

## Laminat aluminium-szkło-węgiel i sposób jego wytwarzania

Przedmiotem wynalazku jest laminat aluminium-szkło-węgiel i sposób wytwarzania laminatu aluminium-szkło-węgiel.

5           Z europejskiego zgłoszenia patentowego nr EP2763849 (A1) znany i stosowany jest laminat metalowo-włóknisty składający się z naprzemiennie ułożonych warstw metalu, np. stopów aluminium, stali, magnezu, bądź stopów tytanu, oraz warstw kompozytu polimerowego wzmocnianego włóknami węglowymi, szklanymi, 10    aramidowymi, albo ich kombinacją. Laminaty poddaje się procesowi utwardzania pod działaniem temperatury i ciśnienia w celu uzyskania stałej struktury.

          Z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US5547735 (A) znany jest laminat odporny na uderzenia, który posiada dwie 15    zewnątrzne warstw ze stopu aluminium o grubości od 0,1 mm do 0,8 mm i wewnętrzną warstwę kompozytu polimerowego wzmocnionego włóknami szklanymi o grubości od 0,1 mm do 1,5 mm. Laminaty poddaje się procesowi utwardzania w autoklawie pod działaniem temperatury i ciśnienia w określonym czasie.

20           Z międzynarodowego zgłoszenia patentowego nr WO2017080841 (A1) znany jest sposób wytwarzania laminatu składającego się z warstw ze stopu aluminium oraz warstw polimeru termoplastycznego wzmocnionego wytrzymałymi włóknami węglowymi, aramidowymi albo szklanymi. W laminacie 25    naprzemiennie układa się warstwy stopu aluminium oraz warstwy

kompozytowe, a następnie utwardza go poprzez wywieranie obciążenia w temperaturze od 150 - 400°C, a następnie chłodzenie.

W artykule pt. „Investigation of Tensile and Bending behaviour of Aluminium based hybrid fibre metal laminates” autorstwa G.R. Rajkumar, M. Krishan, H.N. Narasimhamurthy, Y.V. Keshavamurthy i J.R. Nataraj opublikowanego w czasopiśmie „Procedia Materials Science” opisano laminaty składające się z warstw stopu aluminium 6061 o grubości 0,8 mm oraz warstw kompozytu polimerowego wzmocnianego włóknami węglowymi z naprzemiennie ułożonymi warstwami kompozytu polimerowego wzmocnianego włóknami szklanymi. Materiały poddano procesowi utwardzania w autoklawie pod działaniem temperatury i ciśnienia w określonym czasie. Sumaryczna grubość laminatu wynosiła 3,5 mm.

W artykule pt. „On the effect of glass and carbon fiber hybridization in fiber metal laminates: Analytical, numerical and experimental investigation” autorstwa K. Dadej, J. Bieniaś, B. Surowska opublikowanego w czasopiśmie „Composite Structures” opisano laminaty składające się z zewnątrz z warstw stopu aluminium 2024-T3 o grubości 0,5 mm oraz warstw kompozytu epoksydowo-węglowego i kompozytu epoksydowo-szklanego. Laminaty utwardzono w worku próżniowym w autoklawie w temperaturze 135 °C pod ciśnieniem 0,45 MPa.

Artykuł pt. „Blast resilience of composite sandwich panels with hybrid glass-fibre and carbon-fibre skins” autorstwa E. Rolfe, R. Quinn, A. Sancho, C. Kaboglu, A. Johnoson, H. Liu, P. A. Hooper, J.

P. Dear i H. Aror opublikowany w czasopiśmie „Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design” opisuje laminat składający się z zewnętrznej warstwy kompozytowej i wewnętrznej warstwy wykonanej z piany PVC o grubości 30 mm i gęstości równej 5 100 kg/m<sup>3</sup>. Na zewnętrzne warstwy kompozytowe składało się łącznie 8 warstw, z czego 4 warstwy wykonano z włókna szklanego, a kolejne 4 z włókna węglowego. Włókna szklane i węglowe poddano procesowi infuzji żywicą epoksydową.

Celem wynalazku jest wytworzenie laminatu aluminium-szkło-10 węgiel odpornego na uderzenia.

