

Wojciech NAPADŁEK, Izabela KALMAN

Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,

Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

ANALIZA WPŁYWU ABLACYJNEJ MIKROOBRÓBK LASEROWEJ NA EFEKTYWNOŚĆ USUWANIA LAKIEROWEGO SYSTEMU POWŁOKOWEGO

Słowa kluczowe

Ablacja laserowa, lakierowy system powłokowy, modyfikacja laserowa, laser Nd: YAG.

Streszczenie

W artykule opisano istotę oraz wpływ ablacyjnej mikroobróbki laserowej (laser Nd:YAG, długość fali promieniowania $\lambda = 532$ nm) na efektywność usuwania lakierowego systemu powłokowego (LSP) wytworzonego na elementach nadwozia samonośnego samochodu. Przedstawiono topografię oraz profil chropowatości powierzchni. Stwierdzono, że dominujący wpływ na usuwanie powłoki lakierowej miała gęstość mocy, tj. im większa, tym lepsze efekty. Istotne znaczenie w procesie ablacyjnego usuwania systemu powłokowego ma ilość skanowań powierzchni – progresja liniowa. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych potwierdziły celowość stosowania ablacji laserowej w procesach lakierniczych.

Wprowadzenie

Od wielu lat laser jest powszechnie wykorzystywany w różnych technologiach inżynierii produkcji, m.in. modyfikacji warstwy wierzchniej materiałów

konstrukcyjnych, spawaniu, napawaniu, platerowaniu, cięciu itp. Najnowsze trendy technologiczne szczególnie wykorzystują zjawisko „abłacji laserowej”, które pozwala na uzyskiwanie nie tylko różnej tekstury powierzchni, ale także na uzyskanie właściwości materiału nieosiągalnych innymi technologiami (mikrostruktury amorficzne, nanokrystaliczne). Możliwość uzyskania bardzo dużych gęstości mocy (nawet do kilkunastu GW/cm²) oraz możliwość skrócenia czasu wykonywania operacji w porównaniu z obróbką tradycyjną powoduje, że mikroobróbka laserowa przeżywa bardzo dynamiczny rozwój. Aby efektywnie wykorzystywać promieniowanie laserowe w obróbce materiałów, musi być ono dobrze przez nie pochłaniane. Dzięki temu sprawność procesu znacznie wzrasta. Projektując proces technologiczny, należy do każdego materiału dobrać odpowiednią długość promieniowania laserowego. Metale najlepiej pochłaniają długość fali promieniowania laserowego $\lambda=1064$ nm, materiały dielektryczne (np. szkło) – 10600 nm (laser CO₂), tworzywa sztuczne – 532 lub 355 nm.

1. Lakierowy system powłokowy (LSP) – zadania oraz możliwości technologiczne renowacji

Lakierowy system powłokowy (LSP) ma za zadanie ochronę elementów maszyn i innych przedmiotów użytkowych przed działaniem czynników zewnętrznych, np. uderzeniami mechanicznymi, czynnikami chemicznymi i atmosferycznymi, a także powinien spełniać funkcję dekoracyjną. Każda z powłok wchodzących w skład systemu lakierowego spełnia odrębną funkcję, np. powłoka fosforanowa i kateforetyczna zabezpieczają elementy nadwozia przed korozją, a lakier bazowy i bezbarwny chronią przed uszkodzeniami mechanicznymi, a także spełniają funkcję dekoracyjną. Niestety lakierowy system powłokowy nie zawsze spełnia swoje zadanie. Jest narażony na działanie czynników atmosferycznych, chemicznych oraz mechanicznych. Jego uszkodzenia są często zbyt głębokie, aby ochronić nadwozie np. przed korozją. W takim przypadku bardzo często jedynym rozwiązaniem jest usunięcie z uszkodzonego miejsca powłoki lakierowej wraz z produktami korozji. Powszechnie w procesach renowacji LSP oraz technologii napraw elementów nadwozi i ram, uszkodzonych (zdeformowanych) w wyniku zdarzeń losowych (np. kolizji, wypadków), stosuje się usuwanie LSP oraz przygotowanie do lakierowania poprzez szlifowanie papierami ściernymi o różnej gramaturze i kształcie. Szlifowanie mechaniczne może powodować skutki uboczne, np. zanieczyszczenie środowiska, niekontrolowane rozwinięcie powierzchni, nieplanowane usunięcie LSP. Poza tym, jest to proces trudny do kontrolowania, zwłaszcza w strefie krawędzi i w obszarach zmiany kształtu elementu. Nie jest także możliwe usuwanie warstwy powłoki lakierowej z dokładnością do kilku mikrometrów.

