

NAPAWANIE ELEMENTÓW SPIEKANYCH

HARDFACING OF SINTERED PARTS

Barbara Kozub

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Materiałowej
al. Jana Pawła II 37
31-864 Kraków
e-mail: kozub.barbara@gmail.com

Abstract: Hardfacing (weld surfacing) is one of the methods commonly used for the repair and regeneration of machine parts. It allows, like other welding recovery methods, to repair the damaged part surface in a relatively short time and at low cost. For the purpose of this paper it was attempted to hardface the sintered material made of iron-based MSP powder. The performed tests included microhardness and microstructure analysis of the base and weld material depending on the content of molybdenum in the base material (1.5%, 3.5% and 4 wt.%). Cylindrical samples were uniaxially pressed with pressure of 600 MPa. Sintering process was performed at 1250 °C under pure hydrogen atmosphere. Weld surfacing was performed with MAG (Metal Active Gas) method under gas mixture of argon + CO₂, using chromium-molybdenum welding wire.

Key words: Powder metallurgy, hardfacing, regeneration of surface, MSP powder, molybdenum addition.

Wprowadzenie

Spawanie oraz napawanie zaliczane są do metod, które z powodzeniem mogą być stosowane w celu naprawy oraz regeneracji części maszyn. Intensywna eksploatacja elementów maszynowych naturalnie prowadzi do ich szybkiego zużycia, a uszkodzenie współpracujących ze sobą elementów w głównej mierze obejmuje strefy powierzchniowe. W przypadku zużycia części maszyny, jeżeli istnieje taka możliwość, a koszty regeneracji nie przekraczają ceny nowego elementu, uszkodzona część powinna zostać poddana naprawie. Obecnie stosowane technologie spawalnicze dają możliwość przeprowadzenia napraw większości uszkodzonych lub zużytych metalowych części maszyn, pozwalając przy tym na przywrócenie właściwości użytkowych regenerowanym elementom. Dużą zaletą regeneracji metodami spawalniczymi jest krótki czas naprawy oraz zazwyczaj niskie koszty (np. regeneracja przez napawanie walców stosowanych do walcowania stali stanowi zaledwie około 20% ceny nowych elementów) [1, 8].

Metalurgia proszków, stanowiąca pewnego rodzaju alternatywę, odpowiada na zapotrzebowania przemysłów głównie motoryzacyjnego i lotniczego na innowacyjne technologie i tworzenie nowych materiałów konstrukcyjnych. Technologia ta zawdzięcza swój dynamiczny rozwój szerokim możliwościom kształtowania wyrobów z proszków metali o określonych właściwościach mechanicznych, fizycznych, czy też eksploatacyjnych. Pewna dowolność w doborze składu chemicznego mieszanek

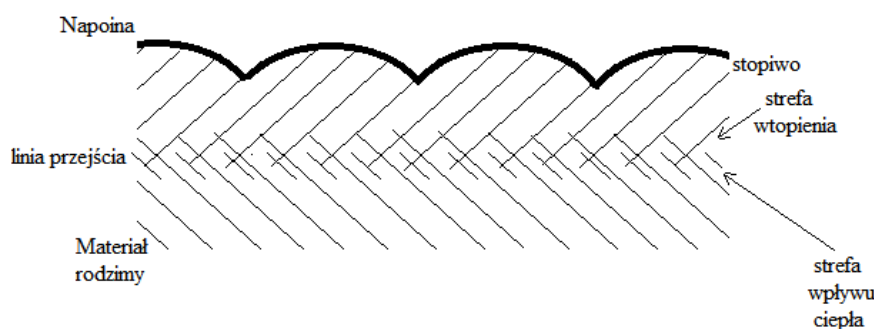
proszkowych, jak również niewielkie jednostkowe zużycie energii przy produkcji seryjnej i wielkoseryjnej, stanowią dodatkowe zalety metalurgii proszków [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Porowatość oraz skład chemiczny to podstawowe cechy wpływające na możliwość zastosowania technologii spawalniczych w celu regeneracji elementów spiekanych. W przypadku porowatości zarówno liczba, rozmiar, jak również rozmieszczenie porów w istotny sposób wpływają na jakość połączenia materiał rodzimospoina (występowanie obszarów umożliwiających połączenie się materiału rodzimego ze spoiną, pojawianie się porów w spoinie, częstotliwość występowania pęknięć w pobliżu strefy wtopienia). Natomiast skład chemiczny w istotny sposób wpływa na skłonność do hartowania, rodzaj struktury jaka powstanie w złączu, a obecność niektórych pierwiastków całkowicie może wykluczyć regenerację metodami spawalniczymi. Głównym problemem pojawiającym się przy regeneracji elementów spiekanych są pęknięcia powstające w bezpośrednim sąsiedztwie strefy wtopienia lub w strefie wpływu ciepła. Literatura obejmująca tematykę spajania/ regeneracji elementów spiekanych jest znacznie ograniczona, a do metod obecnie stosowanych można zaliczyć: procesy prowadzone w temperaturze otoczenia – połączenia mechaniczne i adhezyjne oraz procesy prowadzone z wykorzystaniem energii cieplnej – lutowanie, spawanie, zgrzewanie. Lutowanie twarde stanowi powszechną metodę wykorzystywaną w celu łączenia elementów spiekanych z innymi elementami wykonanymi metodami

