



Napawanie laserowe

K. Cziba^a, M. Serweciński^a, M. Bonek^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: mirosław.bonek@polsl.pl

Streszczenie: W artykule zamieszczono ogólne informacje dotyczące napawania laserowego. Ukazano wpływ parametrów napawania na głębokość przetopu oraz jakość napoiny. Przedstawiono przewagę napawania laserowego nad metodami klasycznymi np. GTA pod względem jakości oraz główną wadę, jaką jest cena urządzeń. W dalszej części przedstawiono wpływ stężenia Si_3N_4 zawartego w proszku na twardość oraz ilość austenitu szczątkowego w powierzchni po napawaniu korzystając z informacji zawartych w artykule autorów Chien-Kuo Sha oraz Hsien-Lung Tsai.

Abstract: Article provides general information about the laser hardfacing. It shows the impact of laser hardfacing parameters on the melting depth and the overlay quality. Paper presents the advantage of laser hardfacing over conventional methods such as GTA in terms of quality and the main disadvantage which is high price of equipment. In the following section presents influence of concentration Si_3N_4 in powder on the hardness and amount of retained austenite in the surface after laser hardfacing using the information contained in the article published by Chien-Kuo Sha and Hsien-Lung Tsai.

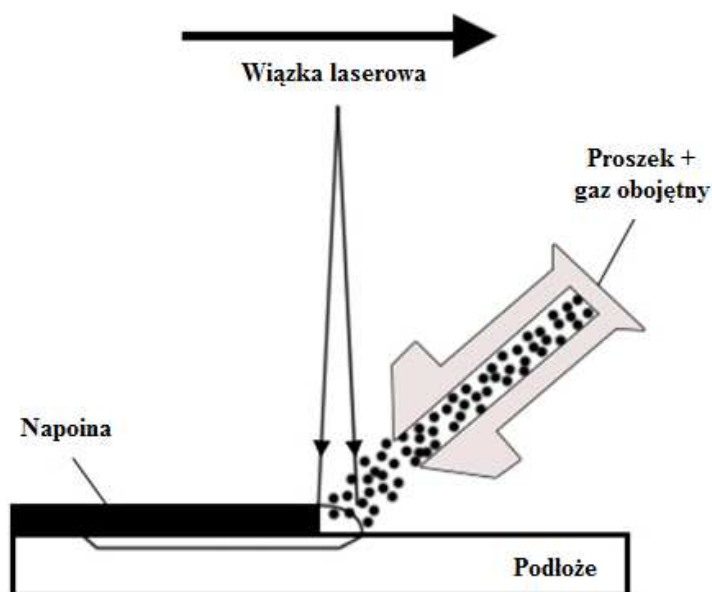
Słowa kluczowe: napawanie laserowe, laser, obróbka laserowa, Si_3N_4

1. WSTĘP

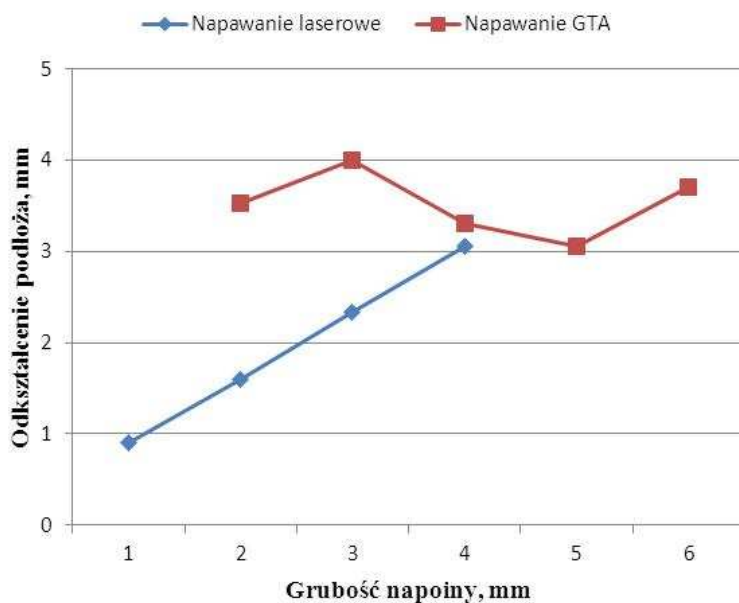
Napawanie laserowe polega na stapianiu energią wiązki promieniowania laserowego materiału dodatkowego w postaci proszku lub drutu z odpowiednią osłoną gazową i jednoczesnym nadtapianiu materiału podłoża. Materiały te razem wymieszane i stopione tworzą warstwę wierzchnią napawanego podłoża, zwaną napoiną. Schemat procesu napawania laserowego przedstawia rysunek 1 [1].

