

# Przemysłowe aplikacje napawania plazmowego proszkowego

## Industrial applications of powder plasma transferred arc welding

### Streszczenie

W artykule opisano wymagania stawiane współczesnym stanowiskom spawalniczym przeznaczonym do napawania oraz zaprezentowano nowoczesne źródła energii i osprzęt do napawania plazmowego proszkowego. Podano podstawowe zalecenia techniczne i technologiczne zapewniające wykonanie wysokiej jakości napoin oraz przedstawiono różne przykłady przemysłowego napawania plazmowego proszkowego.

### Abstract

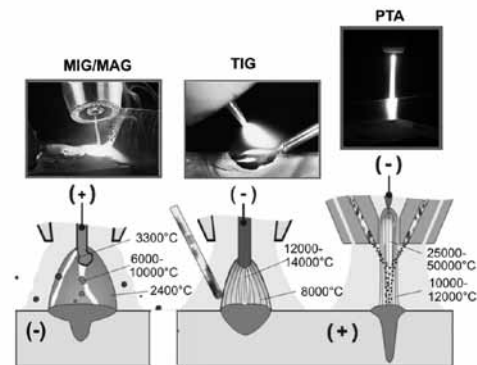
The article presents the requirements for modern hard-facing stations, modern energy sources and equipment for powder plasma transferred arc welding (PPTAW). The basic technical and technological recommendations for high-quality weld metal are provided, and also it presents various industrial applications of PTA powder hard-facing.

## Charakterystyka procesu

Napawanie plazmowe proszkowe (PPTAW – *Powder Plasma Transferred Arc Welding*), polega na stopieniu w łuku plazmowym o bardzo wysokiej temperaturze rzędu 10 000÷50 000°C, materiału dodatkowego w postaci proszku metalicznego, który wraz z nieznacznie nadtopionym metalem podłoża tworzy napoinę. W porównaniu z innymi metodami napawania, łuk plazmowy charakteryzuje się dużą koncentracją energii, dzięki czemu materiał rodzimy może być nadtopiany z dużą szybkością na niewielką głębokość, a to z kolei zapewnia otrzymywanie wysokiej jakości napoin, silnie związanych metalurgicznie z podłożem (rys. 1). Krótki czas oddziaływania skoncentrowanego słupa łuku plazmowego na niewielki obszar podłoża zapobiega powstawaniu znaczących zmian strukturalnych w materiale rodzimym.

Do napawania plazmowego proszkowego stosowane są spawalnicze źródła energii prądu stałego

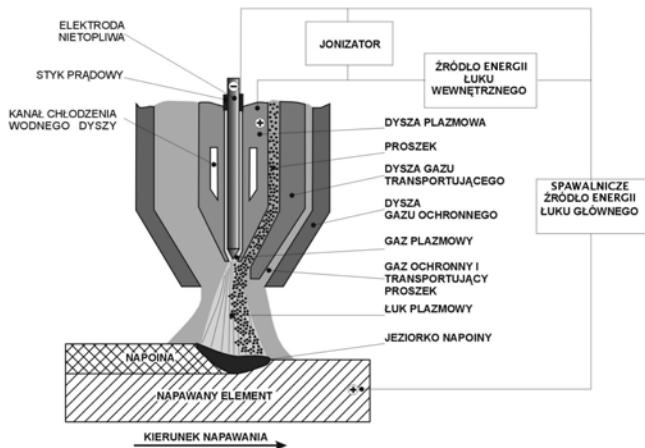
Dr inż. Jacek Górka, dr inż. Artur Czupryński,  
dr inż. Tomasz Kik, mgr inż. Marcin Melcer  
– Politechnika Śląska, Gliwice.



Rys. 1. Rozkład temperatury w łuku elektrycznym różnych metod napawania [1]

Fig. 1. Thermal decomposition in electric arc for different hard-facing methods [1]

o opadającej charakterystyce. Proces napawania plazmowego może być prowadzony ręcznie, półautomatycznie lub automatycznie, w pozycji podolnej. Przy napawaniu w pozycjach przymusowych zachodzi konieczność zastosowania zasilania łuku plazmowego prądem stałym pulsującym [2, 3]. Napawanie plazmowe jest prowadzone wyłącznie prądem stałym z biegunowością ujemną o stabilnym lub pulsującym przebiegu prądu. Zasadę procesu napawania plazmowego



