

BADANIA SZYN TRAMWAJOWYCH 60R2 GATUNKU R260 I R340GHT W ASPEKCIE PĘKNIĘĆ SPAWÓW TERMITOWYCH

STANISŁAW MAJER, *e-mail: majer@zut.edu.pl*

ZBIGNIEW DUBRAWA

KRZYSZTOF PYSIAK

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań szyn tramwajowych 60R2 gatunku R260 i R340GHT. Szyny przeznaczone do badań pochodziły z odcinków, na których na początku 2016 roku wystąpiły pęknięcia w złączach szyn spawanych termitowo. Przebieg pęknięć był jednakowy – pęknięcia przechodziły poziomo przez spoinę i szyjkę szyny. Pęknięcia szyn występowały w torze klasycznym jak i zabudowanym po półrocznej eksploatacji torowiska. Badania obejmowały określenie granicy plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie, wydłużenia twardość Brinella, udarności w temp. -20, 0, +20°C, składu chemicznego, zawartości wodoru, zawartości tlenu odporności na kruche pękanie. Dodatkowo wykonano faktografie, badania mikrostrukturalne – mikroskopia optyczną, mikroskopia elektronową, mikroanaliza rentgenowską EDS. Wyniki badań odnoszono do normy dotyczącej szyn tramwajowych PN-EN 14811+A1:2010 jak i kolejowych PN EN 13674-1:2011

Słowa kluczowe: szyny tramwajowe, spawanie termitowe, właściwości wytrzymałościowe

1. Wprowadzenie

Spawanie termitowe szyn wprowadzono na przełomie XIX i XX w. Polega one na połączeniu sąsiednich szyn poprzez wypełnienie luzu spawalniczego stopiwem powstającym w wyniku reakcji chemicznej sproszkowanej mieszaniny tlenków żelaza i glinu, zwanej termitem w temperaturze ok. 2000°C. Co ciekawe jako pierwsze spawano były szyny tramwajowe dopiero później kolejowe [1]. Aktualnie preferowaną metodą łączenia szyn w torze bezстыkowy na sieci PKP PLK S.A. jest zgrzewanie elektrooporowe, które w odróżnieniu od spawania, nie wprowadza obcego materiału w miejsce łączenia. Spawanie stosuje się jako metodę alternatywną, wykorzystywaną w miejscach niedostępnych dla głowicy zgrzewarki, a także w miejscu łączenia starej i nowej nawierzchni. Spawanie termitowe stosuje się jako podstawową metodę łączenia szyn w rozjazdach i skrzyżowaniach torów, a także podczas naprawy pękniętych szyn. Zasady spawania szyn termitem na sieci PKP PLK S.A. określone są przez instrukcję Id-5 [2]. Spawanie termitowe jest podstawową metodą łączenia szyn tramwajowych. Podstawową metodą spawania termitowego, jest metoda SoWoS, czyli metoda spawania bez nadlewu, z górnym wstępnym podgrzewaniem końców szyn. Przy standardowym łączeniu szyn stosuje się szerokość luzu spawalniczego równą 25 mm (luz normalny) oraz podczas prac naprawczych 50, 68, 75 mm (luz szeroki). Proces technologiczny spawania szyn termitem z użyciem form suchych prefabrykowanych metodą SoWoS składa się z następujących operacji:

- przygotowanie i ustawienie styku szyn do spawania,
- założenie i uszczelnienie formy,
- napełnienie i ustawienie tygla,
- podgrzewanie końców szyn,
- spawanie (reakcja i spust),
- zdjęcie formy i obróbka złącza.

Spawanie szyn na sieci PKP PLK S.A. może się odbywać wyłącznie przez spawaczy posiadających odpowiedni identyfikator wydawany przez PKP PLK S.A. Centrum Diagnostyki, Wydział Spawalnictwa, Odbiorów i Badań Nawierzchni Kolejowej. Numer spawacza jest nabijany na zewnętrznej powierzchni bocznej główki szyny w sąsiedztwie złącza, co pozwala jednoznacznie przypisać dany spaw do osoby go wykonującej. W przypadku torowisk tramwajowych funkcjonuje w Polsce 15 systemów tramwajowych o szerokości 1435 i 1000 mm, Komisja Torowa przy IGKM nie posiada stosownego umocowania, ani środków na opracowanie stosownych wytycznych. Dlatego przy spawaniu szyn tramwajowych stosuje się przepisy i metodologie w zakresie spawania stosowana na kolei.

2. Pęknięcia spawów

Przedmiotem badań są szyny tramwajowe 60R2 gatunku R260 i R340GHT zastosowane podczas przebudowy torowisk tramwajowych wraz z siecią na ul. Energetyków i Gdańskiej w Szczecinie. Szyny przeznaczone do badań pochodziły z odcinków, na których na początku 2016 roku wystąpiły pęknięcia w złączach szyn spawanych termitywami. Przebieg pęknięć był jednakowy – pęknięcia przechodziły poziomo przez spoinę i sztyjkę szyny (rys. 1).