Jedną z bardzo nowoczesnych technologii stosowanych w krajach wysoko rozwiniętych (USA, Niemcy, Włochy, Anglia) jest ablacyjne oczyszczanie i/lub

usuwanie powłok lakierowych, m.in. w konstrukcjach lotniczych, uzbrojeniu oraz elementów nadwozi samonośnych i ram. Technologia ta wykorzystywana jest już w praktyce w skali przemysłowej, przynosząc wielomiliardowe zyski. Dzięki zastosowaniu bardzo nowoczesnych systemów laserowych z optyką sterowaną elektronicznie (głowica Galvo) uzyskuje się wysoką precyzję procesu oraz bardzo duże wydajności.

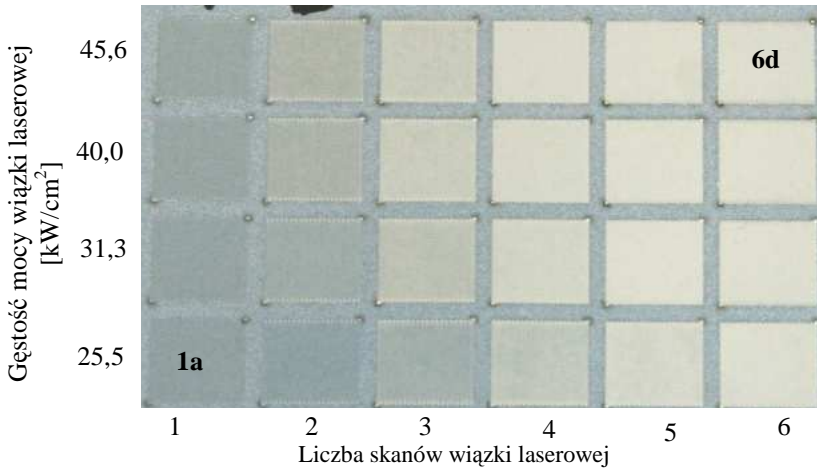
2. Badania własne

2.1. *Selektywne usuwanie lakierowego systemu powłokowego (LSP)*

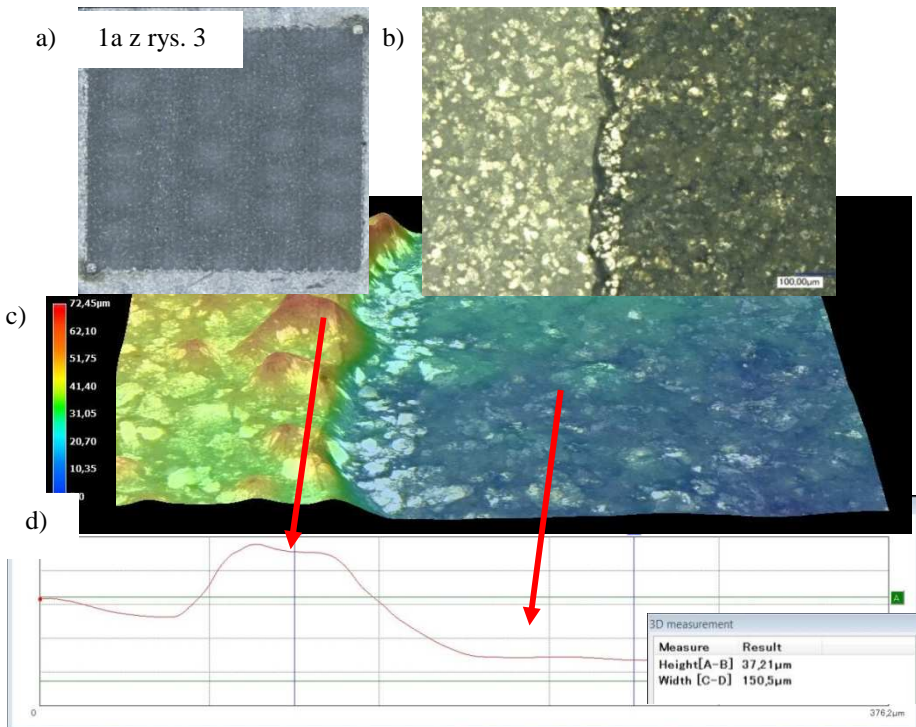
W ramach realizowanych badań laboratoryjnych w zakresie modyfikacji LSP wytworzonych na elementach nadwozi samochodów osobowych (nadwozia samonośne, ramy) stosowane były różne warianty badawcze, wykorzystując bardzo nowoczesne stanowiska laserowe (lasery Nd: YAG pompowane diodowo, lasery włóknowe z nowoczesną optyką – głowica Galvo, lasery CO₂). Nowoczesne lasery pozwoliły na wykorzystanie promieniowania o różnych długościach fali ($\lambda = 355$ nm, 532 nm, 1064 nm, 10600 nm) oraz krótkich czasach ekspozycji od kilku pikosekund do kilkunastu milisekund. Tak szeroki wachlarz wariantów mikroobróbki pozwolił uzyskać zróżnicowane efekty technologiczne. Ze względu na duże ograniczenia w wymaganej objętości artykułu przedstawiono tylko wybrane, reprezentatywne wyniki