

PRZEGLĄD KONSTRUKCJI WARSTWOWYCH

Artykuł przedstawia konstrukcje warstwowe typu SPS (Sandwich Plate System), SIP (Structural Insulated Panels) oraz hybrydowe (laminaty metalowo-włókniste FML) a także ich budowę, właściwości oraz wykorzystanie w różnych sektorach przemysłu.

WSTĘP

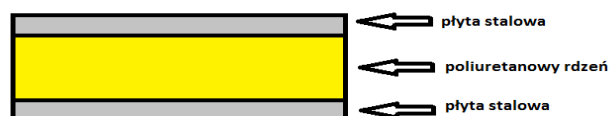
Rozwój techniki i przemysłu wiąże się z nieustannym poszukiwaniem nowych technologii i materiałów konstrukcyjnych. Jednym z najciekawszych rozwijanych współcześnie materiałów konstrukcyjnych są kompozyty, a wśród nich – konstrukcje warstwowe. Choć same kompozyty znane są ludzkości od tysięcy lat (np. tradycyjna chińska laka wykorzystywana do produkcji naczyń już 6 tysięcy lat temu) jednak ich intensywny rozwój nastąpił wraz z opanowaniem przez ludzkość procesu produkcji żywic syntetycznych. Współcześnie kompozyty mają zastosowanie w wielu dziedzinach techniki, między innymi w budownictwie (np. żelbet, w lotnictwie i astronautyce (samoloty, rakiety, sztuczne satelity), w transporcie lądowym i morskim (hamulce, zderzaki, kadłuby). Wśród różnych rodzajów kompozytów wyróżnić należy omówione w niniejszym artykule konstrukcje warstwowe, a przede wszystkim najpopularniejsze i najciekawsze systemy typu SPS (Sandwich Plate System), SIP (Structural Insulated Panels) oraz hybrydowe (laminaty metalowo-włókniste FML).

1. KONSTRUKCJE WARSTWOWE TYPU SPS (SANDWICH PLATE SYSTEM)

Konstrukcja ta została opracowana i opatentowana przez Intelligent Engineering przy współpracy z Elastogran GmbH, która jest spółka BASF. Posiada wiele zastosowań w przemyśle morskim, inżynierii lądowej, a także przy naprawach i przebudowach. W strukturach takich jak kadłuby statków czy grodzie, płyty nośne wykonane są z usztywnionej stali, która zapobiega wybočeniu. SPS eliminuje potrzebę zastosowania tego typu elementów. System ten jest o wiele mniej skomplikowany w swej budowie, odporniejszy na zmęczenie i korozję. W przypadku inżynierii lądowej SPS zastępuje płyty nośne wykonane ze zbrojonego betonu. Radzi sobie znacznie lepiej ze zmęczeniem, wibracjami oraz jest znacznie lżejszy od betonu. Płyty SPS mogą zostać wykonane z dużą dokładnością wymiarową. Ponadto płyty SPS mogą zostać wykorzystane do przywrócenia lub wzmocnienia istniejących struktur płytowych takich jak ładownie statków czy podkłady mostów w procesie zwanym SPS Overlay [1,2].

1.1. Budowa

Układy warstwowe stalowo polimerowe typu SPS (Sandwich Plate System) składają się z dwóch stalowych płyt pomiędzy którymi znajduje się sztywny poliuretanowy rdzeń. Stalowe płyty mają za zadanie chronić przed obciążeniami wynikającymi z ugięć, natomiast rdzeń stanowi dla nich wsparcie co zapobiega wybočeniu[1].



Rys.1. Schemat konstrukcji warstwowej typu SPS [3]

