

## Praca nr 7

### **Analiza wytrzymałościowa materiałów stosowanych do budowy zbiornika ciśnieniowego do podgrzewania wody użytkowej na statku**

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z doбором, projektowaniem, produkcją, kontrolą jakości oraz obróbką powierzchniową zbiornika ciśnieniowego, który ma służyć jako podgrzewacz wody użytkowej na statku. Wszystkie przedstawione zagadnienia muszą zostać w pełni dobrze wykonane, aby uzyskać bezpieczny oraz wytrzymały produkt. Wszystkie etapy opierają się o różne standardy, regulacje i przepisy instytucji certyfikującej wyrób.

Konieczne jest przeprowadzenie analizy materiałów, aby wybrać jak najlepszy materiał do produkcji zbiornika. Analiza ta jest potrzebna, aby produkt mógł być długo eksploatowany oraz, żeby koszty produkcji były jak najlepiej zoptymalizowane. **Celem pracy jest przeanalizowanie różnych materiałów, które wykorzystuje się do produkcji zbiorników, aby określić ich warunki wytrzymałościowe w oparciu o projekty obliczeniowe.**

W celu doboru objętości i ciśnienia projektowego, trzeba przeanalizować wielkości statku, ilość osób jaka ma przebywać na burcie oraz wysokość najwyższych punktów poboru ciepłej wody na statku, aby użytkownik mógł swobodnie korzystać z ciepłej wody. Do określenia objętości zbiornika podgrzewacza należy korzystać z normy europejskiej, która określa jaka powinna być objętość oraz moc grzewcza w zależności od ilości osób na statku.

Proces projektowy można rozpocząć, po zapoznaniu się z przepisami instytucji certyfikującej wyrób. Wybór jednostki, której przepisy obowiązują na danym statku jest zależne od właściciela statku. W przedstawionej pracy wykorzystywane są przepisy DNV-u. Zbiornik ciśnieniowy jest projektowany, obliczany, produkowany i badany zgodnie z tymi przepisami.

Aby zbiornik mógł zostać odebrany należy przygotować kilka dokumentów i certyfikatów. W zależności od klasy zbiornika do której się go zalicza liczba dokumentów i certyfikatów może się różnić. Klasa zbiornika zależy od medium jakie ma być w zbiorniku, ciśnienia projektowego oraz temperatury projektowej. Do podstawowych dokumentów można zaliczyć: rysunki konstrukcyjne – złożeniowe, obliczenia wytrzymałościowe, opis procesu technologicznego montażu i spawania, wniosek o rozpoczęcie zatwierdzenia, raport z testów ciśnieniowych wraz z certyfikatem kalibracji manometru, raport z badań nieniszczących (NDT) wraz z procedurą badania i certyfikatami osób przeprowadzających badanie, certyfikaty materiałowe – minimum

3.1 zgodne z normą EN 10204, certyfikaty spawaczy, którzy wykonywali zbiornik, technologie spawania (WPQR)

Praca przedstawia szczegółowo trzy materiały, które zaliczane są do różnych grup materiałowych. Do tych materiałów zalicza się stal niestopową 1.0473 (P355GH), stal nierdzewną kwasoodporną 1.4404 oraz stal duplex 1.4462. Praca opisuje jaki muszą mieć dokładny skład chemiczny zgodnie z normami oraz własności mechaniczne i antykorozyjne. Pierwsza stal nie ma odporności antykorozyjnej, a dwie następne wykazują bardzo dobrą odporność antykorozyjną. Najlepsze własności mechaniczne posiada stal duplex.

W jednym z rozdziałów opisano podstawowe metody spawalnicze, które są powszechnie używane w przemyśle i są stosowane do produkcji zbiorników ciśnieniowych. Przedstawiono metodę MIA/MAG oraz metodę TIG. Opisano ich podstawowe wady i zalety. Również w pracy znalazł się podrozdział poświęcony technologii spawania i opisie dokumentów tj. WPQR i WPS. Dokumenty te są niezbędne, aby dany zakład mógł wykonywać pracę spawalnicze. Określają one, że dana fabryka została sprawdzona z jakości spawania i ich procedury i technologie są zgodne ze standardami i normami związanymi ze spawalnictwem.

