

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 243883 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **436846**

(22) Data zgłoszenia: **2021.02.03**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.08.08 BUP 32/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.10.23 WUP 43/2023**

(51) MKP:

G06T 17/20 (2006.01)

B23K 20/10 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**POLSKIE ZAKŁADY LOTNICZE SPÓŁKA
Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ,
Mielec, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**RADOSŁAW WOJTUSZEWSKI, Mielec, PL
MATEUSZ OLIWA, Rzeszów, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Damian Krężel, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Sposób naprawy uszkodzonej termoplastycznej struktury kompozytowej

PL 243883 B1

Opis wynalazku

Dziedzina techniki

Przedmiotem wynalazku jest sposób naprawy uszkodzonej termoplastycznej struktury kompozytowej poprzez wykonanie łąty, która wcześniej została zamodelowana i której wytrzymałość została zweryfikowana poprzez symulację komputerową.

Stan techniki

Do tej pory nierozwiązanym problemem było ustalenie, czy uszkodzony element z łątą naprawczą będzie mieć pożądaną wytrzymałość. Wiele badań doświadczalnych i symulacji numerycznych zostało wykonanych w obszarze naprawy kompozytów dla rozwijania tych procesów. Analizy MES (metoda elementów skończonych) łąt klejonych w celu naprawy uszkodzonych struktur była kierunkiem badań od wielu lat. Większość analiz numerycznych przeprowadzano stosując analizę liniową, pokazując możliwości łąt naprawczych klejonych, jako sposób na poprawę wytrzymałości uszkodzonych struktur w sposób wydajny i ekonomiczny. Stwierdzono, że stosowanie łąt klejonych nie tylko zmniejsza wagę, ale także zwiększa żywotność. Zaobserwowano, że zastosowanie łąty naprawczej efektywnie zmniejsza koncentracje naprężeń wokół otworu i opóźnia bądź eliminuje dalszą propagację pęknięcia.

Obecnie istnieje niewiele analiz numerycznych dotyczących naprawy termoplastycznych kompozytów zbrojonych włóknem węglowym na osnowie PEEK, za pomocą łąt zgrzewanych metodą ultradźwiękową. Ponadto, dane doświadczalne odbiegają w wielu przypadkach od przewidywań obliczeń MES wynikających z danego kryterium. Nawet w najlepiej dopasowanym do rzeczywistości modelu MES trudno o zbieżne wyniki z badaniami eksperymentalnymi biorąc pod uwagę kryterium zniszczenia, zjawisko związane ze wzajemnymi oddziaływaniami warstw na siebie, delaminację warstw, czy też sposób eliminacji warstwy uszkodzonej.

Istota wynalazku

Celem niniejszego wynalazku jest zaproponowanie sposobu naprawy uszkodzonej termoplastycznej struktury kompozytowej, które przynajmniej w części wyeliminuje opisane powyżej niedogodności znane w stanie techniki.

Przedmiotem wynalazku jest sposób naprawy uszkodzonej termoplastycznej struktury kompozytowej obejmujący etapy:

stworzenia modelu uszkodzonego elementu, przy czym modelem uszkodzonego elementu jest siatka zbudowana ze skończonej liczby elementów odwzorowujących kształt uszkodzonego obszaru elementu, przy czym model uszkodzonego elementu zawiera obszar nieuszkodzony i obszar uszkodzony,

stworzenie modelu próbki poprzez nałożenie na model uszkodzonego obszaru elementu modelu łąty, przy czym środek modelu łąty znajduje się nad obszarem uszkodzonym, gdzie model łąty łączony jest z modelem uszkodzonego elementu przy pomocy elementów typu BUSH,

zasymulowania rozciągania modelu próbki i określenie minimalnych naprężeń, dla których wskaźnik zniszczenia wynosi 1,

mocowania symulowanej łąty na rzeczywistym obiekcie i łączenie łąty z obiektem poprzez zgrzewanie ultradźwiękowe w przypadku, gdy maksymalne symulowane naprężenia przekraczają wartość progową.

