

Wojciech NAPADŁEK¹
Izabela KALMAN²

WYBRANE APLIKACJE TECHNOLOGICZNE ABLACYJNEGO USUWANIA METALICZNEJ POWŁOKI LAKIEROWEJ TECHNIKĄ LASEROWĄ

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań laboratoryjnych ablacyjnego usuwania metalicznej powłoki lakierowej techniką laserową. Stosując laser Nd: YAG o długości promieniowania $\lambda=1064\text{nm}$, czasie naświetlania $\tau = 5-10\text{ ns}$ i częstotliwości repetycji 1-10 Hz, zmieniano gęstość mocy promieniowania oraz stopień pokrycia. Wykorzystując efekt ablacji laserowej usuwano z bardzo dużą precyzją cienkie (kilka mikrometrów) powłoki lakierowe. Wstępne badania laboratoryjne potwierdziły dużą przydatność technologii laserowej w lakiernictwie samochodowym.

CHOSEN TECHNOLOGICAL APPLICATIONS OF ABLATION IN REMOVING THE METALLIC LAQUER COAT BY LASER TECHNIQUE

The chosen results of laboratory investigations of ablation removing the metallic laquer coat by laser technique are presented in the work. Using the laser Nd: YAG, length of the radiation $\lambda = 1064\text{nm}$, time exposure $\tau = 5-10\text{ns}$ and the frequency of the repetition 1-10 Hz, the density power of the radiation was changed as well as the stage of the covering. Using the effect of laser ablation, thin (several micrometers) laquer coats were removed with the very large precision. Preliminary laboratory investigations confirmed the large usefulness of the laser technology in car varnishing.

1. WSTĘP

W dzisiejszych czasach czysta powierzchnia nadwozia samochodu jest elementem niezbędnym w procesie jej przygotowania pod nakładanie powłok lakierowych. Aby otrzymać wymaganą przyczepność powłoki, niezbędne jest odpowiednie przygotowanie powierzchni poprzez np. usunięcie korozji, tlenków i wszelkich zanieczyszczeń, oraz wytworzenie na powierzchni odpowiedniego profilu chropowatości. Proces oczyszczania może być przeprowadzony różnymi metodami zapewniającymi odpowiednią wydajność

¹ dr inż. Wojciech NAPADŁEK, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, 00-908 Warszawa, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, tel. (0-22) 683-73-57, e-mail: wnapadlek@wat.edu.pl

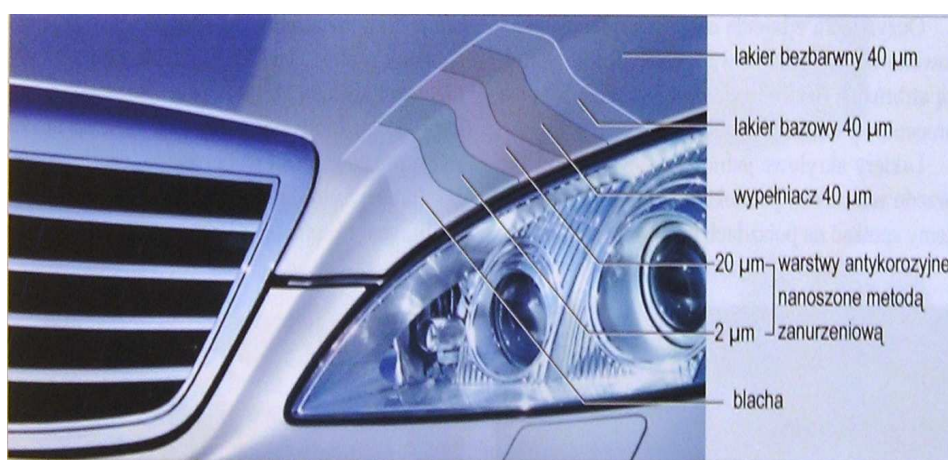
² mgr inż. Izabela KALMAN, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, 00-908 Warszawa, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, e-mail: ikalman@wat.edu.pl

procesu i czystość powierzchni. Techniki mechaniczne lub chemiczne są bardzo trudne w kontrolowaniu a wiele z nich powoduje uboczne skutki ekologiczne (np. zanieczyszczenia lub skażenie środowiska). Aby uzyskać pełną kontrolę procesu usuwania nawarstwień, w badaniach nad oczyszczaniem powierzchni zostało wykorzystane zjawisko ablacji laserowej. Jest to usuwanie warstw wierzchnich materiałów o kontrolowanej grubości, w wyniku absorpcji impulsowego promieniowania laserowego, szybkiego nagrzania i odparowania warstwy wierzchniej.

