



## Odporność stali P460NL2 oraz P355NL1 na korozyjne pękanie naprężeniowe w środowisku czterowodnego azotanu (V) wapnia

J. Mańka <sup>a</sup>, M. Kremzer <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Studenckie Koło Naukowe Nanotechnologii i Materiałów Funkcjonalnych  
email: jacekmanka@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów  
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
email: marek.kremzer@polsl.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono zjawisko korozji występujące w stalach, w tym korozji naprężeniowej. W ramach pracy wykonano badania stali P460NL2 oraz P355NL1 na korozyjne pękanie naprężeniowe w środowisku czterowodnego azotanu (V) wapnia. Zrealizowano badania struktury z użyciem mikroskopu świetlnego. Wykonano badania twardości, magnetyczne prozkowe, oraz własności mechanicznych.

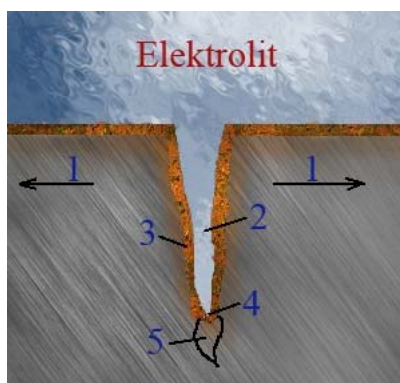
**Abstract:** The paper presents the corrosion phenomena in steels among the others stress corrosion examination of P460NL2 and P355NL1 steels on corrosion stress cracking in the quadrihydrate calcium (V) nitrate environment were made. Macroscoping examinations, measurements of hardness, magnafluxing and mechanical properties were realized.

**Słowa kluczowe:** zbiorniki ciśnieniowe, P460NL2, P355NL1, korozja naprężeniowa

### 1. WSTĘP

Pomimo wielu prac doświadczalnych i rozważań teoretycznych mechanizm korozji naprężeniowej nie został ostatecznie wyjaśniony. Z uwagi na najliczniejsze badania prowadzone w tej dziedzinie najbardziej wiarygodną jest teoria elektrochemiczna. Zgodnie z nią elementarnym czynnikiem powodującym pękanie jest przyspieszone anodowe rozpuszczanie materiału na czole w szczelinie pęknięcia. Zapoczątkowanie pęknięcia ma miejsce w środowisku zbliżonym do środowiska jakie sprzyja korozji lokalnej. Przyłożone naprężenie statyczne może dodatkowo uszkodzić warstwę pasywną, zapoczątkowując tym samym pęknięcie. Pierwsze pęknięcia mogą być zainicjowane – podobnie jak to ma miejsce w przypadku korozji wżerowej bądź szczelinowej – od wytworzenia w warstwie pasywnej defektów, których powstanie ułatwia naprężenie mechaniczne oraz obecność w roztworze

aktywnych anionów. Rozwój pęknięcia można traktować zatem jako proces elektrochemiczny potęgowany działaniem przyłożonego naprężenia, to znaczy jako pracę układu: słabo spolaryzowana anoda będąca depasywowanym wierzchołkiem pęknięcia i katoda będąca powierzchnią boczną szczeliny (rys. 1) [1, 2].



Rys. 1. Schemat pęknięcia korozyjnego: 1 – kierunek naprężeń, 2 – szczelina zawierająca elektrolit oraz produkty korozji, 3 – warstwa pasywna (katoda), 4 – przemieszczający się wierzchołek pęknięcia (anoda), 5 – strefa najwyższych naprężeń (przed czołem pęknięcia) [2].

Stale węglowe będące pod wpływem naprężenia rozciągającego przekraczającego granicę plastyczności pękają w środowiskach alkalicznych oraz azotanowych. Stale austenityczne chromowo-niklowe oraz stopy aluminium i magnezu pękają w roztworach obojętnych chlorków przy temperaturze przekraczającej 80°C, stopy miedzi natomiast pękają w obecności amoniaku – pękanie sezonowe.

Stale węglowe można sukcesywnie chronić przed korozyjnym pękaniem azotowym w następujące sposoby [1]:

- stosowanie ochrony katodowej,
- stosowanie dodatków stopowych w postaci aluminium, tytanu, niobu, tantalu,
- dodanie do roztworu inhibitorów takich jak  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , ługi posiarczynowe,
- stosowanie odpowiedniej obróbki cieplnej.

