

# Badania właściwości powłok na bazie chromu napawanych metodą TIG

## Examination of chromium-based coating properties deposited by means of TIG

DOMINIK DUDEK  
KONRAD STEFAŃCZYK  
EWELINA SKOWRON  
RADOSŁAW MIJAS\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.179>

English version available on: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl)

Artykuł zawiera wyniki badań polegających na napawaniu blach wykonanych ze stali X10CrMoNb9-1. Stalowa blacha była napawana metodą TIG z wykorzystaniem 2 różnych materiałów. Proces napawania przeprowadzono na urządzeniu Electric Invertec V270-T pulse. Materiałami, których użyto do napawania, były W CrMo2Si oraz W CrMo91. Po przeprowadzonym procesie z napawanych blach wycięto próbki, z których następnie wykonano zgłady metalograficzne. W artykule przedstawiono fotografie mikrostruktur zarejestrowanych podczas obserwacji zgładów pod mikroskopem odwróconym Nikon Eclipse MA 200.

**SŁOWA KLUCZOWE:** warstwa wierzchnia, napawanie, powłoka, napawanie TIG, mikrostruktura

*The paper presents results of the deposition tests on the steel plates made of X10CrMoNb9-1. The steel sheet has been TIG-deposited using two different materials. Welding process has been performed applying Electric Invertec V270-T pulse device. The materials used for the deposition were W CrMo2Si and W CrMo91. After the process, samples have been cut from the deposited plates, from which the metallographic welds have been made. The paper presents photographs of microstructures recorded during observation of welds under Nikon Eclipse MA 200 inverted microscope.*

**KEYWORDS:** superficial layer, hardfacing, coating, TIG welding, microstructure

Jednym z kierunków postępu technologicznego oraz rozwoju inżynierii materiałowej jest poszukiwanie stopów o wysokiej twardości oraz odporności na korozję i ścieranie. Te poszukiwania są zdeterminowane również przez czynnik ekonomiczny.

Istnieje wiele metod umożliwiających poprawę jakości powierzchni materiału konstrukcyjnego (m.in. jej chropowatości [1,2], właściwości tribologicznych, właściwości warstwy wierzchniej [3,4]). Polegają one na nanoszeniu warstw za pomocą wyładowań elektrycznych [5], a także na wykorzystaniu: procesów spawania [6] (w tym spawania hybrydowego lub mikrospawania [9–12]), techniki laserowej [7, 8], natrysku cieplnego [12]. Istotnym elementem procesu technologicznego jest również obróbka kształtowa i wykończeniowa, ponieważ współczesne materiały są trudne w obróbce ogólnodostępnymi technologiami. W takim przypadku wskazane jest zastosowanie

niekonwencjonalnych technologii w procesie kształtowania [13–15] czy obróbki wykończeniowej [16].

Pomimo rozwoju materiałów konstrukcyjnych proces napawania wciąż jest nieodłącznym elementem wielu procesów produkcyjnych. Zużycie elementów części maszyn, polegające na pogorszeniu własności użytkowych powierzchni roboczych tych elementów, skutkuje koniecznością ich wymiany. To zużycie jest spowodowane stopniową utratą materiału z powierzchni elementu wskutek jego ruchu względem współpracującej z nim substancji lub innego elementu, a także wieloma procesami fizycznymi i chemicznymi zachodzącymi podczas eksploatacji. To zagadnienie jest bardzo złożone. Wymiana zużytego elementu zazwyczaj wiąże się z wysokimi kosztami zamiennika. Jednym ze sposobów regeneracji części maszyn, które wskutek eksploatacji uległy częściowemu zużyciu, jest napawanie [17, 19].

Częstotliwość wymiany elementów można zmniejszyć przez stosowanie materiałów o większej odporności na zużycie. Tę cechę można zapewnić dzięki naniesieniu na materiał – np. metodą napawania TIG – powłoki poprawiającej jego właściwości. Proces napawania pozwala więc na regenerację elementów lub zwiększenie ich odporności na zużycie (dotyczy to np.: zębów koparek, wiertel górniczych, żeliwnych tłoków pomp czy powlekanych ołowiem ścianek zbiorników wykorzystywanych w przemyśle chemicznym). Dzięki temu można zredukować koszty produkcji oraz eksploatacji maszyn i urządzeń.

