

THE INFLUENCE OF SELECTED METAL POWDER LASER CLADDING PARAMETERS ON THE C45 STEEL IN THE ASPECT OF HARDNESS CHANGES

Summary

The influence of selected metal powder NiCrBSi (AMI 1060.60) laser cladding parameters on the C45 steel in the aspect of hardness changes has been presented in the paper. Preliminary experimental research determining the proper technological parameters of the process have been done. Padding welds with necessary quality and good adhesion with the ground material have been obtained and described.

Key words: steel; cladding; laser; powders of metals; physical properties; laboratory experimentation; quality; adhesion

WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW LASEROWEGO NAPAWANIA PROSZKU STOPÓW METALI NA STAL TYPU C45 W ASPEKTCIE ZMIAN TWARDOŚCI NAPOINY

Streszczenie

W pracy przedstawiono wpływ wybranych parametrów laserowego napawania proszku metali NiCrBSi (AMI 1060.60) na stal typu C45 w aspekcie zmian twardości napoiny. Wstępne badania obejmowały wyznaczenie zakresów technologicznych parametrów napawania, zapewniających uzyskanie napoin o odpowiedniej jakości oraz gwarantujących odpowiednią adhezję z materiałem podłoża.

Słowa kluczowe: stal; napawanie; laser; proszki metali; właściwości fizyczne; badania laboratoryjne; jakość; adhezja

1. Wprowadzenie

Trwałość eksploatacyjna elementów maszyn rolniczych jest szczególnie ważna w aspekcie trwałości i niezawodności całych maszyn, pracujących najczęściej w krótkich okresach agrotechnicznych. Awaria elementu lub zespołu prowadzi często do koniecznego postoju, a straty w plonach są niepowetowane. Dlatego tak istotny i jednocześnie trudny jest optymalny dobór materiału konstrukcyjnego w budowie maszyn rolniczych. Elementy i zespoły maszyn są w czasie eksploatacji (w różnych okresach agrotechnicznych) poddawane bardzo dużym obciążeniom mechanicznym i tribologicznym. Szczególnie dotyczy to grupy maszyn do uprawy gleby, gdzie mamy do czynienia nie tylko z intensywnym ścieraniem twardymi cząstkami gleby, ale także z oddziaływaniem fizyko-chemiczno-mechanicznym gleby na narzędzie.

Gleba jest bardzo złożonym obiektem charakteryzującym się specyficznymi cechami morfologicznymi oraz właściwościami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi. W Polsce zróżnicowanie gleb jest na tyle duże, że stochastycznie, zmieniają się procesy jakościowe uprawy gleby. Decyduje o tym nie tylko kształt elementu roboczego, zróżnicowana biologicznie, fizycznie i chemicznie gleba, ale przede wszystkim oddziaływanie wymuszeń agrotechnicznych elementów roboczych. Zużycie mechaniczne, zmiana geometrii elementu objawiać się może zmianami wykraczającymi poza założone przedziały wartości, prowadząc do znacznej utraty trwałości eksploatacyjnej maszyny. Zmiany te mogą być wynikiem złożonych procesów związanych z pracą narzędzia w glebie i szeregiem interakcji energetycznych i złożonych procesów tribologicznych.

Dlatego też tak trudne jest zoptymalizowanie doboru materiałów i konstrukcji elementów uprawowych oraz planowanie trwałości eksploatacyjnej maszyn i zespołów

w aspekcie zróżnicowanych w czasie warunków ich zużycia się. Materiałom stosowanym na te elementy stawia się bardzo wysokie wymagania: chemiczne, fizykomechaniczne, tribologiczne i korozyjne. Tendencje światowe wskazują na konieczność nie tylko projektowania i stosowania nowych materiałów, ale także utwardzania warstw powierzchniowych odpornymi na ścieranie stopami metali, co staje się ekonomicznie uzasadnione.

Jedną z takich nowoczesnych metod jest laserowe napawanie proszków metali. W Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu zakupiono urządzenie pozwalające na napawanie proszków stopów metali na podłożu metalowe, dla osiągnięcia jak najlepszych parametrów tribologicznych układu warstwa napawana-podłoże.

W pracy pokazano wstępne badania wpływu parametrów laserowego napawania stopu NiCrBSi (AMI 1060.60) na stal typu C45 w aspekcie zmian twardości napoiny.

