

Mgr inż. Marta WIJAS,
dr inż. Łukasz NOWAKOWSKI (Politechnika Świętokrzyska):

FREZOWANIE POWIERZCHNI NAPAWANYCH LASEROWO

Streszczenie

Praca przedstawia wyniki badań eksperymentalnych frezowania powierzchni napawanych laserowo. Jej celem było przeprowadzenie procesu regeneracji płaskiej powierzchni blachy wykonanej ze stali C45 poprzez napawanie laserowe oraz frezowanie czołowe. Ocenę rezultatów procesu regeneracji przeprowadzono na podstawie pomiarów wybranych parametrów struktury geometrycznej powierzchni zregenerowanej.

Słowa kluczowe: regeneracja powierzchni, napawanie laserowe, frezowanie czołowe

MILLING OF LASER-HARDFACED SURFACES

Abstract

The study shows the results of experimental tests of milling of laser-hardfaced surfaces. The goal was to carry out a process of regeneration of a flat surface of a C45 steel sheet through laser hardfacing and face milling. The results of the regeneration process were assessed on the basis of measurements of assorted geometrical structure parameters of the regenerated surface.

Keywords: surface regeneration, laser hardfacing, face milling

FREZOWANIE POWIERZCHNI NAPAWANYCH LASEROWO

Marta WIJAS¹, Łukasz NOWAKOWSKI¹

1. WPROWADZENIE

Napawanie laserowe w połączeniu z obróbką mechaniczną stosuje się do regeneracji powierzchni zużytych części maszyn i urządzeń [2],[5]. Napawanie laserowe jest jedną z najnowocześniejszych, ale również kosztownych metod nakładania powłok o specjalnych właściwościach [5]. Polega ona na stopieniu energią wiązki promieniowania laserowego materiału dodatkowego w postaci proszku bądź drutu, w odpowiedniej osłonie gazowej i jednocześnie nadtopieniu materiału podłoża. Wymieszanie i stopienie razem tych dwóch materiałów powoduje utworzenie warstwy wierzchniej napawanego podłoża, zwanego napoiną [6], a co za tym idzie wytworzenie wysokiej jakości połączenia metalurgicznego z podłożem [5].

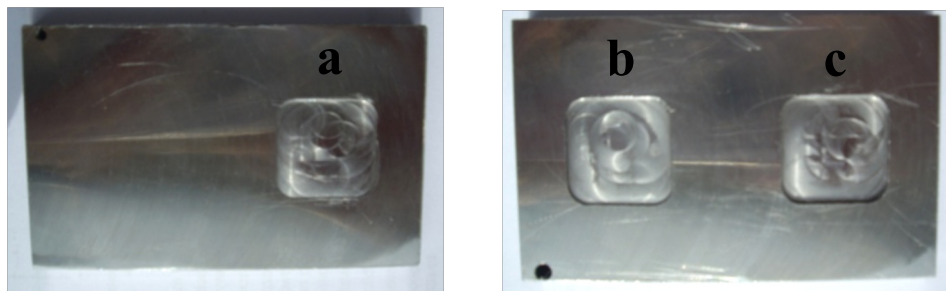
Napawanie laserowe możemy podzielić na ręczne (drut) lub zautomatyzowane (proszek, drut). Podczas zautomatyzowanego napawania laserowego drut lub proszek doprowadzany jest maszynowo do miejsca obróbki, gdzie zostaje warstwowo nałożony na materiał podstawowy i stapiany z tym materiałem bez rys i porów, tworząc z powierzchnią materiału wysoce odporne połączenie spawane [5]. Niezależnie od metody i efektu jaki chcemy osiągnąć, powstałą po ostygnięciu warstwę metalu należy poddać kolejnej obróbce mechanicznej w celu nadania regenerowanej powierzchni pożądanej dokładności wymiarowo-kształtowej oraz wymaganej struktury geometrycznej powierzchni (*SGP*).

Celem pracy było przeprowadzenie procesu regeneracji płaskiej powierzchni blachy wykonanej ze stali C45 poprzez napawanie laserowe oraz frezowanie czołowe oraz przeprowadzanie analizy struktury geometrycznej uzyskanej w wyniku tego procesu. Autorzy zakładają, że wynikiem procesu regeneracji będzie otworzenie wymiarów i SPG przedmiotu regenerowanego.

