



SGS Polska Sp. z o. o.  
Laboratorium SGS Polska  
Pracownia Badań Nieniszczących  
ul. Gronowa 81, 61-655 Poznań

Tytuł: **Ekspertyza dotycząca wyjaśnienia przyczyny pęknięcia szyn  
w rejonie wykonanych spawów termitowych na torowisku  
w ciągu ulic: Energetyków – Gdańskiej – Basen Górniczy  
w Szczecinie**

Nr 55/34/NDT/16 z dnia 07.03.2016 r.

Klient: **Energopol-Szczecin S.A., ul. Św. Floriana 9/13, 70-646 Szczecin**

Oferta SGS:-

Zlecenie nr: **325/508-950/2016**

Zlecenie z dnia: **20.01.2016**

Osoba kontaktowa ze strony Zamawiającego: **Bogdan Osowski (+48506039158)**

Wydanie dokumentu: 0

Opracował:	Zatwierdził:
<p><b>SGS Polska Sp. z o.o.</b> <i>Tomalak</i> <b>Łukasz Tomalak</b> Inspektor NDT UDT-CERT 03513</p>	<p><b>SGS Polska Sp. z o.o.</b> <i>Robert Ostrach</i> <b>Robert Ostrach</b> Główny Specjalista NDT UDT-CERT 00144</p>

**Przedstawione wyniki badań, wyniki ekspertyz odnoszą się tylko i wyłącznie do przebadanych, ocenianych obiektów. Opracowanie zostało przygotowane na podstawie informacji zebranych podczas Inspekcji oraz uzyskanych od Klienta. Ekspertyza nie może być powielana inaczej, jak tylko w całości.**

## 1. Przedmiot ekspertyzy

Przedmiotem ekspertyzy były próbki do badań termitowych złączy szynowych wraz z przyległą do nich szyną w postaci odcinków wyciętych z następujących lokalizacji:

**Tabela 1. Oznaczenia próbek**

Lp.	Numer nadany próbce	Tor szynowy (p-prawy, l-lewy)	Hektometr projektowy
1.	E 604	L	TOR A: 604/340 GHT
2.	P 2001	P	TOR B: 2001/R260
3.	92	L	TOR A:254/R260
4.	ASL 2003	L	TOR A:2003 R260

## 2. Zakres prac zrealizowanych przez SGS

Zakres prac realizowanych przez SGS na potrzeby ekspertyzy:

- analiza składu chemicznego,
- pomiary twardości,
- badania wytrzymałościowe,
- badania mikroskopowe.
- ocena makroskopowa próbek wytypowanych do badań.

## 3. Cel ekspertyzy

Celem przeprowadzonej ekspertyzy było określenie czynników będących przyczyną pęknięcia szyn w miejscach wykonanych spawów termitowych na torowisku ulic: Energetyków -Gdańskiej-Basen Górniczy w Szczecinie.

## 4. Ekspertyza

### 4.1 Analiza składu chemicznego

Analizę składu chemicznego przeprowadzono na podstawie badań za pomocą Optycznego spektrometru emisyjnego (kwantometr) produkcji ARL, Szwajcaria, typ 3460, nr fabr.705, posiadającego ważne sprawdzenie.

**Tabela 2. Konfiguracja materiałowa materiału rodzimego szyny – stal R260**

Wyniki badań składu chemicznego – stal R260 (1.0623)								
Lp.	Pierwiastek							Uwagi
	C	Si	Mn	P	S	Al	Mo	
1.	0,75	0,30	0,91	0,02	0,02	<0,001	0,002	Wyniki przeprowadzonych badań stali
2.	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,03	0,03	0,004	0,02	Wymagania normy PN-EN 14811+A1 stawiane stali

**Uwagi/wymagania:**  
- skład chemiczny próbki numer 1/2/16-R260-R odpowiada wymaganiom EN 14811:2006+A1:2009 dla gatunku stali R260 (1.0623)

**Tabela 3. Konfiguracja materiałowa materiału rodzimego szyny – stal R340 GHT**

Wyniki badań składu chemicznego – stal R340 GHT (1.0638)								
Lp.	Pierwiastek							Uwagi
	C	Si	Mn	P	S	Al	Mo	
1.	0,76	0,40	1,01	0,01	0,01	<0,001	0,001	Wyniki przeprowadzonych badań stali
2.	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,03	0,03	0,004	0,02	Wymagania normy PN-EN 14811+A1 stawiane stali

