

Wojciech NAPADŁEK, Agnieszka LABER
Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,
Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna

TEKSTUROWANIE LASEROWE NANOKRYSTALICZNYCH NAPIŃ

Słowa kluczowe

Nanokrystaliczne napiny, promieniowanie laserowe, tekstura powierzchni, mikrostruktura, twardość, właściwości tribologiczne.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań laboratoryjnych w zakresie wytwarzania wysokodispersyjnych napin z nanodrutu proszkowego EnDotec DO*390N na stali S235JR z wykorzystaniem napawania TIG, przetapiania oraz teksturowania laserowego. Ze względu na kilkukrotne przetapianie laserowe warstwy napiny, stwierdzono dużą niejednorodność jej mikrostruktury. Twardość warstwy wierzchniej napiny po wytworzeniu metodą TIG wynosiła ok. 1000 HV_{0,5}, a po przetapianiu laserowym ok. 1150 HV_{0,5}. W wyniku teksturowania laserowego powierzchni napiny uzyskano mikrozasobniki smarne o regularnych kształtach mikroczasz, wokół których nie stwierdzono mikropęknięć, co rokuje dobre perspektywy technologiczne.

Wprowadzenie

Wśród wielu technologii polepszających właściwości użytkowe warstwy wierzchniej (WW) elementów maszyn wyróżniamy napawanie. Celem napawania jest m.in. wytwarzanie technologicznej WW elementów maszyn, zwiększającej odporność na ich zużycie w warunkach tarcia, erozji, korozji, kawitacji

oraz poprawiających żaroodporność i żarowytrzymałość [1–5]. Wytworzona technologicznie WW metodą napawania (np. gazowego, łukowego, laserowego, elektronowego) powinna posiadać odpowiednie właściwości użytkowe. Warstwy napawane w zależności od zastosowanej technologii często cechuje duża niejednorodność metalurgiczna oraz odmienna od podłoża stereometria powierzchni. W napoinach o bardzo dużej twardości niekiedy możliwe jest występowanie mikro- i makropęknięć [5, 6].

Materiały spawalnicze w skład których wchodzi cząstki nanostrukturalne, umożliwiają otrzymanie napoin odpornych na zużycie przez tarcie [7, 8]. Obecnie do spawania oraz napawania laserowego stosowane są np. druty EnDOtec DO*390N, zawierające w nanostrukturze cząstki twardych faz węglików (MC) o dużej objętości, węglików boru $M_{23}(BC)$ oraz borków M_2B , które są rozmieszczone dość regularnie w drobnoziarnistej osnowie żelaza oraz nanoproszki $TiCN + Cu$. Poprzez zastosowanie nanoproszków można uzyskać napoinę charakteryzującą się większą mikrotwardością i wytrzymałością na rozciąganie [7, 9]. Tak wytworzoną WW można teksturować laserowo w celu polepszenia jej odporności na zużycie poprzez tarcie. Tekstutowanie laserowe powierzchni polega na ablacyjnym oddziaływaniu promieniowania laserowego o odpowiednio dobranej gęstości mocy w celu wytworzenia zaprojektowanej mikro- lub nanotekstury. Najlepsze efekty technologiczne można uzyskać przy czystej ablacji laserowej, zachodzącej przy bardzo dużej gęstości mocy promieniowania, oddziałującego na materię w bardzo krótkim czasie (pojedyncze nano-, piko- i femtosekundy). Przy dłuższych czasach ekspozycji promieniowania laserowego występuje efekt termiczny, powodujący częściowe odparowanie oraz dominowanie efektu ekstruzji (wyrzucania) ciekłego materiału. Różnorodne rodzaje tekstury mogą być stosowane na elementach maszyn w celu wytworzenia mikro- i nanozasobników smarowych oraz mikrostruktur amorficznych o dużej powtarzalności [10].