Rys. 1. Pęknięcie szyny tramwajowej i doraźna naprawa

Wady i pęknięcia stwierdzono w 13,5% wykonanych spawów. Na odcinku przyległym wykonanym kilka miesięcy wcześniej – (Szczeciński Szybki Tramwaj) również stwierdzono wady spawów termitywowych lecz dotyczyło to ok. 3% wykonanych spawów. Podobne przypadki wystąpiły w tym okresie na torowiskach w Olsztynie i Łodzi. Stwierdzone pęknięcia naprawiano doraźnie (rys. 1) ostatecznie jednak torowisko zamknięto, a uszkodzone spawy zostały wymienione, zastosowano 3 metrowe wstawki szyn oraz spawanie łukiem elektrycznym.

3. Badania wytrzymałościowe

Zakres badań mechanicznych stali szynowej obejmował:

- badania na rozciąganie,
- badanie twardości metoda Brinella.

Próbie rozciągania przeprowadzono wg normy PN-EN ISO 6892-1:2010 „Metale – Próba rozciągania – część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej”. Wyniki badań przedstawiono poniżej na rys. 2 szyna R260, i rys. 3 szyna R340GHT.

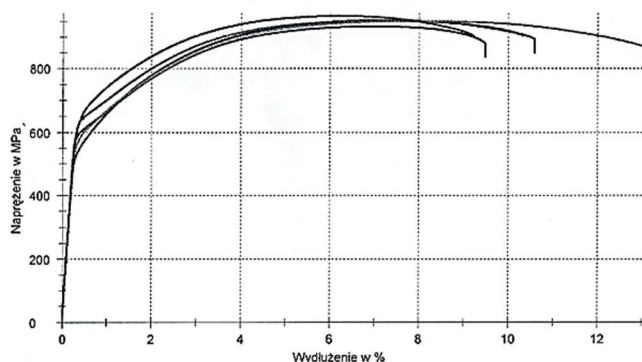
Norma badawcza : PN-EN ISO 6892 :2009
 Materiał : Szyny tramwajowe

Sila wstępna : 1 kN
 Prędkość modułu E : 6 MPa/s
 Prędkość Wyrażna granica plastyczności : 0,0003 1/s
 Prędkość w zakresie płynięcia : 0,0003 1/s
 Prędkość badania : 0,0006 1/s

Wyniki badania:

Nr	Nazwa	L ₀ mm	d _{1u} mm	d _{2u} mm	d ₀ mm	S ₀ mm ²	E _{mod} GPa	R _{eH} MPa	F _m kN	R _m MPa	F _u kN	A %	Z %
1	1-główka	40,00	7,11	8,02	8,02	50,52	214	953,25	48,2	953,25	42,9	10,58	11
2	2-główka	40,00	7,32	7,32	7,99	50,14	208	950,80	47,7	950,80	45,3	10,31	16
3	3-główka	40,00	6,34	6,34	7,04	38,93	214	933,97	36,4	933,97	32,6	9,48	19
4	4-szyjka	40,00	6,9	6,9	7,99	50,14	214	950,79	47,7	950,79	42,0	13,07	25
5	5-szyjka	40,00	6,21	6,21	6,98	38,26	215	966,65	37,0	966,65	34,5	9,24	21

Wykres serii:



Rys. 2. Próba rozciągania szyna R260

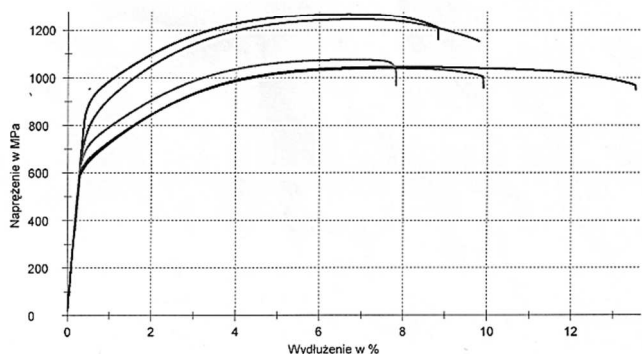
Norma badawcza : PN-EN ISO 6892 :2009
 Materiał : Szyny tramwajowe

Sila wstępna : 1 kN
 Prędkość modułu E : 6 MPa/s
 Prędkość Wyrażna granica plastyczności : 0,0003 1/s
 Prędkość badania : 0,0006 1/s

Wyniki badania:

Nr	Nazwa	L ₀ mm	d _{1u} mm	d _{2u} mm	d ₀ mm	S ₀ mm ²	E _{mod} GPa	R _{p0,2} MPa	F _m kN	R _m MPa	F _u kN	A %	Z %
1	główka_1	40,00	7,41	7,41	8,03	50,64	213	925	64,3	1269,46	58,8	8,84	15
2	główka_2	40,00	7,19	7,19	7,97	49,89	205	821	62,2	1246,41	57,5	9,81	19
3	szyjka_1	40,00	7,14	7,14	7,96	49,76	203	645	52,0	1045,04	47,4	13,54	20
4	szyjka_2	40,00	7,35	7,35	7,97	49,89	210	722	53,6	1075,22	48,3	7,83	15
5	szyjka_3	40,00	7,33	7,33	7,94	49,51	218	655	51,5	1039,42	47,4	9,91	15

Wykres serii:



Rys. 3. Próba rozciągania szyna R340GHT

Pomiary twardości wykonano wg PN-EN ISO 6506-1:2014-12 Metale – Pomiar twardości sposobem Brinella – Część 1: Metoda badań. Pomiary wykonano dla główki szyny zastosowano twardościomierz typ B3Cs, średnice kulki $D = 10$ mm obciążenie $P = 29420$ N, czas trwania $t = 15$ sekund. Wyniki oznaczeń przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Pomiar twardości sposobem Brinella główka szyny R260 i R340GHT

Szyna	Odcisk							Odcisk średni	Twardość HBS	R _m [MPa]
R260	3,6	3,7	3,6	3,7	3,6	3,6	3,6	3,63	280	950
R340GHT	3,2	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,3	3,26	350	1174

Pomiary udarności wykonano wg PN-EN ISO 148-1:2010 Metale – Próba udarności sposobem Charpy'ego – Część 1: Metoda badania. Do badań zastosowano Młot Charapy PSd 300. Wyniki oznaczenia w 3 temperaturach dla badanych szyn przedstawiano w tablicy 2.

Tablica 2. Badania udarności stopka szyny R260 i R340GHT

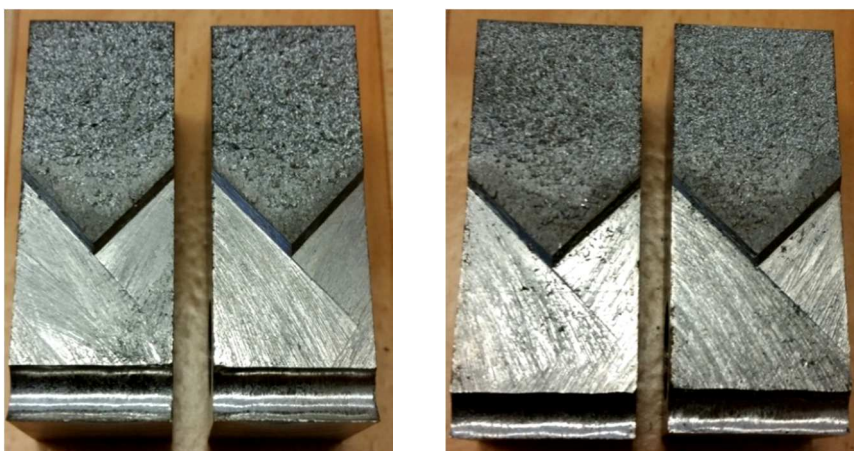
Nr próbki	Temperatura [°C]	R260 Praca łamania [J]	R340GHT Praca łamania [J]
1	20	2,9	3,1
2	20	3,3	3,4
3	20	3,2	3,0
4	0	2,5	3,2
5	0	3,2	3,2
6	0	3,7	3,2
7	-20	2,2	3,0
8	-20	2,8	2,8
9	-20	2,8	2,7

Odporność na pękanie w płaskim stanie odkształcenia przeprowadzono według normy E 399-90 (1997) Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials oraz normy PN-EN ISO 12737:2011 Metale – Określanie odporności na pękanie w płaskim stanie odkształcenia. Z powodu braku informacji na temat zachowania się próbek podczas określania odporności na pękanie, na dwóch próbkach z szyny ze stali R260 oraz na dwóch próbkach ze stali R340GHT wykonano badania wstępne (rozpoznawcze). Na pozostałych próbkach (po trzy z każdej szyny) wykonano badania zasadnicze. Badanie odporności na kruche pękanie wykonano na próbkach zwartych. Próbki wykonano o wymiarach zgodnych z wymiarami podanymi na rysunku C.1 w normie EN ISO 12737 i na rysunku A4.1 w normie E 399. Główny wymiar próbek, szerokość W przyjęto o wartości 40 mm. Jest to maksymalna wartość szerokości W jaką można było uzyskać ze względu na wymiary główek szyn, z których pobrano próbki. Pozostałe wymiary próbek są funkcją wymiaru W . Jedną z wykonanych próbek pokazano na rysunku 4. Na próbkach nacięto karb daszkowy o orientacji X–Z. Płaszczyzna karbu oraz szczelina zmęczeniowa jest prostopadła do kierunku walcowania szyny. Taką orientację karbu przyjęto na podstawie normy PN-EN 13674-1+A1: 2011 Kolejnictwo – Tor – Szyna – Część 1. Szyny kolejowe Vignole'a o masie 46 kg/m i większej [3]. Norma dotycząca badania szyn tramwajowych PN-EN 14811+A1: 2010 Kolejnictwo – Tor – Szyny specjalne – Szyny rowkowe i związane z nimi profile konstrukcyjne [4], nie przewiduje badania odporności szyn na pękanie.



