



## Badanie własności i struktury napoin kompozytowych wykonanych łukiem krytym

M. Kampa<sup>a</sup>, J. Górka<sup>b</sup>, T. Tański<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
email: mati.kampa@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Spawalnictwa  
email: jacek.górka@polsl.pl

<sup>c</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
email: tomasz.tanski@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wpływ węgla wolframu na własności i strukturę napoin, wykonanych łukiem krytym. Przeprowadzono także badania penetracyjne metodą barwną w celu zbadania jednorodności struktury. Zbadana została także twardość w poszczególnych próbkach.

**Abstract:** This publication will present influence of wolfram carbide influence on properties and structure welds after arc welding. Structure properties were tested and revealed using chemical method. Also hardness of chosen samples was tested.

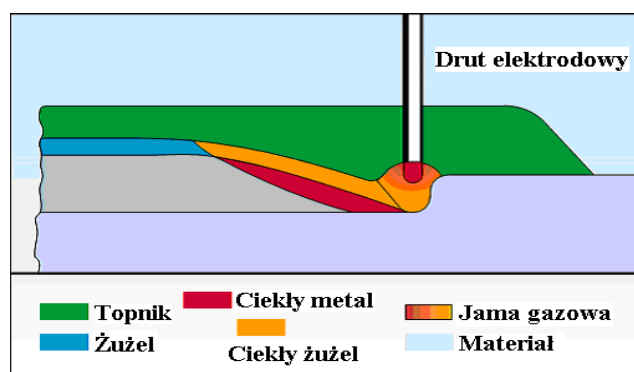
**Słowa kluczowe:** napawanie, łuk kryty, węgiel wolframu, kompozyt

### 1. WPROWADZENIE

Jednymi z bardziej popularnych metod ulepszania powierzchni stalowych są: hartowanie, nawęglanie, azotowanie. W ostatnim jednak czasie coraz większą popularnością cieszy się wzmacnianie powierzchni poprzez napawanie. Napawanie polega na ułożeniu warstwy metalu (zwykle o odmiennym składzie chemicznym od materiału obrabianego) na powierzchni części napawanej. Uzyskana napoina musi być ułożona w taki sposób, aby zapewniała odpowiednią trwałość porównywalną z twardością elementu nieuszkodzonego. Napoina powinna posiadać odpowiedni kształt, w szczególności bardzo istotna jest szerokość i grubość wykonanej napoiny. Do uzyskania większej szerokości napoiny należy zastosować taśmę pełną lub taśmę proszkową, zwiększyć liczbę elektrod lub wykonywać ruch poprzeczny elektrodą. Podczas procesu napawania występuje także nieznaczne nadtapianie metalu podłoża, co pozwala na metalurgiczne połączenie powłoki z materiałem rodzimym. Dzięki tej metodzie można uzyskiwać warstwy o dowolnie zaprojektowanym składzie chemicznym [1÷5].

Źródłem ciepła w napawaniu łukiem krytym jest łuk elektryczny, który jarzy się między napawanym przedmiotem a elektrodą topliwą, pod ochronną warstwą topnika. Warstwa topnika zapewnia osłonę jeziora spawalniczego, co pozwala na uzyskanie wysokiej jakości

napoiny, jak również gładkiego i równego lica. Topnik oprócz funkcji ochronnych reguluje również skład chemiczny oraz stabilizuje łuk. Napawanie łukiem krytym odbywa się automatycznie w pozycji podolnej. Proces może być prowadzony prądem stałym o biegunowości dodatniej lub ujemnej oraz prądem przemiennym. Umożliwia to nakładanie powłok o grubości 2÷100 mm. Napawać można przedmioty płaskie oraz przedmioty okrągłe, które są wykonywane głównie ze stali, stopów niklu, miedzi i aluminium. Schemat napawania łukiem krytym przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat napawania łukiem krytym [4]

Figure 1. Pad welding scheme [4]

Kompozyty mają zastosowanie jako materiały konstrukcyjne w wielu dziedzinach techniki, m.in. w budownictwie (np. beton, żelbet), w technice lotniczej i astronautyce (np. elementy samolotów, rakiet, sztucznych satelitów), w przemyśle środków transportu kołowego i szynowego (np. resory i zderzaki samochodowe, okładziny hamulcowe), w produkcji części maszyn, urządzeń i wyrobów sprzętu sportowego (np. łodzie, narty, tyczki, oszczepy). Kompozyt to materiał o strukturze niejednorodnej, złożony z dwóch lub więcej komponentów (faz), które po trwałym połączeniu charakteryzują się wyższymi własnościami w porównaniu do własności poszczególnych komponentów. Poprzez bardzo dobre parametry mechaniczne i wytrzymałościowe materiały kompozytowe znalazły również swoje zastosowanie w spawalnictwie.