¹ Politechnika Świętokrzyska, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

2. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Praca badawcza została podzielona na pięć etapów związanych z napawaniem laserowym, obróbką mechaniczną oraz pomiarami *SGP*. Pierwszym etapem było wykonanie na próbce ze stali C45 (stal niestopowa jakościowa do ulepszania cieplnego, trudno spawalna, łatwa w obróbce) symulowanych ubytków materiału w postaci trzech kieszeni o wymiarach 20x20 mm z promieniem naroża 5 mm i głębokości 0,25, 0,5, 0,75 mm rys. 1.



Rys. 1. Ubytek materiału na głębokości: a) 0,25, b) 0,5, c) 0,75 mm

W drugim etapie badań wypełniono je poprzez napawanie laserowe, na laserze LASERCELL 1005 firmy Trumpf (rys. 2) [8], przy wykorzystaniu przenośnika proszkowego firmy GTV (rys. 3), podawano proszek metalowy PMNi o twardości 57 HRC i granulacji 100–160 μm . W zależności od głębokości ubytku, nałożono kolejno dla głębokość ubytku materiału równej: 0, 25mm – 3 warstwy napoiny, 0,5 mm – 3 warstwy, 0,75 – 7 warstw (rys. 4.)



Rys. 2. Przenośnik proszku



Rys. 3. Głowica do napawania i proces napawania

PARAMETRY NAPAWANIA:	
Prędkość posuwu:	1000 [mm/min]
Szerokość wiązki lasera do depozycji:	3 [mm]
Moc lasera:	35 [% z Pmax]
Częstotliwość:	20000 [Hz]
Przepływ gazu Ar:	12 [l/min]
Obroty podajnika:	3 [1/min]
Przepływ gazu podajnika He:	3 [l/min]



Rys. 4. Próbką po wykonaniu napawania

Po obróbce laserowej w ramach realizacji trzeciego etapu pracy badawczej wykonano pomiary profilów 2D wzdłuż, oraz w poprzek ścieżek napoiny, na profilometrze stykowym Form Talysurf PGI 1230 firmy Taylor Hobson, który umożliwia bardzo precyzyjne pomiary topografii powierzchni 2D i 3D [3]. Prędkość pomiaru wynosiła 0,5 mm/s. Do pomiaru użyto końcówki z kulką rubinową o średnicy 1 mm. Analizę profilów 2D wzdłuż, oraz w poprzek ścieżek napoiny wykonano w programie Taly-Map Platinum [1].

Wyniki pomiarów zostały zamieszczone w tabeli 1, natomiast przykładowe profile powierzchni przedstawiono na rys. 5 i 6.

Tab. 1. Wyniki pomiarów profilów

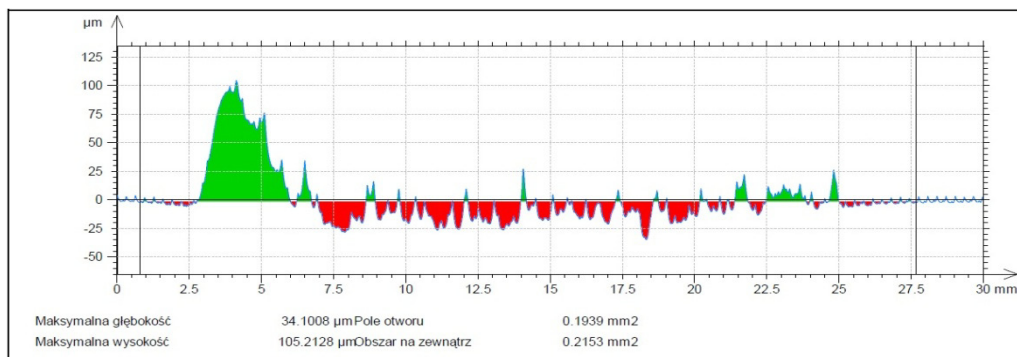
	Głębokość ubytku materiału, mm	Liczba napawanych warstw, szt.	Profil powierzchni zmierzony wzdłuż napoiny			Profil powierzchni zmierzony w poprzek napoiny		
			Max głębokość, μm	Max wysokość, μm	Pole pow., mm^2	Max głębokość, μm	Max wysokość, μm	Pole pow., mm^2
1	0,25	3	34,10	105,21	0,194	28,45	138,06	0,092
2	0,5	3	329,85	103,10	5,742	312,84	60,95	5,287
3	0,75	7	324,05	116,91	4,174	263,71	114,63	3,387

Analizując wyniki pomiarów oraz wykresy profili 2D (rys. 5, i rys. 6) zaobserwowano, że na brzegach napoiny wystąpiła wypływka o wysokości około 100 μm (oznaczona kolorem zielonym na rys. 5 i 6) dla wszystkich trzech przypadków regenerowanych powierzchni. Zaobserwowano również wystąpienie wgłębień (oznaczonych kolorem czerwonym na rys. 5 i 6) spowodowanych najprawdopodobniej skurczem materiału napawanego. Najmniejszą wartość wgłębienia wynoszącą 34, 1 μm zmie-