**Uwagi/wymagania:**  
**Uwagi/wymagania:**  
- skład chemiczny próbki numer 1/2/16-R340-R odpowiada wymaganiom EN 14811:2006+A1:2009 dla gatunku stali R340 GHT(1.0638)

**Tabela 4.** Skład chemiczny materiału spoiny: w konfiguracji materiałowej stal R260 – spoina – stal R260

Wyniki badań składu chemicznego materiału spoiny w konfiguracji materiałowej stal R260 – spoina – stal R260								
Lp.	Pierwiastek							Uwagi
	C	Si	Mn	P	S	Al	Mo	
1.	0,62	1,28	0,71	0,02	0,01	0,165	0,038	Wyniki przeprowadzonych badań spoiny
2.	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,03	0,03	0,004	0,02	Wymagania normy PN-EN 14811+A1 stawiane stali

**Uwagi/wymagania:**  
- skład chemiczny próbek numer 1/2/16-R260-S wykazuje na podwyższoną zawartość Si, Al oraz Mo w odniesieniu do wymagań EN 14811:2006+A1:2009 dla gatunku stali R260 (1.0623)

**Tabela 5.** Skład chemiczny materiału spoiny: w konfiguracji mat. stal R340 GHT – spoina – stal R340 GHT

Wyniki badań składu chemicznego materiału spoiny w konfiguracji materiałowej stal R340GHT – spoina – stal R340GHT								
Lp.	Pierwiastek							Uwagi
	C	Si	Mn	P	S	Al	Mo	
1.	0,74	1,37	0,95	0,02	0,01	0,335	0,034	Wyniki przeprowadzonych badań spoiny
2.	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,03	0,03	0,004	0,02	Wymagania normy PN-EN 14811+A1 stawiane stali

**Uwagi/wymagania:**  
- skład chemiczny próbek numer 1/2/16-R260-S wykazuje na podwyższoną zawartość Si, Al oraz Mo w odniesieniu do wymagań 14811:2006+A1:2009 dla gatunku stali R340GHT (1.0638)

## 4.2 Badania wytrzymałościowe

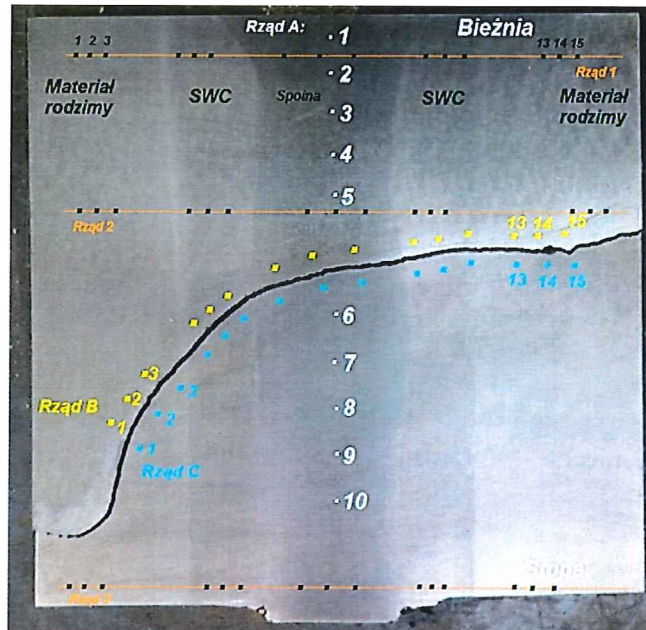
Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na maszynie Zwick & Co, Niemcy, typ BT1-FR250SR.A4K, nr fabr. 181949, posiadającej ważne świadectwo wzorcowania.

**Tabela 6.** Wyniki próby rozciągania

Numer próbki	d <sub>0</sub> [mm]	L <sub>0</sub> [mm]	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	Z [%]
1/2/16-R340GHT (próbka wzdłużna)	8,0	40,0	653	1082	9,0	23,4
Niepewność pomiaru			5	9	0,2	4,0
1/2/16-R340GHT (próbka poprzeczna)	8,0	40,0	645	1050	9,1	23,4
Niepewność pomiaru			5	8	0,2	4,0
1/2/16-R260 (próbka wzdłużna)	8,0	40,0	587	962	10,3	27,8
Niepewność pomiaru			5	8	0,2	3,8
1/2/16-R260 (próbka poprzeczna)	8,0	40,0	593	954	9,3	27,8
Niepewność pomiaru			5	8	0,2	3,8

### 4.3 Pomiary twardości

Pomiary twardości wykonano zgodnie z rozmieszczeniem punktów pomiarowych zawartych na rysunku numer 1. Wyniki dla próbki 1/2/16-R260 zestawiono w tabelach numer 7, 8, 9.



