

**Dariusz Sieteski**

Politechnika Śląska, Wydział Transportu  
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

**Tomasz Węgrzyn**

Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach, Katedra Podstaw  
Techniki i Jakości,  
ul. Bankowa 8, 40-007 Katowice

## **Zagrożenia istniejące podczas pracy przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikrojetowym**

**Hazards of work on surfacing weld with micro  
jet cooling station**

### **Streszczenie**

Metoda napawania MIG/MAG odgrywa ogromną rolę w przemyśle i jest jednym z najbardziej znaczących procesów spawania łukowego. Dla lepszego poznania i zapewnienia maksymalnej kontroli procesu napawania metodą MIG/MAG, niezbędne jest ustalenie właściwych parametrów wejściowych i wyjściowych. W opisywanej metodzie występuje wiele zmiennych, z których każda ma duży wpływ na jakość otrzymanej napoiwy. Poniższe opracowanie ma na celu przybliżenie zagrożeń oraz warunków bezpiecznej pracy na nowym stanowisku do napawania z chłodzeniem mikro-jetowym.

**Słowa kluczowe:** *napawanie MIG/MAG, chłodzenie mikro-jetowe, zagrożenia i bezpieczeństwo pracy*

### **Abstract**

MIG/MAG surfacing weld process plays an important role in manufacturing and is one of the most significant arc welding processes. For better knowledge and control of the MIG/MAG welding process, it is necessary to determine the input-output parameters. MIG/MAG welding is a multi-variable system, in which variables have strong influence on welding quality. In this paper, risks and work safety for a welder on new surfacing weld with micro jet cooling station were studied.

**Keywords:** *MIG/MAG Surfacing weld, micro-jet cooling, risk and work safety*

## Wstęp

Procesy napawania znajdują szerokie zastosowanie w naprawach i regeneracji części maszyn i narzędzi. Nałożenie warstwy odpornej na korozję, ścieranie i uderzenia pozwala na otrzymanie powierzchni bardziej odpornej niż materiał rodzimy. Dzięki temu napawane elementy cechują się dłuższym czasem eksploatacji. Napawanie znajduje również uzasadnienie ekonomiczne, gdyż nakładanie warstw bardziej odpornych na ścieranie, korozję lub uderzenia jest tańsze niż wytworzenie całych elementów z bardziej odpornych materiałów.

Najczęściej regeneracja zużytych lub uszkodzonych części maszyn polega na dokładnym stopieniu materiału dodatkowego (stopiwa) z nadtopionym materiałem podłoża. W zależności od zastosowanej metody zawartość nadtopionego materiału podłoża w nałożonej napoinie może sięgać nawet kilkudziesięciu procent. Nakładane materiały, posiadające wymagane wysokie właściwości należą do wszystkich grup materiałowych – metali i stopów, cermetali, ceramiki oraz tworzyw sztucznych [1-3].

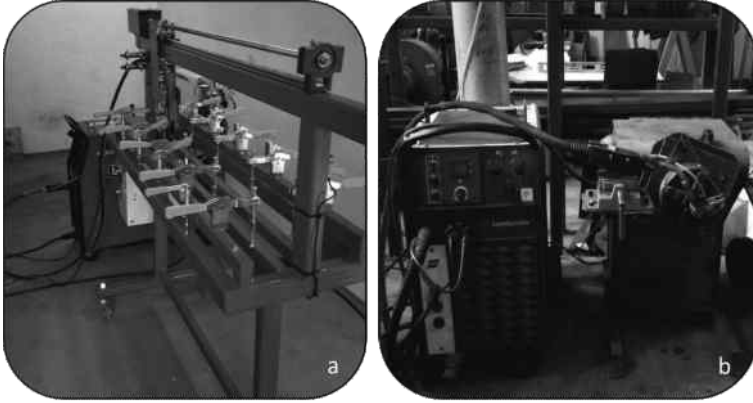
Powierzchnia przygotowana do napawania musi być oczyszczona i pozbawiona wad, w szczególności pęknięć. W celu uniknięcia powstawania kruchych faz między-metalicznych w obszarze stopienia napoiny z materiałem rodzimym oraz zmniejszenia naprężeń cieplnych i znacznych odkształceń w nakładanej napoinie, stosuje się nakładanie wstępnej warstwy.

