

# PRÓBY TECHNOLOGICZNE NAPAWANIA ELEMENTÓW TECHNICZNYCH METODĄ LASER METAL DEPOSITION (LMD)

Streszczenie

*W artykule przedstawiono zalety i wady technologii laserowego napawania proszkami stopów metali (LMD). Zamieszczono przykłady napawania nowych elementów oraz regeneracji elementów zużytych z użyciem różnych stopów proszków metali. Prezentowane przykłady aplikacji stanowią opis możliwości podnoszenia trwałości eksploatacyjnej przez laserowe napawanie. Słowa kluczowe: technologia Laser Metal Deposition (LMD), proszki stopów metali, powłoki, regeneracja, napawanie*

## Wprowadzenie

Trwałość eksploatacyjna elementów technicznych w budowie maszyn jest szczególnie ważna w aspekcie zużycia i niezawodności kompletnych zespołów maszyn i urządzeń. Często elementy te są poddawane w eksploatacji bardzo dużym obciążeniom mechanicznym, procesom zmęczeniowym i zużyciu tribologicznemu [1-9].

Tendencje światowe wskazują na konieczność nie tylko projektowania i stosowania nowych materiałów, ale także stosowania procesów regeneracyjnych w tym obróbek powierzchniowych, np. borowania laserowego [8, 9]. Obróbki powierzchniowe polegające na utwardzaniu warstw wierzchnich elementów technicznych odpornymi na ścieranie stopami metali pozwalają na zwiększenie ich trwałości eksploatacyjnej i jednocześnie staje się ekonomicznie uzasadnione.

W ostatnich latach coraz większą popularnością cieszą się metody obróbki powierzchniowej z wykorzystaniem technologii *Laser Metal Deposition* (LMD).

Technologia ta pozwala jednocześnie na tworzenie nowych warstw jak również laserowe ich hartowanie, dzięki czemu warstwy te są bardziej odporne na obciążenia, mają wyższą twardość i trwałość eksploatacyjną. Podczas procesu napawania zachodzi zmiana struktury powierzchni, tworzenie się warstwy odpornej na ścieranie, czynniki korozyjne, zmęczenie itp.

Istotne jest także wykorzystanie tej technologii do regeneracji zużytych lub uszkodzonych elementów roboczych maszyn i urządzeń. Zastosowanie zabiegów regeneracyjnych jest szczególnie pożądane, zwłaszcza gdy nie ma nowej zastępczej części lub gdy koszt regeneracji jest znacznie niższy niż koszt wykonania/zakupienia nowej części.

W Laboratorium Zespołu Badań i Rozwoju Materiałów Konstrukcyjnych w Przemysłowym Instytucie Maszyn

Rolniczych w Poznaniu od trzech lat wykorzystywane jest urządzenie technologiczne do napawania laserowego proszkami metali i ich stopów TruCell 3008 firmy TRUMPF z laserem duo diodowym TruDisk 1000.

## Proces Laser Metal Deposition (LMD)

Istotą procesu jest trójstrumieniowy nadmuch proszku metalu na element metalowy poddawany obróbce, a następnie laserowe przetopienie tego proszku wraz z warstwą wierzchnią elementu, celem utworzenia warstwy o nowych właściwościach. Oczywiście, jak każda z metod technologicznych, technologia LMD ma swoje zalety i wady, które przedstawiono w tab. 1.

Urządzenie True Laser Cell 3008 (rys. 1) składa się z następujących elementów:

- komory roboczej CELL 3008,
- generatora lasera TRU DISK 1000,
- podajnika proszku,
- chłodnicy lasera,
- wyciągu/urządzenia odpylającego.

Podstawowe parametry techniczne lasera oraz komory roboczej zestawiono w tab. 2 i 3.

Nadmuch proszku metalu i stapianie laserem jest wykonywane przez głowicę, która zapewnia trójstrumieniowe doprowadzenie proszku w atmosferze argonu oraz centralne doprowadzenie wiązki lasera w osłonie helu lub argonu. Widok trójstrumieniowej głowicy napawającej pokazano na rys. 2.

