

ZAHORSKI Tomasz

NOWOCZESNE TECHNOLOGIE ZWIĄZANE Z POWŁOKAMI MALARSKIMI STATKÓW POWIETRZNYCH

Streszczenie

Artykuł przedstawia wybrane metody usuwania i nanoszenia powłok lakierniczych na elementy konstrukcyjne statku powietrznego. Treścią artykułu jest przedstawienie warunków, jakie muszą być spełnione, aby procesy zostały przeprowadzone w sposób bezpieczny i zgodnie z technologią. Poszczególne etapy prac, związanych z nowoczesnym usuwaniem oraz nanoszeniem kolejnych warstw ochronnych samolotu, obrazują skomplikowaną technologię i wpływ wielu czynników gwarantujących prawidłowe i bezpieczne wykonanie zadania. Właściwe i przeprowadzone zgodnie z technologią czynności, związane z usuwaniem starej warstwy lakieru oraz mycie samolotu, a skończywszy na samej technologii nanoszenia powłok ochronnych gwarantują wysoką niezawodność samolotu.

Powłoka lakiernicza statku powietrznego pełni ważną rolę nie tylko ze względu na jej wygląd zewnętrzny, czyli wrażenia estetyczne ale również pod względem zabezpieczenia antykorozyjnego. W nowoczesnych samolotach wojskowych np. pełni rolę powłoki maskującej - pochłaniającej odbicia fal emitowanych przez stacje radiolokacyjne. Bardzo ważną rolę pełni rodzaj i sposób nakładania powłok zewnętrznych, oraz technologia ich usuwania. Należyte przygotowanie powierzchni i właściwy dobór technologii gwarantuje wysoką jakość wykonania obsługi oraz bezpieczeństwo załogi i pasażerów w czasie eksploatacji statku w powietrzu i na ziemi.

1. LASEROWE USUWANIE POWŁOK LAKIERNICZYCH SAMOLOTU

Warstwa lakiernicza o wysokim połysku nakładana jest na powszechnie samolotów komunikacyjnych nie tylko ze względów estetycznych. Zadaniem warstwy jest ochrona przed korozją struktury poszycia zawierającego w składzie chemicznym aluminium o dużym stopniu czystości. Wraz z postępem technologicznym ochrona zaczęła obejmować materiały kompozytowe. Zapoczątkowało to nowe wyzwania w dziedzinie obróbki wstępnej i malowania.



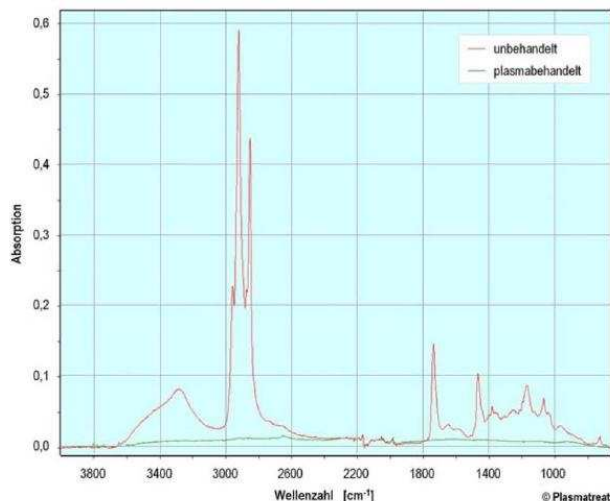
Rys. 1. Usuwanie farby z powierzchni samolotu F-16 przez zautomatyzowany system czyszczący. [3]