1.2. Właściwości

SPS posiada dobre właściwości tłumienia drgań co jest istotne przy ochronie przed hałasem czy zmęczeniach strukturalnych. Struktury te posiadają wysoką częstotliwość drgań własnych i wysoki współczynnik tłumienia drgań. Elastomerowe rdzenie tłumią drgania znacznie lepiej niż klasyczne usztywnione konstrukcje stalowe (badania wykazują, iż stosunek tłumienia drgań jest cztery razy wyższy w przypadku płyt SPS). Pod tym kątem właściwościami zbliżone są do betonu, jednakże płyty SPS są od niego korzystniejsze ze względu na wagę (beton jest cztery razy cięższy). Tłumią dźwięk u źródła, co umożliwia zmniejszenie zużycia izolacji akustycznej [4]. Istotną sprawą jest też mała waga SPS (5-10% niższa niż konwencjonalne konstrukcje stalowe). Dla przykładu: kadłuby statków (konstrukcja o 20 % lżejsza), pokłady mostów (konstrukcja o 50 % lżejsza). Struktury te umożliwiają także wykorzystanie konwencjonalnych technologii łączenia wykorzystywanych w konstrukcjach stalowych takich jak: spawanie, skręcanie, nitowanie, klejenie. Jednakże wszystkie te połączenia muszą być zaprojektowane z uwzględnieniem konstrukcyjnych i materiałowych właściwości metalowo - elastomerowego kompozytu (np. w przypadku połączeń spawanych, ciepło wydzielane podczas spawania musi być na określonym poziomie by nie naruszyć struktury elastomerowego rdzenia) [4]. Kolejną ważną cechą SPS jest ich dobra zdolność do pochłaniania energii fali uderzeniowej w porównaniu z klasycznymi konstrukcjami gdzie zdolność ta jest ograniczona.

1.3. Zastosowania

Zastosowanie płyt SPS rozpościera się na szeroko rozumiane bariery i zapory dla fal uderzeniowych, pocisków, ognia i dymu. Deformują się one w sposób plastyczny, dzięki czemu pochłaniają znacznie większą ilość energii niż tradycyjne płyty. Odkamki towarzyszące wybuchowi są wchłaniane, dzięki czemu pęknięcia są ograniczone (znacznie mniej energii zostaje przeniesionej do struktury). Fala uderzeniowa nie wychodzi poza płyty SPS, jest także barierą dla ognia i dymu. Zatrzymują one też skutecznie wystrzelone pociski, test wykonany na Qinetiq wykazuje 75% niższe prawdopodobieństwo penetracji strukturalnych. Technologia ta nadaje się do wielu zastosowań militarnych [4]. Jak wcześniej wspomniano płyty te chronią przed ogniem. Testy wykazały, iż konstrukcje SPS potrafią chronić przed ogniem węglowodorowym do 90 minut. Nie

dopuszcza też do zbytniego rozgrzania chronionej struktury (w ciągu 60 minut temperatura dochodzi do 50°C, gdzie w przypadku klasycznych izolacji temperatura dochodzi do 180°C). Co więcej SPS zachowuje ciągliwość na chronionej strukturze, czego nie można często zaobserwować w przypadku klasycznych rozwiązań. W przypadku odsłonięcia elastomerowego rdzenia w kontakcie z ogniem wykazano, że spełnia on wszystkie kryteria toksyczności testów SOLAS [4].

2. KONSTRUKCJE WARSTWOWE TYPU SIP (STRUCTURAL INSULATED PANELS)

Płyty warstwowe są nowym rodzajem materiałów budowlanych. Ich budowa jest podobna do tej jaką posiadają płyty warstwowe typu SPS. Konstrukcja jest niezwykle wytrzymała, zewnętrzne płyty chronią przed napięciami i nadmiernym ściskaniem, natomiast rdzeń przed wybočeniami i siłami ścinającymi. Pod obciążeniem płyty zachowują się jak smukłe kolumny, natomiast rdzeń stabilizuje konstrukcję i przeciwdziała siłą usiłującym je wygiąć [5].

2.1. Budowa

Płytami zewnętrznymi najczęściej są płyty OSB, (na rynku można także dostać konstrukcje składające się z płyt metalowych, wiórowych oraz gipsowo-kartonowych). Głównymi zaletami płyt OSB (płyta o ukierunkowanych wiórach płaskich) są ich właściwości nośne, które poddane zostały obszernym i dokładnym badaniom, a także ich dostępność w dużych rozmiarach [5]. Jest ona wykonana w 90% z drewna, trójwarstwowa i płaskoprasowana. Wykonuje się ją poprzez walcowanie na gorąco (prostokątne płaskie wióry o wymiarach 100-120mm długości i 0,6 mm grubości wraz z syntetycznymi żywicami wykorzystywanymi, jako spoiwo poddane zostają sprasowaniu pod wpływem wysokiego ciśnienia oraz temperatury). Wióry przebiegają równoległe do długości płyty w warstwach zewnętrznych, natomiast w warstwie wewnętrznej prostopadle. Swoje właściwości zawdzięczają min. zachowaniu włóknistości drewna, ząbieniu się wiórów oraz wyrównaniu wiórów w płaskich warstwach [6]. Rdzeń w tego rodzaju konstrukcjach wykonany jest z ekspandowanego (EPS) lub ekstrudowanego (XPS) polistyrenu, bądź też pianki poliuretanowej czy poliizocyanurowej (stanowią one jednak tylko 5% wśród wszystkich konstrukcji SIP).