metalurgii proszków, czy też z elementami wykonanymi z materiałów litych [8, 10].

Napawanie jest procesem spawalniczym, w którym w odróżnieniu od innych metod nanoszenia powłok metalicznych dochodzi do przetopienia materiału podłoża przy nanoszeniu napoiny. Przetopienie materiału bazowego na pewnej głębokości daje gwarancję prawidłowego połączenia warstwy napawanej z materiałem podłoża. Istotną rolę odgrywa tu głębokość

wtopienia oraz stopień wymieszania materiału podłoża z napoینą [9]. Na rys. 1 przedstawiono strefę napawaną z wszystkimi jej elementami.

W niniejszej pracy podjęto próbę zastosowania napawania na spiekach wykonanych z materiału na bazie żelaza. Badana była mikrostruktura oraz mikrotwardość materiału rodzimego i napoiny w zależności od zawartości molibdenu w materiale rodzimym.



Rys. 1. Schemat stref materiału po napawaniu.

Materiał i metodyka

Materiałem wykorzystanym do badań był stopowany proszek na bazie żelaza MSP firmy Quebec Metal Powders Ltd o różnej zawartości molibdenu – 1,5%,

3,5% oraz 4% wag. Badany proszek wytworzony został metodą rozpylania wodą. Tabela 1 przedstawia skład chemiczny poszczególnych próbek wraz z ich oznaczeniami.

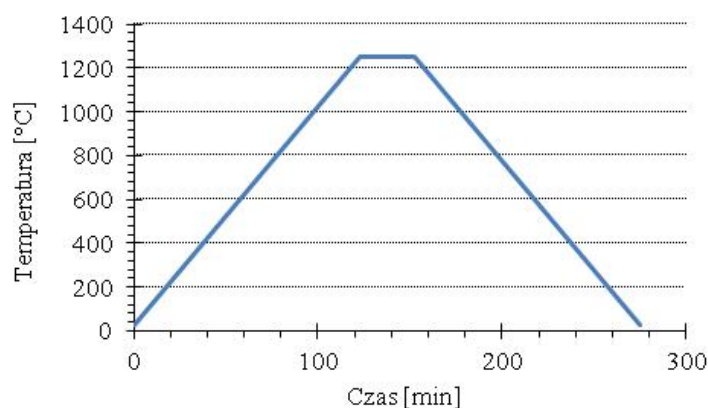
Tabela 1. Skład chemiczny i oznaczenia analizowanych próbek.

