

IMPERFEKCJE STALOWYCH ZBIORNIKÓW WALCOWYCH, PRZYCZYNY ICH POWSTAWANIA, METODY OGRANICZANIA

Ziółko Jerzy

Politechnika Gdańska, Gdańsk, Polska

**Konferencja. Problemy eksploatacyjne baz magazynowych
produktów naftowych, Poznań 11-12 maja 1999.**

KONFERENCJA
„PROBLEMY EKSPLOATACYJNE BAZ MAGAZYNOWYCH PRODUKTÓW NAFTOWYCH”
POZNAŃ, 11 – 12 maja 1999

**IMPERFEKCJE STALOWYCH ZBIORNIKÓW WALCOWYCH,
PRZYCZYNY ICH POWSTAWANIA,
METODY OGRANICZANIA**

prof. dr hab. inż. Jerzy Ziółko

Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Lądowego

IMPERFEKCJE STALOWYCH ZBIORNIKÓW WALCOWYCH, PRZYCZYNY ICH POWSTAWANIA, METODY OGRANICZANIA

1. Wprowadzenie

Imperfekcje, o nadmiernej wartości lub intensywności występowania, stanowią duże zagrożenie dla bezpiecznej eksploatacji konstrukcji inżynierskiej bowiem przyspieszają występowanie zjawiska:

- wyboczenia w konstrukcjach prętowych,
- lokalnej utraty stateczności w konstrukcjach płytowych lub powłokowych.

Imperfekcji nie można jednak całkowicie wyeliminować gdyż wynikają one z technologii wytwarzania konstrukcji. Im konstrukcja jest bardziej cienkościenna i o większych wymiarach gabarytowych tym więcej starań należy dołożyć aby ograniczyć wartość imperfekcji, których przyczyną występowania są różne, niezależne od siebie niedokładności i błędy popełnione przy wykonywaniu obiektów inżynierskich.

Współczesne stalowe zbiorniki walcowe o dużej pojemności są imponującymi obiektami inżynierskimi. Zbiornik o pojemności 50 000 m³, który zaliczany jest do zbiorników dużych, lecz nie największych, ma średnicę około 65,0 m i wysokość 18,0 m. Zbiornik taki ma płaszcz wykonany z blach o grubości 24 mm przy dnie i 10 mm przy górnej krawędzi jest więc konstrukcją wyjątkowo cienkościenną o stosunku $t/d = - 0,0002 \div 0,0004$.

Zbiorników o pojemności 50 000 m³ jest w Europie wiele, są również, w mniejszej liczbie także zbiorniki o pojemności 100 000 i 125 000 m³. W Japonii od lat eksploatowane są zbiorniki o pojemności przekraczającej 250 000 m³, średnica takiego zbiornika ma ponad 100 m.

2. Przyczyny powstania imperfekcji stalowych zbiorników walcowych

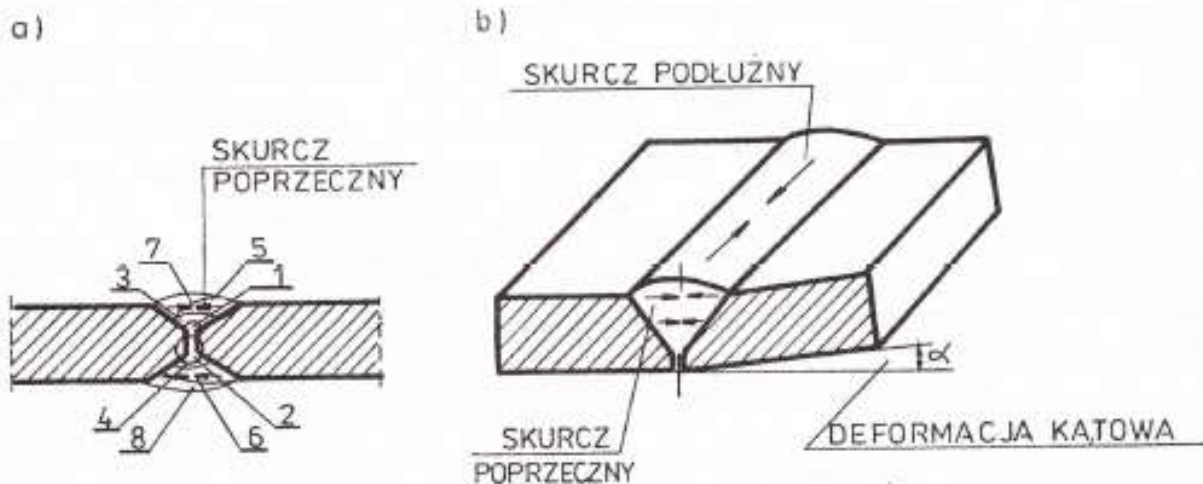
Imperfekcje głównego elementu konstrukcji zbiornika - płaszcz - wynikają ze sposobu wykonywania tego cienkościennego elementu o wyjątkowo dużej powierzchni. Dla przykładu warto przytoczyć liczby:

- zbiornik o pojemności $V = 50\ 000\ m^3$ ma powierzchnię płaszcz ok. 3660 m²,
- zbiornik o pojemności $V = 100\ 000\ m^3$ ma powierzchnię płaszcz ok. 5280 m².

Płaszcz wykonuje się z blach o wymiarach od ok. 1,50 x 6,0 m do 3,0 x 9,0 m czyli odpowiednio powierzchni od 9,0 do 27,0 m². Blachy te mają krzywiznę nadawaną na walcach w wytwórni

i następnie transportowane są na plac budowy. Oczywiście im większe wymiary blachy tym mniejsza długość połączeń spawanych koniecznych do wykonania na placu budowy, ale równocześnie zwiększone zużycia stali gdyż przekrój pionowy płaszcza jest mniej dostosowany do zmieniającego się, po obrysie trójkąta, parcia hydrostatycznego cieczy magazynowanej w zbiorniku. Blachy o dużych wymiarach są również bardziej podatne na odkształcenia podczas transportu i przemieszczania ich na placu budowy. Tak więc decyzja o doborze wymiarów blach, z których tworzy się płaszcz zbiornika powinna zapaść w wyniku analizy uwzględniającej zarówno korzyści ze zmniejszenia zakresu robót spawalniczych jak i strat wynikających z zwiększenia zużycia stali na płaszcz [1]. Istotnym elementem decyzyjnym jest także sposób transportu i technologia montażu na budowie. Określając dokładne wymiary blach należy brać także pod uwagę, że końcówki arkuszy blach mogą mieć inną, na ogół mniejszą, krzywiznę niż środkowa część arkusza. Walcowanie końcówek blach jest specjalnie trudne i mniej wyspecjalizowane wytwórnie nie zawsze radzą sobie dobrze z tym problemem. W przypadku źle wywalcowanych końcówek blach w miejscach styków pionowych występują kątowe załamania walcowej powierzchni płaszcza. Renomowane wytwórnie konstrukcji stalowych przy walcowaniu końcówek blach zmieniają odpowiednio rozstawy walców lub wręcz obcinają niedowalcowane końcowe fragmenty arkuszy. To drugie rozwiązanie jakkolwiek skuteczne jest zdecydowanie nieekonomiczne.

Następnym źródłem imperfekcji płaszcza zbiornika walcowego jest wykonawstwo spoin. Wykonanie każdej spoiny czołowej, a także stosuje się przy łączeniu blach płaszcza zbiornika, wywołuje odkształcenie kątowe oraz skurcz poprzeczny i podłużny. Odkształcenie kątowe związane jest ze sposobem ukosowania brzegów blach do spawania (rys. 1).



Rys. 1. Odkształcenia złączy spawanych, a- złącze czołowe blachy ukosowane symetrycznie, b- złącze czołowe blachy ukosowane niesymetrycznie, 1-8 - kolejność wykonywania warstw spoiny