### Napawanie

Napawanie jest procesem spawalniczym mającym na celu metalurgiczne stopienie napawanej powierzchni (napoiny) i ułożeniu jej na nadtopionym podłożu przedmiotu obrabianego. Jest to istotne z punktu widzenia uzyskania odpowiedniej głębokości wtopienia, która determinuje przyczepność napawanej warstwy do materiału podłoża. Proces napawania ma na celu nadanie przedmiotowi odpowiednich właściwości, takich jak odporność na zużycie (zwłaszcza ścierne) czy korozję. Może być stosowane do regeneracji części – poprawy jej geometrii i uzupełnienia ubytków spowodowanych nadmierną eksploatacją [17, 18].

Ważnym parametrem gotowego wyrobu jest udział podłoża w napoynie. Parametr ten zależy od wielu czynników, w tym od metody napawania i parametrów procesu [17, 18].

W zależności od fizyki procesu, sposobu jego realizacji oraz czynników zastosowanych do topienia wyróżnia się wiele metod napawania. Metoda TIG (*tungsten inert gas*) polega na napawaniu łukowym elektrodą nietopliwą

\* Dr inż. Dominik Dudek ([dominik\\_dudek@op.pl](mailto:dominik_dudek@op.pl)) – Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, Politechnika Świętokrzyska; inż. Konrad Stefańczyk ([konrad.stefanczyk@onet.pl](mailto:konrad.stefanczyk@onet.pl)) – MAN Bus Sp. z o.o.; mgr inż. Ewelina Skowron ([ewelina-nowak90@wp.pl](mailto:ewelina-nowak90@wp.pl)), mgr inż. Radosław Mijas ([mi-rad@wp.pl](mailto:mi-rad@wp.pl)) – Mesko S.A.

w osłonie gazowej. Dodatkowy materiał napawany wprowadza się do obszaru łuku jarzącego się między nietopliwą elektrodą wolframową a napawanym podłożem [17, 18].

### Cel i przebieg badań

Celem badań była analiza napawania blachy ze stali X10CrMoNb9-1 metodą TIG elektrodami wysokochromowymi. Skład chemiczny stali przedstawiono w tabl. I.

Do wykonania napoin użyto prętów o następujących oznaczeniach producenta: W CrMo2Si oraz W CrMo91. Skład chemiczny tych materiałów podano w tabl. II i III.

Proces napawania metodą TIG realizowano za pomocą urządzenia Electric Invertec V270-T pulse, pokazanego na rys. 1.

TABLICA I. Procentowy skład chemiczny stali X10CrMoNb9-1 [20]

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Inne
0,08±0,12	0,2±0,5	0,3±0,6	8±9,5	0,85±1,05	0,06±0,1	0,18±0,25	0,03±0,07

TABLICA II. Procentowy skład chemiczny materiału napoiny W CrMo2Si [19]

C	Mn	Si	Cr	Mo	P	As	Sb	Sn
0,08	0,90	0,60	2,50	1,00	≤0,01	≤0,01	≤0,005	≤0,006

TABLICA III. Procentowy skład chemiczny materiału napoiny W CrMo91 [19]

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Nb	V
0,1	0,3	0,5	9,0	0,9	0,5	0,06	0,2



Rys. 1. Electric Invertec V270-T pulse

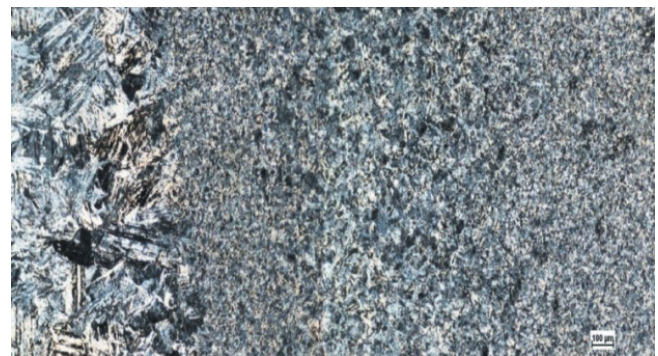
Proces napawania realizowano w osłonie gazu ochronnego – argonu. Natężenie jego przepływu wynosiło ok. 10 dm<sup>3</sup>/min, a natężenie prądu – ok. 180 A. Po napawaniu wykonano zglądy w celu przeprowadzenia obserwacji metalograficznych oraz pomiaru mikrotwardości. Do obserwacji zglądów wykorzystano mikroskop metalograficzny odwrócony Nikon Eclipse MA 200, a do pomiaru mikrotwardości – urządzenie NEXUS 4303.