Oznaczenie próbki	Skład chemiczny				
	C [%]	Mn [%]	S [%]	Mo [%]	Fe [%]
MSP 1.5Mo	0,01	0,1	0,008	1,5	98,89
MSP 3.5Mo	0,01	0,1	0,008	3,5	96,38
MSP 4.0Mo	0,01	0,1	0,008	4,0	95,88

Walcowe próbki wykonano metodą jednostronnego prasowania na zimno przy ciśnieniu 600 MPa. Odważoną ilość proszku (50 g) zasypywano do matrycy i prasowano stemplem o średnicy 25,4 mm. Wypraski następnie poddano procesowi spiekania w laboratoryjnym piecu rurowym. Spiekanie prowadzono w temperaturze 1250°C w atmosferze redukującej (wodór o czystości 99,9999%, punkt rosy -60°C). Prędkość nagrzewania oraz chłodzenia wynosiła 10°Cmin⁻¹. Profil temperaturowy procesu spiekania przedstawiono na rys. 2. Gęstość wyprasek oraz spieków została wyznaczona metodą geometryczną (przez pomiar masy i objętości). Otrzymane spieki poddano napawaniu metodą MAG (ang. Metal Active Gas). Do napawania próbek wykorzystano drut chromowo-molibdenowy o składzie

podanym w tabeli 2. Napawanie przeprowadzono w ochronnej atmosferze mieszaniny gazów: argon + CO₂ (15-25%).

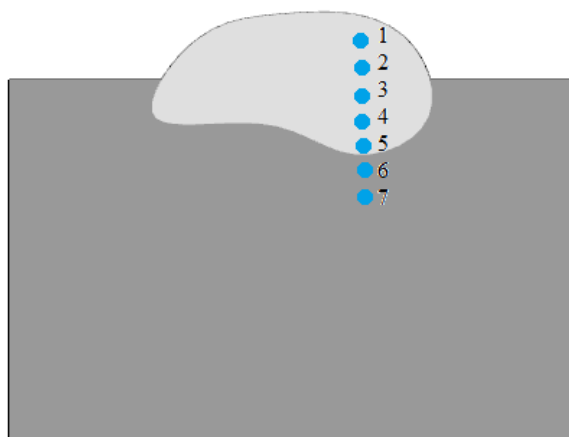
W celu przeprowadzenia badań mikrostruktury oraz pomiarów mikrotwardości wykonane zostały zglądy metalograficzne. Wykonane zostały zdjęcia mikrostruktur na próbkach niepoddanych trawieniu i trawionych odczynnikami Villela. Zdjęcia mikrostruktur wykonano przy wykorzystaniu urządzenia Innovatest 400 Series Model. Mikrotwardość mierzona była metodą Vickersa przy obciążeniu 0,1 kgf. Rys. 3 przedstawia schemat pomiaru mikrotwardości (pomiar obejmował obszar stopiwa (1÷3), stery wtopienia (4÷5) oraz materiału rodzimego (6÷7)).



Rys. 2. Profil temperaturowy procesu spiekania analizowanych próbek.

Tabela 2. Skład chemiczny spoiwa.