Rys. 4. Próbkę zwarta do badania odporności na pękanie

Próbki po badaniu odporności na pękanie pokazano na rysunku 4. Odporność na pękanie w płaskim stanie odkształcenia (K_{IC}) oraz główne wymiary próbek podano w tablicy 3.



Rys. 5. Przełomy próbek po badaniu odporności na pękanie: strona lewa przełom szyny R260, strona prawa szyna R340GHT, widoczne strefy szczelin zmęczeniowych i strefy powstałe w czasie statycznego rozciągania próbek

Tablica 3. Badania udarności stopka szyny R260 i R340GHT

Szyna ze stali	Numer próbki	Szerokość próbki W [mm]	Grubość próbki B [mm]	Średnia długość szczeliny a [mm]	Siła krytyczna F_Q [kN]	Odporność na pękanie w płaskim stanie odkształcenia K_{IC} [MPa m ^{1/2}]
R260	2-1	40,14	20,03	20,67	17,46	47,2
	2-2	39,89	20,02	22,64	15,70	47,5
	2-3	39,88	20,02	22,35	16,33	48,1
R340GHT	3-1	39,85	20,00	22,66	15,95	48,5
	3-2	39,80	20,02	22,24	16,00	45,6
	3-3	39,83	20,02	21,72	19,90	55,7

4. Badania faktograficzne i mikrostrukturalne

Próbki do badań metalograficznych pobrane zostały z uszkodzonych szyn, w możliwie niewielkiej odległości od pęknięć. Dla szyny R260 według rys. 6 a z elementu nr 5, dla szyny R340GHT według rys. 7. Badaniu poddano także powierzchnie przełomów dla stali R260 w dwóch płaszczyznach, w płaszczyźnie równoległej oraz prostopadłej do kierunku walcowania



Rys. 6. Widok pękniętej szyny R260, z której pobrano próbki do badań metalograficznych

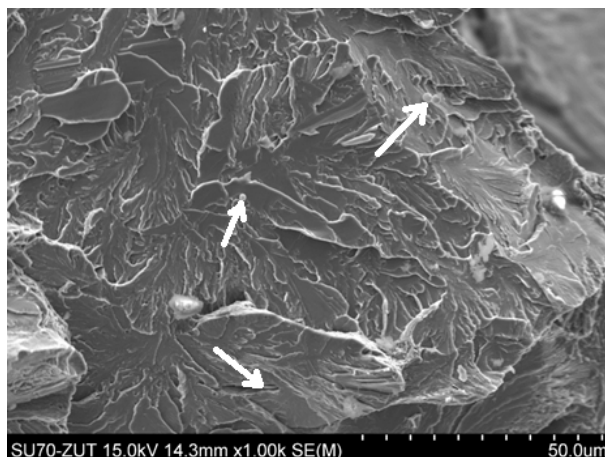
Badania przełomów prowadzono na mikroskopach elektronowych Hitachi SU-70 oraz JEOL JSM-6100. Badano przełomy na próbkach udarnościowych łamanych w temperaturze około 20°C. Na podstawie analizy zdjęć (przykładowe na rys 8 i 9) zaobserwowano – powierzchnie z doreczkami charakterystycznymi dla kruchego przełomu materiału. Widoczna są także miejsca tzw. zerw (białe pogrubione krawędzie), które świadczą o częściowym plastycznym odkształceniu materiału. Na rys. 8 wskazano obszary na przełomie wykazujące odmienny charakter pęknięcia materiału (pękanie kruche i pękanie plastyczne). Stwierdzone przełomy o takim charakterze świadczą o plastycznym pękaniu materiału. Wskazane miejsca o kruchym charakterze pęknięć odpowiadają prawdopodobnie ziarnom perlitu, natomiast pęknięcia o charakterze plastycznym odpowiadają prawdopodobnie ziarnom ferrytu.



