

Odwęglenie a wady powierzchni główki szyny

Ireneusz MIKŁASZEWICZ¹

Streszczenie

Za pomocą pomiaru twardości badano wielkość odwęglania powierzchni tocznej nowych szyn. Dokonano przeglądu powstających podczas eksploatacji wad powierzchniowych główki szyny powiązanych z odwęglaniem. Opisano prawdopodobne przyczyny tworzenia się wad typu nadpęknięcia krawędziowe główki oraz wady falistości, mające związek z odwęglaniem powierzchni tocznej szyn, jak również możliwości zapobiegania występowaniu tych wad. Badania przeprowadzono na podstawie wymagań ujętych w normie PN EN 13674-1:2011 [6] oraz „Warunkach Technicznych Id-106:2010” [8].

Słowa kluczowe: wady powierzchniowe główki szyn, przyczyny wad, zapobieganie

1. Wprowadzenie

Z uwagi na rolę szyny jaką spełnia w konstrukcji nawierzchni kolejowej [2], wymagania stawiane producentom dotyczące jakości wykonania są wysokie. Badania kwalifikacyjne i odbiorcze szyn muszą potwierdzać wymagania zawarte w [1], tj. mieć właściwy skład chemiczny oraz poziom zawartości gazów (w tym tlenu do 20 ppm i wodoru do 2,5 ppm), odpowiednie własności wytrzymałościowe i twardość HBW zależne od gatunku stali, właściwy poziom wtrąceń niemetalicznych określony wskaźnikiem K3, strukturę perlityczną stali bez śladów mikrostruktury bainityczno-martensytywnej, odwęglenie powierzchni główki do 0,50 mm, właściwy profil, prostość i wymiary szyn, jednak nie powinny mieć wad powierzchni tocznej o głębokości zalegania przekraczającej 0,30 mm, niedopuszczalnych przez powyższą normę.

Znaczący wpływ na jakość szyn niejednokrotnie pomijany ma wielkość odwęglania główki szyn na powierzchni tocznej. Zjawisko to zachodzi w ciągu produkcyjnym szyn, głównie na etapie nagrzewania i wygrzewania kęsisk w piecach grzewczych płomieniowych do walcowania w temperaturze około 1150°C oraz w czasie walcowania i studzenia odwalcowanych szyn na chłodni. Procesem powodującym odwęglenie powierzchni, tj. zmiany koncentracji zawartości węgla w stali, jest korozja gazowa w wysokiej temperaturze w atmosferze utleniającej,

¹ Inżynier; Instytut Kolejnictwa; e-mail: imiklaszewicz@ikolej.pl.

powodująca utlenienie z tworzeniem się warstwy zgorzeliny, połączonej z dyfuzją węgla rozpuszczonego w stali z warstw powierzchniowych materiału do otoczenia. Z uwagi na podstawowe działanie węgla podwyższające twardość i wytrzymałość stali szynowej, należy spodziewać się wyższych parametrów twardości i wytrzymałości. Jednocześnie wyższa zawartość węgla może wpływać na zwiększenie grubości warstwy odwęglonej stali, przy czym grubość warstwy odwęglonej jest zależna od wielu czynników w tym głównie od atmosfery w piecu grzewczym materiałów wsadowych.

Początkowy okres pracy nowych szyn, których nie poddano szlifowaniu zapobiegawczemu jest niezwykle interesujący. Szyny, w których powierzchnia jest odwęglona do granicy dopuszczalnej [1, 2] są podatne na powstawanie wszelkiego typu wad powierzchniowych oraz wad profilu główki szyny w okresie eksploatacji. Wynika to z faktu obniżonej zawartości węgla w warstwie powierzchniowej, co powoduje mniejszą twardość oraz mniejszą wytrzymałość powierzchniową. Wskutek tego materiał jest bardziej miękki, podatny na zużycie powierzchni tocznej szyny i powstawanie wad kształtu. W miarę wydłużania się okresu eksploatacji toru, następuje umocnienie powierzchni główki szyny. W wyniku współpracy koło – szyna następuje zużywanie się warstwy powierzchniowej przy jednoczesnym tworzeniu się wad w postaci nadpęknięć krawędzi tocznej zwłaszcza w łukach torów o małych promieniach i odcinkach prostych w miejscach o niestabilnej nawierzchni. W tym okresie występuje również zjawisko tworzenia się zużycia falistego powierzchni szyn, częściowo związane z odwęgleniem. Szczególnie dotyczy to powstawania fal krótkich o amplitudzie rzędu kilku setnych milimetra, które prawdopodobnie powstają wskutek współpracy kół z odwęgloną powierzchnią szyny. Jako model do określenia narastania zużycia falistego szyn na liniach magistralnych PKP przyjęto wzór [2]:

$$2\Delta z = 25 \times 10^{-5} \times Q^{1,15}$$

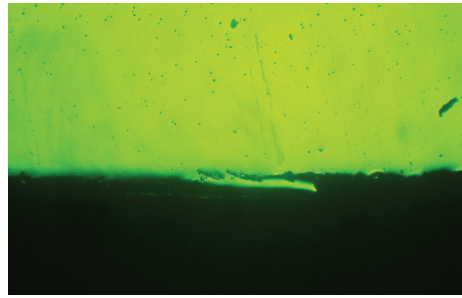
gdzie: $2\Delta z$ – wartość zużycia falistego [mm], Q – funkcja obciążenia [Tg].

2. Wady powierzchni tocznej szyn

Spośród wad występujących w szynach [2] należy wyróżnić wady jakości produkcji powstające u producenta w postaci wad kształtu, braku prawidłowego profilu główki szyny, braku prostoliniowości, przekroczenia tolerancji wymiarowych, wgniotów po zgorzelinie (rys.1), nieciągłości spowodowanych wadami powierzchniowymi pochodzącymi z materiałów wsadowych (rys. 2), rys mechanicznych od oprzyrządowania walcowniczego, naprężeń własnych pozostałych po procesie studzenia na chłodni i prostowania szyn oraz odwęglenie powierzchni.



Rys. 1. Wgnioty po zgorzelinie na powierzchni szyny



Rys. 2. Wada pochodząca z powierzchni materiału wsadowego

Natomiast do wad powierzchniowych szyn, powstałych podczas eksploatacji związanych w różnym stopniu z odwęgleniem, możemy zaliczyć podstawową wadę typu zmęczeniowego, tj. nadpęknięcie, tzw. *head checks* (wada 2223) według [5] w różnych konfiguracjach. W łukach torów o małym promieniu, wskutek działania obrzeży kół, powstają drobne nadpęknięcia krawędzi główki szyny, które ulegają rozwojowi w dalszej eksploatacji (rys. 3, 4). Nadpęknięcia te tworzą się na skutek silnego punktowego zgniotu bardziej miękkiej warstwy powierzchniowej główki szyny.



Rys. 3. Nadpęknięcia krawędziowe szyny



Rys. 4. Nadpęknięcia krawędziowe szyny

Na odcinkach prostych, w miejscach o niestabilnej nawierzchni, w których stwierdzono wychlapki, rozwija się nadpęknięcie zalegające do głębokości $1/3$ główki szyny (rys. 5). Nadpęknięcie powstające wewnątrz główki szyny ma swoje źródło w defektach struktury występujących w obszarach o dużym nasileniu wtrąceń niemetalicznych lub mikropęknięć, a także w miejscach szczególnie niekorzystnego rozkładu naprężeń w główce szyny. Rozwój tych wad o charakterze zmęczeniowym prowadzi do pęknięć szyn.



Rys. 5. Duże wady nadpęknięć krawędziowych w obszarze wychłapek

Ponadto można wyróżnić wady typu *squat* (wada 227) według [5] i *shelling* (wada 2221) według [5] (rys. 6), powstałe przeważnie na skutek miejscowego rozwarstwienia warstwy powierzchniowej szyn i jej wykruszenia, które wcześniej uległy tzw. buksowaniu lub gwałtownemu hamowaniu kół jednostki napędowej. Również nalepy oraz złuszczenie się powierzchni tocznej mają związek z mikropoślizgiem i energią tarcia przy współpracy koło – szyna oraz jakością struktury powierzchni szyn.



