

# Przyczyny nieszczelności rurociągu wody amoniakalnej w obszarze połączeń spawanych

## Causes of pipeline leakage ammonia water near to welded joints

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w celu ustalenia przyczyn pęknięcia rurociągu wody amoniakalnej wykonanego ze stali P235GN. Badania wykazały, że przyczyną powstawania pęknięć w pobliżu złączy spawanych jest korozja międzykrystaliczna na skutek działania środowiska agresywnego (siarczek żelazowy). Stwierdzono, że dodatkową przyczyną mógł być brak podgrzewania wstępnego i wyżarzającego połączeń spawanych.

### Abstract

The article presents the results of tests conducted to determine the causes of cracking of ammonia water pipe made of steel P235GN. Studies show that the cause of cracks near to welded joints is intergranular corrosion by the action of aggressive environment (iron sulfide). It is found that an additional reason could be the lack of preheating and annealing of welded joints.

### Wstęp

Po kilku latach eksploatacji w rurociągach odnotowano liczne uszkodzenia poprzeczne na powierzchni wewnętrznej wokół połączeń spawanych. Wykonywane naprawy przez spawanie nie dały pozytywnych wyników. Pęknięcia miały charakter międzyziarnowy i były wypełnione produktami korozji zawierającymi m.in. siarczek żelazowy FeS. Rurociąg został wykonany ze stali niestopowej (konstrukcyjnej) P235GH.

Montaż i połączenia spawane wykonywała firma posiadająca uprawnienia UDT oraz zatwierdzoną instrukcję technologiczną spawania WPS. Połączenia spawane wykonano na zimno bez wyżarzania odpężającego jak dla stali węglowej. Projektant rurociągu nie podał dodatkowych warunków spawania. Badania metalograficzne wykazały, że przyczyną uszkodzenia była korozja naprężeniowa.

**Jerzy Dobosiewicz, Wojciech Brunné** – Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum”, Katowice.

### Warunki pracy

Rurociągi wody amoniakalnej pracują w sposób ciągły. Powstająca w procesie kondensacji gazu koksowniczego woda zawiera duże ilości rozpuszczonych związków kwaśnych H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> oprócz amoniaku oraz również lotne i nielotne związki amonowe, zawiesiny smoł, olejów, fenole, benzol i inne związki smołowe.

### Dane techniczne rurociągów

#### Parametry pracy

##### Ciśnienie:

- ciśnienie robocze  $p_r = 1,0$  MPa,
- ciśnienie próbne  $p_p = 1,43$  MPa,
- temperatura  $t_r = 80^\circ\text{C}$ .

##### Wymiary:

- kolana  $\varnothing 108 \times 6,30$  mm,
- prostki  $\varnothing 60,3 \times 3,6$  mm,
- prostki  $\varnothing 114,3 \times 4,0$  mm.

##### Środowisko korozyjne:

Zgodnie z danymi projektowymi w wodzie pogazowej dopuszcza się maksymalne stężenie: 10 g/dm<sup>3</sup> Cl<sup>-</sup> i 2 g/dm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S.

## Naprężenia

Dokumentacja techniczna wymienia dwa źródła naprężeń:

- od wydłużenia: 60÷80% dopuszczalnego dla zastosowanej stali, co po przeliczeniu wg danych testowych dla  $R_e = 254 \text{ MPa}$  daje:

$$(254 \text{ MPa}/1,5) \times 0,8 = 135 \text{ MPa}$$

- od ciśnienia: dla  $p_r = 1 \text{ MPa}$  wynoszą w zależności od wymiarów rur odpowiednio:
  - $\varnothing 108 \times 6,30 \text{ mm} \Rightarrow 8,5 \text{ MPa}$ ,
  - $\varnothing 114,3 \times 4,0 \text{ mm} \Rightarrow 9,0 \text{ MPa}$ ,
  - $\varnothing 60,3 \times 3,6 \text{ mm} \Rightarrow 8,3 \text{ MPa}$ .

W warunkach spawania wskazanych przez projektanta nie ma informacji dot. podgrzewania wstępnego oraz wyżarzania odprężającego, co wynika z gatunku materiału i grubości ścianki rur rurociągu.

## Charakter i umiejscowienie pęknięć

Uszkodzenia w postaci pęknięć obwodowych występowały najczęściej na:

- króćcach do pomiarów AKPiA (rys. 1 i 2),
- spawanych kolanach segmentowych (rys. 3),
- odcinkach prostych w strefie spoin kątowych, tzw. boczników (rys. 4).

