

WŁAŚCIWOŚCI STALI PŁASZCZY PIĘCIU ZBIORNIKÓW CYLINDRYCZNYCH O $V = 1500 \text{ m}^3$ W ŚWIEŁIE BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH

WICHTOWSKI BERNARD, e-mail: marekw@zut.edu.pl

RYSZARD PAKOS

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Streszczenie: W trakcie wykonywania projektu modernizacji zespołu pięciu zbiorników cylindrycznych z dachem stałym o pojemności $V = 1500 \text{ m}^3$ każdego, uzyskano nietypowe wyniki z badań materiałowo-wytrzymałościowych ich stali. Konstrukcje wybudowane w 1973 roku zostały wykonane ze stali normalizowanej gatunku 18G2A. W referacie przedstawiono ocenę stanu technicznego konstrukcji zbiorników oraz badania chemiczne i mechaniczne, w zakresie makro i mikro starzonej i normalizowanej stali ich płaszczy. Prawdopodobnie przedstawione badania starzeniowo-degradacyjne tego gatunku stali nie były dotąd opisane w literaturze.

Słowa kluczowe: zbiornik, stal normalizowana, procesy starzeniowe

1. Wstęp

W jednym z zakładów przemysłowych, w ramach projektu modernizacji postanowiono zwiększyć pojemność pięciu zbiorników o 30% każdego. Fakt ten wymagał wykonania obliczeń wytrzymałościowych ich konstrukcji. Niestety, użytkownik posiadał jedynie szcątkową dokumentację projektową zbiorników, w postaci jednego rysunku konstrukcji dachowej. Postanowiono przeprowadzić ekspertyzę techniczną zbiorników celem wykonania inwentaryzacji konstrukcji, oceny ich stanu technicznego oraz badań materiałowych. Uzyskane wyniki z powyższych badań przedstawiono w niniejszym referacie.

2. Konstrukcja zbiorników

Aktualny widok zespołu pięciu zbiorników przedstawiono na rysunku 1, a ich geometrię konstrukcyjną podano na schemacie w tablicy 1. Cylindryczne zbiorniki o pojemności $V = 1500 \text{ m}^3$ zostały wykonane w 1973 r. z przeznaczeniem na magazynowanie kwasu fosforowego. Z powodu zmian w technologii produkcji zakładu, w zbiornikach przez cały okres ich użytkowania magazynowany jest ciekły nawóz ogrodniczy.

Wszystkie zbiorniki posadowione są na żelbetowym fundamencie płytowym o średnicy 14,40 m i grubości 1,10 m, posadowionym bezpośrednio na gruncie w poziomie -0,80 m (rys. 2). Stalowy płaszcz zbiorników o średnicy $D_w = 13,0 \text{ m}$, jest wykonany z sześciu dolnych pierścieni o wysokościach 1,75 m i pierścienia górnego o wysokości 1,50 m. Wyjściowo dwa dolne pierścienie I i II zaprojektowano z blachy grubości 12 mm, dwa następne III i IV z blachy $t = 10 \text{ mm}$, a trzy górne V, VI i VII z blachy o $t = 8 \text{ mm}$. Pokrycia dachu wykonano z 24 stożkowych odcinków blachy o grubości 6 mm, połączonych między sobą spoinami czołowymi i spoinami pachwinowymi $a = 4 \text{ mm}$ z zewnątrznie założoną konstrukcją nośną (rys. 3). Według projektu pokrycie wykonano z blachy gatunku St3SX spawanej elektrodami ER 3.46.

Płaszcze zbiorników i pokrycia dachowe, od środka zbiorników zabezpieczone są wykładziną gumową o grubości $t = 5$ mm, a dna wyłożone są płytkami kwasoodpornymi.



Rys. 1. Widok ogólny zespołu 5 zbiorników



Rys. 2. Posadowienie zbiorników na tacach antykorozyjnych



Rys. 3. Konstrukcja dachu zbiornika

3. Grubość blach zbiorników

W odpowiednio przygotowanych punktach, po stronie zewnętrznej zbiorników, mierzono grubość blach: dna, płaszcza i pokrycia. Pomiary wykonano za pomocą grubościomierza

ultradźwiękowego SONO M410 produkcji Matison Polska, w punktach: a, b, c zaznaczonych na schemacie zbiornika zamieszczonego w tablicy 1.