1. Badania eksperymentalne

W ramach badań laboratoryjnych na stali S235JR wykonano nanokrystaliczną napoinę z wykorzystaniem metody TIG. Jako materiał dodatkowy zastosowano nanodrut proszkowy EnDOtec DO*390N o składzie chemicznym podanym w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny drutu EnDOtec DO*390N [4, 6]

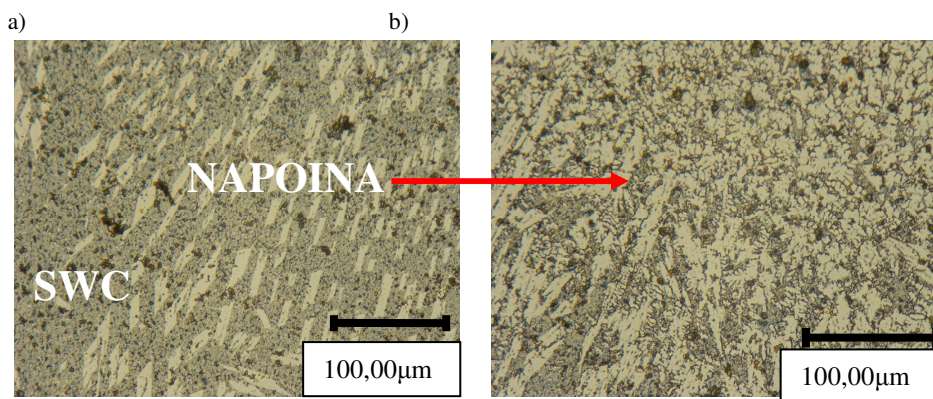
EnDOtec DO*390N	Fe + < 5%C, < 2,0%Si, < 5,0%Mn, < 20,0%Cr, < 10,0%Mo, < 10,0%Nb, < 10,0%W, < 5,0%B,	twierdosc – 71 HRC
--------------------	--	--------------------

Tak uzyskaną napoinę przetopiono laserowo w strefie warstwy wierzchniej, przy dobranych wcześniej parametrach obróbki (laser Nd: YAG pompowany

diodowo, czas trwania impulsu w zakresie 10–20 ms, częstotliwość repetycji 1–10 Hz, różny stopień przykrycia plamki laserowej na powierzchni od 25 do 75%, stół sterowany CNC). Teksturowanie laserowe wykonano po szlifowaniu mechanicznym napoiny uzyskując chropowatość powierzchni $R_a = 0,32 \mu\text{m}$.

W ramach przeprowadzonych badań stwierdzono, że przetopienie laserowe powoduje rozdrobnienie mikrostruktury oraz rozpuszczenie fazy węglkowej, w wyniku czego po ochłodzeniu powstaje roztwór przesycony pierwiastkami stopowymi. Zapewnia to polepszenie własności eksploatacyjnych i zwiększenie odporności na zużycie przez tarcie mimo większej podatności na pękanie przetopionych warstw [5]. Przetopienie laserowe wykonano przy parametrach obróbki: $P = 6 \text{ kW}$, $q = 2997 \text{ J/cm}^2$, $\tau = 4 \text{ ms}$, stopień przykrycia plamki laserowej na powierzchni wynosił $50 \div 70\%$, dwa skanowania (przetopienie powierzchni), częstotliwość repetycji impulsów laserowych 11 Hz.

Poprzez nagrzewanie, topnienie warstwy wierzchniej napoiny oraz szybkie jej chłodzenie wytworzono mikrostrukturę o dużym stopniu rozdrobnienia (rys. 1). Sposób nagrzewania napoiny miał wpływ na skład fazowy, ilość i rozkład wydzielen, a także na wielkość ziaren oraz stan naprężeń własnych, które w istotny sposób wpłynęły na powstanie lokalnych mikro- i makropęknięć w strefie napoiny.

