszkodzeń oraz opóźniony będzie proces pęknięcia. Uzyskanie poprawy tych parametrów znacząco wpływa na zwiększenie bezpieczeństwa, minimalizację prac serwisowych oraz wydłużenie okresu eksploatacji.

Odpowiedzią na postawione wymagania uwzględniającą poprawę w/w parametrów wobec wzrostu zarówno nacisków osi, jak i prędkości pociągów, a także zwiększających się wymagań co do wygody pojazdów używanych w przewozach pasażerskich, są obecnie szyny Premium obrabiane cieplnie.

Dobór właściwego materiału stalowego do produkcji głównych części rozjazdowych nie jest łatwy, gdyż oczekuje się jednoczesnego spełnienia dwóch wymagań – dużej wytrzymałości i niezbędnej plastyczności. Stopień plastyczności powinien być taki, by nie następowało rozwalcowywanie powierzchni tocznej, a jednocześnie by zachowana była odporność na uderzenie. W rezultacie coraz szerzej stosuje się szyny i materiały o plastyczności $R_e = 700$ MPa, wytrzymałości na rozciąganie 880 - 1100 MPa oraz twardości ≥ 300 HB.

Korzystne parametry stali uzyskuje się w procesie ulepszenia cieplnego tzw. perlityzacji. Poprzez nagrzanie szyny do temperatury austenizacji, a następnie schłodzenie w kąpeli olejowej uzyskuje się strukturę drobno płytkowego perlitu. W ten sposób uzyskuje się szyny lub bloki do obróbki dziobnic o twardości powierzchni tocznej 320 - 390 HB. Istotne znaczenie dla twardości i wytrzymałości stali szynowej ma mały odstęp pomiędzy płytkami cementytu w perlicie (zmniejszenie odstępu ze 140 μ m do 70 μ m zwiększa twardość z 280 HB do 360 HB). Taki materiał ma również zwiększoną odporność na rozprzestrzenianie się pęknięć. (Ilustracja 1).

W szynie HSH® gatunku R350 HT, podda-



1. Mikroskopowy obraz struktury stali o twardości 280HB i 360 HB

nej specjalnej procedurze hartowania główek **Head Special Hardened** zmniejszają się odstępy pomiędzy płytkami ferrytowymi i cementytowymi dzięki zastosowaniu obróbki cieplnej – podczas, gdy skład chemiczny nie zmienia się.

Obecnie w produkcji szyn powszechnie stosuje się cztery rodzaje stali:

- stale węglowo-manganowe w stanie po walcowaniu,
- stale węglowo – manganowo - chromowe w stanie po walcowaniu,
- stale węglowo - manganowe ulepszone termicznie,
- stale węglowo – manganowo - chromowe ulepszone termicznie.

Wszystkie te rodzaje stali szynowych mają mikrostrukturę perlityczną. Do zastosowań o wysokiej odporności na zużycie używa się ulepszonych termicznie gatunków stali.

Komitet Techniczny TC256 opracował następujące normy europejskie: dla szyn kolejowych (EN 13674) oraz szyn rowkowych (EN 14811).

Norma europejska standard wymaga przeprowadzenia kilku badań przed pierwszą dostawą (badań kwalifikacyjnych) oraz systematycznych dostaw szyn do klienta. Wszystkie wymagane badania są wymienione poniżej:

- skład chemiczny, a zwłaszcza zawartość wodoru i tlenu,
- próba rozciągania,
- badanie twardości,
- czystość stali,

- pozostałości siarki,
- metalograficzne określenie mikrostruktury,
- oznaczenie wartości Klc,
- określenie zachowania zmęczeniowego.