## 2. METODYKA BADAŃ I WYNIKI

Celem pracy było zbadanie własności napoin kompozytowych wykonanych łukiem krytym. W badaniu wykorzystano drut OK Autrod 12.20 o średnicy 3 mm, topnik OK Flux 10.61 oraz proszek EuTroLoy 16221 z dodatkiem węgliku wolframu (WC) o granulacji 200÷300  $\mu\text{m}$  i masie molowej równej 195,85 g/mol. Ze względu na dużą twardość węgiel wolframu często jest stosowany w narzędziach tnących, pociskach, oraz łożyskach. Napoiny zostały wykonane na podłożu ze stali S355.

Podczas procesu napawania wykonano sześć napoin:

1. napoina wykonana samym drutem,
2. napoina wykonana drutem i proszkiem bez dodatku węgliku wolframu,
3. napoina wykonana drutem, proszkiem oraz węglikiem wolframu w proporcjach 95% – 5%,
4. napoina wykonana drutem, proszkiem oraz węglikiem w proporcjach 90% – 10%,
5. napoina wykonana drutem, proszkiem oraz węglikiem w proporcjach 85% – 15%,
6. napoina wykonana drutem, proszkiem oraz węglikiem w proporcjach 80% – 20%.

Parametry procesu napawania przedstawiono w tabelicy 1 a widok lica napoin został przedstawiony w tabelicy 2.







Tablica 1. Parametry procesu napawnia

Table 1. Welding process parameters

Napięcie łuku, V	Natężenie prądu napawania, A	Prędkość napawania, cm/min	Energia liniowa napawania, kJ/cm
35	500	40	26

Tablica 2. Widok lica napoin

Table 2. Pad welds view

Nr napoiny	Widok lica napoiny
1	
2	
3	
4	
5	
6	

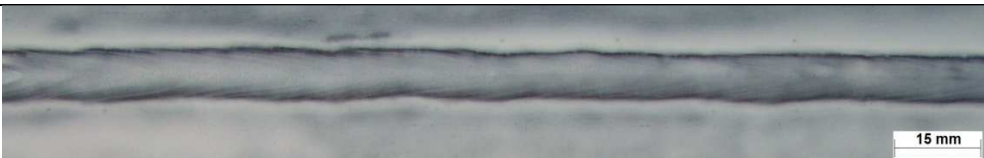





Następnie przeprowadzono badania penetracyjne. Badanie zostało przeprowadzone metodą barwną, w której wykorzystywane jest zjawisko kapilarności. Zjawisko to polega na wnikanii cieczy do szczelin, dzięki temu można wykryć nieciągłości struktury. Metoda może być stosowana zarówno w materiałach ferromagnetycznych jak i nieferromagnetycznych (stale austenityczne, miedź, mosiądz, brąz, wolfram), a także w materiałach niemetalicznych (np. ceramicznych). W celu przeprowadzenia badań zastosowano preparaty firmy DIEFU-THERM:

- zmywacz wg normy: PN-EN 571,
- penetrant czerwony wg normy: PN-EN 571,
- wywoływacz wg normy: PN-EN 571.

Badania penetracyjne rozpoczęto od dokładnego oczyszczenia powierzchni, a następnie został naniesiony penetrant. Po upływie 10 minut został usunięty nadmiar penetranta, a następnie został naniesiony wywoływacz. Wyniki badań zostały przedstawione w tablicy 3.

Tablica 3. Wygląd lica napoin po badaniach penetracyjnych

Table 3. Pad welds view after penetration testing

Nr Napoiny	Widok lica po badaniu penetracyjnym
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Napoina wykonana samym drutem OK Autrod 12.20 posiadała najbardziej gładkie i jednorodne ponieważ nie ma w niej materiału dodatkowego, który powoduje wzrost chropowatości powierzchni. Materiał dodatkowy w postaci proszku EuTroLoy 16221 oraz węgliku wolframu spowodował, że lico napoin (2÷6) wykazywały dużą chropowatość. Badania penetracyjne pokazały również, że materiały dodatkowe w znacznym stopniu przyczyniły się do zaburzenia ciągłości struktury. Napoina 1 wykazuje największą ciągłość struktury. W napoinie 2 jednorodność struktury została już zaburzona i pojawiły się niewielkie pęknięcia. W napoinach z dodatkiem węgliku wolframu (3,4,6) widać coraz większą ilość pęknięć i nieciągłość struktury, wyjątek stanowi napoina 5