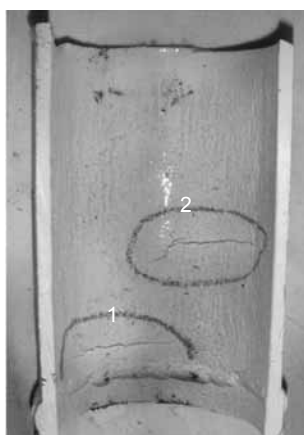
Początek pęknięć zlokalizowany był na powierzchni wewnętrznej w pobliżu połączeń spawanych lub pod nimi oraz przy spoinach połączeń kołnierzowych.

**Badania makroskopowe** wykazały, że:

- pęknięcia w rejonie spoin obwodowych występują w znacznej odległości od połączenia spawanego (rys. 5),



**Rys. 1.** Połączenie czołowe z kołnierzem  
**Fig. 1.** The butt joint with flange



**Rys. 2.** Obwodowe pęknięcia rurociągu od strony wewnętrznej w pobliżu spoin obwodowych (1) i pachwinowych (2)  
**Fig. 2.** Circumferential cracks on the inner side of the pipeline near the butt circumferential joints (1) and fillet weld (2)

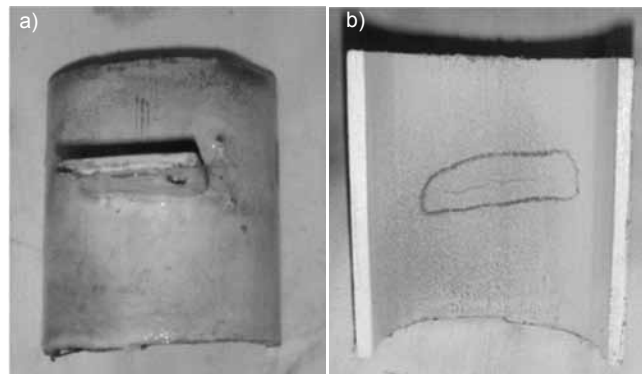
- pęknięcia pod spoiną pachwinową bocznika umiejscowione są poza strefą wpływu ciepła (SWC) (rys. 6).

## Badania metalograficzne

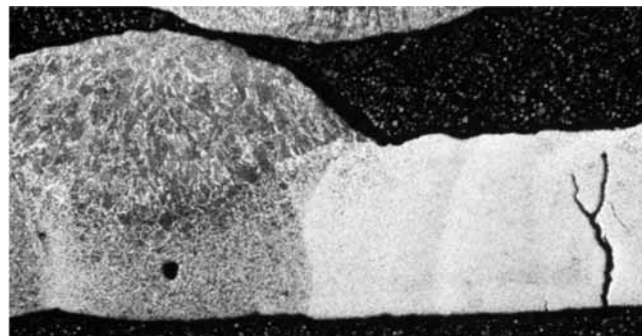
Badania metalograficzne wykonano na przekrojach poprzecznych pęknięć oraz spoin. W wyniku badań stwierdzono, że w rejonie wszystkich pęknięć struktura metalu jest ferrytyczno-perlityczna z wyraźną



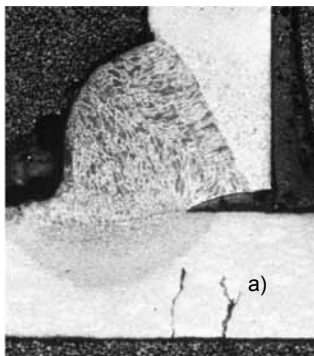
**Rys. 3.** Kolano segmentowe, pęknięcie w okolicy spoiny czołowej  
**Fig. 3.** Knee segment, rupture near to a butt weld



**Rys. 4.** Napoina pachwinowa bocznika do galvanicznego łączenia elementów rurociągu (a) i pęknięcia obwodowe pod bocznikiem (b).  
**Fig. 4.** Padding weld on the shunt to galvanic joining of elements of the pipeline (a) and circumferential cracks in a shunt (b)



**Rys. 5.** Połączenie kołnierzowe – pęknięcia od strony wewnętrznej  
**Fig. 5.** Flange joint – cracks on the inside



**Rys. 6.** Połączenie bocznika z rurą – pęknięcia od strony wewnętrznej  
**Fig. 6.** The joint of shunt and pipe – cracks on the inside

pasemkowatością (rys. 7), a pęknięcie ma charakter międzyziarnowy (rys. 8).

### Pomiary twardości

Materiał miał twardość  $110 \pm 130$  HV.

