

LOTNICZE ZASTOSOWANIA MATERIAŁÓW INTELIGENTNYCH

ADAM ĆWIKŁA

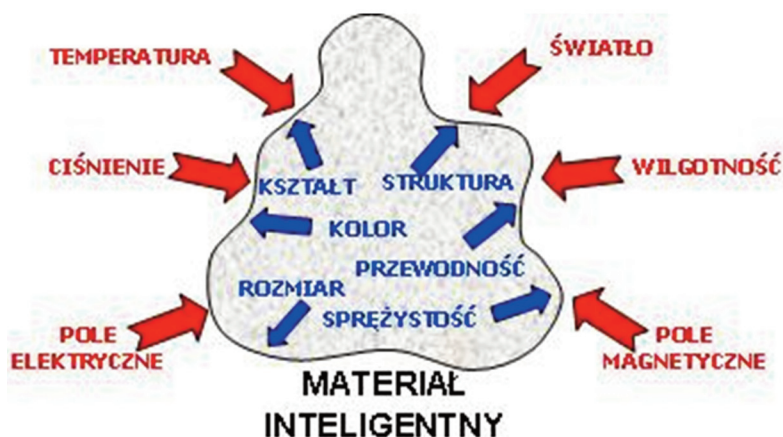
Instytut Nauk Technicznych

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z zastosowaniem materiałów inteligentnych w lotnictwie. Przedstawiono krótki opis tych materiałów, ich podstawowe cechy oraz podział tych materiałów. Artykuł zawiera opisy różnorodnych rozwiązań opartych na materiałach inteligentnych. Opisano zarówno układy już istniejących, jak i będących w fazie projektowania i badań.

1. WSTĘP

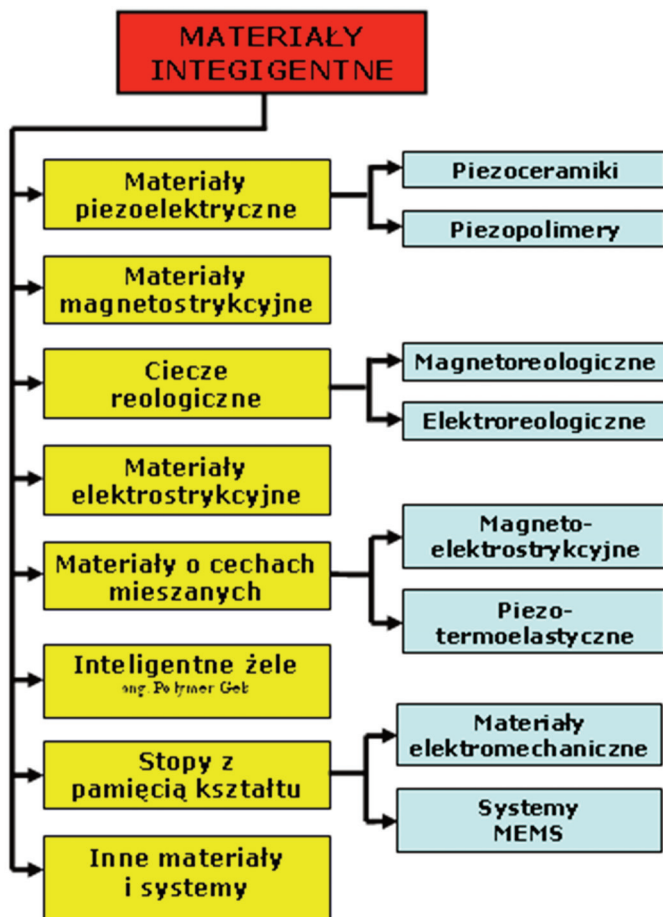
We współczesnej technice coraz większą karierę robią tzw. inteligentne rozwiązania. W większości przypadków pod tą nazwą kryją się nowoczesne systemy elektroniczne lub mechatroniczne oparte na tzw. sztucznej inteligencji. Systemy takie zwykle integrują różnorakie czujniki, detektory i systemy tworząc jeden centralnie zarządzany układ. Znacznie rzadziej mówiąc o rozwiązaniach inteligentnych myślimy o materiałach inteligentnych (ang. *smart materials*) [1, 2].