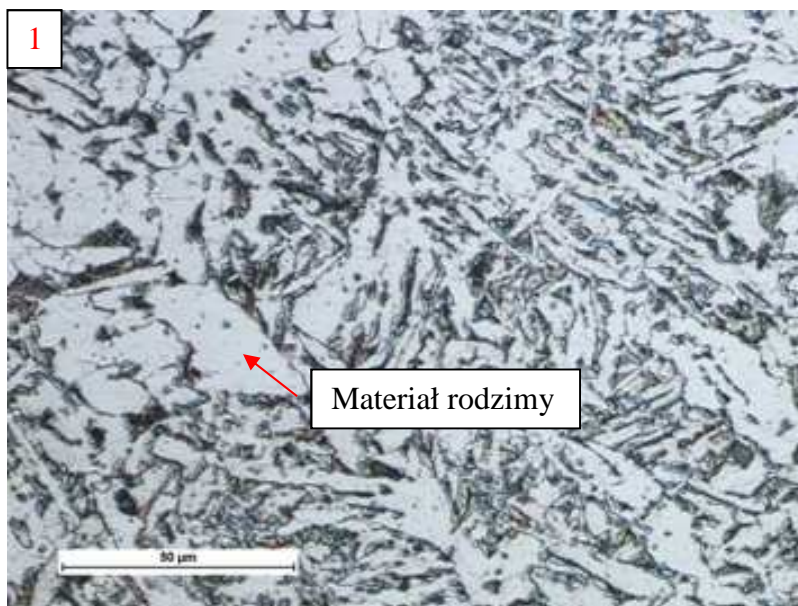
Kolejnym etapem badań było zbadanie mikrostruktury. Badania mikroskopowe zostały wykonane na mikroskopie Nikon Eclipse MA100. Przed przystąpieniem do badań próbki zostały odpowiednio przygotowane i wytrawione w nitalu (rys. 2÷7).

W napoinie wykonanej samym drutem widać obszary mocniej wytrawione. Prawdopodobnie jest to materiał podłoża, który pojawił się w napoinie. Materiały dodatkowe w postaci węgliku wolframu oraz proszku EuTroLoy 16221 spowodowały zaburzenie niejednorodności struktury. W napoinach z dodatkiem węgliku wolframu widać ziarna WC, które uległy częściowemu rozpuszczeniu.

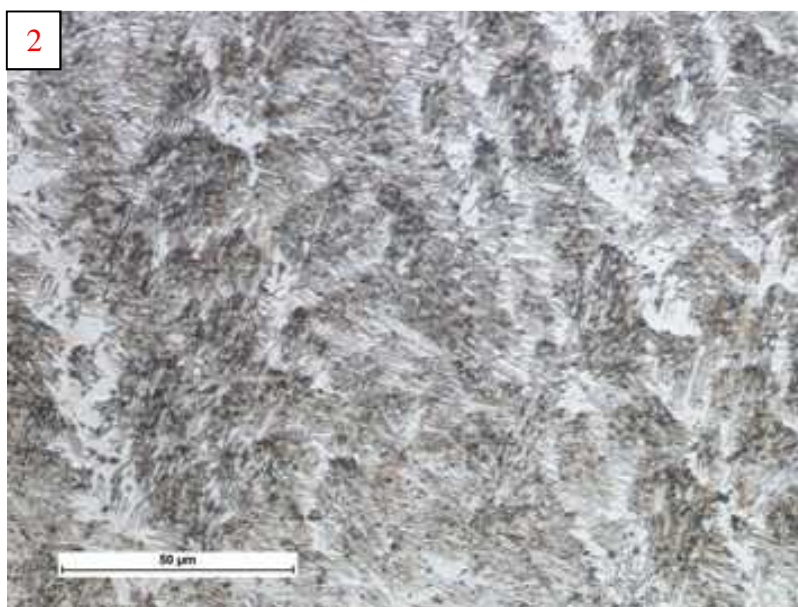
Pomiar twardości został wykonany na twardościomierzu Wilson Wolper Micro-Vickers 401 MDV. Pomiar został wykonany metodą Vickersa za pomocą diamentowego stożka. Obciąż-

żenie wynosiło HV – 1 kg, a czas obciążenia wynosił około 15 sekund. Po każdym pomiarze próbka została przesuwana o 0,5mm. Rysunek 8 przedstawia linię pomiarową.