Szyny

Nowoczesny cykl produkcji szyny

Nowoczesny proces walcowania szyny na podstawie huty Donawitz (Ilustracja 2) przedstawia schemat ciągu technologicznego walcowania. Kęsiska, dostarczane stale przez własną stalownię, są podawane do pieca pokrocznego w temperaturze otoczenia lub w temperaturze około 200 °C. Gdy kęsisko wychodzi z pieca w temperaturze około 1250 °C, ma jednolity profil temperatury w całym przekroju poprzecznym. Kęsiska czyści się wodą pod wysokim ciśnieniem ze zgorzeliiny powstałej w piecu przed skierowaniem do zbijacza zgorzeliiny. Oczyszczone ze zgorzeliiny kęsisko walcuje się w 10 - 14 przejściach do uzyskania przekroju odpowiadającego pierwszemu przejściu na stanowisku wykańczania profili. Po wyjściu ze zbijacza zgorzeliiny wstępnie wywalcowane kęsisko przesuwa się na samotoku i wózku poprzecznym do stanowiska wykończeniowego.

Uzyskanie jednolitej powierzchni wysokiej jakości jest możliwe dzięki zastosowaniu wysokiego ciśnienia (250 bar) wody do usuwania zgorzeliin po obu stronach stanowisk walcujących oraz starannej obsłudze i konserwacji rolek i prowadnic w samotokach.

W zależności od wielkości kęsisk można zapewnić zmniejszenie powierzchni przekroju o co najmniej 10 mm², także przy większych

przekrojach. Znakowanie pasma (do odpuszczenia) odbywa się w ostatnim przejściu walcującym.

Po zakończeniu ostatniego przejścia walcowany pręt o maksymalnej długości 125 m opuszcza stanowisko walcowania z maksymalną prędkością 7 m/s. Przez zsuwnię uchylną szyna trafia na samotok wlotowy rusztu chłodzącego, który znajduje się około 3 m wyżej. Zsuwnia uchylna została zmodernizowana we wrześniu 2000 roku w celu poprawy płaskości poziomej gorącej szyny.

Prasa stemplowa wyciska numer identyfikacyjny szyny, czyli jej nazwę, cechując szyjkę każdej szyny w ściśle określonych odległościach. Szyna przechodzi przez prasę stemplową z prędkością do 4,5 m/s. Po zatrzymaniu i obciążeniu końców szyny piłą do cięcia na gorąco, popychacz liniowy kieruje szynę do basenu zanurzeniowego HSH i na ruszt chłodzący. Szyny, których główki nie są specjalnie utwardzane, trafiają bezpośrednio do rusztu chłodzącego.

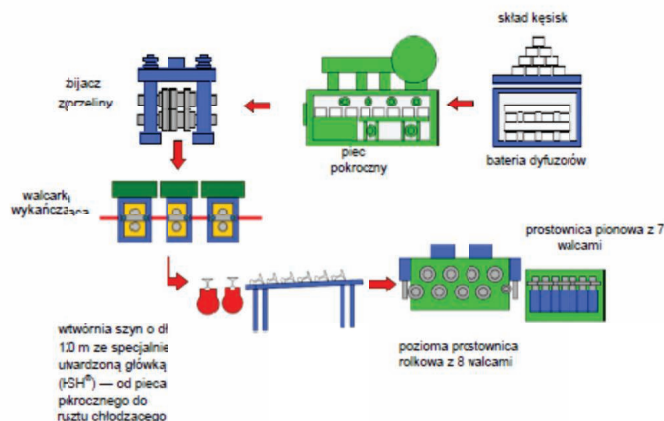
Utwardzanie

W Donawitz opracowano technologię specjalnego utwardzania główek szyn, hartowania główek gorących szyn z walcarki; jest ona obecnie powszechnie znana pod nazwą technologii HSH (specjalne utwardzanie główek). Na całej długości szyny, która może wynosić do 125 m, główkę zanurza się w kąpeli hartowniczej (Ilustracja 3). Po zakończeniu procesu hartowania szynę umieszcza się na pokrocznym ruszcie chłodzącym.