Napawanie laserowe może różnić się rodzajem wiązki laserowej, ale także sposobem podawania materiału dodatkowego. Możemy wyróżnić następujące sposoby podawania [2]:

- wdmuchiwanie proszku,
- nanoszenie proszku,
- smarowanie pastą,
- podawanie drutu.



Rysunek 1. Schemat napawania laserowego proszkowego
 Figure 1. Powder injection laser cladding method



Rysunek 2. Odkształcenia przedmiotów ze stali niskostopowej napawanych metodą GTA oraz laserowo [9]

Figure 2. Low alloy steel objects deformation after GTA and laser hardfacing [9]

Przewagą laserowego napawania nad klasycznymi metodami napawania jest powstawanie napoiny o minimalnym zniekształceniu i lepszej jakości powierzchni [2]. Struktura napoiny jest bardzo drobnoziarnista, co dobrze wpływa na własności mechaniczne. Kolejną zaletą jest duża dokładność oraz powtarzalność procesu bez względu na kształt powierzchni roboczej. Powstałe napoiny mogą osiągać grubość od 0,1 mm do kilku mm. Aby uzyskać większe

grubości należy napawać wielowarstwowo. Materiał podłoża nie odkształca się zbyt, co przedstawiono na rysunku 2 (zależy on od grubości napoiny), oraz występują minimalne naprężenia. Proces napawania można dodatkowo łatwo zautomatyzować. Napawanie laserowe cechuje się możliwością przeprowadzania procesu ze znacznie niższą energią liniową niż jest to możliwe w klasycznych procesach, co pozwala na uzyskanie niskiego udziału materiału podłoża w napoinie (wynosi on maksymalnie 10%, zwykle 3÷5%), a także na zmniejszenie SWC [1, 8].

Po zakończeniu nanoszenia materiału powstała powłoka jest wyrównywana przez szlifowanie, frezowanie itp. [3].