Rys. 1. Ogólna zasada działania materiałów inteligentnych

Na rysunku 1 przedstawiono ogólną ideę działania materiałów inteligentnych. W materiałach tych pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak temperatura, wilgotność, wywierane ciśnienie, pole elektryczne lub magnetyczne zmienia ulega jedna lub kilka własności fizycznych.

Zależnie od rodzaju materiału i wywieranego oddziaływania zmianom mogą ulega: ksztt, rozmiar, struktura wewnrzna, kolor, przewodnoc elektryczna, magnetyczna lub cieplna oraz sprzystoc [1,2] (rys. 2).



Rys. 2. Rodzaje materiałow inteligentnych

Materiały typu „smart” są coraz powszechniej stosowane jako układy napędowe, elementy sterujące oraz sensory. Elementy te są stosowane do zmiany właściwości dynamicznych konstrukcji, do dopasowywania kszttu struktury do określonych potrzeb lub do zbierania informacji o konstrukcji.

Wśród wielu dziedzin techniki w których pojawiają się materiały tego typu jest lotnictwo. W artykule opisano kilka przykładowych zastosowa „smart” materiałow w róznych aplikacjach wiązanych z lotnictwem.

2. REDUKCJA DRGAŃ W OGONIE SAMOŁOTU

Nowoczesne samoloty, w szczególności wojskowe konstrukcje, uzyskują ogromne prędkości i operuj przy dużych przeciazeniach. W przypadku niektórych konstrukcji zaburzony strumień powietrza spływający z krawędzi skrzydeł uderza w ogon samolotu wywołując groźne

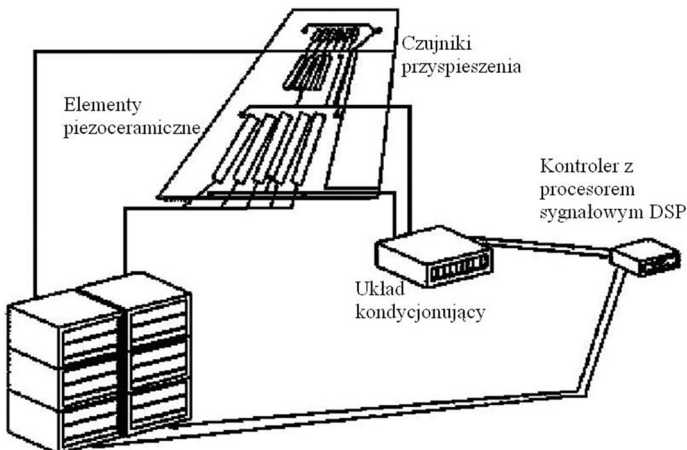
dla niego drgania (rys. 3). Drgania te powodują gwałtowne obniżenie wytrzymałości konstrukcji ogona, skrócenie czasu przebywania samolotu w powietrzu i większą awaryjność.



Rys. 3. Samolot z „bliźniaczym” ogonem

System aktywnej kontroli tłumienia drgań konstrukcji ogona został rozwiązany przez firmę ACX na zamówienie US Air Force we współpracy z Kanadyjskimi i Australijskimi agencjami rządowymi [3].

Podstawą układu kontroli drgań są piezoelektryczne, odkształcalne elementy wykonawcze. Pozostałe elementy systemu to czujniki przyspieszeń i odkształceń dostarczające informacje do sterownika opartego o procesor sygnałowy (DSP).



Rys. 4. Schemat układu redukcji drgań na ogonie samolotu

Sterownik zajmuje się przygotowaniem, w czasie rzeczywistym sygnałów, które wysyłane są do elementów wykonawczych przez wzmacniacz wysokiego napięcia zamykający obwód sterowania. Schemat układu został przedstawiony na rys. 4. Układ ten należy do grupy systemów aktywnej redukcji drgań.

Piezoelektryczne elementy wykonawcze umieszczone na ogonie samolotu zaprojektowano na zamówienie, specjalnie pod kątem tego zastosowania. Budowa, sposób ułożenia, izolacja połączeń elektrycznych, pozwala na wykorzystanie układu w zastosowaniach militarnych, gdzie normalnie dostarczenie wysokiego napięcia wymaganego przez niezabudowane materiały piezoceramiczne jest niebezpieczne. Technologia ta pozwala nawet na umieszczenie elementów pod poszyciem samolotu, zanurzonych w paliwie. Kolejnym warunkiem stawianym wszelkim urządzeniom lotniczym jest waga i rozmiary elementów. W przypadku elementów wykonawczych ograniczeniem była waga 10 [kg] na ogon.