Składnik	C	Si	Mn	Cr	Mo	Fe
[% wag.]	0,08	0,60	0,95	2,60	1,00	reszta

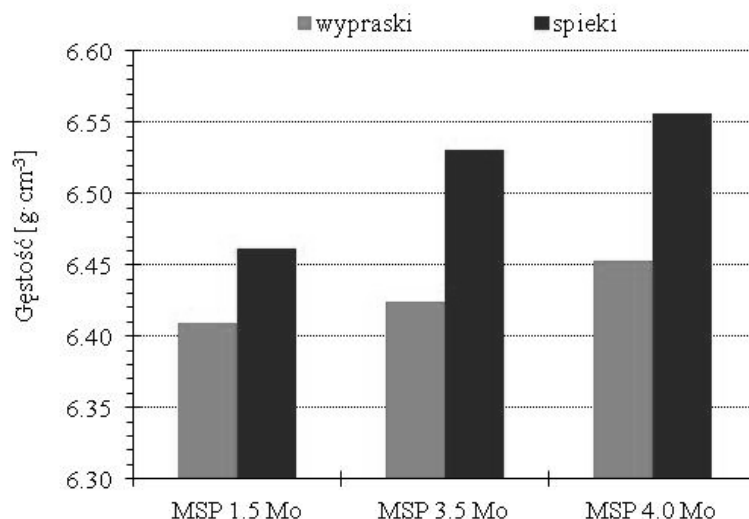


Rys. 3. Schemat pomiaru mikrotwardości badanych próbek

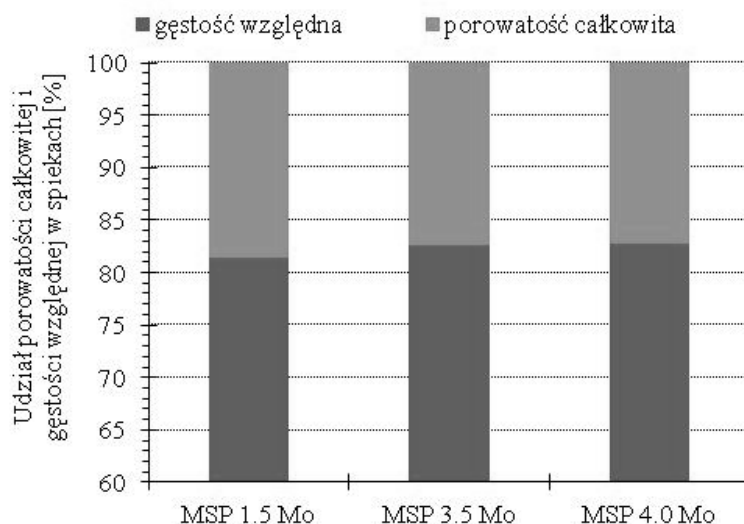
Wyniki

Na rys. 4 przedstawione zostały wyniki pomiarów gęstości wyprasek oraz spieków. Jak można zaobserwować, wraz ze wzrostem zawartości molibdenu w proszku wzrasta gęstość badanych próbek. Najwyższe zagęszczenie próbki otrzymano w przypadku zastosowania proszku o największej zawartości molibdenu. Na podstawie otrzymanych wyników i obliczonych gęstości teoretycznych dla każdego

rozpatrywanego przypadku wyznaczone zostały gęstość względna oraz porowatość całkowita spieków. Na rys. 5 przedstawiono udziały procentowe porowatości całkowitej oraz gęstości względnej w spiekach w zależności od zawartości molibdenu w badanym proszku. Wszystkie próbki po spiekaniu osiągnęły bardzo zbliżone wartości porowatości całkowitej, jednakże najmniejszą porowatością charakteryzowała się próbka o najwyższej zawartości molibdenu.



Rys. 4. Porównanie gęstości wyprasek oraz spieków w funkcji zawartości molibdenu w badanym materiale.

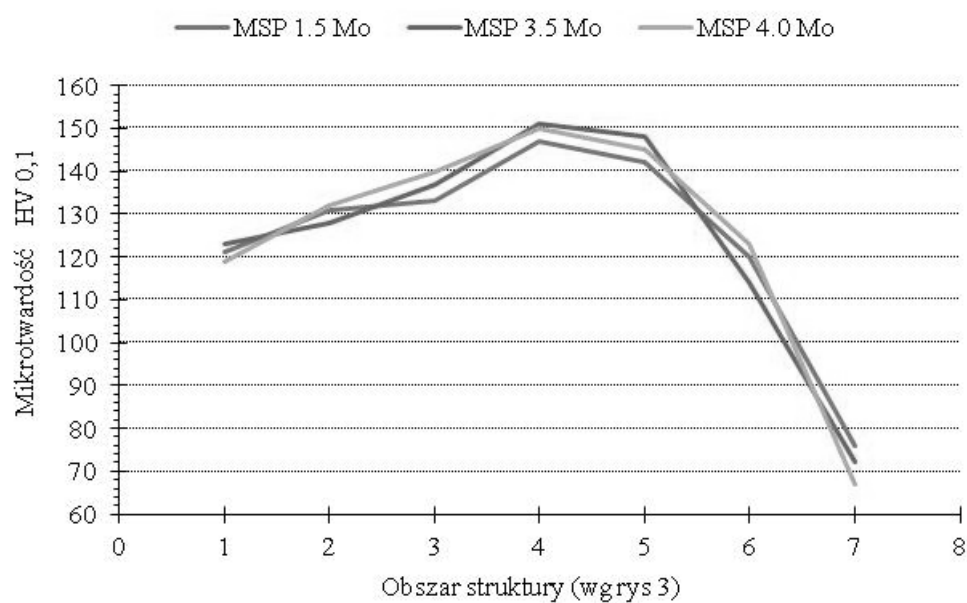


Rys. 5. Porównanie gęstości względnych oraz porowatości całkowitych spieków w funkcji zawartości molibdenu w badanym materiale.