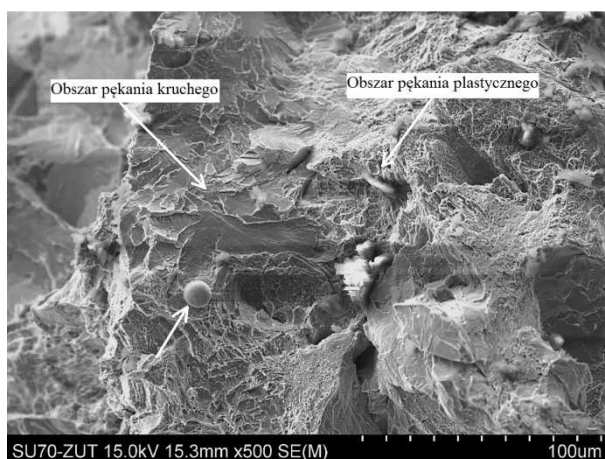
Rys. 7. Widok pękniętej szyny R340GHT, z której pobrano próbki do badań metalograficznych

Na obserwowanych przełomach szyn ze stali R260 stwierdzono mechanizm pęknięcia transkrystalicznego, tzn. przebiegającego poprzez ziarna materiału, w tym przypadku ziarna perlitu. Na powierzchni przełomu stwierdzono występowanie niewielkiej ilości obszarów nieznacznie odkształconych plastycznie, odpowiadających ziarnom ferrytu. Stwierdzono obecność wtrąceń niemetalicznych, których koncentracja widoczna jest na granicach ziaren. Widoczne na rysunku 8 i 9 wtrącenia są najprawdopodobniej siarczkiem (wtrącenia o wydłużonym kształcie) – oraz tlenkami (wtrącenia o charakterystycznym kulistym kształcie). Większe tlenki widoczne są na granicach ziaren, ale drobne wydzielения widoczne są także

wewnątrz ziaren. Na przełomach brak jest obszarów pęknięcia o charakterze międzykrystalicznym. Świadczy to raczej o tym, że granice ziaren nie są osłabione. Na przełomach szyn ze stali R340GHT stwierdzono, podobnie jak w przypadku stali R260 mechanizm pęknięcia transkrystalicznego. Nie stwierdzono jednak obecności wtrąceń niemetalicznych.



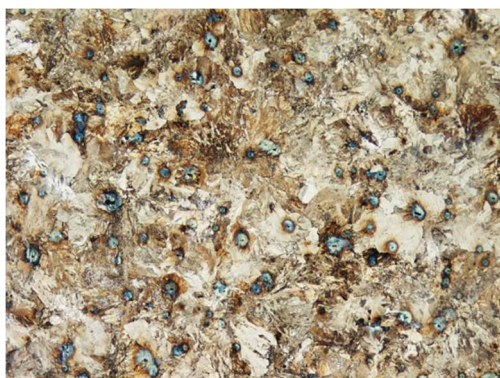
Rys. 8. Powierzchnia przełomu równoległego do kierunku walcowania szyny ze stali R260; strzałkami zaznaczone wtrącenia niemetaliczna (siarczki i/lub tlenki); pow. 1000×



Rys. 9. Powierzchnia przełomu prostopadłego do kierunku walcowania szyny ze stali R260; strzałkami zaznaczone wtrącenia niemetaliczna (siarczki i/lub tlenki); pow. 500×

Do badań mikrostrukturalnych próbki po wycięciu zostały zainkludowane w specjalnej żywicy PolyFast firmy Struers o właściwościach przewodzących, przeznaczonej do badań mikroskopią elektronową. Następnie wykonano zglądy metalograficzne poprzez szlifowanie i polerowanie mechaniczne. Badania metalograficzne prowadzono przy użyciu mikroskopu świetlnego Nikon MM-40 oraz mikroskopów elektronowych skaningowych (SEM) Hitachi SU-70 i JEOL JSM-6100. Po wykonaniu obrazów na powierzchniach nietrawionych próbki poddano trawieniu odczynnikiem Nital i ponownie badano mikrostrukturę materiału. Przy pomocy mikroskopu SEM rejestrowano obrazy elektronów wtórnych (SEI) oraz elektronów

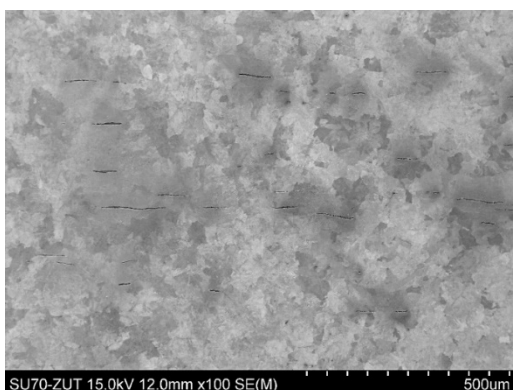
wstecznie rozproszonych (BEI). Badania składu chemicznego przeprowadzono metodą mikroanalizy rentgenowskiej z dyspersją energii EDS (Energy Dispersive Spectrometry) przy użyciu systemu Noran 7 firmy Thermo Scientific. Stosowano napięcie przyspieszające 15 kV.