Rys. 2. Schemat procesu napawania plazmowego proszkowego  
Fig. 2. Powder PTA hard-facing process scheme

proszkowego pokazano na rysunku 2. Podstawowym zespołem urządzenia jest uchwyt zasilany napięciem stałym źródła pomocniczego. Na początku procesu zajarzany jest łuk plazmowy wewnętrzny (pomocniczy) między nietopliwą elektrodą a dyszą uchwytu. Do zajarzenia łuku pomocniczego służy urządzenie wytwarzające impulsy wysokiego napięcia lub jonizator, który jonizuje przestrzeń pomiędzy elektrodą i dyszą, a następnie umożliwia zajarzenie łuku głównego. Zajarzenie łuku głównego następuje po wydmuchaniu zjonizowanych cząstek gazu i dotarciu ich do materiału napawanego. Plazmowy łuk wewnętrzny i główny zasilane są z oddzielnych źródeł energii. Po ustabilizowaniu się łuku plazmowego głównego łuk wewnętrzny może być wygaszony lub utrzymywany przez cały czas napawania, w celu zwiększenia wydajności procesu [4].

Napawanie plazmowe proszkowe jest najpowszechniej stosowaną techniką napawania plazmowego, w której stosuje się granulowane proszki metaliczne i ceramiczne. Polega ona na stapianiu w łuku plazmowym proszku o ziarnistości  $0,06 \pm 0,3$  mm i przenoszeniu go na nadtopione podłoże. Stopiony proszek po zakrzepnięciu tworzy napoinę o minimalnym udziale podłoża, nawet poniżej 5%. W jednym przejściu układa się jednorodną warstwę o grubości od 0,2 mm do nawet 15 mm, a przy zastosowaniu oscylacji uchwytu plazmowego możliwe jest uzyskiwanie napoin o szerokościach  $5 \div 80$  mm.

Sprawność stapiania proszku, w zależności od jego składu chemicznego, wynosi  $90 \div 95\%$ . Dzięki dużej stabilności łuku plazmowego możliwe jest napawanie w szerokim zakresie zmian natężenia prądu. Ze wzrostem natężenia prądu wzrasta wydajność napawania, ale również i przetopienie materiału podłoża, a tym samym wzrasta jego udział w napoinie. Napoiny charakteryzują się bardzo wysoką czystością metalurgiczną i praktycznie dowolnym składem chemicznym. Gładkie i równe lico napoin umożliwia w niektórych przypadkach zrezygnowanie z obróbki mechanicznej. Podstawowym materiałem dodatkowym stosowanym do napawania plazmowego proszkowego są stopy metali na osnowie kobaltu, niklu i żelaza oraz cermetale.

Ze względu na sposób podawania proszku można wyróżnić:

- napawanie plazmowe proszkowe ze współosiowym podawaniem proszku do łuku plazmowego,
- napawanie plazmowe proszkowe z podawaniem proszku na zewnątrz uchwytu plazmowego,
- napawanie plazmowe proszkowe z podawaniem proszku przez kanał wewnątrz elektrody nietopliwej [5].

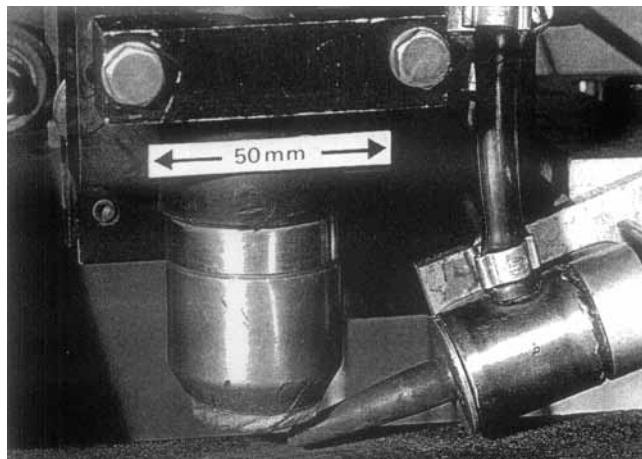
Podczas napawania plazmowego proszkowego z podawaniem proszku na zewnątrz uchwytu proces może być realizowany w taki sposób, że proszek będzie podawany przed łukiem plazmowym, w wyniku, czego łuk będzie się opierał o podawany proszek. W ten sposób ograniczona zostanie głębokość wtopienia i stopień wymieszania napoiny z materiałem podłoża (rys. 3). Podawanie proszku za łukiem plazmowym powoduje znaczny wzrost głębokości wtopienia, gdyż łuk opiera się wówczas o materiał napawany (rys. 4). Uzyskane napoiny charakteryzują się gładkim i równym licem. Taka technika napawania jest więc zalecana, gdy napoina ma charakteryzować się takimi samymi właściwościami jak materiał podłoża, a warstwa nakładana ma niewielką grubość [5].