2. WSPÓŁCZESNE POWŁOKI LAKIEROWE STOSOWANE W KONSTRUKCJI NADWOZI SAMONOŚNYCH SAMOCHODÓW

Powłoka lakierowa jest to ciągła warstwa utworzona w wyniku jednokrotnego lub wielokrotnego nałożenia wyrobu lakierowego na podłoże, natomiast suma wszystkich warstw wyrobu lakierowego, które zostały nałożone na podłoże to system powłokowy [1].

Obecnie, w produkcji pojazdów samochodowych stosuje się głównie lakiery metalizowane, dwuwarstwowe. Są to głównie lakiery wodno - rozpuszczalne z dodatkiem np. bardzo drobnych płytek aluminium, które działają antykorozyjnie i dekoracyjnie. Efekt dekoracyjny uzyskany jest poprzez odpowiednio ułożone płytki aluminiowe, które odbijają światło tylko w jednym kierunku. Powoduje to zwiększenie natężenia światła odbitego i optyczne wrażenie odbłasku. Budowę dwuwarstwowego lakierowego systemu powłokowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat budowy dwuwarstwowego lakierowego systemu powłokowego, stosowanego w samochodach osobowych marki Mercedes - Benz [3]

Naprawa (renowacja) powłoki lakierowej nadwozia to wytworzenie nowej powłoki lakierowej na wybranej lub całej powierzchni elementu, w celu uzyskania jednego z trzech stanów powłoki: pierwotnego, nowego efektu dekoracyjnego lub efektu ochronnego.

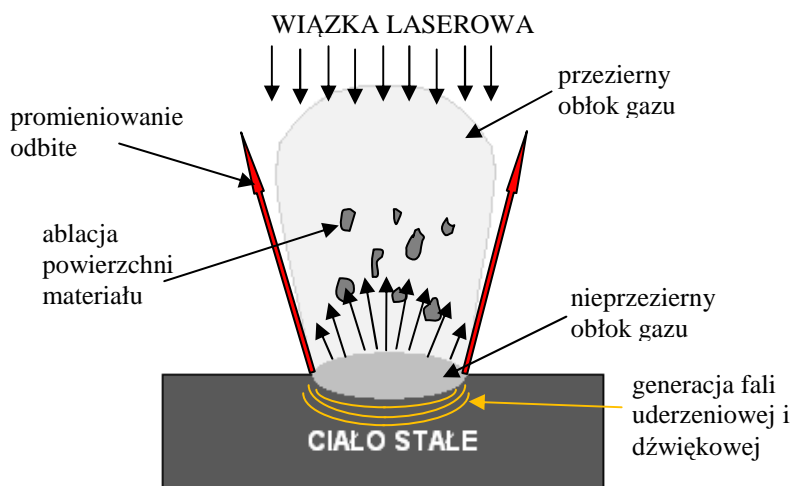
Lakierowanie renowacyjne wykonuje się, gdy oryginalna powłoka lub system powłokowy uległ uszkodzeniu podczas eksploatacji pojazdu. Efektem takiego lakierowania powinien być brak widocznych różnic pomiędzy nową a oryginalną powłoką [2].

3. ABLACJA LASEROWA

Ablacja laserowa to usuwanie warstwy wierzchniej materiału w wyniku absorpcji promieniowania laserowego w bardzo krótkim czasie (od pojedynczych milisekund do femtosekund), szybkiego nagrzania i odparowania określonej (wybranej selektywnie) warstwy powierzchniowej. Promieniowanie laserowe w niektórych przypadkach jest niezastąpione. W szczególności dotyczy to dokładnego oczyszczania niewielkich lub trudno dostępnych stref.