Rys. 10. Powierzchnia przekroju główki szyny R260 prostopadła do kierunku walcowania; pow. 100×; zgląd trawiony

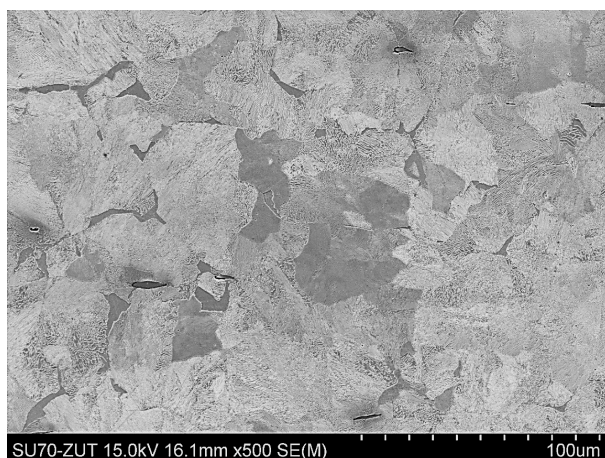


Rys. 11. Powierzchnia przekroju główki szyny R340GHT równoległa do kierunku walcowania; pow. 100×; zgląd nietrawiony

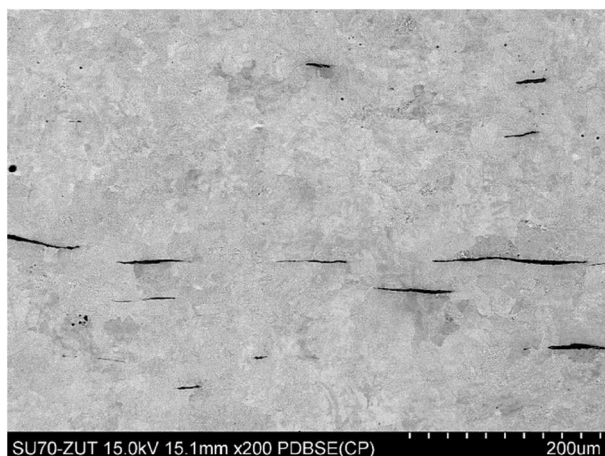


Rys. 12. Mikrostruktura przekroju szyjki szyny R260 równoległa do kierunku walcowania; pow. 100×; zgląd trawiony (SEI)

Obserwacje mikroskopowe pozwoliły na stwierdzenie, że wszystkie z badanych próbek posiadają strukturę perlityczną z niewielkim udziałem ferrytu. Materiał poddany badaniu zawiera duże ilości wtrąceń niemetalicznych (siarczków) o zróżnicowanej wielkości. Tworzą one pasma wydzieleń, których koncentracja widoczna jest szczególnie w środkowej części przekroju szyjki szyny. Ponadto na rys. 13 widoczna jest siatka ferrytu na granicach ziaren perlitu. Ma ona jednak charakter otwarty, to znaczy nie tworzy zamkniętych obszarów wokół ziaren perlitu. Koncentracja i rozłożenie wtrąceń niemetalicznych oraz ziaren ferrytu nie przekracza dopuszczalnych ilości ujętych w normie dla szyn kolejowych EN 13674-1+A1:2011 [3].

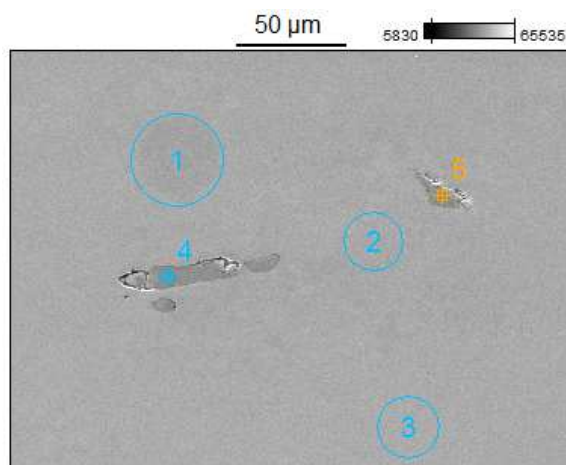


Rys. 13. Mikrostruktura przekroju szyjki szyny R260 prostopadła do kierunku walcowania; pow. 500×; zgląd trawiony (SEI)

