

Janusz Kolenda
Akademia Marynarki Wojennej

STANOWISKA DO BADANIA ENERGOCHŁONNOŚCI OSŁON

STRESZCZENIE

Praca dotyczy badań lokalnych skutków uderzenia w konstrukcję osłonową typu sandwich. Dla wyeliminowania wpływu podpór i warunków brzegowych badanego fragmentu osłony na deformacje jej rdzenia i powłok zewnętrznych zaproponowano dwa stanowiska badawcze. Na jednym dwa identyczne młoty uderzały równocześnie z obu stron próbki w jej powłoki zewnętrzne. Na drugim jeden młot uderzał w próbkę i poprzez nią przekazywał energię uderzenia drugiemu młotowi o zerowej prędkości początkowej. Sformułowano trzy alternatywne kryteria efektywności energochłonnych osłon.

Słowa kluczowe:

osłony energochłonne, laboratoryjne badania energochłonności osłon, kryteria efektywności osłon.

WSTĘP

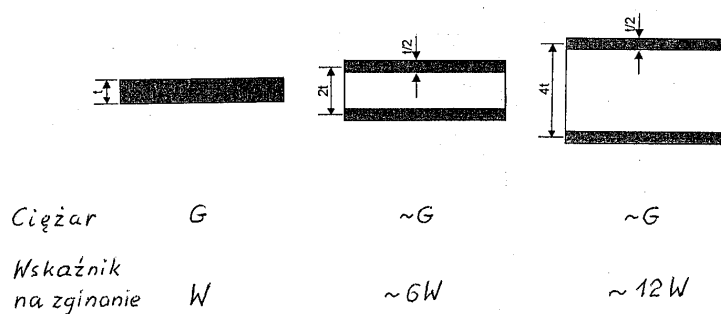
Chwilowa siła uderzenia osiągając duże wartości w porównaniu z siłami innego pochodzenia, wywołuje stosunkowo duże naprężenia i odkształcenia miejscowe, zlokalizowane w małym obszarze w pobliżu punktu (powierzchni) zderzenia. Obszar ten staje się źródłem, z którego rozchodzą się fale naprężeń obejmujące z czasem swym zasięgiem całą objętość zderzających się ciał. Fale naprężeń odbijając się od powierzchni granicznych (zewnętrznych) ciał, wywołują procesy falowe, czyli drgania, z którymi związane są tzw. odkształcenia ogólne. Odkształceniom tym towarzyszą na ogół mniejsze wyężenia materiału niż w obszarze odkształceń lokalnych. W zależności od kształtu i wymiarów ciał jeden z tych rodzajów odkształceń ma znaczenie dominujące z punktu widzenia wytrzymałości materiałów.

Na przykład wytrzymałość udarową belek, prętów i płyt determinują odkształcenia ogólne, czyli zjawiska falowe. Z kolei w przypadku ciał o budowie zwartej, w których wszystkie wymiary są wielkościami tego samego rzędu, niebezpieczne są odkształcenia lokalne [8]. Mogą one być analizowane między innymi na stanowiskach, gdzie elementem uderzającym jest młot.

W przypadkach gdy obciążenie impulsowe wywołane jest ciśnieniem fali uderzeniowej, wykorzystywane są stanowiska umożliwiające odpalenie materiału wybuchowego. Pomiaru ugięcia płyty poddanej obciążeniu impulsem wybuchu realizowano już w 1963 r. [16]. Ugięcie wywołane było przez wybuch ładunków sferycznych pentolitu o różnych masach umieszczonych centralnie nad płytą. Dopiero w 1979 r. udało się jednoczesną rejestrację przebiegu drgań płyty i profilu ciśnienia wytworzonego przez wybuch ładunku za pomocą mikrofonu elektrostatycznego i wahadła balistycznego [4]. Udział krajowych ośrodków naukowych w badaniach tego typu omówiono w rozprawie [12]. Na szczególną uwagę zasługują tu prace dotyczące badań odporności kadłubów pojazdów bojowych oraz kompozytowych struktur na obciążenie impulsowe [5, 2], a także badania oddziaływania wybuchów podwodnych na kadłub okrętu [7].

