Prof. dr hab. inż. JERZY ZIÓŁKO, *jziolko@pg.gda.pl*
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy i Politechnika Gdańska
Mgr inż. EWA SUPERNAK, *super@pg.gda.pl*
Politechnika Gdańska
Mgr inż. JERZY MUSZYŃSKI, *jjmuszynski@poczta.onet.pl*
Biuro Projektowo-Handlowe J.J.Muszyński, Gdynia

USZKODZENIA KOROZYJNE NOWO WYBUDOWANEGO ZBIORNIKA ZE STALI NIERDZEWNEJ

CORROSION DAMAGES OF A NEW TANK CONSTRUCTED OUT OF RUSTPROOF STEEL

Streszczenie Tytuł referatu wydaje się paradoksalny lecz oddaje dobrze sytuację, która zaistniała po wybudowaniu dwóch identycznych walcowych, pionowych zbiorników na spirytus etylowy. Każdy z tych zbiorników ma pojemność 800 m^3, wykonany jest ze stali nierdzewnej. Podczas spawania blach dna i płaszcza tych zbiorników wystąpiły odstępstwa od prawidłowej technologii spawania nierdzewnej stali austenitycznej X5CrNi 18-10. W ich wyniku powstało wiele ognisk korozyjnych w sąsiedztwie spoin. W referacie wskazano na zależności pomiędzy błędami spawalniczymi a korozją stali. Podano także zasady prawidłowej technologii spawania stali nierdzewnych i wymagania pielęgnacji spoin po ich wykonaniu.

Abstract The report title seems to be a paradoxal one but it reflects well the situation that occurred after two identic cylindrical vertical tanks for etylen alcohol have been built. Each of those tanks has a capacity of 800 m^3 and is made out of a rustproof steel. During the welding of the bottom and wall plates there occurred deficiencies with respect to the proper technology of welding the rustproof austenic steel X5CrNi 18-10. This fact caused that many corrosion centers have occurred in the vicinity of the welds. In the report the dependences between the welding deficiencies and the steel corrosion have been shown. Also the principles of a proper welding technology for rustproof steel have been given, as well as – the appropriate treatment of welds after their execution – indicated.

1. Wprowadzenie – ogólna charakterystyka zbiorników

Inwestor wybudował dwa zbiorniki na podstawie tej samej dokumentacji. Ponieważ konstrukcja zbiorników jest identyczna, identyczny jest także charakter ich uszkodzeń, a rozmiary uszkodzeń są zbliżone dlatego, dla uproszczenia omawiany będzie tylko jeden zbiornik. Ma on pojemność V = 800 m^3, jest jednopłaszczowy, walcowy pionowy, naziemny, posadowiony na fundamencie piaskowym okolonym żelbetowym pierścieniem. Zbiornik w całości wykonany jest ze stali nierdzewnej X5CrNi 18-10[1] i przeznaczony jest do magazynowania

[1] Skład chemiczny stali X5CrNi 18-10 w procentach według PN-EN 10088-1:luty 2007 [2] C ≤ 0,07; Si ≤ 1,00; Mn ≤ 2,00; max P = 0,045; S ≤ 0,015; N ≤ 0,11; Cr = 17,5 ÷ 19,5; Ni = 8,0 ÷ 10,5

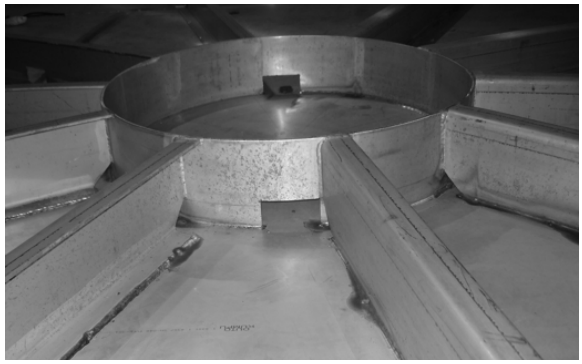
alkoholu etylowego o gęstości 7,9 kN/m^3. Dopuszczalne nadciśnienie charakterystyczne w zbiorniku wynosi 2,5 kPa, podciśnienie natomiast 0,5 kPa.

Zbiornik ma następujące wymiary główne:

- średnica wewnętrzna płaszcza d_w = 10024 mm,
- wysokość płaszcza h = 11000 mm,
- strzałka stożkowego dachu f = 895 mm.

