

Wojciech NAPADŁEK<sup>1</sup>  
Izabela KALMAN<sup>2</sup>

### **ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII LASEROWYCH W OCZYSZCZANIU SAMOCHODOWYCH POWŁOK LAKIEROWYCH**

*W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań ablacyjnego usuwania polimerowej powłoki lakierowej z wypełniaczem metalicznym (mikroptyłki aluminium) techniką laserową. Do badań laboratoryjnych zastosowano laser włóknowy o następujących parametrach: długość fali promieniowania  $\lambda=1064$  nm, czas ekspozycji impulsu laserowego  $\tau = 25$  ns, częstotliwość repetycji 30-500 kHz z głowicą Galvo. Zmieniając gęstość mocy, częstotliwość, stopień pokrycia impulsów, prędkość skanowania, uzyskano różne efekty usuwania lakierowego systemu powłokowego. Przy małych gęstościach mocy powstały nadtopienia powłoki lakieru bezbarwnego. Wielokrotne skanowanie wiązką laserową o większej gęstości mocy spowodowało sekwencyjne usuwanie powłoki lakierowej od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów. Technologia ta rokuje bardzo dobre perspektywy w renowacji lakierowych systemów powłokowych stosowanych we współczesnych pojazdach samochodowych (nadwozia, ramy).*

### **THE TECHNOLOGICAL USAGE OF LASER CLEANING IN THE CAR VARNISHING COATS ANALYSIS**

*The chosen investigation results of polymer varnish coat with metallic filler (microtiles of aluminium) ablational removing by laser technique were introduced. To the laboratory investigations fiber laser with following parameters: the radiation wave length  $\lambda = 1064$  nm, the exposition time of the laser impulse  $\tau = 25$  ns, the repetition frequency 30-500 kHz with the Galvo was used. Changing the density of the power, frequency, the degree of the impulses covering, the speed of scanning, the various effects of removing varnish coats system were got. The melting of the colourless varnish coat were spot when the small density of power was used. Multiple scanning by laser bundle with higher power density resulted in sequential removing the varnishing coat from several to tens micrometers. This technology augurs very good perspectives in the renovation of varnishing coats systems applied in present car vehicles (bodies, frames).*

---

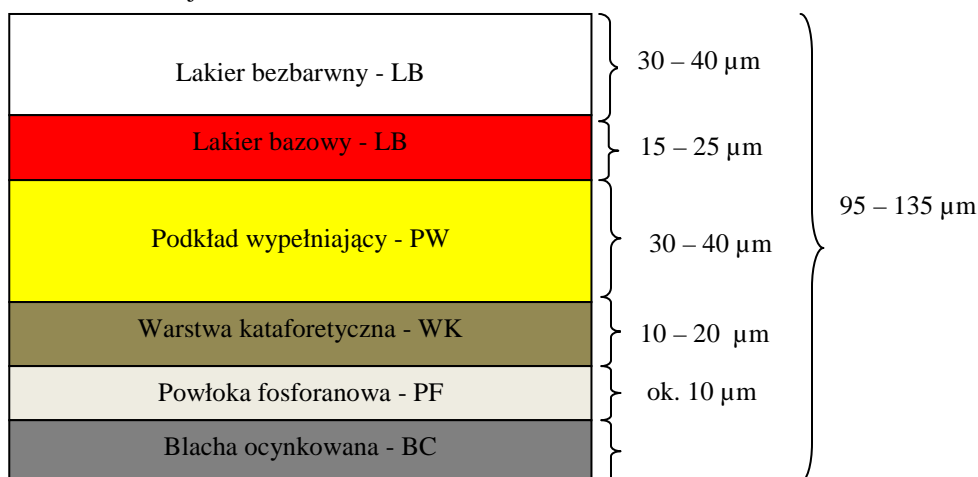
<sup>1</sup> dr inż. Wojciech NAPADŁEK, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, 00-908 Warszawa, ul. Gen. S. Kaliskiego 2. Tel. (0-22) 683-73-57, e-mail: wnapadlek@wat.edu.pl