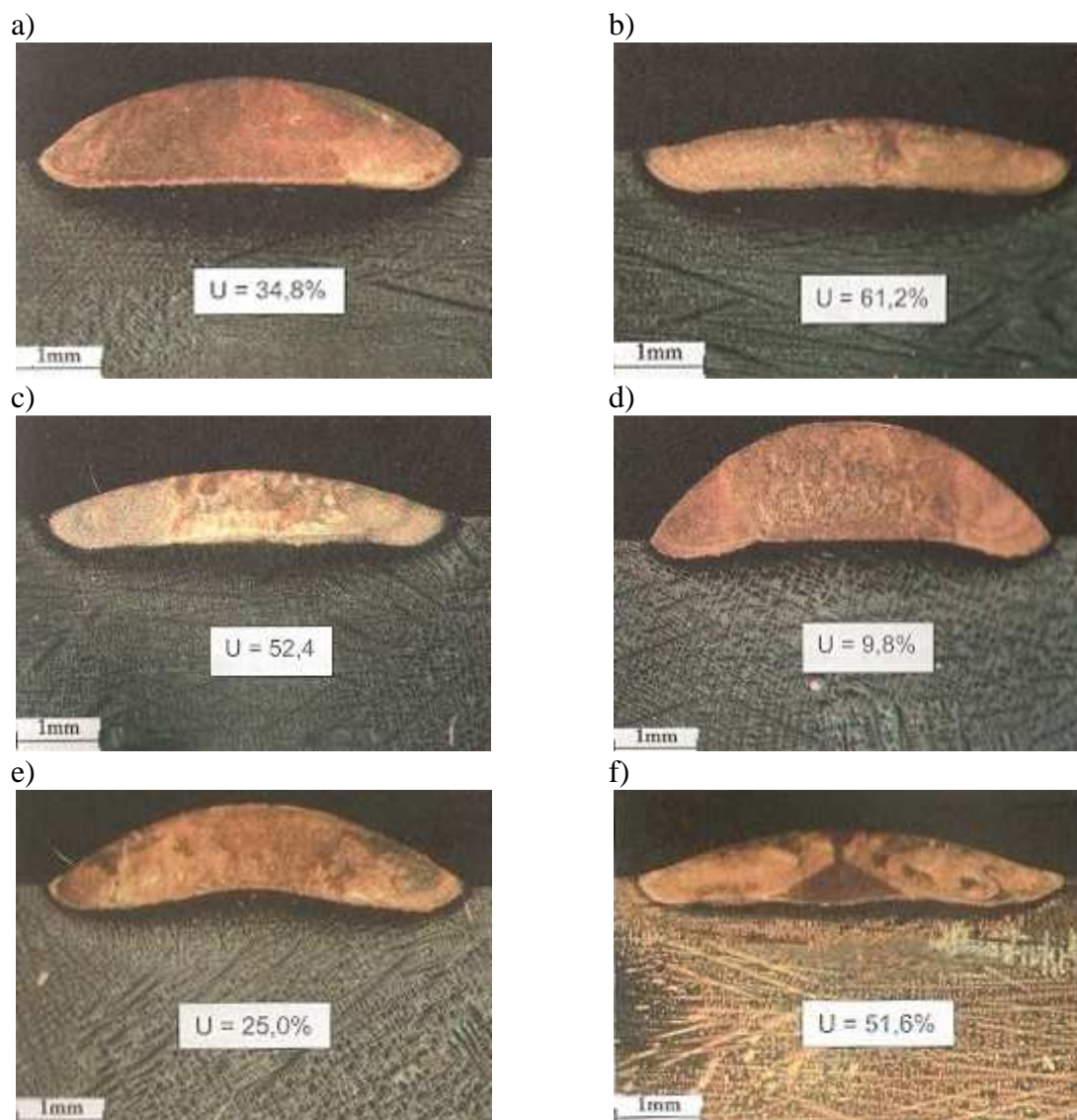
Napawanie stosowane jest w celu ochrony materiału rodzimego – przedmiotu (np. przed korozją, ścieraniem), regeneracji powierzchni (wykruszona krawędź, pęknięcia), modyfikacji konstrukcyjnych itp. [4,7]. Poprawa własności eksploatacyjnych części maszyn oraz regeneracja już zużytych jest pożądana z powodu często bardzo kosztownego procesu produkcyjnego [5].

Na proces napawania laserowego wpływają następujące parametry [1, 8]:

- moc wiązki światła laserowego – decyduje o głębokości przetopienia materiału podłoża. Wraz ze wzrostem gęstości mocy wiązki wzrasta głębokość przetopienia materiału;
- współczynnik absorpcji wiązki lasera – w zależności od materiału współczynnik absorpcji energii wiązki przez element jest różny. Przedmioty o niskim współczynniku absorpcji przed napawaniem należy pokryć pastami zwiększającymi pochłanianie wiązki lasera;
- długość ogniska wiązki laserowej – wpływa na głębokość przetopienia, długość ogniska 40÷75 mm zapewnia duże głębokości przetopienia;
- położenie ogniska wiązki laserowej względem przedmiotu – decyduje o kształcie i głębokości przetopienia materiału podłoża;
- prędkość napawania – wpływa na kształt napoiny oraz głębokość przetopienia. Zwiększanie prędkości napawania przy stałej mocy wiązki powoduje zmniejszanie głębokości przetopienia co prowadzi do braku stopienia napoiny z podłożem. Nadmierne zmniejszanie prędkości napawania prowadzi do powstania porów w napoinie z powodu parowania metalu napoiny;
- rodzaj i natężenie przepływu gazu ochronnego – wysokie natężenie przepływu gazu powoduje duże straty proszku przez rozsypywanie go poza obszar obróbki oraz prowadzi do powstania nierównego lica;
- natężenie/prędkość podawania proszku/drotu – decyduje o wymiarach napoiny. Przy zwiększaniu natężenia podawania proszku wzrasta wysokość napoiny. W przypadku podawania drotu, aby zwiększyć wydajność procesu oraz polepszyć kształt napoiny należy go podgrzewać np. oporowo.

