

## WYTWARZANIE WARSTW POROWATYCH PRZY UŻYCIU MIKROSPAWANIA

### Streszczenie

Celem pracy było zapoznanie się z metodą mikrospawania opornościowo-impulsowego oraz zaznajomienie się z właściwościami i mikrostrukturą porowatych warstw wierzchnich.

Został również dokonany dobór materiału podłoża stali S235JR oraz materiałów napawanych, którymi były pasty wykonane z oleju silikonowego oraz mieszanin proszków żelaza: NC 100.24, ASC 100.29, Distaloy SE z tlenkiem żelaza ( $Fe_2O_3$ ) i miedzią (Cu).

Po przygotowaniu materiałów nastąpił dobór właściwych parametrów mikrospawania. W celu wytworzenia porowatej warstwy wierzchniej na stali zastosowano napawanie metodą mikrospawania opornościowo-impulsowego z wykorzystaniem urządzenia do mikrospawania WS7000S firmy SST France & Vision Lasertechnik.

### WSTĘP

Wytwarzanie porowatych warstw wierzchnich jest stosunkowo mało rozwiniętą dziedziną inżynierii warstwy wierzchniej. Uzyskanie takich warstw nastręcza wielu problemów technologicznych i materiałowych [1,2]. Metody pozwalające na uzyskanie akceptowalnych powłok porowatych opierają się głównie na metodach łączenia gotowych elementów porowatych. Autorzy [3] przedstawili możliwości połączenia folii metalowej podłoża i pianki na bazie Fe przy użyciu lasera ND:YAG. Inną metodę opisano w publikacji [4], w której autor jako cel eksperymentu założył zbadanie techniki wytwarzania porowatych metalowych pianek przez redukcję tlenków metalu podczas spiekania na elemencie, stanowiącym podstawę wytwarzanej warstwy. W pracy [5] celem autorów było scharakteryzowanie mikrostruktury mikroporowatej warstwy wierzchniej i jej adhezji do podłoża ze stopu Ti-6Al-7Nb, wykonanej metodą utleniania mikrołukiem elektrycznym w elektrolicie, zawierającym  $(CH_3COO)_2CaH_2O$  i  $Na_3PO_4$ . Grubość tej warstwy oscylowała w granicach kilku mikrometrów. Każda z opisanych metod pozwala na tworzenie innych geometrii i grubości warstw porowatych.

W dalszej części została przedstawiona nowa metoda wytwarzania warstwy porowatej przy użyciu mikrospawania [6,7] opornościowo-indukcyjnego i późniejszej redukcji składników warstwy (mieszanki tlenków w osnowie proszku żelaza), w wyniku czego otrzymuje się pory. Wg Ashby'ego [1] taki sposób wytwarzania materiału porowatego można klasyfikować jako odmianę tzw. „space holder method” – wytwarzania porów na skutek usuwania wypełniacza, po którym zostaje por. Warstwa została przygotowana według sposobu, opisanego w polskim opisie patentowym nr 199720 [8], co pozwala na komponowanie nieregularnych struktur komórkowych z porów otwartych lub zamkniętych. Zakres porowatości zależy silnie od użytych materiałów, rozmiaru cząstek i rodzaju użytego materiału. Jednak kluczowy wpływ na porowatość ma stosunek ilości proszku tlenku metalu oraz ilości proszku metalu matrycy, który jest podstawową strukturą wytwarzanych spieków [9].

### 1. WYBÓR MATERIAŁU PODSTAWOWEGO I NAPAWANEGO

Materiały wykorzystywane w eksperymentach są szeroko wykorzystywane do wytwarzania elementów maszyn i urządzeń [10,11]. Jako materiał podłoża zastosowano stal gatunku S235JR.

Jako materiał napawany zostały użyte pasty wykonane z mieszaniny oleju silikonowego i:

- proszku żelaza NC 100.24,
- proszku żelaza ASC 100.29,
- proszku Distaloy SE.

Ponadto do proszków zostały dodane inne materiały takie jak: proszek tlenku żelaza  $Fe_2O_3$  oraz proszek miedzi Cu. Domieszki te zostały wprowadzone w celu uzyskania jak największej porowatości materiału.