### Wyniki badań

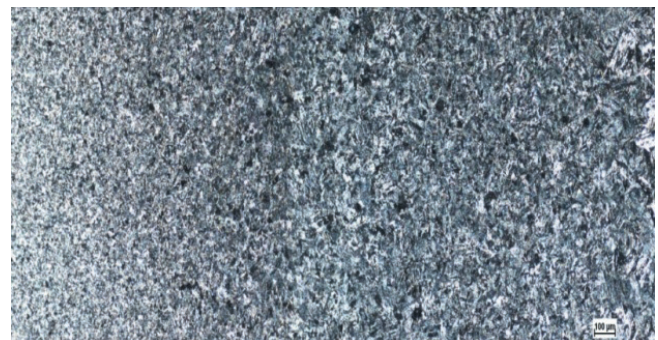
Analiza zaobserwowanych i zarejestrowanych mikrostruktur połączeń napoina – materiał rodzimy wskazuje, że napoina jest bardzo dobrze zespolona z podłożem. Występuje również charakterystyczna dla procesu napawania i powłok napawanych warstwa przejściowa. Na rys. 2 pokazano mikrostrukturę połączenia przedmiotu napawanego z napoiną w wariancie, w którym materiałem napawanym był pręt W CrMo2Si. Warstwa wierzchnia podłoża stanowi jedną warstwę, a warstwę drugą – napawana powłoka. Pomiędzy nimi znajduje się jeszcze

warstwa o właściwościach pośrednich (stopień wymieszania materiału podłoża z napoiną zależy m.in. od składu chemicznego stosowanych materiałów oraz parametrów napawania) oraz strefa wpływu ciepła. Na rys. 3 przedstawiono natomiast mikrostrukturę połączenia przedmiotu napawanego z napoiną w wariancie, w którym materiałem napawanym był pręt W CrMo91.

Do pomiaru mikrotwardości zastosowano urządzenie NEXUS 4303. Uśredniony wynik tego pomiaru, wykonanego metodą Vickersa, przedstawiono w tabl. IV (dla wariantu z prętem W CrMo2Si) oraz w tabl. V (dla wariantu z prętem z W CrMo91).



Rys. 2. Mikrostruktura połączenia napoiny wykonanej prętem W CrMo2Si ze stalią X10CrMoNb9-1 metodą TIG w osłonie argonu



Rys. 3. Mikrostruktura połączenia napoiny wykonanej prętem W CrMo91 ze stalią X10CrMoNb9-1 metodą TIG w osłonie argonu

TABLICA IV. Uśrednione wartości mikrotwardości napoiny, warstwy przejściowej oraz materiału rodzimego (W CrMo2Si)

Rodzaj warstwy badanej	Mikrotwardość HV <sub>0,5</sub>
Napoina	425
Warstwa przejściowa	440
Materiał rodzimy	419

TABLICA V. Uśrednione wartości mikrotwardości napoiny, warstwy przejściowej oraz materiału rodzimego (W CrMo91)

Rodzaj warstwy badanej	Mikrotwardość HV <sub>0,5</sub>
Napoina	459
Warstwa przejściowa	451
Materiał rodzimy	424

### Podsumowanie

Napawanie umożliwia zwiększenie odporności elementów maszyn na zużycie oraz regenerację zużytych części, a zatem pozwala na znaczne zredukowanie kosztów produkcji. To sprawia, że napawanie jest coraz bardziej popularną metodą w procesach produkcyjnych. Technologię cechuje dokładne stopienie metalurgiczne napawanej powłoki (napoiny) z nadtopionym materiałem podłoża.