Pomimo wykonania wielu prac doświadczalnych z zakresu korozji – jej mechanizm nie jest do końca znany. Koniecznym zatem jest wykonanie odrębnych badań, które w jak największym stopniu będą odwzorowywały środowisko pracy poszczególnych konstrukcji. Badania opisane w niniejszej pracy mają za zadanie jak najdokładniej warunki w jakich pracują zbiorniki i cysterny transportowe do przewozu związków zawierających azot. Takie szczegółowe poznanie problemu pozwala na uniknięcie poważnych strat finansowych z tytułu korozji już na etapie projektowania oraz ryzyka skażenia środowiska naturalnego jakie wiąże się z budową urządzeń ciśnieniowych uczestniczących w ruchu drogowym i kolejowym.

## 2. PRZEBIEG BADAŃ

W celu określenia ryzyka wystąpienia korozji naprężeniowej w konkretnym przypadku należy wykonać badania symulacyjne dla konkretnego wyrobu, wykonanego z zadanego materiału, poddanego przewidzianym obciążeniom w określonym środowisku korozyjnym. W przypadku producenta najlepiej gdyby był to zbiornik cysterny o średnicy 3000 mm

wypełniony ciekłym amoniakiem (ciśnienie panujące wówczas w zbiorniku to ok. 2,6 MPa), eksploatowany przez kilka lat i poddawany obserwacjom i badaniom spoin przy każdorazowym opróżnieniu zbiornika. W praktyce jest to jednak niemożliwe, gdyż pomijając względy ekonomiczne, wagon taki musiałby jeździć przez cały okres eksploatacji pod specjalnym nadzorem służb kolejowych jako osobny pociąg.

W wyniku licznych prac doświadczalnych opracowano szereg tzw. „prób standardowych” mających dostarczyć miarodajnych wskazówek co do prawdopodobnego zachowania się materiału w konkretnych zastosowaniach. Jednakże laboratoryjne „próby standardowe” są właściwe jedynie dla takich warunków pracy, dla których doświadczalnie stwierdzono istnienie odpowiednich, mimo że empirycznych, zależności.

Część badawcza niniejszej pracy inżynierskiej została oparta o niemiecką normę DIN-50915, w której szczegółowo opisano metody badań. Norma ta opisuje szybkie badanie na odporność naprężeniową, spawalnych i niespawalnych, niestopowych i niskostopowych, ferrytycznych i perlitycznych stali. Wybór tej metody poprzedzony został konsultacjami z niemiecką organizacją odbiorową TÜV, która między innymi dokonuje odbioru technicznego zbiorników cystern kolejowych.

Odpowiedzialność za wybór metody badań, a przede wszystkim za zastosowanie wyników tych badań spoczywa na producencie danego wyrobu i wcale nie oznacza to, że nawet bardzo pozytywne wyniki badań skłonią producenta do szybkiego zastąpienia danego gatunku stali innym. Cysterny kolejowe przeznaczone do przewozu amoniaku narażone są w czasie eksploatacji na bardzo poważne zagrożenia i każdy wypadek może prowadzić do poważnej katastrofy środowiska naturalnego.

W ramach niniejszej pracy wykonano:

- badania na korozję naprężeniową w środowisku czterowodnego azotanu (V) wapnia,
- badania makrostruktury próbek poddanych korozji naprężeniowej,
- pomiary twardości,
- badania magnetyczne proszkowe metodą mokrą,
- statyczną próbę rozciągania,
- próbę udarnościową.

## 2.1. Materiał do badań

Badanie wykonano na płytach próbnych pospawanych zgodnie z technologią stosowaną przy produkcji zbiorników cystern na gaz, z których pobrano próbki do badań. Płyty próbne wykonano ze stali:

a) Stal drobnoziarnista spawalna na urządzenia ciśnieniowe P460NL2 według normy PN-EN 10028-3:2005 oraz Vd TÜV-WBI 357/1:

- płyta próbna nr 1 wykonana z w/w stali. Własności mechaniczne i skład chemiczny odpowiadające atestowi hutniczemu dostarczonemu przez producenta stali. Próbki do badań zostały pobrane prostopadle do spoiny wykonanej według karty operacyjnej złącz spawanych WPS spełniającej normę EN ISO 15614-1;
- płyta próbna nr 2 została wykonana z tego samego gatunku stali co płyta próbna nr 1, oraz została zastosowana ta sama technologia spawania. Próbki do badań zostały pobrane w osi spoiny;
- płyta próbna nr 3 została wykonana z tego samego materiału co płyty próbne 1 i 2. Próbki do badań zostały pobrane wzdłuż napoiny wykonanej według karty operacyjnej złącza spawanego WPS spełniającej normę EN ISO 15614-1.