Rys. 1 Rozmieszczenie punktów do pomiaru twardości. Próbka 1/2/16-R260

Tabela 7. Wyniki pomiarów twardości HV10 Próbka 1/2/16-R260 – rzędy 1, 2 i 3 (zgodnie z rys 1).

Punkt pomiarowy	Twardość HV10 – próbka nr 1/2/16-R260		
	Rząd 1 (bieżnia)	Rząd 2 (1/2 wysokości)	Rząd 3 (stopa)
1 (materiał rodzimy)	298	298	293
2 (materiał rodzimy)	293	298	298
3 (materiał rodzimy)	298	295	303
4 (strefa wpływu ciepła)	329	310	308
5 (strefa wpływu ciepła)	335	332	324
6 (strefa wpływu ciepła)	350	341	341
7 (spoina)	329	324	307
8 (spoina)	324	307	319
9 (spoina)	329	319	307
10 (strefa wpływu ciepła)	354	341	324
11 (strefa wpływu ciepła)	335	307	319
12 (strefa wpływu ciepła)	350	332	329
13 (materiał rodzimy)	288	312	319
14 (materiał rodzimy)	274	298	324
15 (materiał rodzimy)	274	284	324

Tabela 8. Próbka nr 1/2/16-R260. Pomiar twardości HBW2,5/187,5 (zgodnie z rys 1).

Punkt pomiarowy	Twardość HBW2,5/187,5 - rząd A
	próbka nr 1/2/16-R260
1	285
2	300
3	306
4	298
5	288
6	297
7	298
8	274
9	302
10	297

**Tabela 9.** Próbkę nr 1/2/16-R260. Pomiar twardości HBW2,5/187,5 (zgodnie z rys 1).

Punkt pomiarowy	Twardość HBW2,5/187,5 - próbka nr 1/2/16-R260	
	rzęd B	rzęd C
1 (materiał rodzimy)	304	288
2 (materiał rodzimy)	306	290
3 (materiał rodzimy)	298	286
4 (strefa wpływu ciepła)	290	306
5 (strefa wpływu ciepła)	307	311
6 (strefa wpływu ciepła)	307	315
7 (spoina)	298	304
8 (spoina)	297	293
9 (spoina)	295	306
10 (strefa wpływu ciepła)	309	317
11 (strefa wpływu ciepła)	311	323
12 (strefa wpływu ciepła)	286	311
13 (materiał rodzimy)	283	309
14 (materiał rodzimy)	295	311
15 (materiał rodzimy)	290	311



Rys.2 Rozmieszczenie punktów do pomiaru twardości. Próbka 1/2/16-R340GHT

**Tabela 10.** Wyniki pomiarów twardości HV10 Próbkę nr 1/2/16-R340GHT – rzędy 1,2 i 3.

Punkt pomiarowy	Twardość HV10 – próbka nr 1/2/16-R340GHT		
	Rzęd 1 (bieżnia)	Rzęd 2 (1/2 wysokości)	Rzęd 3 (stopa)
1 (materiał rodzimy)	293	280	288
2 (materiał rodzimy)	284	288	293
3 (materiał rodzimy)	288	274	280
4 (strefa wpływu ciepła)	335	341	298
5 (strefa wpływu ciepła)	327	329	307
6 (strefa wpływu ciepła)	354	307	307
7 (spoina)	341	291	338
8 (spoina)	335	344	344
9 (spoina)	329	324	335
10 (strefa wpływu ciepła)	335	319	329
11 (strefa wpływu ciepła)	329	312	307
12 (strefa wpływu ciepła)	329	303	298
13 (materiał rodzimy)	324	307	288
14 (materiał rodzimy)	335	303	298
15 (materiał rodzimy)	341	319	303