Efektem ablacji laserowej jest pochłanianie i rozpraszanie promieniowania laserowego podczas którego następuje wyrzucenie materiału w postaci cieczy i pary [4-8].

Ideę procesu ablacji przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat ideowy zjawiska ablacji

W zależności od optycznych i termicznych parametrów materiału (np. współczynnika przewodzenia ciepła) oraz parametrów wiązki laserowej (np. długości fali promieniowania, gęstości energii, czasu trwania impulsu), zmienia się grubość odparowanej warstwy wierzchniej. Przykładowo, stosując promieniowanie o bardzo krótkiej długości fali, głębokość usuniętej warstwy wierzchniej jest niewielka. Zwiększając długość fali można usuwać już znacznie większe cząstki powierzchni.

Aby odpowiednio zastosować obróbkę laserową należy znać:

- parametry materiału, tj. współczynnik przewodzenia ciepła, ciepło właściwe, moduł sprężystości, granicę plastyczności, współczynnik rozszerzalności cieplnej, współczynnik absorpcji (odbicia) promieniowania lasera itp.
- parametry wiązki laserowej, tj. długość fali promieniowania, moc lasera, kąt rozbieżności wiązki laserowej, rozkład gęstości energii w przekroju poprzecznym wiązki laserowej, czas trwania impulsu, wymiary plamki laserowej.

4. WYBRANE WYNIKI BADAŃ ABLACYJNEGO USUWANIA METALICZNYCH POWŁOK LAKIEROWYCH

W dzisiejszych naprawach oraz renowacji nadwozi samonośnych pojazdów samochodowych bardzo ważnym etapem jest także usuwanie warstwy lakieru z elementu przeznaczonego do naprawy oraz ponowne nałożenie wielowarstwowej powłoki lakierowej. Alternatywą dla oczyszczania mechanicznego, które może spowodować uszkodzenie elementu, jak również zagrożenie dla zdrowia człowieka oraz środowiska jest ablacyjne oczyszczanie laserowe. Zastosowanie obróbki laserowej pozwala na selektywne usunięcie powłoki lakierowej z wybranego obszaru naprawianego elementu (nadwozia samonośnego samochodu lub innych elementów maszyn).

Proces oczyszczania bezstykowego jest selektywny, wydajny, skuteczny oraz nie powoduje niepotrzebnego uszkodzenia systemu powłok lakierowych ww. elementów samochodów. Zastosowanie oczyszczania bezstykowego metodą laserową elementów nadwozi i ram, ma szczególnie ważną zaletę gdyż pozwala oczyszczać, lub usuwać powłoki lakierowe w strefach trudnodostępnych (profile zamknięte, strefy połączeń elementów nadwozi i ram).

Selektywne oczyszczanie laserowe pozwala także na zminimalizowanie ilości materiałów stosowanych do naprawy samochodów, oraz umożliwia uzyskanie właściwości materiału zbliżone do stanu przed naprawą.

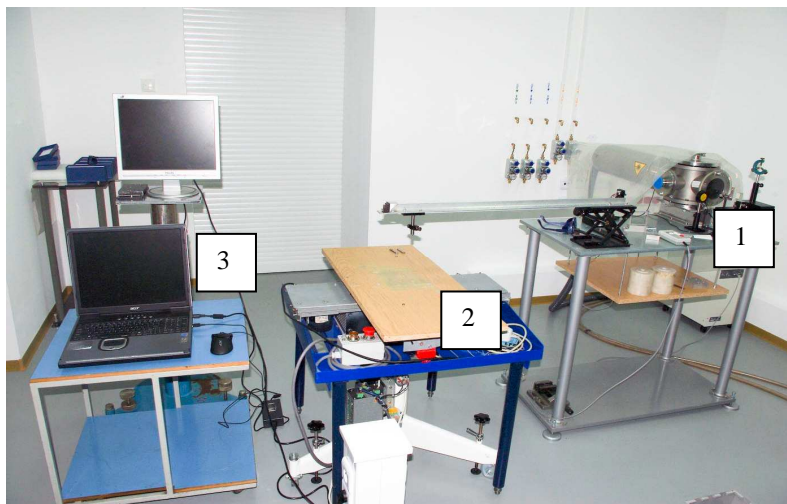
Bardzo ważnym elementem podczas renowacji powłok lakierowych jest usunięcie starej powłoki lakierowej w celu przygotowania podłoża pod nową powłokę. Usunięcie starej powłoki może być konieczne gdy górna warstwa wykazuje ślady zarysowania, zmatowienia, efektu skórki pomarańczowej itd.

Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej na specjalnie do tego celu zestawionym stanowisku, wyposażonym w laser Nd:YAG o długości fali promieniowania $\lambda = 1064$ nm, stół x – y sterowany CNC, stację komputerową z oprogramowaniem sterującym, tor optyczny do prowadzenia wiązki laserowej (rys. 3).

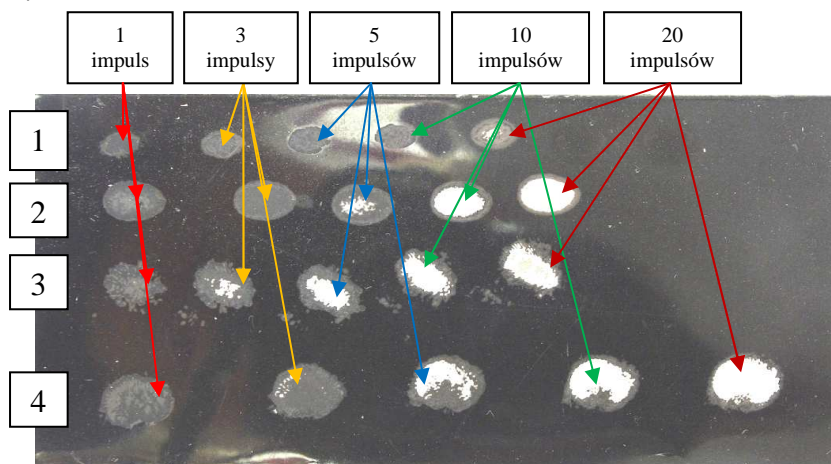
Badania zostały przeprowadzone na powłoce lakierowej samochodu Renault 19. Wyjściowa grubość wielowarstwowej powłoki lakierowej wynosiła 123-145 μm . Podczas badania powierzchnia była poddana 4 wariantom naświetlenia laserowego. Dla każdego warunków powierzchnię poddano oddziaływaniu 1, 3, 5, 10, 20 impulsów laserowych. Stosowano następujące warianty: 1- $q = 0,87 \cdot 10^8$ W/cm², 2- $q = 2,22 \cdot 10^8$ W/cm², 3 - $q = 3,06 \cdot 10^8$ W/cm², 4 - $q = 3,35 \cdot 10^8$ W/cm².

Przeprowadzone badania oczyszczania powłoki lakierowej dla wariantu nr 1 ($q = 0,87 \cdot 10^8$ W/cm²) wykazały, że przy jednym impulsie laserowym można usunąć tylko lakier bezbarwny. Warstwa lakieru bazowego została usunięta dopiero przy naświetlaniu próbki 20. impulsami laserowymi. Gęstość mocy promieniowania laserowego $q = 2,22 \cdot 10^8$

W/cm^2 wykorzystana w wariacie nr 2 (rys. 4), spowodowała całkowite usunięcie lakieru bezbarwnego oraz część bazy metalicznej już przy pierwszym impulsie. W czwartym wariacie oczyszczania ($q=3,35 \cdot 10^8 W/cm^2$) efektywność usuwania systemu powłokowego była znacznie większa. Już przy 5. impulsach znacznie naruszona została powłoka kataforetyczna (antykorozyjna).