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

## 1. WSTĘP

Powierzchnia elementów nadwozi pojazdów samochodowych pokryta jest lakierowym systemem powłokowym zbudowanym z wielu powłok o grubości od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów (rys. 1). Cały system powłokowy ma za zadanie ochronę nadwozia 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 katarforetyczna 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 (np. woda, sól, temperatura, promieniowanie słoneczne), 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, do tego celu stosuje się szlifowanie papierami ściernymi o różnej gramaturze i kształcie. Szlifowanie może powodować jednak skutki uboczne np. zanieczyszczenie środowiska. Poza tym, jest to proces trudny do kontrolowania, ponieważ nie jest możliwe usuwanie warstwy powłoki lakierowej z dokładnością do kilku mikrometrów. Taka kontrola procesu jest szczególnie ważna, ponieważ:

- produkcyjna powłoka lakierowa posiada grubość 95-135  $\mu\text{m}$  (rys. 1), a nawet 165  $\mu\text{m}$  (np. w samochodach Ferrari)
- często nie jest konieczne usuwanie wszystkich warstw powłoki lakierowej (np. gdy uszkodzeniu uległy tylko wybrane powłoki lub gdy chcemy tylko polepszyć walory dekoracyjne),
- materiał podłoża nie powinien zostać uszkodzony w procesie usuwania powłoki lakierowej.



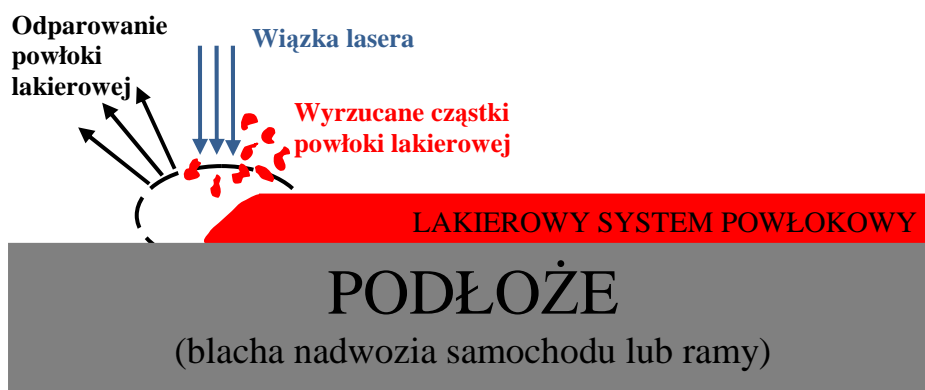
Rys. 1. Budowa produkcyjnego lakierowego systemu powłokowego stosowanego w nadwoziach samochodów osobowych

Renowacja powłoki lakierowej polega na usunięciu uszkodzonego systemu powłokowego lub pojedynczych powłok, odpowiednie przygotowanie powierzchni oraz natryśnięcie nowej powłoki, przywracając w ten sposób walory dekoracyjne i ochronne [1-3].

Poza kontrolą w usuwaniu powłoki lakierowej bardzo ważne w procesie renowacji powłoki, a szczególnie w przygotowaniu podłoża pod natryskiwanie kolejnej warstwy powłoki jest także wytworzenie na jej powierzchni odpowiedniego profilu chropowatości. Ma to szczególne znaczenie w zakresie zapewnienia odpowiedniej adhezji (przyczepności). Wpływa to również na jakość powłoki lakierowej.

W procesach technologicznych czyszczenia i usuwania systemu powłok lakierowych z elementów nadwozi samonośnych i ram samochodów, dąży się do uzyskania odpowiedniej chropowatości powierzchni, wysokiej czystości, przy zachowaniu wymaganych standardów ekologicznych. Aktualnie stosuje się najczęściej mechaniczne usuwanie powłok, głównie przez szlifowanie (np. szlifierkami oscylacyjnymi lub ręcznie papierami wodnymi).