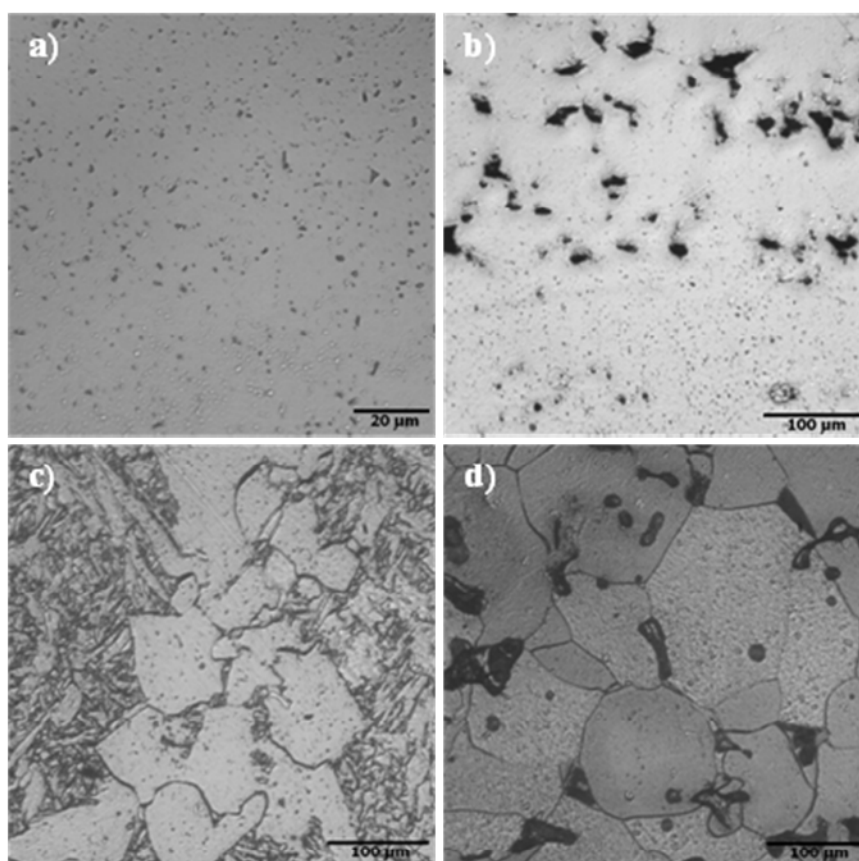
Na rys. 6 przedstawiono wyniki pomiarów mikrotwardości badanych próbek w kolejnych obszarach pokazanych na rys. 3. Jak można zauważyć najwyższą twardością charakteryzowały się strefy przejściowe między napoiną a materiałem rodzimym, a najmniejszą materiał rodzimy, co w głównej mierze wynika z wysokiej porowatości badanych próbek.

Rys. 7, 8 oraz 9 przedstawiają zdjęcia mikroskopowe powierzchni zglądów badanych próbek, odpowiednio przed jak i po przeprowadzeniu trawienia odczynnikiem Villela. Zdjęcia próbek nietrawionych pozwalają na jakościową ocenę porowatości badanych próbek. Wszystkie próbki w obszarze rdzenia charakteryzują się znaczną porowatością i nieregularnym kształtem porów. Mikrostruktura uwidoczniła na wytrawionych powierzchniach zglądów pozwala na wyraźne rozróżnienie