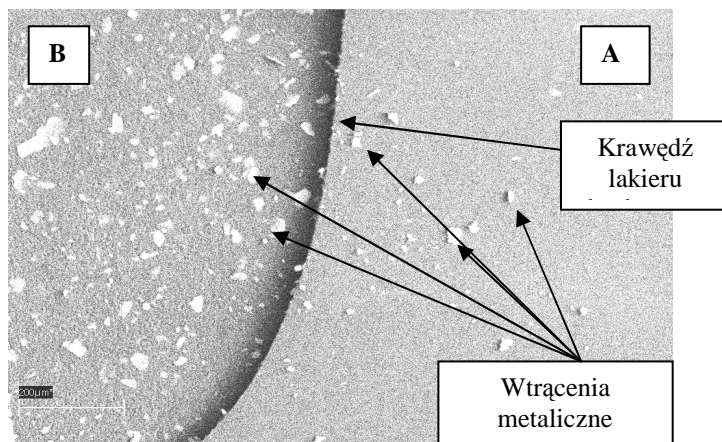


Rys. 3. Stanowisko przeznaczone do oczyszczania laserowego: 1 – laser Nd:YAG, 2 – stół x–y sterowany CNC, 3 – stanowisko komputerowe do sterowania laserem i stołem pomiarowym



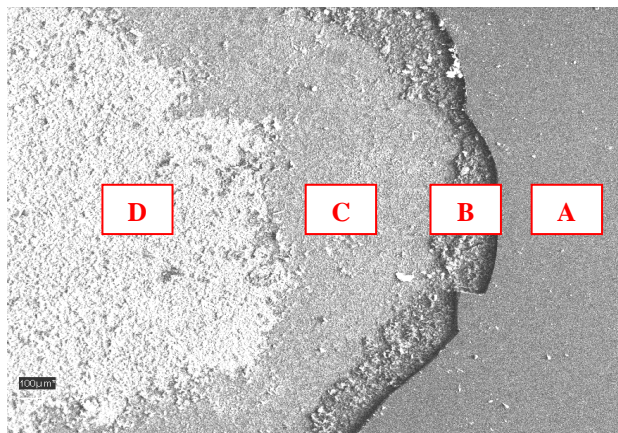
Rys. 4. Powierzchnia próbki wyciętej z nadwozia samonośnego samochodu Renault 19 z naniesioną metaliczną powłoką lakierową, poddaną oddziaływaniu promieniowania laserowego: laser Nd:YAG, $\lambda=1064nm$, $\tau=5-10ns$, stosowane gęstości mocy: 1- $q=0,87 \cdot 10^8 W/cm^2$; 2 - $q=2,22 \cdot 10^8 W/cm^2$; 3 - $q=3,06 \cdot 10^8 W/cm^2$; 4 - $q=3,35 \cdot 10^8 W/cm^2$

Analizując strefę usuniętej warstwy lakieru bezbarwnego, która została poddana działaniu jednego impulsu laserowego o gęstości mocy $q=0,87*10^8$ W/cm² (rys. 5), można wyróżnić wyraźną granicę między warstwą lakieru bezbarwnego (A) i lakieru bazowego (B). Kraweź usuniętego lakieru bezbarwnego jest wyraźna (ostra) i nie widać śladów nadtopień. Bardzo wyraźnie widoczne są wtrącenia metaliczne (płytki aluminiowe), dodane do lakieru bazowego. Wyrzucenie cząstek metalicznych widocznych na lakierze bezbarwnym jest wynikiem działania procesu ablacji, podczas której wytwarzane jest bardzo duże ciśnienie (ok. 500-800 bar), które występuje w strefie działania impulsu laserowego.