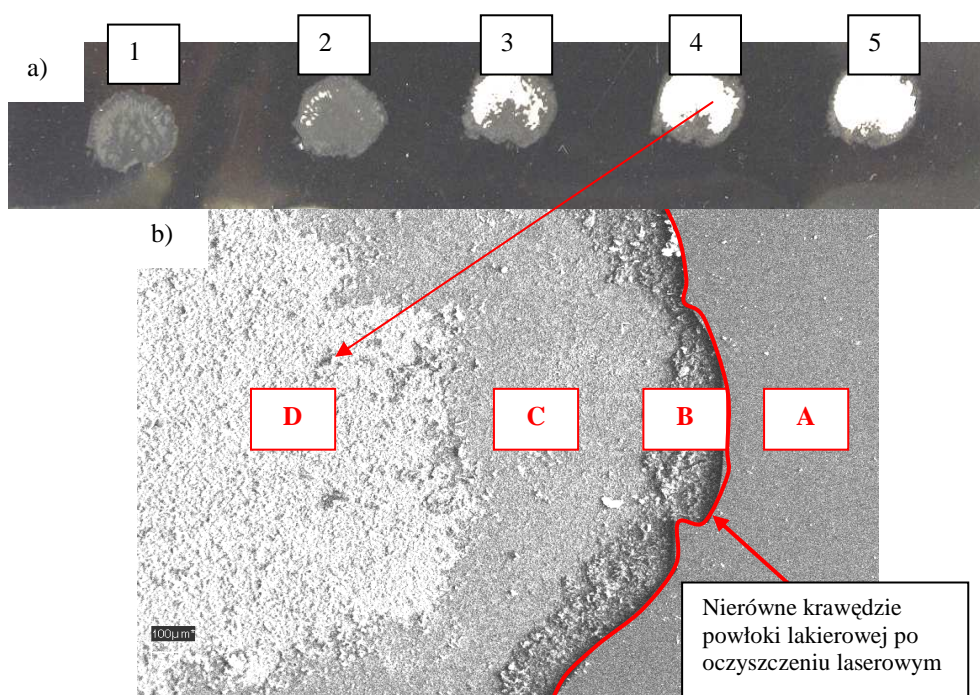
Specyficzne właściwości promieniowania laserowego [4] dają bardzo duże możliwości w zakresie ablacyjnego czyszczenia i usuwania kolejnych powłok systemu lakierowego z bardzo dużą precyzją oraz wysoką wydajnością. Stosując odpowiednią długość promieniowania laserowego (np. 1064 nm, 532 nm, 355nm, 256 nm), krótkie (tj. nano- i piko sekundowe) impulsy laserowe, odpowiednią gęstość mocy, częstotliwość repetycji, kształt wiązki (mod - TEM) oraz precyzyjne oddziaływanie na powłoki można uzyskać zaskakująco pozytywne efekty. Ponieważ powłoki te są najczęściej polimerowe, dlatego też do ich czyszczenia i usuwania można stosować lasery np. o działaniu ciągłym i impulsowym, CO<sub>2</sub>, Nd:YAG, excimerowe, o krótkich czasach ekspozycji (np. nano- i piko sekundowe). Dzięki ich zastosowaniu można uniknąć uszkodzenia podłoża oraz prowadzić selektywny proces usuwania powłok. Na rys. 2 przedstawiono mechanizm usuwania powłok lakierowych wiązką lasera Nd:YAG, która powoduje częściowo odparowanie powłoki lakierowej pod wpływem temperatury, a także wyrzucenie pozostałych cząstek pod wpływem działania fali ciśnienia, w efekcie doprowadzając do odsłonięcia podłoża.



Rys. 2. Schemat poglądowy zjawiska ablacji laserowej w zakresie usuwania lakierowego systemu powłokowego