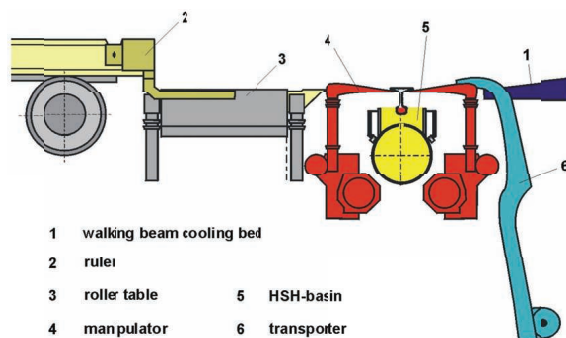
Chłodziwem hartowniczym jest syntetyczny polimer rozpuszczony w wodzie. W tej kąpeli zanurza się tylko część szyny, tj. jej główkę, ponieważ jest to część, która musi odznaczać się najwyższą odpornością na zużycie (ścieranie), czyli wysoką wytrzymałością. Dzięki obróbce cieplnej: przyspieszonemu schłodzeniu, a następnie odpuszczeniu, uzyskuje się twardość główki szyny wynoszącą co najmniej 350 HT w skali twardości Brinella. Należy natomiast zakładać, że szyjka i stopka szyny będą pracowały w warunkach wymagających wyższej wiązkości. Dlatego też wspomniana metoda obróbki cieplnej ogranicza się do główki szyny. Oprócz utwardzania teowników szynowych proces HSH umożliwia także obróbkę cieplną szyn używanych jako łączniki w rozjazdach oraz szyn rowkowych.

Powierzchnia szyn spryskiwana jest małymi kroplami wody, co zapewnia szybsze usuwanie ciepła. Wymuszone chłodzenie stosuje się tylko na drugiej połowie rusztu chłodzącego, co daje pewność, że temperatura szyny nie grozi odkształceniem, a zatem chłodzenie to nie wpłynie ujemnie na właściwości szyn.

Po wyjściu szyny z prostownicy rolkowej poddaje się ją badaniom nieniszczącym w dziale kontroli, gdzie każda szyna przechodzi szereg badań spełniających rygorystyczne wymagania normy europejskiej. Ponadto stosuje się automatyczną kabinę wizualną do badania powierzchni, która została opracowana przez voestalpine Schienen GmbH we współpracy z



2. Ciąg technologiczny — walcowanie



3. Zakład produkcji szyn ze specjalnie utwardzoną główką

placówkami badawczymi. Całkowita długość każdej szyny jest sprawdzana automatycznie przy prędkości przesuwu 1,5 m/s i klasyfikowana zgodnie ze specyfikacją klienta. Szyna najpierw przechodzi automatyczną kabinę wizualną, następnie urządzenie do badania płaskości powierzchni, urządzenie wiropądowe, a na końcu urządzenie ultrasonograficzne. Każde z tych urządzeń automatycznie zatwierdza produkt. Uszkodzone szyny są oddzielane i badane ponownie. Wyniki badań są automatycznie zapisywane w systemach komputerowych; te dane wykorzystuje się do analiz statystycznych w celu stałego doskonalenia technologii produkcji.

Badanie płaskości powierzchni szyny

Na torach wysokich prędkości maksymalne dopuszczalne odchylenie pionowe wynosi 0,3 mm na prostej krawędzi długości 3 m. Ważne jest zatem, aby dostarczane szyny spełniały ten wymóg w 100% i dlatego opracowano bezdotykowe urządzenie do mierzenia szyn (Ilustracja 4). Przesuwającą się szynę mierzy się wiązkami lasera w pionie i w poziomie. Każda wartość zostaje poddana ocenie, a następnie wyciąga się średnią z 10 pojedynczych pomiarów. Do zarejestrowanych danych przykładamy model numeryczny, elektroniczną liniijkę, którą można dowolnie regulować w przedziale od 1 m do 3 m. Na podstawie specyfikacji prostoliniowości każda zmierzona szyna jest poddawana automatycznej klasyfikacji. Dane z oceny są rejestrowane i zapisywane wraz z kodem referencyjnym szyny.