badań w zakresie modyfikacji LSP z wykorzystaniem lasera Nd: YAG pompowanego diodowo o długości fali promieniowania $\lambda = 532$ nm. Maksymalna moc lasera to 100W, maksymalna gęstość mocy $q = 83,3$ kW/cm², częstotliwość repetycji 6–50 kHz, czas ekspozycji impulsu ok. 100 ns. Stanowisko laserowe wyposażone było w nowoczesny układ optyczny typu Galvo.

Modyfikacji laserowej została poddana próbka pobrana z nadwozia samonośnego samochodu osobowego z naniesionym lakierowym systemem powłokowym. Jest to polimerowy system powłokowy dwuwarstwowy z wypełniaczem metalicznym (mikropłytka stopu aluminium).

W artykule przedstawiono efekty technologiczne uzyskane dla dwóch wariantów modyfikacji laserowej. Pierwszym z nich był wariant nr 1a z rys. 1, w którym zastosowano następujące parametry pracy lasera: gęstość mocy promieniowania $q = 25,5$ kW/cm², jeden skan promieniowania wiązką laserową na powierzchni LSP, prędkość 2500 mm/s, częstotliwość repetycji 10,4 kHz, czas ekspozycji promieniowania $\tau = 100$ ns, stopień zachodzenia na siebie impulsów laserowych ~40%. Topografię powierzchni po modyfikacji w tym wariantcie przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Próbką pobrana z nadwozia samonośnego samochodu osobowego z naniesionym lakierowym systemem powłokowym z wypełniaczem metalicznym, poddana modyfikacji (oczyszczania, usuwania powłoki) z wykorzystaniem promieniowania emitowanego przez laser Nd:YAG o długości fali promieniowania $\lambda = 532 \text{ nm}$

