

Laminat samonaprawiający się i sposób jego wytwarzania

Przedmiotem wynalazku jest laminat samonaprawiający się i sposób wytwarzania laminatu samonaprawiającego się.

5 Laminaty metalowo-włókniste stosowane w Airbusie A380 stają się coraz bardziej popularne nie tylko w przemyśle lotniczym, ale również w kolejnictwie i przemyśle samochodowym. Najbardziej pożądanymi laminatami metalowo-włóknistymi pod kątem właściwości są laminaty na bazie aluminium z warstwami epoksydowymi z włóknami szklanymi zwanymi Glare®. Poszukiwane są wciąż
10 nowe rozwiązania technologiczne i materiałowe związane z dążeniem do tego, aby materiały były lżejsze, przy zachowaniu podobnych lub korzystniejszych właściwości. W przemyśle lotniczym i kosmicznym, gdzie paliwo generuje duże koszty, ulepszone są wciąż nowe struktury w celu uzyskania większego zasięgu, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów i zachowaniu określonych standardów
15 środowiska.

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

20 Z artykułu pt. „Microcapsules in Fiber Metal Laminates for Self-Healing at the Interface between Magnesium and Carbon Fiber-Reinforced Epoxy”, M. Ostapiuk znany jest laminat metalowo-włóknisty z warstwą magnezu i włókien węglowych oraz zawierający mikrokapsułki w aspekcie właściwości samonaprawiających się na granicy rozdziału faz.

25 W artykule pt. „Recovery of Mode I self-healing interlaminar fracture toughness of fiber metal laminate by modified double cantilever beam test”, 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.

Z artykułu pt. „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 znane są 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 samonaprawiającego się odpornego na uderzenia i korozję wykorzystywanego w przemyśle samochodowym i lotniczym.

Istotą laminatu samonaprawiającego się posiadającego od zewnętrznej strony arkusz blachy ze stopu aluminium, który na obu powierzchniach posiada warstwę ceramiczną z nałożoną warstwą zol-żelu, według wynalazku, jest to, że w środkowej części laminatu znajduje się warstwa piany poliuretanowej o grubości od 10 mm do 50 mm. Do obu powierzchni warstwy piany poliuretanowej przylegają adhezyjnie dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się o grubości od 0,4 mm do 2,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoformu i połączonych żywicą epoksydową. Do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw samonaprawiających się przylegają adhezyjnie dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego o grubości od 0,2 mm do 1 mm każda. Natomiast do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw kompozytu epoksydowo-węglowego przylega adhezyjnie warstwa zol-żelu o grubości od 1 μ m do 3 μ m, która nałożona jest na warstwę ceramiczną o grubości od 6 μ m do 12 μ m znajdującą się na arkuszu blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,3 mm do 1 mm. Arkusz blachy ze stopu aluminium na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną o grubości od 6 μ m do 12 μ m z nałożoną warstwą zol-żelu o grubości od 1 μ m do 3 μ m .

Istotą sposobu wytwarzania laminatu samonaprawiającego się, według wynalazku, jest to, że na dwa arkusze blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,3

mm do 1 mm posiadające na obu powierzchniach warstwę ceramiczną o grubości od 6 μm do 12 μm nakłada się obustronnie warstwę zol-żelu o grubości od 1 μm do 3 μm , po czym pozostawia się na czas 1 h w temperaturze 23°C. Następnie na jeden z arkuszy blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,3 mm do 1 mm posiadający

5 na obu powierzchniach warstwę ceramiczną o grubości od 6 μm do 12 μm i warstwę zol-żelu o grubości od 1 μm do 3 μm nakłada się kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o grubości 0,2 mm do 1 mm i otrzymuje się dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego o grubości od 0,2 mm do 1 mm każda. Następnie nakłada się kolejno dwie jednakowe warstwy włókien

10 szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu o grubości od 0,25 mm do 2 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminuje się ręcznie żywicą epoksydową i otrzymuje się dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się o grubości od 0,4 mm do 2,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową.

15 Następnie nakłada się arkusz piany poliuretanowej o grubości od 10 mm do 50 mm i otrzymuje się warstwę piany poliuretanowej o grubości od 10 mm do 50 mm. Następnie nakłada się kolejno dwie jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu o grubości od 0,25 mm do 2 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminuje się ręcznie żywicą

20 epoksydową i otrzymuje się dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się o grubości od 0,4 mm do 2,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nakłada się kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o grubości 0,2 mm do 1 mm i otrzymuje się dwie jednakowe warstwy kompozytu

25 epoksydowo-węglowego o grubości od 0,2 mm do 1 mm każda. Następnie nakłada się drugi z arkuszy blachy ze stopu aluminium o grubości od 0,3 mm do 1 mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną o grubości od 6 μm do 12 μm i warstwę zol-żelu o grubości od 1 μm do 3 μm , po czym wykonuje się pakiet próżniowy i odsysa się powietrze do podciśnienia -0,08 MPa. Następnie poddaje

się całość procesowi utwardzania w czasie 4 h w temperaturze 135°C i ciśnieniu 4 barów.