Zmierzone zakresy grubości blach oraz grubość średnią badanego elementu poszczególnego zbiornika podano w kolumnach 3–7 tablicy 1. Uwzględniając wartość błędu pomiaru $\pm 0,1$ mm, stwierdza się, że założona od wewnątrz zbiornika powłoka gumowa w pełni zabezpiecza grubości blach przed korozją.

Praktycznie wszystkie określone odchyłki pomierzonych grubości blach poszczególnego zbiornika od grubości projektowanych mieszczą się w wartościach odchyłek walcowniczych według normy PN-71/H-92203, które wynoszą:

- dla $t < 11$ mm – $\Delta t =$ od $-0,5$ do $+0,4$ mm;
- dla $t < 11$ –14 mm – $\Delta t =$ od $-0,7$ do $+0,5$ mm.

Tablica 1. Pomierzone grubości blach konstrukcji 5 zbiorników

Schemat zbiornika	Element	Zakres grubości i grubość średnia, mm				
		Numer zbiornika				
		1	2	3	4	5
	Dach	5,7–6,0 5,81	5,8–6,0 5,94	5,6–5,8 5,64	5,8–6,1 5,89	5,7–5,9 5,81
	VII	7,3–7,6 7,43	8,0–8,4 8,20	7,5–7,8 7,63	7,8–7,9 7,87	7,8–7,7 7,62
	VI	8,4–8,8 8,55	7,5–8,0 7,72	7,9–8,2 8,12	7,5–7,8 7,64	7,8–8,0 7,91
	V	8,3–8,7 8,53	7,6–7,8 7,75	8,2–8,4 8,34	7,6–7,8 7,68	7,8–8,0 7,91
	IV	10,3–10,7 10,50	9,5–9,8 9,60	9,9–10,1 9,96	9,6–9,9 9,73	9,5–9,8 9,65
	III	9,8–10,4 10,15	9,9–10,2 9,97	9,3–9,6 9,41	9,6–9,8 9,69	9,6–9,8 9,72
	II	12,0–12,5 12,32	12,1–12,5 12,30	11,6–11,9 11,77	12,3–12,5 12,36	11,5–11,7 11,63
	I	11,6–11,8 11,71	12,0–12,3 12,11	11,6–12,1 11,78	11,5–11,8 11,63	11,6–11,9 11,83
	Dno	14,4–14,8 14,63	14,3–14,7 14,51	14,5–14,8 14,68	13,8–14,1 13,90	14,2–14,6 14,52

4. Właściwości stali płaszczy zbiorników

Z powodu braku projektu wykonawczego przedmiotowych zbiorników, właściwości mechaniczne stali ich płaszczy określono z badań laboratoryjnych. Badania przeprowadzono na próbkach przygotowanych z blachy o wymiarach 300×300 mm i grubości 12 mm, wyciętej z pierścienia nr II jednego z obiektu (rys. 4). Wykonano poniższe badania:

- składu chemicznego i spawalności;
- twardości metodą Brinella;
- statycznego rozciągania próbek okrągłych;
- udarności na próbkach Charpy’ego;
- mikrostrukturalne.



Rys. 4. Próbkę przed i po badaniu na rozciąganie oraz wycięta blacha z płaszczu zbiornika

Badania chemiczne wypolerowanej próbki wykonano za pomocą emisyjnego spektrometru jarzeniowego GDS 500A firmy LECO. Analizę dokonano dla 6 napaleń, a uzyskane wyniki zamieszczono w tablicy 2. Tam też, w celach porównawczych, podano składy chemiczne stali gatunku 18G2A wg PN-86/H-84018 [1] oraz S355NL wg PN-EN 10025-3 [2].