## 2. WYBRANE WYNIKI BADAŃ ABLACYJNEGO USUWANIA POWŁOKI LAKIEROWEJ

We wstępnych badaniach laboratoryjnych zastosowano laser Nd:YAG o działaniu impulsowym (max. 10 Hz) oraz maksymalnej energii w impulsie 500 mJ. Czas ekspozycji promieniowania nie przekraczał 25 ns. Usuwanie powłoki lakierowej następowało poprzez efekt ablacji wywołanej dużą gęstością mocy w krótkim czasie (kilkunastu sekund) przy oddziaływaniu pojedynczych impulsów wiązki laserowej (rys. 3a). Pojedyncze impulsy oraz nierównomierny rozkład gęstości mocy w wiązce powodował brak możliwości kontrolowania procesu – nie można z dużą dokładnością przewidzieć obszaru na jaki zadziała wiązka lasera (z wyjątkiem zastosowania maski technologicznej). Występował także problem usunięcia dokładnie takiej grubości powłoki lakierowej jaką potrzebujemy. Po oddziaływaniu wiązki laserowej powstały także nierówne krawędzie powłoki pozostałej po usunięciu wybranego obszaru (rys. 3b), a także strefy lakierowego systemu powłokowego o różnym stopniu oczyszczenia, powstałe po oddziaływaniu wiązki laserowej o rozkładzie zbliżonym do Gaussa. Najlepszym rozkładem wiązki laserowej w procesie oczyszczania jest rozkład prostokątny. Następuje wtedy równomierne oczyszczenie całej strefy poddanej oddziaływaniu wiązki laserowej.

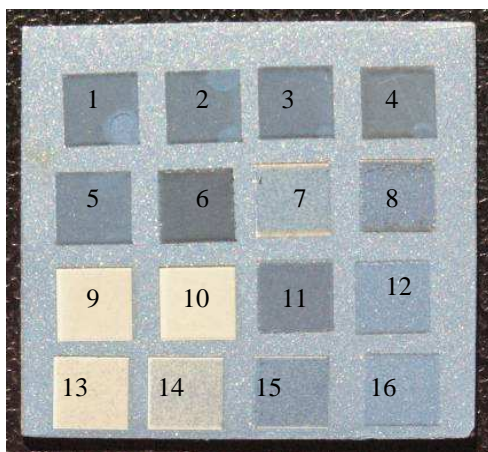


Rys. 3. Wyniki eksperymentu z użyciem lasera Nd:YAG bez głowicy Galvo – usuwanie lakierowego systemu powłokowego przy oddziaływaniu pojedynczych impulsów wiązki laserowej o rozkładzie zbliżonym do Gaussa; a – różne warianty oczyszczania laserowego (1-5), b – lakierowy system powłokowy z odsłoniętymi różnymi warstwami powłoki

*lakierowej – widoczna duża niejednorodność usunięcia wynikająca z rozkładu gęstości mocy wiązki laserowej; A – lakier bezbarwny, B – lakier bazowy z wypełniaczem metalicznym (płytki aluminium), C – podkład wypełniający, D – grunt katalforetyczny*

W następnym etapie, badaniom poddana została próbka nadwozia samonośnego samochodu marki Fiat Panda pokryta lakierowym systemem powłokowym z wypełniaczem metalicznym (płytki aluminium) – rys. 4.