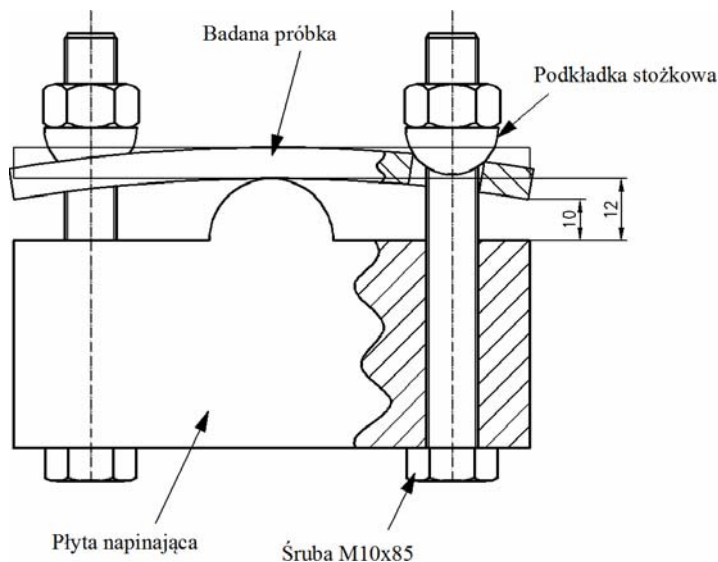
b) Stal drobnoziarnista spawalna na urządzenia ciśnieniowe P355NL1 według normy PN-EN 10028-3:2005:

- płyta próbna nr 4 wykonana ze stali P355NL1. Własności mechaniczne i skład chemiczny odpowiadające atestowi hutniczemu dostarczonemu przez producenta stali. Próbkki do badań zostały pobrane prostopadłe do spoiny wykonanej według karty operacyjnej złączy spawanych WPS spełniającej normę EN ISO 15614-1;
- płyta próbna nr 5 została wykonana z tego samego gatunku stali co płyta próbna nr 4, oraz została zastosowana ta sama technologia spawania. Próbkki do badań zostały pobrane w osi spoiny;
- płyta próbna nr 6 została wykonana z tego samego materiału co płyty próbne 4 i 5. Próbkki do badań zostały pobrane wzdłuż napoiny wykonanej według karty operacyjnej złącza spawanego WPS nr 170 spełniającej normą EN ISO 15614-1.

Z każdej płyty próbnej pobrano próbkki o kształcie i wymiarach zgodnych z normami przedmiotowymi.

## 2.2. Przebieg badań

Do wywołania wymaganego naprężenia statycznego w badanych próbkach wykonano specjalne płyty napinające według niemieckiej normy DIN 50 915, widoczne na rys. 2. W celu uniknięcia korozji elektrolitycznej na styku próbka – przyrząd, płyty napinające zostały wykonane z tego samego materiału co badane próbki. Śruby, nakrętki i podkładki stożkowe wykonano ze stali austenitycznej, chromowo – niklowej.



Rys. 2. Schemat zamocowania próbek w płytach napinających

Po zamocowaniu i napięciu próbek w płytach napinających całość umieszczono w szklanych naczyniach. Następnie przygotowano 60% roztwór azotanu (V) wapnia. Roztwór sporządzono z azotanu (V) wapnia czterowodnego o wzorze sumarycznym  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  i klasie czystości – czysty do analizy.

### Badania odporności na korozję naprężeniową

Odtłuszczone, po wycięciu z płyt próbnych i po obróbce mechanicznej próbki naprężono na wymiar 10 mm, w sposób widoczny na rys. 2, zgodnie z normą DIN 50 915, a następnie zanurzono je w roztworze azotanu (V) wapnia. Czas badań według normy nie powinien być krótszy niż 200 godzin. W obydwu przypadkach wyniósł on ok. 300 godzin.

W trakcie badań, co 48 godzin wyjmowano próbki z kąpeli wraz z płytami napinającymi i po wypłukaniu wodą destylowaną i jej odparowaniu poddawano próbki sprawdzaniu na obecność pęknięć nieuzbrojonym okiem.

Po upływie ok. 300 godzin odkręcono próbki z płyt napinających, wypłukano je gorącą destylowaną wodą i po jej odparowaniu poddano obserwacji nieuzbrojonym okiem.