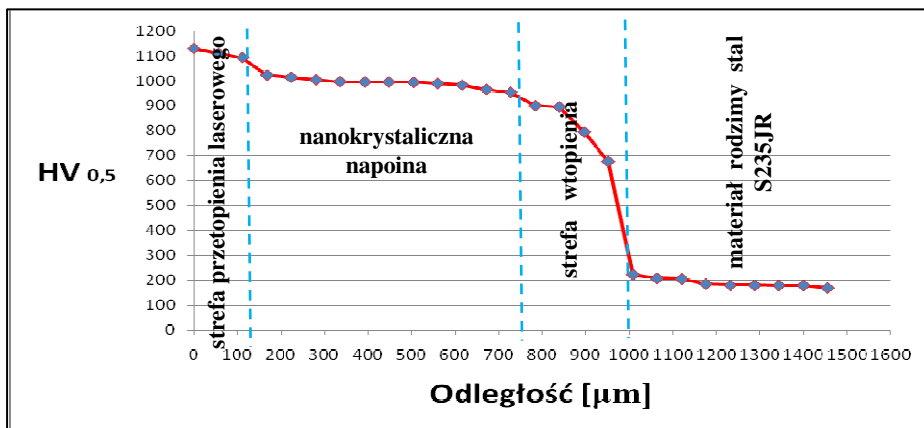


Rys. 1. Mikrostruktura napoiny wytworzonej metodą TIG z wykorzystaniem nanodrutu proszkowego EnDotec DO*390N na stali S235JGR po przetopieniu laserowym: a) w środku strefy przetopionej laserowo, b) w strefie przypowierzchniowej

Kolejnym etapem eksperymentów laboratoryjnych były pomiary twardości. Na rys. 2 przedstawiono rozkład twardości w przekroju poprzecznym napoiny, wykonanej metodą TIG, a następnie przetopionej laserowo.

Z analizowanego rozkładu twardości wynika, że napawanie stali S235JR z użyciem nanodrutu proszkowego EnDotec DO*390N oraz przetopienie laserowe wytworzonej napoiny pozwoliło uzyskać w strefie przypowierzchniowej

napoiny wysoką twardość ok. 1150 HV_{0,5}, co oznacza wzrost o ok. 150 HV_{0,5} w stosunku do pierwotnego napawania metodą TIG. W strefie wtopienia w materiał podłoża zaobserwowano spadek twardości do ok. 700 HV_{0,5}, a za tą strefą twardość spada gwałtownie do ok. 200 HV_{0,5}. Świadczy to o nieznacznym wymieszaniu materiału napoiny z podłożem. Na tak dużą wartość twardości miał zapewne wpływ: skład chemiczny oraz nanokrystaliczna mikrostruktura proszku, technologia napawania TIG oraz ultraszybkie procesy nagrzewania, topnienia i krystalizacji, występujące przy przetopieniu laserowym napoiny.