Korzystnie jest, gdy nakłada się kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o splocie skośnym albo o splocie satynowym.

5 Korzystnie jest, gdy nakłada się kolejno dwie jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu w kierunku ułożenia 0°/0° albo 0°/90° albo +45°/-45°.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że otrzymuje się laminat samonaprawiający się o wysokich właściwościach odpornościowych i absorpcyjnych na uderzenia o niskiej prędkości. Otrzymany laminat posiada również właściwości antykorozyjne. Zastosowana warstwa zawierająca włókna szklane wypełnione środkiem samonaprawiającym hamuje rozwój pęknięć w laminacie, a po 24h uzyskuje się efekt samonaprawy laminatu. Ponadto warstwa piany poliuretanowej dodatkowo działa jako warstwa absorpcyjna przed 15 uderzeniami.

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

Przykład 1

Sposób wytwarzania laminatu samonaprawiającego się polegał na tym, że 20 powierzchnie arkuszy blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie T3 o wymiarach 300 x 400 mm i grubości 0,3 mm oczyszczono i odtłuszczono w przemysłowym roztworze alkalicznym składającym się z krzemianu sodu w ilości wagowej 5% i wody w ilości wagowej 95% roztworu o pH 10, a następnie anodowano w alkalicznym roztworze. Cały proces trwał 10 minut, a gęstość prądu wynosiła 5 25 A/dm² przy napięciu do 400V, o prądzie impulsowym o wysokiej częstotliwości 1000Hz i wypełnieniu 30% czasu impulsów. Roztworem do anodowania był 5g/ NaOH i 10g/l Na₂SiO₃. Następnie wykonano płukanie w wodzie wodociągowej i suszono sprężonym powietrzem. Otrzymano na obu powierzchniach arkusza 30 blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 warstwę ceramiczną 2 o grubości 6 μm. Na arkusze blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 posiadające na obu powierzchniach warstwę

ceramiczną 2 o grubości 6 μm nałożono poprzez laminowanie ręczne warstwę zol-żelu 3 o grubości 1 μm i pozostawiono na czas 1 h w temperaturze 23°C. Następnie na jeden z arkuszy blachy ze stopu AlCu4Mg1 o grubości 0,3 posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 6 μm i warstwę zol-żelu 3 o grubości 1 μm nałożono kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o splocie skośnym o grubości 0,2 mm i otrzymano dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 0,2 mm każda. Następnie nałożono kolejno dwie jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu w kierunku ułożenia 0°/0° o grubości 0,25 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową i otrzymano dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 0,4 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono arkusz piany poliuretanowej o grubości 10 mm i otrzymano warstwę piany poliuretanowej 4 o grubości 10 mm. Następnie nałożono kolejno dwie jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu w kierunku ułożenia 0°/0° o grubości 0,25 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową i otrzymano dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 0,4 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o splocie skośnym o grubości 0,2 mm i otrzymano dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 0,2 mm każda, po czym nałożono drugi z arkuszy blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 o grubości 0,3 mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 6 μm i warstwę zol-żelu 3 o grubości 1 μm . Następnie wykonano pakiet próżniowy i odessano powietrze do podciśnienia -0,08 MPa, po czym poddano całość procesowi utwardzania w czasie 4 h w temperaturze 135°C i ciśnieniu 4 barów. Jednocześnie w sposobie wytwarzania laminatu samonaprawiającego się wykorzystano zol-żel EC-2333 firmy 3M.

W wytworzonym laminacie samonaprawiającym się w środkowej części znajduje się warstwa piany poliuretanowej 4 o grubości 10 mm, do której obu powierzchni przylegają adhezyjnie dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 0,4 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Do zewnętrznych 5 powierzchni skrajnych warstw samonaprawiających się 5 przylegają adhezyjnie dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 0,2 mm każda. Natomiast do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw kompozytu epoksydowo-węglowego 6 przylega adhezyjnie warstwa zol-żelu 3 o grubości 1 10 μm , która nałożona jest na warstwę ceramiczną 2 o grubości 6 μm znajdującą się na arkuszu blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie T3 o grubości 0,3 mm, który na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości 6 μm z nałożoną warstwą zol-żelu 3 o grubości 1 μm .