Korzystnie model łąty jest oddalony od krawędzi modelu uszkodzonego elementu o co najmniej 20 mm.

Korzystnie siatka modelowana jest elementami czterokątnymi.

Korzystnie jednowymiarowe elementy typu BUSH łączące model łąty z modelem uszkodzonego elementu mają zerową długość.

Korzystnie wytrzymałość jednoelementowych elementów łączących model łąty z modelem uszkodzonej części opisane są przez równanie

$$F_t = \frac{\tau * A}{k \cdot n}$$

gdzie:

τ – wytrzymałość na ścinanie połączenia,

A – pole powierzchni zgrzewanej,

n – liczba elementów jednowymiarowych,
 k – współczynnik bezpieczeństwa, korzystnie przyjmuje wartości 1, 1,1, 1,8, najkorzystniej przyjmuje wartość 1,8.

Korzystnie właściwości mechaniczne struktury kompozytowej modelu łąty i modelu uszkodzonej części modeluje się przy użyciu kart PCOMPG wykorzystując globalne PLY ID.

Opis figur rysunku

Wynalazek zostanie umówiony na przykładzie wykonania w oparciu o załączony rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia ogólny widok modelu wraz z warunkami brzegowymi,

Fig. 2 przedstawia widok z góry przykładowego modelu uszkodzonego elementu z łątą,

Fig. 3 przedstawia widok z boku przykładowego modelu uszkodzonego elementu z łątą,

Fig. 4 przedstawia przybliżenie pokazujące modelowanie łączenia łąty z elementem uszkodzonym,

Fig. 5 przedstawia model geometryczny.

Szczegółowy opis korzystnego przykładu realizacji wynalazku

Przykład realizacji sposobu został przedstawiony na fig. 1, na której przedstawiono przykładowy model 1 próbki, na którym została przeprowadzona symulacja rozciągania. Model 1 próbki z jednej strony ma utwardzenie 6, z drugiej poprzez elementy typu MPC RBE2 zasymulowane zostało przyłożenie siły. Taka symulacja jest odpowiednikiem badania wytrzymałości na zrywanie, gdzie jedna część elementu jest przytwierdzona na stałe do urządzenia, a druga część jest rozciągana. Model 1 próbki powstał przez połączenie modelu 2 uszkodzonego elementu oraz modelu 3 łąty. Dokładny sposób opracowania modelu 2 uszkodzonego elementu i modelu 3 łąty nie został przedstawiony, jednak dla znawcy dziedziny będzie wiadome jak przygotować odpowiednie modele. Siatka, wygenerowana na potrzeby symulacji, jest korzystnie zbudowana z elementów czterokątnych.

Następnie tak zasymulowany model poddaje się obciążeniu. W przykładzie wykonania obciążenie jest realizowane poprzez przyłożenie do węzła niezależnego elementu RBE2 siły jednostkowej, która umożliwia zdefiniowanie w środowisku HyperView obciążenia niszczącego wskazując wskaźnik zniszczenia równy 1. Wskaźnik zniszczenia definiowany jest według kryterium maksymalnego naprężenia.

W celu obliczenia sztywności dla pojedynczego elementu 1D (element typu BUSH) należy korzystnie skorzystać z zależności na siłę tnącą

$$F_t = \frac{\tau \cdot A}{n}$$

oraz relacji na siłę osiową

$$F_o = \frac{F_t}{(k)}$$

gdzie:

τ – wytrzymałość na ścinanie połączenia,

A – pole powierzchni zgrzewanej,

n – liczba elementów jednowymiarowych,

k – współczynnik bezpieczeństwa, korzystnie przyjmuje wartości 1, 1,1, 1,8, najkorzystniej przyjmuje wartość 1,8.