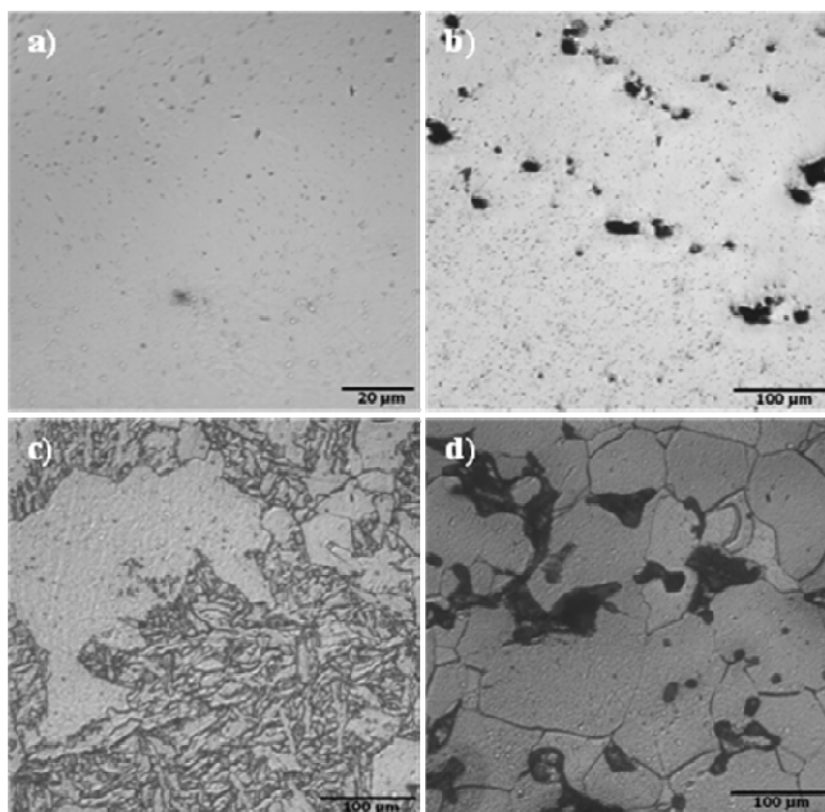
obszaru występowania napoiny, strefy wpływu ciepła oraz obszaru materiału rodzimego. Ze względu na zastosowanie do napawania chromowo-molibdenowego drutu dla każdego z analizowanych przypadków mikrostruktura w obszarze napoiny jest taka sama dla wszystkich próbek. Na podstawie otrzymanych zdjęć można zaobserwować wyraźną strefę wpływu ciepła o znacznej szerokości, co świadczy o prawidłowym przebiegu napawania i o dobrym połączeniu materiału napawanego z materiałem rodzimym. Podczas analizy licznych zdjęć mikroskopowych wykonanych zglądów nie zaobserwowano występowania pęknięć w pobliżu strefy wtopienia. Zgodnie z danymi literaturowymi [11], otrzymana struktura materiału macierzystego dla wszystkich badanych próbek stanowi strukturę ferrytyczną.



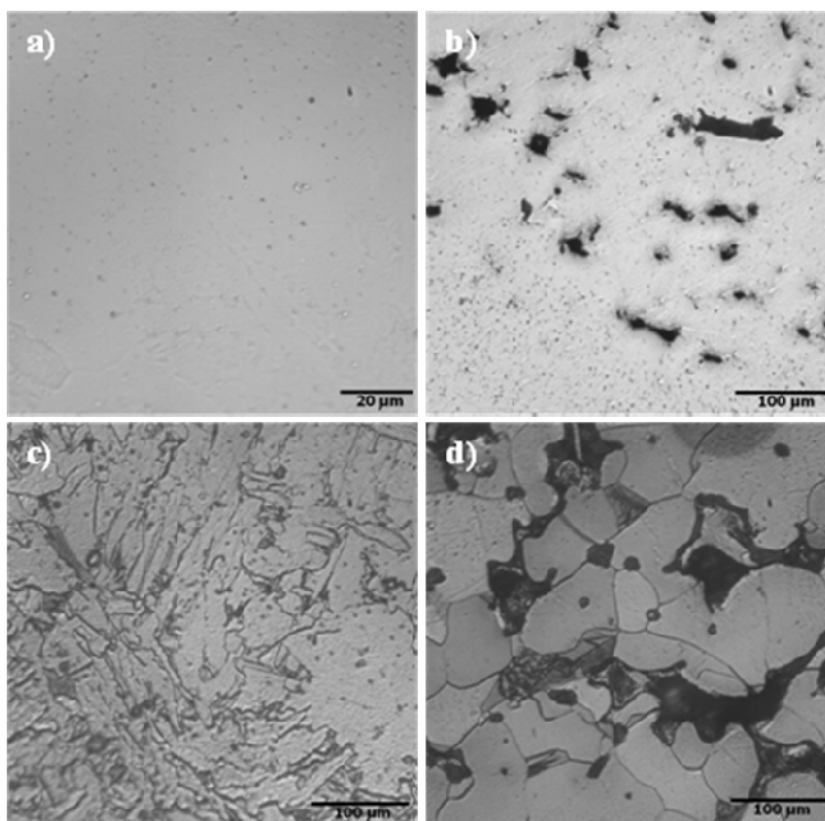
Rys. 6. Mikrotywardość badanych próbek w obszarach określonych zgodnie z rys. 3.