Najmniejsza deformacja kątowa powstaje przy spawaniu złączy symetrycznych tj. ukosowanych na X, największa przy spawaniu złączy niesymetrycznych - ukosowanych na V. W płaszczach zbiorników stosuje się z reguły ukosowanie brzegów blach na X, a kolejne ściegi spoin wykonuje się na przemian od strony zewnętrznej płaszcza i od strony wewnętrznej. Każdy z tych ściegów wywołuje odkształcenie kątowe, które powinno być zrekompensowane przez odkształcenie towarzyszące wykonywaniu następnego ściegu po przeciwnej stronie płaszcza. Nie zawsze to jednak się udaje i wówczas na stykach spawanych występują kątowe załamania. Z wymienionych poprzednio skurczy spoin czołowych: poprzecznego i podłużnego szczególne znaczenie przy budowie zbiorników walcowych ma skurcz poprzeczny, towarzyszący stygnięciu każdego styku czołowego. Wartość tego skurczu zależy od grubości styku i technologii jego wykonania. Pomierzony skurcz poprzeczny przy budowie zbiornika o pojemności 32 000 m³ (średnica płaszcza 52,0 m, grubości dolnego pierścienia blach płaszcza 25 mm) wynosił 1,6 mm/styk. Dało to, przy konstrukcji pierścienia złożonej z 26 blach, każda o długości 6,0 m, łączny skurcz na obwodzie 41,6 mm. Skurcz ten należy uwzględnić zarówno w technologii spawania tj. kolejności wykonywania styków pionowych i obwodowych jak i przy wyznaczaniu długości blach płaszcza. Blacha zamykająca pierścień płaszcza musi mieć nadatek długości gdyż przy jego braku powstanie lokalne załamanie walcowego kształtu płaszcza.

Kolejną przyczyną deformacji płaszcza zbiornika jest jego nierównomierne osiadanie. Dotychczas najczęściej zbiorniki cylindryczne posadowiono na fundamentach piaskowych. Wykonywanie płytowych fundamentów żelbetowych jest bowiem bardzo drogie przy dużych powierzchniach dna z jakimi mamy do czynienia przy walcowych zbiornikach stalowych. Dla przykładu:

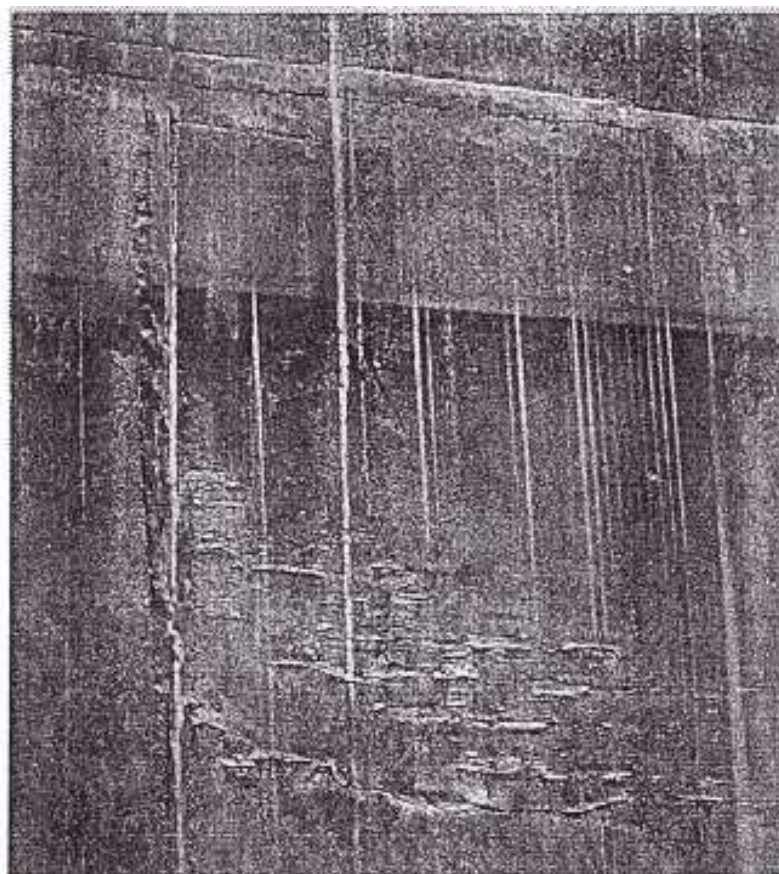
- zbiornik V = 10 000 m³ o średnicy płaszcza 31,76 m ma powierzchnię dna 792 m²,
- zbiornik V = 50 000 m³ o średnicy płaszcza 64,84 m ma powierzchnię dna 3298 m².