Istotą laminatu aluminium-szkło-węgiel posiadającego od zewnętrznej strony arkusz blachy ze stopu aluminium, który na obu powierzchniach posiada warstwę ceramiczną z nałożoną warstwą żywicy polimerowej, do której przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe 15 warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową, do których przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową, według wynalazku, jest to, że w części środkowej laminatu znajduje się warstwa włókniny 20 poliestrowej o grubości od 3 mm do 9 mm i o gramaturze 339 g/m<sup>2</sup>. Do obu powierzchni warstwy włókniny poliestrowej przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową o grubości 0,2 mm każda, do których przylegają adhezyjnie dwie, 25 jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien

szklanych połączonych żywicą epoksydową o grubości 0,2 mm każda, które przylegają adhezyjnie do warstwy żywicy polimerowej o grubości 1  $\mu\text{m}$ . Warstwa żywicy polimerowej nałożona jest na warstwę ceramiczną o grubości od 8  $\mu\text{m}$  do 12  $\mu\text{m}$  znajdującą się na arkuszu blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,2 mm do 1 mm. 5 Arkusz blachy ze stopu aluminium na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną o grubości od 8  $\mu\text{m}$  do 12  $\mu\text{m}$  z nałożoną warstwą żywicy polimerowej o grubości 1  $\mu\text{m}$ .

Istotą sposobu wytwarzania laminatu aluminium-szkło-węgiel, 10 według wynalazku, jest to, że na dwa arkusze blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,2 mm do 1 mm posiadające na obu powierzchniach warstwę ceramiczną o grubości od 8  $\mu\text{m}$  do 12  $\mu\text{m}$  nakłada się obustronnie warstwę żywicy polimerowej o grubości 1  $\mu\text{m}$ , po czym pozostawia się na czas 30 min w temperaturze 23°C, 15 następnie suszy się w czasie 60 min w temperaturze 121°C w suszarce elektrycznej. Po wysuszeniu nakłada się na jeden z arkuszy blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,2 mm do 1 mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną o grubości od 8 d  $\mu\text{m}$  o 12  $\mu\text{m}$  i warstwę żywicy polimerowej o grubości 1  $\mu\text{m}$  kolejno dwie, 20 jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową o grubości 0,2 mm każda, po czym nakłada się kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową o grubości 0,2 mm każda. Następnie nakłada się warstwę 25 włókniny poliestrowej o grubości od 3 mm do 9 mm i o gramaturze

339 g/m<sup>2</sup>. Na warstwę włókniny poliestrowej nakłada się kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową o grubości 0,2 mm każda, na które nakłada się kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową o grubości 0,2 mm każda, po czym nakłada się drugi z arkuszy blachy (1) ze stopu aluminium o grubości od 0,2 do 1 mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną (2) o grubości od 8 μm do 12 μm i warstwę żywicy polimerowej (3) o grubości 1 μm. Następnie wykonuje się pakiet próżniowy i odsysa się powietrze do podciśnienia -0,08 MPa, po czym poddaje się całość procesowi utwardzania.

Korzystnie jest, gdy nakłada się kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową w kierunku ułożenia 0°/0° albo 90°/90° albo +45°/-45°.

Korzystnie jest, gdy nakłada się kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową w kierunku ułożenia 0°/0° albo 90°/90° albo +45°/-45°.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że otrzymuje się laminat aluminium-szkło-węgiel o dobrej odporności na uderzenia dynamiczne niskiej prędkości. W procesie utwardzania w autoklawie, włóknina poliestrowa jest przesączona żywicą epoksydową pochodzącą od kompozytu polimerowego. Dzięki przesączonej

włókninie poliestrowej dochodzi do zmniejszenia ilości pęknięć w laminacie. Ponadto wytrzymałość na granicy rozdziału włókniny i kompozytu polimerowego jest zwiększona.

Wynalazek został przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, który przedstawia przekrój poprzeczny laminatu.