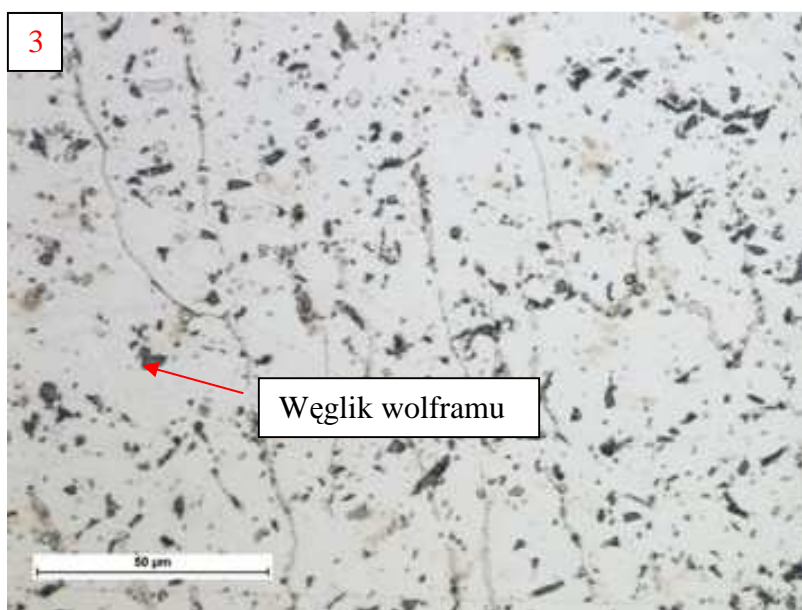
Napoina (nr 1), która była wykonana samym drutem wykazuje najmniejszą twardość. Wprowadzenie do napoiny (nr 2) proszku EuTroLoy 16221 spowodowało znaczny wzrost twardości do 369,1 HV1. Kolejne napoiny (nr 3 i 4) wykazały jednak spadek twardości. Spadek twardości najprawdopodobniej był spowodowany trafieniem penetratora w materiał osnowy.



Rysunek 2. Mikrostruktura napoiny wykonanej z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20  
Figure 2. Pad weld microstructure – weld wire OK Autrod 12.20

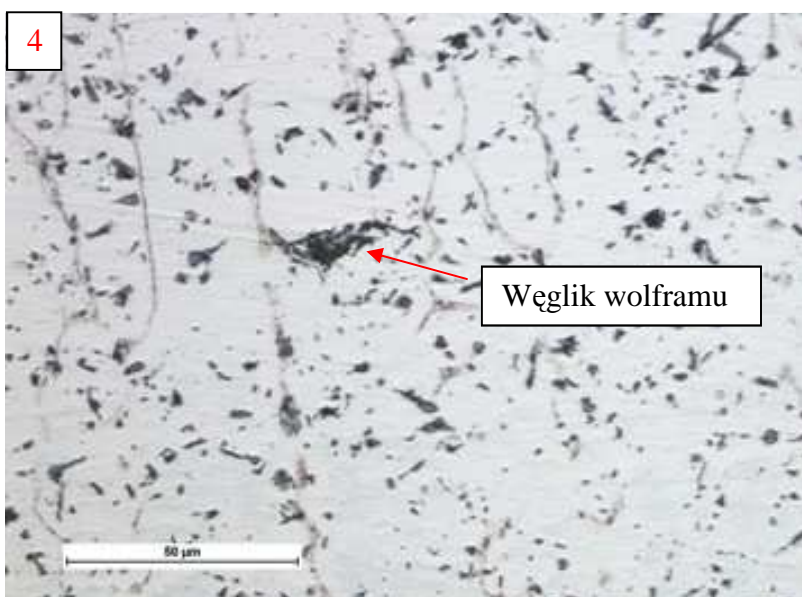


Rysunek 3. Mikrostruktura napoiny wykonanej z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20 i proszku EuTroLoy 16221  
Figure 3. Pad weld microstructure – weld wire OK Autorod 12.20 and EuTroLoy 16221 powder



Rysunek 4. Mikrostruktura napoiny wykonanej z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20 i proszku EuTroLoy 16221 oraz 5% węglika wolframu