Kolejna sekwencja badań w dziale kontroli to automatyczny sprawdzian newralgicznych odcinków powierzchni szyny. Urządzenie wiropądowe (Ilustracja 5) sprawdza powierzchnię główki i stopki szyny, włącznie z powierzchniami bocznymi stopki pod kątem obecności ewentualnych pęknięć.

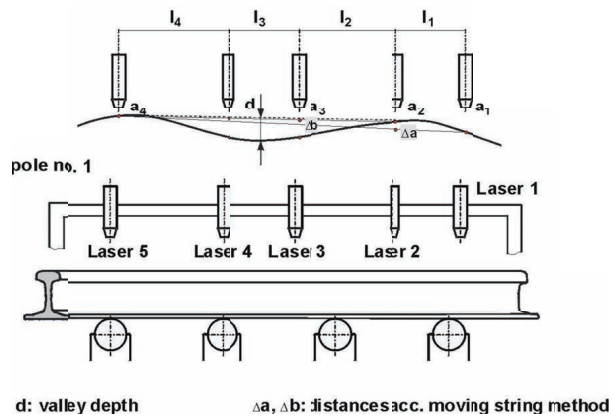
Wady powierzchni szyny mogą spowodować skumulowanie naprężenia i doprowadzić do pęknięcia szyny w czasie eksploatacji.

Badania wiropądowe są stosunkowo nową dyscypliną badań nieniszczących i na razie brak jest wyników badań doświadczalnych w tej dziedzinie. Aparatura zamontowana w naszym zakładzie należy do najnowocześniejszych urządzeń tego rodzaju.

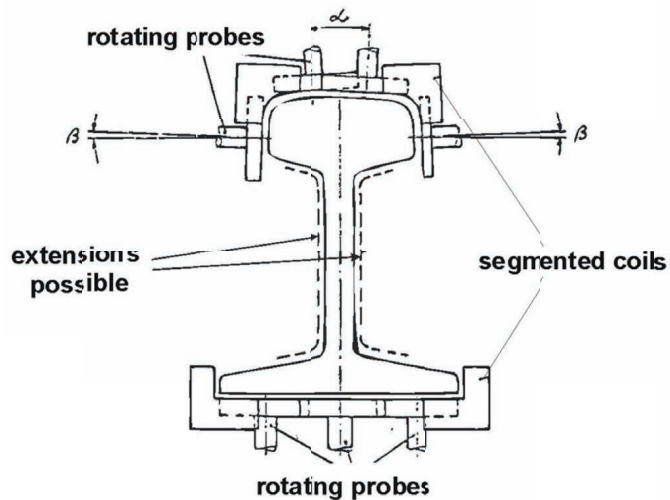
Dynamiczne sondy obrotowe stosuje się do badania niemal całkowicie płaskich powierzchni odcinków — dwie na główce (powierzchnia bieżąca) szyny, po jednej na powierzchniach bocznych i jedną na spodniej powierzchni stopki. Cewki indukcyjne używane są do badania powierzchni części zakrzywionych — promieni główki szyny i krawędzi stopki.

Badania obrazowe

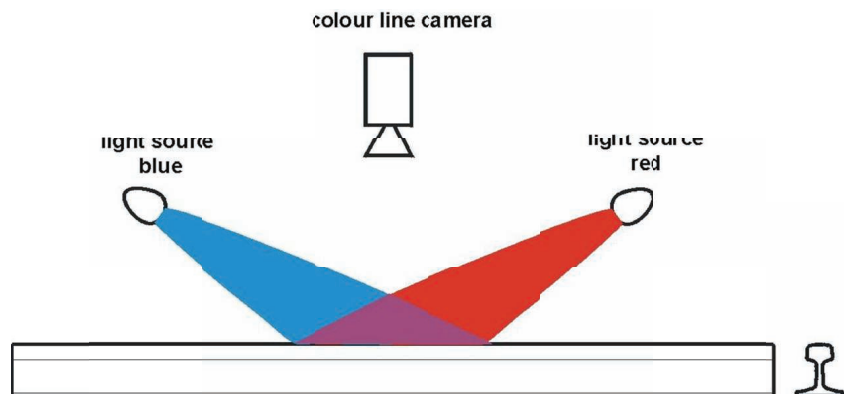
Ciekawym i unikalnym urządzeniem jest automatyczna kabina wizualna (Ilustracja 6). Została opracowana we współpracy z ośrodkiem badawczym Joanneum Research. Szynę oświetla się ze wszystkich stron różnymi źródłami światła i rejestruje się w kamerach z matrycą CCD kontrast, jaki to oświetlenie daje