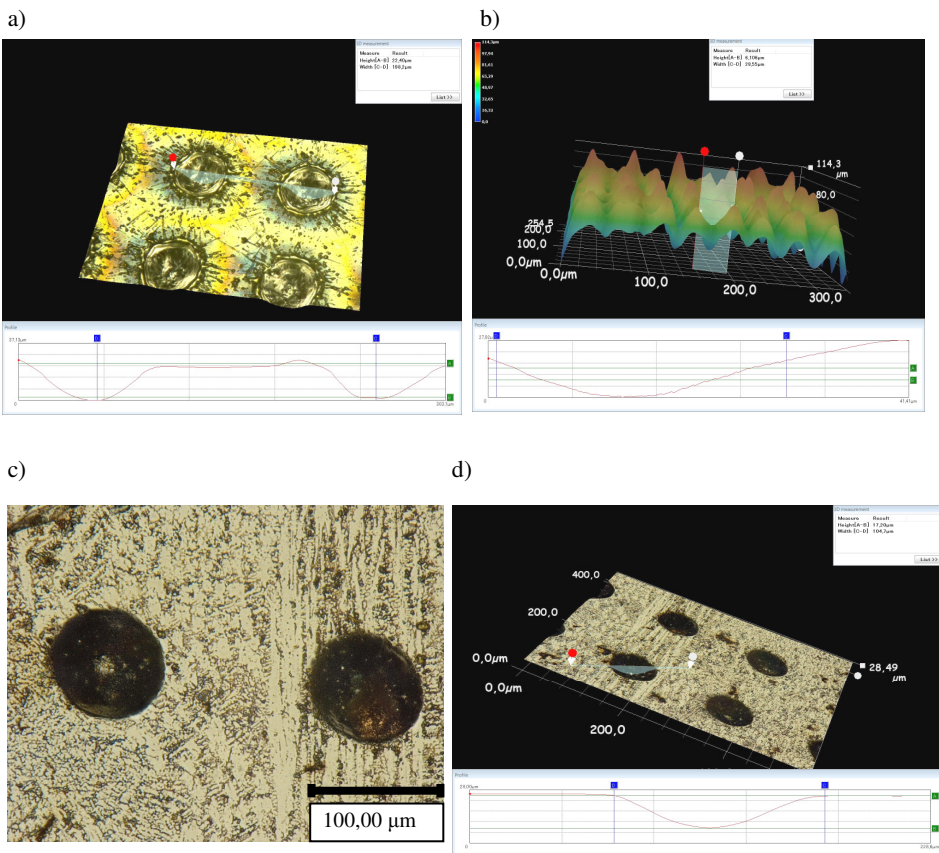


Rys. 2. Rozkład twardości w przekroju poprzecznym napoiny wykonanej na stali S235JR metodą TIG z wykorzystaniem nanodrutu EnDOtec DO390N oraz przetopionej laserowo w strefie powierzchniowej

W celu dalszego polepszania właściwości użytkowych WW napoiny (zmniejszenie współczynnika tarcia oraz intensywności zużycia), w strefie powierzchniowej nanokrystalicznej napoiny szlifowanej mechanicznie, wykonano teksturowanie laserowe laserem włóknowym o długości fali promieniowania $\lambda = 1064$ nm, czas trwania impulsu $\tau = 8$ ns, częstotliwość repetycji 10 kHz. W wyniku ablacji laserowej wytworzono mikrozasobniki, w których może gromadzić się czynnik smarny (rys. 3). Głębokość wytworzonych mikrozasobników smarnych wynosiła ok. 20 μm , szerokość ok. 80÷100 μm , wysokość wypłytki ok. 5÷10 μm .

Wytworzone techniką laserową tekstury geometryczne powierzchni nanokrystalicznej napoiny mogą być przydatne do polepszenia warunków współpracy par tribologicznych elementów maszyn. Dobrane kształty geometryczne zasobników smarowych umożliwią lepsze gromadzenie środka smarnego między współpracującymi elementami. W procesie współpracy dwóch powierzchni, w tym co najmniej jednej powierzchni z wytworzonymi mikrozasobnikami smarnymi techniką mikroobróbki laserowej, w wyniku wytwarzanego nacisku

powierzchniowego w czasie ich współpracy, następuje ścisnienie czynnika smarowego. W efekcie powstaje mikrofilm smarowy wokół mikrozasobnika, a tym samym zależnie od układu kinetycznego pary tribologicznej następuje smarowanie hydrostatyczne lub hydrodynamiczne. Ukonstytuowana laserowo mikrostruktura wokół mikrozasobnika smarowego w tzw. strefie wpływu ciepła (pierścien wokół mikrozasobnika o szerokości od kilku do kilkunastu mikrometrów), może pozytywnie wpływać na zwiększenie odporności na zużycie przez tarcie w warunkach eksploatacji elementów maszyn.