Rys. 5. Powierzchnia próbki wyciętej z nadwozia samonośnego samochodu Renault 19 z naniesioną metaliczną powłoką lakierową, poddaną oddziaływaniu jednego impulsu laserowego o gęstości mocy $q=0,87*10^8$ W/cm², A - lakier bezbarwny, B - lakier bazowy

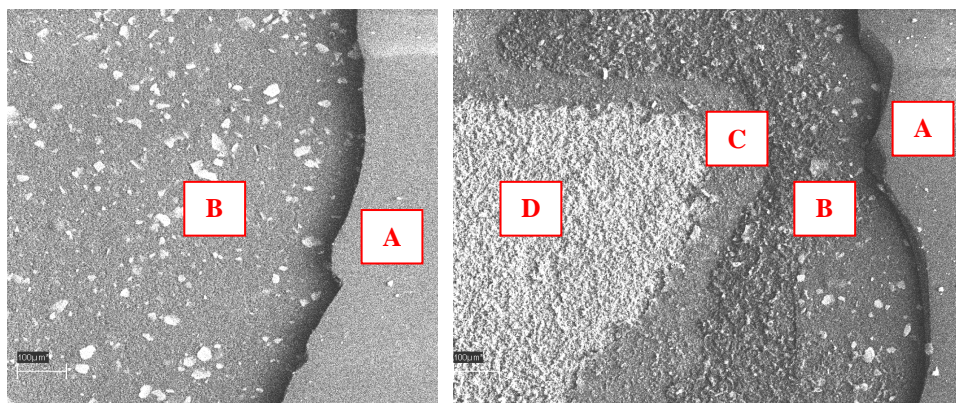
W wyniku oddziaływania dwudziestu impulsów laserowych o gęstości mocy promieniowania $q=2,22*10^8$ W/cm² odstonięty został lakier bazowy, warstwa podkładowa oraz grunt katalforetyczny (rys. 6).



Rys. 6. Powierzchnia próbki wyciętej z nadwozia samonośnego samochodu Renault 19 z naniesioną metaliczną powłoką lakierową, poddaną oddziaływaniu 20. impulsów laserowych o gęstości mocy $q=2,22 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$, A-lakier bezbarwny, B-lakier bazowy, C-warstwa podkładowa, D-grunt katalforetyczny

Można zauważyć także (podobnie jak w poprzednim przypadku) wyraźną granicę między warstwą lakieru bezbarwnego (A) i lakieru bazowego (B). Krawędź usuniętego lakieru jest ostra (wyrazista, równa, bez nadtopień) co świadczy o dużej dynamice procesu oczyszczania. W wyniku oddziaływania większej gęstości mocy impulsu laserowego prawdopodobnie znacznie wzrosło ciśnienie generowane plazmą laserową. Spowodowało to dynamiczne wyrzucenie mikrocząstek metalicznych ze stopu aluminium.

Analizując powierzchnię powłoki lakierowej, która została poddana działaniu 1. impulsu laserowego o gęstości mocy $q=3,35 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$ (rys. 7), można wyróżnić granicę między warstwą lakieru bezbarwnego (A) i lakieru bazowego (B). Krawędź granicy jest równa (ostra) i nie widać nadtopień. W wyniku oddziaływania większej energii impulsu laserowego na powierzchni materiału, ablacji uległa większość wtrąceń metalicznych.