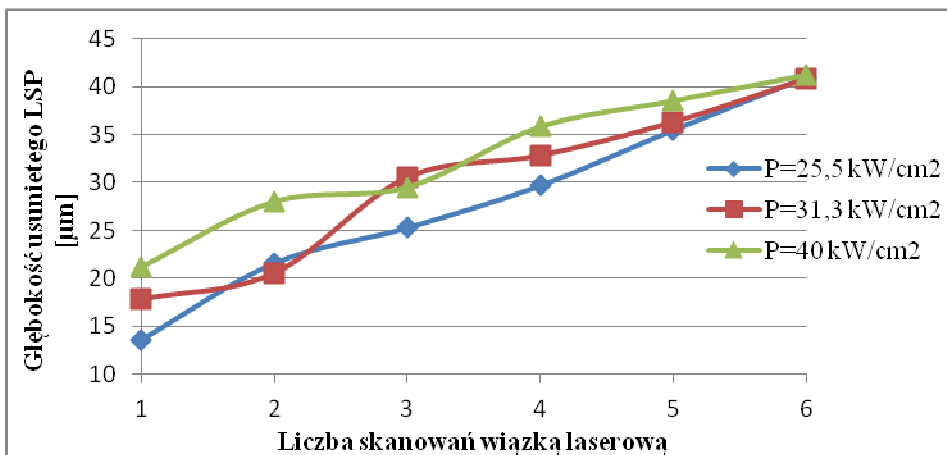


Rys. 2. Topografia powierzchni próbki pobrana z nadwozia samonośnego samochodu osobowego z naniesionym LSP z wypełniaczem metalicznym, poddana modyfikacji laserowej – wariant 1a z rys. 1

Jak widać na rys. 2, przy tak dobranych parametrach mikroobróbki laserowej selektywnie i precyzyjnie usunięto warstwę o grubości 37 μm . Oznacza to, że usunięto prawie cały lakier bezbarwny, gdyż jego grubość w fabrycznym systemie powłokowym wynosi ok. 40 μm . Takie usunięcie lakieru jest bardzo potrzebne w przypadku lekkiego zarysowania lub zmatowienia powłoki lakierowej, czyli uszkodzenia powłoki dość często występującego podczas eksploatacji samochodu.

W drugim wariantcie mikroobróbki laserowej, tj. wariant nr 6d z rys. 1, zastosowano następujące parametry: gęstość mocy promieniowania laserowego $q = 45,6 \text{ kW/cm}^2$, sześć skanów wiązką laserową na powierzchni LSP, prędkość 2500 mm/s, częstotliwość repetycji $f = 10,4 \text{ kHz}$, $\tau = 100 \text{ ns}$, stopień zachodzenia na siebie impulsów laserowych $\sim 40\%$.

Zastosowanie ww. parametrów pracy lasera pozwoliło na usunięcie 72 μm lakierowego systemu powłokowego. Oznacza to, że usunięty został w całości lakier bezbarwny, bazowy oraz częściowo (ok. 10 μm) podkład wypełniający. Na rys. 3 przedstawiono zależność głębokości zebranego materiału w funkcji ilości przejść oraz stosowanej mocy promieniowania laserowego dla lasera Nd:YAG o długości fali promieniowania $\lambda = 532 \text{ nm}$.



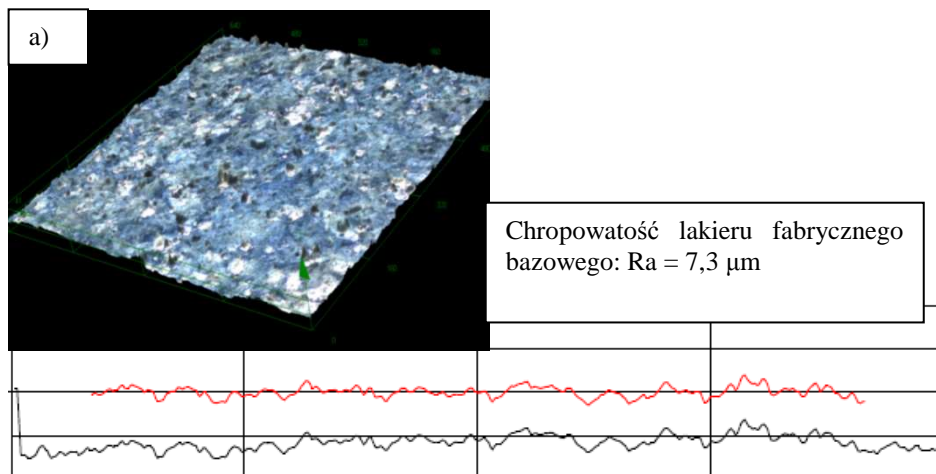
Rys. 3. Wpływ gęstości mocy promieniowania oraz liczby skanowań wiązką laserową na głębokość usuniętego LSP