Jeżeli piaskowy fundament zbiornika nie będzie jednakowo zagęszczony to na odcinkach obwodu, na których płaszcza osiadzie więcej niż na sąsiednich odcinkach powstanie lokalne wychylenie płaszcza do wnętrza zbiornika.

Wymienione imperfekcje miały charakter postaciowy jednakże w płaszczu zbiornika jest także wiele imperfekcji związanych ze strukturą i właściwościami samego materiału. W blachach spotykamy się także z tak zwanymi zawałcowaniami tj. rozwałcowanymi wtrąceniami niemetalicznymi w stali. Jeżeli zawałcowanie występuje w środku grubości blachy, jest usytuowane równoległe do powierzchni blachy i oddalone od styków spawanych nie stanowi wówczas zagrożenia dla bezpieczeństwa płaszcza. Inaczej jest przy spoinach, a zwłaszcza w miejscach krzyżowania się spoin pionowych i poziomych. Wtrącenia niemetaliczne mają różny współczynnik rozszerzalności termicznej niż stal, w wyniku tego ciepło spawania powoduje w blachach pęknięcia

podłużne przy powierzchni wtrąceń niemetalicznych. Jeżeli wtrącenie niemetaliczne usytuowane jest ukośnie do powierzchni blachy to w wyniku powstałego pęknięcia pewien jej fragment został wyłączony z pracy (rys. 2) należy więc go wyciąć i zastąpić blachą bez wad hutniczych.

Rys. 2. Zewnętrzne objawy rozwarstwienia blachy płaszcz zbiornika w narożniku pomiędzy spoiną pionową i poziomą.