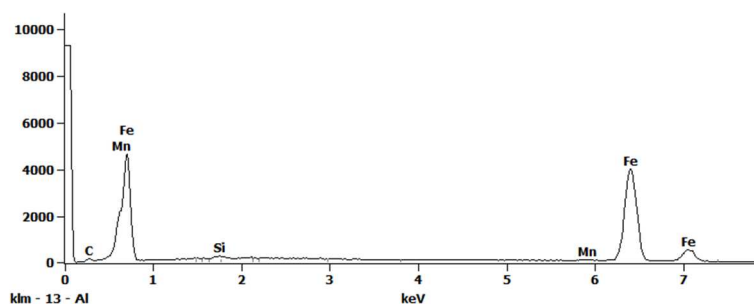


Rys. 14. Mikrostruktura przekroju szyjki szyny R260 równoległa do kierunku walcowania; pow. 200×; zgląd trawiony (BEI)

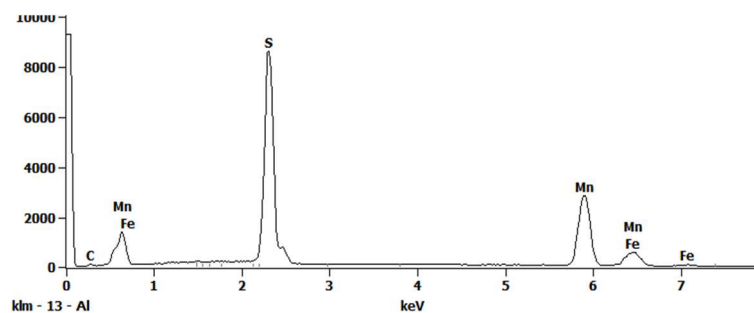
Na rysunkach 16 i 17 przedstawiono widma EDS zebrane z obszaru przekroju równoległego do kierunku walcowania na zglądzie metalograficznym dla szyny R260 (rys. 15). Wykonana analiza EDS jednoznacznie potwierdza siarczkowy charakter wydzieleń. Nie stwierdzono podwyższonej ilości tlenu ani w wydzieleniach, ani w osnowie.



Rys. 15. Powierzchnia przekroju równoległego do kierunku walcowania na zglądzie metalograficznym szyny R260 (SEI) z punktami pomiaru EDS



Rys. 16. Widmo EDS zebrane w punkcie 1



Rys. 17. Widmo EDS zebrane w punkcie 5

5. Badania składu chemicznego

Badania składu chemicznego wykonano metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z wyładowaniem jarzeniowym GDOES (Glow Discharge Optical Emission Spectrometry) na urządzeniu GD Profiler 2 firmy Horiba Jobin Yvon. Pomiary zostały wykonane w ZUT Wykonano badania w 6 obszarach wg rys. 18 na przekroju poprzecznym szyny. Wyniki pomiarów składu chemicznego przedstawiono w tablicy 4.



Rys. 18. Przekrój poprzeczny przez główki szyny tramwajowych z miejscami analiz GDOES

Tablica 4. Skład chemiczny materiału R340GHT

Pierwiastek	Szyna R260		Szyna R340GHT	
	[% mas.]	odchylenie standardowe	[% mas.]	odchylenie standardowe
Fe	Reszta	-	Reszta	-
C	0,738	0,014	0,822	0,021
Mn	1,113	0,022	1,233	0,018
Si	0,284	0,004	0,389	0,005
P	0,021	0,001	0,013	0,000
S	0,021	0,001	0,015	0,001
Cr	0,046	0,001	0,057	0,001
Ni	0,015	0,001	0,042	0,001
Mo	0,017	0,001	0,018	0,001
V	56 ppm	4 ppm	36 ppm	3 ppm
W	0,030	0,001	0,029	0,001
Cu	0,025	0,001	0,040	0,001
Ti	0,013	0,001	0,012	0,000
Co	0,023	0,001	0,024	0,001
Nb	32 ppm	8 ppm	41 ppm	15 ppm
Sn	0,047	0,011	0,039	0,010
B	5 ppm	1 ppm	6 ppm	1 ppm

Zawartość wodoru i tlenu badano za pomocą analizatora azotu, tlenu i wodoru LECO TECH – 600 metoda adsorpcji w podczerwieni po stopieniu w piecu indukcyjnym w gazie obojętnym. Uzyskano następujące zawartości wodoru [ppm] dla stali R260 – $0,4 \pm 0,2$ i $1,1 \pm 0,3$ dla stali R340GHT. Zawartość tlenu [ppm] wynosiła odpowiednio $19,8 \pm 3,5$ i $8,0 \pm 3,5$.

6. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań składu chemicznego stwierdzono, że skład chemiczny obu badanych szyn ze stali R260 i R340GHT mieści się w zakresie przewidywanym w normie PN-EN 14811+A1 [4], a w przypadku wodoru i tlenu także w zakresie przewidywanym przez normę dla szyn kolejowych EN 13674-1+A1 :201[4].

