



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



SAMORZĄD WOJEWÓDZTWA  
WIELKOPOLSKIEGO  
WOJEWÓDZKI URZĄD PRACY  
W POZNANIU

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Piotr Dziarski**

**Politechnika Poznańska**

Stypendysta projektu pt. „Wsparcie stypendialne dla doktorantów na kierunkach uznanych za strategiczne z punktu widzenia rozwoju Wielkopolski”, Poddziałanie 8.2.2 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki

## **Warstwy powierzchniowe na tytanie i stopie Inconel 600 laserowo modyfikowane wybranymi pierwiastkami międzywęzłowymi**

Tytan i jego stopy ze względu na dobre połączenie właściwości mechanicznych i fizyko-chemicznych są szeroko stosowane w przemyśle np. lotnictwo, kosmonautyka, przemysł chemiczny, bioinżynieria. Stopy tytanu wykazują doskonałą odporność korozyjną, dużą wytrzymałość przy jednoczesnym małym ciężarze własnym. Podobnie z powodu doskonałej odporności na korozję stopy niklu są używane w przemyśle chemicznym, naftowym i budowie turbin. Jednak w przypadku stosowania tych stopów w warunkach zużycia ściernego nie posiadają one wystarczającej twardości i odporności na ścieranie.

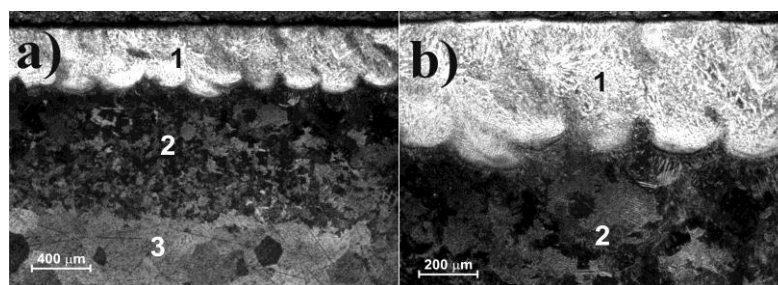
W niniejszej pracy doktorskiej zaproponowano zwiększenie odporności na ścieranie i twardości tych materiałów stosując obróbkę laserową – stopowanie borem i węglem.

Stopowanie laserowe pozwala wytworzyć warstwy zawierające twardą ceramikę (np. TiB, TiC) czy też borki chromu lub borki niklu, które cechują się korzystnymi właściwościami użytkowymi, na stopach metali nieżelaznych (nikiel, tytan).

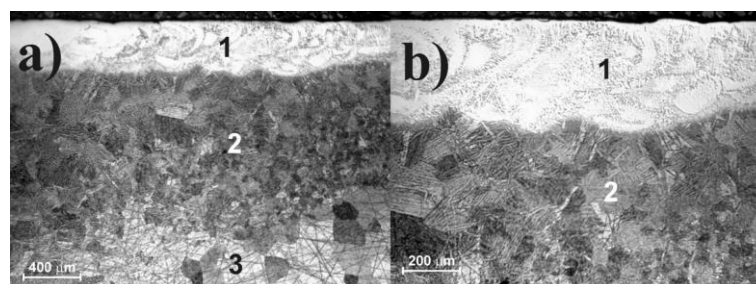
Badania prowadzone w ramach pracy doktorskiej mają na celu pokazanie korzyści wynikających z zastosowania techniki laserowego stopowania do różnych materiałów (nikiel, tytan i jego stopy) oraz przekonanie o potrzebie zwiększania odporności na zużycie ściernie dla różnych części maszyn.