Rys. 6. Wada typu *squat* na powierzchni szyny

3. Badania odwęglenia powierzchni szyn

Badania odwęglenia powierzchni tocznej szyn obejmowały pomiary twardości metodą HV5 i HBW oraz badania mikrostruktury warstwy odwęglonej wybranych próbek [7]. Do badań pobrano próbki nowych szyn oznaczone literami od A do E, dostarczone przez pięciu głównych europejskich producentów szyn. Skład chemiczny badanych szyn zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny badanych szyn w gatunku R 260

Zawartość pierwiastków w % wagowych	Oznaczenie próbek					
	A	B	C	D	E	R 260*
C	0,696	0,712	0,763	0,699	0,749	0,60–0,82
Mn	1,08	1,04	1,04	1,07	0,98	0,65–1,25
Si	0,255	0,322	0,309	0,356	0,271	0,13–0,60
P	0,018	0,016	0,025	0,016	0,015	max 0,030
S	0,017	0,014	0,014	0,017	0,015	0,008–0,030
Cr	0,048	0,055	0,061	0,026	0,069	max 0,15
Ni	0,019	0,033	0,020	0,026	0,025	–
Cu	0,033	0,018	0,029	0,036	0,022	–
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	max 0,004
Mo	0,004	0,009	0,007	0,003	0,006	–
V	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	max 0,030

Z odcinków szyn wycięto próbki i zeszlifowano powierzchnię toczną główki na głębokość od 0,10 mm do 0,50 mm ze stopniowaniem co 0,10 mm. Na tak przygotowanych próbkach wykonano pomiary twardości HV5 i HBW. Przygotowane próbki do badań pokazano na rysunku 7. Po szlifowaniu, polerowaniu i wytrawieniu próbek w 4%-ym nitalu, pokazano warstwę odwęgloną, wykazującą najniższą i najwyższą twardość.



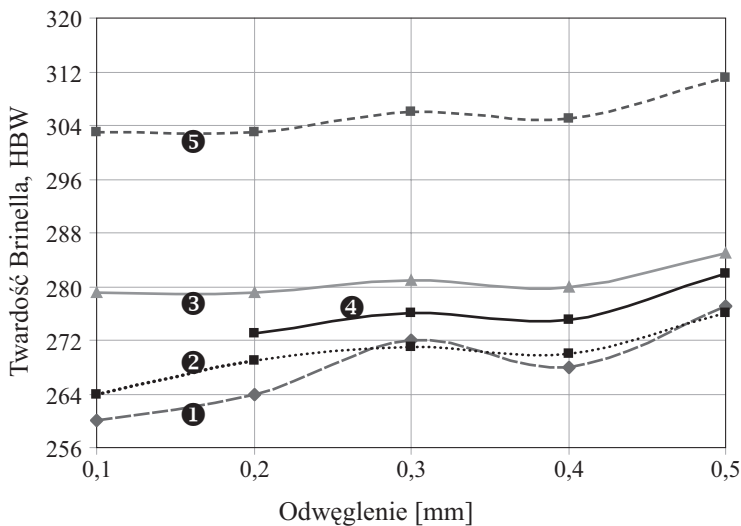
Rys. 7. Próbki do badań z zeszlifowaną powierzchnią

Określono również mikrostrukturę warstwy powierzchni tocznej eksploatawanej szyny z gatunku R 260, na której wystąpiły głębokie wady typu nadpęknięcia (*head checks*) zalegające do 1/3 głębokości główki.

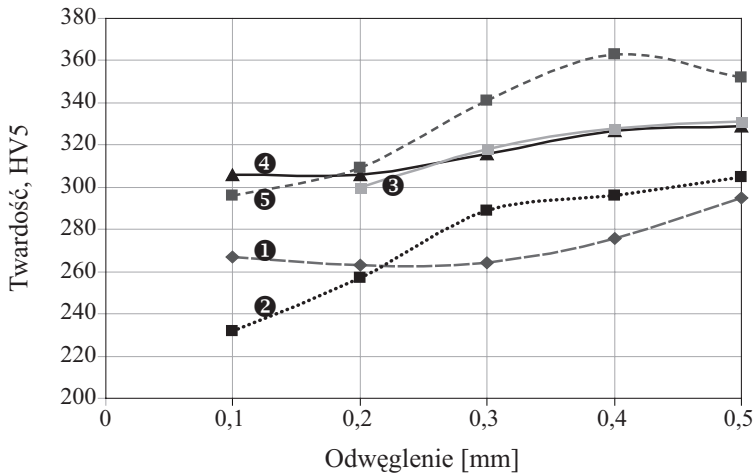
Skład chemiczny wszystkich badanych próbek nowych szyn z gatunku R 260 mieści się w zakresie zawartości pierwiastków określonej w normie [6]. Ze względu na obowiązkową obróbkę próżniową podczas produkcji stali szynowej, nie określono poziomu zawartości gazów w badanych próbkach zakładając, że są one zgodne z normą.