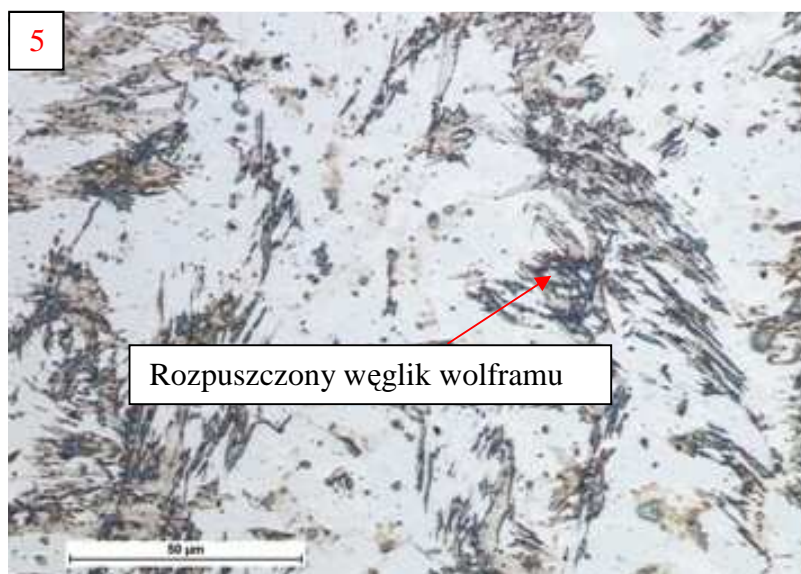
*Figure 4. Pad weld microstructure – weld wire OK Autorod 12.20 and EuTroLoy 16221 powder and 5% wolfram carbide*



Rysunek 5. Mikrostruktura napoiny wykonanej z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20 i proszku EuTroLoy 16221 oraz 10 % węglika wolframu

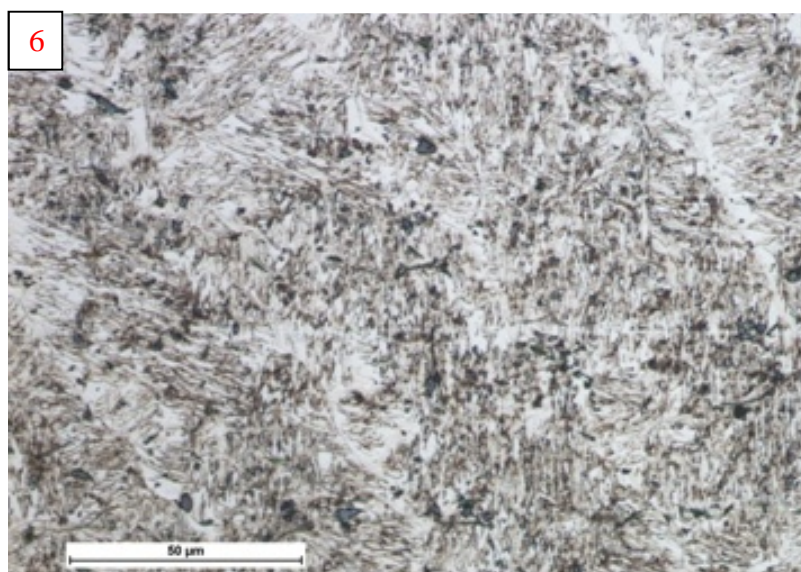
*Figure 5. Pad weld microstructure – weld wire OK Autorod 12.20 and EuTroLoy 16221 powder and 10% wolfram carbide*

Twardość w napoinie wzrastała wraz ze wzrostem zawartości węglika wolframu. Napoina 5 posiadała twardość 477,5 HV1. Największa twardość (496,2 HV1) została odnotowana w napoinie 6, która posiadała 20% węglika wolframu. Rysunek 9 przedstawia rozkład twardości w napoinach.



Rysunek 6. Mikrostruktura napoiny wykonanej z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20 i proszku EuTroLoy 16221 oraz 15 % węgliku wolframu

*Figure 6. Pad weld microstructure – weld wire OK Autorod 12.20 and EuTroLoy 16221 powder and 15% wolfram carbide*