Obróbka wstępna poszycia aluminiowego na statku powietrznym jest pierwszym krokiem w wieloetapowym procesie malarskim. Do tego procesu technologicznego zalicza się również pasywacja, gruntowanie oraz malowanie końcowe emaliami barwnymi. Popularne czynności związane z procesem malowania złożone są jednak z setek specyfikacji technologicznych. Pierwszym etapem poprzedzającym tworzenie warstwy malarskiej jest mycie samolotu substancjami zawierającymi rozpuszczalnik oraz ściąganie spulchnionej warstwy pokrycia lakierniczego manualnie. Metoda ta może być przyczyną uszkodzeń poszycia samolotu. Trzystopniowy proces technologiczny wykorzystujący wiązkę plazmy sprężonej pod ciśnieniem zapewnia dokładne pozbycie się zalegającej warstwy pokrycia lakierniczego poprzez utlenienie lakieru, redukcję ładunków ujemnych z powierzchni poszycia i oczyszczenie powierzchni przez mycie substancją o strukturze drobnoziarnistej. Dodatkową korzyścią w późniejszym etapie jest polepszenie właściwości adhezyjnych. System wykorzystujący plazmę jest kompatybilny ze zautomatyzowanymi pomieszczeniami wykorzystującymi roboty. Nie wymaga dodatkowych kosztów związanych z dostosowaniem wyposażenia. Oznacza to możliwość urzeczywistnienia taniego oraz mało skomplikowanego procesu technologicznego. System jest zdolny zarówno do obróbki dużych powierzchni takich jak skrzydła czy statecznik poziomy samolotu oraz bardzo małych elementów i powierzchni, takich jak połączenia nitu z poszyciem, zawierających trudno dostępne miejsca.

Celem przygotowania wysokiej jakościowo powierzchni podłoża, proces czyszczenia plazmą redukuje z powierzchni czyszczonej kurz oraz ładunki statyczne. Wydajność procesu jest nieporównywalnie większa od standardowego procesu usuwania powłoki za sprawą wykorzystywania sprężonego powietrza i energii elektrycznej. Ponad to zastosowanie procesu czyszczenia plazmą do usuwania powłoki lakierniczej jest przyjazne dla środowiska, nie pozostawia szkodliwych produktów po obróbce ani substancji toksycznych. Technologia wykorzystująca plazmę pozwala ograniczyć stosowanie rozpuszczalników, bądź całkowicie je wyeliminować. Zdolność technologii wykorzystującej plazmę polegające na dosięgnięciu bardzo trudno dostępnych miejsc przy jednoczesnym braku kontaktu mechanicznego z powierzchnią zapewnia stworzenie czystej powierzchni podłoża, o dobrych właściwościach adhezyjnych. Dzięki tej metodzie zapobieganie korozji mogącej mieć początek podczas procesu nakładania oraz ochrona miejsc szczególnie narażonych na atak korozji jest możliwe do osiągnięcia.

Wykres przedstawia pomiar spektroskopem w zakresie podczerwonym i dotyczy zależności usuwania zanieczyszczeń (oś Y) od czyszczonej powierzchni (oś X). Kompleksowe czyszczenie powierzchni metalowej z powłoki lakierniczej za pomocą technologii wykorzystującej plazmę usuwa wszystkie zanieczyszczenia i zabrudzenia pochodzenia organicznego takie jak smary i oleje oraz woda przylegająca do warstwy granicznej. Kolorem czerwonym zaznaczono wyniki badania spektroskopowego powierzchni czyszczonej tradycyjnie. Powierzchnia czyszczona za pomocą technologii plazmowej po

przeprowadzeniu badania spektroskopowego zaznaczona została kolorem zielonym. Materiały kompozytowe charakteryzują się małymi zdolnościami adhezyjnymi z powodu obojętności chemicznej. Dzieje się tak, ponieważ kompozyty zbudowane są z długich łańcuchów polimerowych przez co charakteryzują się małym napięciem powierzchniowym.



Rys. 2. Wykres badania spektroskopowego w zakresie podczerwonym dotyczącego stopnia oczyszczenia powłoki. [4]

Dodatkowo niektóre z nich posiadają tylko kilka grup funkcyjnych lub nie posiadają ich wcale. W związku z tym, jony i wolne elektrony w plazmie inicjują procesy utleniania i nitrowania w celu przyłączenia do struktury polimerowej wytworzonych grup funkcyjnych: hydroksylowej ($-OH$) oraz aminowa ($-NH$). W ten sposób plazma aktywuje powierzchnię przez wybiórcze procesy utleniania oraz rozładowywanie z ładunków tejże powierzchni, co w rezultacie powoduje dokładne oczyszczenie. Podczas procesu czyszczenia temperatura przy powierzchni kompozytu osiąga wartość średnią nie przekraczającą $20\text{ }^{\circ}C$ ($\Delta T < 20\text{ }^{\circ}C$). W czasie trwania procesu oczyszczania zachodzi aktywacja struktury powierzchni kompozytowej co wpływa pozytywnie na właściwości adhezyjne.