Dno jest stożkowe o niedużej wyniosłości w osi zbiornika – odbiór magazynowanego spirytusu odbywa się otworem spustowym usytuowanym przy obwodzie dna. Dno na całej powierzchni ma grubość 6 mm, blachy łączone są spoinami czołowymi. Dno usztywnione jest dziesięcioma promieniście usytuowanymi żebrami wykonanymi z ceowników giętych na zimno 160×50×6. Żebra te połączone są w osi zbiornika walcowym zwornikiem (rys. 1 i 2).

Rys. 1. Usztywnienie górnej powierzchni dna zbiornika żebrami



Rys. 2. Połączenie żeber usztywniających dno ze zwornikiem w osi zbiornika

Płaszcz zbiornika składa się z sześciu pierścieni blach o grubościach: 6 mm – pierścień dolny, łączący się z dnem, 5 mm – pozostałe pierścienie. Płaszcz zakotwiony jest w żelbetowym pierścieniu okalającym fundament dziesięcioma śrubami M24. Styki blach płaszcza, zarówno pionowe jak i obwodowe są doczołowe. Górna krawędź płaszcza zwieńczona jest pierścieniem wygiętym z rury kwadratowej 120×120×6.

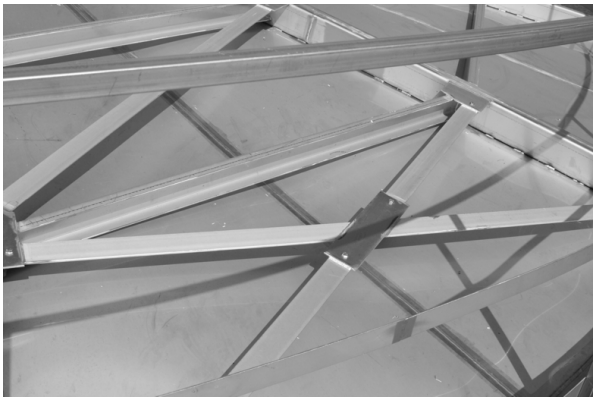
Dach zbiornika ma konstrukcję nośną umieszczoną ponad blachami pokrycia dachowego (rys. 3).

Rys. 3. Widok ogólny dachu zbiornika z konstrukcją nośną usytuowaną powyżej blach pokrycia dachowego

Konstrukcję nośną stanowi dziesięć promieniście usytuowanych żeber wykonanych z dwóch ceowników giętych na zimno 160×50×6 zespawanych w skrzynkę i połączonych w osi zbiornika kolistym zwornikiem. Pomiędzy zwornikiem a obwodem dachu promieniste żebra nośne uszty-