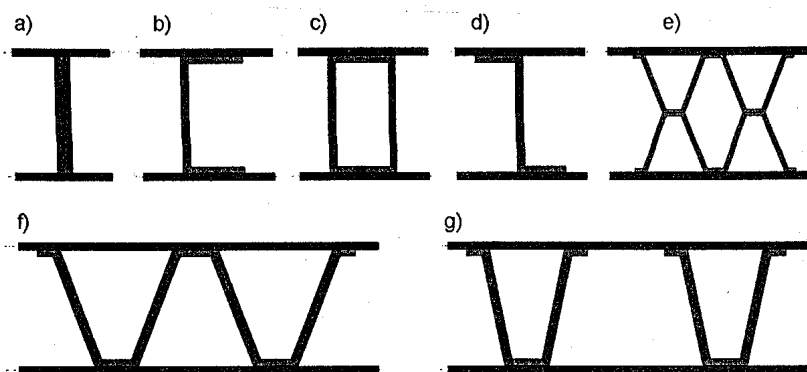
Niniejszy artykuł dotyczy badania wpływu uderzeń na odkształcenia ograniczonych wymiarowo fragmentów konstrukcji osłon energochłonnych, tj. na odkształcenia lokalne struktur ochronnych. Ze względu na proponowany sposób oddziaływania obciążeń udarowych zakłada się, że jest to konstrukcja typu sandwich, której warstwami zewnętrznymi są powłoki (płyty) płaskie, a środek stanowi energochłonny rdzeń.

W odróżnieniu od konstrukcji jednopowłokowej, w konstrukcjach dwupowłokowych uzyskuje się korzystniejsze relacje sztywności i wytrzymałości na zginanie w odniesieniu do ciężaru. Świadczyć o tym może porównanie ciężaru i wskaźnika wytrzymałości na zginanie sprężyste struktury jedno- i dwupowłokowej (bez uwzględnienia rdzenia) na przykładzie belki jedno- i dwuczęściowej (rys. 1.).



Rys. 1. Porównanie ciężaru i wskaźnika wytrzymałości na zginanie dla struktury jedno- i dwupowłokowej [11]

Jeszcze kilkanaście lat temu panele typu sandwich wykonywano głównie z kompozytów żywiczno-szklanych, dodając w niektórych rozwiązaniach metalowe płyty zewnętrzne. Jako materiału wypełniającego używano między innymi pianki poliuretanowej, drewna, lekkiego betonu itp. Z uwagi na problemy łączenia wewnętrznych elementów rdzenia nie wykonywano takich struktur wyłącznie ze stali. Stało się to praktycznie możliwe dopiero wraz z rozwojem technik spawania laserowego [1]. W procesie spawania laserowego odkształcenie złączy jest tak małe, że spawane elementy mogą być wykonywane na gotowo, a po spawaniu nie jest wymagana żadna dodatkowa obróbka. W przypadku doczołowego łączenia blach nie jest też potrzebne prostowanie, tak uciążliwe przy wytwarzaniu cienkościennych konstrukcji poszycia kadłuba statku [11]. Szerokie zastosowanie nie tylko w okrętownictwie, ale także w innych urządzeniach transportowych i w budownictwie lądowym znalazły konstrukcje dwupowłokowe z metalowymi rdzeniami — usztywnieniami wewnętrznymi, których przykłady przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykłady rdzeni metalowych paneli typu sandwich
(przekroje poprzeczne a — g)

OSŁONY ENERGOCHŁONNE

Dla zmniejszenia zagrożenia życia i zdrowia ludzkiego oraz ryzyka uszkodzeń konstrukcji wywołanych zderzeniem pojazdów, uderzeniem pojazdu w przeszkodę, uderzeniem odłamkami pocisków lub powybuchową falą uderzeniową zderzaki samochodów, nadwozia i dna pojazdów specjalnych, nadbudówki i burty okrętów, bariery drogowe itd. wymagają odpowiedniej konstrukcji. Dlatego panele typu sandwich mogą być projektowane nie tylko pod kątem uzyskania korzystnych