Przy użyciu Metody Elementów Skończonych dokonano numerycznej optymalizacji grubości i rozłożenia elementów wykonawczych tak, aby zmaksymalizować sterowalność pierwszą (zginanie) i drugą (skręcanie) formą drgań ogona. Przeprowadzone testy pokazały, że formy te w eksperymentalnej konstrukcji występujące odpowiednio przy 15Hz i 45Hz są wzbudzane przez zaburzenia strugi powietrza spływającej ze skrzydeł samolotu. Rezultatem badań było rozmieszczenie płytek piezoelektryków w jednej do trzech warstw, każdej o grubości 0,05mm, w miejscach ułożenia elementów wykonawczych po obu stronach każdego ogona.

Układ czujników przyspieszeń i odkształceń został tak zaprojektowany, aby zapewnić dostarczenie informacji do układu sprzężenia zwrotnego. Dane z czujników wykorzystywane są do obliczenia odpowiedzi wysyłanej do elementów wykonawczych.

System sterujący układem sprzężenia zwrotnego, o podwójnym wyjściu i podwójnym wejściu, został zaimplementowany z wykorzystaniem cyfrowej maszyny obliczającej pracującej w czasie rzeczywistym i wysyłającej odpowiednie polecenia sterujące 5000 razy na sekundę. Piezoelektryczny układ tłumienia drgań testowany był w dwóch fazach. Pierwszy etap polegał na zbieraniu danych w otwartym systemie sprzężenia (niekontrolowanym), kiedy sygnały z czujników nie były wysyłane do elementów wykonawczych, ale wyłącznie zbierane do dalszej analizy.

Analiza tych sygnałów pozwoliła na stworzenie zasad i algorytmów, według których należy je przetwarzać w układzie zamkniętym tak, aby zminimalizować drgania. Druga faza to implementacja danych i testowanie ich podczas lotów. Testy wykazały ponad 50% redukcję naprężeń w rdzeniu struktury ogona.

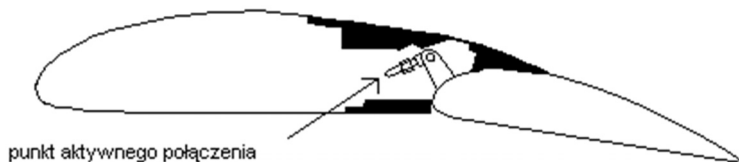
3. AKTYWNA STEROWNOŚĆ SAMOLOTU

Sterowność samolotu zależy w dużym stopniu od ruchu istniejących w tylnej części skrzydła kłap. Ważne jest, aby działanie tych kłap było niezawodne i skuteczne. W większości samolotów do ich obsługi zastosowany został system hydrauliczny. System ten wykorzystuje umieszczone centralnie pompy hydrauliczne. Aby utrzymać odpowiednie działanie kłap, zbiorowa linia hydrauliczna musi przebiegać do każdego zespołu kłap. Ten złożony system pomp i linii jest dość często trudny i kosztowny w utrzymaniu a ponadto ma znaczną masę.

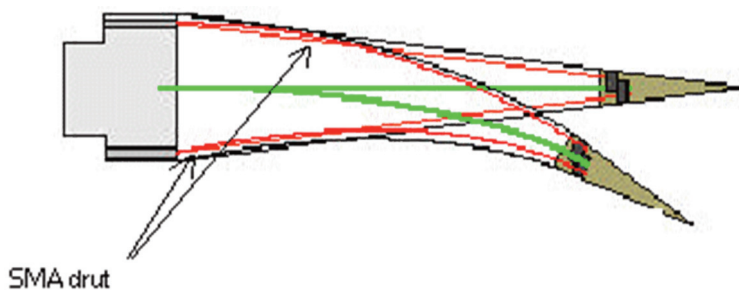
Przebadano wiele możliwych rozwiązań umożliwiających zastąpienie układów hydraulicznych. Jednym z możliwych rozwiązań było wykorzystanie drutów z pamięcią kształtu (rys. 5). Kłapa w skrzydle ma wygląd przedstawiony na rysunku 6. Schemat układu wykorzystującego druty wykonane z materiału inteligentnego przedstawiono na rysunku 7. Układ wykorzystujący materiały z pamięcią kształtu jest znacznie mniejszych rozmiarów i sprawniejszy.