3. Metody ograniczania imperfekcji stalowych zbiorników walcowych

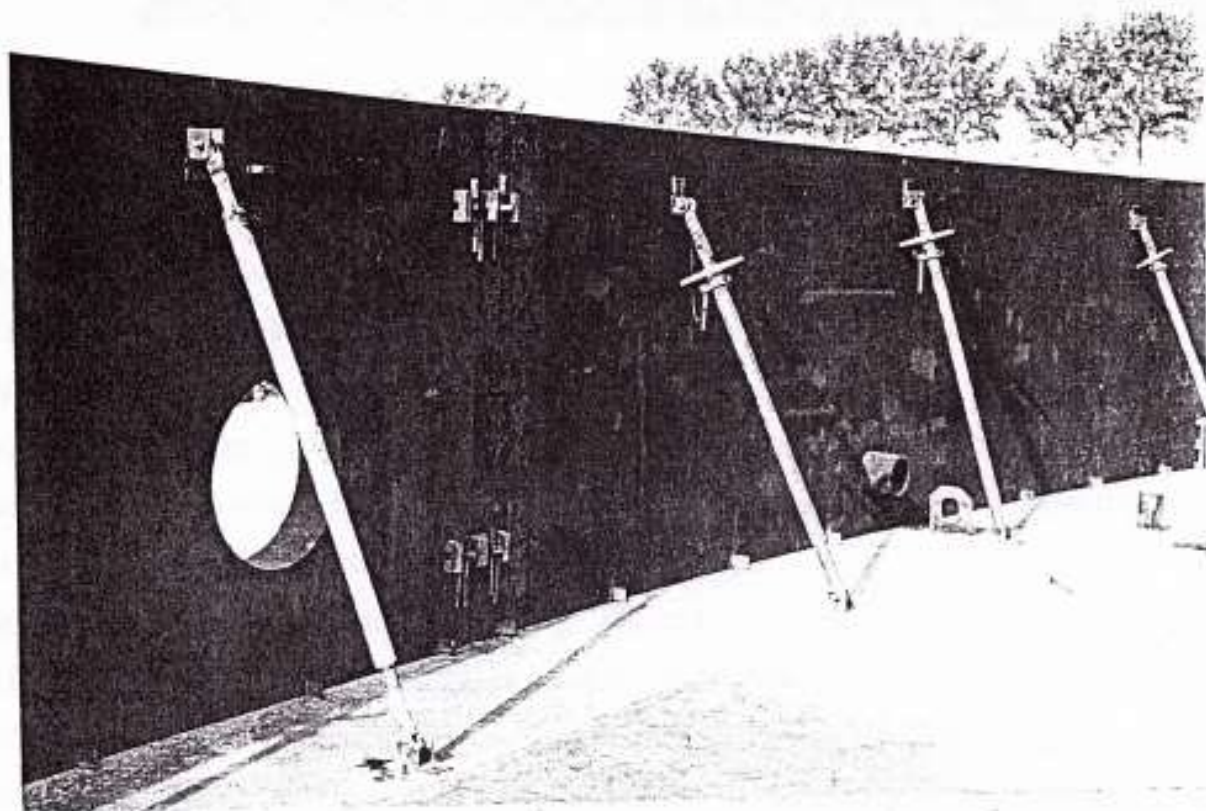
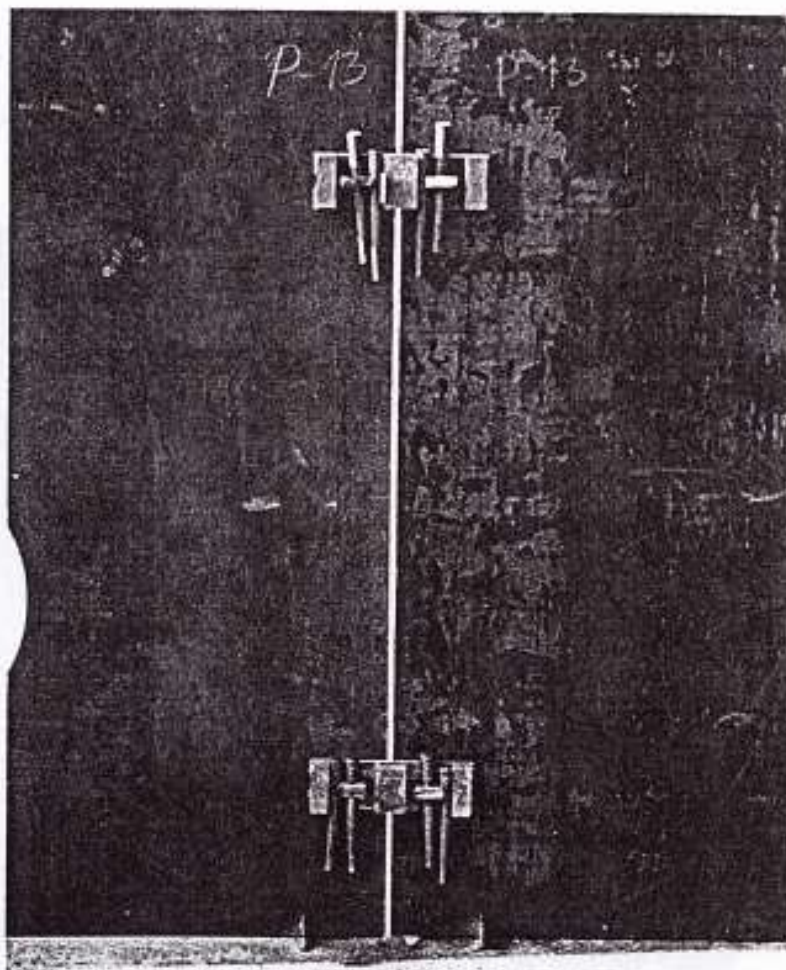
Sposób ograniczania imperfekcji płaszcz zbiornika walcowego jest zróżnicowany tak jak i przyczyny powstawania tych imperfekcji są bardzo różne.

Imperfekcje kształtu blach, z których tworzy się płaszcz zbiornika powinny być stwierdzone przez nadzór techniczny budowy. Blachy nadające się do naprawy należy naprawić, inne z imperfekcjami niemożliwymi do naprawy odrzucić. Największe imperfekcje kształtu płaszcz powstają jednak w wyniku niefachowo prowadzonych prac montażowych i spawalniczych. Zalecenia prawidłowych technologii tych robót ujęte najbardziej skrótowo sprowadzają się do poniższych uwag.