Tablica 2. Skład chemiczny stali płaszczu zbiornika i stali porównawczych

Stal	Zawartość pierwiastka, %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
Płaszcz	0,166	2,055	0,395	0,035	0,027	0,066	0,019	0,066	0,083
18G2A	max 0,20	1,00– 1,65	0,20– 0,55	max 0,035	max 0,035	max 0,30	max 0,30	max 0,30	min 0,02
S355NL	max 0,18	0,90– 1,65	max 0,50	max 0,030	max 0,025	max 0,30	max 0,50	max 0,55	min 0,02

Z porównania składu chemicznego poszczególnych gatunków stali wynika, że pobocznica zbiornika została wykonana ze stali 18G2A. Jest to stal niskostopowa o podwyższonej wytrzymałości ($R_{eH} = 355$ MPa, $R_m = 490 - 630$ MPa), odpowiednik obecnie produkowanej stali S355NL o analogicznych parametrach wytrzymałościowych.

Zaskakującym jest znaczna zawartość manganu, która przekracza graniczne 2,0% i wynosi 2,055%. Mangan w małych ilościach polepsza spawalność stali, natomiast w ilościach większych ma negatywny wpływ na jej spawalność. Jednocześnie zawartość aluminium o wartości 0,083% i krzemu 0,395% pozwala przypuszczać, że stal ma zwiększoną odporność na starzenie.

Spawalność stali oszacowano na podstawie składu chemicznego według obliczonych poniższych wskaźników (1–4) przyjętych z [3]:

– równoważnik węgla

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} = 0,53 > 0,45\% \quad (1)$$

– wskaźnik odporności na pękanie gorące

$$HCS = 1000 \left(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) \frac{C}{3Mn + Cr + Mo + V} = 2,01\% < 4,00\% \quad (2)$$

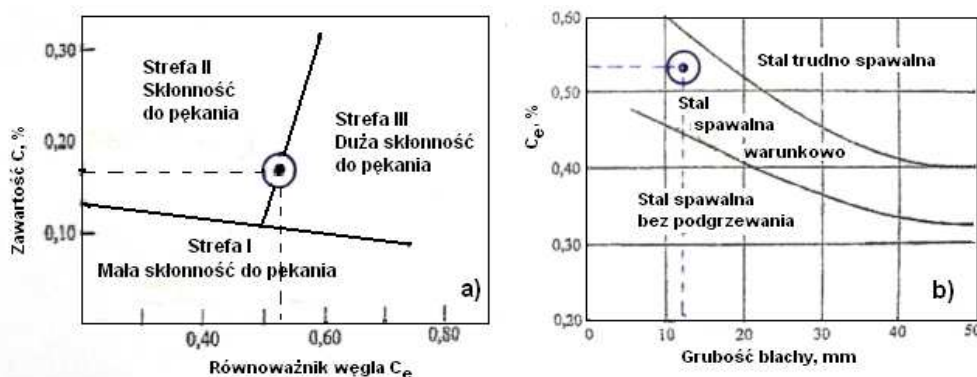
– wskaźnik oceny skłonności do pękania zimnego, gdzie $t = 12$ mm

$$C'_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{P}{2} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{Cr + V}{5} + 0,0024t = 0,574\% > 0,4\% \quad (3)$$

– twardość strefy wpływu ciepła

$$HV_{max} = 1200C'_e - 200 = 489HV > 350HV \quad (4)$$

Z wyjątkiem wskaźników (2) obliczone wartości pozostałych wskaźników są większe od wartości skrajnych, granicznych. Stal, z której wykonano zbiorniki, jest skłonna do powstawania pęknięć na zimno z powodu hartowania się SWC. Stal jest spawalna warunkowo (rys. 5).