Rys. 5. Zdjęcie samolotu, w którym wykorzystano druty z materiału z pamięcią kształtu



Rys. 6. Schemat kłapy w skrzydle samolotu [6]



Rys. 7. Schemat układ wykorzystującego druty wykonane z materiału z pamięcią kształtu [6]

Druty zostały ułożone w górnej i dolnej części skrzydła. W momencie, gdy kłapa zostaje opuszczona w dół podgrzewamy dolny drut, natomiast, gdy podnosimy kłapę do góry ogrzewamy drut umieszczony w górnej części skrzydła (rys. 7) [7].

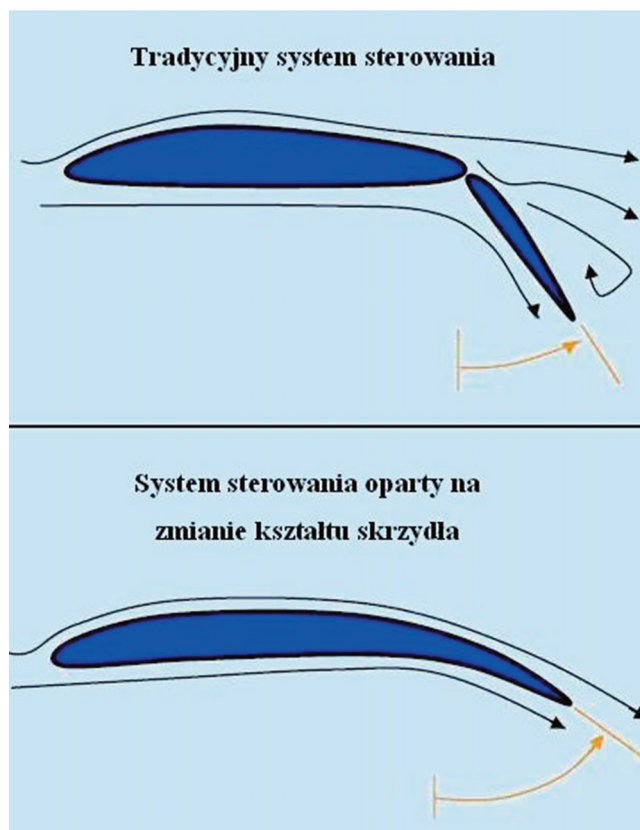
Skrócenie druta uzyskano pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego, który dostarczany jest przez instalację elektryczną, eliminuje się w tedy rozległe linie hydrauliczne. Wyniku usunięcie systemu hydraulicznego koszt i czas napraw się zmniejszył.

4. SAMOŁOT ZBUDOWANY Z MATERIAŁÓW INTELIGENTNYCH

W centrum badawczym NASA w Wirginii naukowcy w oparciu o materiały inteligentne budują rewolucyjne samoloty, które mogą zmieniać się w czasie lotu (rys. 8). Samoloty budowane w ramach projektu Morphing pomyślane zostały jako bezpieczne i szybkie maszyny które jak

ptaki, mogą zmienić swój kształtować by dostosować panujących do warunków [4]. NASA zamierza zbudować na początek z wykorzystaniem materiałów inteligentnych bezzałogowy wielozadaniowy samolot bojowy. Założeniem jest skonstruowanie płatowca poruszającego się z prędkością 0.5-0.9 [macha] zaś rozpiętość skrzydeł wynosiła by około 40 [stóp]. Projekt przewiduje możliwość zmiany współczynnika kształtu skrzydła o 200%, zmianę powierzchni skrzydła o 50%, zmianę skręcenia skrzydła o 50% oraz zmianę odchylenia skrzydła o 20 stopni. Waga skrzydła nie powinna przekraczać wagi skrzydła o takich samych gabarytach wykonanych z konwencjonalnych materiałów (rys. 8) [6].

Dodatkowe wymagania postawione temu projektowi to możliwość modyfikacji wlotów powietrza do silnika podczas lotu tak aby osiągnąć optymalny przepływ powietrza przy różnych prędkościach oraz zdolność do optymalnego zmniejszenia zbiorników paliwa po ich opróżnieniu.