Poprawa właściwości tribologicznych metali i stopów metali nieżelaznych jest sprawą kluczową dla tych materiałów, gdyż pomimo doskonałych właściwości wytrzymałościowych, odporności na korozję, małej gęstości ciepła one z powodu braku odporności na ścieranie. Wadę tę można wyeliminować tylko i wyłącznie przez modyfikację warstwy wierzchniej. Jak wiadomo na podstawie literatury borki czy węgliki są bardzo twarde i posiadają doskonałą

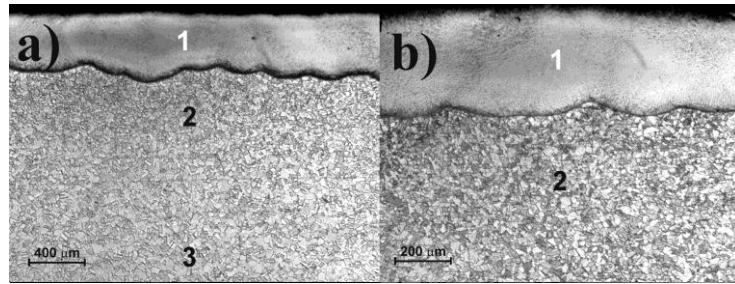
odporność na ścieranie, dlatego opisana w pracy technologia laserowego stopowania warstwy wierzchniej materiałów nieżelaznych może okazać się doskonałą alternatywą dla konwencjonalnych procesów obróbki cieplno-chemicznej. Dotychczasowo stosowane metody wytwarzania warstw powierzchniowych na tytanie bądź niklu są czasochłonne (trwają nawet do 12 godzin, w przypadku borowania tytanu), energochłonne (ponieważ przez bardzo długi czas trzeba działać wysoką temperaturą) a ponadto uzyskane efekty nie zawsze są zadowalające. W przypadku wytwarzania twardej ceramiki borkowej na tytanie proces trwa bardzo długo, temperatura jest wysoka (rzędu  $950^{\circ}\text{C}$ ) a w rezultacie uzyskuje się bardzo cienką warstwę o grubości  $10\ \mu\text{m}$ . Zastosowane w niniejszej pracy laserowe stopowanie borem i węglem umożliwiło uzyskanie grubych (nawet do  $500\ \mu\text{m}$ ), nieporowatych warstw na powierzchni tytanu oraz stopów niklu. Laserowe stopowanie spowodowało wytworzenie warstw powierzchniowych zawierających twardą ceramikę, która dostarcza doskonałej odporności na ścieranie bez utraty odporności korozyjnej. Stopowanie laserowe jest bardzo efektywną i szybką metodą wytwarzania warstw powierzchniowych na tytanie oraz stopach niklu. Uzyskane w ramach niniejszej pracy warstwy są grube, jednorodne, zwarte, cechują się brakiem porowatości i pęknięć, co przedstawiono na rysunkach 1-3.



Rys. 1. Warstwa stopowana laserowo borem wytworzona na czystym tytanie z użyciem mocy wiązki laserowej 1,95 kW. 1 – strefa przetopiona zawierająca borki tytanu  $\text{TiB}$  i  $\text{TiB}_2$ ; 2 – strefa wpływu ciepła; 3 – podłoże. [autor rys. Piotr Dziarski]