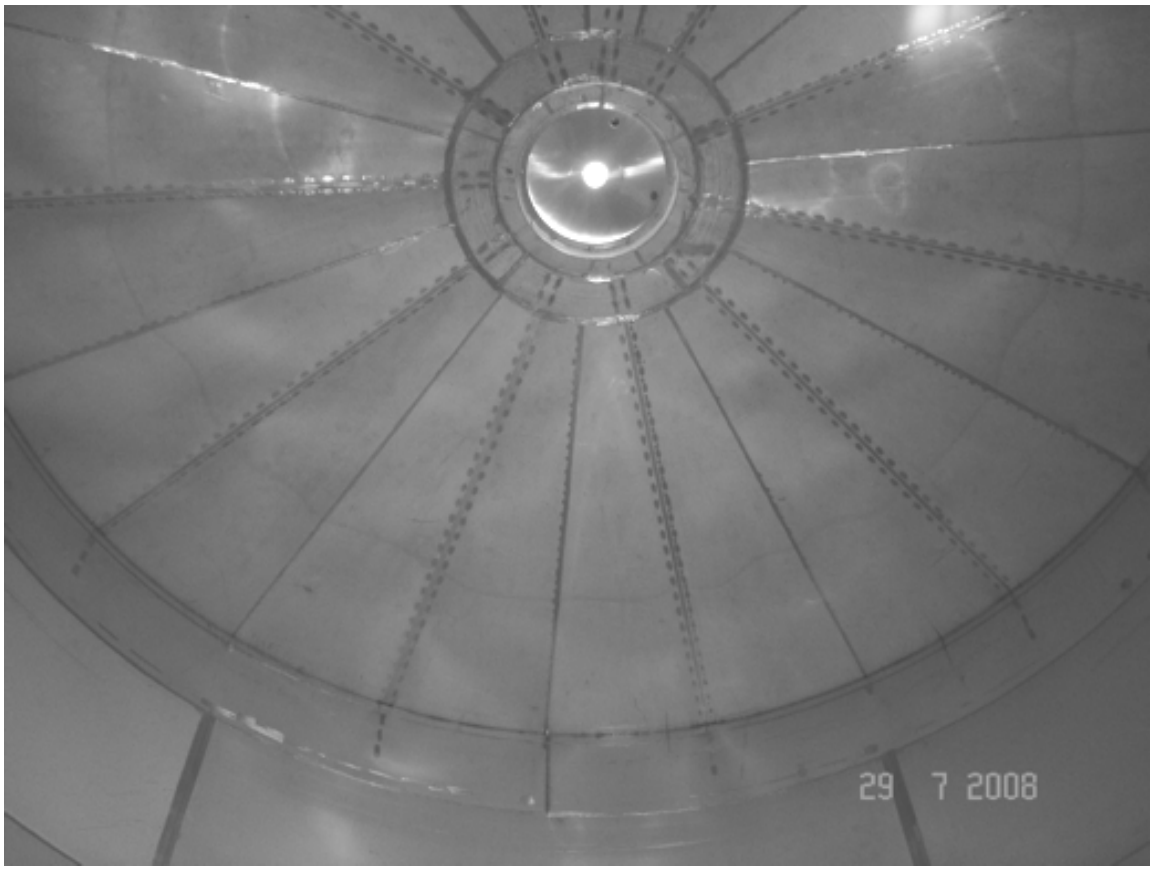
wnione są trzema pierścieniami wielobocznymi płatwi wykonanych z ceowników giętych na zimno 140×50×6 (rys. 4). Dwa pola pomiędzy żebrami dachowymi połączone są kratowymi stężeniami wiatrowymi (rys. 5).

Rys. 4. Konstrukcja nośna dachu – promieniste żebra i wieloboczne płatwie



Rys. 5. Kratowe stężenie wiatrowe dachu zbiornika

Gładka od strony wnętrza zbiornika powierzchnia blach pokrycia dachowego sfotografowana z poziomu dna zbiornika (rys. 6) uwidacznia spawane styki promieniste łączące blachy pokrycia ze znajdującymi się nad nimi żebrami konstrukcji nośnej dachu.



Rys. 6. Widok pokrycia dachowego z wnętrza zbiornika

Spawanie wszystkich elementów konstrukcji zbiornika wykonano metodą TIG (w osłonie gazu obojętnego – argonu).

2. Uszkodzenia zbiornika stwierdzone po wykonaniu próby wodnej

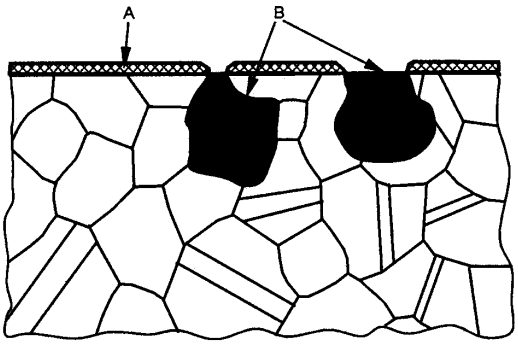
Po próbie wodnej zbiornika stwierdzono dwa rodzaje uszkodzeń jego konstrukcji:

– wady kształtu płaszcza i dna,
– uszkodzenia korozyjne.

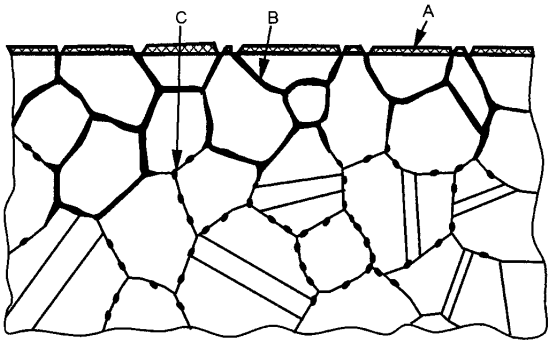
Deformacje płaszcza i dna, wywołane głównie naprężeniami spawalniczymi, oceniono jako niegroźne dla bezpiecznej eksploatacji zbiornika, dlatego nie będą one omawiane w niniejszym referacie, tym bardziej, że należą one do odrębnej tematyki.