Otrzymany laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości, 15 gdzie po upływie 24h uzyskano właściwości samonaprawiające, polegające na przywróceniu integralności struktury. Laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej 5 m/s o energii 2,5 J. Laminat charakteryzował się tym, że warstwa z włóknami szklanymi po uderzeniu została zniszczona, natomiast warstwa piany poliuretanowej zatrzymała rozwój pęknięć do spodniej części 20 laminatu. Ponadto laminaty wykazują zwiększenie odporności na działania środowiska, szczególnie na korozję w roztworze NaCl.

Przykład 2

Sposób wytwarzania laminatu samonaprawiającego się polegał na tym, że 25 powierzchnie arkuszy blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie T3 o wymiarach 300 x 400 mm i grubości 0,5 mm oczyszczono i odtłuszczono w przemysłowym roztworze alkalicznym składającym się z krzemianu sodu w ilości wagowej 5% i wody w ilości wagowej 95% roztworu o pH 10, a następnie anodowano w alkalicznym roztworze. Cały proces trwał 10 minut, a gęstość prądu wynosiła 5 A/dm² przy napięciu do 400V, o prądzie impulsowym o wysokiej częstotliwości 30 1000Hz i wypełnieniu 30% czasu impulsów. Roztworem do anodowania był 5g/

NaOH i 10g/l Na_2SiO_3 . Następnie wykonano płukanie w wodzie wodociągowej i suszono sprężonym powietrzem. Otrzymano na obu powierzchniach arkusza blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm . Na arkusze blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 posiadające na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm nałożono poprzez laminowanie ręczne warstwę zol-żelu 3 o grubości 2 μm i pozostawiono na czas 1 h w temperaturze 23°C. Następnie na jeden z arkuszy blachy ze stopu AlCu4Mg1 o grubości 0,5 mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm i warstwę zol-żelu 3 o grubości 2 μm nałożono kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o splocie skośnym o grubości 0,5 mm i otrzymano dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 0,5 mm każda. Następnie nałożono kolejno dwie jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjaniem izoforonu w kierunku ułożenia 0/90° o grubości 1 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową i otrzymano dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 1,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjaniem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono arkusz piany poliuretanowej o grubości 25 mm i otrzymano warstwę piany poliuretanowej 4 o grubości 25 mm. Następnie nałożono kolejno dwie jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjaniem izoforonu w kierunku ułożenia 0/90° o grubości 1 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową i otrzymano dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 1,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjaniem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o splocie skośnym o grubości 0,5 mm i otrzymano dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 0,5 mm każda, po czym nałożono drugi z arkuszy blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 o grubości 0,5 mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm i warstwę zol-żelu 3 o grubości 2 μm . Następnie wykonano pakiet próżniowy i

odessano powietrze do podciśnienia $-0,08$ MPa, po czym poddano całość procesowi utwardzania w czasie 4 h w temperaturze 135°C i ciśnieniu 4 barów. Jednocześnie w sposobie wytwarzania laminatu samonaprawiającego się wykorzystano zol-żel EC-2333 firmy 3M.

5 W wytworzonym laminacie samonaprawiającym się w środkowej części znajduje się warstwa piany poliuretanowej 4 o grubości 25 mm, do której obu powierzchni przylegają adhezyjnie dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 1,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Do zewnętrznych 10 powierzchni skrajnych warstw samonaprawiających się 5 przylegają adhezyjnie dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 0,5 mm każda. Natomiast do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw kompozytu epoksydowo-węglowego 6 przylega adhezyjnie warstwa zol-żelu 3 o grubości 2 μm , która nałożona jest na warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm znajdującą się 15 na arkuszu blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie T3 o grubości 0,5 mm, który na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości 8 μm z nałożoną warstwą zol-żelu 3 o grubości 2 μm .

Otrzymany laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości, gdzie po upływie 24h uzyskano właściwości samonaprawiające, polegające na 20 przywróceniu integralności struktury. Laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej 5 m/s o energii 5 J. Laminat charakteryzował się tym, że warstwa z włóknami szklanymi po uderzeniu została zniszczona, natomiast warstwa piany poliuretanowej zatrzymała rozwój pęknięć do spodniej części laminatu. Ponadto laminaty wykazują zwiększenie odporności na działania 25 środowiska, szczególnie na korozję w roztworze NaCl.