4. Badanie płaskości powierzchni



5. Badanie wiropądowe powierzchni szyny

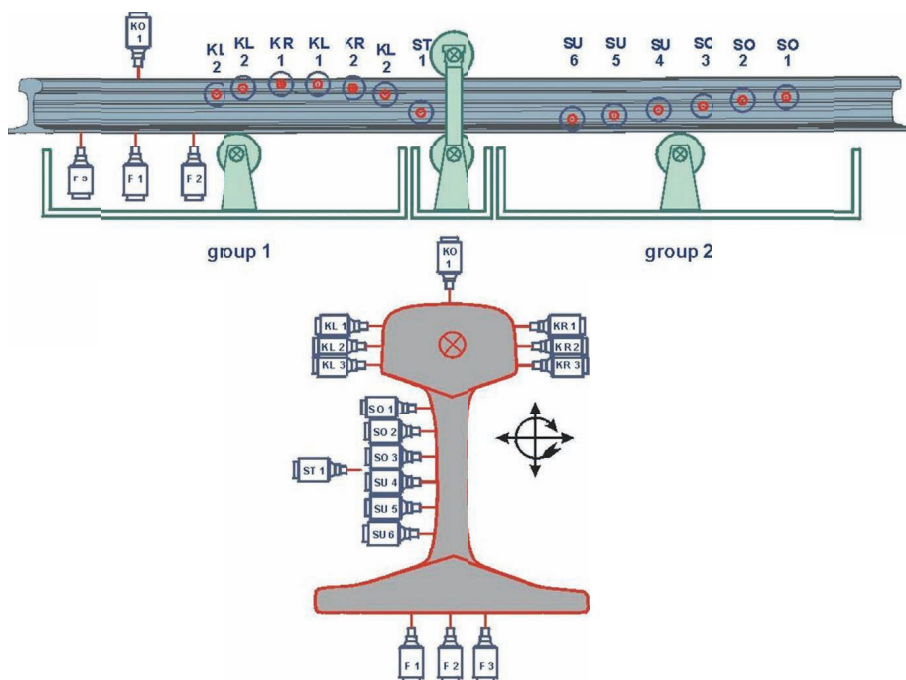


6. Automatyczna inspekcja wizualna

na powierzchni szyny. Obraz oceniania się cyfrowo pod kątem ewentualnej obecności wad powierzchniowych, które w razie stwierdzenia są odpowiednio klasyfikowane. Wyniki porównuje się z danymi z badania wiropądowego i wysyła do tzw. „punktów kontrolnych”, gdzie dana wada zostaje ponownie sprawdzona przez przeszkolonych pracowników.

„Szyn z wadami wzorcowymi”, czyli szyn z określonymi wadami, jak np. mikroskopijne uszkodzenia powierzchni o określonej szerokości, głębokości i długości (na przykład 0,4

mm szerokości, 0,5 mm głębokości i 20 mm długości), używa się do kalibracji czułości urządzeń do badania powierzchni. Na początku badania kalibruje się każdą cewkę urządzenia wiropądowego, sprawdzając, czy prawidłowo wykrywa wady w szynie wzorcowej. Jeżeli sygnał informujący o wadzie w badanej szynie ma wyższą wartość niż określony próg, położenie usterki zostaje automatycznie oznaczone specjalnym pistoletem natryskowym. Powtórne kontrole wizualne przeprowadza się w celu sprawdzenia, czy te wady mieszczą się w



7. Badanie ultrasonograficzne

dopuszczalnych granicach określonych w specyfikacji.