Największą efektywność usuwania LSP można zauważyć przy oddziaływaniu promieniowania laserowego na lakier bezbarwny przy pierwszym skanowaniu. Istotny wpływ na efektywność usuwania LSP ma także gęstość mocy. Im większa gęstość mocy, tym większa efektywność. Wraz ze zwiększaniem ilości

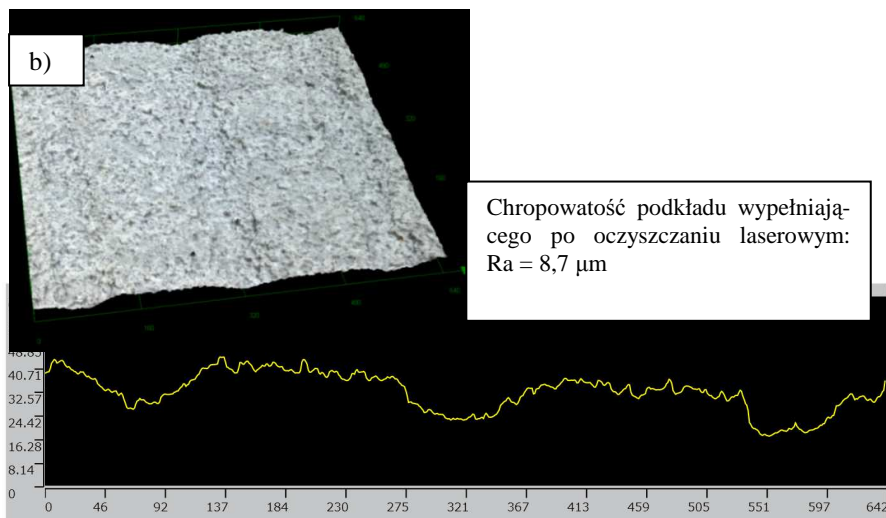
skanowań wiązką laserową (ilości impulsów na powierzchnię), dla poszczególnych gęstości mocy, obserwuje się liniowy wzrost efektywności usuwania LSP. Efektywność procesu zależy od rodzaju powłoki, jej absorpcyjności, w tym chropowatości powierzchni. Prawdopodobnie wysoka efektywność usuwania powłoki lakieru bezbarwnego wynikała ze specyficznych procesów fizykochemicznych podczas napromienienia laserowego. Promieniowanie przenikało przez przezierną powłokę polimerowego lakieru bezbarwnego, a następnie zostało zaabsorbowane i częściowo rozpraszane przez powłokę lakieru bazowego z wypełniaczem metalicznym. Rozpraszanie to prawdopodobnie było bardzo efektywne, zwłaszcza na mikroplątkach ze stopu aluminium. Wysoki impuls ciśnienia generowany na powierzchni LSP oraz wielokrotnie odbity na granicy powłok lakier bezbarwny – baza metaliczna prawdopodobnie powoduje destrukcję (odrywanie) powłoki lakieru bezbarwnego od lakieru bazowego. Mechanizm ten należy wyjaśnić szczegółowo, kontynuując dalsze badania.

3. Chropowatość powierzchni lakierowego systemu powłokowego

Analizując wyniki chropowatości przed i po modyfikacji laserowej dla lakierowego systemu powłokowego, można zauważyć, że ablacja laserowa wpływa istotnie na zwiększenie chropowatości powierzchni powłoki lakierowej. Chropowatość powłoki lakieru bazowego wytworzonego w warunkach produkcyjnych, mierzona z użyciem mikroskopu konfokalnego, wynosiła $7,3 \mu\text{m}$ (rys. 4a). W wyniku oddziaływania impulsowego promieniowania laserowego



cd. →



Rys. 4. Chropowatość powierzchni lakierowego systemu powłokowego przed i po modyfikacji laserowej: a) topografia oraz profil chropowatości fabrycznego lakieru bazowego, b) topografia oraz profil chropowatości podkładu wypełniającego po modyfikacji laserowej

($\lambda = 532 \text{ nm}$) na powierzchnię lakierowego systemu powłokowego nastąpiło usunięcie nie tylko powłoki lakieru bazowego, ale także częściowe usunięcie podkładu wypełniającego z jednoczesnym rozwinięciem chropowatości powierzchni do ok. $8,7 \text{ μm}$ (rys. 4b). Taka topografia powierzchni zapewnia większą przyczepność kolejnych warstw powłoki w porównaniu z topografią powłoki fabrycznej.