Uszkodzenia korozyjne głównie dotyczyły dna zbiornika, były rozległe i występowały w sąsiedztwie spoin. Stąd wniosek, że podczas budowy zbiornika musiały zaistnieć odstępstwa od prawidłowej technologii spawania stali nierdzewnej.

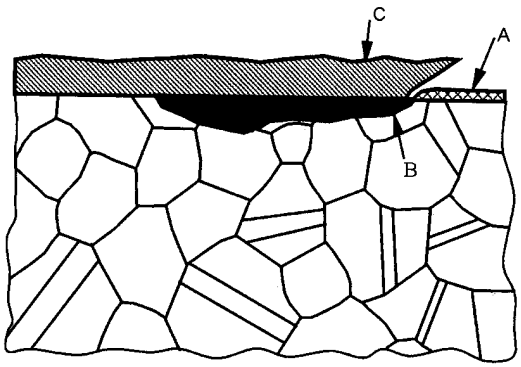
Należy podkreślić, że korozja nierdzewnych stali austenitycznych inicjowana jest w miejscach przerwania cienkiej warstwy pasywnej, która znajduje się na powierzchni wyrobów wykonanych z tej stali. Zagadnienie to omawia między innymi w swej książce Edmund Tasak [1]. Przerwanie warstwy pasywnej może wywołać różne typy korozji: wżerową (rys. 7), międzykrystaliczną (rys. 8), szczelinową (rys. 9). Oczywiście jeżeli dodatkowo złącze spawane będzie zanurzone w cieczy to w zależności od jej składu może powstać ogniwo galwaniczne, a więc oprócz wymienionych uprzednio rodzajów korozji może wystąpić także korozja elektrochemiczna.



Rys. 7. Korozja wżerowa:
A – warstwa pasywna,
B – miejscowe uszkodzenie warstwy pasywnej i spowodowana tym korozja punktowa [1]



Rys. 8. Schemat przebiegu korozji międzykrystalicznej:
A – warstwa pasywna na powierzchni niezubożonej o chrom, B – selektywna korozja na granicach ziaren,
C – węgliki chromu [1]

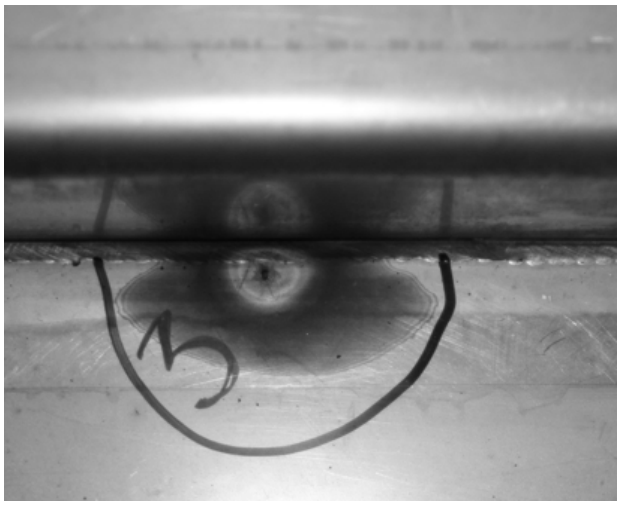


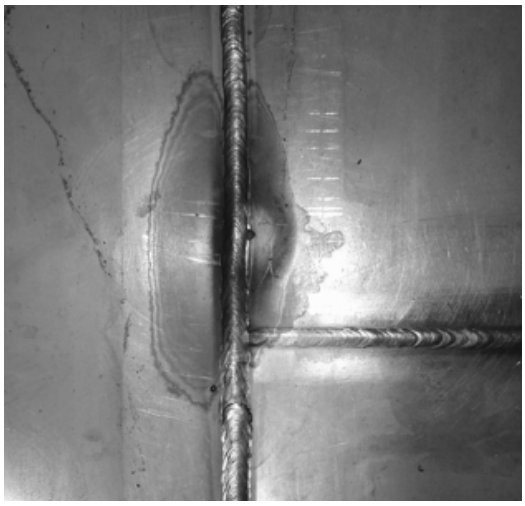
Rys. 9. Korozja szczelinowa: A – warstwa pasywna, która nie rozprzestrzenia się w zbyt wąskiej szczelinie, B – korozja szczelinowa, C – osad (zgorzelina) na powierzchni [1]