W poszczególnych pasach płaszcz w pierwszej kolejności należy wykonać wszystkie styki pionowe i dopiero wówczas można połączyć dwa pasy spoinami poziomymi. Blachy powinny być łączone do spawania uchwytyami montażowymi, które dzięki zastosowaniu klinów pozwalają zarówno na regulację rozstawu pomiędzy krawędziami blach jak i zapewniają rozładowanie skurczu spawalniczego przez przemieszczenie się blachy (rys. 3).

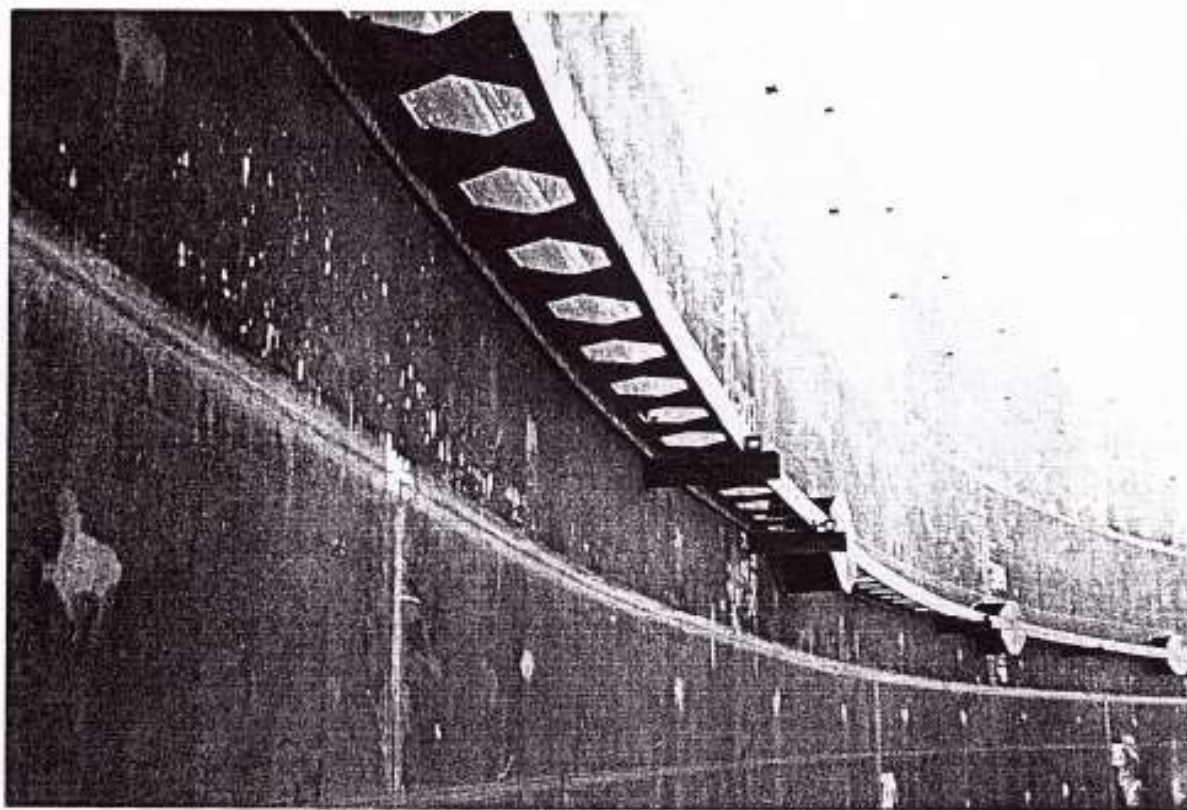
Rys. 3. Uchwyt montażowy do zestawiania do spawania styków pionowych w płaszczu zbiornika.

Niezmiernie ważna jest możliwość regulacji usytuowania blachy w pionie, zwłaszcza w najniższym pasie płaszcza, który stanowi bazę dla budowy całego zbiornika. Dlatego blachy najniższego pasa przed spawaniem utrzymuje się w pionie zastrzałami o regulowanej długości (rys. 4).



Rys. 4. Podpory pionowe podtrzymujące blachy górnej części płaszcza do czasu zespawania styków.

