Bogdan Szturomski Akademia Marynarki Wojennej

ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA ZAMKNIĘCIA KORPUSU BEZZAŁOGOWEGO POJAZDU PODWODNEGO NA BAZIE TORPEDY SET 53

STRESZCZENIE

Artykuł jest kontynuacją zamieszczonego w poprzednim numerze "Zeszytów Naukowych" AMW artykułu Założenia projektowe autonomicznego bezzałogowego pojazdu podwodnego na bazie torpedy SET 53. Przedstawiono w nim projekt wraz z wytrzymałościową analizą hermetycznej pokrywy zamykającej korpus podwodnego pojazdu bezzałogowego wykonanego na bazie torpedy SET 53. Zaproponowano dwa rozwiązania: pokrywę płaską i eliptyczną, dla których przedstawiono wyniki stanu naprężenia i deformacji wyznaczone dla obciążenia hydrostatycznego wody odpowiadającego głębokości zanurzenia 300 m. Geometrię i obliczenia wykonano w programie Autodesk Inventor.

Słowa kluczowe:

torpeda SET 53, bezzałogowy pojazd podwodny, ratownictwo morskie, MES, CAD, CAE, Autodesk Inventor.

WSTĘP

Zgodnie z zaproponowaną koncepcją bezzałogowego pojazdu podwodnego zbudowanego na bazie torpedy SET 53, zamknięta bojowa głowica torpedy zostanie zakończona otwartą do atmosfery głową pomiarowo-monitorującą. Korpus torpedy musi być hermetycznie zamknięty pokrywą ciśnieniową zapewniającą bezpieczną pracę pojazdu na założonej głębokości, którą należy przyjąć na podstawie wytrzy-małości kadłuba. W pokrywie umieszczone zostaną dławice umożliwiające wyprowadzenie kabli i przewodów do osprzętu monitorującego zainstalowanego w otwartej do atmosfery głowie pojazdu. Zaproponowano dwa rozwiązania — pokrywę z płaską ścianą zamykającą, stosunkowo łatwą technologicznie do wykonania, i pokrywę o kształcie eliptycznym, której koszty wykonania są jednak wyższe. Rozkład naprężeń w konstrukcji zależy od jej geometrii i najkorzystniejszy jest dla pokryw o kształcie kulistym, ale ze względu na wykonanie są one bardzo rzadko stasowane w praktyce.

SZACUNKOWA WYTRZYMAŁOŚĆ KADŁUBA TORPEDY

Cylindryczny kształt kadłuba torpedy zapewnia stosunkowo niewielkie wartości naprężeń w jej poszyciu. Jest on wykonany z blachy o grubości 2,4 mm. Gatunek stali jest nieznany. Przyjmując najniższe własności materiałowe dla stali zwykłej jakości σ_{dop} = 300 MPa, możemy określić maksymalne bezpieczne ciśnienie robocze i dopuszczalną głębokość zanurzenia [5]:

$$p=\frac{2\cdot g\cdot \sigma_{dop}}{D},$$

gdzie:

 σ_{dop} — naprężenia dopuszczalne w MPa;

p — ciśnienie na głębokości napierające na czaszę, MPa;

D — średnica podziałowa czaszy, mm;

g — grubość poszycia, mm;

stal zwykłej jakości σ_{dop} = 300 MPa; grubość poszycia *g* = 2,4 mm; średnica torpedy *D* = 533 mm

$$p = \frac{2 \cdot 2.4 \cdot 300}{1.5 \cdot 533} = 2.7 \text{ MPa} \implies \text{ok. 270 m}$$

Dla powyższych danych dopuszczalna głębokość zanurzenia kadłuba torpedy wynosi 270 m. Należy się jednak spodziewać, że kadłub torpedy wykonany jest ze stali wyższej jakości. Celem pozyskania informacji o zastosowanych materiałach niezbędne będzie przeprowadzenie badań niszczących — pobranie materiału na próbki i przeprowadzenie próby rozciągania na maszynach wytrzymałościowych w Laboratorium Inżynierii Materiałowej AMW.