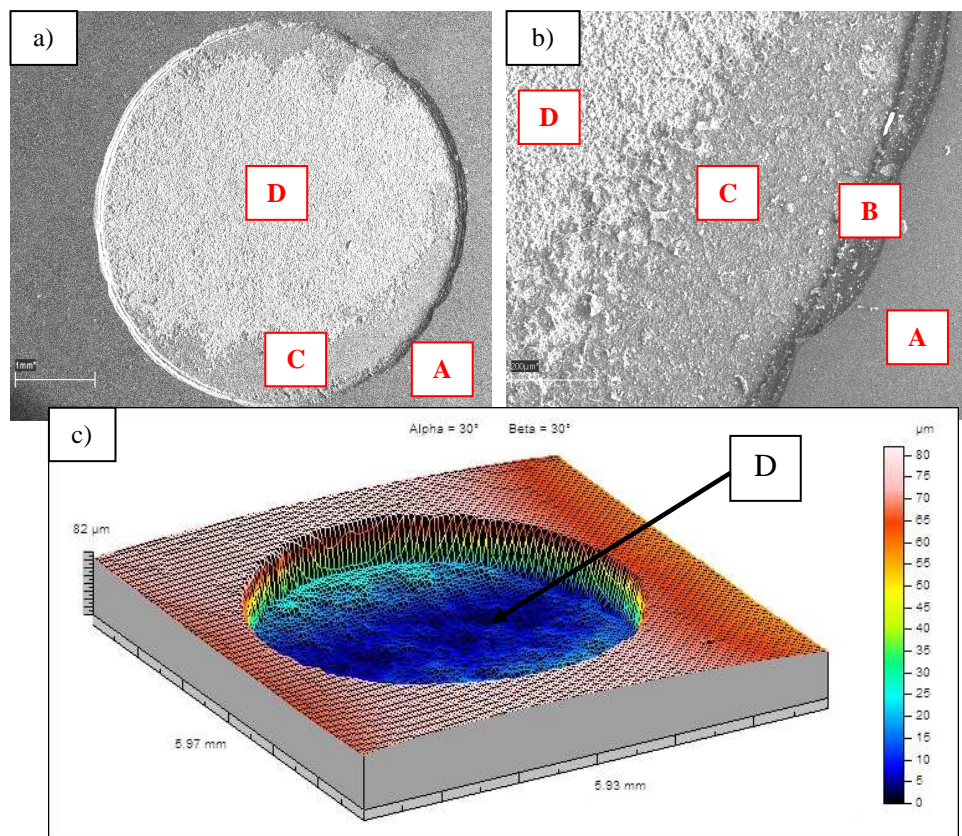


Rys. 7. Powierzchnia próbki wyciętej z nadwozia samonośnego samochodu Renault 19 z naniesioną metaliczną powłoką lakierową: a) powierzchnia powłoki lakierowej poddana działaniu jednego impulsu laserowego o gęstości mocy $q=3,35 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$, b) powierzchnia powłoki lakierowej poddana 20. impulsom laserowym o gęstości mocy $q=3,35 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$, A-lakier bezbarwny, B-lakier bazowy, C-warstwa podkładowa, D-grunt kataforetyczny

W wyniku działania 20. impulsów laserowych dla tych samych warunków oczyszczania (rys. 8), usunięte zostały trzy warstwy powłoki lakierowej: lakier bezbarwny (A), lakier bazowy (B) i warstwa podkładowa (C). Spowodowało to również odsłonięcie gruntu kataforetycznego (D).

Powierzchnię powłoki lakierowej można usuwać wykorzystując ablację laserową w precyzyjnie wybranych strefach stosując np. maskę technologiczną. Maski takie pozwalają na oddziaływanie wiązki laserowej z warstwą powierzchniową w ściśle określonym obszarze (w strefie wycięcia maski). Jest to bardzo ważne przy precyzyjnym oczyszczaniu w ściśle określonym miejscu. Pozostały obszar przysłania strefę, w związku z czym uniemożliwia oddziaływanie impulsu laserowego z warstwą powierzchniową systemu powłoki lakierowej.

Analizując powierzchnię powłoki lakierowej, poddanej działaniu 20. impulsów wiązki laserowej (rys. 8) oddziaływującej w obszarze maski technologicznej zaobserwowano w strefie oczyszczonej laserowo bardzo dokładne odwzorowanie strefy nałożonej maski. Realizując proces oczyszczania z wykorzystaniem maski technologicznej w całości zostały usunięte dwie warstwy, tj. lakier bezbarwny i lakier bazowy, natomiast warstwa podkładowa została oczyszczona tylko w centralnej części oraz wzdłuż wymiaru poprzecznego próbki (rys. 8). W strefie D impuls laserowy posiadał największą gęstość mocy, co skutkowało największą efektywnością usuwania powłoki lakierowej.