Badanie jakości wewnętrznej szyny

Do ostatniego badania nieniszczącego wyrobu używa się urządzenia ultrasonograficznego (Ilustracja 7). Ma ono za zadanie wykrywanie wad wewnętrznych, które mogą przyczynić się do powstawania szczelin, a w końcu doprowadzić do pęknięcia szyny. Przygotowując się do ogłoszenia europejskiej normy kolejowej, firma voestalpine Schienen GmbH zamontowała nowe, zupełnie wyjątkowe urządzenie ultrasonograficzne w 1996 roku. Do badania transmisji ultradźwiękowej używa się nawet siedemnastu sond ultradźwiękowych. Sprzężenie akustyczne pomiędzy sondami a szyną wytwarzają strumienie wodne. Do każdego z osobnych wymagań — profil szyny, waga wzorcowa i położenie wady wzorcowe — mamy odpowiednie szyny wzorcowe z wadami, dzięki którym możemy przeprowadzić dynamiczną i statyczną kalibrację urządzenia ultradźwiękowego.

Zespół z farbą znakującą, otrzymuje również sygnały z urządzenia wiroprowadowego, oznacza wadliwe miejsca na szynie wykryte przez urządzenie ultradźwiękowe. Urządzenie generuje automatycznie raport o rodzaju wady, jej wielkości, położeniu i głębokości, który przesyła do systemu śledzenia danych.

Tak wyprodukowane szyny, spełniają wszystkie postawione im cele, a jak dowodzą liczne badania w różnych Zarządach Kolejowych, szyny o większej twardości mają większą odporność na ścieranie i RCF (Ilustracja 8).

Jak dowodzą liczne międzynarodowe badania i doświadczenia Zarządów Kolejowych, zmęczenie kontaktowe powierzchni toczonej (Head Checking), czyli tworzące się na we-

wewnętrznej krawędzi główki szyny szczeliny ulega poprawie w zależności od stosowanego gatunku stali w następującej proporcji:

1. 200HB : 260HB 1 : 2
2. 260HB : 350HB 1 : 3
3. 260HB : 370HB 1 : 6
4. 260HB : 400HB 1 : 9

Iglice

Wykorzystanie stali szynowej gatunku Premium jest szersze, aniżeli tylko do produkcji szyn i dotyczy również innych nie mniej istotnych elementów kolejowej nawierzchni stalowej, takich jak iglice, opornice, szyny skrzydłowe i krzyżownice.

Głęboko hartowana główka szyny pozwala bez utraty twardości ze znaczną odpornością na zużycie i zmęczenie, na obróbenie profilu iglicznego zachowującego w swej górnej części, narażonej na ścieranie twardości rzędu 350 – 380 HB. Po obróbce mechanicznej iglicy jej odporność na zużycie i zmęczenie wskutek przejeżdżającego taboru pozostaje na najwyższym poziomie, wyższym od szyny z materiału R260 o blisko 40% (Ilustracja 9 i Ilustracja 10).

Odporność na korugację, jako jedną z bardziej dokuczliwych i rozwijających się wad obrazuje przykład na fotografii z odcinka doświadczalnego gdzie prowadzono badania porównawcze zobrazowane wykresem wyników odkształceń (Ilustracja 11) i fotografią 12.

Szyny skrzydłowe

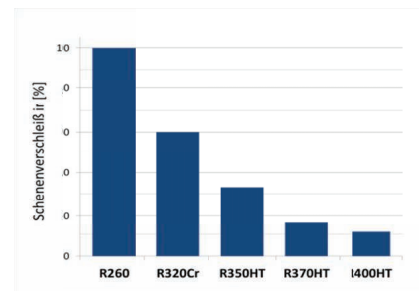
Również badania prowadzone na szynach skrzydłowych przyniosły jednoznaczne wyniki potwierdzające blisko 8-mio krotnie mniejsze zużycia szyn skrzydłowych na obu kierunkach

jazdy. Pomiary porównawcze i wykres sporządzone po 120 Tg obciążenia (Ilustracja 13).