Urządzenie TRUMPF w przedstawionej konfiguracji zapewnia właściwy sposób budowy kolejnych warstw napawanych oraz odpowiednie parametry geometryczne warstwy napawanej, co pokazano na rys. 3.

W urządzeniu firmy TRUMPF wiązka lasera jest generowana przez moduł diodowy, za pomocą bezpośredniej konwersji prądu elektrycznego na światło lasera.

Tab. 1. Zalety i wady technologii LMD

Table 1. Advantages and disadvantages of LMD

Zalety technologii LMD	Wady technologii LMD
działanie lokalne	pylenie podczas procesu napawania
bardzo mały obszar wpływu ciepła	brak wykorzystania całego proszku z uwagi na sposób doprowadzenia - nadmuch
możliwość wykorzystania dowolnych proszków metali	ograniczona szerokość napoiny do 3 mm (konstrukcja głowicy, moc lasera)
dowolna ilość nakładanych warstw	ograniczona granulacja proszku
możliwość dowolnego kształtowania toru ścieżki (sterowanie CNC)	wysoki koszt zakupu urządzenia
brak kontaktu - metoda obróbki bezstykowa	

Źródło: opracowanie własne / Source: own working



Źródło: opracowanie własne / Source: own working

Rys. 1. Widok urządzenia TRU LASER CELL 3008 oraz poszczególnych jego elementów

Fig. 1. TRU Laser Cell 3008 device and auxiliary equipment

Tab. 2. Dane lasera TruDISK 1000

Table 2. TruDisk 1000 technical data

Nazwa parametru	Tru Laser Disk 1000
Długość fali	1020 nm
Moc lasera	1000 W
Jakość wiązki lasera	2 mm·mrad
Minimalna średnica włókna światłowodowego	50 μm
Stabilizacja nominalnej wartości mocy lasera	1%
Zakres temperatury chłodzenia	5 - 20°C
Zakres mocy	1 - 1000 W
Średnica wiązki lasera (na przedmiocie obrabianym)	0,3 - 7,5 mm (zalecane maks. 3,5) z uwagi na ogniskowanie dyszy proszku (około 3 mm)

Źródło: opracowanie własne / Source: own working

Tabela 3. Dane komory roboczej TRUCELL 3008

Table 3. TRUCELL 3008 technical data

Zakres pracy	Tru Laser Cell 3008
Oś X	800 mm
Oś Y	500 mm
Oś Z	400 mm
Oś B	± 135°
Oś C	n x 360°
Tolerancja pozycji	0,015 mm
Maksymalne prędkości X Y Z	30 m/min

Źródło: opracowanie własne / Source: own working

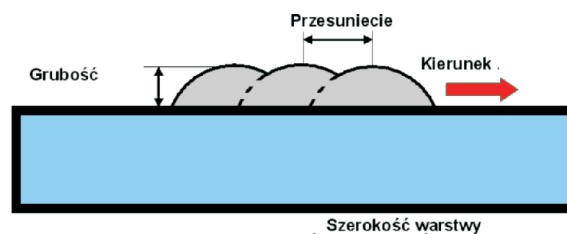


Strumień proszku nadmuchiwany trójstrumieniowo w miejscu działania wiązki laserowej w osłonie gazowej

Źródło: opracowanie własne / Source: own working

Rys. 2. Widok trójstrumieniowej głowicy napawającej

Fig. 2. Triaxial laser cladding deposition head



Źródło: opracowanie własne / Source: own working

Rys. 3. Geometryczne cechy nakładanej ścieżki

Fig. 3. Geometrical properties of laser cladding layer

Komora robocza TRUCELL 3008 jest wyposażona w pulpit sterujący, a interfejs użytkownika jest zbudowany w oparciu o system SIEMENS SINUMERIK. Możliwe jest ręczne programowanie programów obsługi i pracy urządzenia z wykorzystaniem poleceń CNC. Jest to zasadne w przypadku wykonywania prostym poleceń ruchu i pracy urządzenia w układzie osi XYZ. Obsługa urządzenia i programowanie w trybie manualnym wymaga znajomości zasad postępowania z urządzeniami laserowymi, znajomości obsługi ustawień zestawu oraz podstaw programowania CNC.