Na podstawie przeprowadzonych badań odporności na kruche pękanie stwierdzono, że oznaczone odporność na pękanie w płaskim stanie odkształcenia K_{IC} dla szyn tramwajowych ze stali R260 lub R340GHT w każdym przypadku mają wartości większe od $35 \text{ MPa m}^{1/2}$. Badane szyny spełniają wymagania normy [3] dotyczące odporności na kruche pękanie. Oba badane gatunki stali mają strukturę stali perlitycznej, z niewielką ilością ferrytu. W badanych materiałach występują liczne wtrącenia niemetaliczne o charakterze siarczowym, tworzą one pasma wydzielen, których koncentracja widoczna jest szczególnie w środkowej części

przekroju szyjki szyny; ponadto w materiale szyny R260 stwierdzono występowanie niewielkiej koncentracji wtrąceń o charakterze tlenkowym. Stwierdzone ilości wtrąceń nie przekracza ilości dopuszczalnych opisanych w normie dla szyn kolejowych [3].

Stwierdzone wytrzymałości na rozciąganie oraz twardości HBS spełniają wymagania normowe. Wydłużenie przy zerwaniu dla szyn R260 określone dla próbek z główki szyny w dwóch przypadkach spełnia wymagania normowe w jednym przypadku nie spełnia wymagań $< 10\%$. W przypadku szyn R340GHT wydłużenie przy zerwaniu dla szyn dla próbek pobranych z główki szyny w jednym przypadku spełnia oraz w jednym przypadku nie spełnia wymagania normowego $< 9\%$. W przypadku próbek do pobranych z szyjki szyn należy stwierdzić, że stwierdzono znaczące rozrzuty pod względem wydłużenia przy zerwaniu; w przypadku szyn ze stali R260 w dwóch próbkach stwierdzono wydłużenie równe 9,48 i 9,24% a jednym aż 13,07% (różnica ok. 3,7% wydłużenia); w przypadku szyn ze stali R340GHT stwierdzono wydłużenie równe 13,54, 7,83 i 9,91% (różnica wydłużenia pomiędzy skrajnymi wartościami 5,71% wydłużenia).

Stwierdzone pęknięcia podłużne przez spaw i szyjkę szyny można wytłumaczyć działaniem naprężenia cieplnego powstającego podczas spawania termitowego. Złożony i zróżnicowany pod względem grubości profil szyn tramwajowych utrudnia spawanie szyn i przyczynia się do bardzo niekorzystnego rozkładu ciepła podczas spawania. To powoduje powstanie szerokiej strefy w obrębie spoiny mając niekorzystny wpływ na strukturę, a w konsekwencji – właściwości mechaniczne – wydłużenie, udarność i twardość [5]. Wykonane badania szyn wykazały, iż posiadają one właściwości sprzyjające powstawaniu i propagacji pęknięć. Porównując wymagania zawarte w obydwu normach dotyczących szyn tramwajowych [4] oraz kolejowych [3] należy stwierdzić, iż wymagania zawarte w normie tramwajowej są zdecydowanie za wąskie i należałoby je rozszerzyć o wymagania jak dla szyn kolejowych.

Literatura

1. Kądziołka A.: Termitowe spawanie – rys historyczny, zmiany, postęp, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna, Spawalnictwo dróg szynowych – jakość, niezawodność, bezpieczeństwo, SITK Warszawa – Bochnia 12–14 maja 2010.
2. Id-5 (D7) Instrukcja spawania szyn termitem. Tekst ujednolicony. PKP Polskie Linie Kolejowe, Warszawa 2005.
3. PN-EN 13674-1+A1: 2011 Kolejnictwo – Tor – Szyna – Część 1. Szyny kolejowe Vignole’a o masie 46 kg/m i większej.
4. PN-EN 14811+A1: 2010 Kolejnictwo – Tor – Szyny specjalne – Szyny rowkowe i związane z nimi profile konstrukcyjne.
5. Wielgosz R.: Łączenie bezстыkowe szyn kolejowych, Czasopismo Techniczne Mechanika, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2-M/2009 zeszyt 6 str. 7–19.

THE RESEARCHES OF TRAM RAILS 60R2 (STEAL R260 AND R340GHT) IN TERMS OF THERMITE WELD CRACKS

Abstract: The paper presents results of research tram rail 60R2 (steal R260 and R340GHT). Rails were from sections in which at the beginning of 2016 year occurred cracking. Rails were welded by thermite. Cracks were the same in every case – they were horizontally to the weld and rail web. Rails cracked at regular and nonregular rail tracks after half year of exploitation. The researches included qualification of yield strength, tensile strength, Brinell hardness, impact testing in $-20, 0, +20^{\circ}\text{C}$, chemical composition, amount of hydrogen and oxygen, fracture toughness test. The authors have made photographs-optical microscope, electron microscope, roentgen analysis EDS. Results compared with PN-EN 14811+A1:2010 (tram rails) and PN EN 13674-1:2011 (train rails).

Keywords: tram rails, thermite welding, tram railway, strength properties