Przy obliczaniu siły osiowej należy korzystnie przyjąć skrajny, największy współczynnik 1,8. Element typu BUSH to rodzaj elementu sprężystego z możliwością definiowania sztywności dla różnych kierunków. Elementy typu BUSH łączące model 3 łąty z modelem 2 uszkodzonego elementu mają zerową długość.

Właściwości mechaniczne struktury kompozytowej (element uszkodzony oraz łąta) modeluje się przy użyciu kart PCOMPG wykorzystując globalne PLY ID (tj. unikatowa numeracja dla poszczególnej warstwy). Karta PCOMPG pozwala na sumaryczne (całkowite) definiowanie własności kompozytu poprzez określenie właściwości pojedynczej jego warstwy. Poszczególnym warstwom przypisuje się takie wartości jak: sztywność, wytrzymałość, materiał, grubość, położenie (układ), wybór kryterium zniszczenia. Poprzez przypisanie w uporządkowany sposób warstwom numeracji globalnej PLY ID, możliwe jest

zachowanie pożądanego, wcześniej zdefiniowanego (zaprojektowanego) układu warstw na przekroju całego modelowanego zespołu.

Jako kryterium wytrzymałościowe przyjmuje się kryterium maksymalnego naprężenia dające najdokładniejszą korelację z badaniami eksperymentalnymi dla tego studium przypadku. W analizie MES należy zastosować także innowacyjne podejście obciążenia niszczącego ostatnią warstwę, gdzie rozpatruje się zachowanie wszystkich warstw prowadzące do usuwania z laminatu sukcesywnie zniszczonych warstw. Sprowadza się to do wielokrotnego redefiniowania struktury laminatu i zainicjowania kolejnego procesu rozwiązywania analizy numerycznej. W celu wykluczenia zniszczonych warstw z laminatu przyjmuje się wszystkie jej sztywności zerowe.

Następnie, po zasymulowaniu i ustaleniu, że maksymalne symulowane naprężenia przekraczają wartość progową, mocowana jest łąta do elementu uszkodzonego. Wartością progową jest minimalna pożądana wytrzymałość elementu. Łata mocowana jest poprzez zgrzewanie ultradźwiękowe.

W przykładzie wykonania model 2 elementu uszkodzonego ma wymiary 370 mm x 170 mm, a uszkodzenie jest symulowane przez otwór o średnicy 8 mm. Model 3 łąty ma średnicę 120 mm i grubość 1,854 mm. Łata oddalona jest od krawędzi elementu uszkodzonego o co najmniej 20 mm. Model 2 elementu uszkodzonego oraz model 3 łąty został przedstawiony na fig. 2 i 3. Połączenie modelu 2 elementu uszkodzonego oraz modelu 3 łąty zostało zasymulowane przy pomocy elementu 5 typu BUSH, co dokładniej pokazano na fig. 4. Następnie wykonana została siatka, przy czym zostało to poprzedzone podziałem obszaru analizy na kilka podobszarów 8, w przykładzie wykonania jest dwanaście podobszarów 8, w których działanie automatycznych generatorów siatek pozwala uzyskać poprawną siatkę.

- 1 – model próbki
- 2 – model uszkodzonego elementu
- 3 – model łąty
- 4 – elementy powierzchniowe
- 5 – element typu BUSH
- 6 – utwierdzenie modelu
- 7 – element MPC RBE2
- 8 – podobszar