### Badania struktury próbek poddanych korozji naprężeniowej

Badania mikroskopowe pobranych próbek stali wykonano przy użyciu mikroskopu świetlnego firmy Leica typu MEF4A z komputerowym systemem do analizy obrazu Axio Vision AC. Wykonanie zglądów metalograficznych obejmowało następujące czynności: pobranie próbki za pomocą cięcia mechanicznego, szlifowanie mechaniczne na papierach ściernych (180, 240, 500, 800, 1200, 2000 ziarn na  $\text{cm}^2$ ), polerowanie na obrotowych tarczach filcowych z zawiesziną diamentową o wielkości ziarna 3 i 1  $\mu\text{m}$ .

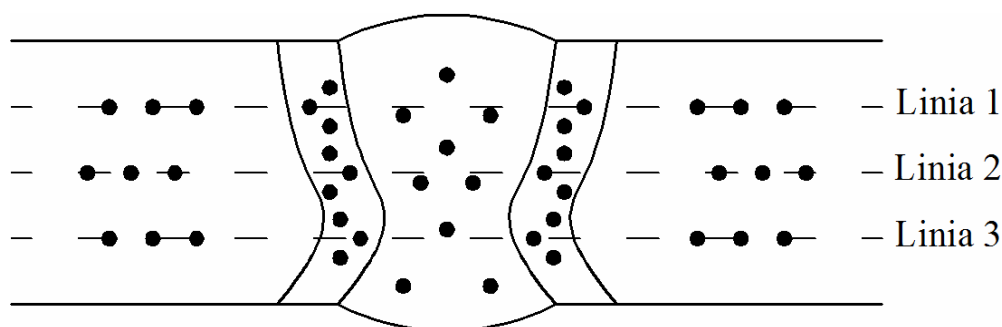
### Pomiar twardości

Pomiar twardości wykonano przy pomocy twardościomierza Zwick, ZHR metodą Rockwella w skali HRB, wgłębnikiem była kulka o średnicy 1/16". Pomiar wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 14577-1. Próbki do badań przygotowano przez szlifowanie mechaniczne i oznaczono w sposób widoczny w tablicy 1. Wykonano po 45 odcisków według schematu na rys.3.

Tablica 1.

Sposób oznaczenia próbek do pomiarów twardości

Oznaczenie próbki	Gatunek stali	Rodzaj obróbki cieplnej
B1	P460NL2	spoina
A2	P460NL2	napoina
A3	P355NL1	spoina
B4	P355NL1	napoina



Rys. 3. Schemat makroszlifu z trzema liniami, wzdłuż których należy wykonywać odciski według normy PN-EN 1043

### Badania magnetyczne proszkowe metodą mokrą

Badania magnetyczno proszkowe wykonane za pomocą aparatu Karl Deutsch o sile udźwigu 4,5 kg, przy natężeniu prądu 16A oraz przy użyciu wskaźnika pola Magnaflux. Badanie metodą magnetyczno proszkową zostało zastosowane celem wykrycia pęknięć lub innych nieciągłości powierzchniowych lub podpowierzchniowych w materiałach ferromagnetycznych. Największą czułość obserwuje się przy nieciągłościach powierzchniowych i zmniejsza się ona gwałtownie wraz ze wzrostem głębokości wad pod powierzchnią. Typowymi nieciągłościami, które mogą być wykryte tą metodą są pęknięcia, zawalcowania, zakucia, rysy, łuski i rozwarstwienia. Generalnie metoda ta wiąże się z namagnesowaniem badanej powierzchni oraz nałożeniu na niej proszku magnetycznego (Magnaflux). Cząstki proszku tworzą na powierzchni odwzorowania, w miejscu gdzie pęknięcia i inne nieciągłości powodują zakłócenia normalnego pola magnetycznego. Odwzorowania te są zazwyczaj charakterystyczne dla danego typu nieciągłości, która jest wykrywana.

### Statyczna próba rozciągania

Wykonano statyczną próbę rozciągania pospawanych płyt próbnych (płyty próbne 1, 2, 4, 5). Badanie wykonano według normy PN-EN 895 na maszynie VEB Lipsk o zakresie pomiarowym do 250 kN. Pole przekroju poprzecznego otrzymanych próbek z płyt próbnych 1, 2, 3, 4 wynosiło kolejno 281,37 mm<sup>2</sup>, 285,0 mm<sup>2</sup>, 224,64 mm<sup>2</sup>, 220,88 mm<sup>2</sup> (tablica 2.)