relacji ciężar — sztywność, lecz także ciężar — energochłonność. W tym celu stosowane są rozwiązania o konstrukcjach przekładkowych, w których warstwą pośrednią (rdzeniem) między płytami zewnętrznymi są układy cylindrów, stożków ściętych, kształtowników, cienkich powłok falistych, sfer lub struktury w postaci plastra miodu, które zwykle wypełnione są tworzywem spienionym [6, 13]. Znajdują one szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, a w szczególności w przemyśle kosmicznym, lotniczym, samochodowym i wszędzie tam, gdzie czynnikiem decydującym o wyborze rozwiązania jest stosunek energii absorbowanej przy uderzeniu do jednostki masy. Elementy te powinny zatem charakteryzować się niewielką masą oraz wysoką zdolnością do absorpcji energii uderzenia (wybuchu). Ulegając kontrolowanemu zniszczeniu, minimalizują one przekazywanie energii do ochranianego obiektu.

Numeryczna analiza paneli typu sandwich z energochłonnym rdzeniem jest skomplikowana i pracochłonna, zwłaszcza jeśli cały panel jest modelowany jako struktura trójwymiarowa. Dlatego często stosowane są badania eksperymentalne osłon tego rodzaju [15].

LABORATORYJNE BADANIA ENERGOCHŁONNOŚCI OSŁON

Eksperymentalne badania poligonowe osłon energochłonnych w skali rzeczywistej są kosztowne. Korzystniejsze pod tym względem są badania modelowe (poligonowe i laboratoryjne) oraz laboratoryjne badania fragmentów osłon. Wspomnieć tu należy o dużej roli porównawczych badań quasi-statycznych, w których próbka stanowiąca wycinek osłony poddawana jest obciążeniu ściskającemu na maszynie wytrzymałościowej. Pozwala to analizować nie tylko kształt próbki przed, w trakcie i po obciążeniu, lecz także zależność siły niszczącej od odkształcenia (skrócenia) próbki i absorbowaną energię. Przykładowo, w pracach [3] i [14] zastosowano maszynę wytrzymałościową INSTRON 8802 przy prędkości odkształcenia 10–40 mm/min. Z kolei udarowy charakter obciążenia mogą w warunkach laboratoryjnych zapewnić młoty wolnospadowe i młoty używane w próbach udarności (np. młoty wahadłowe typu Charpy).

Wadą tego typu badań jest niemożność ich bezpośredniego odniesienia do warunków eksploatacyjnych ze względu na odmienność konstrukcji podstawy młotów lub maszyn wytrzymałościowych i obiektu rzeczywistego. Innymi słowy, na wyniki laboratoryjnych badań energochłonności próbek na maszynie wytrzymałościowej lub za pomocą młotów istotny wpływ ma sposób podparcia i/lub zamocowania próbek.

Utrudnia to także porównanie wyników badań prowadzonych przez różne ośrodki. W tym kontekście interesująca może okazać się propozycja wyeliminowania wpływu podparcia i zamocowania próbek poprzez zastosowanie młotów dwuwahadłowych [10] lub młotów przeciwbieżnych [9], które mogą nanosić uderzenia z obu stron próbki. Dzięki mechanicznemu sprzężeniu obu wahadeł w młocie dwuwahadłowym zapewniona jest jednoczesność uderzenia z obu stron próbki i równość energii kinetycznej obu młotów. Młoty przeciwbieżne mogą być sterowane niezależnie od siebie.

Prototyp młota dwuwahadłowego został wykonany w Katedrze Technologii Okrętu, Systemów Jakości i Materiałoznawstwa na Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej. Może on służyć między innymi do badania modeli i mniejszych fragmentów osłon. Duże próbki wymagałyby zbudowania stanowiska mogącego zapewnić większą energię uderzenia.

Koncepcję młotów przeciwbieżnych przewiduje się zrealizować w Instytucie Podstaw Konstrukcji Maszyn Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Parametry ruchu z obu młotów będzie można dobrać niezależnie, na przykład podczas ruchu młota z lewej strony próbki drugi młot będzie przylegał nieruchomo do próbki z jej prawej strony (rys. 3.). Umożliwi to nie tylko wyznaczenie energii odbicia młota uderzającego, lecz także energii przeniesionej przez próbkę, czyli energii kinetycznej młota z prawej strony próbki (uzyskanej w wyniku uderzenia). Przy założeniu, że można pominąć wpływ wywołanych uderzeniem drgań elementów układu na bilans energii, pozwala to wyliczyć energię pochłoniętą przez próbkę z równania:

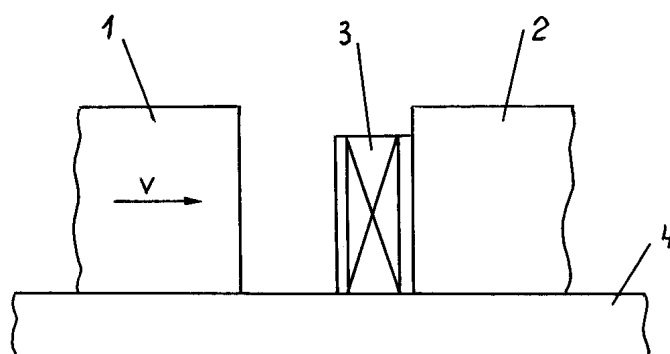
$$\begin{aligned} \text{energia uderzenia} &= \text{energia odbicia} + \text{energia pochłonięta} + \\ &+ \text{energia przeniesiona} \end{aligned}$$

Dzięki temu jako kryteria efektywności energochłonnych osłon mogą służyć następujące wskaźniki (niezależnie od wskaźników wiążących energochłonność z masą i powierzchnią badanych fragmentów osłon):

$$K_1 = \frac{\text{energia zaabsorbowana przez próbkę}}{\text{energia uderzenia w próbkę}}; \quad (1)$$

$$K_2 = \frac{\text{energia uderzenia w próbkę}}{\text{energia przeniesiona przez próbkę}}; \quad (2)$$

$$K_3 = \frac{\text{energia zaabsorbowana przez próbkę}}{\text{energia przeniesiona przez próbkę}}. \quad (3)$$



Rys. 3. Schemat układu do badania energochłonności fragmentów osłon:
 1 — młot uderzający, 2 — młot przylegający nieruchomo do próbki przed jej uderzeniem,
 3 — próbka, 4 — podstawa, v — prędkość uderzenia

Zgodnie z koncepcją młotów dwuwahadłowych i przeciwbieżnych [10, 9] regulacja ich energii uderzenia odbywa się w sposób płynny. Oszacowanie bilansu energetycznego układu ze szczególnym uwzględnieniem energii zużytej na trwałe odkształcenia fragmentów struktur ochronnych różnych typów oraz analiza procesu niszczenia próbek wykonanych z różnych materiałów i wypełniaczy w szerokim zakresie energii i prędkości uderzenia umożliwiają porównawczą ocenę różnorodnych warstw energochłonnych. Pozwala to wytypować najkorzystniejsze z nich do dalszych badań, w tym także do testów w warunkach eksploatacyjnych. Należy jednak podkreślić, że w odniesieniu do konstrukcji typu sandwich o jej lokalnej energochłonności decydują z reguły sprężysto-plastyczne deformacje rdzenia. Oznacza to, że wyniki laboratoryjnych badań elementów rdzenia takiej struktury ułatwiają właściwy wybór projektowych wariantów osłon. Temu celowi mogą służyć przedmiotowe stanowiska.

PODSUMOWANIE

Członkostwo Polski w NATO nakłada obowiązek uczestniczenia w różnych przedsięwzięciach o charakterze militarnym, stabilizacyjnym i pokojowym. Ze względu na szeroką gamę zagrożeń dla pojazdów specjalnych uczestniczących w tego rodzaju misjach doskonalenie struktur ochronnych tych pojazdów jest zagadnieniem dużej uwagi.

Z kolei członkostwo Polski w Unii Europejskiej nakłada między innymi obowiązki przestrzegania przepisów związanych z bezpieczeństwem ruchu pojazdów drogowych, regulowanych europejskimi normami EN 1317-1 i 2. Jest oczywiste, że przy niekontrolowanym ruchu pojazdów drogowych najważniejsze zadanie spoczywa na elementach barier ochronnych, które powinny doprowadzić do bezpiecznego ich wyhamowania, a także na zderzakach i ścianach nadwozia samochodów. Niestety, stan bezpieczeństwa na krajowych drogach nie wszędzie jest zadowalający.