Przy wykonywaniu następných pasów blach płaszcz prawidłowy ich kształt uzyskuje się stosując zarówno podpory pionowe jak i pierścienie montażowe wyprofilowane na dokładny promień płaszcz zbiornika (rys 5).



Rys. 5. Pierścień montażowy stosowany w celu zapewnienia prawidłowego kształtu płaszcz zbiornika.

Pierścienie montażowe zostają usunięte dopiero wówczas gdy górna krawędź płaszcz uzyska usztywnienie konstrukcją dachu stałego lub pierścieniem wiatrowym w zbiorniku z dachem pływającym.

Spawanie zbiornika należy wykonać dokładnie według projektu technologii spawania. Na ewentualne usterki należy reagować bezpośrednio po ich stwierdzeniu. Brak takiej reakcji prowadzi do narastania imperfekcji, które później trudno jest usunąć.

Na rys. 6 pokazano przypadek krańcowy. Zbiornik o pojemności 50 000 m³ miał tak duże deformacje w górnej części płaszcz, że płaszcz należało zdemontować do połowy wysokości, a w dolnej jego części wyciąć na obwodzie 8 prostokątnych pasów i po rozchyleniu blach zastąpić je klinami o trapezowym kształcie. Wycinanie spoin ze stwierdzonymi defektami albo fragmentów blach z rozwarstwieniami wymaga wyjątkowo fachowego działania. Przy cięciu i ponownym spawaniu nagrzewa się bowiem lokalnie mały fragment blachy który, na ogół, ma ograniczone możliwości swobodnego skurczu termicznego na skutek wkomponowania tego

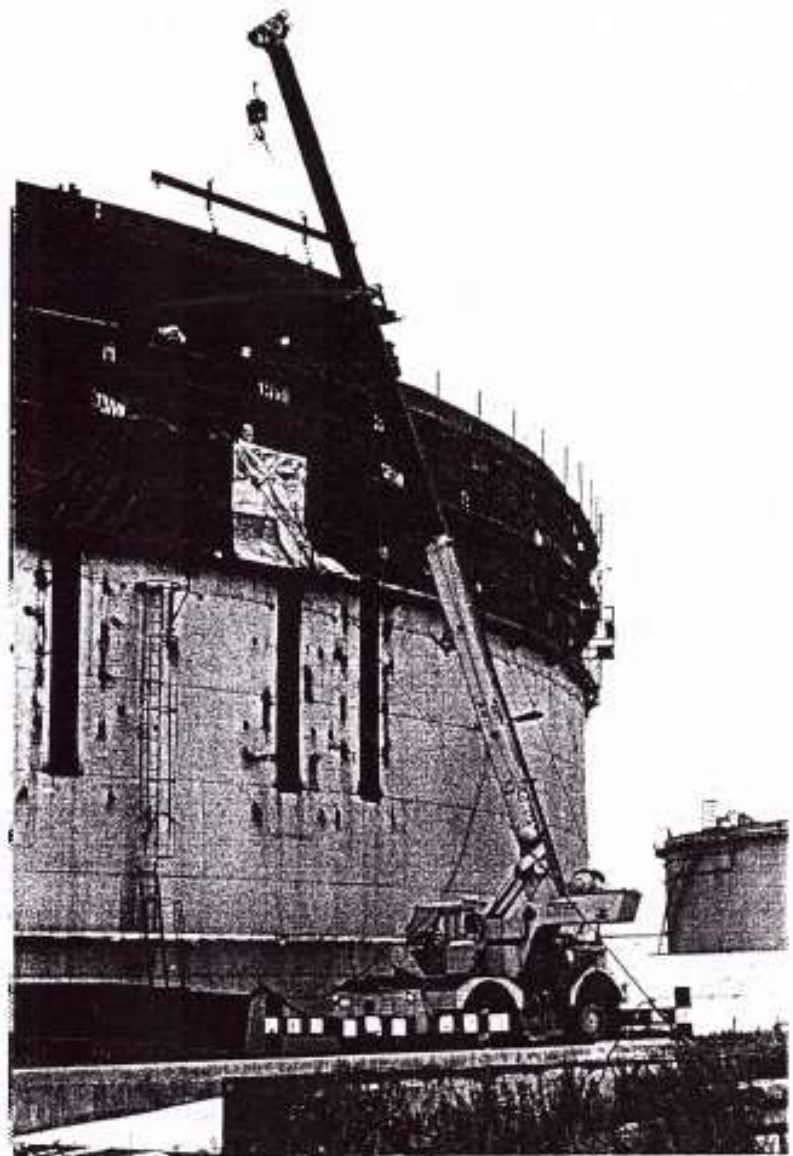
fragmentu w zmontowaną już część płaszcza mającą określoną sztywność. W tych warunkach naprężenia spawalnicze mogą spowodować deformacje kształtu, których przed naprawą spoin nie było.