Rys.2. Schemat konstrukcji warstwowej typu SIP [5]

2.2. Właściwości

Płyty z polistyrenu ekstrudowanego charakteryzują się niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła (jego wielkość jest zależna od gazu używanego przy produkcji do spienienia oraz szybkości, z jaką dyfunduje do komórek). Tworzywo to jest także odporne na działanie wilgoci, a zawdzięcza to swojej zamkniętokomórkowej strukturze. Przy długotrwałym kontakcie z wodą nasiąkliwość wynosi od 0,5% do 1,5% w zależności od czynienia z płytą standardową czy o szorstkiej powierzchni. Podobne wyniki uzyskuje się przy badaniu nasiąkliwości przez działanie pary wodnej (tu wynik zależny jest od grubości płyty). Warto wspomnieć, iż XPS przeszło pozytywnie badania odporności materiałów na cykle zamrażania (-20°C) i rozmrażania (+20°C). Po 300 takich cyklach nasiąkliwość nie przekraczała 1%. Kolejną cechą płyt XPS jest ich odporność na działanie ognia. Nie zapalają się one pod wpływem iskry czy też

pojedynczego płomienia (w procesie produkcji dodawana jest domieszka opóźniająca palność). Po usunięciu płomienia automatycznie gaśnie. Następną cechą jest ich odporność na odczynniki chemiczne oraz biologiczne (korozje biologiczną). Większość substancji chemicznych nie uszkadza struktury płyt XPS za wyjątkiem środków ochrony drewna, które zawierają rozpuszczalniki, smoły węglowej oraz jej pochodnych, rozpuszczalników takich jak aceton, octan etylu, benzyna lakowa, metylobenzen i rozcieńczalników farb). Do wad należy podatność na działanie promieniowania ultrafioletowego w związku z tym płyty muszą być składowane i instalowane w warunkach, które ograniczają ich kontakt ze światłem.

2.3. Zastosowania

Głównie zastosowanie konstrukcje te znajdują w budownictwie mieszkalnym oraz niewielkich budynkach komercyjnych. W porównaniu do zwykłych konstrukcji budowlanych SIP charakteryzuje się większą wytrzymałością na zginanie, ściskanie oraz dobrymi właściwościami nośnymi. Co więcej wymiary płyt można dopasować według potrzeb, co czyni technologie bardzo elastyczną. Według badań przeprowadzonych przez Laboratorium Budownictwa na Uniwersytecie Oregońskim czas wznoszenia budowli jest o 34% krótszy w porównaniu z klasycznymi metodami. Zastosowanie SIP-u umożliwia także zatrudnienie mniej wykwalifikowanego personelu ze względu na prostotę montażu [5].

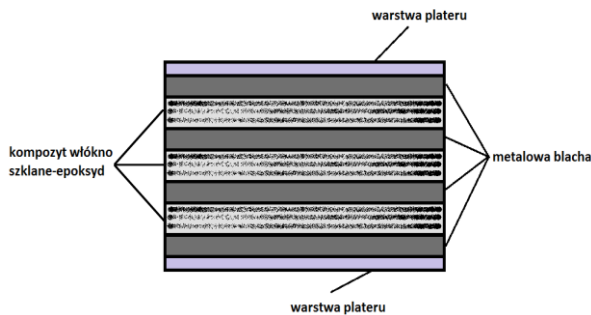
3. KONSTRUKCJE HYBRYDOWE (LAMINATY METALOWO-WŁÓKNISTE FML)

Są to konstrukcje składające się z cienkiej metalowej blachy oraz kompozytu polimer- włókno szklane (bądź ceramika). Laminaty tego typu zostały opracowane w latach 80-tych XX wieku dla lotnictwa pod nazwami handlowymi ARALL (Aramid Aluminium Laminate) i GLARE (Glass Laminate Reinforced) [7,8]. Pierwsze z nich składały się z metalu i włókien aramidowych (Kevlaru). Posiadały znakomite właściwości, jednakże ze względu na ówczesny wysoki koszt wytwarzania zaprzestano ich produkcji. Włókno aramidowe zastąpiono włóknem szklanym dającym podobną wytrzymałość mechaniczną, jednak o wiele tańszym i w ten sposób otrzymano materiał o nazwie GLARE. Laminaty FML uzyskuje się przez łączenie nieplaterowanych blach metalowych z prepegim, (czyli cienką warstwą wstępnie zaimpregnowanego włóknistego zbrojenia z włókna szklanego z częściowo utwardzoną żywicą bazową [9]) prasowaniem lub autoklawowo.