Poziom zawartości węgla w stali szynowej decydujący o parametrach wytrzymałościowych oraz szybkości zużycia powierzchni tocznej szyn mieści się w granicach od 0,696% do 0,763%, co wskazuje na możliwość różnicy twardości poszczególnych próbek szyn. Zawartości pozostałych pierwiastków w wytopach wykazują niewielkie różnice w granicach przewidzianych dla gatunku, nie mające znaczącego wpływu na parametry stali R 260.

Na rysunku 8 pokazano wyniki pomiaru twardości metodą Brinella HBW, a na rysunku 9 metodą Vickersa HV5 w zależności od grubości warstwy zeszlifowanej, z której usunięto odwęglenie powierzchni. Z rysunku 8 wynika, że badane próbki szyn wykazały twardość w przedziale od 260 do 310 HBW w zależności od grubości warstwy zeszlifowanej. Zatem minimalna grubość warstwy usuniętej z powierzchni tocznej szyny, gwarantująca uzyskanie wymaganej twardości szyn minimum 260 HBW, winna wynosić 0,30 mm. Większą różnicę twardości badanych próbek (rys. 9) wykazują pomiary HV5 od 260 do 360 jednostek twardości HV5. Również w tym przypadku minimalna grubość warstwy zeszlifowanej winna wynosić 0,30 mm.



Rys. 8. Rozkład twardości HBW badanych szyn:
1) próbka A, 2) próbka B, 3) próbka C, 4) próbka D, 5) próbka E

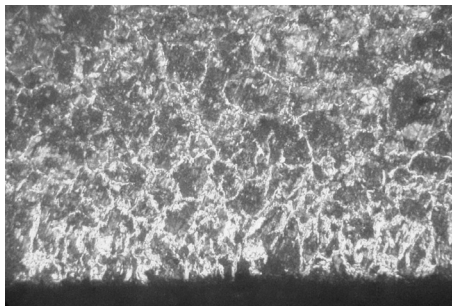


Rys. 9. Rozkład twardości HV5 badanych szyn:
1) próbka A, 2) próbka B, 3) próbka C, 4) próbka D, 5) próbka E

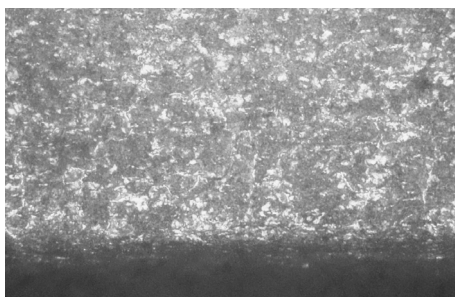
Na rysunku 10 pokazano mikrostrukturę odwęglonej powierzchni próbki szyny **A**. Liniami zaznaczono dopuszczalne odwęglenie dla szyny wynoszące 0,50 mm, oraz minimalne 0,30 mm zabezpieczające wymaganą twardość, a na rysunku 11 pokazano powierzchnię tej samej próbki z usuniętą warstwą odwęglenia o grubości 0,50 mm.

Na rysunku 12 pokazano mikrostrukturę odwęglonej powierzchni próbki szyny **E** o największej twardości. Linią zaznaczono minimalne odwęglenie 0,30 mm dające wymaganą twardość szyn. Na rysunku 13 pokazano powierzchnię tej samej próbki z usuniętą warstwą odwęgloną o grubości 0,30 mm.