Interakcja pomiędzy takimi parametrami jak: moc wiązki, prędkość napawania oraz natężenie podawania proszku, mają duży wpływ na kształt napoiny i udział metalu podłoża (U). Rysunek 3 przedstawia wyniki napawania z różnymi parametrami (M – moc wiązki, V – prędkość napawania, G – natężenie podawania proszku) [1]:

- a) M = 900 W, V = 0,10 m/min, G = 8,0 g/min;
- b) M = 900 W, V = 0,15 m/min, G = 6,0 g/min;
- c) M = 900 W, V = 0,20 m/min, G = 10,0 g/min;
- d) M = 1000 W, V = 0,10 m/min, G = 8,0 g/min;
- e) M = 1000 W, V = 0,15 m/min, G = 8,0 g/min;
- f) M = 1000 W, V = 0,20 m/min, G = 8,0 g/min.



Rysunek 3. Wpływ parametrów napawania laserowego na kształt napoiny i udział materiału podłoża U [1]

Figure 3. Effects of different laser hardfacing parameters on shape of overlay and percentage of substrate material [1]

2. METODYKA BADAŃ

W artykule autorów Chien-Kuo Sha oraz Hsien-Lung Tsai [6] opisano wpływ zmiany stężenia Si_3N_4 w proszku używanym do napawania na niektóre własności powstałych powłok.

Materiałem podłoża zostały płytki ze stali średniowęglowej o wymiarach: 50x20x6 mm. Powierzchnia płytek została poddana frezowaniu oraz piaskowaniu aby zwiększyć absorpcję energii lasera [6]. Zanieczyszczona powierzchnia (smar, rdza) powoduje spadek jakości napoin, niepożądany kształt lica, pęcherze gazowe, porowatość itd. Z tego powodu napawany materiał należy wcześniej dokładnie przygotować [1].

Ze względu na wysoką jakość oraz ekonomiczną opłacalność wybrano metodę napawania jednoetapowego. Dysza została nachylona pod kątem 60° do napawanej powierzchni. Energia wiązki lasera absorbowana jest przez proszek oraz podłoże w tym samym czasie co zapewnia jednocześnie ich stopienie i dobrą jakość połączenia. Metodę cechuje mała energochłonność. Linia wtopienia jest płaska i równomierna. Minusem jest mały uzysk proszku, który wynosi od 50 do 70% [1].

Parametry procesu napawania [6]:

- użyty proszek – mieszanka stali nierdzewnej martenzytycznej S42000 (o rozmiarze $100\ \mu\text{m}$) oraz Si_3N_4 (o rozmiarze $0,1\div 10\ \mu\text{m}$) w ilości 0, 1, ... lub 5%,
- kąt pod jakim podawano argon – 30° ,
- natężenie przepływu gazu 3 l/min,
- kąt pod jakim podawano proszek – 60° ,
- natężenie podawania proszku – 2 g/min,
- wykorzystana moc lasera – 1.2 kW,
- ogniskowa – 190,5 mm,
- średnica plamki – 3 mm,
- gęstość mocy - $170\ \text{W}/\text{cm}^2$,
- prędkość napawania – 5 mm/s.

W tabelicy 1 przedstawiono składy chemiczne proszku oraz podłoża uzyskane dzięki analizie GDOES (Glow Discharge Optical Emission Spektrometry) [6].