2. Charakterystyka urządzenia

Eksperymenty badawcze wykonano na urządzeniu do laserowego napawania i prototypowania elementów z proszków metali. Urządzenie zostało wyprodukowane przez firmę TRUMPF (Niemcy). W jego skład wchodzi następujące elementy: komora robocza TRUCCELL 3008, sterowana numerycznie z trójstrumieniową głowicą do napawania proszków metali, podajnik proszków metali, laser dyskowy o znamionowej mocy 1000 W, Lasercell 1000 oraz oprzyrządowanie pomocnicze; układy chłodzące oraz filtrujące powietrze. Widok tego urządzenia pokazano na rys. 1.

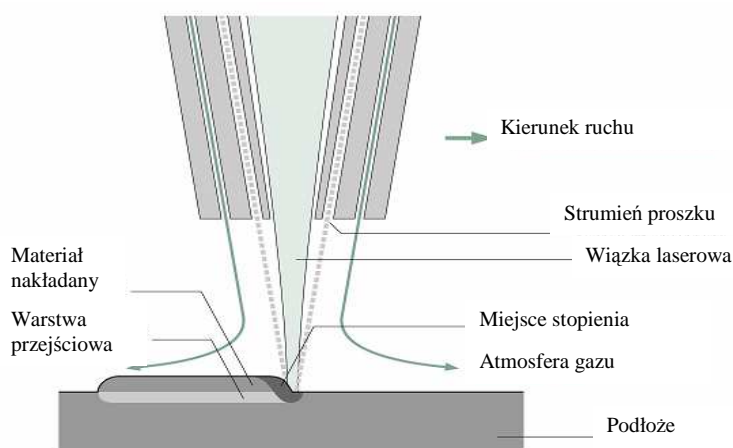
Proces napawania proszku stopów metali za pomocą lasera ma miejsce w zamkniętej komorze roboczej, w której proszek jest doprowadzany przez gaz nośny (hel) przez 3 kanały – dysze, znajdujące się w głowicy.



Rys. 1. Widok urządzenia do laserowego stapiania proszków metali firmy TRUMPF znajdującego się w Laboratorium Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych w Poznaniu

Fig. 1. View of the metal powder laser cladding machine in laboratory in the Industrial Institute of Agricultural Engineering in Poznan

Centralnym kanałem w głowicy jest doprowadzona wiązka lasera oraz gaz osłonowy (argon). Fizyczny proces stapiania i napawania proszku zachodzi 12 mm poniżej głowicy, w miejscu gdzie następuje koncentracja trzech strumieni nadmuchiwanego proszku oraz centralnie doprowadzonej wiązki lasera. Schematycznie sposób napawania proszku metalu w urządzeniu firmy TRUMPF przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat napawania proszku metalu w urządzeniu firmy TRUMPF [1]

Fig. 2. Nozzle laser metal deposition: process diagram TRUMPF [1]

Tab. 1. Skład chemiczny (udział procentowy poszczególnych pierwiastków) próbek ze stali C45

Table. 1. Chemical composition (percentage of individual elements) in specimen of C45 steel

Pierwiastek	C	Fe	S	P	Ni	Mn	Si	Mo	Cr
Procentowy udział	0,45	reszta	0,02	0,01	0,25	0,22	0,00	0,03	0,11

Tab. 2. Skład chemiczny (udział procentowy poszczególnych pierwiastków) próbki proszku AMI 1060.60

Table. 2. Chemical composition (percentage of individual elements) in specimen of AMI 1060.60 metal powder

Pierwiastek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe	Co	Ni	B
Procentowy udział	0,71	4,41	0,05	0,01	0,003	15,30	3,11	0,07	reszta	3,44

3. Charakterystyka użytych materiałów

Podczas wykonywanych prób technologicznych wykorzystano dwa rodzaje materiałów. Materiałem bazowym, podporowym była płytka wykonana ze stali C45 o wymiarach 100 x 60 mm i grubości 10 mm. Stal C45 jest powszechnie i wszechstronnie stosowanym materiałem konstrukcyjnym w budowie części i zespołów oraz narzędzi roboczych maszyn rolniczych. Udział procentowy poszczególnych pierwiastków, zmierzony na analizatorze składu chemicznego firmy SOLARIS PLUS, pokazano w tab. 1.

Do napawania użyto proszek NiCrBSi o oznaczeniu producenta AMI 1060.60, prod. niemieckiej firmy AMIL Wt GmbH. Był to proszek o sferycznym kształcie ziarna i granulacji w zakresie -105 +45 μm . Skład chemiczny proszku i udział procentowy poszczególnych pierwiastków stopowych, gwarantowany przez producenta, pokazano w tab. 2.

Istotne znaczenie dla wyboru tego stopu do napawania miał duży udział węgla, chromu, a przede wszystkim boru w jego składzie chemicznym.