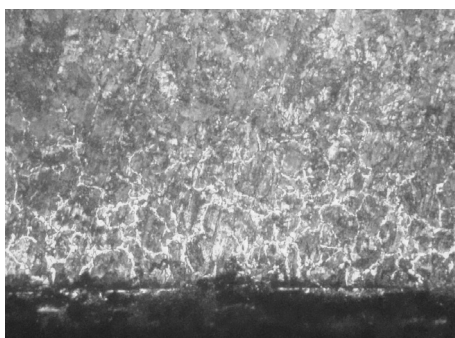
Na rysunku 14 pokazano zgniecioną warstwę powierzchniową próbki szyny po długim okresie eksploatacji. Widoczna jest silnie umocniona warstwa powierzchniowa, z której odwęglenie zostało usunięte w wyniku zużywania się powierzchni tocznej w czasie długotrwałej eksploatacji toru.



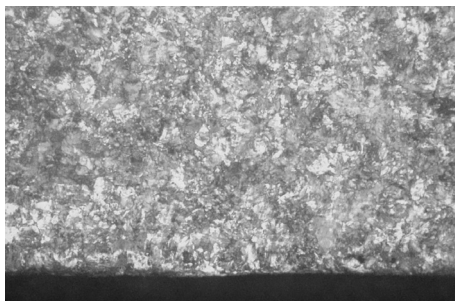
Rys. 10. Próbką nr 1/5 z odwęgleniem 0,50 mm, pow. 100x



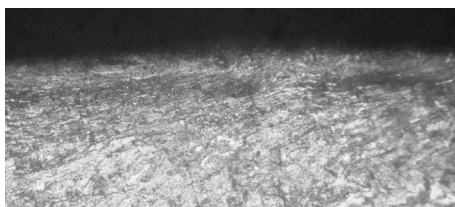
Rys. 11. Próbką nr 1/5 z zeszlifowaną warstwą 0,50 mm, pow. 100x



Rys. 12. Próbką 5/3 z odwęglaniem 0,30 mm, pow. 100x



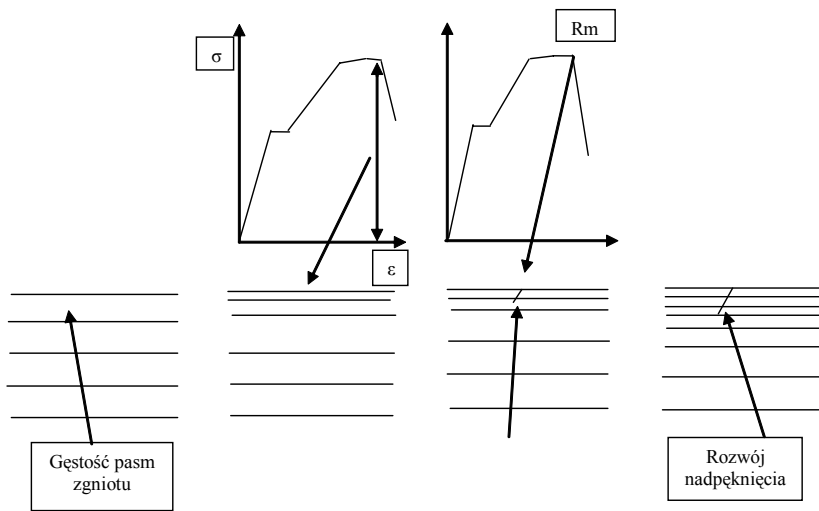
Rys. 13. Próbką nr 5/3 z zeszlifowanym odwęglaniem, pow. 100x



Rys. 14. Warstwa powierzchniowa z widocznym zgniotem, pow. 400x

4. Prawdopodobny mechanizm powstawania wad związanych z odwęglaniem oraz zapobieganie takim wadom

Odwęglenie powierzchni tocznej główki szyny na skutek zgniotu wywołanego naciskiem koła jest przyczyną wielu wad, w tym mikropęknięć powstających w łukach głównie na krawędzi tocznej szyny. W pierwszym etapie są to płytkie, drobne nadpęknięcia, które w miarę obciążenia torów przejeżdżającym taborem ulegają rozrostowi (rys. 5). Powstają one na skutek silnego zgniotu miękkiej, odwęglonej warstwy powierzchniowej, o niższej granicy plastyczności, podatnej na płynięcie powierzchniowe materiału. W miarę zwiększania stopnia zgniotu następuje zmniejszenie się płynięcia warstwy powierzchniowej i jej umocnienie przez tworzenie defektów strukturalnych, następnie tworzenie się nadpęknięć po przekroczeniu granicy wytrzymałości materiału w miejscach najsilniejszego zgniotu. Zachodzący jednocześnie proces zużywania się powierzchni tocznej jest zbyt wolny ażeby proces umacniania materiału był eliminowany (rys. 15).



