

Laminat aluminium-szkło i sposób jego wytwarzania

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

5 Znany i stosowany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US20130209764 A1 laminat kompozytowy z warstwą samonaprawiającą się, gdzie struktura kompozytowa zawiera wiele warstw materiału kompozytowego i co najmniej jedną warstwę materiału samonaprawiającego się.

10 Ponadto znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US20090191402 A1 laminat, który zawiera pierwszą warstwę składającą się z żywicy elastomerowej i połączoną z nią warstwę samonaprawiającą się na bazie kapsulek. Laminat wykazuje samonaprawę kiedy zastosuje się działanie siły o niskiej energii działające na warstwy samonaprawiające się.

15 Znane są z amerykańskiego opisu patentowego nr US9127915 B1 lekkie materiały kompozytowe, które są odporne na działania energii balistycznej oraz są odporne na działanie ognia. Zawierają one w swojej strukturze półkryształiczny termoplast i nanocząsteczki, które potrafią stworzyć samonaprawiającą się warstwę.

20 Z artykułu “Self-healing composites: A state-of-the-art review” autorstwa N. J. Kanu, E. Gupta, U. K. Vates I G.K. Singh w czasopiśmie Composite Part A: Applied Science and Manufacturing Volume 121, June 2019, Pages 474-486 znany jest proces zniszczenia i samozabliźniania w kompozytach poddanych różnym testom mechanicznym. Jako warstwy samonaprawiające się zastosowane były nanorurki węglowe.

25 W artykule “Recovery of Mode I self-healing interlaminar fracture toughness of fiber metal laminate by modified double cantilever beam test” Autorstwa L. Shanmugam, M. Naebe, J.K. Russell, J. Varley I J. Yang w Composites Comunnications Volume 16, December 2019, Pages 25-29 przedstawiony został laminat metalowo-włóknisty składający się z cienkich blach

metalowych oraz warstwy polimerowej samonaprawiającej się i warstwy polimerowej zawierającej włókna węglowe.

Artykuł "The interlaminar resistance of carbon fiber-Al laminate reinforced with hollow and core-shell microcapsules" M.D. Shokrian, K. Shelesh- Nezhad, R. Najjar I E. Bigdeli Theoretical and Applied Fracture Mechanics Volume 110, December 2020, 102778 przedstawia laminaty metalowo-włókniste na bazie aluminium i kompozytu węglowego zawierającego włókna węglowe, gdzie zastosowana jest warstwa mikrokapsulek jako samonaprawiająca się.

Celem wynalazku jest wytworzenie laminatu aluminium-szkło odpornego na uderzenia i zginanie wykorzystywanego na skrzydła samolotu.

Istotą laminatu aluminium-szkło posiadającego od zewnętrznej strony arkusz blachy ze stopu aluminium, który na obu powierzchniach posiada warstwę ceramiczną z nałożoną warstwą żywicy polimerowej, według wynalazku, jest to, że w części środkowej laminatu znajdują się cztery jednakowe warstwy samonaprawiające się o grubości od 1,5 mm do 2,3 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw samonaprawiających się przylega adhezyjnie warstwa żywicy polimerowej o grubości od 10 μm do 30 μm . Warstwa żywicy polimerowej nałożona jest na warstwę ceramiczną o grubości od 8 μm do 15 μm znajdującą się na arkuszu blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,3 mm do 0,5 mm, który na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną o grubości od 8 μm do 15 μm z nałożoną warstwą żywicy polimerowej o grubości od 10 μm do 30 μm .

Istotą sposobu wytwarzania laminatu aluminium-szkło, według wynalazku, jest to, że na dwa arkusze blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,3 mm do 0,5 mm posiadające na obu powierzchniach warstwę ceramiczną o grubości od 8 μm do 15 μm nakłada się obustronnie warstwę żywicy polimerowej o grubości od 10 μm do 30 μm , po czym pozostawia się na czas 3 h w temperaturze 23°C. Następnie na jeden z arkuszy blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,3 mm do 0,5 mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną o grubości od 8 μm do 15

μm i warstwę żywicy polimerowej o grubości od $10\ \mu\text{m}$ do $30\ \mu\text{m}$ nakłada się kolejno cztery jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu o grubości od $0,25\ \text{mm}$ do $1\ \text{mm}$ każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminuje się ręcznie żywicą epoksydową.