3.1. Budowa

Hybrydowe kompozyty warstwowe typu FML są laminatami złożonymi z bardzo cienkich metalowych blach, łączonych adhezyjnie z kompozytem polimerowym, który został uprzednio wzmocniony włóknami. Taka budowa sprawia, że właściwości, które wykazują, są pośrednie pomiędzy czystymi metalami a kompozytami polimerowymi wzmocnianymi włóknami. Kompozyt włókno-polimer składa się one z miękkiej i ciągliwej osnowy, która wzmocniona jest mocnymi włóknami. Osnowę tworzyć mogą takie polimery jak poliepoksydy i poliestry, które należą do polimerów termoutwardzalnych oraz poliamidy (termoplastyczne). Wśród polimerów termoutwardzalnych najkorzystniejsze cechy posiadają poliepoksydy ze względu na większą wytrzymałość i mniejszy skurcz po termoutwardzeniu, (dzięki czemu uzyskuje się lepszą dokładność geometryczną kompozytu). Polimery termoplastyczne są mniej wytrzymałe od termoutwardzalnych, ale za to bardziej plastyczne. Jeśli chodzi natomiast o włókna to do najbardziej popularnych należą włókna szklane -G(Glass), aramidowe -A(Aramid) oraz węglowe -C(Carbon). W konstrukcjach FML wykorzystywane są pierwsze dwa, z czego współcześnie wykorzystuje się już praktycznie tylko

włókna szklane. Kompozyty o osnowie polimerowej zawierające włókna szklane określa się nazwą Glass Fibre Reinforced Plastics (GFRP). Przez długi okres czasu były najchętniej wybieranym typem kompozytów włóknistych, a zawdzięczały to stosunkowo dobrym właściwościom mechanicznym oraz cenie. Natomiast kompozyty z włóknami aramidowymi i węglowymi cechują się lepszymi właściwościami (wytrzymałość, sztywność oraz gęstość), lecz mimo to są rzadziej stosowane ze względu na wysokie koszty produkcji.



Rys.3. Schemat konstrukcji hybrydowej typu FML [10]

3.2. Właściwości

Konstrukcje te w porównaniu ze zwykłym arkuszem metalu posiadają wyższą odporność na zmęczenie, korozję, udarność oraz naprężenia szczątkowe. Porównując natomiast do „czystego” kompozytu cechuje się wyższą wytrzymałością, udarnością oraz odpornością na kruche pęknięcie. Wobec paneli FML można stosować konwencjonalne techniki przygotowania powierzchni, cięcia i formowania. Wcześniej wspomniana odporność na korozję związana jest z warstwą prepegu, która stanowi barierę dla wilgoci. Do wad zalicza się podatność dużych paneli do odkształceń (warstwy metalowe mają wysoką sztywność, zwłaszcza arkusze aluminiowe). W większości przypadków stosuje się laminaty złożone z blach aluminiowych EN-AW-2024 i EN-AW-7075 wraz z prepegiem składającym się z żywicy FM94 i włókna szklanego S2 [10].

3.3. Zastosowania

Zastosowania konstrukcji kompozytowych typu FML są mniej rozwinięte niż wcześniej omówionych typów SPS oraz SIP ze względu na nasze ograniczone poznanie ich właściwości wytrzymałościowych. Niemniej jednak konstrukcje typu FML wykorzystuje się często w lotnictwie.

PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy omówiono trzy rodzaje najczęściej obecnie stosowanych typów kompozytów warstwowych, czyli SPS (Sandwich Plate System), SIP (Structural Insulated Panels) oraz konstrukcje hybrydowe FML. Konstrukcje warstwowe typu SPS opracowane zostały przez grupę Intelligent Engineering. Zbudowane są z płyt stalowych, pomiędzy którymi znajduje się sztywny, poliuretanowy rdzeń. Charakteryzują się zdolnością do tłumienia drgań i ogólnie energii, ognioodpornością i dymoodpornością. Zastosowanie znajdują głównie w przemyśle morskim – do budowy kadłubów i grodzi, także w produkcji szeroko rozumianych barier i osłon przeciwko pociskom, falom uderzeniowym, dymowi i ogniom.