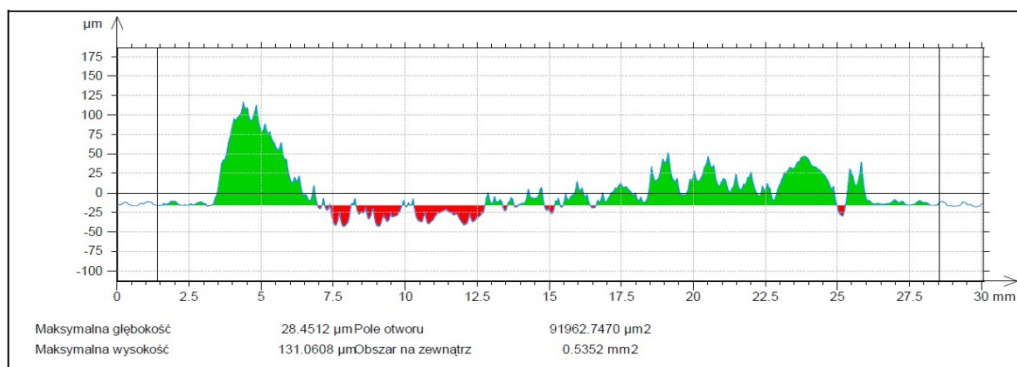
rzono dla ubytku materiału o głębokości 0,25mm. Dla pozostałych dwóch głębokości ubytku 0.5 i 0,75 mm zmierzona wartość wgłębienia na profilu 2D była podobna około 330 μm .

Jest to wartość 10 krotnie większa niż dla pierwszego przypadku, spowodowane to jest błędnie przeprowadzonym procesem napawania (zbyt mała ilość nałożonych warstw) oraz skurczem materiału napawanego.

Pomiar SGP po procesie napawania umożliwił dobranie prawidłowych głębokości skrawania dla procesu frezowania czołowego.



Rys. 5. Profil powierzchni zmierzony wzdłuż ścieżek napawania (głębokość ubytku materiału 0,25 mm)



Rys. 6. Profil powierzchni zmierzony w poprzek ścieżek napawania (głębokość ubytku materiału 0,25 mm)

Etap czwarty to obróbka mechaniczna powierzchni napawanych. W celu uzyskania płaskiej powierzchni przeprowadzono proces frezowania czołowego na centrum frezarskim HERMLE B 300 (tabela 2). W pracy badawczej wykorzystano głowicę R245-080Q27-12M firmy Sandvik Coromant, która wyposażona była w płytki typu 245-

12T3M-PL4230. Próbkę frezowano podając płyn chłodząco smarujący. Zestawienie parametrów skrawania zostało przedstawione w tabeli 3.

Tabela 2. Widok i podstawowe parametry pionowego centrum obróbkowego HERMLE B300 oraz głowicy frezowej [4], [7], [9]


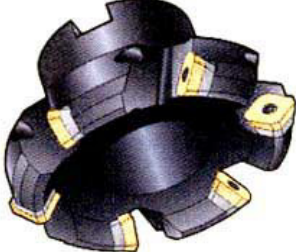

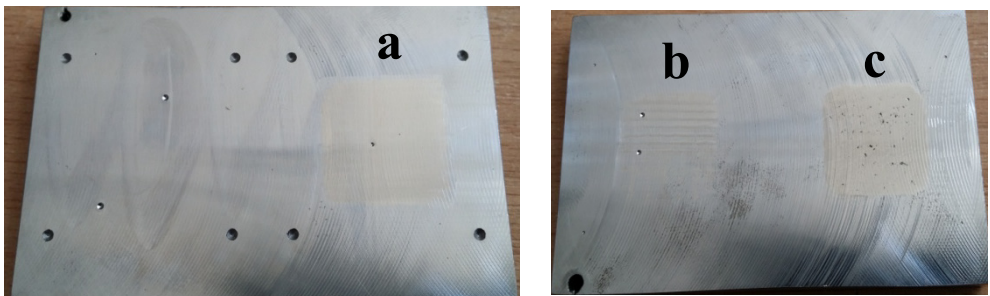
Widok ogólny HERMLE B300	Głowica R245-080Q27-12M
	