5 Otrzymuje się cztery jednakowe warstwy samonaprawiające się o grubości od $1,5\ \text{mm}$ do $2,3\ \text{mm}$ każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nakłada się drugi z arkuszy blachy ze stopu aluminium o grubości od $0,3\ \text{mm}$ do $0,5\ \text{mm}$

10 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną o grubości od $8\ \mu\text{m}$ do $15\ \mu\text{m}$ i warstwę żywicy polimerowej o grubości od $10\ \mu\text{m}$ do $30\ \mu\text{m}$. Następnie wykonuje się pakiet próżniowy i odsysa się powietrze do podciśnienia $-0,08\ \text{MPa}$, po czym poddaje się całość procesowi utwardzania w czasie $3\ \text{h}$ w temperaturze 23°C .

Korzystnie jest, gdy nakłada się kolejno cztery jednakowe warstwy włókien

15 szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu w kierunku ułożenia $0^\circ/0^\circ/0^\circ/0^\circ$ albo $0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$ albo $+45^\circ/-45^\circ/-45^\circ/+45^\circ$.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że otrzymuje się laminat aluminium-szkło o wysokich właściwościach odpornościowych i absorpcyjnych na uderzenia o niskiej prędkości oraz na zginanie trzy-punktowe. Zastosowana

20 warstwa zawierająca włókna szklane wypełnione środkiem samonaprawiającym się hamuje rozwój pęknięć w laminacie i uzyskuje się po $24\ \text{h}$ efekt samonaprawy laminatu. Właściwości laminatu wytworzonego sposobem według wynalazku umożliwiają wykorzystanie go w przemyśle lotniczym.

Wynalazek został przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku,

25 który przedstawia przekrój poprzeczny laminatu.

Przykład 1

Sposób wytwarzania laminatu aluminium-szkło polegał na tym, że dwa arkusze blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie utwardzenia T3 według normy PN-EN 515:2017-05 o wymiarach $300\ \times\ 400\ \text{mm}$ i grubości $0,5\ \text{mm}$ poddano

30 procesowi utleniania anodowego poprzez metodę elektrochemiczną w wodnym

roztworze kwasu chromowego (VI), gdzie proces anodowania przebiegał w sposób następujący: oczyszczanie papierem ściernym o gradacji od 1000 do 2000 i odtłuszczenie acetonem blach ze stopu aluminium, odtłuszczenie alkaliczne, płukanie i trawienie w kąpeli sulfochromowej, płukanie, anodowanie w kwasie chromowym -bezwodnik kwasu chromowego w temperaturze 35°-45°C przy napięciu ≈20V oraz w czasie ≈45minut. Po procesie anodowania płukano w wodzie dwa arkusze blachy 1 przez 15 minut i pozostawiono do wysuszenia w temperaturze 23°C. Każdą warstwę ceramiczną 2 o grubości 10 μm wytworzoną na arkuszach blachy 1 powleczono warstwą środka uaktywniającego powierzchnię na bazie syntetycznej żywicy polimerowej o udziale masowym alkohol diacetonowy 35%, chromian strontu (VI) 1%, alkohol metylowy 1%, keton metylowo-etylowy - Butanon 25%, tetrahydrofuran 20%, 1-metoksypropan-2-ol 5%, żywica fenolowo-formaldehydowa 1%, eter glicydowy polimeru fenolowo-formaldehydowego 1%, żywica epoksydowa 5%, woda 5%, eter 3-(trimetoksy-sililo) propyloglicydylowy 1%, tworząc warstwę żywicy polimerowej 3 o grubości 20 μm. Następnie pozostawiono na czas 3 h w temperaturze 23°C. Po wysuszeniu na jeden z arkuszy blachy 1 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 i warstwę żywicy polimerowej 3 nałożono kolejno cztery jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu w kierunku ułożenia 0°/0°/0°/0° o grubości 1 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową. Otrzymano cztery jednakowe warstwy samonaprawiające się 4 o grubości 2,3 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono drugi z arkuszy blachy 1 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 i warstwę żywicy polimerowej 3. Całość ułożono na formie aluminiowej i za pomocą pakietu próżniowego odessano powietrze do podciśnienia -0,08 MPa, po czym poddano całość procesowi utwardzania w temperaturze 23°C. Wewnątrz komory autoklawu nagrzewano i chłodzono pakiet próżniowy z prędkością 1°C/min. Cały proces utwardzania z nagrzewaniem i chłodzeniem przebiegał w czasie 3 h.