### Badania osadów

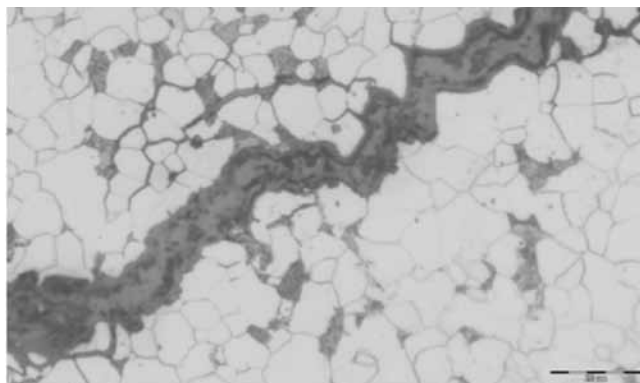
Sprawdzono metodą punktową skład chemiczny osadu pobranego z pęknięcia. W wyniku badania stwierdzono obecność znacznej ilości związków siarki (rys. 9).

### Badania wody amoniakalnej

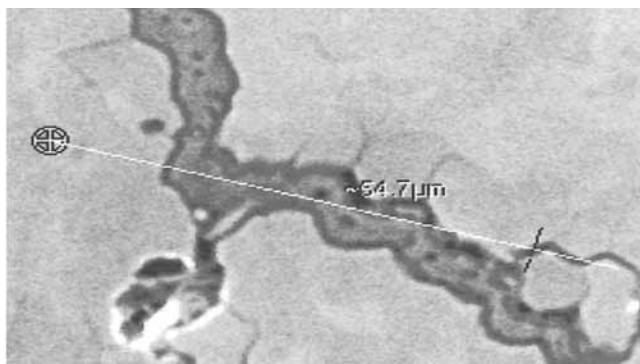
Badania wody amoniakalnej wykazały, że w czasie prowadzenia badań stężenie siarkowodoru nie przekroczyło  $0,5 \text{ g/dm}^3$ .



Rys. 7. Fragment a z rys. 6, pow. 100 x  
Fig. 7. Fragment a z fig. 6, magn. 100 x



Rys. 8. Pęknięcie przebiegające po granicach ziarn  
Fig. 8. Crack extending on the grain boundaries



Rys. 9. Miejsca badań punktowych osadów w pęknięciach  
Fig. 9. Location of point of sediment in the cracks

## Podsumowanie

Rurociąg został wykonany ze stali węglowej P235GN, a połączenie spawane wykonano bez podgrzewania wstępnego i wyżarzania odprężającego zgodnie z uprawnieniami UDT – wykonawcy montażu dla tego gatunku stali.

Występujące uszkodzenia miały charakter poprzeczny w stosunku do głównej osi rurociągu i brały swój początek na powierzchni wewnętrznej w pobliżu spoin, szczególnie pachwinowych, łączących elementy „obejść” galwanicznych z powierzchnią rury.

Wszystkie pęknięcia przebiegały między ziarnami (charakter międzykrystaliczny) i były powodowane korozją międzykrystaliczną, która występuje w przypadku:

- działania naprężeń rozciągających (własnych lub przyłożonych),
- obecności środowiska agresywnego (np.  $\text{H}_2\text{S}$ ),
- materiału podatnego na działanie  $\text{H}_2\text{S}$  (woda amoniakalna zawierająca  $\text{H}_2\text{S}$ ).

W rurociągach wykonanych ze stali węglowych po niezbyt długim okresie eksploatacji często występują pęknięcia międzykrystaliczne. Jest to pęknięcie naprężeniowe, siarczkowe pojawiające się w strefach SWC lub w ich pobliżu. W stali o strukturze ferrytyczno-perlitycznej o stosunkowo niskiej twardości często pojawia się również w materiale rodzimym.

Gdy twardość obszaru złącza spawanego lub w miejscu spoin przekracza dopuszczalną wartość 250 HV, należy zgodnie z PN-EN ISO 15156-2:2008 spawany element poddać wyżarzaniu odprężającemu.

Przyczyną uszkodzenia było prawdopodobnie przekraczanie dopuszczalnej wartości stężenia  $\text{H}_2\text{S}$  w wodzie amoniakalnej, co mogło mieć miejsce w czasie rozruchu urządzenia lub okresowo w czasie eksploatacji. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym inicjacji pęknięcia był sposób montażu (brak podgrzewania wstępnego i wyżarzania odprężającego połączeń spawanych).

## Literatura

- [1] Uhlig H.: Korozja i jej zapobieganie, Warszawa, WNT 1976.
- [2] Tasak E.: Pęknięcie korozyjne stali niestopowych i stopowych – problemy uszkodzeń korozyjnych instalacji w przemyśle

chemicznym. Seminarium naukowo-techniczne UDT Oddz. Kraków, 06.2010.