Należy dodać, że stal nierdzewna nie toleruje kontaktu ze stalami niestopowymi (S235) lub niskostopowymi (S355) – powstaje wówczas korozja kontaktowa. Niedopuszczalny jest kontakt nawet z opiłkami tych stali lub z narzędziami (tarczami szlifierskimi, szczotkami, piłami,

które uprzednio były używane do obróbki innych stali niż nierdzewne). Oględziny omawianego zbiornika wykazały, że wszystkie wymienione elementarne zasady spawania stali nierdzewnych nie były respektowane:

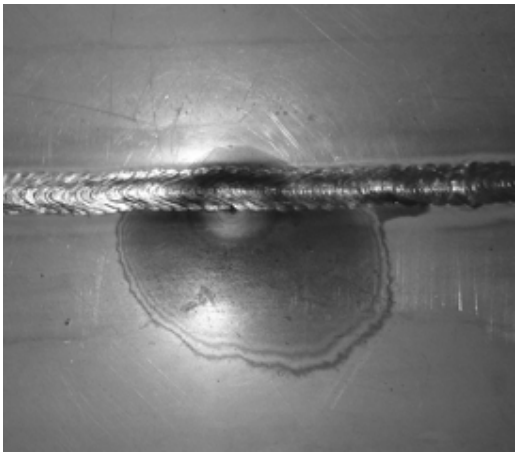
– rys. nr 2 – żebra usztywniające widoczne na pierwszym planie mają podtopienia spoin łączących je z blachami dna. Podtopienia te zainicjowały korozję wżerową. Wzdłuż spoiny łączącej blachę dna z żebrem widocznym z prawej strony rysunku musiały niewątpliwie zalegać nieusunięte opiłki po szlifowaniu elementów konstrukcji i wywołały one korozję szczelinową,
– rys. nr 10 i 11 – zajarzenie łuku spawalniczego w materiale rodzimym a nie w rowku spoiny spowodowało wżer o głębokości około 5 mm. Przerwana została warstwa pasywna na powierzchni blachy dna i zapoczątkowana została korozja wżerowa,



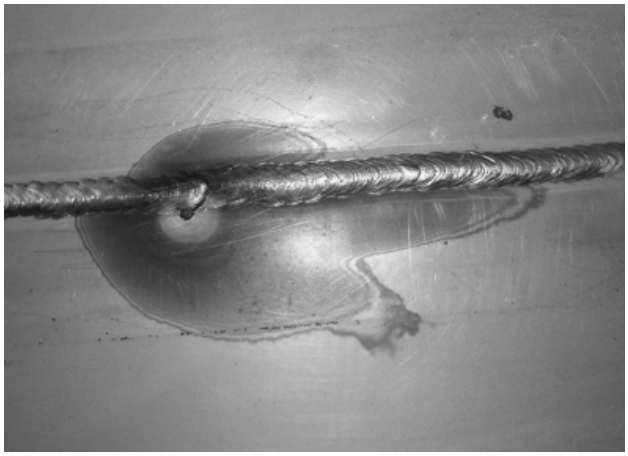


Rys. 10 i 11. Korozja wżerowa zainicjowana zajarzeniem łuku spawalniczego na materiale blachy, (na rys. 10 liczba 3 jest kolejnym numerem wady a nie głębokością wżeru)

– rys. nr 12 – korozja wżerowa zainicjowana podtopieniem spoiny
– rys. nr 13 – krater powstały w miejscu styku dwóch odcinków spoiny czołowej wywołał korozję szczelinową,