	Płytką R245-12T3M-PL4230
	

Tabela 3. Parametry skrawania stosowane podczas eksperymentu

	Wielkość ubytku materiału, mm	v_c , m/min	n , obr/min	f_z , mm/ostrze	f_t , mm/min	a_p , mm	a_e , mm
1	0,25	215	855	0,1	513	0,1	50
2	0,5					0,4	
3	0,75					0,5	

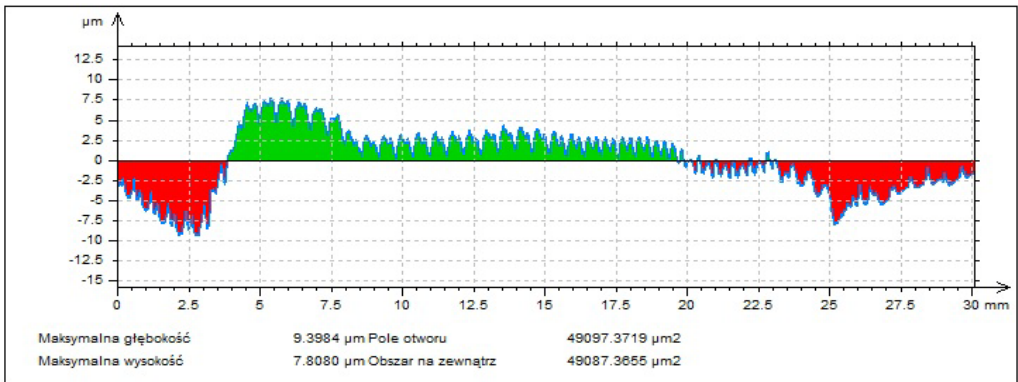
Rys. 7. Przedstawia powierzchnię próbki napawanej po przeprowadzeniu obróbki frezowania czołowego.



Rys. 7. Widok powierzchni napawanych po frezowaniu czołowym: a) 0,25, b) 0,5, c) 0,75 mm

Piąty ostatni etap polegał na zrealizowaniu pomiarów wybranych parametrów struktury geometrycznej powierzchni napawanych po frezowaniu czołowym. Pomiary zostały wykonane na profilometrze stykowym Talysurf PGI 1230. Do pomiaru użyto ostrza diamentowego o promieniu zaokrąglenia $2\ \mu\text{m}$ i kącie stożka 90° . Prędkość posuwu głowicy podczas pomiaru wynosiła $0.5\ \text{mm/s}$.

Wyniki pomiarów zostały przedstawione w formie przykładowego profilu 2D (rys. 8) oraz w tabelach 4 i 5.



Rys. 8. Profil próbki po obróbce mechanicznej na której głębokość ubytku materiału przed napawaniem wynosiła $0,25\ \text{mm}$

Tab. 4. Wyniki pomiarów profilów

	Wielkość ubytku materiału przed napawaniem laserowym, mm	Ilość napawanych warstw, szt.	Profil		
			Max głębokość, μm	Max wysokość, μm	Pole na wypływkę, mm^2
1	0,25	3	9,40	7,81	0,049
2	0,5	3	15,59	17,32	0,085
3	0,75	7	25,45	22,61	0,210

Analizując wyniki zamieszczone w tabeli 4 oraz na rysunku 8 stwierdzono, że po obróbce powierzchni napawanych w miejscu gdzie powierzchnia była napawana materiał nie został usunięty na równi z poziomem materiały rodzimego. Po frezowaniu czołowym pozostał materiał, którego wysokość mierzona od średniej linii profilu wynosi $9,4\ \mu\text{m}$ (rys. 8) w przypadku powierzchnia napawanej, gdzie ubytek materiału wynosił $0,25\ \text{mm}$. Na profilach 2D powierzchni uzyskanych wyniku pomiaru profilometrze stykowym Talysurf PGI 1230 zaobserwowano również wgłębienie, które w każdym przypadku występowało przed obszarem rozgraniczającym powierzchnię regenerowaną napawaniem laserowym a materiałem rodzimym. Dla wszystkich trzech przypadków zaobserwowano porównywalne wartości maksymalnego wzniesienia

materiału napawanego i maksymalnego wgłębienia o czym świadczą wyniki pomiarów zamieszczone w tabeli 4. Z przeprowadzonej analizy wyników pomiarów kształtu profilu 2D powierzchni regenerowanej z wykorzystaniem napawania laserowego oraz frezowania czołowego stwierdzono, że w celu poprawy kształtu powierzchni konieczne jest zastosowanie obróbki szlifierskiej.

Kolejna analiza struktury geometrycznej powierzchni skupiła się na pomiarze wybranych parametrów SGP, które zostały zaprezentowane w tabeli 5.