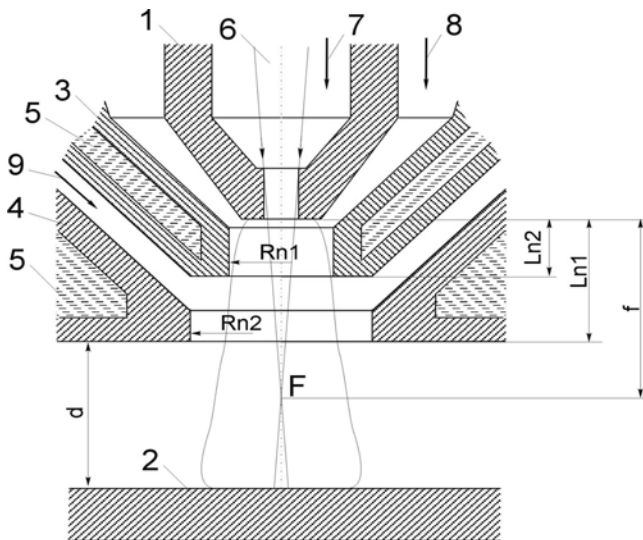
Rys. 3. Makrostruktura napoiny wykonanej plazmowo proszkowo na stali 0H18N9 proszkiem kobaltowym podawanym przed łuk,  $I = 80$  A, wymieszanie z materiałem rodzimym 16%, pow.  $4 \times [6]$   
Fig. 3. Macrostructure of PPTA hard-facing on the 0H18N9 steel using delivered before arc cobalt powder,  $I = 80$  A, 16% materials intermix, magn.  $4 \times [6]$



Rys. 4. Makrostruktura napoiny wykonanej plazmowo proszkowo na stali 0H18N9 proszkiem kobaltowym podawanym za łuk,  $I = 80$  A, wymieszanie z materiałem rodzimym 36%, pow.  $4 \times [6]$   
Fig. 4. Macrostructure of PPTA hard-facing on the 0H18N9 steel using delivered on the back side of arc cobalt powder,  $I = 80$  A, 36% materials intermix, magn.  $4 \times [6]$



Rys. 5. Napawanie plazmowe proszkowe z magnetyczną oscylacją łuku [7]  
Fig. 5. Powder PTA hard-facing with magnetic arc oscillation [7]



**Rys. 6.** Schemat napawania plazmowego laserowego [8]; 1 – elektroda nietopliwa (katoda), 2 – materiał napawany (anoda), 3 – dysza plazmowa, 4 – dysza osłonowa, 5 – chłodzenie, 6 – wiązka laserowa (laser CO<sub>2</sub> – tryb pracy ciągłej), 7, 8 – gaz plazmowy (argon), 9 – gaz transportujący (argon); Rn<sub>1</sub> = 5 mm, Rn<sub>2</sub> = 5 mm, Ln<sub>1</sub> = 5,5 mm, Ln<sub>2</sub> = 10 mm, f = 14+22 mm, d = 4+12 mm

**Fig. 6.** PTA-laser hard-facing scheme [8]: 1 – nonconsumable electrode (cathode), 2 – welded material (anode), 3 – plasma nozzle, 4 – shielding gas nozzle, 5 – cooling, 6 – laser beam (laser CO<sub>2</sub> – continuous wave beam), 7, 8 – plasma gas (argon), 9 – powder transport gas (argon); Rn<sub>1</sub> = 5 mm, Rn<sub>2</sub> = 5 mm, Ln<sub>1</sub> = 5,5 mm, Ln<sub>2</sub> = 10 mm, f = 14+22 mm, d = 4+12 mm

W celu podniesienia wydajności i jakości procesu napawania plazmowego są prowadzone próby napawania plazmowego z magnetyczną oscylacją łuku (rys. 5) oraz napawania plazmowego laserowego (rys. 6). Metody te pozwalają na zmniejszenie udziału metalu podłoża w napoinie do kilku procent

## Urządzenia i osprzęt spawalniczy do napawania plazmowego proszkowego

Urządzeniom do napawania plazmowego stawia się następujące wymagania:

- modułowa konstrukcja,
- programowalne sterowniki zapewniające powtarzalność parametrów i wyników,
- możliwość łatwej automatyzacji,
- niskie koszty eksploatacyjne,
- możliwość uzyskania napoin o bardzo wysokiej czystości metalurgicznej, przy wysokiej sprawności wykorzystania materiału dodatkowego,
- możliwość uzyskania jednorodnych napoin, pozbawionych porowatości i wtrąceń metalicznych, przy stosunkowo niskim współczynniku wymieszania napoiny z materiałem podłoża,
- uzyskanie napoin o bardzo gładkim licu, pozwalającym uniknąć obróbki mechanicznej lub eliminującym ją do minimum.