Nałożone warstwy napawane cechuje duża jednorodność metalurgiczna i strukturalna za wyjątkiem napoin nakładanych ze stopów o bardzo dużej twardości (stellity), w których dopuszcza się występowanie pęknięć. Budowę napoin pod względem składu chemicznego charakteryzuje niejednorodność wywołana warunkami procesu krzepnięcia, objawiająca się mikrosegregacją dendrytyczną, której stopień jest zależny od szybkości chłodzenia. Stwierdzono, że wskutek braku dokładnego wymieszania stopionego materiału rodzimego w pobliżu linii wtopienia występuje szczególnie silna niejednorodność. Na granicy wtopienia stopień udziału materiału rodzimego jest większy niż w napoinie, zwłaszcza gdy występują znaczne różnice pomiędzy składem chemicznym materiału rodzimego, a materiałem dodatkowym [3].

## Napawanie z chłodzeniem mikrojetowym

Napawanie z chłodzeniem mikrojetowym to innowacyjna metoda polegająca na wymuszonym chłodzeniu napoiny bezpośrednio po napawaniu, co ma korzystny wpływ na właściwości mechaniczne i tribologiczne napawanej powierzchni. Stanowisko do napawania składa się z półautomatu spawalniczego, stołu spawalniczego oraz przystawki mikrojetowej (rys. 1). Konstrukcja stołu spawalniczego zapewnia możliwość zastosowania automatycznego posuwu i odpowiednie pozycjonowanie napawanego elementu. Głowica spawalnicza przemieszcza się liniowo, przy czym istnieje możliwość regulacji jej prędkości. W celu zapewnienia natychmiastowego chłodzenia

otrzymywanej napoiny przystawka mikrojetowa sprzężona jest z głowicą. Stanowisko jest przystosowane do napawania metodami MIG/MAG [4].



Rys. 1. Stanowisko do napawania z chłodzeniem mikrojetowym liniowego (a) oraz obwodowego (b)  
Fig. 1. The position of the surfacing welding line with micro jet cooling station (a) and circumferential (b)

Sterowanie strukturą napoiny możliwe jest dzięki zastosowaniu różnych parametrów procesu (rodzaj gazu mikrojetowego, prędkość przepływu gazu, ciśnienie gazu, ilość mikro-strug). Podczas spawania i napawania stali niskowęglowej i niskostopowej istnieje możliwość uzyskania znacznie większej zawartości drobnoziarnistego ferrytu AF (*acicular ferrite*) niż w konwencjonalnych procesach spawalniczych. Przekłada się to na doskonałe własności plastyczne spawanego złącza (wysoka udarność w niskiej temperaturze). Podczas napawania elementów maszyn zaobserwowano możliwość uzyskania podwyższonej zawartości martenzytu, co podnosi twardość i odporność na zużycie ścierne napoin. Zastosowanie chłodzenia mikrojetowego daje zatem możliwość sterowania strukturą napoiny, a przez to uzyskiwania różnych jej właściwości mechanicznych [3-5]. Podstawowymi gazami wykorzystywanymi do chłodzenia mikrojetowego są argon, azot, hel. Poznano wpływ tych gazów mikrojetowych na własności mechaniczne napoin [4], natomiast do tej pory jest brak w literaturze obszernych informacji na temat zagrożeń w środowisku pracy ze względu na nową metodą spawalniczą jaką jest spawanie z chłodzeniem mikrojetowym [9, 10].

## Zagrożenia w środowisku pracy

Z tego względu, iż stanowisko do napawania z chłodzeniem mikrojetowym jest nowym rozwiązaniem i ze względu na znaczną modyfikację metody nie ma jeszcze szerokiego zastosowania w przemyśle, należy zwrócić uwagę na szereg czynników wpływających na bezpieczeństwo i zdrowie spawacza obsługującego ten proces.

Zagrożenia istniejące na tym stanowisku można podzielić na kilka zasadniczych grup:

1) Mechaniczne

Zautomatyzowanie procesu posuwu roboczego wymaga zastosowania w układzie elementów ruchomych i w związku z tym występuje ryzyko pochwycenia przez ruchome elementy układu przeniesienia napędu. Układ mocowania elementu napawanego jest wyposażony w mechaniczne uchwyty blokujące, w przypadku których istnieje ryzyko dociśnięcia ciała osoby obsługującej. Ponadto nieodpowiednie zabezpieczenie elementu napawanego może doprowadzić do jego zsunęcia ze stołu spawalniczego, co stwarza ryzyko uderzenia lub przygniecenia pracownika.

Elementy układu połączone są ze sobą przewodami umożliwiającymi realizację procesu, tj. przewodem dostarczającym drut spawalniczy do napawania, przewodem zasilającym oraz przewodem dostarczającym gaz chłodzący do przystawki mikrojetowej. Taka konstrukcja zwiększa ryzyko potknięcia i upadku. Dodatkowo w przypadku mocowania na stole spawalniczym elementów o ostrych krawędziach lub szorstkich powierzchniach istnieje możliwość skaleczenia lub zadrapania [6-8].