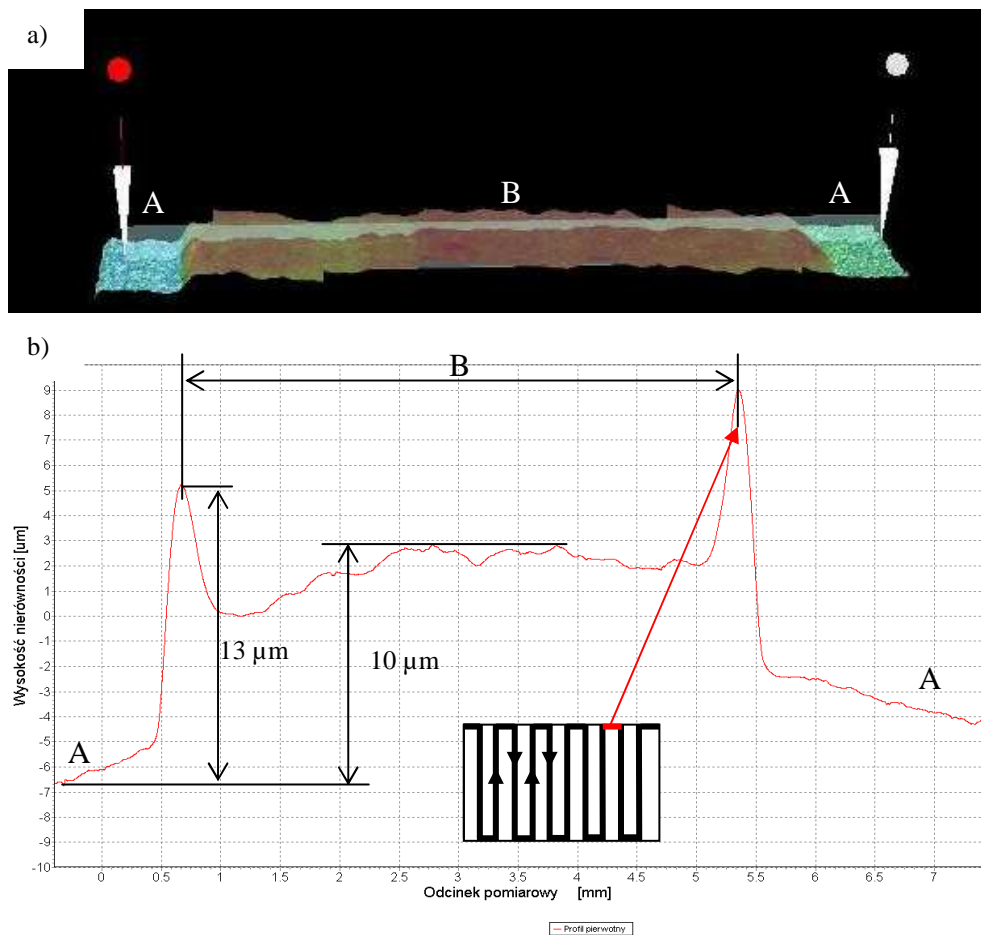
Powłoka ta, została oczyszczona za pomocą wiązki lasera włóknowego Yb:YAG o następujących parametrach: długość fali promieniowania  $\lambda=1064$  nm, czas ekspozycji 25 ns, częstotliwość repetycji 3 – 500 kHz z głowicą Galvo. Zastosowano 16 różnych parametrów oddziaływania wiązki. Różne efekty oczyszczania powłoki uzyskano regulując gęstość mocy wiązki laserowej, częstotliwość repetycji oraz prędkość skanowania głowicy.



*Rys. 4. Próbka pobrana z nadwozia samonośnego samochodu osobowego z naniesionym lakierowym systemem powłokowym z wypełniaczem metalicznym, poddana 16 różnym wariantom mikroobróbki laserowej (1-16)*

W artykule przedstawione zostały trzy warianty oczyszczania powłoki lakierowej (wariant 3, 11 oraz 13 – rys. 4). Dla zobrazowania wybranych efektów usuwania powłoki lakierowej na rys. 5-8 przedstawiono topografię powierzchni oraz profil charakterystycznych stref.