Tabela 1. Składy chemiczne proszku oraz podłoża [6]

Table 1. The chemical compositions of the powder and the substrate [6]

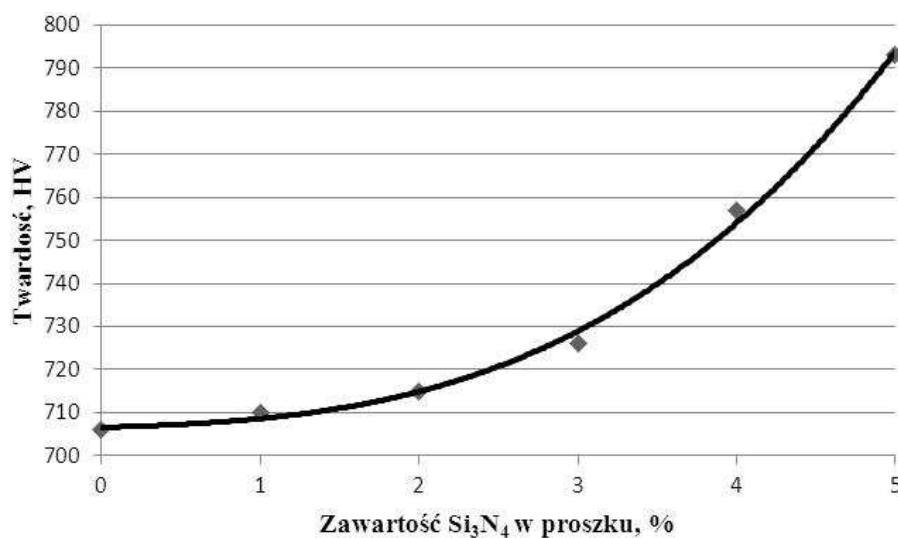
materiał	procentowa zawartość pierwiastków											
	C	Si	Mn	Ni	N	S	P	Mo	V	Cu	Cr	Fe
S42000	0,53	0,32	0,2	0,41	0,7	0,03	0,04	-	-	-	11,95	reszta
stal średniowęglowa	0,38	0,21	0,71	0,057	-	0,01	0,014	0,019	0,003	0,13	0,12	reszta

Płytki zostały poddane napawaniu mieszankami proszków o różnej zawartości Si_3N_4 . Po tej czynności przeprowadzono szereg badań mających na celu wykazanie wpływu owej zmiany na twardość, czy zawartość austenitu szczątkowego w strukturze.

3. WYNIKI BADAŃ

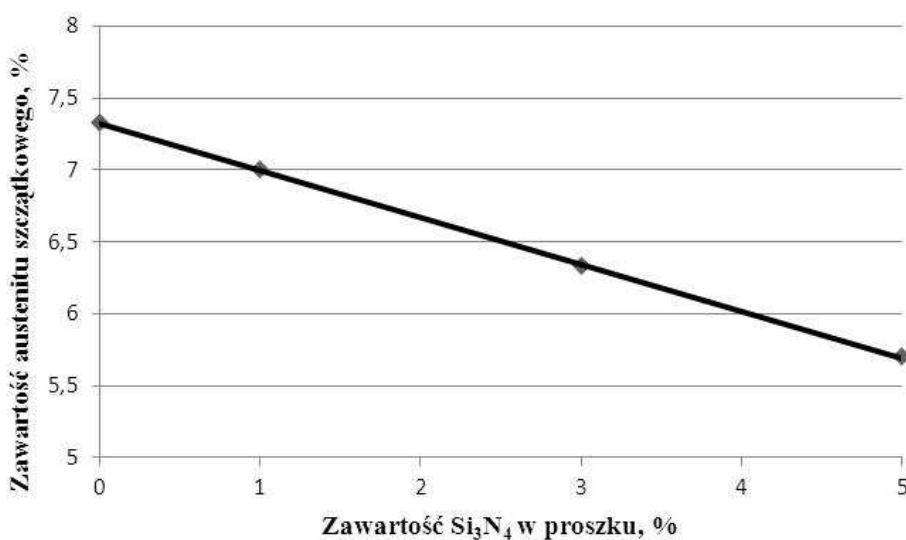
Wpływ procentowej zawartości Si_3N_4 w proszku na średnią twardość powłoki powstałej po napawaniu przedstawiono na rysunku 4. Zmiana zawartości Si_3N_4 znacznie wpływa na twardość powstałych powłok. Różnica między zerową a najwyższą zastosowaną ilością Si_3N_4 wynosi około 90 HV.