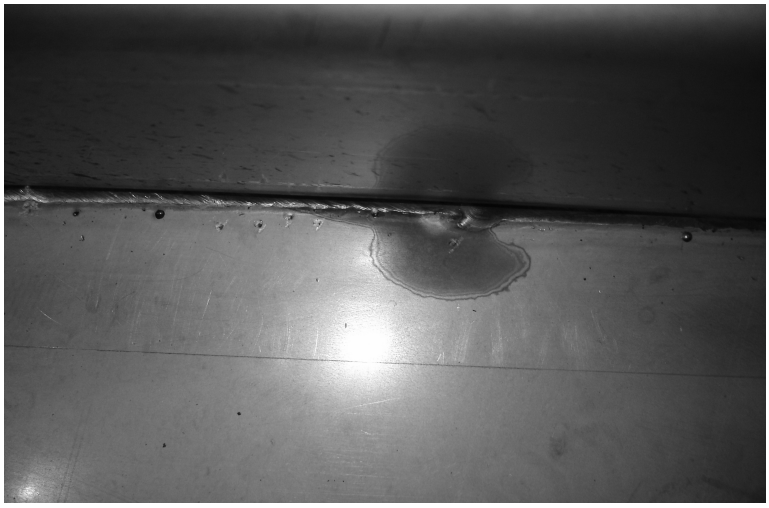


Rys. 12. Korozja wżerowa zainicjowana podtopieniem spoiny



Rys. 13. Korozja wżerowa zainicjowana wadą spoiny czołowej

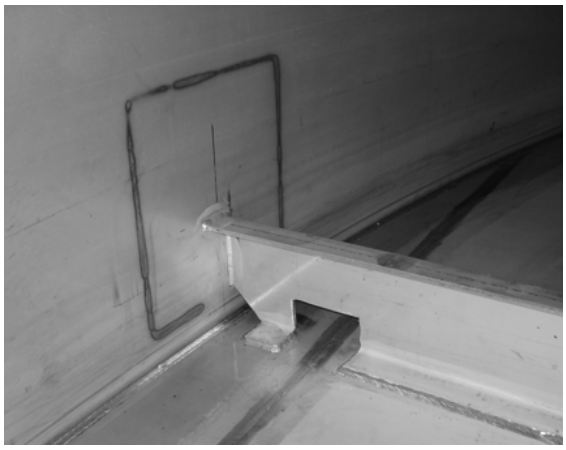
– rys. nr 14 i 15 – nieusunięty odprysk z elektrody zainicjował korozję wżerową.



Rys. 14 i 15. Korozja wżerowa zainicjowana odpryskiem materiału topionej spoiny

Na rysunkach nr 2 oraz 10 do 15 pokazano tylko wybrane miejsca skorodowanych styków – uszkodzeń takich na dnie zbiornika stwierdzono bardzo dużo. Dodać należy, że próbę wodną zbiornika, po której stwierdzono korozję blach i ich spawanych styków przeprowadzono przy użyciu wody z przepływającej w pobliżu rzeczki. Zbadany skład chemiczny tej wody wskazuje, że można ją określić jako elektrolit o dużej aktywności korozyjnej. Związek pomiędzy rozmiarem uszkodzeń korozyjnych a agresywnym działaniem wody użytej do próby wodnej zbiornika potwierdza fakt, że mniej uszkodzeń korozyjnych wystąpiło w tym zbiorniku, którego próba wodna trwała krócej.

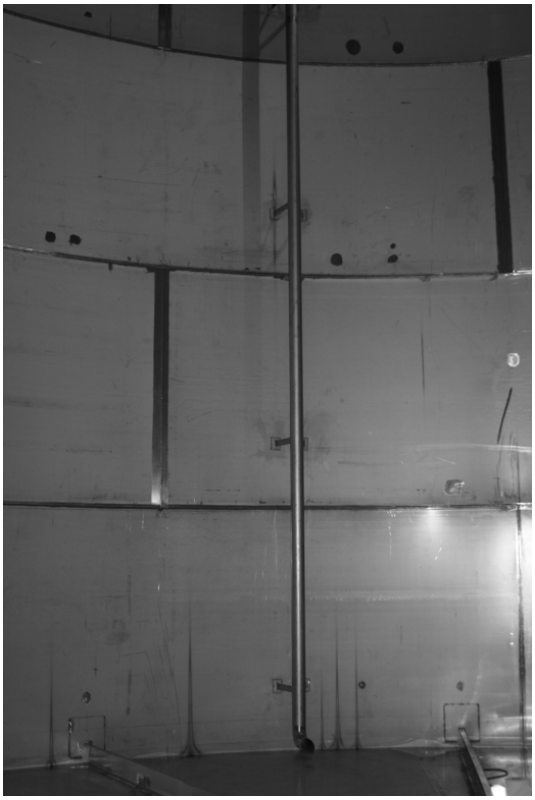
Na płaszczu zbiornika stwierdzono korozję szczelinową w miejscach występowania zgorzeliny czyli strefy przegrzanej i uszkodzeniu warstwy pasywnej w wyniku wykonywania spoin po przeciwnej stronie płaszcza. Należy porównać fotografie (rys. 16 i 17). Na fotografii (rys. 16) widoczna jest niecałkowicie oczyszczona i zeszlifowana zgorzelina po wewnętrznej stronie płaszcza. Zgorzelina ta powstała na obrysie nakładki przyspawanej po zewnętrznej stronie płaszcza (rys. 17). Nakładka jest elementem wspornika, do którego mocowana jest śruba kotwiąca zbiornik w fundamencie. Zgorzelina ta bez zeszlifowania i odnowienia powłoki pasywnej będzie miejscem wystąpienia korozji szczelinowej.