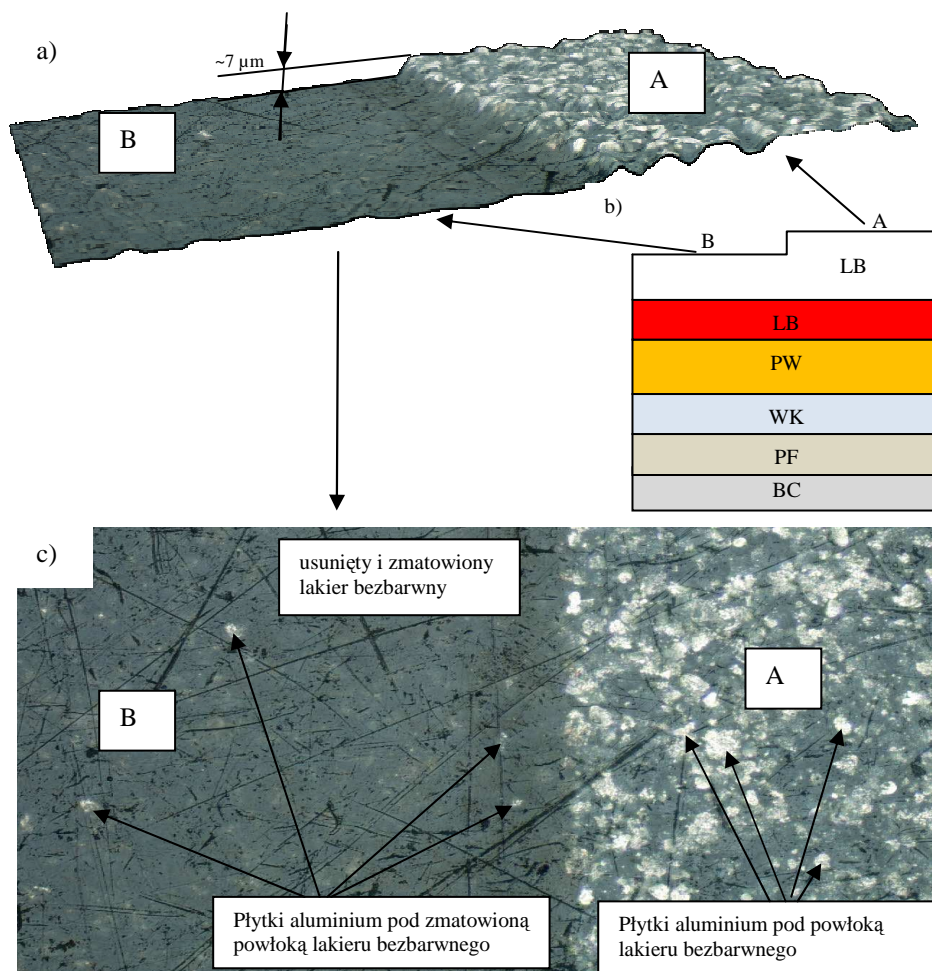
W pierwszym wariantcie nieodpowiednie dobranie parametrów, czyli zbyt małej gęstości mocy promieniowania oraz niewielkiej prędkości skanowania spowodowało nadtopienie powłoki lakierowej i jej uniesienie na wysokość ok. 10  $\mu\text{m}$  w środkowej strefie oczyszczanej powierzchni oraz ok. 13  $\mu\text{m}$  w zewnętrznych strefach, tam gdzie występuje największa gęstość mocy promieniowania spowodowana chwilowym zatrzymaniem się w tej strefie głowicy Galvo oraz jej zawrócenie. Uniesienie się powłoki lakierowej przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Profil powierzchni powłoki lakierowej po skanowaniu wiązką laserową przy nieodpowiednim doborze parametrów procesu; A – powierzchnia przed oczyszczaniem laserowym, B – powierzchnia po oczyszczaniu laserowym – wariant 3 mikroobróbki laserowej (rys. 4)

Drugim analizowanym wariantem oczyszczania laserowego jest usunięcie kilku mikrometrów (ok. 7  $\mu\text{m}$ ) lakieru bezbarwnego, czyli górnej warstwy powłoki lakierowej (rys. 6). Takie usunięcie lakieru jest bardzo potrzebne w przypadku lekkiego zarysowania lub zmatowienia powłoki lakierowej, czyli uszkodzeniu powłoki dość często występującemu podczas eksploatacji pojazdu. W celu usunięcia kilku mikrometrów warstwy wierzchniej powłoki zastosowano większą gęstość mocy promieniowania w porównaniu do poprzedniego wariantu oraz zdecydowanie większą prędkość skanowania