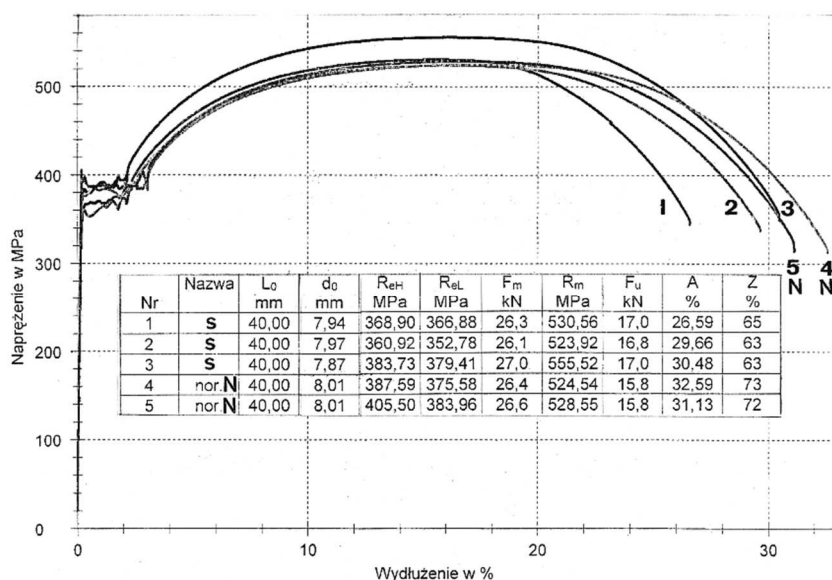
Rys. 5. Parametry stali: a) wpływ zawartości C i C_e na podatność pęknięć w SWC, b) zależność spawalności od C_e i grubości stali

Pomiar twardości metodą Brinella wykonano w tzw. warunkach standardowych, używając kulki stalowej o średnicy $D = 10$ mm przy obciążeniu $P = 29\,430$ N utrzymywanym przez czas $t = 15$ s. Badania przeprowadzono twardościomierzem B3CS. Wyznaczona średnia wartość twardości wyniosła 163 HB. Oznacza to, że zgodnie z normą PN-EN ISO 6506-4 wartość granicy wytrzymałości na rozciąganie $R_{mB} = 547$ MPa. Przyjmując wartość współczynnika $\alpha = R_{eB}/R_{mB} = 0,7$ wg [4], obliczono wartość granicy plastyczności stali $R_{eB} = 383$ MPa.

Badania statycznego rozciągania próbek

Właściwości mechaniczne stali płaszczy zbiorników określono na podstawie badań statycznego rozciągania pięciu próbek okrągłych pięciokrotnych o średnicy bazowej 8 mm. W trzech przypadkach były to próbki ze stali w stanie poeksploatacyjnym, starzone naturalnie – S, a dwie próbki po normalizacji – N. Probki N wygrzewano w temperaturze 930°C przez jedną godzinę i studzono na powietrzu. Uzyskuje się w tym przypadku najmniejszą możliwą wielkość ziarna. Określone parametry tych próbek symulują początkowy stan stali z okresu budowy zbiorników [3, 4, 5].

Porównawcze zestawienie wyników z badań tych dwóch rodzajów próbek pozwala oszacować stopień degradacji właściwości wytrzymałościowych stali, który zaistniał w okresie eksploatacji obiektu.



Rys. 6. Wykresy rozciągania próbek starzonych – S (nr 1, 2, 3) i normalizowanych – N (nr 4, 5)

Z rysunku 6 wynika, że w efekcie starzenia stali zmniejszyła się jej wartość granicy plastyczności, min. R_{eH} o 6,0%, przy stabilnej wartości granicy wytrzymałości R_m . Ostatecznie dla badanej zestarzonej stali, przyjętego gatunku 18G2A, otrzymano z badań statycznego rozciągania próbek niżej podane wartości. Należy zauważyć, że uzyskane wyniki nieznacznie różnią się od wyników uzyskanych z badań twardości (wyniki w nawiasach). Różnice te wynoszą -5,6% i -3,8%. Uzyskane wartości charakterystyczne wynoszą:

- granica plastyczności – R_{eH} = 360 (380) MPa;
- wytrzymałość na rozciąganie – R_m = 525 (525) MPa.