W wytworzonym laminacie aluminium-szkło w części środkowej znajdują się cztery, jednakowe warstwy samonaprawiające się 4 o grubości 2,3 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw samonaprawiających się 4 przylega adhezyjnie warstwa żywicy polimerowej 3 o grubości 20 μm . Warstwa żywicy polimerowej 3 nałożona jest na warstwę ceramiczną 2 o grubości 10 μm znajdującą się na arkuszu blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 o grubości 0,5 mm. Arkusz blachy 1 na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości 10 μm z nałożoną warstwą żywicy polimerowej 3 o grubości 20 μm .

Otrzymany laminat poddano badaniom na trzy-punktowe zginanie, w którym po 24 h uzyskano właściwości samonaprawiające, polegające na przywróceniu integralności struktury. Laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej 5 m/s w zakresie energii 5 J i 10 J. Laminat charakteryzował się tym, że warstwa z włóknami szklanymi po uderzeniu została zniszczona, natomiast po 24h pojawił się efekt samonaprawy struktury.

Przykład 2

Sposób wytwarzania laminatu aluminium-szkło 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 proces anodowania przebiegał w sposób następujący: oczyszczanie papierem ściernym o gradacji od 1000 do 2000 i odtłuszczenie acetonem blach ze stopu aluminium, odtłuszczenie alkaliczne, płukanie i trawienie w kąpeli sulfochromowej, płukanie, anodowanie w kwasie chromowym -bezwodnik kwasu chromowego w temperaturze 35°-45°C przy napięciu $\approx 20\text{V}$ oraz w czasie $\approx 45\text{minut}$. Po procesie anodowania płukano w wodzie dwa arkusze blachy 1 przez 15 minut i pozostawiono do wysuszenia w temperaturze 23°C. Każdą warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm wytworzoną na arkuszach blachy 1 powleczono warstwą środka uaktywniającego powierzchnię

na bazie syntetycznej żywicy polimerowej o udziale masowym alkohol diacetonowy 35%, chromian strontu (VI) 1%, alkohol metylowy 1%, keton metylowo-etylowy - Butanon 25%, tetrahydrofuran 20%, 1-metoksypropan-2-ol 5%, żywica fenolowo-formaldehydowa 1%, eter glicydowy polimeru fenolowo-formaldehydowego 1%, żywica epoksydowa 5%, woda 5%, eter 3-(trimetoksy-sililo) propylglicydylowy 1%, tworząc warstwę żywicy polimerowej 3 o grubości 10 μm . Następnie pozostawiono na czas 3 h w temperaturze 23°C. Po wysuszeniu na jeden z arkuszy blachy 1 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 i warstwę żywicy polimerowej 3 nałożono kolejno cztery jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu w kierunku ułożenia 0°/90°/90°/0° o grubości 0,25 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową. Otrzymano cztery jednakowe warstwy samonaprawiające się 4 o grubości 1,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono drugi z arkuszy blachy 1 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 i warstwę żywicy polimerowej 3. Całość ułożono na formie aluminiowej i za pomocą pakietu próżniowego odessano powietrze do podciśnienia -0,08 MPa, po czym poddano całość procesowi utwardzania w temperaturze 23°C. Wewnątrz komory autoklawu nagrzewano i chłodzono pakiet próżniowy z prędkością 1°C/min. Cały proces utwardzania z nagrzewaniem i chłodzeniem przebiegał w czasie 3 h.

W wytworzonym laminacie aluminium-szkło w części środkowej znajdują się cztery, jednakowe warstwy samonaprawiające się 4 o grubości 1,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw samonaprawiających się 4 przylega adhezyjnie warstwa żywicy polimerowej 3 o grubości 10 μm . Warstwa żywicy polimerowej 3 nałożona jest na warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm znajdującą się na arkuszu blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 o grubości 0,3 mm. Arkusz blachy 1 na zewnętrznej powierzchni

posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm z nałożoną warstwą żywicy polimerowej 3 o grubości 10 μm .