2) Chemiczne

W procesie napawania, na skutek zastosowania wysokiej temperatury, wydzielają się różne substancje chemiczne, zależne od rodzaju zastosowanego materiału napawanego, drutu spawalniczego oraz medium chłodzącego. Często są to związki szkodliwe, np. tlenki azotu, żelaza, węgla, zaleca się zatem stosowanie odzieży ochronnej i maski spawalniczej. W przypadku napawania z chłodzeniem mikrojetowym, strumień gazu chłodzącego skierowany wprost na napoinę powoduje rozdmuchanie powstających lotnych związków w pomieszczeniu, należy więc zadbać o odpowiednią wentylację pomieszczenia. Dodatkowo jeżeli zastosowany gaz chłodzący nie jest obojętny chemicznie, mogą powstawać związki nie występujące w tradycyjnych metodach MIG/MAG [6-8].

3) Termiczne

Gorące powierzchnie oraz odpryski metalu podczas napawania mogą być przyczyną poparzenia lub nawet pożaru. Konieczne jest zatem przestrzeganie instrukcji prac spawalniczych i przeciwpożarowych oraz stosowanie środków ochrony indywidualnej, tj. odzieży ochronnej i maski spawalniczej [6-8].

4) Inne

Dodatkowe zagrożenia obejmują między innymi promieniowanie podczerwone i nadfioletowe, prąd elektryczny, zapylenie, hałas [6-8].

## Badania własne

Badania czynników szkodliwych zostały przeprowadzone przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikrojetowym, zgodnie z obowiązującymi normami: PN-Z-04008-7:2002+Az1:2004, PN-EN 482:2009 oraz PN-EN 689:2002. W strefie

oddychania pracowników pobrano próbki powietrza do badań stężenia pyłu całkowitego i pyłu respirabilnego, zawartości ditlenku azotu, tlenku węgla oraz manganu i żelaza. Dodatkowo dokonano oceny poziomu ekspozycji na hałas w odniesieniu do ośmiogodzinnego czasu pracy oraz oceny równoważnego poziomu dźwięku A i szczytowego dźwięku C. Dokonano również pomiarów pola elektromagnetycznego, indukcji magnetycznej oraz promieniowania widzialnego. Wszystkich pomiarów dokonano podczas wykonywania prac spawalniczych, w czterech różnych odległościach od łuku spawalniczego. W celu określenia wpływu natężenia prądu spawania na wartość natężenia oświetlenia, pomiary promieniowania widzialnego wykonano przy zastosowaniu różnych natężeń prądu spawania.

Stężenia pyłu całkowitego i pyłu respirabilnego oznaczono metodą filtracyjno-wagową zgodnie z wytycznymi norm PN-91/Z-04030.05 oraz PN-91/Z-04030.06. Zawartość ditlenku azotu oznaczono metodą spektrofotometryczną. Zawartość tlenku węgla oznaczono za pomocą detektora jednogazowego T82. Zawartość manganu i żelaza oznaczono metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie. Otrzymane wyniki zestawiono w tablicy 1.

Tabela. 1. Zestawienie wyników pomiarów czynników szkodliwych obecnych w powietrzu przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikro-jetowym

Table 1. Results of measurements of agents harmful present in the air at the position for surfacing welding with micro jet cooling

Czynnik szkodliwy	Czas ekspozycji [min]	Wskaźnik narażenia (Cw) [mg/m <sup>3</sup> ]		NDS / NDN	Przekroczenie dopuszczalne	Cw/NDS/ND N					
		Użycie chłodzenia (1-napawanie bez chłodzenia mikro-jetowego; 2-napawanie z chłodzeniem mikro-jetowym)									
		1,2	1			2	1,2	1,2	1	2	
Pył całkowity	480	1,420	1,400	10,0	NIE	0,14	0,14				
Pyły respirabilne	480	0,620	0,660	-	NIE	-	-				
Mangan	480	0,120	0,100	0,3	NIE	0,33	0,33				
Tlenek żelaza	480	0,151	0,158	5,0	NIE	0,03	0,03				
Ditlenek azotu	465	0,176	0,223	5,0	NIE	0,04	0,05				
Tlenek węgla	465	1,650	1,670	30,0	NIE	0,06	0,06				

Stwierdzono, że wartości stężeń występujących w powietrzu substancji chemicznych oraz pyłu respirabilnego przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikro-jetowym (tab.1) nie przekraczają odpowiadającym im dopuszczalnych wartości. Jedynie zawartość ditlenku azotu w przypadku napawania z zastosowaniem chłodzenia mikrojetowego jest wyraźnie podwyższona w stosunku do odpowiadającej jej wartości

w przypadku napawania bez chłodzenia mikrojetowego. Wynika to z zastosowania azotu jako gazu chłodzącego. Mimo to, pod względem zagrożeń chemicznych praca przy tym stanowisku jest bezpieczna dla spawacza.

