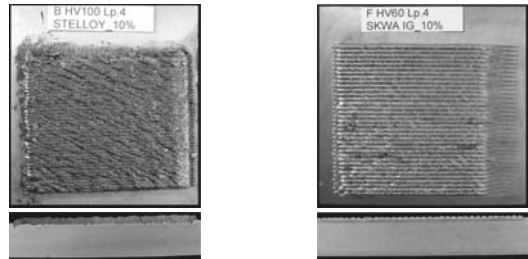




Na podstawie przeprowadzonych badań procesu napawania opracowano zestaw parametrów technologicznych (tablica 2), które umożliwiają wykonanie napoin na elementach płaskich (rys. 4).

Parametr	Próba nr			
	1	2	3	4
Napięcie przyspieszające [kV]	60	60	100	100
Natężenie prądu wiązki [mA]	15	30	8	5
Prędkość podawania drutu [mm/min]	1000	2200	1000	900
Prędkość przesuwu stołu	2000	800	800	800
Focus [mA]	445	445	580	497
Zakładka	5: 10; 20 i 30%			

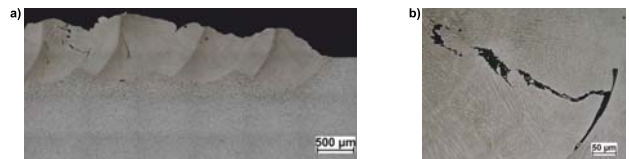
Tablica 2. Warunki technologiczne napawania elementów płaskich i obrotowych



Rys. 4. Widok płaskich elementów próbnych po procesie napawania

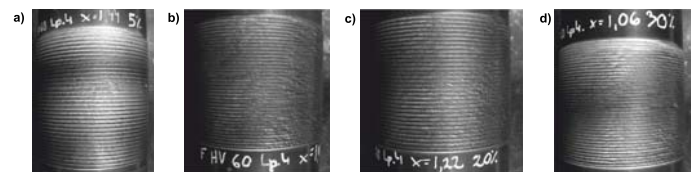
Przeprowadzone badania wykazały, że proces napawania jest stabilny przy zastosowaniu zestawu parametrów nr 1 (tablica 2). Również w napoinach wykonanych przy użyciu materiałów dodatkowych LNM307, SKWAIG i Stelloy 8G nie stwierdzono niezgodności spawalniczych.

Równocześnie, badania metalograficzne (rys. 5) napoin wykonanych przy użyciu drutu Robodur K600G ujawniły liczne pęknięcia w napoinie. Jedną z przyczyn tego zjawiska jest wysoka twardość materiału napoiny powyżej 650HV5 oraz bardzo krótkie czasy stygnięcia  $t_{65}$  występujące w trakcie procesów napawania przy użyciu skoncentrowanej wiązki energii. W celu wyeliminowania tego zjawiska należałoby rozważyć zastosowanie warstwy buforowej lub podgrzewania wstępnego.



Rys. 5. a) makro- i b) mikrostruktura napoiny wykonanej przy użyciu materiału dodatkowego Robodur K600G, zakładka 30%, parametry nr 1 przedstawione w tablicy 2, twardość 672 HV5

W ramach zrealizowanej pracy badawczej przeprowadzono również próby napawania elementów obrotowych. Napawanie przeprowadzono przy użyciu materiału dodatkowego w gatunku LNM307 stosując parametry nr 1 przedstawione w tablicy 2. Zastosowano napawanie obwodowe. Próby napawania wykazały, że proces technologiczny przebiega stabilnie, brak rozprysku oraz widocznych niezgodności wychodzących na powierzchnię. Widok elementów po napawaniu przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Elementy obrotowe po napawaniu wiązką elektronów, materiał dodatkowy LNM307, parametry nr 1, a) zakładka 5%, b) zakładka 10%, c) zakładka 20%, d) zakładka 30%

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań procesu napawania materiałem dodatkowym w postaci drutu i wiązki elektronów, można sformułować następujące wnioski:

- stabilny proces napawania wiązką elektronów przy użyciu drutu jest możliwy, jednak przy ściśle określonych warunkach technologicznych procesu w zależności od gatunku materiału dodatkowego,
- wzrost prędkości podawania drutu przy stałym napięciu przyspieszającym oraz natężeniu prądu wiązki powoduje wzrost wysokości nadlewu oraz zmniejszenie szerokości lica,
- wzrost natężenia prądu wiązki powoduje wzrost szerokości lica,
- wzrost napięcia przyspieszającego powoduje wzrost szerokości lica oraz zmniejszenie wysokości nadlewu,
- napawanie materiałem dodatkowym w postaci drutu o wysokiej twardości powoduje powstawanie pęknięć w napoinie.

### Kontakt:

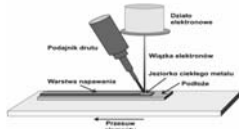
Marek St. Węglowski  
Instytut Spawalnictwa  
ul. Bł. Czesława 16-18, 44-100 Gliwice  
tel. +48 32 33 58 236  
fax. +48 32 23 14 652  
Marek.Weglowski@is.gliwice.pl

Badania zostały przeprowadzone w ramach działalności statutowej Instytutu Spawalnictwa finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## WPROWADZENIE

Wśród wielu stosowanych technologii spawalniczych, które mogą być wykorzystywane do wykonywania warstw o unikalnych własnościach, są również technologie wykorzystujące jako źródło energii skoncentrowany strumień elektronów. Wysoka gęstość energii, precyzyja prowadzenia procesu, atmosfera ochronna w postaci próżni powoduje, że proces ten w wielu przypadkach jest jedynym rozwiązaniem, jakie może być zastosowane lub też, który zapewni najwyższe oczekiwane własności użytkowe modyfikowanych powierzchni. W przypadku braku możliwości prowadzenia procesów w próżni można zastosować urządzenia z częściową próżnią lub bezpróżniowe. Materiał dodatkowy może być w postaci proszku lub drutu. Na rysunku 1 przedstawiono schemat prowadzenia procesu napawania materiałem dodatkowym w postaci drutu.