### **Przykład 1**

Sposób wytwarzania laminatu aluminium-szkło-węgiel polegał na tym, że dwa arkusze blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie utwardzenia T3 według normy PN-EN 515:2017-05 o wymiarach 300 x 400 mm i grubości 0,3 mm poddano procesowi utleniania anodowego poprzez metodę elektrochemiczną w wodnym roztworze kwasu chromowego (VI), gdzie dla kwasu chromowego anodowanie przebiegało w sposób następujący: oczyszczanie papierem ściernym o gradacji 2000 i odtłuszczenie wstępne acetonem blach ze stopu aluminium, odtłuszczenie alkaliczne, płukanie i trawienie w kąpeli sulfochromowej, płukanie, anodowanie w kwasie chromowym - bezwodnik kwasu chromowego w temperaturze 38°-42°C przy napięciu  $\approx 20V$  oraz w czasie  $\approx 45$  minut. Po procesie anodowania płukano w wodzie dwa arkusze blachy 1 przez 5 minut i pozostawiono do wysuszenia w temperaturze 23°C. Każdą warstwę ceramiczną 2 o grubości 8  $\mu m$  wytworzoną na arkuszach blachy 1 powleczono warstwą środka uaktywniającego powierzchnię na bazie syntetycznej żywicy polimerowej o udziale masowym alkohol diacetonowy 35%, keton metylowo-etylowy - Butanon 25%, tetrahydrofuran 20%, 1-metoksypropan-2-ol 5%, żywica epoksydowa 5%, woda 5%, eter 3-

(trimetoksylopropyloglicydyloxy 1%, żywica fenolowo-formaldehydowa 1%, eter glicydowy polimeru fenolowo-formaldehydowego 1%, chromian strontu (VI) 1%, alkohol metylowy 1%, tworząc warstwę żywicy polimerowej 3 o grubości 1  $\mu\text{m}$ .

5 Następnie pozostawiono na czas 30 minut w temperaturze 23°C, po czym suszono w czasie 60 min w temperaturze 121°C w suszarce elektrycznej. Po wysuszeniu nałożono na jeden z arkuszy blachy 1 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 i warstwę żywicy polimerowej 3 kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu

10 polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową 4 o grubości 0,2 mm każda, w kierunku ułożenia 0°/0°, po czym nałożono kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową 5 o grubości 0,2 mm każda, w kierunku ułożenia 0°/0°.

15 Następnie nałożono warstwę włókniny poliestrowej 6 o grubości 3 mm i o gramaturze 339 g/m<sup>2</sup>. Na warstwę włókniny poliestrowej 6 nałożono kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową 5 o grubości 0,2 mm każda, w kierunku ułożenia

20 0°/0°, na które nałożono kolejno dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową 4 o grubości 0,2 mm każda, w kierunku ułożenia 0°/0°. Następnie nałożono drugi z arkuszy blachy 1 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 i warstwę żywicy

25 polimerowej 3. Całość ułożono na formie aluminiowej i za pomocą

pakietu próżniowego odessano powietrze do podciśnienia  $-0,08$  MPa. Następnie całość utwardzano w komorze autoklawu w temperaturze  $+135^{\circ}\text{C}$  oraz w ciśnieniu  $0,4$  MPa. Wewnątrz komory autoklawu nagrzewano i chłodzono pakiet próżniowy z prędkością  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Cały proces utwardzania z nagrzewaniem i chłodzeniem przebiegał w czasie  $4,5$  godziny. Po wyjęciu pakiet próżniowy z autoklawu schłodzono do temperatury  $23^{\circ}\text{C}$ .

W wytworzonym laminacie aluminium-szkło-węgiel w części środkowej znajduje się warstwa włókniny poliestrowej 6 o grubości  $3$  mm i o gramaturze  $339$   $\text{g}/\text{m}^2$ . Do obu powierzchni warstwy włókniny poliestrowej 6 przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową 5 o grubości  $0,2$  mm każda, do których przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową 4 o grubości  $0,2$  mm każda, które przylegają adhezyjnie do warstwy żywicy polimerowej 3 o grubości  $1$   $\mu\text{m}$ . Warstwa żywicy polimerowej 3 nałożona jest na warstwę ceramiczną 2 o grubości  $8$   $\mu\text{m}$  znajdującą się na arkuszu blachy 1 ze stopu  $\text{AlCu4Mg1}$  w stanie utwardzenia T3 o grubości od  $0,3$  mm, który na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości  $8$   $\mu\text{m}$  z nałożoną warstwą żywicy polimerowej 3 o grubości  $1$   $\mu\text{m}$ .

Otrzymany laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej  $5$  m/s w zakresie energii  $5$  J i  $20$  J. Laminat charakteryzował się zmniejszonym zniszczeniem warstw

kompozytowych oraz zwiększoną wartością absorpcji energii przez warstwę poliestrową. Siła maksymalna uzyskana w badaniach na uderzenia wynosiła dla 5 J – 2274 N, a dla 20 J - 4527 N.