Na rysunku 5 przedstawiono zmianę zawartości austenitu szczątkowego. Można zauważyć, że jego zawartość spada liniowo w miarę użycia większej ilości Si_3N_4 w proszku. Może być to spowodowane obecnością krzemu. Si stabilizuje ferryt z żelazie, przesuwając do wyższej wartości temperaturę przemiany eutektoidalnej zmniejszając obszar występowania austenitu [7]. Prowadzi to do zmniejszenia zawartości austenitu podczas grzania do wysokiej temperatury, co ma miejsce podczas napawania.



Rysunek 4. Średnio uzyskiwana twardość powierzchni po napawaniu w zależności od użytego proszku [6]

Figure 4. Average surface hardness achieved after hardfacing depending on the powder used [6]



Rysunek 5. Zawartość austenitu szczątkowego w powstałej powłoce w zależności od użytego proszku [6]

Figure 5. The retained austenite content in coating depending on the powder used [6]

Rysunek 6 przedstawia przykładową strukturę po napawaniu, widoczne są trzy warstwy. Można zauważyć, że strefa wpływu ciepła jest bardzo mała, jej grubość jest mniejsza niż uzyskana warstwa. Jest to pożądaný efekt, ponieważ duża SWC znacząco zmniejsza własności wytrzymałościowe połączenia. W przypadku napawania laserowego problem ten jest częściowo rozwiązywany.



Rysunek 6. Mikrostruktura materiału po napawaniu, gdzie część górna – powstała powłoka, środkowa – strefa wpływu ciepła, dolna – podłoże [6]

Figure 6. Microstructure of the cladding layer, the top part – cladding layer, middle part – the heat affected zone, the lowest part – substrate [6]

4. WNIOSKI

Odpowiedni dobór metody napawania znacząco wpływa na jakość tworzonej warstwy oraz jej opłacalność. Napoiny wykonane laserowo mają najwyższą jakość i własności mechaniczne, jednakże ceny urządzeń są bardzo wysokie.

W zależności od wymagań używa się odpowiednich typów proszków/drutów do napawania. Chien-Kuo Sha oraz Hsien-Lung Tsai zwiększali zawartość Si_3N_4 w proszku używanym w napawaniu, aby przekonać się jak zmieni się twardość powierzchni po procesie oraz występowanie austenitu szczytkowego.

Na uwadze należy mieć również odpowiedni dobór parametrów lasera, szybkości napawania, natężenia podawania proszku/drutu oraz jaki jest współczynnik absorpcji światła laserowego materiału. Wymienione czynniki wpływają na głębokość przetopu, szybkość procesu oraz jakość napoiny.

LITERATURA

1. A. Klimpel, Technologie laserowe : spawanie, napawanie, stopowanie, obróbka cieplna i cięcie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2012.
2. E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin, Laser Cladding, CRC Press, Boca Raton, 2005.
3. strona internetowa: <http://www.pl.trumpf.com/pl/produkty/technika-laserowa/aplikacje/obszary-zastosowan/spawanie-laserowe/napawanie.html> [dostęp 26.05.2014]
4. strona internetowa: <http://www.megamold.pl/index.php?id=2> [dostęp 26.05.2014]
5. A. Lisiecki, A. Klimpel. Napawanie laserowe stopu tytanu Ti6Al4V, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji 30/1 (2010) 59-66.

6. Ch.-K. Sha, H.-L. Tsai, Hardfacing characteristics of S42000 stainless steel powder with added silicon nitride using a CO₂ laser, *Materials Characterization* 52 (2004) 341-348.
7. L.A. Dobrzański, *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo: Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego*, WNT, Gliwice, 2002.
8. A. Klimpel, *Napawanie i natryskiwanie cieplne*, WNT, Warszawa, 2000.
9. A. Klimpel, *Technologia spawania, zgrzewania i cięcia metali*, WNT, Warszawa, 1999.