Pierwszy na świecie w pełni zautomatyzowany system usuwający powłokę lakierniczą z samolotu został zainstalowany w bazie Hill Air Force Base w Ogden w stanie Utah. System RPSC (Robotic Paint Stripping Cell) wykorzystuje niechemiczne, przyjazne środowisku substancje nieuszkodzające delikatnego aluminiowego oraz kompozytowego poszycia samolotu. System RPSC składający się z dwóch robotów został skonstruowany do usuwania powłoki lakierniczej z samolotu F-4 Phantom. Wkrótce system został przystosowany do usuwania lakieru z samolotu F-15 Falcon i jest używany do tego procesu technologicznego z około stu sztuk samolotu F-15 rocznie. Siostrzany system zainstalowany został w bazie Robins Air Force Base w Warren Robins w stanie Georgia nazwany został RDS (Robotic Depaint System). System RDS zaopatrzony jest w trzy roboty, po jednym z każdej strony oraz jeden w płaszczyźnie poziomej.

Specification	Value
End of arm load capacity	100 pounds
Number of axes	9 (split into two motion groups)
Motion group 1 (Robot 1)	2 axis-coordinated motion
Motion group 2 (Robot 2)	7 axis-coordinated motion
Drive system	DC brushless servo motors
Position feedback	Absolute resolver packages
Motion controller	Adept
Maximum reach from robot base	30 feet
Radius from column	22.75 feet
Total accessible volume	69,000 cubic feet
Repeatability	± 0.25 inches
Total Weight	23,000 pounds

Rys 3. Specyfikacja systemu RDS. [5]

Dzięki temu systemowi każdego roku remont może zostać wykonany na około pięćdziesięciu egzemplarzach samolotu F-15 Eagle.



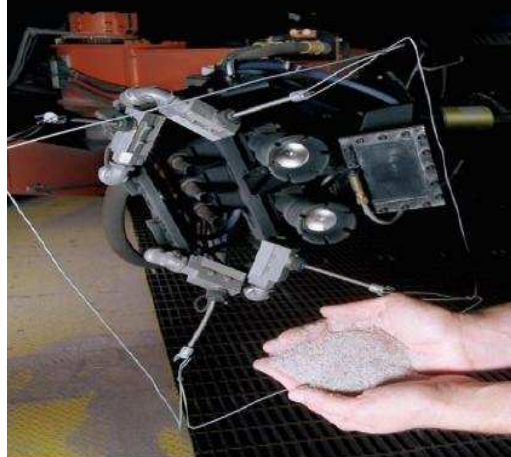
Rys. 4. Samolot F-15 Eagle podczas usuwania powłoki malarskiej przez system RDS. [5]



Rys. 5. Zautomatyzowany system usuwający powłokę lakierniczą w Robins Air Force Base. [5]

Korzyści płynących z używania zautomatyzowanych systemów remontujących jest wiele. Technicy nadzorujący pracę robotów nie są narażeni na uszczerbek zdrowotny. Praca w odizolowanej przestrzeni zapewnia również wysoki poziom bezpieczeństwa, eliminując ekspozycję na zanieczyszczone pyłem lakierniczym powietrze oraz platformy podwyższające.

System RPSC początkowo został zainstalowany wraz z sensorem kontrolującym usuwanie lakieru z małej odległości. Każdy robot posiada dziewięć stopni swobody. Ruch jest kontrolowany komputerowo. Roboty RDS były instalowane z trzema okrągłymi dyszami wylotowymi do redukcji lakieru o długości 18 cm każda. Późniejsza aktualizacja dostarczyła do każdego z rodzajów robotów ponad dwudziesto centymetrowych dysz wentylatorowych. Średni czas potrzebny robotowi na zniwelowanie starego pokrycia lakierniczego z samolotu F-16 wynosi dziesięć do dwunastu godzin.