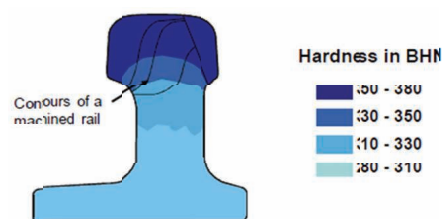
Krzyżownice

Ostatnim omawianym elementem zastosowania stali perlitycznej o zagęszczonej strukturze i podwyższonej twardości 1200 – 1300 N/mm² są krzyżownice np. typu Perlit.

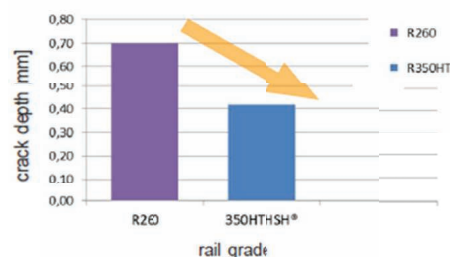
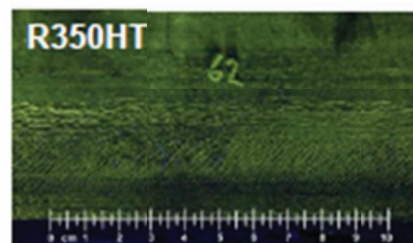
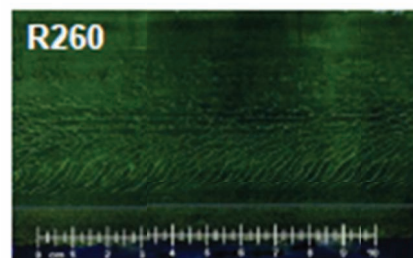
Zastosowanie stali perlitycznej do produkcji krzyżownic (dziobnic) znacząco poprawia ich twardość i odporność na ścieranie i zaryso-



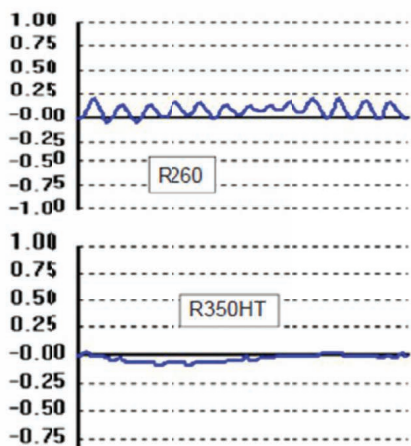
8. Wraz ze wzrostem twardości szyny zwiększa się odporność na ścieranie i RCF szyn



9. Główka głęboko hartowana HSH® - iglica



10. Odporność na zmęczenie wskutek przejeżdżającego taboru, R = 1500 m, 100 Tg



11. Wykres wyników odkształceń



12. Obraz korugacji na szynie R260 i braku wady na R350HT

wania w stosunku do materiału gatunku R260 nawet hartowanego powierzchniowo, wydłużając całkowity czas życia produktu nawet o 50%, czego dowodzą również doświadczenia z polskiej sieci kolejowej.

Kilkadziesiąt tego typu krzyżownic zostało dostarczonych wraz z całym rozjazdami przez

voestalpine VAE Polska w roku 2001 - 2002 i do dnia dzisiejszego wymieniona została jedynie jedna krzyżownica uszkodzona poprzez najechanie.

Pozostałe krzyżownice wykazują bardzo dobry stan nawierzchni jezdnej przy obciążeniu rocznym rzędu 20 Mt (Ilustracja 14).

Znacząco twardszą krzyżownicą jest oczywiście krzyżownica manganowa monoblokowa.