Konstrukcje warstwowe typu SIP zbudowane są z płyt OSB, pomiędzy którymi znajduje się rdzeń z ekspandowanego (EPS) lub ekstrudowanego (XPS) polistyrenu, pianki poliuretanowej lub poliizocyanurowej. Charakteryzują się wysoką wytrzymałością mechaniczną, odpornością na wilgoć oraz czynniki biologiczne i chemiczne, a także niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła i niską

palnością. Zastosowanie znajdują przede wszystkim w budownictwie mieszkaniowym ale też w małym budownictwie komercyjnym.

Konstrukcje warstwowej typu FML zbudowane są z cienkich metalowych blach łączonych adhezyjnie z kompozytem polimerowym (poliepoksydy, poliestry, poliamidy) wzmocnionym włóknami szklanymi, aramidowymi lub węglowymi. Dzięki takiej budowie wykazują właściwości pośrednie pomiędzy właściwościami czystego metalu, a czystego wzmocnianego kompozytu. Zastosowanie nie jest jeszcze w pełni rozwinięte, jednak widać liczne przypadki wykorzystania tego kompozytu w lotnictwie.

Konstrukcje warstwowe przedstawione w pracy posiadają szeroki zakres zastosowań w wielu gałęziach techniki min. takich jak budownictwo lądowe (SIP), przemysł stoczniowy (SPS), czy też lotnictwo (FML). Z powodzeniem mogą one zastąpić klasyczne, stosowane dotąd konstrukcje stalowe, czy też drewniane, przy czym posiadają od nich znacznie lepsze właściwości (zaliczają się do nich min. dobrą izolację cieplną, odporność na ściskanie, wyginanie, wysoka udarność, ciężar). Mając na względzie wszystkie zalety tego typu konstrukcji można mieć pewność, iż będą one coraz częściej stosowane.

BIBLIOGRAFIA

1. Materiały reklamowe firmy Intelligent Engineering, Company Profile, Dostępny w Internecie: www.ie-sps.com/downloads/684.pdf
2. Materiały reklamowe firmy Intelligent Engineering, Dostępny w Internecie: ie-sps.com/SPS_Overlay_Benefits.html?sku=28
3. Cousins T.E., Harris D.K., Murray T.M.: Use of sandwich plate system in a Virginia Bridge, Final contract report, VTRC 09-CR12, Dostępny w Internecie: www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/09-cr12.pdf
4. Materiały reklamowe firmy Intelligent Engineering, Dostępny w Internecie: www.ie-sps.com/sps_technology.html?sku=14
5. Morley M., Structural Insulated Panels, The Taunton Press, 2000, Dostępny w Internecie: books.google.com/books?id=krfa0bJ6EdsC&printsec=frontcover&hl=pl&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false
6. Materiały informacyjne firmy Kronopol, Dostępny w Internecie:
7. www.mdb.kronopol.pl/Kronopol-OSB/Produkt
8. Asundi A., Choi A.Y.N.: Fiber metal laminates: an advanced material for future aircraft, J. Mater. Processing Technology, 1997, 63, 384-394
9. Vogelesang L.B., Vlot A.: Development of fibre metal laminates for advanced aerospace structures, Journal of Materials Processing Technology, 2000, 103, 1-5
10. Góra G., Mackiewicz S.: Ultradźwiękowe badania konstrukcji kompozytowych w przemyśle lotniczym, Jedenaste Seminarium „Niszczące badania materiałów”, Zakopane, 2005
11. Surowska B.: Materiały funkcjonalne i złożone w transporcie lotniczym, Eksploatacja i Niezawodność, 2008, 3, 31-33

SANDWICH SYSTEMS OVERVIEW

The article discusses most commonly used sandwich systems such as: SMS (Sandwich Plate System), SIP (Structural Insulated Panels) and hybrid FML (fibre-metal laminate), as well as it's structure, properties and practical application in various branches of industry.

Autor:

mgr inż. **Wojciech Owczarzak** – Politechnika Gdańska w Gdańsku, Wydział Mechaniczny