#### 1.1. Materiał podstawowy stal S235JR

Stal S235JR jest stalą niestopową konstrukcyjną ogólnego przeznaczenia. Jest to stal spawalna, która cechuje się bardzo dobrą skrawalnością. Stal ta stosowana jest na konstrukcje spawane, nośne i obciążone dynamicznie, ponadto, stal ta jest stosowana na inne elementy maszyn i urządzeń.

Tab. 1. Właściwości stali konstrukcyjnej S235

Oznaczenie wg EN 10025-2	Stare oznaczenie	Re [MPa]	Rm [MPa]	HB	A <sub>5</sub> [%]
S235JR	St4	235	410	140	21-24

Tab. 2. Skład chemiczny stali S235JR

S235JR – skład chemiczny [%]						
C dla grubości nominalnych [mm]		Mn	Si	P	S	N
<16	16-40					
0,17	0,2	1,4	-	0,045	0,045	0,009

### 2. PROCES MIKROSPAWANIA OPORNOŚCIOWO-IMPULSOWEGO WYKORZYSTANY DO WYTWORZENIA POROWATEJ WARSTWY WIERZCHNIEJ NA STALI

Eksperyment polegał na wykonaniu porowatej warstwy wierzchniej na bazie Fe na blaszce stalowej. Na blachę ze stali gatunku S235JR zostały napawane 3 różne pasty, mieszaniny oleju silikonowego z:

- proszkiem ASC 100.24,
- proszkiem ASC 100.29,
- proszkiem Distaloy SE.

Dla uzyskania dobrego połączenia, niezbędne było gruntowne przygotowanie powierzchni. Materiał podłoża został mechanicznie

oczyszczony z pozostałości tlenkowych i odtłuszczony, także w miejscu podłączenia przewodu masowego.

Z punktu widzenia technologii mikronapawania bardzo istotny jest odpowiedni dobór parametrów, ponieważ:

- odpowiednia intensywność pozwala na osiągnięcie optymalnej jakości spawu,
- zbyt słaba intensywność może spowodować jedynie przyklejenie materiału, a nie jego trwałe przyspawanie,
- zbyt silna intensywność powoduje deformacje i uszkodzenia materiałów nanoszonych oraz uszkodzenie elektrody wolframowej i przewodu masowego [12,13].

### 2.1. Parametry procesu napawania

Proces napawania został wykonany przy użyciu parametrów:

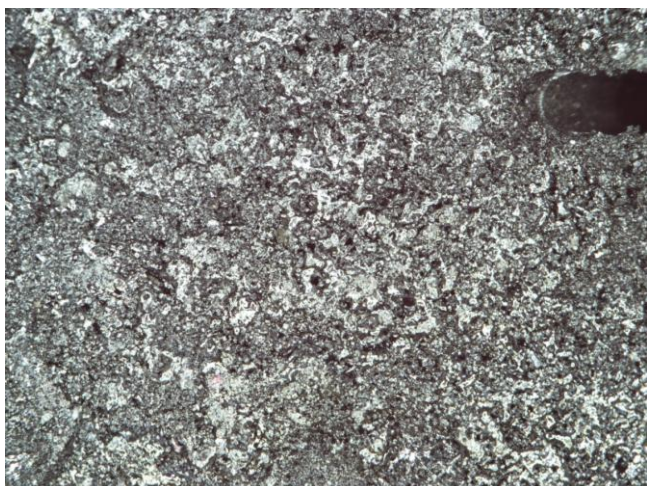
- dla proszku NC 100.24:
  - czas impulsu 7-8 ms,
  - intensywność impulsu 53% mocy;
- dla proszku ASC 100.29:
  - czas impulsu 6-7 ms,
  - intensywność impulsu 65% mocy;
- dla proszku Distaloy SE:
  - czas impulsu 5-6 ms,
  - intensywność impulsu 73% mocy.

Wszystkie parametry zostały dobrane eksperymentalnie. Doświadczenie było przeprowadzane z wykorzystaniem różnych kombinacji parametrów, aż do uzyskania warstw osiągających najlepsze rezultaty w badaniach makroskopowych.