Pomiar natężenia hałasu wykonano przy zastosowaniu całkujących mierników poziomu dźwięku typu 2231 oraz określono równoważny poziom dźwięku A i szczytowy poziom dźwięku C w zależności od odległości od łuku spawalniczego, w odniesieniu do wartości dopuszczalnej 85dB. Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów natężenia dźwięku przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikrojetowym

Table 2. Results of sound intensity measurements at the position for surfacing welding with micro jet cooling

Odległość od łuku spaw. [m]	Równoważny poziom dźwięku A [dB]		Szczytowy poziom dźwięku C [dB]		Poziom ekspozycji na hałas* [dB]		Przekroczenie wartości dopuszczalnej [dB]		Krotność wartości dopuszczalnej	
	Użycie chłodzenia (1- napawanie bez chłodzenia mikro-jetowego; 2 napawanie z chłodzeniem mikro-jetowym)									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0,2	78,3	93,1	82,6	132	78,3	93,1	-	8,1	-	1,09
1	77,1	85,4	79,3	126	77,1	85,4	-	0,4	-	1,01
2	75,2	79,4	76,6	91	75,2	79,4	-	-	-	-
3	72,8	76,2	75,7	83	72,8	76,2	-	-	-	-

\*Poziom ekspozycji na hałas dla ośmiogodzinnego dobowego czasu pracy odpowiada równoważnemu poziomowi dźwięku A

Stwierdzono, że poziom ekspozycji na hałas przekracza wartość dopuszczalną tylko nieznacznie w promieniu jednego metra od łuku spawalniczego i tylko w przypadku zastosowania napawania z chłodzeniem mikrojetowym. Jest to zapewne spowodowane użyciem strumienia gazu chłodzącego pod dużym ciśnieniem, czemu towarzyszy charakterystyczny dźwięk, nieznacznie zwiększający natężenie hałasu. Wartości pomiarów w większej odległości od łuku spawalniczego nie przekraczają wartości dopuszczalnej. Nie stanowi to jednak zagrożenia dla osoby obsługującej stanowisko, ponieważ wysoki stopień zautomatyzowania procesu pozwala na odsunięcie spawacza od źródła hałasu. Należy zaznaczyć, że pomiarów dokonano wyłącznie podczas procesu napawania. Istnieje zatem możliwość, że podczas wykonywania innych prac towarzyszących pracom spawalniczym, np. pozycjonowanie detali w oprzyrządowaniu, ukosowanie krawędzi elementu mogą wystąpić wyższe parametry dźwięku. W związku z tą sytuacją wskazane jest stosowanie odpowiednich środków profilaktycznych, zmniejszających ryzyko uszkodzenia słuchu.

W tabelach 3 i 4 zestawiono wyniki uzyskane podczas pomiarów pola elektromagnetycznego. Wartości natężenia pola elektrycznego nie przekraczają wartości dopuszczalnych przez polskie normy w żadnym punkcie pomiarowym. Podobnie

wartości indukcji magnetycznej nie przekraczają wartości dopuszczalnych zawartych w polskich normach.

Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarów natężenia pola elektrycznego przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikro-jetowym

Table 3. Results of measurements of electric field strength at the position for surfacing welding with micro jet cooling

Odległość od łuku spaw. [m]	Natężenie pola elektrycznego [V/m]	
	Łuk krótki	Łuk długi
0,2	20,1	26,0
1	5,4	6,9
2	5,1	4,9
3	4,2	4,7

Tabela 4. Zestawienie wyników pomiarów indukcji magnetycznej przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikro-jetowym

Table 4. Results of measurements of the magnetic induction at the position for surfacing welding with micro jet cooling

Odległość od łuku spaw. [m]	Indukcja magnetyczna [ $\mu$ T]	
	Łuk krótki	Łuk długi
0,2	12,3	4,4
1	1,9	1,2
2	1,8	0,8
3	0,4	0,3

Promieniowanie widzialne pochodzące od łuku elektrycznego daje duże natężenie oświetlenia w niewielkim obszarze, co jest istotnym zagrożeniem dla wzroku na badanym stanowisku pracy. Wyniki pomiarów natężenia oświetlenia zestawiono w tabeli 5. Ze względu na bardzo duże natężenie oświetlenia konieczna jest ochrona wzroku na stanowisku pracy. Dodatkowym czynnikiem szkodliwym dla wzroku jest duża zmienność wartości natężenia oświetlenia charakterystyczna dla prac spawalniczych. Taka zmienność w dużym zakresie wartości uniemożliwia odpowiednio szybkie dostosowywanie się oka ludzkiego do takich warunków, a przez to może spowodować uszkodzenie wzroku.