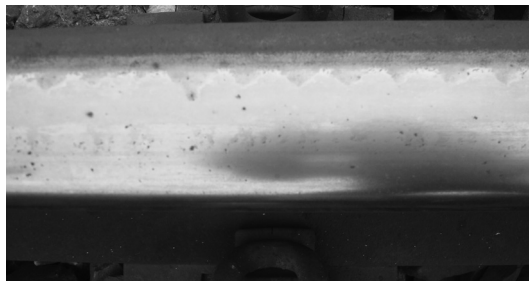
Rys. 15. Prawdopodobny przebieg tworzenia się nadpęknięć w szynach

Natomiast na odcinkach prostych torów w miejscach o małej stabilności nawierzchni, w szczególności z wychlapkami, nadpęknięcia występują w postaci głębokich wad krawędzi główki szyny rzadziej ułożonych (rys. 16). Mechanizm tworzenia się tych wad jest podobny, z tym że dochodzą dodatkowo duże naprężenia zginające związane z nierównością torów oraz zwiększoną dynamiką jazdy na tych odcinkach wspomagające powstanie i rozwój nadpęknięć zmęczeniowych.



Rys. 16. Głębokie nadpęknięcia w szynach

Zużycie faliste powierzchni tocznej szyn jest również związane z wielkością odwęglenia. Odwęglona, miękka powierzchnia jest bardziej podatna na drgania przejeżdżającego taboru, zwłaszcza w początkowej fazie tworzenia się zużycia falistego o długości fal rzędu od 30 do 90 mm [7]. Również w tym przypadku występuje płynięcie materiału spowodowane zgniotem powierzchni szyny (rys. 17).



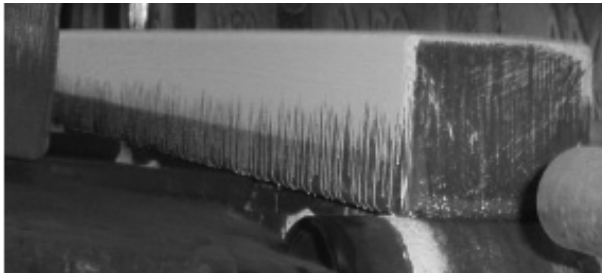
Rys. 17. Powierzchnie toczne szyny z widocznym zużyciem falistym

Długość nierówności jest zależna od twardości materiału, stanu technicznego taboru kolejowego oraz natężenia przewozów. Przy twardym materiale szyn zjawisko falistości może tworzyć się znacznie później lub nie tworzyć się w ogóle, zależnie od wielkości obciążenia torów. Natomiast w materiale szyn bardziej miękkich, tj. z zawartością węgla w dolnym przedziale zalecanym przez normę [6], dodatkowo przy istnieniu odwęglenia bliskiego dopuszczalnej granicy, zjawisko falistości może tworzyć się w początkowym okresie eksploatacji lub po znacznie dłuższym okresie po usunięciu warstwy odwęglonej metodą szlifowania szyn w torze.

Tworzenie się wady w postaci tzw. białej warstwy lub miejscowego wybliszczczenia jest prawdopodobnie także związane z odwęgleniem powierzchni tocznej szyny. Tworzy się twarda warstwa powierzchniowa, która jest efektem przemiany

struktury krystalicznej w strukturę nanokrystaliczną o bardzo małej wielkości ziaren. Zjawisko to powstaje pod wpływem wielokrotnego zgniotu odwęglonej miękkiej warstwy i mikropoślizgów kół, którym towarzyszy cykl grzania i chłodzenia w momencie przejazdu pociągu.