Rys. 8. Porównanie skrzydła tradycyjnego i wykonanego z materiałów inteligentnych

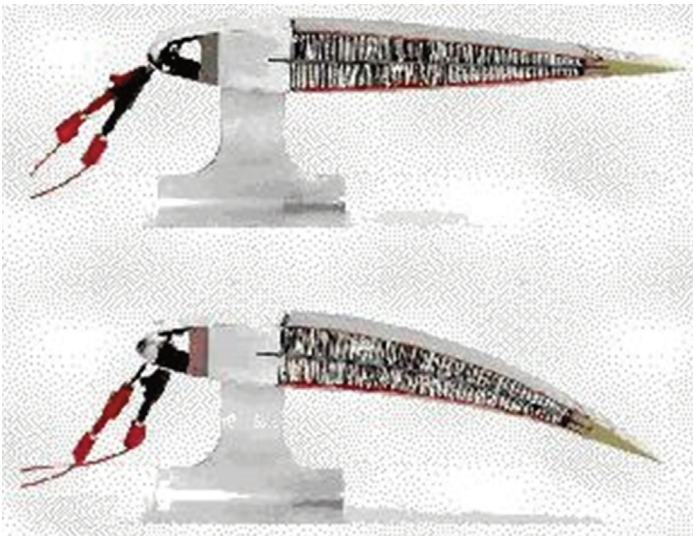
Materiały inteligentne miały by być również wykorzystane do budowy „wirtualnych sterów”. Stery takie „pojawiły by się” gdyby zaszła taka potrzeba i „znikały by” gdy przestały by być już potrzebne (rys. 9). NASA stawia tu głównie na materiały piezoelektryczne i z pamięcią kształtu. W dalszych planach jest budowa maszyn transportowych i pasażerskich mogących latać z prędkościami znacznie przewyższającymi prędkość dźwięku. Dzięki materiałom inteligentnym naukowcy starają się znacznie ograniczyć tzw. grzmot naddźwiękowy.



Rys. 9. Model bezałogowych samolotów budowanych z wykorzystaniem materiałów inteligentnych przez NASA [4]

5. KONTROLA ZAWIROWAŃ STRUMIENIA OPŁYWAJĄCEGO ZA POMOCĄ INTELIGENTNYCH STRUKTUR

Kontrola zawirowań strumienia opływającego powierzchnie nośne samolotów jest dużym wyzwaniem dla inżynierów. Lockheed Martin opracował nową metodę łagodzenia zawirowań strumienia opływającego samolot. Osłabianie zawirowań strumienia odbywa się za pomocą małych przeciwnych strumieni wywoływanych za pomocą aktywnych powierzchni (Smart Vortex Leveraging Tabs – SVLT) samolotu (rys. 9) [5]. Powierzchnie aktywne wykonane są z materiałów z pamięcią kształtu. Zależnie od wielkości zawirowań strumienia powierzchnie SVLT same dostosowują swoje wychylenie (rys. 10).

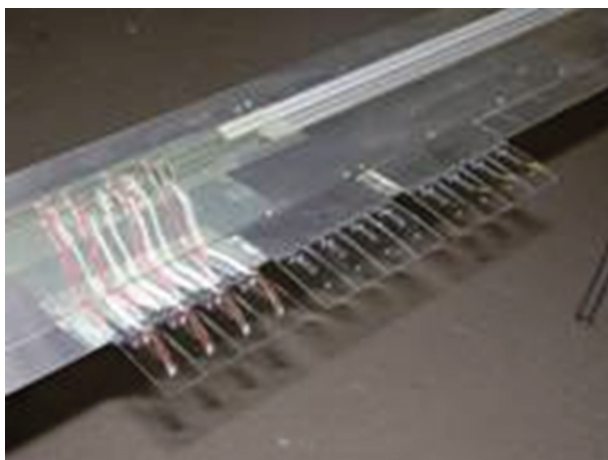


Rys. 10. Mechanizm wykonawczy powierzchni SVLT [5]