Tablica 2.

Wymiary i pole przekroju poprzecznego próbek do statycznej próby rozciągania

Oznaczenie próbki	Gatunek stali	Wymiary przekroju poprzecznego		
		A [mm]	B [mm]	C=AxB [mm <sup>2</sup> ]
R1	P460NL2	11,3	24,9	281,37
R2	P460NL2	11,4	25,0	285,0
R4	P355NL1	9,0	24,96	224,64
R5	P355NL1	8,8	25,1	220,88

### Próba udarowości

Próba udarowości została wykonana na 24 próbkach z karbem w kształcie litery „V” według normy PN – EN 875 przy użyciu młota Charpyego – V o zakresie pomiarowym do 300 J. Połowa próbek została poddana badaniu udarowości w spoinie, druga połowa – udarowości w strefie przejściowej pomiędzy materiałem a spoiną w temperaturze -40°C. Próbki do badań udarowości w spoinie zostały oznaczone U<sub>sx-y</sub>. Próbki do badań udarowości zostały oznaczone U<sub>px-y</sub> (gdzie „x” to numer płyty próbnej, a „y” to numer próbki).

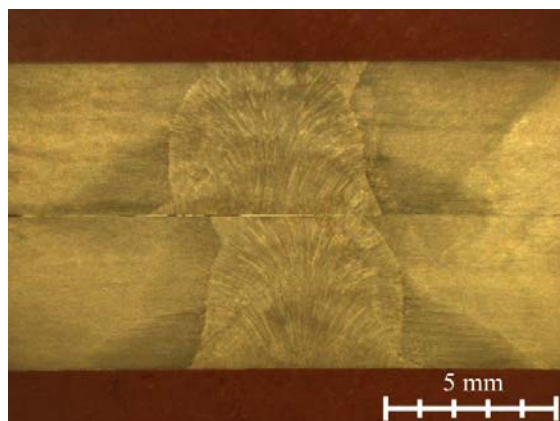
## 3. WYNIKI BADAŃ

### 3.1. Wyniki badań azotowej korozji naprężeniowej

W trakcie badań próbki zostały poddane obserwacji nieuzbrojonym okiem, podczas których nie ujawniono żadnych pęknięć w materiale. Po zakończeniu próby korozyjnej, tj. po upływie 300 godzin, z płyt pobrano próbki i wykonano zglądy metalograficzne. Następnie poddano je obserwacji pod mikroskopem w powiększeniu 4x i 2,5x. Nie zaobserwowano niespójności w materiale (rys. 4-11).



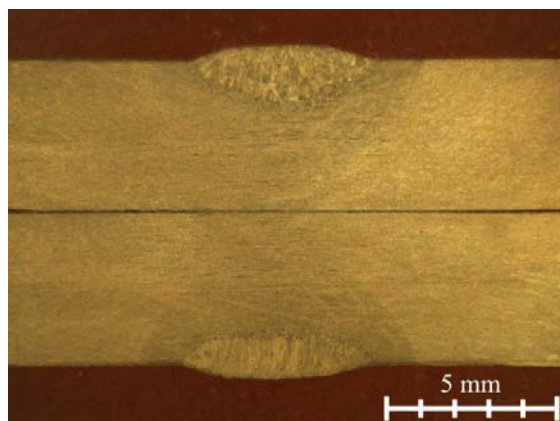
Rys. 4. Struktura stali P460NL2 z wykonanym łączem doczołowym



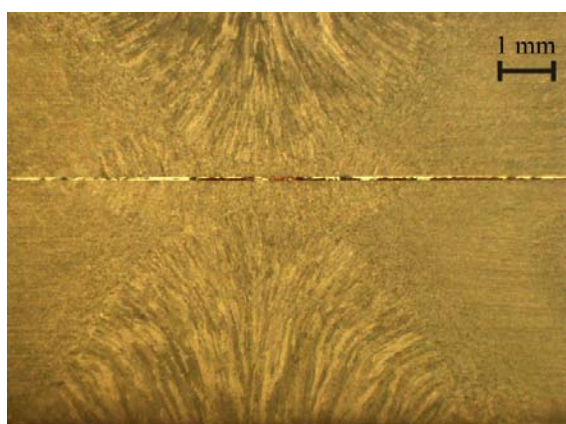
Rys. 5. Struktura stali P460NL2 z wykonanym łączem doczołowym