Rys. 6. Okrągłe dysze systemu RDS służące do usuwania lakieru. [5]

Roboty wykorzystujące do usuwania farby wiązkę laserową zaprojektowane przez NREC (National Robotics Engineering Centre) oraz CTC (Concurrent Technologies Corporation) wyposażono w funkcję mobilną. Uczyniło to możliwym automatyczne i precyzyjne usuwanie powierzchni lakierniczej przy jednoczesnej ochronie oczu pracowników przed szkodliwym działaniem lasera. Liczba robotów pracujących w zautomatyzowanym zespole jest uzależniona od gabarytów samolotu. Każdy z robotów utrzymuje prawidłowy, najbardziej korzystny kąt padania wiązki światła laserowego na poszycie samolotu.

Regulacja względem kształtu powierzchni zostaje zachowana, co nie pozwala na nieprawidłowe ustawienie kątowne wiązki. Kontrola prędkości wiązki nad powierzchnią roboczą jest zaprogramowana odpowiednio tak, aby zachodziło zupełne usunięcie lakieru z jednoczesną ochroną powierzchni przed przegrzaniem. Metoda ta pozwala na usuwanie powierzchni lakierowej z samolotów myśliwskich takich jak F-16 Falcon czy transportowych C-130 Hercules.



Rys. 7. Samolot C-130 Hercules podczas procesu usuwania lakieru. [6]

2. NAKŁADANIE POWŁOK LAKIERNICZYCH NA POSZYCIE STATKU POWIETRZNEGO

Zautomatyzowany proces pokrywania zaadoptowany z przemysłu samochodowego stał się bardzo szeroko wykorzystywany w technologii lotniczej i kosmicznej. Zdaniem technologów odpowiedzialnych za procesy lakiernicze pokrywanie powłoki zewnętrznej statku powietrznego lub kosmicznego przy pomocy robotów podnosi wydajność i długotrwałość oraz zmniejsza masę własną samolotu.



Rys. 8. Zautomatyzowany proces lakierniczy zastosowany na samolocie F-35 [6]

Powłoka umożliwiająca jednoczesną ochronę oraz dekorację poszycia samolotu przeszło przez serię modernizacji. Współczesne, zaawansowane technologicznie substancje lakiernicze wymagają jednak precyzyjnie dobranych warunków panujących wewnątrz lakierni. Bez odpowiedniej kontroli i przestrzegania temperatury i wilgotności powietrza, świeżo położona powierzchnia lakiernicza nie zachowuje się odpowiednio. Pojawiają się trudności w tężeniu i schnięciu lakieru.

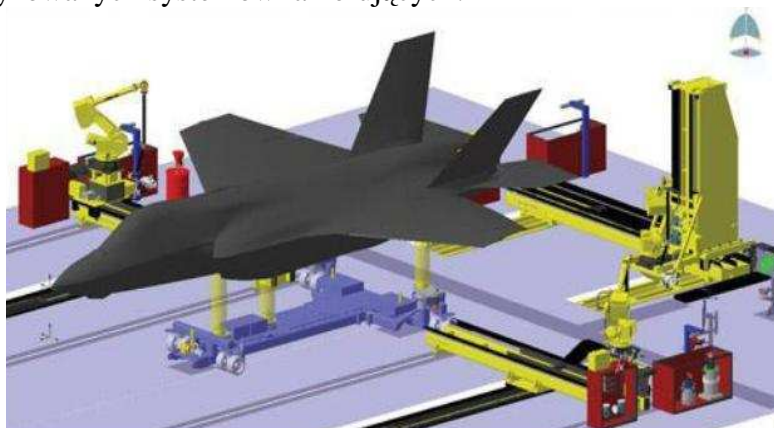
Wysokie wymagania stawiane powłokom lakierniczym w lotnictwie podyktowane są ich odpornością na ekstremalne warunki pracy. Jeżeli powłoka malarska zostanie położona nieprawidłowo, rezultaty popełnionego błędu technologicznego mogą być katastrofalne.