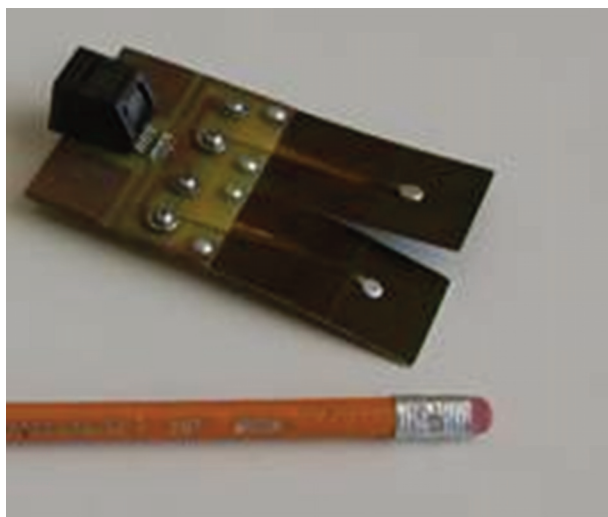
6. INTELIGENTNY UKŁAD KONTROLI ŁOPAT HELIKOPTERA

Nowoczesny układ wykonawczy łopatek wirnika został wykonany i przebadany jako metoda do aktywnego przystosowania się łopatek do warunków podczas lotu helikoptera oraz w celu

redukcji drgań wywoływanych przez wirnik. Elektryczny układ sterowania wykorzystuje pręty z pamięcią kształtu do ustawiania łopaty w jednej z dwóch pozycji (rys. 11). Każda łopata zawiera kilkanaście prętów materiały typu SMA (ang. Shape Memory Alloys). W jednej chwili jest zasilany tylko jeden pręt, który powoduje skrócenie łopaty zaś każdy pręt powoduje skrócenie łopaty w innym miejscu na jej długości (rys. 12). Tak więc informacja o zasilaniu prętów daje „cyfrową” informację o stanie w jakim znajduje się łopata wirnika. Takie wykorzystanie inteligentnych prętów spowodowało zmniejszenie drgań wywoływanych przez wirnik o 1/liczba obrotów wirnika [8].



Rys. 11. Prototyp łopaty wirnika – widok od spodu [8]



Rys. 12. Rozmiary jednostki sterujące [8]

7. PODSUMOWANIE

Stale rosnące wymagania stawiane współczesnym urządzeniom i maszynom, a w szczególności konstrukcjom lotniczym coraz trudniej spełnić w oparciu o materiały klasyczne. Stąd nie

dziwi zainteresowanie inżynierów materiałami inteligentnymi. Ich zastosowanie zwiększa wydajność i niezawodności niektórych systemów, a nawet umożliwia zaprojektowanie układów, które nie były stosowane w starszych generacjach statków powietrznych.

Materiały typu „smart” dzięki swoim specyficznym właściwościom umożliwiają aktywną redukcję drgań mechanicznych, tworzenie nowoczesnych powierzchni sterowych lub nośnych. W związku z tym w pełni uzasadniona jest teza, że materiały inteligentne ze względu na swoje specyficzne cechy, łatwość stosowania oraz nisko koszt stanowią przyszłość wielu branż w tym lotnictwa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Giergiel J., Ćwikła A.: Materiały piezoceramiczne w aktywnej redukcji drgań i hałasu, Seminarium: Stan obecny i perspektywy rozwoju mechaniki i budowy maszyn, SCIENTIFIC BULLETIN OF CHEŁM, SECTION OF TECHNICAL SCIENCES, No. 1/2007, str. 51-70, Chełm, 2007.
- [2] Ćwikła A.: Medyczne zastosowania materiałów inteligentnych, VII Konferencja informatyki stosowanej, Chełm, 2008.
- [3] www.aviationnow.com/content/ncof/index2.htm.
- [4] www.matint.pl.
- [5] <http://www.continuum-dynamics.com/solution-me-sma.html>.
- [6] http://www.mitre.org/news/events/tech03/briefings/modeling_simulation/odonnell.pdf.
- [7] http://www3.ntu.edu.sg/mae/Admin/Divisions/aerospace/aero_lect_abstract_liuyong.pdf.
- [8] <http://www.continuum-dynamics.com/solution-ae-sma.html>.

ADAM ĆWIKŁA

THE APPLICATION OF SMART MATERIALS IN AVIATION

Abstract

The article presents the issues associated with the use of smart materials in aviation. The article contains description of these materials, their basic characteristics and distribution of these materials. The article contains descriptions of the various solutions based on smart materials. Describes both the existing systems, as well as in the phase of design and research.