W procesie napawania plazmowego wykorzystuje się spawalnicze źródła energii prądu stałego o opadającej charakterystyce zewnętrznej. Mogą to być prostowniki spawalnicze lub inwertorowe źródła energii prądu stałego wyposażone w mikroprocesorowe układy sterowania parametrami procesu napawania [2, 9].

Uchwyt do napawania plazmowego odgrywa bardzo ważną rolę w procesie. Do napawania metali stosowane są wyłącznie uchwyty z łukiem zależnym (łuk plazmowy jarzy się pomiędzy elektrodą a materiałem napawanym). W uchwytach tego typu zajarzenie łuku odbywa się za pomocą impulsu prądu o wysokiej częstotliwości. Metodą napawania plazmowego z łukiem zależnym można napawać wszystkie materiały konstrukcyjne, które przewodzą prąd elektryczny. Do napawania materiałów nieprzewodzących prądu elektrycznego stosuje się uchwyty z łukiem niezależnym (łuk jarzy się pomiędzy elektrodą a dyszą uchwytu). Charakterystyczne wymiary uchwytu plazmowego to: średnica dyszy plazmowej, odległość elektrody od dyszy, odległość dyszy od materiału napawanego.

Główne elementy uchwytu plazmowego to: elektroda nietopliwa, dysza plazmowa oraz dysza proszkowa.

Uchwyty do napawania plazmowego można podzielić ze względu na sposób realizacji procesu napawania na ręczne i maszynowe. Ze względu na zastosowanie można wyróżnić:

- uchwyty do napawania powierzchni zewnętrznych,
- uchwyty do napawania proszkiem dwuskładnikowym,
- uchwyty do napawania powierzchni wewnętrznych,
- uchwyty do napawania materiałami na osnowie miedzi z odwrotną polaryzacją,
- miniuchwyty do napawania powierzchni wewnętrznych,
- miniuchwyty do napawania wewnątrz twardych powierzchni,
- uchwyty do napawania hybrydowego: plazmowo-laserowego.

Elektrody nietopliwe do napawania plazmowego są wykonane przeważnie z wolframu z dodatkiem pierwiastków o małej pracy wyjścia elektronu, tj.: 0,2÷3% tlenków ThO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, LaO<sub>3</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Wytwarza się je metodą spiekania i zagęszczania proszków metalowych o określonym podziale wielkości ziarna. Materiałem wyjściowym do produkcji jest bardzo czysty para-wolfram amonowy, uzyskiwany z rudy wolframu.

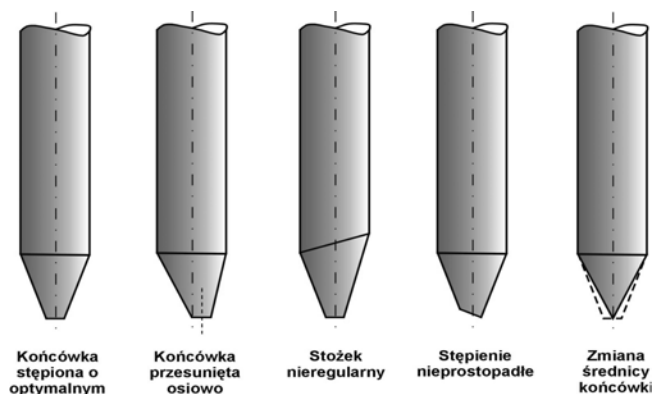
Wprowadzenie do elektrod tych dodatków powoduje znaczne zwiększenie ich trwałości, ułatwia zajarzenie łuku, a także pozwala na większe obciążenie prądowe (tabl. I).

Najwyższą trwałością cechują się elektrody wolframowe z dodatkiem tlenku itru, gdyż itr ma najwyższy współczynnik dyfuzji, zapewniający, że podczas parowania wolframu w obszarze plamki katodowej elektrody pierwiastek aktywujący z dużą intensywnością przechodzi do tego obszaru, nie występuje błędzenie plamki katodowej, a zaostroszony koniec elektrody nie nadtapia się, co praktycznie eliminuje wtrącenia wolframu

**Tablica I.** Zalecane zakresy natężenia prądu napawania w zależności od średnicy elektrody wg PN EN 26848

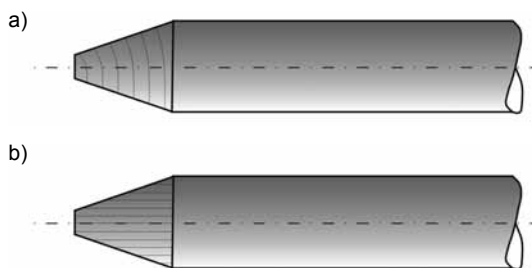
**Table I.** Recommended current for electrode diameter acc. to PN EN 26848