Badania udarnościowe na próbkach Charpy'ego

Wielu autorów twierdzi, że najbardziej wrażliwym parametrem degradacyjnych zmian właściwości wytrzymałościowych stali jest jej udarność. Badania przeprowadzono na próbkach wzdłużnych Charpy'ego o wymiarach 10×10×55 mm z karbem V wykonanym zgodnie z PN-EN ISO 148-1:2010. Podobnie jak w badaniach na rozciąganie również udarność określono na dwóch typach próbek:

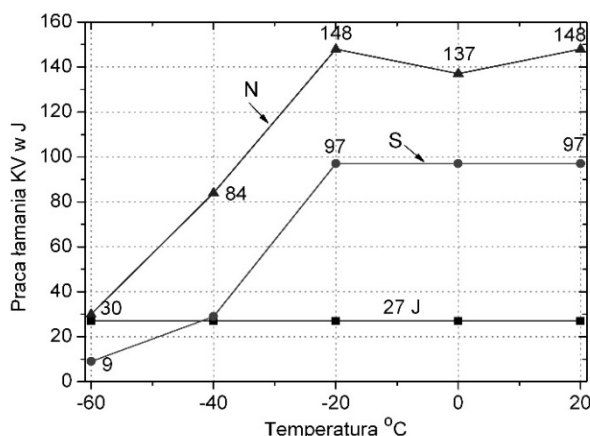
- starzonych samorzutnie – S, czyli próbkach bez dodatkowych zabiegów;
- normalizowanych – N, czyli dodatkowo wyżarzonych.

Tablica 3. Praca łamania próbek Charpy'ego

Rodzaj stali	Nr próbki	Praca łamania KV [J]				
		-60°C	-40°C	-20°C	0°C	20°C
S	1	8	25	92	95	95
	2	10	26	97	97	96
	3	10	35	103	99	99
Wartość średnia		9	29	97	97	97
N	1	27	78	144	130	140
	2	30	86	150	137	151
	3	34	88	150	143	152
Wartość średnia		30	84	148	137	148

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tablicy 3 i graficznie na rysunku 7. Łącznie zniszczeniu poddano 30 próbek, tj. 15 próbek – S i 15 próbek – N. Badania wykonano w pięciu poziomach temperaturowych, zróżnicowanych co 20°C, w zakresie od -60°C do +20°C. Na rysunku 7 oprócz wyników badanych próbek zaznaczono: wartość $KV = 27 \text{ J}$ w określonej temperaturze badania wymagana przez normy hutnicze przy doborze stali na nowe konstrukcje według PN-EN 1993-1-10 [6].

Z analizy wyników z tablicy 3 wynika fakt bardzo małych rozrzutów wartości KV z poszczególnych próbek na danym poziomie temperaturowym. Fakt ten zaistniał pomimo, że 80% próbek miało złom z rozwarstwieniami. Uwaga ta dotyczy zarówno próbek S oraz N. Badana stal w stanie obecnym (S), po degradacjach oraz stal normalizowana (N) ma zadziwiająco wysokie wartości KV w zakresie temperaturowym od -40 do +20°C. Świadczy to o małym zesterzeniu stali.



Rys. 7. Średnie wartości pracy łamania stali płaszczka

Wskaźnik starzenia W_s , równoważny stosunkowi pracy łamania po zesterzeniu do pracy łamania materiału niestarzonego (próbki N), w temperaturach badanych od -60 do +20°C wynosi: 0,35; 0,66; 0,71 i 0,66. Temperatura przejścia badanej stali w stan kruchy dla próbek N wynosi -62°C, a dla próbek S -42°C. Tak niskich temperatur nie stwierdzili autorzy w żadnych dotychczas badanych stalach [5, 7].