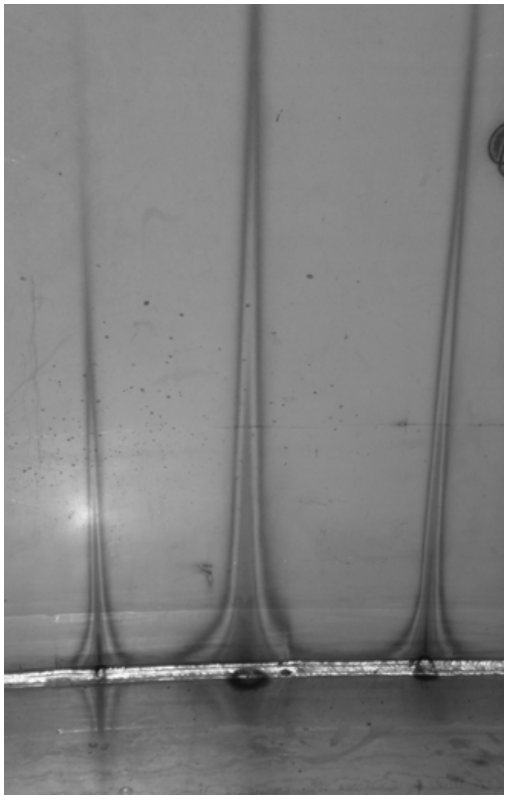
Rys. 16. Korozja szczelinowa powstała w wyniku przegrzania blach płaszcza w trakcie wykonania spoin po jego stronie zewnętrznej

Rys. 17. Wspornik do zakotwienia płaszcza w fundamencie

Podobny stan występuje na spoinach łączących blachy w pasach płaszcza zbiornika (rys. 18) – odcinki lśniące (jasne) styków pionowych to spoiny dobrze oszlifowane, odcinki ciemne to zgorzelina na strefach wpływu ciepła.