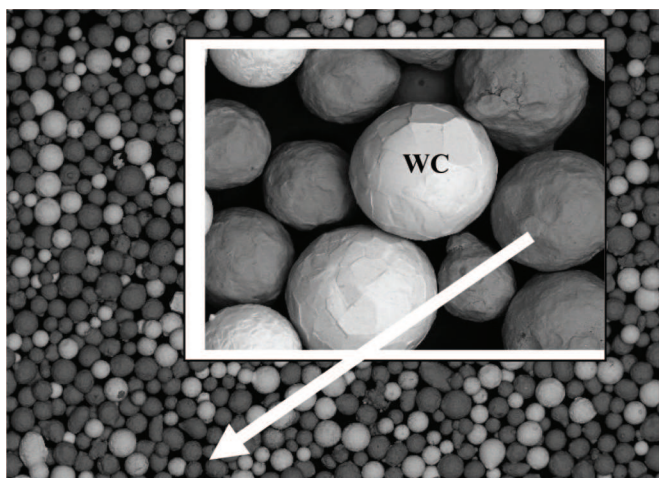
W przypadku programowania zagadnień o złożonym stopniu skomplikowania i wieloosiowym ruchu głowicy napawającej (maksymalnie pięć osi ruchu), w połączeniu z ruchem np. śrubowym, cyklicznym, obrotowym itp. istnieje możliwość wykorzystania dedykowanego oprogramowania TRUTOPS do laserowej obróbki przestrzennej 3D elementów firmy TRUMPF.

Należy jednak podkreślić, że proces technologicznego napawania warstw metalicznych jest bardzo złożony. Ilość występujących parametrów, mających wpływ na jakość naprawy jest duża. Dlatego też konieczne jest wcześniejsze poznanie właściwości warstw napawanych z użyciem danego typu proszku, aby móc prawidłowo dobrać i zaprojektować, a następnie zaprogramować ruch narzędzia roboczego i głowicy napawającej, a w końcowym etapie wytworzyć warstwę wierzchnią o dobrych parametrach fizykochemicznych.

#### Próby technologiczne napawania w technologii LMD

W ramach prac badawczych wykonano szereg prób technologicznych mających na celu regenerację części oraz zwiększenie trwałości eksploatacyjnej warstw wierzchnich.

Jako materiał napawany użyto proszków stopów metali, o różnych właściwościach, kształcie i wielkości ziarna: AMI 1060.60, AMI 9302, Stellite 6, TML 220S. Na rys. 4 pokazano widok kształtu ziaren proszku TML 220S o granulacji  $-150 +45 \mu\text{m}$  będącego mieszaniną proszków TMC-340 (Iconel 625) oraz sferycznego węgla wolframu (WC) w proporcji 50/50 masowo.



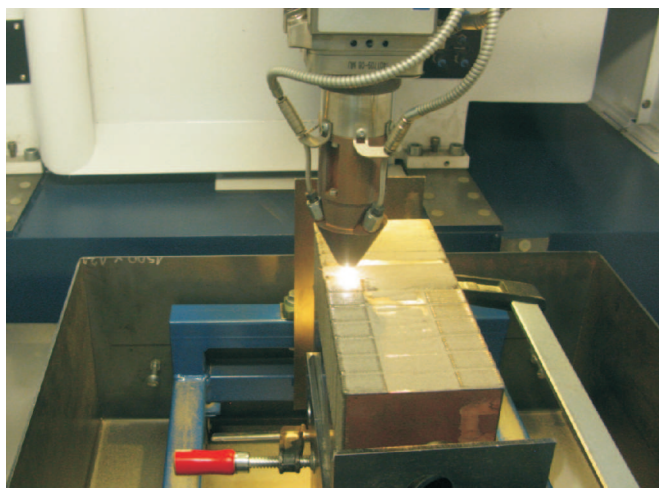
Źródło: opracowanie własne / Source: own working