Otrzymany laminat poddano badaniom na trzy-punktowe zginanie, w którym po 24 h uzyskano właściwości samonaprawiające, polegające na przywróceniu integralności struktury. Laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej 1 m/s w zakresie energii 5J. Laminat charakteryzował się tym, że warstwa z włóknami szklanymi po uderzeniu została zniszczona, natomiast po 24h pojawił się efekt samonaprawy struktury.

Przykład 3

Sposób wytwarzania laminatu aluminium-szkło 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 0,5 mm poddano procesowi utleniania anodowego poprzez metodę elektrochemiczną w wodnym roztworze kwasu chromowego (VI), gdzie proces anodowania przebiegał w sposób następujący: oczyszczanie papierem ściernym o gradacji od 1000 do 2000 i odtłuszczenie acetonem blach ze stopu aluminium, odtłuszczenie alkaliczne, płukanie i trawienie w kąpeli sulfochromowej, płukanie, anodowanie w kwasie chromowym -bezwodnik kwasu chromowego w temperaturze 35°-45°C przy napięciu $\approx 20\text{V}$ oraz w czasie $\approx 45\text{minut}$. Po procesie anodowania płukano w wodzie dwa arkusze blachy 1 przez 15 minut i pozostawiono do wysuszenia w temperaturze 23°C. Każdą warstwę ceramiczną 2 o grubości 12 μm wytworzoną na arkuszach blachy 1 powleczono warstwą środka uaktywniającego powierzchnię na bazie syntetycznej żywicy polimerowej o udziale masowym alkohol diacetonowy 35%, chromian strontu (VI) 1%, alkohol metylowy 1%, keton metylowo-etylowy - Butanon 25%, tetrahydrofuran 20%, 1-metoksypropan-2-ol 5%, żywica fenolowo-formaldehydowa 1%, eter glicydowy polimeru fenolowo-formaldehydowego 1%, żywica epoksydowa 5%, woda 5%, eter 3-(trimetoksysililo) propylglicydylowy 1%, tworząc warstwę żywicy polimerowej 3 o grubości 30 μm . Następnie pozostawiono na czas 3 h w temperaturze 23°C. Po wysuszeniu na jeden z arkuszy blachy 1 posiadający na obu powierzchniach

warstwę ceramiczną 2 i warstwę żywicy polimerowej 3 nałożono kolejno cztery jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoformu w kierunku ułożenia $+45^\circ/-45^\circ/-45^\circ/+45^\circ$ o grubości 1 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową.

5 Otrzymano cztery jednakowe warstwy samonaprawiające się 4 o grubości 2,3 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoformu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono drugi z arkuszy blachy 1 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 i warstwę żywicy polimerowej 3. Całość ułożono na formie aluminiowej i za pomocą pakietu próżniowego odessano powietrze do podciśnienia -0,08 MPa, po czym poddano całość procesowi utwardzania w temperaturze 23°C . Wewnątrz komory autoklawu nagrzewano i chłodzono pakiet próżniowy z prędkością $1^\circ\text{C}/\text{min}$. Cały proces utwardzania z nagrzewaniem i chłodzeniem przebiegał w czasie 3 h.

10

W wytworzonym laminacie aluminium-szkło w części środkowej znajdują się cztery, jednakowe warstwy samonaprawiające się 4 o grubości 2,3 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoformu i połączonych żywicą epoksydową. Do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw samonaprawiających się 4 przylega adhezyjnie warstwa żywicy polimerowej 3 o grubości $30\ \mu\text{m}$. 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 o grubości 0,5mm. Arkusz blachy 1 na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości $12\ \mu\text{m}$ z nałożoną warstwą żywicy polimerowej 3 o grubości $30\ \mu\text{m}$.

15

20

Otrzymany laminat poddano badaniom na trzy-punktowe zginanie, w którym po 24 h uzyskano właściwości samonaprawiające, polegające na przywróceniu integralności struktury. Laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej 2 m/s w zakresie energii 5J. Laminat charakteryzował się tym, że warstwa z włóknami szklanymi po uderzeniu została zniszczona, natomiast po 24h pojawił się efekt samonaprawy struktury.

25

30