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób naprawy uszkodzonej termoplastycznej struktury kompozytowej obejmujący etapy:
 - a. stworzenia modelu (2) uszkodzonego elementu, przy czym modelem (2) uszkodzonego elementu jest siatka zbudowana ze skończonej liczby elementów odwzorowujących kształt uszkodzonego obszaru elementu, przy czym model (2) uszkodzonego elementu zawiera obszar nieuszkodzony i obszar uszkodzony,
 - b. stworzenie modelu próbki poprzez nałożenie na model (2) uszkodzonego obszaru elementu modelu (3) łąty, przy czym środek modelu łąty znajduje się nad obszarem uszkodzonym, gdzie model (3) łąty łączony jest z modelem (2) uszkodzonego elementu przy pomocy elementów (5) typu BUSH,
 - c. zasymulowania rozciągania modelu (1) próbki i określenie minimalnych naprężeń, dla których wskaźnik zniszczenia wynosi 1,
 - d. mocowania symulowanej łąty na rzeczywistym obiekcie i łączenie łąty z obiektem poprzez zgrzewanie ultradźwiękowe w przypadku, gdy maksymalne symulowane naprężenia przekraczają wartość progową.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że model (3) łąty jest oddalony od krawędzi modelu (2) uszkodzonego elementu o co najmniej 20 mm.
3. Sposób według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że siatka modelowana jest elementami czterokątnymi.
4. Sposób według któregośkolwiek z wcześniejszych zastrzeżeń, **znamienny tym**, że jednowymiarowe elementy typu BUSH łączące model (3) łąty z modelem (2) uszkodzonego elementu mają zerową długość.

5. Sposób według któregokolwiek z wcześniejszych zastrzeżeń, **znamienny tym**, że wytrzymałość jednoelementowych elementów typu BUSH łączących model łaty z modelem uszkodzonej części opisane są przez równanie

$$F_t = \frac{\tau \cdot A}{k \cdot n}$$

gdzie:

τ – wytrzymałość na ścinanie połączenia,

A – pole powierzchni zgrzewanej,

n – liczba elementów jednowymiarowych,

k – współczynnik bezpieczeństwa, korzystnie przyjmuje wartości 1,1:1,8, najkorzystniej przyjmuje wartość 1,8.

6. Sposób według któregokolwiek z wcześniejszych zastrzeżeń, **znamienny tym**, że właściwości mechaniczne struktury kompozytowej modelu (3) łaty i modelu (1) uszkodzonej części modelu się przy użyciu kart PCOMPG wykorzystując globalne PLY ID.