Przykład 3

Sposób wytwarzania laminatu samonaprawiającego się polegał na tym, że powierzchnie arkuszy blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie T3 o wymiarach 300 x 400 mm i grubości 1 mm oczyszczono i odtłuszczono w przemysłowym 30 roztworze alkalicznym składającym się z krzemianu sodu w ilości wagowej 5% i

wody w ilości wagowej 95% roztworu o pH 10, a następnie anodowano w alkalicznym roztworze. Cały proces trwał 10 minut, a gęstość prądu wynosiła 5 A/dm² przy napięciu do 400V, o prądzie impulsowym o wysokiej częstotliwości 1000Hz i wypełnieniu 30% czasu impulsów. Roztworem do anodowania był 5g/NaOH i 10g/l Na₂SiO₃. Następnie wykonano płukanie w wodzie wodociągowej i suszono sprężonym powietrzem. Otrzymano na obu powierzchniach arkusza blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 warstwę ceramiczną 2 o grubości 12 μm. Na arkusze blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 posiadające na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 12 μm nałożono poprzez laminowanie ręczne warstwę zol-żelu 3 o grubości 3 μm i pozostawiono na czas 1 h w temperaturze 23°C. Następnie na jeden z arkuszy blachy ze stopu AlCu4Mg1 o grubości 1mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 12 μm i warstwę zol-żelu 3 o grubości 3 μm nałożono kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o splocie satynowym o grubości 1 mm i otrzymano dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 1mm każda. Następnie nałożono kolejno dwie jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu w kierunku ułożenia +45°/-45° o grubości 2 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową i otrzymano dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 2,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono arkusz piany poliuretanowej o grubości 50 mm i otrzymano warstwę piany poliuretanowej 4 o grubości 50 mm. Następnie nałożono kolejno dwie jednakowe warstwy włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu w kierunku ułożenia +45°/-45°.o grubości 2 mm każda, przy czym każdą warstwę włókien szklanych laminowano ręcznie żywicą epoksydową i otrzymano dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 2,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoforonu i połączonych żywicą epoksydową. Następnie nałożono kolejno dwa arkusze prepregu węglowego w postaci tkaniny o splocie satynowym o grubości 1 mm i otrzymano dwie jednakowe

warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 1 mm każda, po czym nałożono drugi z arkuszy blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 o grubości 1 mm posiadający na obu powierzchniach warstwę ceramiczną 2 o grubości 12 μm i warstwę zol-żelu 3 o grubości 3 μm . Następnie wykonano pakiet próżniowy i odessano powietrze do podciśnienia -0,08 MPa, po czym poddano całość procesowi utwardzania w czasie 4 h w temperaturze 135°C i ciśnieniu 4 barów. Jednocześnie w sposobie wytwarzania laminatu samonaprawiającego się wykorzystano zol-żel EC-2333 firmy 3M.

W wytworzonym laminacie samonaprawiającym się w środkowej części znajduje się warstwa piany poliuretanowej 4 o grubości 50 mm, do której obu powierzchni przylegają adhezyjnie dwie jednakowe warstwy samonaprawiające się 5 o grubości 2,5 mm każda, składające się z włókien szklanych wypełnionych diizocyjanianem izoformu i połączonych żywicą epoksydową. Do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw samonaprawiających się 5 przylegają adhezyjnie dwie jednakowe warstwy kompozytu epoksydowo-węglowego 6 o grubości 1 mm każda. Natomiast do zewnętrznych powierzchni skrajnych warstw kompozytu epoksydowo-węglowego 6 przylega adhezyjnie warstwa zol-żelu 3 o grubości 3 μm , która nałożona jest na warstwę ceramiczną 2 o grubości 12 μm znajdującą się na arkuszu blachy 1 ze stopu AlCu4Mg1 w stanie T3 o grubości 1mm, który na zewnętrznej powierzchni posiada warstwę ceramiczną 2 o grubości 12 μm z nałożoną warstwą zol-żelu 3 o grubości 3 μm .

Otrzymany laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości, gdzie po upływie 24h uzyskano właściwości samonaprawiające, polegające na przywróceniu integralności struktury. Laminat poddano badaniom na uderzenia o niskiej prędkości poniżej 5 m/s o energii 10 J. Laminat charakteryzował się tym, że warstwa z włóknami szklanymi po uderzeniu została zniszczona, natomiast warstwa piany poliuretanowej zatrzymała rozwój pęknięć do spodniej części laminatu. Ponadto laminaty wykazują zwiększenie odporności na działania środowiska, szczególnie na korozję w roztworze NaCl.