POKRYWY ZAMYKAJĄCE KORPUS POJAZDU

Zmiany konstrukcyjne torpedy obejmują między innymi zastąpienie głowy bojowej torpedy głową z otwartym do atmosfery przedziałem pomiarowym. Przewiduje się wykonanie kilku głów pomiarowych za względu na różne przeznaczenie, wobec czego zaproponowano zmianę mocowania głowy do kadłuba torpedy, umożliwiając jej łatwą wymianę. Ponieważ głowa bojowa uszczelniała swą konstrukcją kadłub torpedy (fot. 1.), pierścień zamykający musi hermetycznie uszczelnić kadłub pojazdu. W pierwszym wariancie pierścienia redukcyjnego zaproponowano konstrukcyjnie najprostsze rozwiązanie, tj. pierścień zamknięty płaską płytą z dławicami na kable i przewody, który z jednej strony hermetycznie zamknie kadłub torpedy, z drugiej umożliwi łatwy montaż głowy pomiarowej (rys. 1.).

Zeszyty Naukowe AMW



Fot. 1. Połączenie korpusu torpedy z głową bojową



Rys. 1. Pierścień redukcyjny z dławicami (płaskie dno)

Jest to przykład płyty kołowosymetrycznej utwierdzonej na obwodzie, obciążonej na całej powierzchni ciśnieniem słupa wody (rys. 2.). Ponieważ pierścień redukcyjny szczelnie zamknie kadłub torpedy, będzie on narażony na działanie ciśnienia wody i jego wytrzymałość musi być zbliżona do wytrzymałości kadłuba, tj. spełniać warunki wytrzymałościowe do głębokości zanurzenia co najmniej 270 m. Jako dopuszczalne ciśnienie robocze przyjęto 3,0 MPa.

3 (182) 2010



Rys. 2. Utwierdzona płyta kołowosymetryczna

Rozwiązanie dla tego przypadku obciążenia jest następujące [2]:

$$\sigma_{r} = \frac{6M_{r}}{g^{2}} \qquad M_{r} = \frac{p}{16} \left[(1+v)\frac{D^{2}}{4} - (3+v)r^{2} \right];$$

$$\sigma_{t} = \frac{6M_{t}}{g^{2}} \qquad M_{t} = \frac{p}{16} \left[(1+v)\frac{D^{2}}{4} - (1+3v)r^{2} \right],$$

gdzie:

 σ_r, σ_t — naprężenia promieniowe i obwodowe w MPa;

p — ciśnienie na głębokości napierające na płytę, MPa;

- D średnica płyty, mm;
- *r* współrzędna promieniowa płyty, mm;
- g grubość płyty, mm.

Przy grubości płyty g = 10 mm, średnicy D = 533 mm i ciśnieniu p = 3 MPa naprężenia promieniowe σ_r w środku płyty przekroczą wartość 1000 MPa, a w utwierdzeniu 1600 MPa (rys. 3.).

Aby spełnić warunki wytrzymałościowe dla stali średniej jakości $\sigma_{dop} = 300$ MPa, przy średnicy płyty D = 533 mm, grubość poszycia musi wynosić co najmniej 25 mm. Wówczas naprężenia promieniowe σ_r w środku płyty osiągną wartość 167 MPa, a w utwierdzeniu 257 MPa (rys. 4.).



Zeszyty Naukowe AMW



Po analitycznym wyznaczeniu grubości płyty wykonano symulacje numeryczne (metoda elementów skończonych — MES) stanu naprężenia i deformacji pierścienia redukcyjnego (rys. 5–9).



Rys. 5. Symulacja MES pierścienia redukcyjnego - obciążenie płyty

3 (182) 2010



Rys. 6. Symulacja MES pierścienia redukcyjnego — dyskretyzacja



Rys. 7. Symulacja MES dla pierścienia redukcyjnego; naprężenia zredukowane Von Misesa

Zeszyty Naukowe AMW



Rys. 8. Symulacja MES pierścienia redukcyjnego - deformacja



Rys. 9. Symulacja MES pierścienia redukcyjnego - współczynnik bezpieczeństwa

Z przeprowadzonej symulacji wytrzymałościowej MES otrzymano wyniki:

 $\sigma_{red} = 287 \text{ MPa}$ — naprężenia zredukowane Von Misesa; w = 0.5 mm — przemieszczenie środka płyty; $n_{min} = 1,1$ — minimalna wartość współczynnika bezpieczeństwa.