Średnica elektrody mm	Prąd stały, A Biegunowość ujemna	
	czysty wolfram	wolfram aktywowany
0,5	2-10	2-20
1,0	10-75	10-75
1,6	40-130	60-150
2,0	75-180	100-200
2,5	130-230	170-250
3,2	160-310	225-330
4,0	275-450	350-480
5,0	400-625	500-675
6,3	550-875	650-950



**Rys. 7.** Typowe odchylenia od optymalnego kształtu końca elektrody  
**Fig. 7.** Typical deviation from optimal electrode end shape

do napoiny. Dodatki tlenkowe wspomagające emisję elektronów występują zwykle jako wydzielania o dużej dyspersji w wolframowej osnowie elektrody, ale istnieją również elektrody kompozytowe złożone z rdzenia wolframowego z pokryciem tlenkowym. Ten typ elektrody łączy jakość elektrody z czystego wolframu i elektrody z wolframu z dodatkami tlenkowymi. Wadą tych elektrod jest brak możliwości ich ostrzenia i nadania końcówce kształtu stożkowego. Kąt zaostrenia elektrody wynosi  $20 \div 60^\circ$ . Mniejsze kąty ostrzenia powodują zmniejszenie średnicy stożka, co z kolei prowadzi do zmniejszenia tendencji do błędzenia plamki katodowej po powierzchni elektrody. Elektroda zaostrenia pod mniejszym kątem daje szerszy oraz bardziej stabilny łuk i zalecana jest przy wykorzystywaniu mniejszych natężeń prądu. Zmniejszenie kąta ostrzenia elektrody prowadzi do obniżenia jej trwałości [10, 11]. Większe kąty ostrzenia powodują zwiększenie trwałości elektrody wolframowej, węższy łuk i pozwalają pracować przy większym natężeniu prądu. Zbyt duży kąt zaostrenia elektrody nietopliwej może spowodować niestabilność jarzenia się łuku, co jest związane z błędzeniem plamki katodowej po powierzchni elektrody. Przy napawaniu zautomatyzowanym dokładny kąt ostrzenia elektrody jest parametrem krytycznym, wpływającym na przebieg procesu i dlatego zaleca się szlifowanie końcówki



**Rys. 8.** Kierunek szlifowania elektrod wolframowych: a) nieprawidłowy, b) prawidłowy

**Fig. 8.** Machining direction of tungsten electrodes: a) incorrect, b) correct

elektrod bez udziału człowieka, na specjalnie przeznaczonych do tego celu ostrzałkach. Szlifowanie ręczne nie tylko powoduje zwiększenie prawdopodobieństwa powstania różnego kształtu poszczególnych elektrod, ale również wprowadzenia znaczących odchyłeń od optymalnego kształtu końca elektrody (rys. 7). Każde z tych odchyłeń stwarza możliwość zmian jakości napoiny.

Elektrody, które szlifowane są prostopadłe do osi lub mające chropowatość powierzchni większą niż  $0,5 R_a$  mogą powodować niestabilność przepływu prądu, a w konsekwencji, może następować zajarzanie łuku elektrycznego poza końcówką, błędzenie łuku, szok termiczny końcówki, oraz zmniejszenie trwałości elektrody. Przykłady złego oraz prawidłowego ostrzenia elektrod wolframowych przedstawiono na rysunku 8.

Bardzo ważne jest, aby nietopliwa elektroda była bardzo dokładnie ustawiona wewnątrz uchwytu w osi dyszy zwięzającej. Podczas napawania plazmowego elektroda znajduje się wewnątrz uchwytu i dlatego nie jest możliwe zetknięcie jej z jeziorkiem napoiny i zanieczyszczenie go metalem elektrody. Elektrody wolframowe charakteryzuje:

- średnica i kąt zaostrenia,
- odporność erozyjna,
- zdolność zajarzania łuku.

Wymiary oraz sposób oznaczenia elektrod nietopliwych opisuje norma PN EN 26848. Wymiary elektrod wg tej normy są następujące:

- średnice elektrod: 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0 mm
- odchyłki wymiaru średnicy:
  - dla średnic  $< 2,5$  mm:  $\pm 0,05$  mm
  - dla średnic  $\geq 2,5$  mm:  $\pm 0,1$  mm
- długość elektrod: 50; 77; 150; 175 mm
- odchyłka długości:  $\pm 1$  mm.