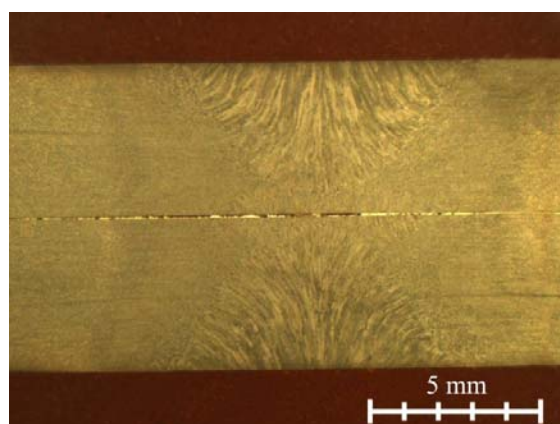
Rys. 6. Struktura stali P460NL2 z wykonaną napoiną



Rys. 7. Struktura stali P460NL2 z wykonaną napoiną



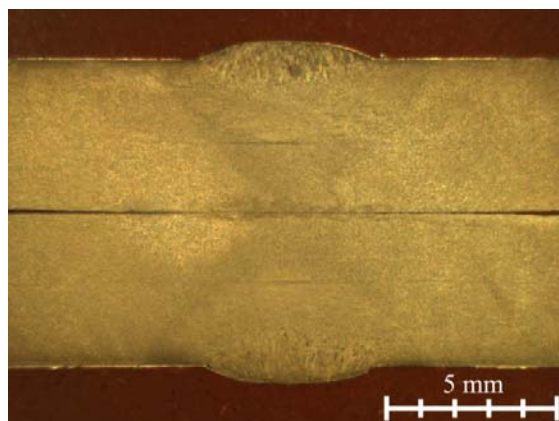
Rys. 8. Struktura stali P355NL1 z wykonanym złączem doczołowym



Rys. 9. Struktura stali P355NL1 z wykonanym złączem doczołowym



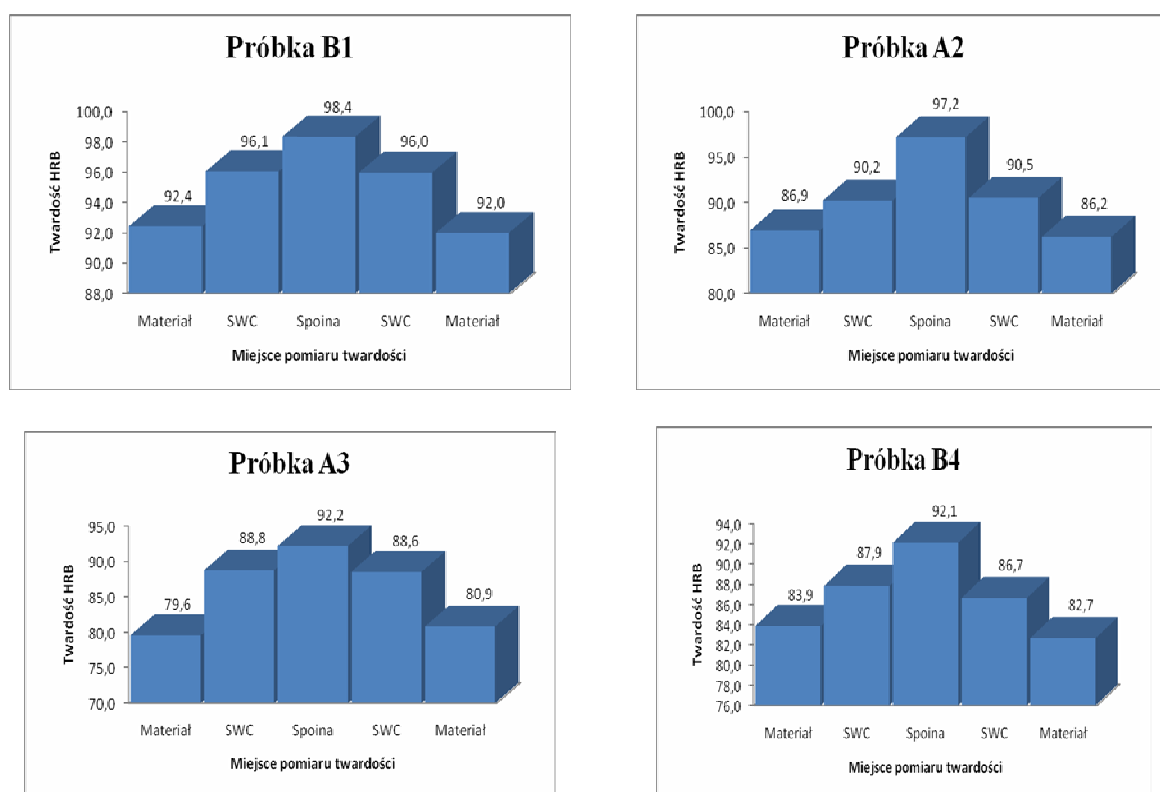
Rys. 10. Struktura stali P355NL1 z wykonaną napoiną