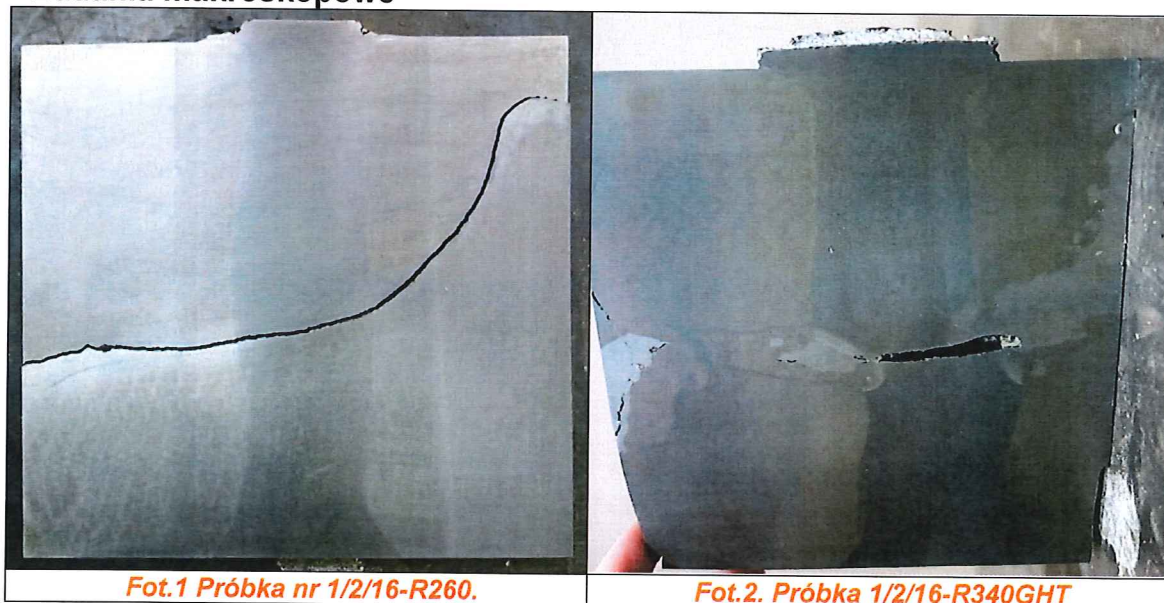
**Tabela 11.** Próbką nr 1/2/16-R340GHT. Pomiar twardości HBW2,5/187,5

Punkt pomiarowy	Twardość HBW2,5/187,5 - rząd A
	próbka nr 1/2/16-R340GHT
1	311
2	313
3	317
4	304
5	307
6	317
7	315
8	326
9	319
10	317

**Tabela 12.** Wyniki pomiarów twardości HBW2,5/187,5 materiału rodzimego. Próbkę 1/2/16-R340GHT oraz nr 1/2/16-R260. Pomiar od bieżni w kierunku stopy.

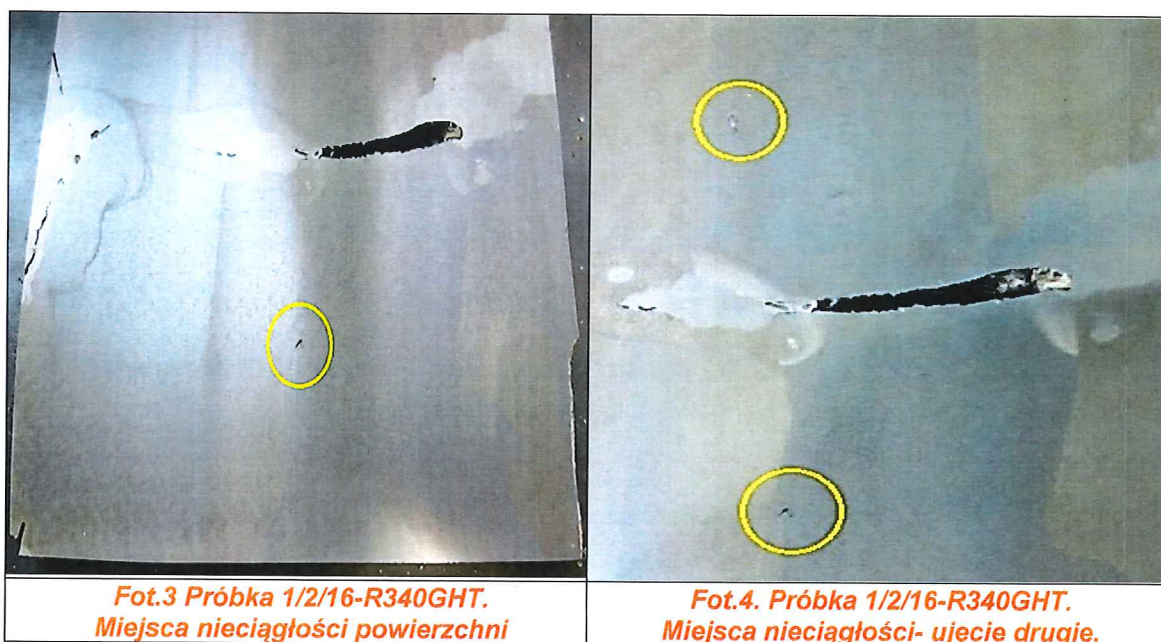
Odległość od bieżni [mm]	Twardość HBW2,5/187,5	
	próbka nr 1/2/16-R340GHT	próbka nr 1/2/16-R260
0,5	417	325
10	378	290
20	341	275
30	323	257
40	317	263
50	304	269
60	304	266
70	309	268
80	302	278
90	292	280
100	285	272
110	288	272
120	293	274
130	300	269
140	304	271
150	307	272
160	306	271
170	311	278