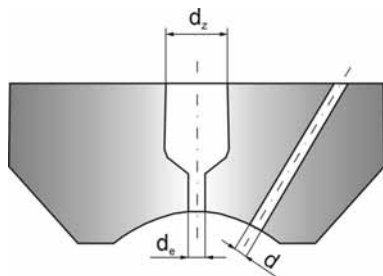
Każda elektroda nietopliwa jest odpowiednio oznaczona oraz cechowana (tabl. II). Oznaczenie elektrod wolframowych określa się na podstawie ich składu chemicznego zgodnie z normą PN 26848, gdzie: pierwsza litera oznacza podstawowy składnik, natomiast druga litera wskazuje dodatek tlenkowy, a numer znajdujący się za nimi pomnożony przez 10 oznacza zawartość tlenu. Cechowanie elektrod polega na zaznaczeniu barwnym pierścieniem jednej z końcówek elektrody, a w przypadku elektrod kompozytowych dodatkowo drugim paskiem różowym.

**Tablica II.** Oznaczenie, skład chemiczny i barwne cechowanie elektrod wolframowych wg normy PN 26848  
**Table II.** Designation, chemical composition and colour marking of tungsten electrodes acc. to PN 26848

Oznaczenie	Skład chemiczny			Kolor	
	Dodatki tlenkowe		Wolfram		Zanieczyszczenia, %
	Rodzaj	Zawartość, %			
WP	-	-	99,8	≤ 0,20	zielony
WT4	ThO <sub>2</sub>	0,35 – 0,55	reszta	≤ 0,20	niebieski
WT10	ThO <sub>2</sub>	0,80 – 1,20	reszta	≤ 0,20	żółty
WT20	ThO <sub>2</sub>	1,70 – 2,20	reszta	≤ 0,20	czerwony
WT30	ThO <sub>2</sub>	2,80 – 3,20	reszta	≤ 0,20	fioletowy
WT40	ThO <sub>2</sub>	3,80 – 4,20	reszta	≤ 0,20	pomarańczowy
WZ3	ZrO <sub>2</sub>	0,15 – 0,50	reszta	≤ 0,20	brązowy
WZ8	ZrO <sub>2</sub>	0,70 – 0,90	reszta	≤ 0,20	biały
WL10	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90 – 1,20	reszta	≤ 0,20	czarny
WC20	CeO <sub>2</sub>	1,80 – 2,20	reszta	≤ 0,20	szary

Bardzo ważną częścią uchwytu plazmowego jest dysza plazmowa, której podstawowe wymiary, tj. średnica i wysokość otworu zwężającego wpływają na jakość procesu napawania plazmowego (rys. 9).

Dysze plazmowe zwężające wykonywane są z miedzi i są intensywnie chłodzone wodą, co zapewnia dobre odprowadzanie ciepła z łuku plazmowego. Ich zadaniem jest mechaniczne zogniskowanie łuku plazmowego i przez to zwiększenie ilości wydzielanego w nim ciepła. Łuk plazmowy ulega dodatkowo zawężeniu wywołanemu przez znaczną różnicę temperatury między rdzeniem łuku a jego warstwą zewnętrzną. Średnica dyszy i jej położenie względem elektrody nieopłamiwej wywierają wpływ na energię łuku plazmowego. Przy zmniejszeniu średnicy dyszy plazmowej rośnie stopień zwężenia łuku i jego temperatura. Wzrasta również niebezpieczeństwo powstania łuku podwójnego i przyspieszonego zużycia elementów uchwytu.



**Rys. 9.** Przekrój poprzeczny dyszy plazmowej do napawania plazmowego proszkowego: d – średnica kanału podającego proszek, d<sub>e</sub> – średnica dyszy plazmowej, d<sub>z</sub> – średnica wejścia

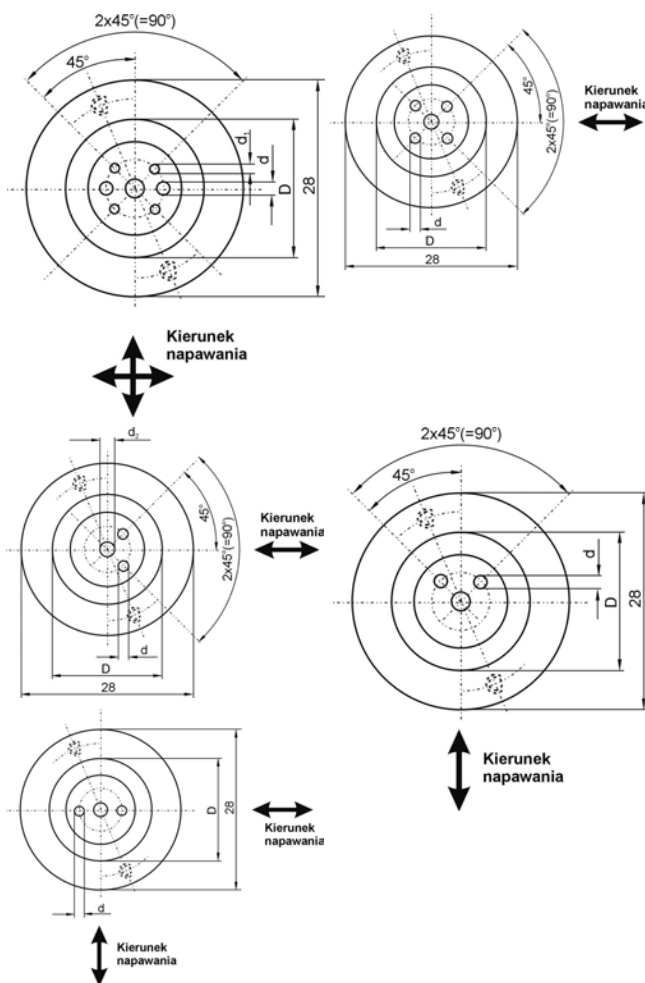
**Fig. 9.** Cross-section of plasma nozzle for powder PTA hard-facing: d – the diameter of pipe for powder transport, d<sub>e</sub> – plasma nozzle diameter, d<sub>z</sub> – input diameter