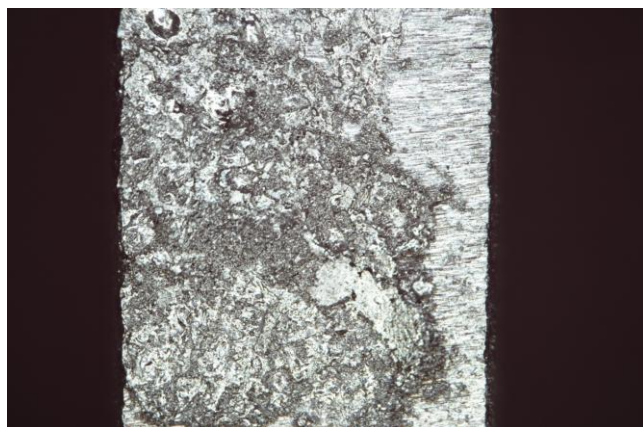
Do napawania została wykorzystana elektroda srebrno-wolframowa o średnicy 5 mm i zaokrąglonej końcówce. Dzięki wysokiej temperaturze topnienia wolframu wynoszącej 3380°C elektroda cechuje się wysoką żywotnością.

### 2.2. Przebieg procesu napawania

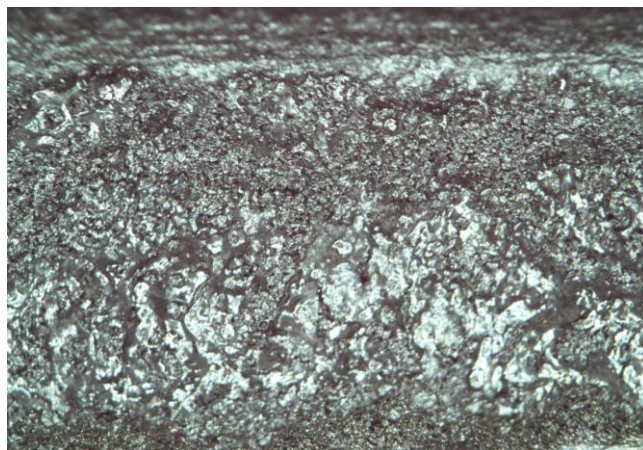
Na blachę nanoszono ciekłą warstwę pasty, a następnie niezbyt mocno dociskając elektrodę „walcowano” – przemieszczano elektrodę wzdłuż naniesionej warstwy pasty. Proces ten powtarzano kilkunastokrotnie, aż do odparowania niemal całego oleju silikonowego z nakładanej mieszaniny. Uzyskana powłoka miała grubość poniżej 1 mm.



**Rys. 1.** Makrostruktura porowatej warstwy wierzchniej z pasty z proszkiem NC 100.24; powiększenie 20x



**Rys. 2** Makrostruktura porowatej warstwy wierzchniej z pasty z proszkiem ASC 100.29; powiększenie 20x



**Rys. 3** Makrostruktura porowatej warstwy wierzchniej z pasty z proszkiem Distaloy S; powiększenie 20x

Po wykonaniu powłok fragmenty próbek zostały wycięte na przecinarce ramowej i poddane wygrzewaniu w piecu w temperaturze 1130°C przez okres ok. 45 minut. Proces ten przebiegał w atmosferze zdysocjowanego amoniaku. Po zakończeniu wygrzewania studzenie próbek odbywało się w atmosferze ochronnej, aż do uzyskania temperatury pokojowej. Średnia prędkość chłodzenia wynosiła około 25°C na minutę. Parametry wygrzewania odpowiadają średnim wartościom stosowanym przy produkcji spieków, opartych na materiałach bazujących na proszkach żelaza. Zastosowano także typową atmosferę redukującą, wykorzystywaną przy produkcji elementów spiekanych.