Tabela 5. Zestawienie wyników pomiarów natężenia oświetlenia przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikrojetowym

Table 5. Summary of the results of measurements of light intensity at the position for surfacing welding with micro jet cooling

Odległość od łuku spaw. [m]	Natężenie oświetlenia [lx]	
	Prąd spawania 130A	Prąd spawania 115A
0,2	17230	10900
1	1520	1200
2	1090	950
3	610	590

## Podsumowanie

Ogólne zasady bezpiecznej pracy na stanowisku do napawania z chłodzeniem mikrojetowym są takie same jak przy większości stanowisk do napawania. Jednakże wysoki stopień zautomatyzowania oraz specyfika procesu napawania z dodatkowym chłodzeniem daje możliwość odsunięcia pracownika od samego procesu napawania. Pozwala to na zminimalizowanie części zagrożeń występujących na stanowisku pracy, a dzięki temu zapewnienie większej ochrony pracownika. Mimo to, ze względu na konieczność wykonywania prac przygotowawczych i pomocniczych oraz kontroli procesu napawania należy bezwzględnie stosować środki ochrony indywidualnej, tj. rękawice, okulary oraz ubranie robocze. Ponadto, mając na uwadze zmniejszenie ryzyka wypadku należy systematycznie przeprowadzać szkolenia pracowników oraz informować ich o istniejących zagrożeniach. Ważne jest także stosowanie nadzoru nad panującymi warunkami pracy w celu utrzymania stałego poziomu ryzyka lub, jeśli istnieje taka możliwość, obniżania poziomu ryzyka przez zastosowanie nowoczesnych rozwiązań technicznych.

Badania finansowane w ramach realizacji przewodu doktorskiego na Politechnice Śląskiej w Katowicach.

## Literatura

1. Hernas A, Dobrzański J.: *Trwałość i niszczenie elementów kotłów i turbin parowych*, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2003.
2. Oleksiak B., Siwiec G., Blacha A., Lipart J.: *Influence of iron on the surface tension of copper*, Archives of Material Science and Engineering, Vol.44, 1/2010, p. 39-42.



3. Węgrzyn T., Piwnik J.: *Low alloy steel welding with micro-jet cooling*, Archives of Metallurgy and Materials, vol. 57, p. 547–551.
4. Węgrzyn T.: *Proposal of welding methods in terms of the amount of oxygen*, Archives of Materials Science and Engineering 47/1 (2011), p. 57-61.
5. Węgrzyn T., Piwnik J., Silva A., Plata M., Hadryś, D.: *Micro-jet technology in Welding*, The 23-rd (2013) International Ocean (Offshore) and Polar Engineering Conference, Proceedings of ISOPE-2013 Anchorage, Alaska, USA, 30 June-5 July, 2013, pp. 178-180.
6. Matusiak J.: *Bezpieczeństwo pracy spawaczy*, „Promotor” nr 6/2009, 7–8/2009.
7. Matusiak J., Pfeifer T.: *Badania wpływu warunków materiałowo-technologicznych nowych procesów spawania MIG/MAG o małej energii łuku na emisję zanieczyszczeń przy spawaniu materiałów wrażliwych na ciepło*. Praca bad. I.S. nr Ma33/2007.
8. Węgrzyn T., Szczucka-Lasota B., Wieczorek A.: *Zagrożenia przy pracach spawalniczych na urządzeniach ciśnieniowych*, Zeszyty Naukowe WSZOP 1(7)/2011, Katowice 2011.
9. Sieteski D., Węgrzyn T.: *Zagrożenia istniejące podczas pracy przy stanowisku do napawania z chłodzeniem mikrojetowym*, V Konferencja Naukowa „Praca – Środowisko – Bezpieczeństwo”, 17 V 2013, WSZOP, Katowice, s. 25-26.
10. Hadryś D., Węgrzyn T.: *Zagrożenia techniczne przy spawaniu z chłodzeniem mikrojetowym*, „Atest”, nr 3, 2013, s. 18-20.