Usuwanie deformacji kształtu płaszcza spowodowanych nierównomiernym jego osiadaniem wymaga najczęściej unoszenia fragmentów obwodu płaszcza przy zastosowaniu dźwigników hydraulicznych i uzupełnieniu górnej warstwy fundamentu zagęszczonym piaskiem lub torkretem. Jest to więc działanie bardzo trudne i pracochłonne. Technologia takiej naprawy zbiornika o pojemności 10 000 m³ omówiona jest w [2].

Reasumując, najskuteczniejszą metodą przeciwdziałania

imperfekcjom jest stosowanie prawidłowej technologii budowy zbiornika, przy której imperfekcje zostaną sprowadzone do technicznie dopuszczalnych wartości.

Osobnym tematem są imperfekcje kształtu zbiornika wywołane błędami poczynionymi podczas jego eksploatacji. Jeżeli w zbiorniku z dachem stałym doprowadzi się do powstania w jego wnętrzu podciśnienia, to deformacje wystąpią na dachu lub na płaszczu w zależności, który z tych elementów konstrukcyjnych jest w danym zbiorniku słabszy. W zależności od stopnia zdeformowania zbiornika przez podciśnienie jego naprawa może wymagać wymiany nawet dużych fragmentów konstrukcji. Naprawy zbiorników uszkodzonych przez podciśnienie omówiono w [3; 4; 5].



Rys. 6. Naprawa płaszcza zbiornika o pojemności 50 000 m³ (opis w tekście).

Literatura

- [1] Kowalski D.: Ocena kosztów wykonania cylindrycznego zbiornika na paliwa w zależności od gatunków stali i wymiarów blach. *Inżynieria i Budownictwo* 7/97, 379-381.
- [2] Ziółko J.: Instandsetzung am verformten Mantel eines zylindrischen Stahlbehälters. *Stahlbau* 62 (1993) 164-169.
- [3] Ziółko J.: Die Instandsetzung durch Unterdruck beschädigter zylindrischer Stahlbehälter. *Der Stahlbau* 49 (1980) 347-348.
- [4] Ziółko J.: Formkorrektur an Mänteln zylindrischer Stahlbehälter. *Stahlbau* 62 (1993) 149-153.
- [5] Ziółko J., Supernak E., Borek P., Jędrzejewski M.: Repair of cylindrical tanks damaged by negative pressure produced in their inner space. International Conference on "Carrying capacity of steel shell structures" Brno 1997, 246-251.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Kowalski D.: Ocena kosztów wykonania cylindrycznego zbiornika na paliwa w zależności od gatunku stali i wymiarów blach. *"Inżynieria i Budownictwo"*, nr 7, 1997, p. 379-381.
- [2] Ziółko J.: Instandsetzung am verformten Mantel eines zylindrischen Stahlbehälters. *"Stahlbau"*, nr 62 (1993) 164-169.
- [3] Ziółko J.: Die Instandsetzung durch Unterdruck beschädigter zylindrischer Stahlbehälter. *"Der Stahlbau"*, 49 (1980) 347-348.
- [4] Ziółko J.: Formkorrektur an Mänteln zylindrischer Stahlbehälter. *Stalbau* 62 (1993) 149-153.
- [5] Ziółko J., Supernak E., Borek P., Jędrzejewski M.: Repair of cylindrical tanks damaged by negative pressure produced in their inner space. International Conference on "Carrying capacity of steel shell structures" Brno 1997, 246-251.