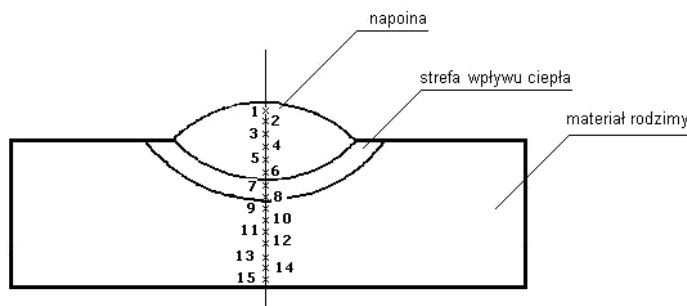
Rysunek 7. Mikrostruktura napoiny wykonanej z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20 i proszku EuTroLoy 16221 oraz 20% węgliku wolframu

*Figure 7. Pad weld microstructure – weld wire OK Autorod 12.20 and EuTroLoy 16221 powder and 20% wolfram carbide*

### 3. WNIOSKI

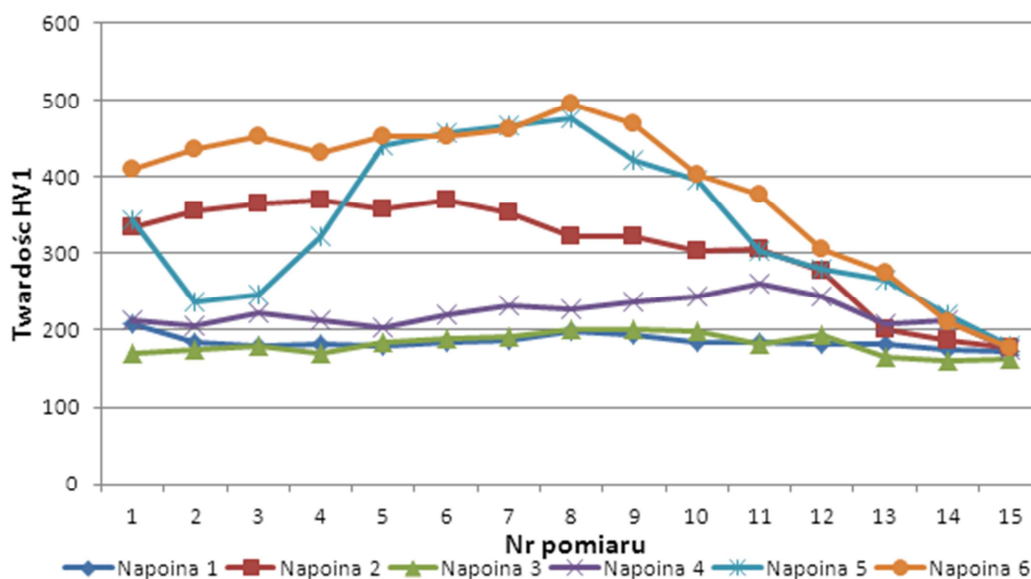
- Napoina wykonana samym drutem OK Autrod 12.20 posiada najbardziej gładkie lico oraz jednorodną strukturę. Kolejne napoiny poprzez dodatki w postaci proszku EuTroLoy 16221 oraz węgliku wolframu wykazywały nieciągłość strukturalną. Zauważyć można, że im większa ilość węgliku wolframu tym napoina posiada coraz więcej pięknieć, wyjątek stanowi napoina 5;

- Wprowadzenie proszku EuTroLoy 16221 oraz węgla wolframu spowodowało wzrost twardości napoin. Twardość napoiny, z wykorzystaniem drutu OKAutrod 12.20 bez dodatku proszku EuTroLoy 16221 i węgla wolframu wynosiła 209 HV1. W napoinie z dodatkiem proszku EuTroLoy 16221 twardość wzrosła i wynosiła około 370 HV1. Największą twardość 496 HV1 posiada napoina 6, która zawierała 20% węgla wolframu;
- W wyniku oddziaływania cyklu cieplnego napawania, węgiel wolframu wprowadzony do napoin uległ częściowemu rozpuszczeniu przyczynił się do wzmocnienia stali oraz napoiny.



Rysunek 8. Schemat pomiaru twardości

Figure 8. Hardness testing scheme



Rysunek 9. Rozkład twardości w napoinach

Figure 9. Hardness in pad welding samples

## LITERARURA

1. J. Pilarczyk, J. Pilarczyk, Spawanie i napawanie elektryczne metali, Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1996.
2. A. Klimpel, J. Dziubiński, Technologia napawania, PWN, Warszawa, 1985.
3. A. Klimpel, Napawanie i natryskiwanie cieplne, WNT, Warszawa, 2009.
4. Submerged arc automatic welding and hard surfacing, SAF welding products ltd, 2000.
5. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach, WNT, Gliwice 2006.