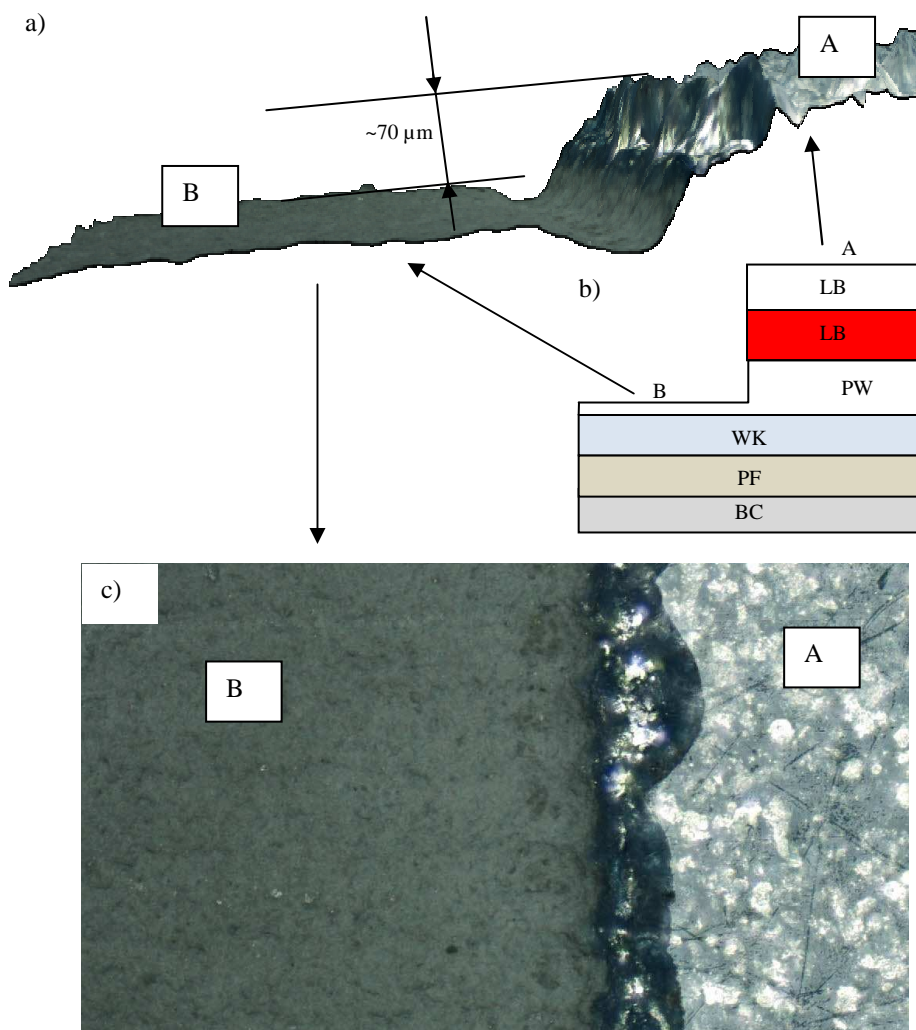
wiązką laserową. Dzięki zwiększeniu prędkości skanowania nie doszło do przegrzania materiału, a tym samym zwiększenia jej objętości.



Rys. 6. Topografia powierzchni próbki z lakierowym systemem powłokowym pobranej z nadwozia samonośnego pojazdu samochodowego po impulsowym oddziaływaniu wiązki laserowej; A – strefa przed oddziaływaniem wiązki laserowej, B – strefa po oddziaływaniu wiązki laserowej – wariant 11 mikroobróbki laserowej (rys. 4)

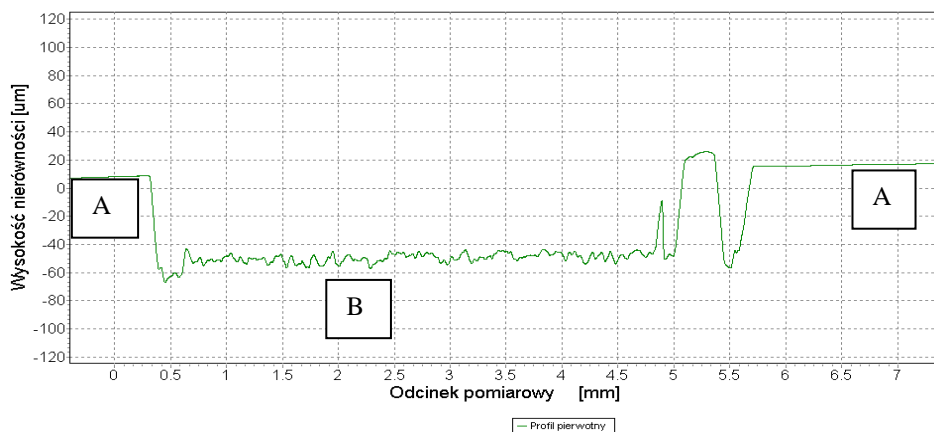
W trzecim wariantcie oczyszczania laserowego przedstawiono efekty oczyszczenia dwóch warstw powłoki lakierowej, tj. lakieru bezbarwnego oraz lakieru bazowego z wypełniaczem metalicznym (płytki aluminium). W wyniku oddziaływania impulsowego promieniowania laserowego odstłonięto podkład wypełniający. Efekt ten uzyskano poprzez 5-krotne skanowanie powierzchni wiązką laserową przy takich samych parametrach jak w