Badania mikrostrukturalne

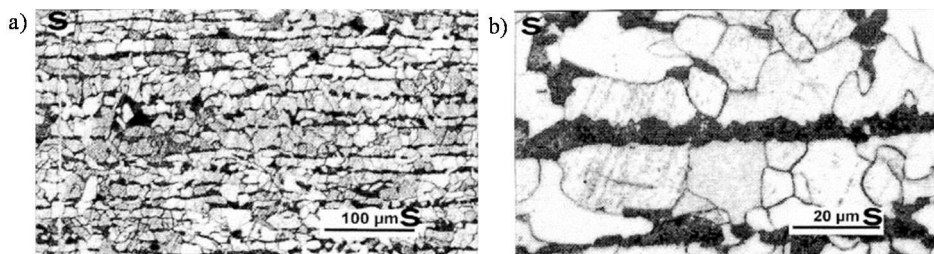
Nietypowy skład chemiczny stali przedmiotowych zbiorników (por. tab. 2) oraz zaskakujące wyniki badań mechanicznych pozwalają przypuszczać, że jest to stal normalizowana gatunku 18G2A. Założenie to potwierdziły wysokie wartości pracy łamania uzyskane z badań udarności Charpy'ego. Stwierdzono zaskakująco małe zesterzenie stali w okresie 43 lat eksploatacji zbiorników (por. rys. 7). Celem całościowego wyjaśnienia tego zjawiska przeprowadzono badania mikrostrukturalne. Głównym celem tych badań jest określenie wielkości ziarna przedmiotowej stali w stanie poeksploatacyjnym – S i w stanie normalizowanym – N. Według literatury, jedynym czynnikiem zwiększającym granicę plastyczności i jednocześnie obniżającym temperaturę przejścia stali w stan kruchy jest rozdrobnienie ziarna ferrytu. Najczęściej stosowaną metodą w celu rozdrobnienia ziarna jest obróbka cieplna w postaci wyżarzania normalizującego, które zastosowano dla części badanych próbek stali zbiorników.

Obserwacje metalograficzne stali przedstawiono w dwóch poniższych stanach:

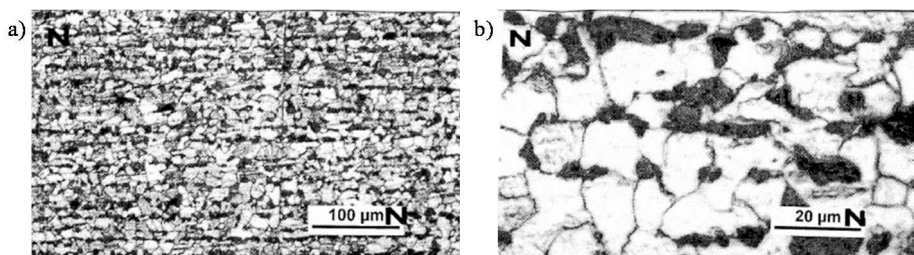
- poeksploatacyjnym starzonym samorzutnie – S (rys. 8);
- normalizującym w temperaturze 930°C przez 1 h – N (rys. 9).

Mikrostruktury przedstawione na rysunkach 8 i 9 są typowymi strukturami ferrytyczno-perlitycznymi dla stali konstrukcyjnej. Przy małych powiększeniach ($\times 10$) widoczna jest pasmowa budowa powstała w procesie walcowania blach. Struktura składa się z 2 faz: ciemnego perlitu oraz jasnych ziaren ferrytu w różnych odcieniach szarości.

Według [8] tworzenie mikrostruktury pasmowej jest spowodowane segregacją międzydendrytyczną Mn podczas krzepnięcia stali. Z tej przyczyny skłonność do tworzenia takiej mikrostruktury rośnie ze wzrostem zawartości Mn, która w stali zbiorników jest duża i wynosi 2,055%.



Rys. 8. Mikrostruktura próbek starzonych – S: a) $\times 10$; b) $\times 50$



Rys. 9. Mikrostruktura próbek normalizowanych – N: a) $\times 10$; b) $\times 50$

Określenie wielkości ziarna przeprowadzono, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 634 [9], dwiema metodami:

metodą zliczania ziaren;

metodą porównawczą (wg skali wzorców).

Podobnie jak przy obserwacjach metalograficznych stali i tutaj określenie wielkości ziarna przeprowadzono dla próbek stali w stanie starzonym – S i normalizowanym – N.

Ad a). Zliczanie ziaren przeprowadzono na 4 fotografiach mikrostruktury, dwie dla stanu – S i dwie dla stanu – N. Zliczanie przeprowadzono z wykorzystaniem programu do komputerowej analizy obrazu, a uzyskane wyniki z badań zamieszczono w tablicy 4.