Rys. 4. Zdjęcia obrazujące kształt ziaren proszku TML 220S, mikroskop skaningowy Vega Tescan, powiększenia 54x i 300x  
Fig. 4. Shape of TML 220S metal powder particles, SM Vega Tescan, zoom 54x and 300x

Parametry technologiczne procesu laserowego napawania, przy wykorzystaniu urządzenia LASER TRUCELL 3800 (LMD), mieszczą się w przedziałach:

- moc lasera: 700-900 W,
- średnica wiązki lasera: 2-3 mm,
- ilość proszku: 10-20 g/min,
- prędkość ruchu głowicy: 500-1000 mm/min.

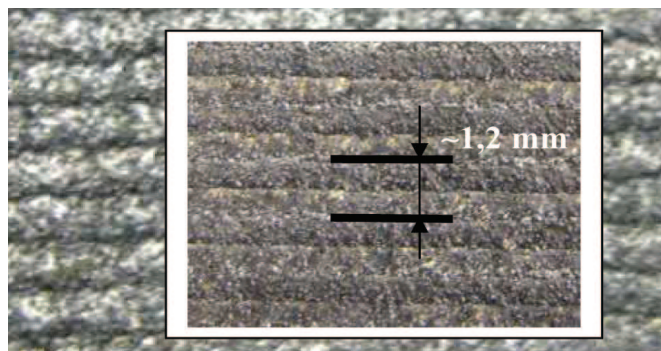
Na rys. 5 pokazano przykładowy proces napawania laserowego dużych noży bijakowych do rozdrabniania biomasy, a na rys. 6 przedstawiono obraz topografii powierzchni uzyskanej w tym procesie powłoki.



Źródło: opracowanie własne / Source: own working

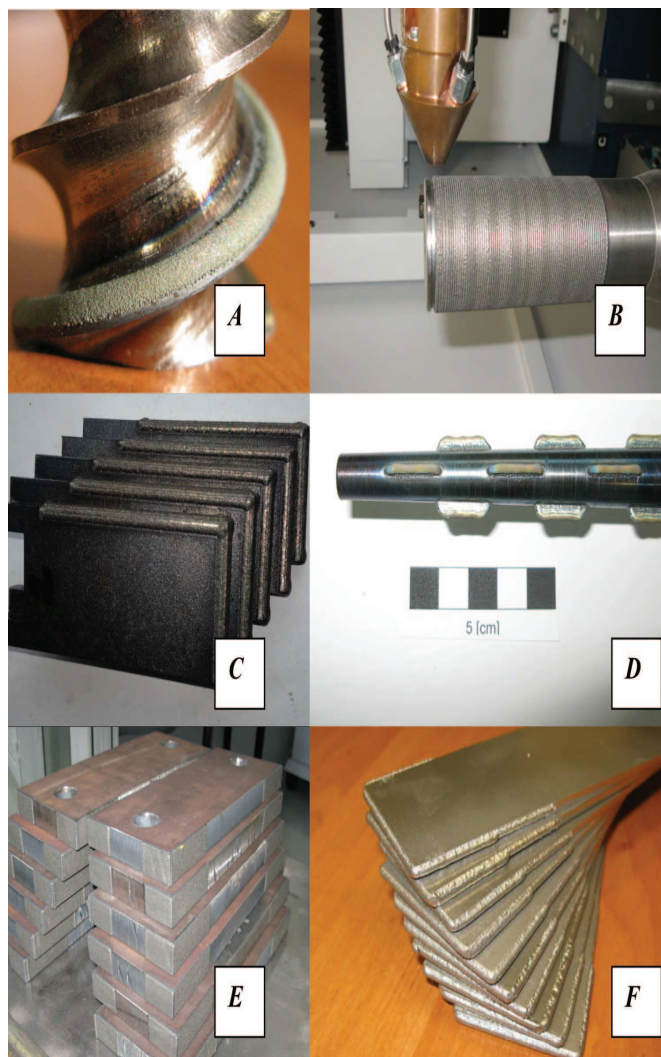
Rys. 5. Proces napawania laserowego dużych noży bijakowych  
Fig. 5. Laser cladding process of large impact hammers