### PODSUMOWANIE

Proces mikrosparawania opornościowo-impulsowego przy wykorzystaniu aparatu do mikrosparawania WS7000S, który służy głównie jako urządzenie do naprawy form odlewniczych, można jak się okazało, z powodzeniem stosować również do napawania porowatych powłok na podłożu z blachy stalowej. Proces ten wymaga jednak doboru odpowiednich parametrów mikrosparawania oraz starannego i bardzo dokładnego przygotowania powierzchni materiału podłoża. Powierzchnia ta powinna być wyczyszczona i odtłuszczona oraz pozbawiona wszelkich zanieczyszczeń. Bardzo ważnym elementem jest również zapewnienie dobrego kontaktu z masą, którą również należy wyczyścić i odtłuszczyć. Równie istotne jest odpowiednie przygotowanie pasty służącej do wytworzenia napawanej powłoki. Proszki żelaza (zmieszane uprzednio z dodatkami stopowymi) powinny być bardzo dokładnie i w odpowiednich proporcjach wymieszane z olejem silikonowym.

## BIBLIOGRAFIA

1. M.F. Ashby, A.G. Evans, N.A. Fleck, L.J. Gibson, J.W. Hutchinson, H.N.G. Wadley Metal Foams: A Design Guide. Butterworth-Heinemann 2000.
2. DAVIES G.J., ZEHN S.: Review Metallic foams: their production, properties and applications. Journal of Materials science 18 (1983), p. 1899-19116.
3. Depczyński W., Młynarczyk P.: The selected properties of fusion of Fe foam and sheet metal with use of the ND:YAG laser, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Tom: 65, Zeszyt: 2, Strony: 68-72.
4. Depczyński W.: Sintering of copper layers with a controlled porous structure. METAL 2014, 23rd International Conference on Metallurgy and Materials, Strony: 1219-1224 Brno WOS: 000350641700201.
5. Moskalewicz T., Kruk A., Kot M., Kayali S., Czyska-Filemonowicz A.: Characterization of microporous oxide layer synthesized on Ti-6Al-7Nb alloy by micro-arc oxidation. Acieves of civil and mechanical engineering, 2014.
6. Ferenc K.: Spawalnictwo. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2007.
7. Dobranszky J.: The microwelding technologies and their applications. Budapest 2004.
8. Chatys R., Depczyński W., Żórawski W.: Sposób wytwarzania struktur porowatych, Patent RP nr 199720.
9. Depczyński W., Młynarczyk P., Spadło S., Ziach E., Hepner P.: The selected properties of porous layers formed by pulse microwelding technique, METAL 2015, Brno.
10. Per Lindskog: The history of Distaloy. Institute of Materials, Minerals and Mining, Sweden, 2013.
11. Faryj K., Ciał A.: Wytwarzanie spieków z proszku żelaza otrzymanego drogą bezpośredniej redukcji rudy żelaza jako przykład racjonalnego użytkowania surowców mineralnych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 24, 2008.
12. Instrukcja obsługi mikroszawarki WS70000S.
13. WS Microwelding Machine  
<http://rocklinmanufacturingco.com/Resources/PDF/Equipment-Sales-Company-WS-Micro-Welder.pdf> (dostęp: 22.04.2015r.)

Autorzy:

dr inż. **Wojciech Depczyński** – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Techniki Komputerowych i Uzbrojenia, Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, wdep@tu.kielce.pl

mgr inż. **Piotr Młynarczyk** – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Techniki Komputerowych i Uzbrojenia, Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, p.mlynarczyk@tu.kielce.pl

dr hab. inż. **Sławomir Spadło** prof. PŚK – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Techniki Komputerowych i Uzbrojenia, Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, sspadlo@tu.kielce.pl

mgr inż. **Ewelina Ziach** – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Techniki Komputerowych i Uzbrojenia, Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, ewelina.ziach@gmail.com

## PREPARATION OF POROUS LAYERS USING MICROWELDING

### *Abstract*

*The aim of this study was to examine method of resistance microwelding and familiarization with the properties and microstructure of porous surface layers made using this method.*

*The selection of the substrate material (S235JR steel) and welded materials, which were pastes made of silicone oil and iron powders (NC 100.24, ASC 100.29, Distaloy SE) with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cu powders addition was made.*

*After selecting the materials the choice of appropriate microwelding parameters was made.*