4. Parametry procesu napawania (dobre doświadczenie)

Dobór parametrów procesu napawania proszkiem metalu wymaga przyjęcia wielu wartości parametrów odpowiedzialnych za proces technologiczny, wykonywany na danej maszynie. Wśród parametrów technologicznych, odpowiednich dla posiadanej aparatury badawczej TRUCCELL 3008, można wymienić charakterystyczne parametry, które wyszczególniono w tab. 3. Jednocześnie w tabeli tej podano wartości, jakie przyjęto podczas prób technologicznych napawania (warianty 1, 2, 3).

Tab. 3. Wartości parametrów technologicznych dla prób napawania (warianty 1, 2, 3)
 Table. 3. Technological parameters values for laser cladding (variant 1, 2, 3)

Parametr technologiczny	wariant 1	wariant 2	wariant 3
Ilość materiału napawanego [g/min]	12	12	12
Ilość gazu nośnego materiału napawanego [l/min]	8	8	8
Ilość gazu osłonowego [l/min]	10	10	10
Moc lasera [W]	400	1000	1000
Prędkość ruchu głowicy – posuw [mm/min]	1200	900	600
Kolimacja wiązki lasera* [-]	3	15	30
Szerokość wiązki lasera [mm]	0,42	1,62	3,26
Gęstość energii [J/mm ²]	48	41	31

* przez zmianę wartości kolimacji wiązki lasera ustawia się średnicę wiązki lasera – wielkość plamki w ognisku – obszarze, w którym następuje napawanie. Szerokość wiązki lasera można ustalić z dokładnością do 0,1 mm, jednak szerokość rzeczywista napawanego proszku będzie inna od zadanej średnicy wiązki lasera, z uwagi na zjawisko stopienia i płynięcia materiału w obszarze przetopu

Dla wykonanych eksperymentów badawczych przyjęto stałe wartości parametrów odpowiedzialnych za ilość dostarczanego materiału napawanego – proszku NiCrBSi, tj.: ilość proszku, ilość gazu nośnego materiału napawanego, ilość gazu osłonowego. Pozostałe parametry procesu technologicznego dobrano eksperymentalnie dla poszczególnych wariantów doświadczenia.

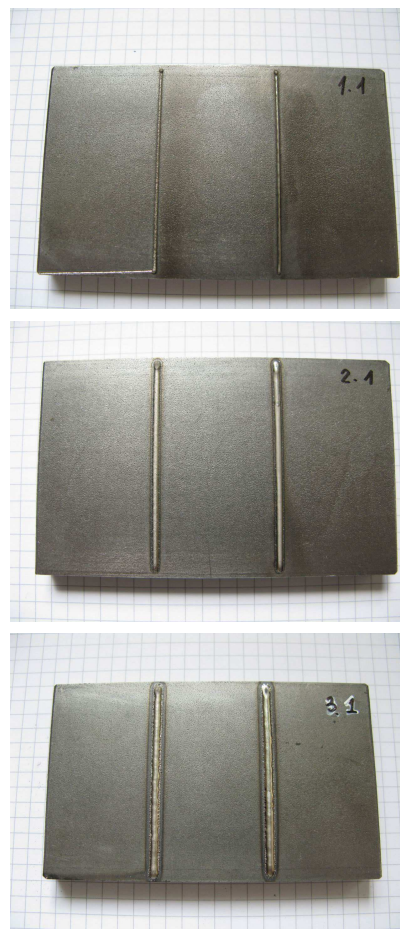
Na podstawie obliczeń, dla danych wariantów przebiegu doświadczenia wyznaczono wartości współczynników i parametrów technologicznych charakteryzujących proces napawania proszku metalu w aspekcie energetycznym.

5. Wykonanie eksperymentalnych napawań

Napoinę proszku NiCrBSi o długości około 60 mm wykonano w poprzek próbki materiału bazowego - stali C45, z przyjętymi parametrami technologicznymi (wariant 1, 2, 3). Dla każdego z trzech wariantów wykonano, dwie próby, przy czym próba druga charakteryzowała się dodatkowym zabiegiem technologicznym w postaci ponownego przejścia tylko wiązki lasera (z zachowaniem jednakowych parametrów), bez podawania proszku. Zabieg ten stanowił zatem „technologiczne dogładzanie laserowe”, tj. ponowne przetopienie i hartowanie napoiny. W efekcie ponownego oddziaływania wiązki lasera zmieniła się struktura zewnętrzna warstwy napoiny proszku z chropowatej na gładką, lśniącą. Widok próbek materiału bazowego z wykonanymi napoinami proszku AMI 1060.60 przedstawiono na rys. 3.