Zmniejszenie liczby wad powierzchniowych szyn występujących w eksploatacji można osiągnąć, usuwając w procesie produkcji warstwę wierzchnią materiału wsadowego przed walcowaniem metodą dłutowania, frezowania lub szlifowania, jak również wprowadzając regulowaną atmosferę pieca grzewczego podczas nagrzewania kęsisk do walcowania. Dodatkowo, przed załadowaniem kęsisk do pieca, w niektórych hutach wprowadzono pokrywanie powierzchni kęsisk od strony główki szyny emulsją wodną, bazującą na materiałach ogniotrwałych celem wytworzenia warstwy ochronnej w wysokich temperaturach wygrzewania około 1150°C, a więc w najbardziej intensywnie działającym przedziale temperatur (rys. 18). Ponadto, jeszcze na etapie produkcji, po prostowaniu szyn na prostownicy, wydaje się celowe wprowadzenie procesu szlifowania powierzchni tocznej szyn, co jednak wymaga dużych nakładów finansowych, przede wszystkim na zakup linii szlifierskiej.



Rys. 18. Kęsiska pokryte emulsją zabezpieczającą

W początkowym okresie w początkowym okresie eksploatacji torów, po zabudowaniu nowych szyn, stosowany jest proces szlifowania [1] główki szyny do głębokości około 0,30 mm, co daje pozytywny efekt w postaci wyeliminowania ewentualnego źródła wad, jakim jest miękka warstwa odwęglona. Płytkie wady w postaci wgniotów po zgorzelinie, rys mechanicznych i nadpęknięć krawędziowych są również usuwane, jednakże szlifowanie w późniejszym etapie powinno być poprzedzone szczegółową kontrolą stanu nawierzchni oraz jej naprawą. W takich przypadkach szlifowanie szyn eliminuje początki wad powierzchniowych szyn, natomiast w przypadku głębokich wad typu nadpęknięć krawędziowych szyn, szlifowanie nie przynosi spodziewanych efektów nawet po kilkakrotnym przejeździe pociągu szlifierskiego, a dodatkowo zwiększa koszty tych operacji.

5. Podsumowanie

Na wszystkich badanych szynach potwierdzono obecność warstwy odwęglonej, która z uwagi na niższą twardość jest podatna na tworzenie się wad główki szyny. Powstające wady szyn spowodowane powierzchniowym zgniotem w postaci nadpęknięć krawędzi tocznej szyn, zalegających na małej głębokości, zużycia falistego o krótkich falach odkształcenia, powierzchniowej białej warstwy oraz wykruszeń i nalepów, są efektem zmian mikrostrukturalnych zachodzących na powierzchni szyn.

Pomiary wielkości warstwy odwęglonej nowych szyn pochodzących od pięciu europejskich producentów potwierdziły celowość szlifowania szyn. Badania twardości i mikrostruktury wykazały, że w nowych szynach jest wskazane usunięcie odwęglonej warstwy o grubości co najmniej 0,30 mm.

Natomiast w przypadku dłużej eksploatowanych szyn, etapem poprzedzającym szlifowanie powinna być kontrola stanu nawierzchni kolejowej i jej naprawa. Obecnie, operacje szlifowania szyn wykonuje się w eksploatowanych torach za pomocą pociągu szlifierskiego. Ze względów ekonomicznych, szlifowanie nowych szyn proponuje się przeprowadzać metodą stacjonarną u producenta lub w zgrzewalniach, po uruchomieniu w nich linii do szlifowania szyn. Jest to inwestycja dosyć kosztowna, jednakże przyczyni się do poprawy jakości nowych szyn.

Literatura

1. Bałuch H., Bałuch M.: *Eksploatacyjne metody zwiększania trwałości rozjazdów kolejowych*, CNTK, Warszawa, 2009.
2. Bałuch H.: *System doradczy w ocenie celowości szlifowania szyn*, Problemy Kolejnictwa, zeszyt 118, CNTK, Warszawa 1995.
3. Bogdaniuk B., Massel A.: *Pomiary nierówności powierzchni tocznych szyn na liniach PKP*, Problemy Kolejnictwa, zeszyt 120, CNTK Warszawa 1995.
4. Bogdaniuk B., Towpik K.: *Budowa, Modernizacja i naprawy dróg kolejowych*, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2010.
5. *Katalog wad w szynach. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.*, Warszawa, 2005.
6. PN EN 13674-1:2011. Kolejnictwo – Tor – Szyna – Część 1: Szyny kolejowe Vignole’a o masie 46 kg/m i większej.
7. PN-EN ISO 3887:2005. Stale. Określenie głębokości odwęglenia.
8. WTWiO Id-106:2010. Warunki wykonania i odbioru szyn kolejowych – Wymagania i badania.