Tab. 5. Wyniki pomiarów parametrów chropowatości

	Materiał rodzimy po obróbce mechanicznej	Materiał po napawaniu (wielkość ubytku materiału 0,25 mm)	Materiał po napawaniu (wielkość ubytku materiału 0,5 mm)	Materiał po napawaniu (wielkość ubytku materiału 0,75 mm)
Parametry amplitudy, μm – profil chropowatości				
Rp	1,85	0,55	0,92	1,88
Rr	1,61	0,92	0,78	2,78
Rz	3,46	1,46	1,70	4,66
Rc	1,28	0,60	0,56	2,19
Rt	4,30	1,53	2,84	9,52
Ra	0,48	0,25	0,21	0,65
Rq	0,67	0,32	0,28	0,89
Parametry stosunku materiałowego – profil chropowatości				
Rmr, %	4,89	89,65	1,22	0,86
Rdc, μm	0,73	0,52	0,42	1,25
Parametr rozmieszczenia, mm – profil chropowatości				
Rsm	0,073	0,077	0,032	0,149

Analizując wyniki pomiarów widzimy, że porównywalne wartości parametrów SPG uzyskujemy dla powierzchni napawanych, gdzie ubytek materiału wynosił 0,25, 0,5 mm, a w procesie napawania nałożonych zostało 3 warstwy. Dla ubytku materiału równego 0,75 mm, gdzie proces regeneracji wymagał nałożenia 7 warstw zaobserwowano najgorszą jakość struktury geometrycznej powierzchni. Wszystkie badane parametry SPG osiągnęły największe wartości. (tab. 5), co wynika z ilości nakładanych warstw i wysokiej temperatury procesu co spowodowało powstanie porów i pęknięć struktury napawanej (rys. 7c). Porównując strukturę geometryczną powierzchni materiału rodzimego i po regeneracji stwierdzono, że po obróbce frezarskiej uzyskano niższe wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni dla pierwszych dwóch przypadków regeneracji, gdzie napawano 3 warstwy.

3. WNIOSKI

1. Dla wszystkich trzech przypadków regenerowanych powierzchni na wykresach profili 2D zaobserwowano, że na brzegach napoiny wystąpiła wypływka o wysokości około 100 μm dla wszystkich trzech przypadków regenerowanych powierzchni.
2. Na powierzchni napawanej wystąpiły wgłębienia spowodowane najprawdopodobniej skurczem materiału napawanego.
3. Wartość wgłębienia dla drugiego przypadku regenerowanej powierzchni jest 10 krotnie większa niż dla pierwszego przypadku, spowodowane to jest błędnie przeprowadzonym procesem napawania (zbyt mała ilość nałożonych warstw) oraz skurczem materiału napawanego.
4. Pomiar SGP po procesie napawania umożliwił dobranie prawidłowych głębokości skrawania dla procesu frezowania czołowego.
5. W miejscu gdzie powierzchnia była napawana materiał po obróbce frezarskiej nie został usunięty na równi z poziomem materiały rodzimego.
6. Na profilach 2D powierzchni uzyskanych wyniku pomiaru profilometrze stykowym Talysurf PGI 1230 zaobserwowano również wgłębienie, które w każdym przypadku występowało przed obszarem rozgraniczającym powierzchnię regenerowaną napawaniem laserowym a materiałem rodzimym.
7. Analizując wyników pomiarów kształtu profilu 2D powierzchni regenerowanej napawaniem laserowym oraz frezowaniem czołowym stwierdzono, że w celu poprawy kształtu powierzchni wskazane jest zastosowanie obróbki szlifierskiej.

LITERATURA

- [1] Adamczak S.: Pomiary Geometryczne Powierzchni. Zarysy Kształtu, Falistość i Chropowatość . WNT 2009.
- [2] Bąkowski A., Jaroszewicz J., Radziszewski L.: Assessment of the mechanical properties of a diesel engine injector, Applied Mechanics and Materials vol. 630 (2014) pp 334-340.
- [3] Customer information pack Taly Surf CCI Lite.
- [4] Instrukcja obsługi HERMLE B300.
- [5] KLIMPEL A., *Napawanie i natryskiwanie cieplne. Technologie*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, 2000, 339–365.
- [6] KLIMPEL A., *Technologie laserowe*. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2012, 182–229.
- [7] Nowakowski Ł., Miko E.: Analiza procesu frezowania czołowego. Mechanik, Nr 8-9 2012, s. 215-224.
- [8] www.pl.trumpf.com
- [9] <http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/pages/default.aspx>