Są to jedynie wybrane przykłady świadczące o celowości dalszych prac naukowo-badawczych w tym zakresie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Banasik M., Dworak J., *Cięcie i spawanie laserem CO₂*, „Przegląd Spawalnictwa”, 2002, nr 8–10.
- [2] Barnat W., Niezgoda T., *Analiza wpływu kształtu struktur ochronnych na ich energochłonność*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, 2007, Vol. 14.
- [3] Barnat W., Niezgoda T., *Badania energochłonności elementów podatnych w aspekcie zastosowanych materiałów*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, 2007, Vol. 14.
- [4] Bodner S. R., Symonds P. S., *Experiments on viscoplastic response of circular plates to impulse loading*, „Journal of the Mechanics and Physics of Solids”, 1979, 27.
- [5] Borkowski W., Rybak P., Hryciów Z., *Badania struktur ochronnych wozów bojowych obciążonych wybuchem*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, 2007, Vol. 14.
- [6] Dacko M., Nowak J., *Wpływ zastosowania warstwy ochronnej na deformację konstrukcji obciążonej impulsem wybuchu*, X Konferencja „Programy MES we wspomaganiu analizy, projektowania i wytwarzania”, Kazimierz Dolny, 13–16.11.2007.
- [7] Dobrociński S., Powierża Z., *Skutki oddziaływania wybuchu podwodnego na drobnicowiec M/S Józef Wybicki*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, 2007, Vol. 14.
- [8] Gryboś R., *Teoria uderzenia w dyskretnych układach mechanicznych*, PWN, Warszawa 1969.
- [9] Kolenda J., Kyzioł L., *Urządzenie do wykonywania badań dynamicznych właściwości materiałów konstrukcyjnych, zwłaszcza metali, tworzyw sztucznych i drewna modyfikowanego*, zgłoszenie patentowe, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2006.
- [10] Kolenda J., Rosochowicz K., *Sposób i urządzenie do przeprowadzania prób udarowych materiałów konstrukcyjnych*, zgłoszenie patentowe, Politechnika Gdańska, 2004.

- [11] Kozak J., *Problemy oceny wybranych własności wytrzymałościowych stalowych dwupowłokowych struktur okrętowych*, Politechnika Gdańska, „Monografie”, 2005, 65.
- [12] Nowak J., *Cylindryczne elementy energochłonne obciążone falą uderzeniową*, rozprawa doktorska, WAT, Warszawa 2008.
- [13] Ochelski S., Bogusz P., *Zdolność pochłaniania energii różnych struktur konstrukcji energochłonnych*, X Konferencja „Programy MES we wspomaganianiu analizy, projektowania i wytwarzania”, Kazimierz Dolny, 13–16.11.2007.
- [14] Ochelski S., Gotowicki P., *Wpływ kształtu elementu energochłonnego na zdolność pochłaniania energii*, X Konferencja „Programy MES we wspomaganianiu analizy, projektowania i wytwarzania”, Kazimierz Dolny, 13–16.11.2007.
- [15] Rybak P., Borkowski W., Michałowski B., Hryciów Z., *Badanie osłon ochronnych pojazdów specjalnych*, X Konferencja „Programy MES we wspomaganianiu analizy, projektowania i wytwarzania”, Kazimierz Dolny, 13–16.11.2007.
- [16] Witmer E. A., Balmer N. A., Leech J. W., Pian T. N., *Large dynamic deformations of beams, rings, plates and shells*, „American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal”, 1963, 1.

TEST STANDS FOR INVESTIGATING ENERGY-ABSORBING OF SHIELDS

ABSTRACT

The paper deals with experimental investigations into local shock effects on shield structures of the sandwich type. In order to eliminate the influence of support and boundary conditions of the element investigated onto deformations of its core and outer plates, two test stands were proposed. In one of them, two identical hammers simultaneously stroke both of the outer plates of the element. In the second stand, one hammer transferred its impact energy through the investigated element to the second hammer of zero initial velocity. In the paper three alternative criteria of the effectiveness of energy-absorbing shields are formulated.

Keywords:

energy-absorbing shields, energy-absorbing laboratory investigations, shield efficiency criteria.

Recenzent prof. dr hab. inż. Stanisław Dobrociński