Z materiału płytki bazowej przedstawionej na rys. 3. wycięto, hydroabrazyjnie, próbki i wykonano zglądy metalograficzne w płaszczyźnie poprzecznej, prostopadłej do ścieżki napawanej na materiale bazowym.

Wykonane zglądy metalograficzne umożliwiły pomiar mikro-twardości (przy użyciu mikrotwardościomierza PMT-3) oraz pomiar wartości geometrycznych, charakteryzujących poszczególne napoiny (mikroskop optyczny MET3-XJP6). Przykładowy widok napoiny (w wariacie 1) przedstawiono na rys. 4.



Rys. 3. Widok próbek materiału bazowego stali C45 oraz napawanych ścieżek stopu AMI 1060.60

Fig. 3. View of the basic material of C45 steel with laser cladding padding welds of AMI1060.60 powder



Rys. 4. Widok przykładowej napoiny w przekroju poprzecznym (w wariacie 1); z prawej strony, próbka po dodatkowym zabiegu laserowego dogładzania, powiększenie 100x, mikroskop MO MET3-XJP6

Fig. 4. View of the padding weld in a cross section (variant 1), on the right the specimen after extra laser cladding without powder, 100x zoom, microscope MO MET3-XJP6

6. Wyniki eksperymentu technologicznego

Pomiaru mikrotwardości dokonano w czterech obszarach próbki:

- w warstwie materiału napawanego – stopie NiCrBSi (AMI 1060.60),
- w warstwie materiału bazowego objętej zmianą cieplną – obszar wpływu ciepła, warstwa przejściowa,
- w warstwie materiału bazowego bez zmiany cieplnej – materiał bazowy, warstwa podłoża,

- na granicy warstwy napawanej oraz materiału bazowego. Wyniki pomiarów mikrotwardości $HV_{0,2}$ dla poszczególnych wariantów doświadczenia zaprezentowano w formie tabelarycznej w tab. 4. Wyniki pomiarów wartości geometrycznych napoin i obszarów wpływu ciepła zestawiono w tab. 5.

Na rys. 5, pokazano przekroje warstw po napawaniu proszkiem NiCrBSi (AMI 1060.60) na stal C 45 (grubość warstw na przekroju, uzależniona od szerokości warstwy napawanej).

Tab. 4. Wartości pomiarów mikrotwardości dla różnych wariantów napawania

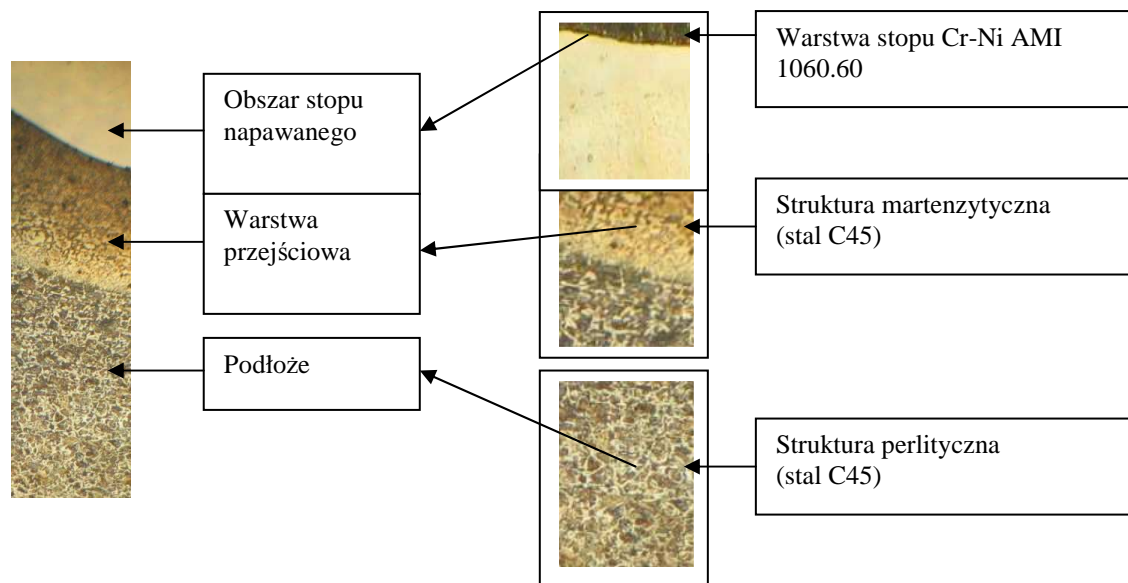
Table 4. Values of micro hardness for different variants of laser cladding