W celu stwierdzenia czy dany zbiornik został dobrze wyprodukowany w procesie spawania należy przeprowadzić badania nieniszczące. W zależności od klasy zbiornika i wykorzystanego współczynnika spoin w trakcie projektowania, zakres badań jest inny. Wszystkie badania wykonywane podczas kontroli muszą być wykonywane zgodnie ze standardami opisanymi w normach, a personel badający musi być klasyfikowany przez towarzystwo notyfikowane zgodnie z międzynarodowymi normami. Dla każdego zbiornika musi zawsze zostać przeprowadzone badanie wizualne (VT) w pełnym zakresie. Wszystkie spoiny muszą zostać przebadane. Inne badania mogą być przeprowadzane w różnych zakresach. Do takich badań zaliczamy badania penetracyjne i magnetyczne oraz ultradźwiękowe i rentgenowskie. Głównie te badania wykonuje się dla spoin wzdłużnych na płaszczu zbiornika oraz spoin obwodowych łączących płaszcz zbiornika i dennice. Po przeprowadzeniu wszystkich wymaganych badań nieniszczących dopiero można przystąpić do ostatnich badań szczelności. Wykonuje je się za pomocą sprężonego powietrza lub wody. Ciśnienie testowe musi być większe od ciśnienia projektowego. W przepisach DNV ciśnienie testowe dla wodnych i powietrznych zbiorników musi wynosi 1,5 raz ciśnienie projektowe.

Obróbka powierzchniowa nie jest regulowana przepisami DNV, ponieważ nie wpływa ona na bezpieczeństwo, ale musi zostać wykonana, aby zbiornik mógł być dłużej eksploatowany przez użytkownika końcowego. W zależności od wybranego materiału zbiorniki poddaje się innym obróbką. Zbiorniki ze stali niestopowej poddaje się malowaniu zgodnie z procedurami

jakie są wymagane pod daną kategorię korozyjności, które określone są w normie. W normie określone jest sześć różnych kategorii. Kategoria C1 określa bardzo małą korozyjność a kategoria ostatnia CX oznacza ekstremalną korozyjność. Dla zbiorników umiejscowionych w maszynowni statku korozyjność określana jest na poziomie C3, poziom ten określa średnią korozyjność. Zbiorniki ze stali niestopowej również poddaje się cynkowaniu na gorąco. Przy konstrukcji zbiornika ze stali nierdzewnych i duplex obórka powierzchni jest znacznie łatwiejsza, ponieważ są to stale, które mają wysoką odporność na korozję. Stale te należy wytrawić, w szczególności w miejscach połączeń spawanych. Przy wysokiej temperaturze powstają zmiany, głównie wydzielają się tlenki chromu na powierzchni co sprzyja powstawaniu korozji i uniemożliwia powstawania warstwy pasywnej. Warstwa pasywna w stalach nierdzewnych powstaje w sposób naturalny w skutek oddziaływania powietrza. Stale nierdzewne można malować, w celach dekoracyjnych i antykorozyjnych, ale nie jest to wymagane. Do głównych procesów, które są zalecane przy stalach nierdzewnych to szkiełkowanie w celu usunięcia wad na materiale jeżeli powstały w trakcie produkcji, pasywacja w celu zwiększenia warstwy pasywnej lub elektro polerowanie w celu wygładzenia powierzchni.