Podsumowanie i wnioski

Procesy oczyszczania, zwiększania chropowatości oraz usuwania lakierowego systemu powłokowego (LSP) realizowane są m.in. podczas naprawy elementów nadwozi samonośnych samochodów i dotyczą głównie renowacji ww. systemu.

Jedną z nowoczesnych technologii mających bardzo szerokie perspektywy technologiczne w procesach przygotowania powierzchni pod renowację LSP jest ablacyjna mikroobróbka laserowa. W ramach eksperymentów laboratoryjnych realizowanych na próbkach pobranych z nadwozia samochodu wykonano modyfikację laserową, głównie usuwania poszczególnych powłok LSP. Realizując ablacyjną mikroobróbkę laserową, stosowano cztery gęstości mocy (od $25,5$ do $45,6 \text{ kW/cm}^2$) oraz różną ilość skanowań (od 1 do 6). Uzyskane pozytywne efekty pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Efektywność usuwania lakierowego systemu powłokowego zależy głównie od zastosowanej gęstości mocy. Stosując te same parametry pracy, tj. prędkość 2500 mm/s , częstotliwość repetycji $f = 10,4 \text{ kHz}$, czas ekspozycji

zycji promieniowania $\tau = 100$ ns, stopień zachodzenia na siebie impulsów laserowych $\sim 40\%$ oraz różną gęstość mocy q , można usunąć różną objętość LSP. Przy zastosowaniu $q = 25,5$ kW/cm² usunięto 37 μm LSP, a przy $q = 45,6$ kW/cm² – 72 μm .

2. Największa efektywność usuwania LSP występuje przy pierwszym skanowaniu promieniowaniem laserowym i dotyczy głównie usuwania powłoki lakieru bezbarwnego. Wraz ze zwiększaniem gęstości mocy oraz ilości skanowań efektywność procesu usuwania LSP wzrasta.
3. Efektywność procesu ablacji laserowej na LSP zależy także od rodzaju powłoki, jej absorpcyjności, w tym również chropowatości. Chropowatość powłoki lakierowej po modyfikacji laserowej jest większa w porównaniu z powłoką wytworzoną fabrycznie.

Bibliografia

1. PN-EN ISO 4618:2007 „Farby i lakiery. Terminy i definicje”.
2. Sobierajska G., Neuman N.: Lakiernictwo samochodowe. SIMP – ZORPOT Ośrodek Rzeczoznawstwa, Szczecin 2006.
3. Szarama Ł.: Vademecum lakiernika, cz 1. Poradnik serwisowy 2/2008.
4. Jóźwicki R.: Technika laserowa i jej zastosowania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
5. Napadłek W., Kalman I.: Wykorzystanie mikroobróbki laserowej w procesach technologicznych renowacji powłok lakierowych. IV Letnia Szkoła Inżynierii Powierzchni, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej (16/2011), Kielce 2011.
6. Napadłek W., Bogdanowicz Z., Kalman I.: Wykorzystanie iterbowego lasera włóknowego do modyfikacji samochodowych powłok lakierowych. Logistyka 3/2011. Poznań 2011.

Recenzent:
Jerzy SMOLIK

The analysis of influence laser ablation micromachining on efficiency removal lacquered coating system

Key words

Laser ablation, lacquer coating system, laser modification, laser Nd: YAG.

Summary

The article describe the essence and influence of ablation laser micromachining (laser Nd: YAG, wavelength of radiation $\lambda = 532$ nm) on the removal efficiency lacquered coating system (LSP) manufactured on self-supporting car body panels. Presented the topography and surface roughness profile. It was found that the dominant influence on removal of paint coating had a power density- the bigger give better results. Important role in the ablative removal process of coating system has a number of scans surface – a linear progressive. The obtained results of laboratory tests confirmed usefulness applying laser ablation in the process of lacquering.