W celu uzyskania najwyższej jakości powłok lakierniczych należy posługiwać się wyposażeniem zapewniającym wykończenie wykraczające poza granice standardowego pokrycia lakierniczego. Przykładem systemu cechującego się wyżej wymienionymi możliwościami jest Global Finishing Gen5. Za pomocą tego systemu lakierniczego wykonywane są powłoki najbardziej wymagające pod względem warunków w jakich są eksploatowane samoloty na świecie. Wysokiej jakości, zaawansowane pokrycie lakiernicze o charakterze strukturalnym, nadawane samolotom myśliwskim F-35 Lightning II oraz F-22 Raptor czy też masywnym samolotom transportowym takim jak C-17.



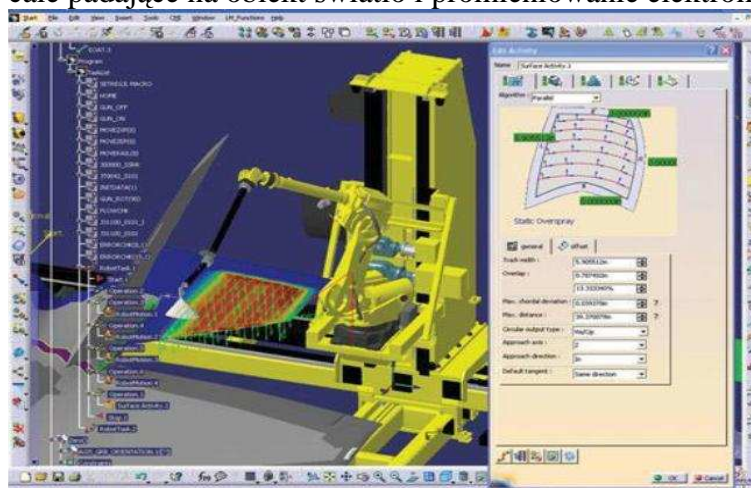
Rys. 9. Samolot F-35 Lightning II po zakończonym procesie lakierniczym [8]

System Gen5 złożony jest z wielowarstwowej struktury tworzącej pomieszczenie lakiernicze zdolne do filtrowania powietrza oraz utrzymywania optymalnej temperatury. System wyposażono również w odpowiednie oświetlenie i system przepływu powietrza i recyrkulacji. Wewnątrz pomieszczenia lakierniczego można wykonywać prace malarskie za pomocą zautomatyzowanych systemów lakierujących.



Rys.10. Wizualizacja komputerowa zautomatyzowanego systemu lakierniczego przy pracach na samolocie F-35 [7]

Testowany przez naukowców, nowy meta-materiał, pochłaniający prawie całe światło padające na samolot, zapowiada nowy trend w technologii stealth. Struktura materiału absorbuje niemal całe padające na obiekt światło i promieniowanie elektromagnetyczne.



Rys. 11. Zrzut ekranu programu sterującego robotem lakierniczym [6]

Dla porównania, cechą zwykłych czarnych obiektów pozostaje odbijanie części światła padającego na ich powierzchnię. Meta-materiał poddany został badaniu spektroskopowemu w całym spektrum promieniowania elektromagnetycznego. Wyniki badania wykazały całkowity brak widoczności dla radarów. Zaprojektowany przez Mikhali Noginov i Evgenii Narimanov we współpracy z Norfolk State University oraz Purdue University, materiał złożony został z nanocząsteczek srebra ułożonych w bardzo cienkie, wynoszące mniej niż ćwierć dziesiątych cała kwadraty tlenku glinu. Niezwykłe właściwości materiału zawdzięcza uporządkowanej strukturze.

Czarny meta-materiał został poddany badaniu w wiązce promieniowania elektromagnetycznego z zakresu bliskiej podczerwieni, o długości fal poza końcem czerwonej barwy wiązki światła widzialnego. Podczas promieniowania na powierzchnię gładką pod kątem mniejszym niż 45° w stosunku do prostopadłej płaszczyzny, odsetek promieniowania

odbitego wyniósł 20%. Niejednolita, szorstka powierzchnia posiada zdolność odbicia promieniowania mniejszą niż 1%.