Tablica 4. Określanie wielkości ziarna

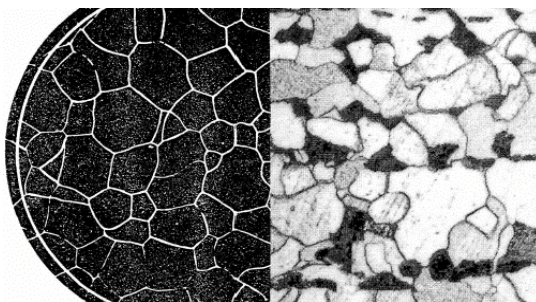
Rodzaj stali	Liczba ziaren		Zawartość ferrytu [%]	Wielkość ziarna [μm]		Średnica ziaren [μm]	
	ferryt	perlit		ferryt	perlit	ferryt	perlit
S	788	843	68	25,3	0,7	5,68	0,94
	751	774	68	24,0	1,0	5,53	1,13
N	1286	1100	59	11,6	1,6	3,84	1,43
	1132	1102	62	15,6	2,8	4,46	1,89

Wielkość ziarna ferrytu w stanie starzonym – S odpowiada wzorcowi G12 o średniej średnicy ziarna $d_m = 0,0056$ mm, a w stanie wyżarzonym normalizująco – N wielkość ziarna

uległa zmniejszeniu i odpowiada wzorcowi G12,5 (numer wielkości ziarna) o średniej średnicy ziarna $d_m = 0,0041$ mm.

Wielkość ziarna perlitu w stanie starzonym – S odpowiada wzorcowi G15,5 o średniej średnicy ziarna $d_m = 0,0010$ mm, a w stanie normalizowanym – N wielkość ziarna uległa zwiększeniu i odpowiada wzorcowi G 15 o średniej średnicy ziarna $d_m = 0,0017$ mm.

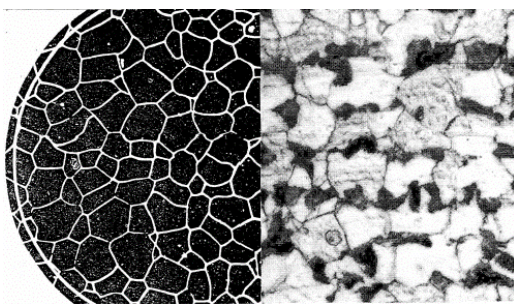
Ad b). Określenie wielkości ziarna przeprowadzono metodą porównawczą, wykorzystując wzorce zawarte w skali B załącznika do normy [9]. Podobnie jak przy metodzie a) i tutaj badania wielkości ziarna przeprowadzono dla próbek starzonych (rys. 10) i wyżarzonych normalizująco (rys. 11).



Rys. 10. Wielkość ziarna w stanie starzonym – S

Wielkość ziarna w stanie starzonym – S odpowiada wzorcowi G9 o średniej średnicy ziarna $d_m = 0,0156$ mm (por. rys. 10). W stanie wyżarzonym normalizująco – N wielkość ziarna uległa zmniejszeniu i odpowiada wzorcowi G10 o średniej średnicy ziarna $d_m = 0,0110$ mm (por. rys. 11).

Uwzględniając procentowy udział ferrytu o wartości 68 i 60,5% oraz perlitu 32 i 39,5%, w strukturach próbek stali S i N (por. tab. 4) ich średnie średnice ziarna wynoszą: dla stali – S – $d_m = 0,00414$ mm (G12,5) i dla stali – N – $d_m = 0,00317$ mm (G13,5). Analiza tych wartości pozwala stwierdzić, że zarówno dla stali S jak również dla stali N uzyskane wartości d_m są: 3,77 i 3,47 razy większe od wartości uzyskanej w metodzie a).



Rys. 11. Wielkość ziarna w stanie wyżarzonym normalizująco – N

Autorzy uważają, że bardziej wiarygodną metodą jest metoda zliczania ziaren z wykorzystaniem programu komputerowego, tym niemniej według obu zastosowanych metod stwierdzono bardzo duże rozdrobienie ziarna badanych próbek. Stal zbiorników jest stałą drobnoziarnistą.