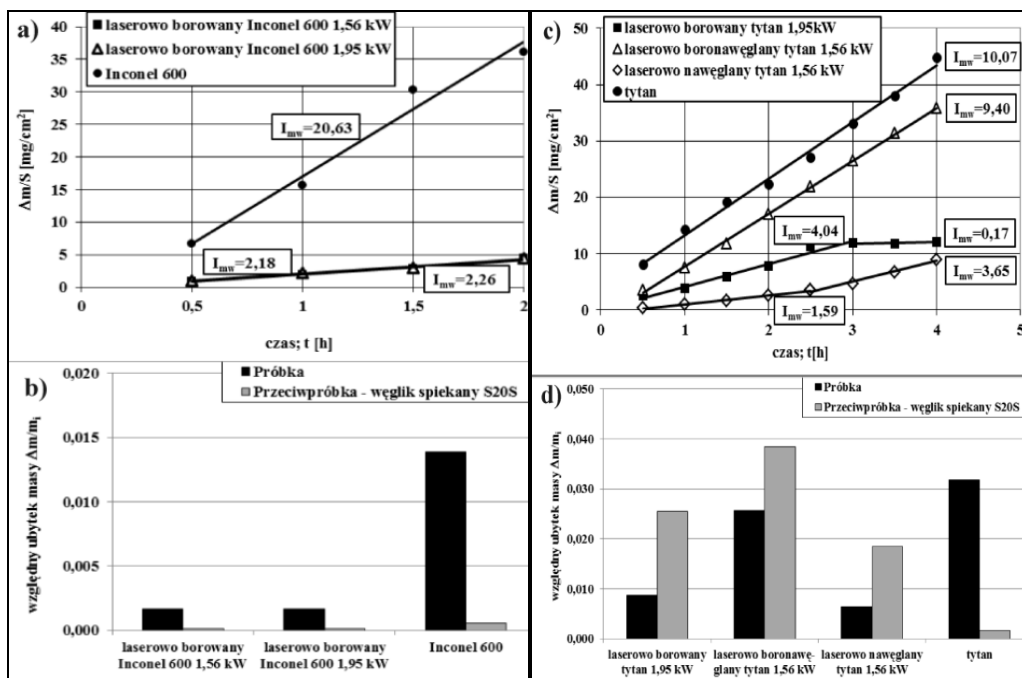


Rys. 2. Warstwa stopowana laserowo węglem wytworzona na czystym tytanie z użyciem mocy wiązki laserowej 1,56 kW. 1 – strefa przetopiona zawierająca węgliki tytanu  $\text{TiC}$ ; 2 – strefa wpływu ciepła; 3 – podłoże. [autor rys. Piotr Dziarski]



Rys. 3. Warstwa stopowana laserowo borem wytworzona na stopie Inconel 600 z użyciem mocy wiązki laserowej 1,95 kW. 1 – strefa przetopiona zawierająca borki niklu oraz borki chromu; 2 – strefa wpływu ciepła; 3 – podłoże. [autor rys. Piotr Dziarski]

Przeprowadzono również badania odporności na zużycie przez tarcie wytworzonych warstw. Przykładowe wyniki przedstawiono na rysunku 4. Z przeprowadzonych testów wynika, że wytworzenie na powierzchni stopu niklu Inconel 600 warstwy borowanej powoduje nawet dziesięciokrotne zwiększenie jego odporności na zużycie przez tarcie (rys. 4 a,b) w porównaniu do czystego stopu Inconel 600. Podobnie dla tytanu wytworzenie warstw borowanych, boronawęglanych i nawęglanych powoduje zwiększenie odporności na zużycie przez tarcie. W porównaniu do czystego tytanu odporność na zużycie przez tarcie zwiększyła się nawet sześciokrotnie (rys. 4 c i d).



Rys. 4. Porównanie wyników badania odporności na zużycie przez tarcie warstw: a) i b) borowanych laserowo na stopie Inconel 600; c) i d) borowanych, boronawęglanych i nawęglanych na tytanie. [autor rys. Piotr Dziarski]

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na konieczność wytwarzania twardych ceramicznych warstw na stopach niklu i tytanie, ponieważ dostarczają one tym materiałom dużej odporności na zużycie przez tarcie. Stąd też wniosek, że laserowe stopowanie tytanu i jego stopów oraz niklu i jego stopów borem lub węglem stosując metodykę opisaną w niniejszej pracy doktorskiej pozwala na szersze stosowanie tych materiałów, zwłaszcza w warunkach tarcia i dużych nacisków. Metoda laserowego stopowania opisana w pracy jest ekologiczna i przede wszystkim nie wymaga długiego czasu oraz istnieje możliwość obróbki wybranych miejsc z powierzchni. Laserowe stopowanie borem lub węglem powoduje zwiększenie odporności na zużycie przez tarcie, przez co narzędzia i elementy maszyn zyskują na trwałości i bezpieczeństwie pracy.