**Tablica III.** Wielkość średnicy dyszy plazmowej w zależności od natężenia prądu [12]  
**Table III.** Plasma nozzle diameter for different current [12]

Natężenie prądu napawania I A	Średnica dyszy plazmowej d mm
60	1,2
120	1,5
160	1,8
180	2,0
250	2,5
400	3,0
500	5,0

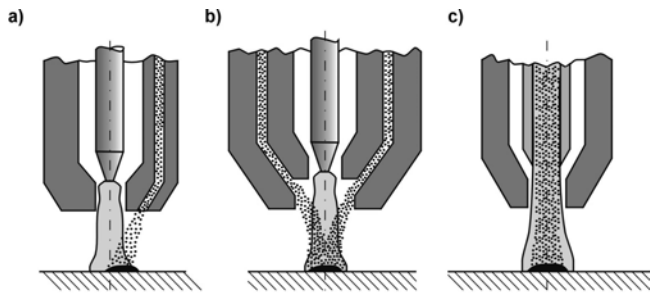
Stwierdzono, że bezpieczne zwężenie średnicy dyszy plazmowej wynosi 1 mm na 100 A natężenia prądu (tabl. III) [12].

W celu zwiększenia trwałości uchwytu w korpus miedziany dyszy plazmowej chłodzonej wodą jest wstawiana wkładka z trudno topliwego materiału, np. wolframu lub molibdenu. Również produkowane są dysze ze wstawkami z materiałów porowatych, które są ochładzane bezpośrednio przez włączanie przez ich



**Rys. 10.** Przykłady rozwiązań położenia kanałów podających proszek w dyszach plazmowych wraz z możliwym kierunkiem napawania

**Fig. 10.** Examples of positions of the powder feeding pipes in the plasma nozzle and possible direction of the hard-facing



**Rys. 11.** Schemat podawania proszku do łuku plazmowego: a) na zewnątrz łuku plazmowego, b) wewnątrz łuku plazmowego, c) przez kanał wewnątrz elektrody nietopliwej [5]

**Fig. 11.** Plasma arc powder feeding scheme: a) outside the plasma arc, b) inside the plasma arc, c) inside the nonconsumable electrode [5]

ścianki boczne gazu lub cieczy [2]. Średnicę strumienia plazmy można regulować przez dobór odpowiedniego kształtu dyszy plazmowej: cylindrycznej, zbieżnej lub rozbieżnej. Zastosowanie dyszy rozbieżnej pozwala na zwiększenie średnicy strumienia plazmy, obniżenie jego temperatury, a co za tym idzie zmniejszenie głębokości wtopienia napoiny.

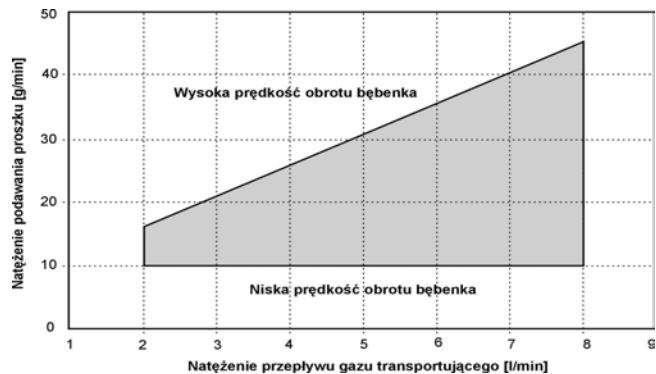
Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych dysz plazmowych do napawania plazmowego proszkowego z możliwym kierunkiem napawania przedstawiono na rysunku 10.