#### 4.4 Badania makroskopowe



Fot.1 Próbką nr 1/2/16-R260.

Fot.2. Próbką 1/2/16-R340GHT



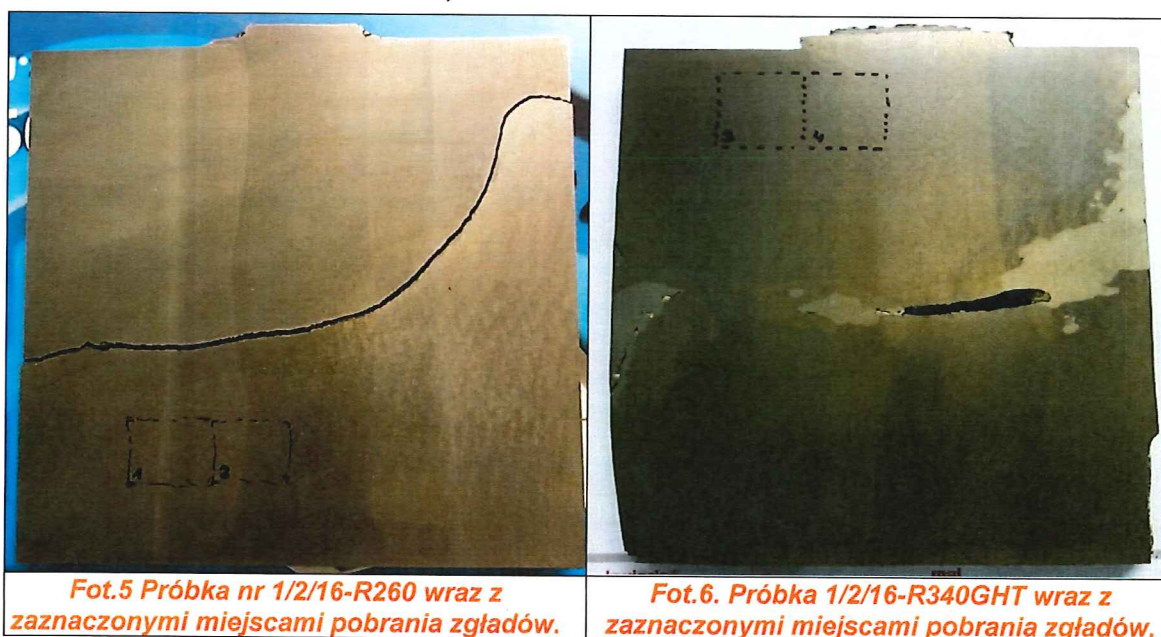
#### 4.5 Ocena mikroskopowa próbek wytypowanych do badań

Miejsca pobierania próbek do badań mikroskopowych przedstawiono na fotografiach. Fotografia numer 5 przedstawia miejsca wycięcia:

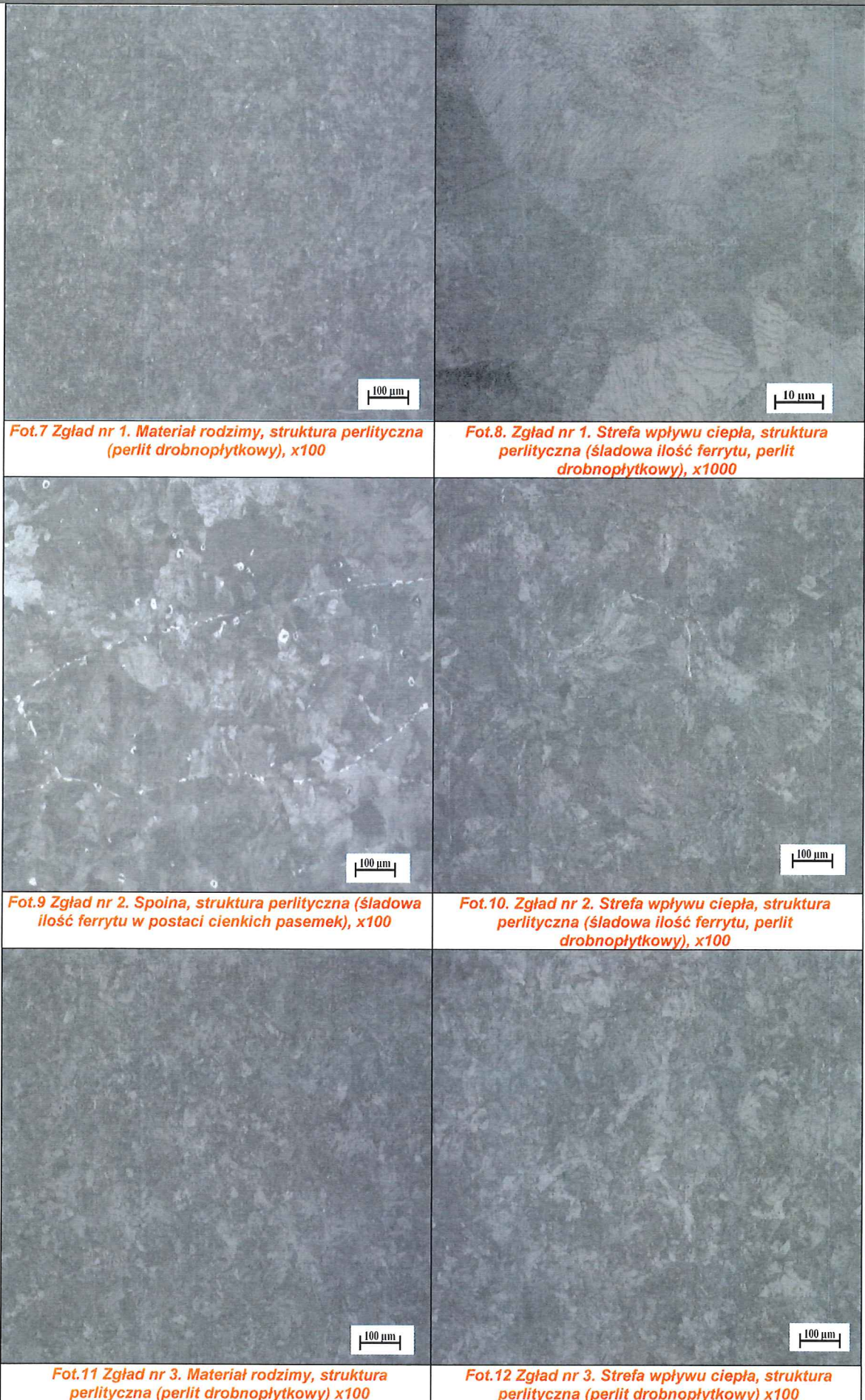
- zglądu metalograficznego nr 1 (pomiędzy materiałem rodzimym a strefą wpływu ciepła na próbce numer 1/2/16-R260),
- zglądu metalograficznego nr 2 (pomiędzy strefą wpływu ciepła a spoiną na próbce numer 1/2/16-R260).

Fotografia numer 6 przedstawia miejsca wycięcia:

- zglądu metalograficznego nr 3 (pomiędzy materiałem rodzimym a strefą wpływu ciepła na próbce numer 1/2/16-R340GHT),
- zglądu metalograficznego nr 4 (pomiędzy strefą wpływu ciepła a spoiną na próbce numer 1/2/16- R340GHT).



Obserwacje mikroskopowe wykonano za pomocą mikroskopu metalograficznego Axio Observer A1m, w zakresie powiększeń 50x-1000x, na zglądach trawionych Nitałem (4% $\text{HNO}_3$ ).