Rys. 8. Powierzchnia próbki wyciętej z nadwozia samonośnego samochodu Renault 19 z naniesioną metaliczną powłoką lakierową, poddaną oddziaływaniu wiązki laserowej o gęstości mocy $q=3,35 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$, przystoniętej maską technologiczną: a) widok ogólny, b) powiększenie granicy pomiędzy lakierem bezbarwnym (A), lakierem bazowym (B), warstwą podkładową (C) i gruntem kataforetycznym (D), c) topografia powierzchni 3D

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że stosując ablacyjną mikroobróbkę laserową można bez problemów oczyszczać elementy nadwozia samonośnego oraz selektywnie i bardzo dokładnie usuwać powłoki lakierowe. W wyniku przeprowadzonych badań i analiz nasunęły się następujące wnioski:

1. Aby odpowiednio usuwać powłoki lakierowe należy znać podstawowe parametry wiązki laserowej (np. gęstość mocy, częstotliwość repetycji, czas trwania impulsu, długość fali promieniowania itd.). Wskazaniem jest, podczas usuwania powłok lakierowych stosowanie duże gęstości mocy przy krótkich impulsach promieniowania laserowego oraz bardzo dużej częstotliwości repetycji.
2. W celu usunięcia jednej warstwy powłoki lakierowej (np. lakieru bezbarwnego) wystarczy zastosować wiązkę o gęstości mocy $q=0,87 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$.
3. Do usunięcia kilku warstw powłoki lakierowej należy zastosować impulsy laserowe o gęstości mocy większej niż $q=0,87 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$ lub tą samą powierzchnię zeskanować kilka razy.
4. Stosując gęstość mocy $q=2,22 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$, zaobserwowano znacznie większą intensywność usuwania powłoki, dzięki czemu możliwe było usunięcie nawet dwóch powłok lakierowych (lakier bezbarwny + baza metaliczna) przy oddziaływaniu jednego impulsu laserowego.
5. Wykorzystując gęstość mocy $q=3,35 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$, można usunąć nawet kilka warstw powłoki jednocześnie. Jest to bardzo przydatne, gdyż w krótkim czasie można usunąć całą powłokę, co często jest niezbędne podczas procesu naprawy nadwozia samonośnego pojazdu.
6. Bardzo dużą zaletą oczyszczania laserowego jest możliwość wybiórczego oddziaływania wiązki laserowej poprzez tak zwaną maskę technologiczną. W ten sposób możemy oczyścić lub usunąć precyzyjnie określoną strefę powłoki lakierowej, jednocześnie ograniczając czas, koszty naprawy oraz zużycie materiałów potrzebnych do nałożenia nowej powłoki lakierowej.
7. Bardzo ważną cechą oczyszczania laserowego lakierowych systemów powłokowych jest możliwość selektywnego usuwania poszczególnych powłok lakierowych. Powłoki te mogą być usuwane pojedynczo, z dokładnością do nawet kilku mikrometrów, co daje w przyszłej perspektywie olbrzymie możliwości technologiczne.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007 – 2010 jako projekt badawczy rozwojowy R15-0025-04/2008.

6. BLIOGRAFIA

- [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] Marczak J., Napadłek W., Sarzyński A.: Modyfikacja właściwości warstwy wierzchniej aluminium za pomocą laserowej fali uderzeniowej, *Inżynieria Materiałowa* nr 5(147), str. 622- 624, Katowice 2005.
- [5] Napadłek W., Sarzyński A., Marczak J. *Analiza procesów zachodzących podczas ablacji laserowej na stopach aluminium*, *Przegląd Spawalnictwa* nr 5–6 (2006), 64 – 67.
- [6] Burakowski T., Marczak J., Napadłek W., *Istota ablacyjnego oczyszczania laserowego materiałów*, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, LIII, Zeszyt 228'06 (2006), 125 – 135.
- [7] Burakowski T., Napadłek W., Marczak J., *Ablacyjna mikroobrobka laserowa w areologii*, *Inżynieria Materiałowa* nr 5 (153), rok XXVII, wrzesień – październik, 2006, 882 – 889.
- [8] Burakowski T., Kubicki J., Marczak J., Napadłek W., *Technologiczne możliwości zastosowania ablacyjnego oczyszczania laserowego materiałów*, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, LIII, Zeszyt 228'06, (2006), 137 - 146.