Proponowane rozwiązanie pierścienia redukcyjnego ze względu na zamknięcie płaską płytą jest łatwe w wykonaniu, ale jego wadą jest duża masa w stosunku do masy wypartej cieczy. Masa pierścienia wynosi 59 kg, a objętość zaledwie 7,5 dm³ (rys. 10.).

3 (182) 2010



Rys. 10. Charakterystyki masowo-geometryczne pierścienia redukcyjnego

Masę pierścienia redukcyjnego można zmniejszyć poprzez zmianę kształtu, zastępując płaską płytę powłoką eliptyczną (rys. 11.).



Rys. 11. Pierścień redukcyjny zamknięty eliptyczną powłoką

Dalej przedstawiono symulację MES dla pierścienia redukcyjnego zamkniętego eliptyczną powłoką grubości 5 mm. Maksymalne naprężenia zredukowane Von Misesa występują na środku pokrywy, osiągając wartość 230 MPa (rys. 12.), natomiast masa pierścienia jest dwukrotnie mniejsza i wynosi 29 kg przy objętości 3,7 dm³ (rys. 13.).

Zeszyty Naukowe AMW



Rys. 13. Charakterystyki masowo-geometryczne pierścienia redukcyjnego

WNIOSKI

Przedstawione projektowe pokrywy zamykające kadłub bezzałogowy pojazdu podwodnego zbudowanego na bazie torpedy SET 53 mają charakter wstępny. Zastosowano najprostsze statyczne algorytmy MES bez uwzględnienia nieliniowości materiałowych czy geometrycznych. Niemniej wykazały one, że pokrywa zamykająca z płaskim dnem jest stosunkowo ciężka, jej grubość musi wynosić co najmniej 25 mm przy grubości poszycia korpusu 2,4 mm. Z tego powodu należy zastosować pokrywę zamykającą o kształcie eliptycznym lub innym, na przykład paraboloidę obrotową. W zaproponowanym w artykule wariancie pokrywy eliptycznej grubość ścianki wynosi 5 mm.

3 (182) 2010

Korzystniejszy rozkład naprężeń wpływa na obniżenie masy pokrywy, co pozwala na zainstalowanie w pojeździe większej liczby sprzętu monitorującego lub większej liczby akumulatorów, zwiększając w ten sposób zasięg pojazdu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dudziak J., Teoria okrętu, FPPOiGM, Gdańsk 2008.
- [2] Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z., *Wytrzymałość materiałów*, t. 1, WNT, Warszawa 2007.
- [3] Gryboś R., Podstawy mechaniki płynów, PWN, Warszawa 1989.
- [4] Jaskulski A., Autodesk Inventor 2010PL/2010, PWN, Warszawa 2009.
- [5] Niezgodziński M. E., Niezgodziński T., *Wytrzymałość materiałów*, PWN, Warszawa 2009.
- [6] Rowiński L., *Technika glębinowa. Pojazdy glębinowe budowa i wyposażenie*, PP WiB, Gdańsk 2008.
- [7] Torpeda SET-53, cz. 1, Źródła zasilania, napęd i urządzenia sterujące torpedy. Opis ogólny, MON — DMW, Gdynia 1972.
- [8] Torpeda SET-53. Album rysunków, MON DMW, Gdynia 1972.

STRENGTH ANALYSIS OF BODY LOCK-COVER IN UNMANNED UNDER-WATER VEHICLE BASED ON TORPEDO SET 53

ABSTRACT

This article is continuation of the work *The project foundations of autonomic unmanned under-water vehicle on the datum feature of the torpedo SET 53.* It contains a design along with strength analysis of hermetic lock-cover where project closing under-water unmanned vehicle body, based on torpedo SET 53. The paper offers two solutions: a flat cover and an elliptic cover with the results of strain and deformation calculated for the load corresponding to submersion of 300 m. Geometry and calculations were calculated in program Autodesk Inventor.

Keywords:

torpedo SET 53, unmanned under-water vehicle, sea rescue, MES, CAD, CAE, Autodesk Inventor.

Recenzent kmdr dr hab. inż. Andrzej Grządziela, prof. AMW

Zeszyty Naukowe AMW