Lp.	Grubość ścieżki napawanego stopu	Rodzaj warstwy	Średnia wartość mikrotwardości $HV_{(0,2)}$	
			bez dogładzania	z dogładzaniem
1.	Wariant 1 Kolimacja 3 szerokość napoiny 0,42 mm	Stop napawany	623	746
		Warstwa przejściowa	661	758
		Warstwa podłoża	270	276
2.	Wariant 2 Kolimacja 15 szerokość napoiny 1,67 mm	Stop napawany	666	782
		Warstwa przejściowa	637	570
		Warstwa podłoża	270	284
3.	Wariant 3 Kolimacja 30 szerokość napoiny 2,58 mm	Stop napawany	861	946
		Warstwa przejściowa	620	660
		Warstwa podłoża	270	284

Tab. 5. Wyniki pomiarów cech geometrycznych napoin w przekroju poprzecznym

Table 5. Measurement values of geometrical features of padding welds in a cross section

Wariant doświadczenia	Wysokość napoiny [mm]	Wysokość strefy wpływu ciepła [mm]	Szerokość napoiny [mm]	Całkowita szerokość obszaru zmian [mm]
Wariant 1	0,35	0,15	0,63	0,82
Wariant 1 z dogładzaniem	0,24	0,15	0,57	0,76
Wariant 2	0,71	0,38	1,67	2,30
Wariant 2 z dogładzaniem	0,63	0,40	1,92	2,40
Wariant 3	0,67	0,58	2,58	3,90
Wariant 3 z dogładzaniem	0,58	0,65	2,65	4,15



Rys. 5. Przekroje warstw po napawaniu proszkiem NiCrBSi na stal C 45 (grubość warstw na przekroju, uzależniona od szerokości warstwy napawanej)

Fig. 5. Cross section of NiCrBSi padding weld layers on the C45 steel (thickness of layers in a cross section depends on the width of padding weld)

7. Wnioski

1. Dobór parametrów laserowego napawania proszków metalu przy użyciu urządzenia LASERCELL 3008, produkcji firmy TRUMPF z głowicą trójstrumieniową, ma istotne znaczenie dla technologicznego wykonania napoin o odpowiednio dobrych właściwościach strukturalnych i fizykomechanicznych.

2. W wyniku wstępnych prób technologicznych napawania proszku AMI 1060.60 na stal C-45, uzyskano napoiny o zróżnicowanej mikrotwardości od 746 do 946 HV_{0,2}. Uzyskanie warstwy napawanej o wysokiej twardości naniesionej na miękki materiał podłoża, jest bardzo istotne w aspekcie aplikacji tej technologii do produkcji i modyfikacji części maszyn rolniczych narażonych na intensywne ścieranie, w celu zwiększenia ich trwałości eksploatacyjnej.

3. Wysoka twardość napoin jest związana z zastosowaniem proszku o dużej zawartości boru, powyżej 3%) i wytworzeniem się w procesie napawania borków żelaza typu FeB i Fe₂B.

4. Próby napawania laserowego w technologii LMD należy uznać za pozytywne i rokujące perspektywy wdrożeń przemysłowych nie tylko w branży maszyn rolniczych.

5. Próby technologiczne mające na celu zwiększenie trwałości eksploatacyjnej w redliczkach ze stali C45 oraz w nowo opracowywanych redliczkach z żeliwa ADI zostały wykonane w ramach projektu rozwojowego N R 03 0009.

8. Bibliografia

- [1] Materiały źródłowe i dokumentacja techniczna urządzenia LASERCELL 3008 firmy TRUMPF – Niemcy.
- [2] Mazumder J. et al.: The direct metal deposition of H13 tool steel for 3-D components. Research Summary JOM, May 1997: 55-60.
- [3] Kobryn P. A., Moore E.H., Semiatin S.L.: The effect of laser power and traverse speed on microstructure, porosity and build height in laser deposited Ti-6Al-4V. Wyd. Elsevier: Scripta Materialia, 2000, nr 43: 299-305.
- [4] Yellup J.M.: Laser cladding using the powder blowing technique. Surface and Coatings Technology, 1995, nr 71: 121-128.
- [5] Lewis G. K., Schlienger E.: Practical considerations and capabilities for laser assisted direct metal deposition. Materials&Design, 2000, nr 21: 417-423.
- [6] Guijun Bi, Gasser A., Wissenbach K., Drenker A., Poprawe R.: Characterization of the process control for the direct laser metallic powder deposition. Surface and Coating Technology, 2006, nr 201: 2676-2683.