Dzięki zastosowaniu metody TIG napoina charakteryzuje się bardzo dobrym połączeniem z metalowym podłożem, co wynika bezpośrednio z przetopienia materiału napawanego z materiałem rodzimym. W mikrostrukturze warstwy napawanej metodą TIG występują 4 warstwy: napoina, warstwa przejściowa, strefa wpływu ciepła oraz materiał rodzimy. Otrzymana powłoka nie zawiera porów ani innych wad, jeżeli proces napawania przeprowadzono prawidłowo. Udział podłoża w napoinie zależy od wielu czynników, m.in. od zastosowanej przez operatora metody napawania oraz dobranych parametrów i warunków napawania. Skład i właściwości warstwy napawanej oraz warstwy materiału rodzimego – z uwagi na jego przetopienie – zmieniają się w kierunku od zewnętrznej warstwy napoiny do materiału rodzimego.

#### LITERATURA

- Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S. "The superficial layer of parts machined by brush electro discharge mechanical machining (BEDMM)". *Journal of Engineering Manufacture. Part B*. 218 (2004): s. 9–15, DOI: 10.1243/095440504772830165.
- Matuszewski M., Kałaczyński T., Łukasiewicz M., Musiał J. "Surface geometric structure after various treatments and wear process". *The International Scientific Journal Problems of Tribology*. 1 (2013): s. 75–80.
- Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S. "The electrodischarge-based surface alloying process using brush electrode". *Proc. 12th International Symposium for Electromachining (ISEM), VDI BERICHTE*. 1405 (1998): s. 289–298.
- Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S. "New possibilities of machining and electrodischarge alloying of free-form surfaces". *Journal of Materials Processing Technology*. 109, 3 (2001): s. 371–376, DOI:10.1016/S0924-0136(00)00828-1.
- Nowicki B., Spadło S. "Brush electro-discharge mechanical machining BEDMM". *International Symposium For Electromachining, Proceedings (ISEM-11)*. (1995): s. 209–216.
- Dobrzenski J. "The microwelding technologies and their applications". Budapest, 2004.
- Mucha Z., Widlaszewski J., Kurp P. i in. "Mechanically-assisted laser forming of thin beams". *Laser Technology 2016: Progress and Applications of Lasers*. Book Series: Proceedings of SPIE. Vol. 10159, 2016.
- Napadlek W. "The impact of the output stereometry and absorbent coating on the efficiency of ablative laser texturing of iron alloy 100CrMnSi6-4". *Materials Testing*. 57, 10 (2015): s. 920–924.
- Depczyński W., Młynarczyk P., Spadło S., Ziach E., Hepner P. "The selected properties of porous layers formed by pulse microwelding technique". *METAL 2015: 24th International Conference on Metallurgy and Materials*. (2015): s. 1087–1092.
- Chmielewski T.D., Golański D., Włosiński W., Zimmerman J. "Utilizing the energy of kinetic friction for the metallization of ceramics". *Bulletin of the Polish Academy of Science: Technical Sciences*. 63, 1 (2015): s. 201–207, DOI: 10.1515/bpasts-2015-0023.
- Chmielewski T., Golański D. "New method of in-situ fabrication of protective coatings based on Fe-Al intermetallic compounds". *Journal of Engineering Manufacture*. 225, 4 (2011): s. 611–616.
- Krajewski A., Włosiński W., Chmielewski T., Kołodziejczak P. "Ultrasonic-vibration assisted arc-welding of aluminum alloys". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. 60, 4 (2013): s. 841–852.
- Ruszaj A. "Nonconventional methods of machining machine elements and tools". Kraków: IOS, 1999.
- Spadło S. "Comparative studies of brush electrodischarge machining with electrodes of alloy steel and tungsten". *Advanced Manufacturing Systems and Technology (AMST 02), CISM Courses and Lectures*. 437 (2002): s. 515–524.
- Oniszczyk D., Świercz R. "An investigation into the impact of electrical pulse character on surface texture in the EDM and WEDM process". *Advances in Manufacturing Science and Technology*. 36, 3 (2012): s. 43–53.
- Bańkowski D., Spadło S. "The application of vibro-abrasive machining for smoothing of castings". *Archives of Foundry Engineering*. 17.1 (2017): s. 169–173, DOI: 10.1515/afe-2017-0031.
- Blicharski M. „Inżynieria powierzchni”. Warszawa: WNT, 2009.
- Klimpel A. „Napawanie i natryskiwanie cieplne. Technologia”. Warszawa: WNT, 2000.
- Katalogi firm Benmet oraz Böhler Welding.
- PN-EN 10088-1:2014-12 Stale odporne na korozję – Część 1: Wykaz stali odpornych na korozję. ■