Rys. 3. Mikrozasobniki smarne na powierzchni napoiwy wytworzonej metodą TIG: a), b) topografia powierzchni po teksturoowaniu laserowym, c), d) mikrostruktura oraz mikrozasobniki smarne na powierzchni napoiwy po obróbce wykańczającej – szlifowaniu, polerowaniu oraz trawieniu

Wnioski

1. Przeprowadzone badania mikrostruktury oraz składu chemicznego napoiny otrzymanej metodą TiG na stali S235JR wykazały wysokodispersyjną mikro- i nanostrukturę, w której cząstki faz węglików (MC) o dużej objętości, węglików boru $M_{23}(BC)$ oraz borków M_2B są rozmieszczone dość regularnie w drobnoziarnistej osnowie żelaza.
2. Twardość warstwy wierzchniej nanokrystalicznej napoiny wykonanej poprzez napawanie drutem proszkowym EnDOtec DO*390N wynosiła ok. 1000 HV_{0,5}. W wyniku powierzchniowego przetopienia laserowego uzyskano rozdrobnienie mikrostruktury oraz wzrost twardości w strefie przetopionej do ok. 1150 HV_{0,5}.
3. Precyzyjne teksturowanie laserowe warstwy wierzchniej nanokrystalicznej napoiny oraz wytworzenie mikrozasobników smarnych o wymiarach: głębokość ok. 20 μm , szerokość ok. 80÷100 μm , wysokość wypłytki ok. 5÷10 μm , stopień przykrycia (wypełnienia) powierzchni 30±0%, stwarza szansę na gromadzenie się w nich środków smarnych zarówno płynnych, jak i stałych. Rokuje to nadzieję na zmniejszenie współczynnika tarcia, a tym samym zmniejszenie intensywności zużywania się elementów maszyn pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych.
4. Można przypuszczać, że stosując wstępne podgrzewanie stali przed procesem napawania oraz stosując nanodruty o małej średnicy (0,6÷0,8 mm) możliwe jest uzyskanie precyzyjnych mikro- i makronapoin o bardzo wysokich walorach technologicznych. Tak wytworzone warstwy technologiczne mogą mieć zastosowanie w wielu elementach maszyn w celu podwyższenia właściwości tribologicznych ich warstwy wierzchniej, zwłaszcza odporności na zużycie w warunkach tarcia, erozji, kawitacji itp.

Bibliografia

1. Antoszewski B.: The formation of antiwear surface layers on elements of machine parts. Tribology, Scientific problems of machines operation and maintenance 2 (158) 2009.
2. Kasprzycki A., Sochacki W.: Wybrane zagadnienia projektowania i eksploatacji maszyn i urządzeń. Publikacja współfinansowana ze środków UE w ramach Projektu EFS, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2009.
3. Klimpel A., Kik T.: Erosion and abrasion wear resistance of GMA wire surfaced nanostructural deposits. Archives of Materials Science and Engineering, vol. 30, issue 2, April 2008.
4. Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.

5. Dobrzański L. A.: Kształtowanie struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych. OSCO, Gliwice 2009.
6. Klimpel A.: Napawanie i natryskiwanie cieplne. Technologie, WNT, Warszawa 2000.
7. Heath G.: Nanotechnology and welding – actual and possible future applications, Proceedings of the Castolin-Eutectic SEMINAR, Brussels, Belgium, 2006, p. 25.
8. Burakowski T., Napadłek W.: Mikroobróbka laserowa – możliwości zastosowań w przemyśle. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 245, 2010.

Recenzent:
Jerzy SMOLIK

Laser texturing nanocrystalline pad welding

Key words

Nanocrystalline pad weld, laser radiation, surface texture, microstructure, hardness, tribological properties.

Summary

The paper presents the chosen results of laboratory tests for manufacturing weld metal high dispersing powder nanowire EnDOtec DO390N on steel S235JR using TIG pad welding, melting and laser texturing. The laser melts the pad weld layer several times producing a large heterogeneity of its microstructure. The hardness of the surface layer pad weld after TIG technology was about 1000 HV_{0,5}, and after laser melting the hardness was about 1150 HV_{0,5}. As a result of laser texturing, the surface pad weld manufactured lubricating micro-containers and channels. Around the micro-containers, there were no micro-cracks, which produce a good technological perspective.