Rys. 7. Zdjęcia mikroskopowe próbki MSP 1.5Mo: a) napoina (struktura nietrawiona); b) strefa wtopienia (struktura nietrawiona); c) napoina (struktura trawiona); d) strefa wtopienia (struktura trawiona).



Rys. 8. Zdjęcia mikroskopowe próbki MSP 3.5Mo: a) napoina (struktura nietrawiona); b) strefa wtopienia (struktura nietrawiona); c) napoina (struktura trawiona); d) strefa wtopienia (struktura trawiona).



Rys. 9. Zdjęcia mikroskopowe próbki MSP 4.0Mo: a) napoina (struktura nietrawiona); b) strefa wtopienia (struktura nietrawiona); c) napoina (struktura trawiona); d) strefa wtopienia (struktura trawiona).

Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość stosowania napawania elementów wytwarzanych metodami metalurgii proszków (powstanie struktury

przejściowej oraz brak pęknięć w strefie wpływu ciepła). Napawanie może być stosowane w procesach regeneracji uszkodzonych elementów spiekanych, jak również w nakładaniu warstw materiałów twardszych niż materiał bazowy w celu zwiększenia odporności na ścieranie.

Literatura

1. Kolbusz, R., Tabor, A., Wojciechowski, W., Napawanie elementów spiekanych materiałów konstrukcyjnych, *Archiwum Odlewnictwa*, 2006, 21/2, s. 229-234.
2. Ciaś, A., Fryfrych, H., Pieczonka, T., Zarys metalurgii proszków. Książka pomocnicza dla nauczyciela i ucznia. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1992.
3. Szczepanik, S., Przeróbka plastyczna materiałów spiekanych z proszków i kompozytów. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków, 2003.
4. Romański, A., Motyka, M., Zastosowanie technologii metalurgii proszków w przemyśle samochodowym, XXXI Szkoła Inżynierii Materiałowej Kraków-Krynica 7-10.X, 2003, s. 315-322.
5. Hebda, M., Nykiel, M., Szewczyk-Nykiel, A., Inżynieria spieków metalicznych i kompozytów. Politechnika Krakowska, Kraków, 2013.
6. Link, R., Modern Pre-alloyed PM Steels and Advanced Process Technology, PM World Congress 1998.
7. Höganäs handbook for sintered components: Metallography 6, 2004.
8. Kolbusz, R., Wpływ cykli cieplnych spawania na strukturę i właściwości złączy spawanych ze spiekanych materiałów konstrukcyjnych, Rozprawa doktorska, Akademia Gorniczo-Hutnicza, Kraków 2008.
9. Góral, T., Wpływ technologicznych parametrów napawania brązu na podłoże stalowe na wybrane właściwości użytkowe napoin, Rozprawa doktorska, Akademia Gorniczo-Hutnicza, Kraków, 2007.
10. Kasiński, A., Klimek, L., Badania mikroskopowe regeneracyjnej warstwy napawanej ze stali 13CrMo4-5 wykonanej w technologii Multiplex, *Archiwum Odlewnictwa*, 2006, 19, s. 157-164.
11. Malkiewicz, T., Metaloznawstwo stopów żelaza, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Kraków, 1996.