5. Podsumowanie

Analizowana stal płaszczy zbiorników cylindrycznych o $V = 1500 \text{ m}^3$, oddanych do eksploatacji w 1973 roku, to stal niskostopowa, normalizowana o podwyższonej wytrzymałości gatunku 18G2A i grupy jakościowej E.

Jest to stal drobnoziarnista o aktualnej granicy plastyczności $R_{eH} = 360 \text{ MPa}$ i granicy wytrzymałości $R_m = 525 \text{ MPa}$. Wartości te są analogiczne do wartości przewidzianych przez normę PN-86/H-84018 dla tego gatunku stali.

Wyniki badań materiałowych stali starzonej przez 43 lata i stali normalizowanej wykazały, że zmiany degradacyjne polegały na:

- (a) zmniejszeniu wartości granicy plastyczności R_{eH} z wartości 390 do 360 MPa, czyli 7,7%; w temperaturze -40°C nastąpiło zmniejszenie wartości pracy łamania KV z wartości 84 J do 29 J, czyli o 65,5%,
- (b) w temperaturach od -20 do $+20^\circ\text{C}$ zmniejszenie nastąpiło prawie o jednakową wartość równą 51 J, czyli o 34,5%.

Omówione badania stali normalizowanej kategorii wytrzymałościowej E355 to prawdopodobnie pierwsze publikowane badania tego gatunku stali. Autorzy uważają, że są to badania przyszłościowe, gdyż według Eurokodu 3, w konstrukcjach budowlanych narażonych na obciążenia dynamiczne, należy stosować stal gatunku co najmniej S355 w stanie normalizowanym (N, NL) bądź po walcowaniu termomechanicznym (M, ML)[2, 4]. Istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia w tych stalach analogicznych procesów degradacyjnych jak w analizowanej stali 18G2AE.

Literatura

1. PN-86/H-84018 Stal niestopowa o podwyższonej wytrzymałości. Gatunki.
2. PN-EN 10025-3:2007 Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Część 3: Warunki techniczne dostawy spawalnych stali konstrukcyjnych drobnoziarnistych po normalizowaniu lub walcowaniu normalizującym.
3. Tasak E., Ziewiec A.: Spawalność materiałów konstrukcyjnych. Tom 1. Spawalność stali. Wyd. JAK, Kraków 2009.
4. Wichtowski B. Hołowaty J.: Analiza właściwości materiałowych i spawalności stali zlewnej mostów kolejowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 5/2013.
5. Wichtowski B., Jasiński W.: Mikrostrukturalne procesy degradacyjne normalizowanej stali zlewnej z mostu kolejowego. Przegląd Spawalnictwa, nr 5/2015.
6. PN-EN 1993-1-10:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-10: Dobór stali ze względu na odporność na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową.
7. Wichtowski B.: Badania parametrów mechanicznych stali w istniejących konstrukcjach stalowych. XXXI Ogólnopolskie Warsztaty PPK, tom III, Szczyrk 2016.
8. Blicharski M.: Inżynieria materiałowa. Stal. WNT, Warszawa 2004.
9. PN-EN ISO 634:2005 Stal. Mikrograficzne określanie wielkości ziarna.

WALL STEEL PROPERTIES OF FIVE CYLINDRICAL TANKS OF $V = 1500 \text{ m}^3$ IN THE CONTEXT OF DIAGNOSTIC TESTS

Abstract: During the modernization project of five cylindrical tanks of the volume of $V=1500 \text{ m}^3$, with the fixed roof, the unusual results from the material and strength tests of the steel were obtained. Structures built in 1973 were made from the normalized steel grade 18G2A. This paper presents an assessment of the technical condition of the tanks considered as well as chemical and material studies in the range of macro and micro aging processes of normalized steel. Probably, these are priority aging and degradation research for this steel grade.

Keywords: cylindrical tank, normalized steel, aging processes