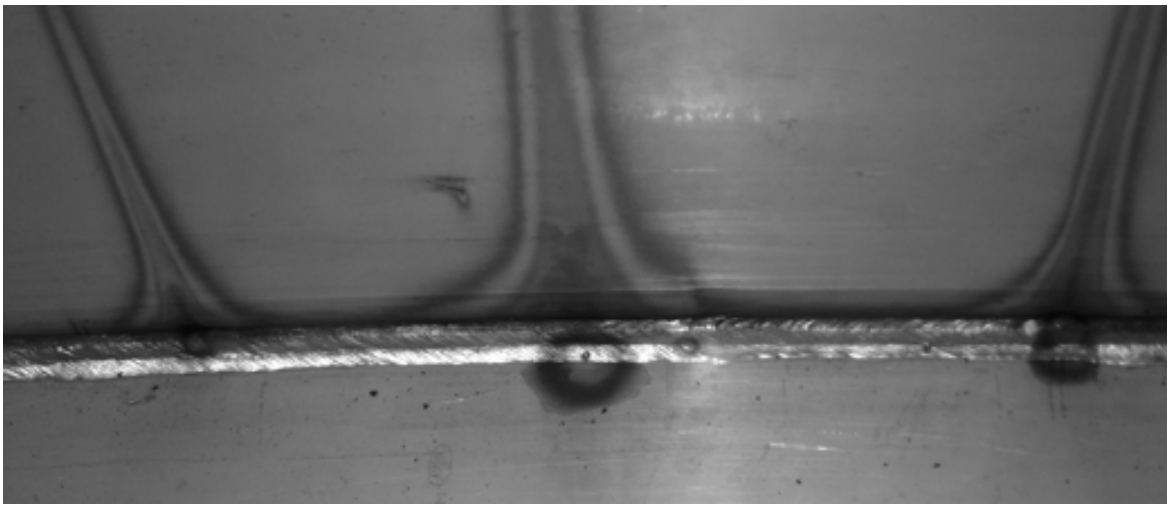


Rys. 18. Fragment płaszcza widoczny od strony wnętrza zbiornika



Rys. 19. Korozja blach płaszcza w strefie jego połączenia z dnem zbiornika

Na dolnym pierścieniu płaszczu stwierdzono w dwóch miejscach oryginalne uszkodzenia korozyjne w strefie połączenia płaszcza z dnem (rys. 19). Na zbliżeniu (rys. 20) widać, że w spoinie pachwinowej pomiędzy płaszczem a dnem występują kratery inicjujące korozję wżerową a wyklinowujące się przebarwienia powyżej kraterów to efekt nagrzewania palnikiem dolnej krawędzi blachy płaszcza w celu usunięcia jej lokalnej deformacji i przywrócenia prawidłowego kształtu.



Rys. 20. Połączenie płaszcza zbiornika z dnem – zbliżenie

3. Sposób usunięcia lokalnych ognisk korozji

Usunięcie lokalnych ognisk korozji na elementach wykonanych z austenitycznej stali nierdzewnej wymaga odbudowania warstwy pasywnej na jej powierzchni w miejscach, w których warstwa ta została uszkodzona (przerwana). W tym celu należy, w ogólnym zarysie, wykonać następujące działania:

– oczyścić i napawać wżery i kratery w spoinach i blachach,
– oczyścić dno zbiornika z wszelkich odpadów i zanieczyszczeń,
– zeszlifować miejsca uszkodzone przez korozję oraz miejsca z występującą zgorzeliną. szlifowanie powinno być prowadzone w kilku etapach przy użyciu narzędzi i materiałów ściernych przeznaczonych do obróbki mechanicznej stali austenitycznych. szlifowanie powinno być zakończone zastosowaniem płótna ściernego o ziarnistości 120 lub drobniejszej,
– przeprowadzić mycie zbiornika czystą wodą pod ciśnieniem, wysuszyć go gorącym powietrzem a następnie miejsca z uszkodzoną warstwą pasywną poddać trawieniu oraz pasywacji. do trawienia zaleca się ciecz o składzie chemicznym i następujących proporcjach składników:
  - 15÷20% – kwas azotowy HNO_3 o stężeniu 70%,
  - 1,5÷3,0% – kwas fluorowodorowy HF o stężeniu 60%,
  - reszta to woda destylowana lub demineralizowana.

  Do pasywacji zaleca się stosowanie cieczy o składzie chemicznym i następujących proporcjach składników:
  - 15÷20% – kwas azotowy HNO_3 o stężeniu 70%,
  - reszta to woda destylowana lub demineralizowana.

  Ciecze trawiące oraz pasywujące najkorzystniej jest nanosić metodą zraszania. Czas trwania tych zabiegów przy temperaturze otoczenia 20÷35ºC w zależności od rodzaju trawionych elementów wynosi od 20 minut do 2÷3 godzin, czas pasywacji od 30 do 60 minut.

  Ciecze trawiące oraz pasywujące koniecznie należy usunąć przy pomocy strumienia wody, a następnie powierzchnię poddaną obróbce chemicznej należy wysuszyć strumieniem czystego powietrza.

  Ze względu na dużą specyfikę tych czynności wymienione prace należy zlecać wyspecjalizowanym firmom.

Literatura

1. Tasak E.: Metalurgia spawania, Wydawnictwo JAK Andrzej Choczewski, Kraków 2008.
2. PN-EN 10088-1:luty 2007 Stale odporne na korozję. Część 1: Gatunki stali odpornych na korozję.