Rysunki

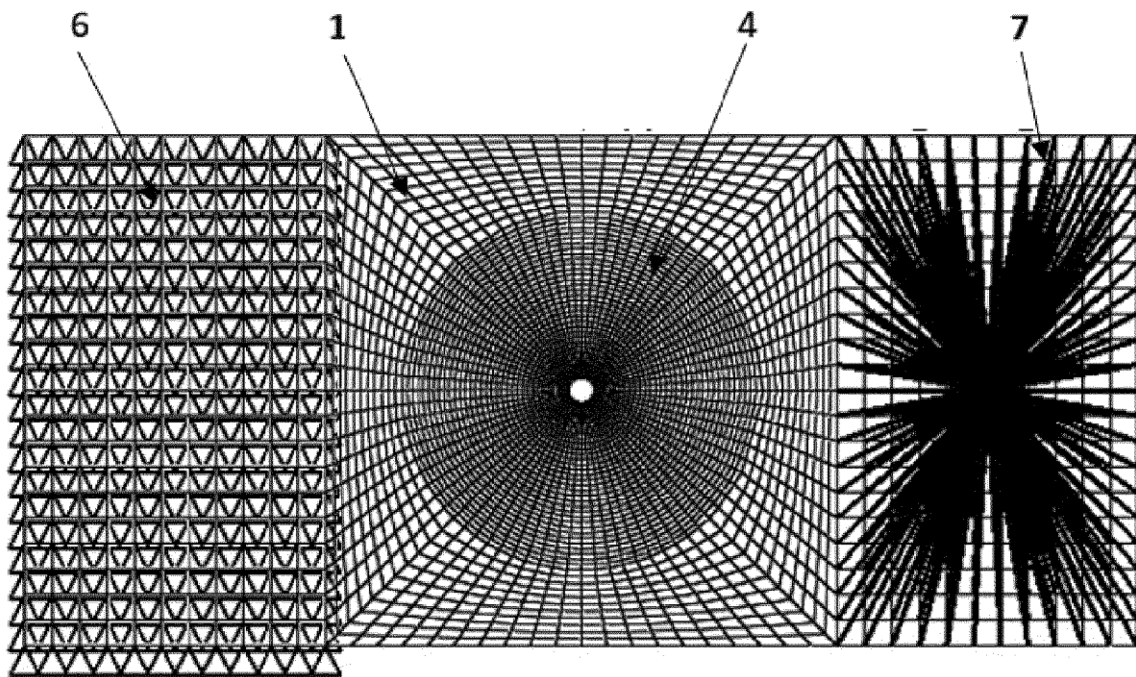


Fig. 1

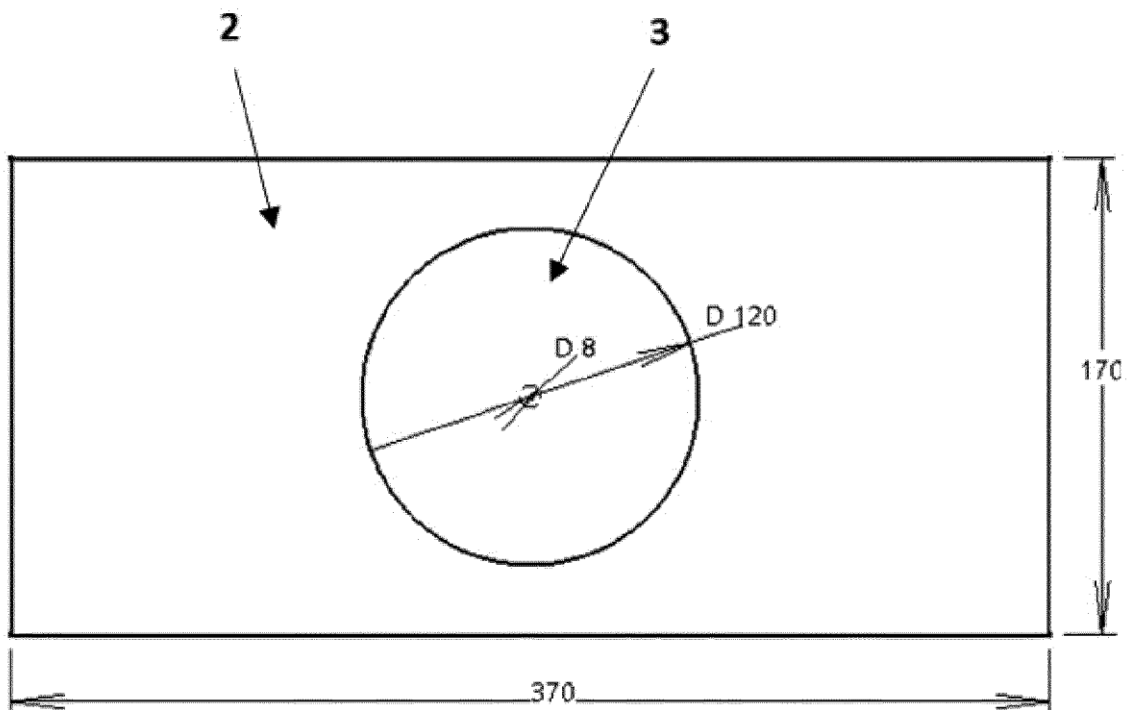


Fig. 2