#### **Część badawcza pracy i analiza wyników:**

Głównym celem pracy było sprawdzenie jaki wpływ na jego wytrzymałość mają materiały z jakiego wykona się zbiornik. W tym celu dla jednego projektu złożeniowego zbiornika przygotowano trzy różne arkuszy obliczeniowe, które oparte są o przepisy instytucji certyfikującej. W każdym arkuszu obliczeniowym wykorzystano parametry wytrzymałościowe innej stali, przy zachowaniu jednakowych parametrów pracy dla podgrzewacza ciśnieniowego oraz jednakowy współczynnik bezpieczeństwa połączeń spawanych. Analizując dopuszczalne naprężenia projektowe dla trzech różnych wariantów materiałowych, można zauważyć że największe dopuszczalne naprężenia są dla stali duplex (1.4462), następnie jest stal niestopowa (P355GH), a najmniejsze dopuszczalne naprężenia dopuszczalne w konstrukcjach zbiornikowych posiada stal nierdzewna austenityczna (1.4404). Mimo, że stal nierdzewna posiada większą granicę wytrzymałości od stali niestopowej, to przy uwzględnieniu granicy plastyczności, stal niestopowa posiada lepsze parametry. Po przeprowadzeniu obliczeń szczegółowych otrzymane wyniki pokazują, że najmniejszą grubość zbiornika otrzymamy przy wykorzystaniu stali duplex ( 4 mm dla płaszcza), natomiast przy porównaniu stali niestopowej i stali nierdzewnej austenitycznej mimo, że przy stali niestopowej dodajemy milimetr naddatku na korozję to przy stali nierdzewnej obliczenia nakazują zastosowanie grubszej blachy. Finalnie grubość blachy dla obydwu zbiorników będzie identyczna, ponieważ w obu przypadkach

obliczenia nakazują zastosowanie blachy powyżej 5 mm, a najbliższą dostępną blacha na rynku posiada 6 mm.

W przypadku dennic następuje pewna komplikacja, ponieważ podczas wytłaczania blachy, może ona w niektórych miejscach się rozwałcować, przez co w tych miejscach może mieć trochę mniejszą grubość. Przy obliczeniach trzeba to uwzględnić i do ostatecznych wyników należy dodać naddatek na tłoczenie, który wynosi 10 % grubości blachy. W przypadku stali duplex, po dodaniu naddatku grubość blachy będzie musiała być powyżej 4 mm, przez co musimy zastosować blachę o grubość 5 mm. Przy stali niestopowej grubość blachy na dennice będzie taka sama jak dla płaszczu. Natomiast przy stali nierdzewnej austenitycznej grubość blachy będzie wynosić 8 mm, ponieważ w obliczeniach wartość wychodzi powyżej 6 mm, a na rynku blachy o grubości 7 mm nie ma w sprzedaży.

### **Podsumowanie:**

Cel pracy zostało osiągnięty, ponieważ udało się przeanalizować jak zmiana materiału wpływa na grubości poszycia zbiornika przy zachowaniu jednakowych parametrów pracy zbiornika do podgrzewania wody użytkowej na statku. Zaprojektowany zbiornik ma 3000 l i posiada 63 kW mocy grzewczej a ciśnienie pracy wynosi 6,2 bary. Z takimi parametrami urządzenie jest przystosowane dla 76-100 osób będących na statku oraz pozwoli wprowadzić wodę na 32 metry przy założeniu, że w kranie będzie woda o ciśnieniu 3 bar. W pracy została wytypowana również stal zbiornika z jakiej finalnie wykonano zbiornik. Na podstawie przedstawionego projektu powstał już przedstawiony zbiornik ciśnieniowy.

Stal nierdzewna 1.4404 została wykorzystywana z powodów tj:

- Zbiornik będzie wykorzystywany do podgrzewania wody do wyższych temperatur. Wysoka temperatura sprzyja korozji, przez co stal niestopowa nie jest zalecana.
- Stal niestopowa trzeba by było poddać obróbce malowania wewnątrz i zewnątrz zbiornika – co było by bardzo pracochłonnym i kosztownym procesem, aby zapewnić ochronę antykorozyjną w kategorii C3.
- Technologie spawalnicze dla stali 1.4404 jest bardzo popularna w zakładach spawalniczych przeciwnie niż dla stali duplex. Koszty robienia nowej technologii są duże. Dodatkowo przy stali duplex są wymagane większe umiejętności spawacza.
- Stal duplex są znacznie droższe niż stale austenityczne. Finalny koszt materiałów przy takich różnicach w grubościach mógłby być prawie identyczny.