### **Przykład 2**

5           Sposób wytwarzania laminatu aluminium-szkło-węgiel przebiegał jak w pierwszym przykładzie wykonania, z tym, że wykorzystano dwa arkusze blachy 1 o grubości 1 mm posiadające na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 12  $\mu\text{m}$  i warstwę żywicy polimerowej o grubości 1  $\mu\text{m}$ , jednakowe warstwy  
10 kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową 4 o grubości 0,2 mm każda, które ułożono w kierunku ułożenia  $90^\circ/90^\circ$ , jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową 5 o grubości 0,2 mm każda, które ułożono w kierunku  
15 ułożenia  $90^\circ/90^\circ$  i warstwę włókniny poliestrowej 6 o grubości 9 mm i o gramaturze 339  $\text{g}/\text{m}^2$ .

W wytworzonym laminacie aluminium-szkło-węgiel w części środkowej znajduje się warstwa włókniny poliestrowej 6 o grubości 3 mm i o gramaturze 339  $\text{g}/\text{m}^2$ . Do obu powierzchni warstwy włókniny  
20 poliestrowej 6 przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową 5 o grubości 0,2 mm każda, do których przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą  
25 epoksydową 4 o grubości 0,2 mm każda, które przylegają adhezyjnie

do warstwy żywicy polimerowej 3 o grubości 1  $\mu\text{m}$ . Warstwa żywicy polimerowej 3 nałożona jest na warstwę ceramiczną 2 o grubości 12  $\mu\text{m}$  znajdującą się na arkuszu blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie utwardzenia T3 o grubości 1 mm, który na zewnętrznej powierzchni  
5 posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości 12  $\mu\text{m}$  z nałożoną warstwą żywicy polimerowej 3 o grubości 1  $\mu\text{m}$ .

Otrzymany laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej 5 m/s w zakresie energii 5 J i 20 J. Laminat charakteryzował się zmniejszonym zniszczeniem warstw  
10 kompozytowych oraz zwiększoną wartością absorpcji energii przez warstwę poliestrową. Siła maksymalna uzyskana w badaniach na uderzenia wynosiła dla 5 J – 1935 N, a dla 20 J – 4903 N.

### **Przykład 3**

Sposób wytwarzania laminatu aluminium-szkło-węgiel  
15 przebiegał jak w pierwszym przykładzie wykonania, z tym, że wykorzystano dwa arkusze blachy 1 o grubości 0,5 mm posiadające na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 10  $\mu\text{m}$  i warstwę żywicy polimerowej o grubości 1  $\mu\text{m}$ , jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych  
20 żywicą epoksydową 4 o grubości 0,2 mm każda, które ułożono w kierunku ułożenia  $+45^\circ/-45^\circ$ , jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową 5 o grubości 0,2 mm każda, które ułożono w kierunku ułożenia  $+45^\circ/-45^\circ$  i warstwę włókniny poliestrowej 6 o grubości 3  
25 mm i o gramaturze 339 g/m<sup>2</sup>.

W wytworzonym laminacie aluminium-szkło-węgiel w części środkowej znajduje się warstwa włókniny poliestrowej 6 o grubości 5 mm i o gramaturze 339 g/m<sup>2</sup>. Do obu powierzchni warstwy włókniny poliestrowej 6 przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien węglowych połączonych żywicą epoksydową 5 o grubości 0,2 mm każda, do których przylegają adhezyjnie dwie, jednakowe warstwy kompozytu polimerowego na bazie włókien szklanych połączonych żywicą epoksydową 4 o grubości 0,2 mm każda, które przylegają adhezyjnie do warstwy żywicy polimerowej 3 o grubości 1 μm. Warstwa żywicy polimerowej 3 nałożona jest na warstwę ceramiczną 2 o grubości 10 μm znajdującą się na arkuszu blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie utwardzenia T3 o grubości 0,5 mm, który na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości 10 μm z nałożoną warstwą żywicy polimerowej 3 o grubości 1 μm.

Otrzymany laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej 5 m/s w zakresie energii 5 J i 20 J. Laminat charakteryzował się zmniejszonym zniszczeniem warstw kompozytowych oraz zwiększoną wartością absorpcji energii przez warstwę poliestrową. Siła maksymalna uzyskana w badaniach na uderzenia wynosiła dla 5 J – 1952 N, a dla 20 J - 5181 N.