Nowoczesne urządzenia zapewniają precyzyjną regulację parametrów wiązki, takich jak np. moc wiązki, czy wielkość ogniska. Jest to szczególnie ważne w celu zapewnienia minimalnego wtopienia oraz minimalnej objętości stopionego metalu. Procesy napawania mogą być prowadzone w jednym przejściu lub też wielokrotnie, co umożliwi optymalizację składu chemicznego i własności uzyskanych warstw.



Rys. 1. Schemat procesu napawania wiązką elektronów przy użyciu drutu

## Metodyka badań

Próby napawania były prowadzone na płytach próbnych o wymiarach 200x80x10 mm oraz wałkach o średnicy 40 mm ze stali niestopowej w gatunku S355JR. Powierzchnie płyt i wałków przed napawaniem zostały wstępnie sfrezowane oraz oczyszczone przy użyciu acetonu. Jako materiał dodatkowy, do analizy samego procesu, został wykorzystany drut o średnicy 1,2 mm ze stali stopowej w gatunku LNM307 (Lincoln Electric) – stal typu 18-8 oraz druty SKWAIG, Stelloy 8G, Robodur K600G (tablica 1) przy użyciu których wykonano napoiny na elementach próbnych. Badania technologiczne były przeprowadzane przy użyciu urządzenia do spawania i modyfikowania powierzchni model XW150:30/756 (Cambridge Vacuum Engineering). Urządzenie zostało wyposażone w podajnik drutu umożliwiający wykorzystywanie materiałów dodatkowych w postaci szpuli o wadze do 15 kg. Badania przeprowadzono przy stałym pozycjonowaniu końcówki drutu względem wiązki elektronów. Kąt podawania drutu wynosił 30°, a ciśnienie wewnątrz komory było na poziomie 5·10<sup>-5</sup> mbar, natężenie prądu wiązki (I) wynosiło od 1 do 30 mA, napięcie przyspieszające (U) wynosiło od 60 do 150kV, prędkość podawania drutu (v<sub>d</sub>) wynosiła od 600 do 3600 mm/min, a prędkość przesuwu stołu (v) wynosiła od 200 do 7000 mm/min.

Gatunek	Skład chemiczny %									
	Cr	Ni	C	Mn	Si	Mo	Ti	W	Co	Fe
LNM307	19,2	9,0	0,08	7,1	0,8	-	-	-	-	reszta
SKWAIG	17,7	-	0,07	0,6	0,6	-	+	-	-	reszta
Stelloy 8-G, φ1,2 mm	29,0	-	1,05	1,0	1,0	-	-	4,5	-	reszta
Robodur K600G	6,0	-	0,5	1,2	0,7	0,7	-	-	-	reszta

Uwagi: średnica drutów φ1,2 mm, drut w gatunku SKWAIG oraz Robodur K600G były miedziowane, drut w gatunku Stelloy 8-G został dostarczony w szpuli 5,4 kg, pozostałe w szpulach 15 kg

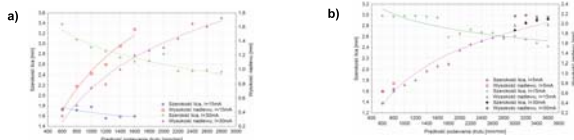
Tablica 1. Materiały dodatkowe wykorzystywane w procesie napawania

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

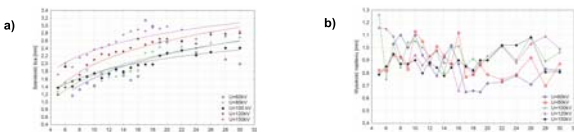
Głównym celem pracy było przeprowadzenie badań, które pozwoliłyby ustalić warunki technologiczne prowadzenia procesu i opracować podstawy technologiczne napawania wiązką elektronów z materiałem dodatkowym w postaci drutu. Zakres pracy obejmował zbadanie wpływu wybranych warunków technologicznych napawania na stabilność procesu tj.: prędkość podawania drutu (v<sub>d</sub>), natężenie prądu wiązki (I), prędkość przesuwu (v), napięcie przyspieszające (U), gatunek materiału dodatkowego. Ponadto przeprowadzono proces napawania elementów próbnych płaskich i obrotowych.

By określić mechanizm tworzenia się napoiny w procesie napawania wiązką elektronów z materiałem dodatkowym w postaci drutu oraz wpływ parametrów napawania na stabilność procesu i wymiary geometryczne napoin, zmieniano poszczególne parametry procesu napawania. W trakcie prób technologicznych materiał dodatkowy był podawany w ten sam sposób i wprowadzany do obszaru napawania pod kątem 30°. Również położenie plamki ogniska wiązki elektronów względem końcówki drutu było stałe.

W pierwszym etapie zrealizowanej pracy określono wpływ prędkości podawania drutu (rys. 2) i natężenia prądu wiązki (rys. 3) na stabilność procesu napawania oraz szerokość lica i wysokość nadlewu.



Rys. 2. Wpływ prędkości podawania drutu na wymiary geometryczne napoin: a) U=60kV, b) U=150kV



Rys. 3. Wpływ natężenia prądu wiązki na wymiary geometryczne napoin: a) szerokość lica, b) wysokość nadlewu

# 60. KONFERENCJA SPAWALNICZA MIĘDZYNARODOWA

16-18 października 2018 r. - Sosnowiec



**SPAWALNICTWO W DOBIE PRZEMYSŁU 4.0**