poprzednim wariantcie. Dzięki wielokrotnemu skanowaniu uzyskano usunięcie ok. 70  $\mu\text{m}$  powłoki lakierowej (rys. 7, 8).



Rys. 7. Topografia powierzchni próbki pobranej z nadwozia samonośnego pojazdu samochodowego z naniesionym lakierowym systemem powłokowym po oddziaływaniu wiązki laserowej i usunięciu ok. 70  $\mu\text{m}$  powłoki – wariant 13 mikroobróbki laserowej (rys. 4)





Rys. 8. Profilogram powierzchni próbki pobranej z nadwozia samonośnego pojazdu samochodowego z naniesioną powłoką lakierową po oddziaływaniu wiązki laserowej i usunięciu ok. 70 µm powłoki – wariant 13 mikroobróbki laserowej (rys. 4)

### 3. WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że stosując ablacyjną mikroobróbkę laserową można oczyszczać elementy nadwozia samonośnego oraz selektywnie i bardzo dokładnie usuwać elementy składowe lakierowego systemu powłokowego. W wyniku przeprowadzonych wstępnych badań laboratoryjnych nasunęły się następujące wnioski:

1. Aby odpowiednio usuwać powłoki lakierowe należy znać podstawowe parametry wiązki laserowej (np. długość fali promieniowania, gęstość mocy, czas trwania impulsu, częstotliwość repetycji, prędkość skanowania, absorpcyjność powłoki itd.). Wskazaniem jest stosowanie dużej gęstości mocy przy krótkich impulsach promieniowania laserowego (nano- i pikosekundowych) oraz dużej prędkości skanowania wiązką laserową (np. większej niż 1000 mm/s).
2. 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.
3. Przy niewielkiej gęstości mocy promieniowania laserowego oraz małej prędkości skanowania uzyskano niekorzystny efekt nadtopienia powłoki lakierowej. Lakier pod wpływem temperatury zwiększył swoją objętość i podniósł się o ok. 10 µm.
4. Stosując większą prędkość skanowania oraz większą gęstość mocy promieniowania laserowego uzyskano bardzo korzystny efekt technologiczny –ablacyjne usunięcie kilku mikrometrów lakieru bezbarwnego.
5. Kilkukrotne skanowanie tej samej powierzchni powłoki lakierowej, przy takiej samej gęstości mocy promieniowania laserowego spowodowało usunięcie kilkunastu lub nawet kilkudziesięciu mikrometrów powłoki lakierowej. Wynika z tego, że możliwe jest usuwanie kilku warstw powłoki lakierowej przy jednym skanowaniu, a nawet usunięcie całego lakierowego systemu powłokowego bez uszkodzenia materiału podłoża.

#### 4. 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] Ziętek B.: *Lasery*. Wydawnictwo naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009
- [5] Józwicki R. *Technika laserowa i jej zastosowania*. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009
- [6] 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.
- [7] Burakowski T., Marczak J., Napadłek W., *Istota ablacyjnego oczyszczania laserowego materiałów*. Prace Instytutu Elektrotechniki, LIII, Zeszyt 228'06 (2006), 125 – 135.
- [8] Burakowski T, Napadłek W., Marczak J., *Ablacyjna mikroobróbka laserowa w areologii*. Inżynieria Materiałowa nr 5 (153), rok XXVII, wrzesień – październik, 2006, 882 – 889.
- [9] 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.