Rys. 11. Struktura stali P355NL1 z wykonaną napoiną

### 3.2. Wyniki pomiarów twardości

Wyniki badań pozwoliły na określenie twardości w poszczególnych obszarach próbek. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Wyniki pomiaru twardości



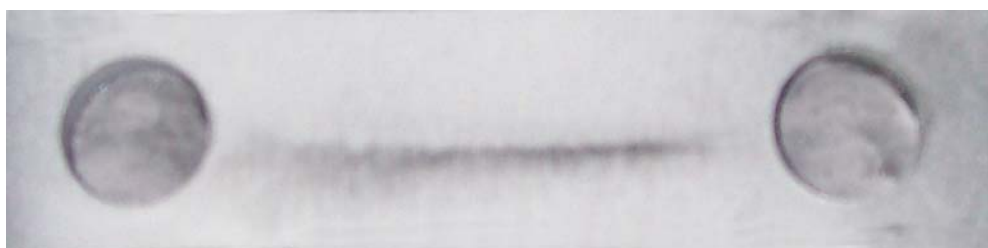
Została wyraźnie zauważona wzrastająca twardość od materiału poprzez strefę wpływu ciepła do spoiny, gdzie twardość osiąga swoje maksimum. Najwyższa twardość została zmierzona dla próbki stali P460NL2 w miejscu wykonania spoiny. Twardość dla napoiny była niższa. Stal P355NL1 wykazała podobną wartość twardości w obszarze spoiny i napoiny. Twardość w strefie wpływu ciepła jest wyższa dla próbek, gdzie wykonano spoinę (próbki B1 i A3) z powodu większego wpływu wysokiej temperatury na obszar w pobliżu spoiny niż ma to miejsce w przypadku wykonania napoiny.

### 3.3. Wyniki badania struktury otrzymanych próbek

Badania wykonane na mikroskopie Leica typu MEF4A z komputerowym systemem do analizy obrazu Axio Vision AC, dowiodły prawidłowego wykonania spoiny i napoiny. Nie zaobserwowano żadnych pęknięć, porów lub przerw w materiale. Ponadto zdjęcia przedstawiające wykonane próbki obrazują wpływ temperatury na poszczególne obszary próbek. Na rys. 4-11 widoczne są strefy: materiał – brak widocznych zmian spowodowanych spawaniem, strefa wpływu ciepła – obszar lekko zaciemniony pomiędzy materiałem podstawowym a spoiną, spoina – obszar znajdujący się między dwiema SWC, o regularnej, promienistej strukturze.

### 3.4. Wyniki badań magnetycznych proszkowych

Badania wykonane na wytworzonych próbkach za pomocą specjalnego detektora Karl Deutsch oraz wskaźnika pola magnetycznego Magnaflux nie ujawniły żadnych nieciągłości w materiale. Jedyne zaciemnienia były spowodowane szlifowaniem przed zanurzeniem, uwidocznione na rys. 13, co świadczy o prawidłowo dobranych materiałach i parametrach spawania.



Rys. 13. Zaciemnienia na próbce stali P460NL2 z napoiną, spowodowane obróbką mechaniczną przed poddaniem próbki badaniom na korozję naprężeniową

### 3.5. Wyniki statycznej próby rozciągania

Statyczna próba rozciągania została wykonana na maszynie wytrzymałościowej VEB Lipsk, przebiegała prawidłowo aż do zerwania próbki i nie ujawniła żadnych wad materiału lub łącz spawanych. Każda próbka pobrana z płyt próbnych 1, 2, 4, 5 została zerwana w materiale osiągając wartości przedstawione w tablicy 3.

Tablica 3.

Wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  i wydłużenie próbek poddanych statycznej próbie rozciągania

Oznaczenie próbki	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ [MPa]	Wydłużenie		
		Początkowa długość pomiarowa $L_0$ [mm]	Końcowa długość pomiarowa $L_u$ [mm]	Wydłużenie A [%]
R1	673	90,0	109,4	21,5
R2	681	89,4	108,17	21
R4	517	90,1	109,02	21
R5	543	89,6	110,2	23

### 3.6. Wyniki próby udarnościowej

Próba udarnościowa została wykonana przy użyciu młota do prób udarnościowych typu Charpy-V. Próba została wykonana zgodnie z normą przy temperaturze próbek  $-40^{\circ}\text{C}$  i nie wykazała wad spoin zarówno w samej spoinie jak i w strefie przejściowej. Wartości pracy użytej do złamania próbek przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4.

Wyniki próby udarności

Oznaczenie próbki	Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Praca [J]	Średnia wartość pracy [J]
$U_{s1-1}$	-40	37	57
$U_{s1-2}$		63	
$U_{s1-3}$		71	
$U_{p1-1}$	-40	59	51
$U_{p1-2}$		60	
$U_{p1-3}$		34	
$U_{s2-1}$	-40	76	64
$U_{s2-2}$		52	
$U_{s2-3}$		64	
$U_{p2-1}$	-40	39	50
$U_{p2-2}$		63	
$U_{p2-3}$		48	
$U_{s4-1}$	-40	54	57
$U_{s4-2}$		47	
$U_{s4-3}$		71	
$U_{p4-1}$	-40	63	48
$U_{p4-2}$		42	
$U_{p4-3}$		39	
$U_{s5-1}$	-40	58	65
$U_{s5-2}$		66	
$U_{s5-3}$		72	
$U_{p5-1}$	-40	49	59
$U_{p5-2}$		74	
$U_{p5-3}$		54	

Zgodnie z wymaganiami określonymi w dyrektywie dotyczącej budowy i projektowania zbiorników ciśnieniowych minimalna praca użyta do złamania wszystkich rodzajów próbek nie może być niższa niż 27 J [3]. Warunek ten jest spełniony dla każdej próby.

#### 4. Podsumowanie

Zrealizowane w ramach niniejszej pracy badania na korozyjne pękanie naprężeniowe w środowisku czterowodnego azotanu (V) wapnia dowodzą, że proces stosowany do beczek i zbiorników cystern kolejowych jest prawidłowy i nie wymaga wykonywania dodatkowej obróbki cieplnej. Struktura materiału w obrębie złączy spawanych oraz napoin zaobserwowana pod mikroskopem jest jednolita i nie wykazuje żadnych przerw lub pustek wywołanych środowiskiem korozyjnym lub naprężeniem wywołanym płytami napinającymi.

Twardość złączy spawanych i napoin jest różna w zależności od materiału i rodzaju obróbki cieplnej. Twardość samej spoiny wynosi ok. 98 HRB dla stali P460NL2 oraz 92 HRB dla stali P355NL1. Różnica pomiędzy twardością w strefie wpływu ciepła a spoiną wynosi zaledwie 2 HRB, natomiast pomiędzy strefą wpływu ciepła a napoiną jest to 7 HRB dla stali P460NL2. Dla stali P355NL1 różnice zarówno dla spoiny jak i napoiny są podobne i mieszczą się w zakresie 5 HRB. Można zatem stwierdzić, że spawanie ma wpływ na twardość materiału, a co za tym idzie zwiększa ryzyko wystąpienia ogniska korozyjnego. Dlatego bardzo ważnym jest aby spawacze zajarzyli łuk tylko w miejscu, w którym jest to konieczne i nie zwiększali niepotrzebnie twardości materiału.

Badania magnetyczne proszkowe i badania własności mechanicznych również dowiodły, że stale P460NL2 oraz P355NL1 są prawidłowo dobranymi materiałami do produkcji zbiorników transportowych.

Pomimo tego, że stale te nie wykazały żadnych uszkodzeń w zadanym środowisku, niezbędnym jest wykonanie osobnych badań w zależności od medium jakie będzie przewożone w takich zbiornikach. Zachowanie się stali może się zmienić w zależności od czynnika korozyjnego i spowodować po pewnym okresie użytkowania poważną katastrofę środowiska naturalnego.

#### LITERATURA

1. Praca zbiorowa, Ochrona przed korozją, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1986.
2. B. Surowska, Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2002.
3. Dyrektywa EG/99/36 dotycząca projektowania, wytwarzania, kontroli i eksploatacji urządzeń ciśnieniowych.