Wyniki prób technologicznych napawania laserowego proszkami stopów metali różnych pod względem konstrukcyjnym elementów nowych i poddawanych procesowi ich regeneracji przy użyciu metody LMD pokazano na rys. 7 i 8.



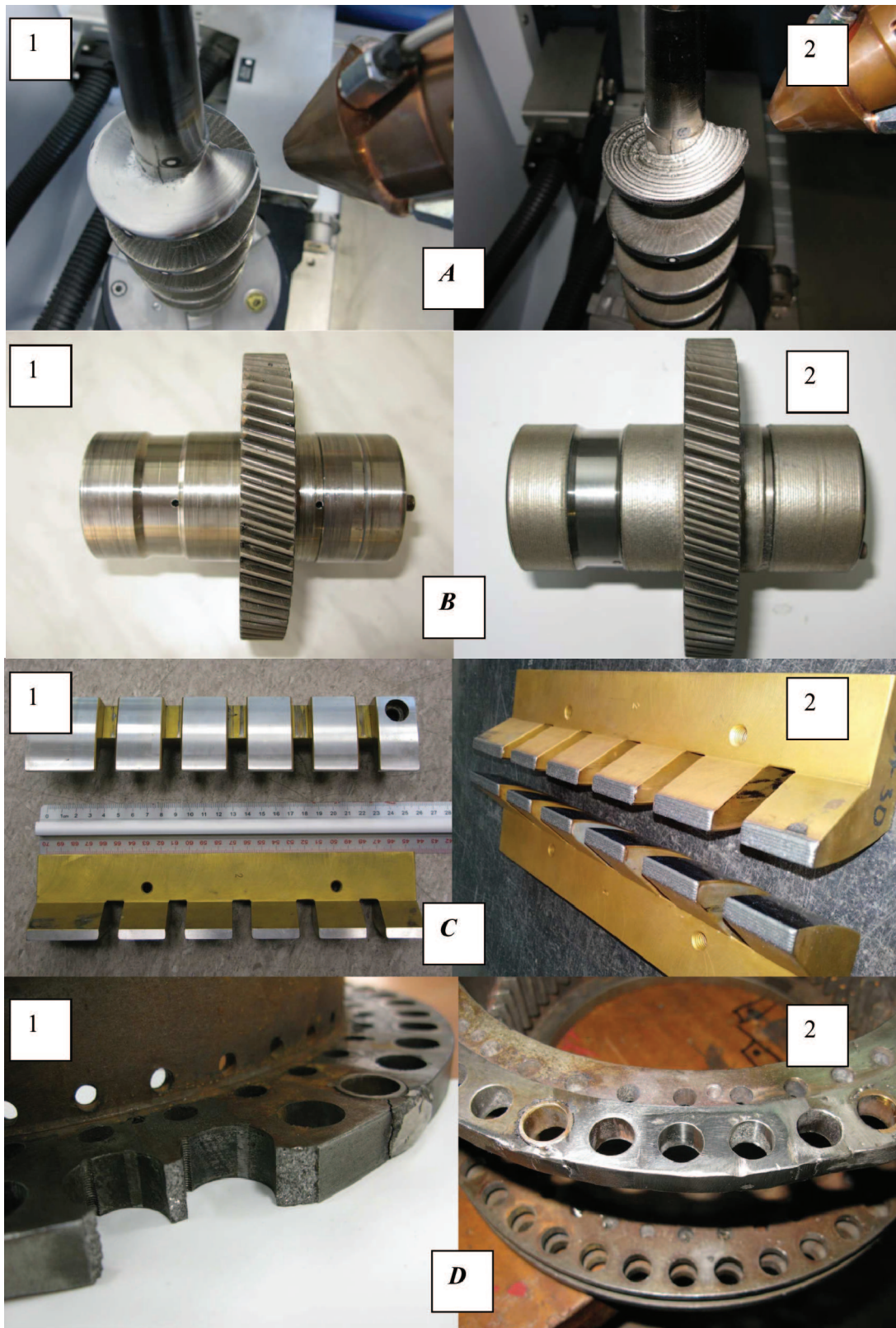
Źródło: opracowanie własne / Source: own working