W przeszłości z meta-materiału o zbieżnych właściwościach został skonstruowany słynny, niewidzialny dla radaru amerykański bombowiec strategiczny, B-2 Spirit biura projektowego Northrop.

Inną lotniczą innowacją okazał się pomysł pokrywania przedmiotów warstwą farby o właściwościach pochłaniających promieniowanie elektromagnetyczne. Pokrycie warstwą farby dowolnego obiektu pozwoli na uzyskanie cech dostępnych dotychczas tylko dla zaprojektowanych w tym celu samolotów zwiadowczych. Technologia pokrywania nanofarwą została przyjęta do programu testowego. Obecnie próby prowadzone są na samolotach, pociskach, raketach oraz bezzałogowych aparatach zdalnie sterowanych (dronach).

Farba nie powoduje całkowitego zaniku echa elektromagnetycznego, jednak zaburzenia odwzorowania na odbiornikach radarowych nie pozwalają na jednoznaczne zidentyfikowanie nadlatującego obiektu. Jest to możliwe dzięki strukturze nanofarby powodującej absorpcję fal elektromagnetycznych wysyłanych przez radar i rozproszenie ich w formie energii cieplnej przekazywanej do atmosfery. W rezultacie radar może odebrać kilka odbitych fal, jednak pochodzący od nich sygnał będzie tak słaby i nieregularny, że nie zostanie zarejestrowany jako nadlatujący statek powietrzny.

WNIOSKI

Poruszone przykładowe zagadnienia, takie jak: przygotowanie statku powietrznego do usuwania uszkodzonej powłoki malarskiej, nakładanie powłok dają możliwość spojrzenia na ważny aspekt eksploatacji statków powietrznych, związany nie tylko z estetyką, ale i z bezpieczeństwem eksploatacji. Gałąź przemysłu lotniczego odpowiedzialna za technologie, związane z nakładaniem powłokami ochronnymi, posługuje się wieloma dokumentami i kartami technologicznymi, stanowiącymi dużą bazę danych. Niniejszy artykuł ma na celu przybliżenie zagadnień, związanych z istotą wykonywania przykładowych procesów technologicznych, skupiając się na usuwaniu i przygotowaniu powierzchni elementów statku powietrznego, a na malowaniu kończąc.

Rozwój technologii wspierających procesy usuwania lakieru i nakładania nowych powłok w przemyśle lotniczym jest czynnikiem wpływającym na wzrost efektywności ich wykonywania.

Stosowane obecnie powłoki lakiernicze posiadają coraz lepsze parametry jakościowe, a procesy ich nakładania oraz usuwania są ustawicznie modernizowane. Przyczynia się to do większej niezawodności samolotów, a tym samym do ich bezpieczeństwa, na co w lotnictwie wywierany jest największy nacisk.

BIBLIOGRAFIA

1. Buske Christian, *Aircraft painting: Efficient and environmentally friendly pretreatment of fibre-composite materials by means of innovative process technology*, czasopismo Besser lackieren, nr 9, 2008,
2. Lenkiewicz Krzysztof, „*Nakładanie powłok lakierniczych*”, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2006,
3. <http://www.ien.com>,
4. <http://ebookbrowse.com>,
5. <http://www.swri.org>,
6. <http://www.sae.org>,
7. www.pfonline.com,
8. indiafoxtech.blogspot.com,

MODERN TECHNOLOGIES CONNECTED WITH AIRCRAFT PAINT COATINGS

Abstract

The author presents chosen methods of applying solid paint on aircraft construction elements as well as painting process preparatory maintenance. The article presents specificity of the preparatory process starting with appropriately prepared room, protective clothing and equipment suitable for solid paint application and ending with appropriate humidity parameters. The contents of the article depicts conditions which have to be met so that the process is accomplished in a safe manner and according to technological procedures. Subsequent stages of the paint application process show complex technology and influence of many factors which guarantee correct and safe task execution. Correct and technologically appropriate removal of the old lacquer layer, aircraft washing and finally outer layers application guarantee high quality, durability and safety of air crews and passengers.

Autorzy:

Mgr inż. **Tomasz Zahorski** – Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie
tomaszzahorski@interia.pl