Tego typu krzyżownice, mają wprawdzie twardość naturalną około 200 HB to jest 720 N/mm², ale poprzez proces wstępnego utwardzania wybuchowego uzyskuje się twardość 370 – 400 HB (1140 – 1370 N/mm²) co odpowiada utwardzeniu pod ruchem o wielkości 5 – 10 mln ton.

Twardość takiej krzyżownicy po utwardzeniu pod ruchem osiąga docelowo 400 – 550 HB (1370 – 1780 N/mm²).

Jedynie w rzadkich wypadkach niezbędne jest napawanie wyrównujące zużycia szyny skrzydłowej poprzez zeszlifowanie w dół dziobu krzyżownicy.

Referencyjny okres użytkowania takiej krzyżownicy w torze sięga 20 - 25 lat, w tym 18 lat bez napawania.

Podsumowanie

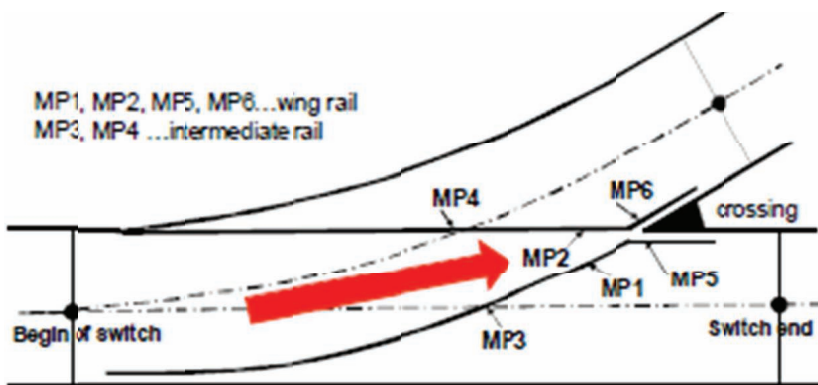
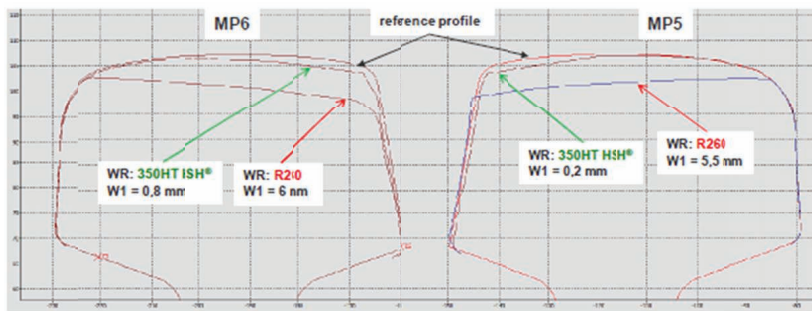
Bez wątplenia można stwierdzić, że stosowanie nowoczesnych materiałów stalowych w elementach rozjazdów kolejowych i szynach znacząco podnosi wytrzymałość nawierzchni kolejowej i odporność na występowanie wad szyn, z nawiązką rekompensując kilkuprocentowe, wyższe koszty początkowe inwestycji.

Wydłużenie okresów pomiędzy pracami utrzymaniowymi i zwiększenia dostępności drogi kolejowej są przy tym dodatkową wy-



14. Krzyżownica z dziobnicą ze stali perlityzowanej na sieci PKP PLK

mierną korzyścią Zarządcy Sieci Kolejowej. ◀



13. Pomiar porównawczy i wykres sporządzone po 120 Tg obciążenia

Materiały źródłowe

- [1] Projekt „INNTRACK”, materiały informacyjne i wyniki badań
- [2] Projekt Deutsche Bahn: „Optymalizacja sztywności punktu podparcia” – materiał BWG WBG
- [3] Projekt: „Strategie Fahrweg” TU Graz Prof. Veit – ETR Eisenbahntechnische Rundschau 2000”
- [4] Materiały voestalpine Schienen GmbH