Rys. 6. Topografia powierzchni warstwy napawanej na podłożu stalowym  
Fig. 6. Surface topography of laser cladded metal layer on steel



Źródło: opracowanie własne / Source: own working

Rys. 7. Fotografie obrazujące napawane twardymi stopami elementy robocze stosowane w budowie maszyn: A) ślimak do wytłaczarki tworzyw sztucznych, B) walek siłownika hydraulicznego, C) łopatki mieszalnika, D) środnik prasy zwijającej słomę, E) noże bijakowe duże do rozdrabniaczy młotkowych, F) noże bijakowe małe do rozdrabniaczy młotkowych  
Fig. 7. Parts used in machine construction, applied with metal surface laser cladding: A) screw extruder for plastic, B) hydraulic cylinder shaft, C) mixer blades, D) central shaft of straw baler, E) large impact hammers for hammermills, F) small impact hammers for hammermills



Źródło: opracowanie własne / Source: own working

Rys. 8. Fotografie obrazujące napawane elementy robocze poddane procesowi regeneracji:

- A) ślimak do tłoczenia biomasy, przed (1) i po regeneracji (2),
- B) koło zębate pompy olejowej samochodu IVECO, przed (1) i po regeneracji (2),
- C) uchwyt do produkcji chusteczek, przed (1) i po regeneracji (2),
- D) wieniec koła do produkcji cukierków przed (1) i po regeneracji (2)

Fig. 8. Parts used in machine construction, regenerated with metal surface laser cladding:

- A) worm shaft for pressing the biomass before (1) and after the regeneration process (2),
- B) IVECO oil pump shaft, before (1) and after the regeneration process (2),
- C) holder used in production of tissues before (1) and after the regeneration process (2),
- D) rim used for production of candies before (1) and after the regeneration process (2)

## Podsumowanie

Zastosowanie metody napawania laserowego (LMD) przy użyciu TRU LASER CELL 3008 z laserem diodowym 1KW w celu podniesienia trwałości eksploatacyjnej elementów technicznych gwarantuje uzyskanie napoiny z proszków metali, o dobranym składzie jakościowym i ilościowym odpowiednich węglików (m.in. wolframu, boru, kobaltu), o dużej trwałości tribologicznej. [3, 4, 5, 7].

Do zalet tej technologii można zaliczyć:

- wykonawstwo na urządzeniu ze sterowaniem CNC (duża powtarzalność i dokładność),
  - brak iskrzenia napawanych elementów, np. noży bijakowych (materiał napawany - napoina z węglikiem wolframu (sferycznym) o ziarnie maksymalnym 150  m),
  - możliwość wykonania partii elementów, które różnią się masą napoiny poniżej 1 g,
  - brak spękań w napoinie,
  - przetop warstwy pozbawiony porów.
- Do jednostkowych wad tej metody zaliczyć można:
- widoczną, na pokrywanym napoiną elemencie, strefę wpływu ciepła (jednak znacznie mniejszą niż przy napawaniu elektrodą i plazmowo).