## 5. Wnioski

**5.1** Badania nieniszczące (ultradźwiękowe) przeprowadzone na szynach nie wykazały występowania niezgodności w materiale rodzimym – wynik poniżej poziomu rejestracji.

**5.2** Skład chemiczny próbki numer 1/2/16-R260-R odpowiada wymaganiom EN14811:2006+A1:2009 dla gatunku stali R260 (1.0623). Skład chemiczny próbki numer 1/2/16-R340-R odpowiada wymaganiom EN 14811:2006+A1:2009 dla gatunku stali R340 GHT (1.0638).

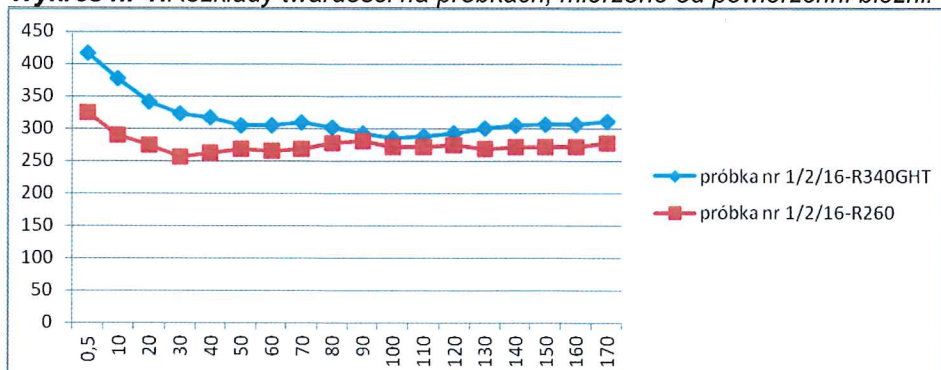
W obszarze spoiny wyniki składu chemicznego wskazały zawyżoną zawartość Krzemu (Si), Molibdenu (Mo) i Aluminium (Al). Przekroczenia w wynikach składu chemicznego materiału spoiny kształtujące się na podobnym poziomie, mogą sugerować zastosowanie identycznego spoiwa dla obydwu badanych próbek. Zawartość wymienionych pierwiastków wpływa na lepsze odgazowanie materiału spoiny. Podobny rozkład twardości na spoinie wskazuje na zbliżone wyniki twardości obydwu spawanych gatunków.

**5.3** Próba rozciągania:

- szyna R260 potwierdziła wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 14811+A1: 2009, wydłużenie materiału spoiny wykazało wartości mniejsze o 7% - wydłużenie spełnia wymagania normy w odniesieniu do materiału rodzimego, jest to wartość nie mająca wpływu na mechanikę pękania.
- szyna R340GHT wynik wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  jest zaniżony o 11% zarówno w materiale jak i spoinie w odniesieniu do wymagań normy- wydłużenie spełnia wymagania normy, jest to wartość nie mająca wpływu na mechanikę pękania.

**5.4** Próba twardości wykazała poprawne utwardzenie materiału na powierzchni toczonej, co obrazuje wykres numer 1 i tabela numer 12.

**Wykres nr 1.** Rozkłady twardości na próbkach, mierzone od powierzchni bieżni.



**5.5** Zgłady metalograficzne nie wykazały zaburzeń struktury materiału rodzimego, strefy wpływu ciepła (SWC) i spoiny. Obserwacja mikroskopowa na przekroju złącza spawanego nie wykazała karbów strukturalnych w postaci obszarów martenzytu.

Z punktu widzenia metalografii spoiny, procesy krzepnięcia przebiegały poprawnie, a rozkłady twardości wykonane przez spoinę, SWC i materiał rodzimy wskazują na ustabilizowany proces.

**5.6** Przyczyna pękania określona na podstawie przedstawionych wyników badań jest procesem złożonym i może występować losowo na wykonanych spoinach pod wpływem nakładania się poniższych czynników:

- występowanie niezgodności w pobliżu strefy wpływu ciepła SWC (możliwe zalanie spoiwem nieoczyszczonych końcówek szyn) fot 3 i 4,
- powstanie naprężeń w szyjce szyny przy niestabilnym studzeniu elementu – szyjka szyny podlega największym stresom cieplnym wywołanym grubością nadlewu, który zwiększa dwukrotnie objętość materiału w obszarze spoiny oraz przy jednoczesnym szybkim studzeniu z uwagi na rozwiniętą powierzchnię i mniejszą grubość w stosunku do toru i stopy szyny.