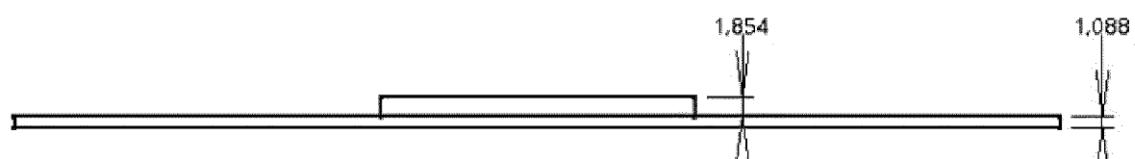


Fig. 3

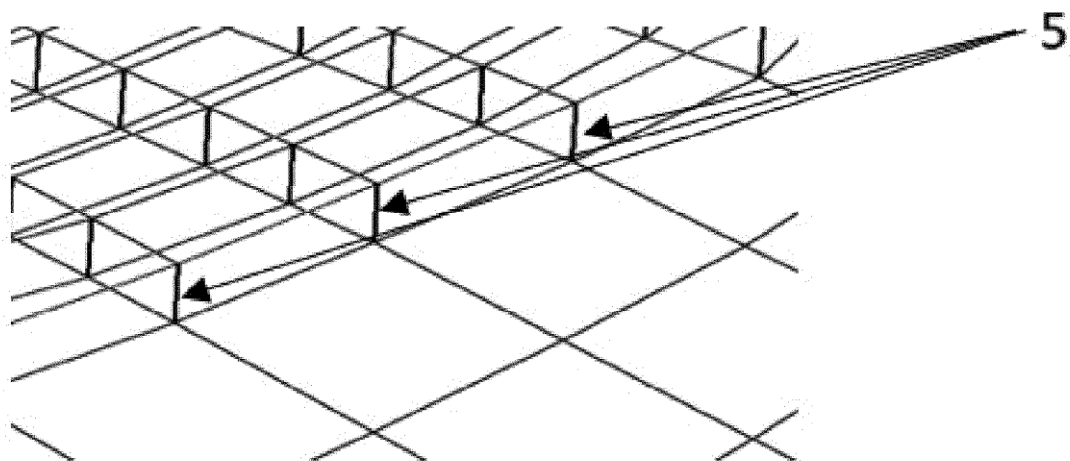


Fig. 4

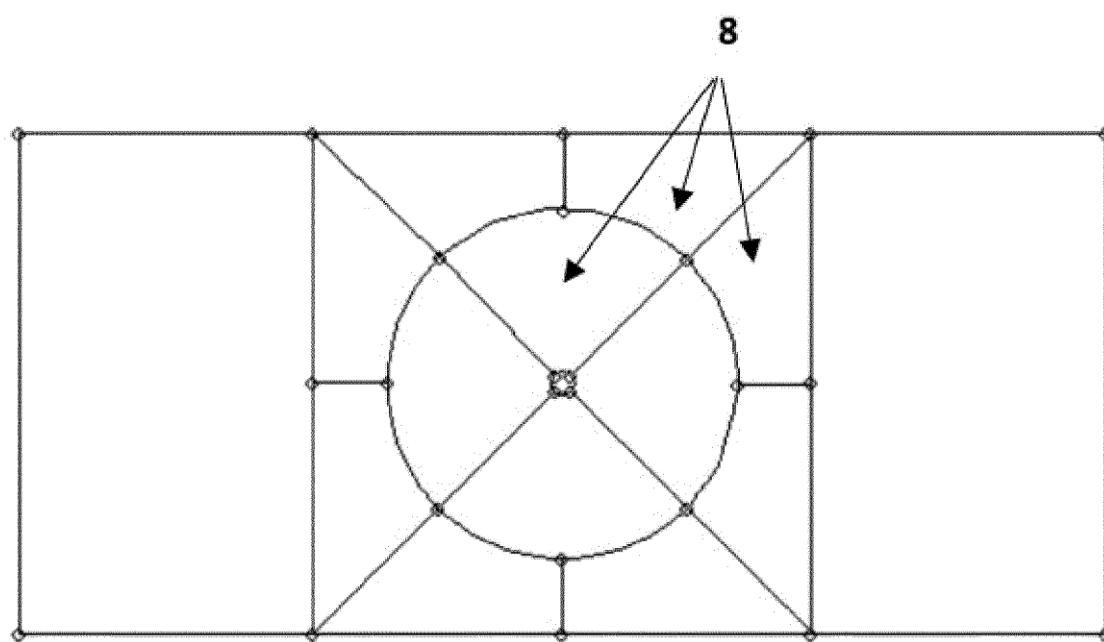


Fig. 5