Prace nad doskonaleniem technologii napawania metodą LMD w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych są kontynuowane w aspekcie regeneracji i dalszego zwiększenia trwałości eksploatacyjnej, zmniejszenia masy elementów technicznych i zoptymalizowania procesu technologicznego.

## Bibliografia

- [1] Napad lek W., Bogdanowicz Z.: Pr by technologiczne napawania laserowego zawor w wylotowych silnika lotniczego. Journal of KONES, 2007, 4, 285-294.
- [2] Napad lek W., Przetakiewicz W.: The researches of laser treatment influence on tribology properties of 40H steel. Scientific Papers of the Institute of Machine Design and Operation of the Technical University of Wroclaw, Poland, 2002, vol. 87, 249-254.
- [3] Bartkowski D., M ynarczyk A., Piasecki A., Dudziak B., Go ciański M., Bartkowska A.: Microstructure, microhardness and corrosion resistance of Stellite-6 coatings reinforced with WC particles using laser cladding. Optics & Laser Technology, 2015, vol. 68, 191-201.
- [4] Piasecki A., Bartkowski D., M ynarczyk A., Dudziak B., Go ciański M., Kasprowiak M.: Laser cladding of Stellite 6 on low carbon steel for repairing components in automotive applications using disk laser. Archives of Mechanical Technology and Automation 2013, 2, 25-34.
- [5] Piasecki A., M ynarczyk A., Bartkowski D., Dudziak B., Go ciański M., Paczkowska M., Popławski M.: Kompozytowe warstwy powierzchniowe z cz stkami WC w osnowie stopu niklu wytworzone metod  napawania laserowego. Inżynieria Materiałowa, 2014, 5, 397-400.
- [6] Pilarczyk J., Banasik M., Dworak J., Stano S.: Centrum laserowe Instytutu Spawalnictwa - mo liwosci, badania i zastosowania przemyslowe. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach, 2010, vol. 54, 44-50.
- [7] Dudziak B.: Examples of parts regeneration used in the internal combustion engines made in LMD technology. Combustion Engines, 2013, 3, 977-980.
- [8] Pertek A., Kapcińska-Popowska D., Bartkowska A., Wi niewski K.: Wpływ borowania dyfuzyjnego i laserowego na mikrostrukturę i wybrane wla ciwosci stali Hardox 450. Inżynieria Materiałowa, 2013, 5, 530-533.
- [9] Kapcińska-Popowska D., Pertek-Owsianna A., Go ciański M.: Wpływ borowania laserowego na wla ciwosci tribologiczne stali HARDOX 450. Technika Rolnicza Ogrodnicza Le na, 2013, 5, 21-23.
- [10] Pilarczyk J., Banasik M., Dworak J., Stano S.: Technologiczne zastosowania wi zki laserowej w Instytucie Spawalnictwa. Przegl d Spawalnictwa, 2006, 78, 6-10.

## LASER CLADDING TECHNOLOGICAL TESTS ON TECHNICAL ELEMENTS USING LASER METAL DEPOSITION METHOD (LMD)

### Summary

The article describes the technology and the advantages and disadvantages of laser metal deposition technology of alloy powders (LMD). Examples of laser cladding on selected elements and examples of part's regeneration using different alloys of metal powders have been presented. Presented application examples are a description opportunities to improve service life by laser cladding.

**Key words:** laser technology, Laser Metal Deposition (LMD), metal alloys, coatings, regeneration, laser cladding



**KOSZTY PRACY MASZYN LEŚNYCH**

ISBN 978-83-927505-2-9

**KOSZTY PRACY MASZYN LEŚNYCH**

Książka adresowana jest przede wszystkim do prywatnych przedsiębiorców Leśnych, Służb Leśnych i pracowników technicznych w Nadleśnictwach, Dyrekcjach Regionalnych oraz Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych i ma na celu przedstawienie sposobu wyliczenia kosztów usług maszynowych wykonywanych w lasach.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych  
60-963 Poznań, ul. Starolecka 31  
tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;  
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: http://www.pimr.poznan.pl