W procesie napawania plazmowego proszkowego można wyróżnić następujące systemy podawania proszku:

- na zewnątrz łuku plazmowego: najczęściej dwoma kanałami,
- wewnątrz łuku plazmowego: przez kanały rozmieszczone symetrycznie w dyszy plazmowej,
- przez kanał wewnątrz elektrody nietopliwej (rys. 11) [5].

Podczas podawania proszku na zewnątrz łuku plazmowego proszek krótko przebywa w łuku plazmowym, w konsekwencji słabiej się nagrzewa i wolniej przetapia, również straty proszku są większe, zwłaszcza podczas napawania z dużą wydajnością, powyżej 3 kg/h. Podawanie proszku na zewnątrz może też prowadzić do deformacji łuku plazmowego, zaburzenia stabilności procesu napawania i pojawienia się nierówności napoiny. Podczas podawania proszku wewnątrz łuku plazmowego wzrasta znacznie wydajność stapiania proszku, dłużej przebywa on w łuku plazmowym i efektywność jego stapiania jest wyższa. Rośnie natomiast zagrożenie uszkodzenia uchwytu rozpryskami ciekłego metalu.

Istnieje kilka rozwiązań konstrukcyjnych podawania proszku podczas napawania plazmowego proszkowego. W podajnikach stosowanych w niektórych starszych typach automatów do napawania plazmowego ilość podawanego proszku regulowana jest przez prędkość obrotową talerzyka, natomiast natężenie przepływu gazu transportującego jest stałe. W nowszych urządzeniach do napawania



**Rys. 12.** Natężenie podawania proszku w funkcji natężenia przepływu gazu transportującego i prędkości obrotowej bębena

**Fig. 12.** Intensity as a function of powder feeding and transport gas flow rate and rotor speed

plazmowego proszkowego ilość podawanego proszku zależy od prędkości obrotowej bębena i od natężenia przepływu gazu plazmowego, co pozwala regulować energię kinetyczną, z jaką proszek pada na element napawany (rys. 12).

Ziarnistość proszków do napawania plazmowego proszkowego wynosi 35÷300 µm.

Większość stanowisk do napawania plazmowego proszkowego ma zwartą konstrukcję, w skład której wchodzi: sterownik, pulpit sterowniczy, uchwyt plazmowy, wysięgnik, dozownik proszku, mechanizm wahadłowy, suport, stanowisko do mocowania butli, chłodnica, manipulatory i pozycjonery. W nowoczesnych rozwiązaniach przemysłowych uchwyty plazmowe mocowane są na kiści robota spawalniczego.

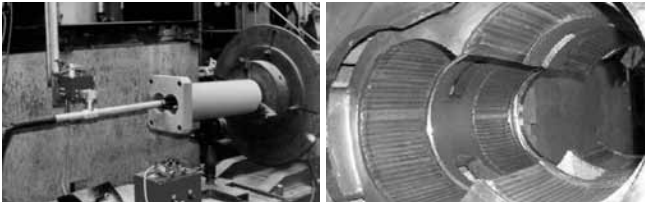
## Aplikacje przemysłowe napawania plazmowego proszkowego

Napawanie plazmowe proszkowe znajduje zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, m.in. w przemyśle rolniczym, samochodowym, górniczym, chemicznym, spożywczym, morskim i wielu innych. Przykłady stanowisk i aplikacji przemysłowych napawania plazmowego przedstawiono na rysunkach 13÷23 [13].



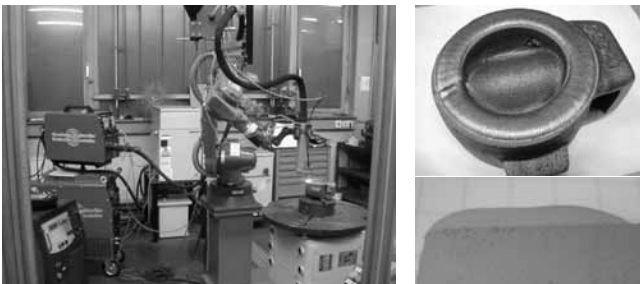
**Rys. 13.** Napawanie plazmowe proszkowe zaworu i gniazd zaworowych silników okrętowych

**Fig. 13.** Powder PTA hard-facing of valve and valve seats marine engines



**Rys. 14.** Przykłady przemysłowego zastosowania procesu napawania plazmowego proszkowego w procesie wytwarzania podwójnych cylindrów wylączarki

**Fig. 14.** Examples of industrial application of PPTA hard-facing process in the manufacture of a double barrel of the extruder



**Rys. 15.** Napawanie plazmowe proszkowe AC zasuwki nożowej: materiał napawany – żeliwo sferoidalne GGG 40, materiał dodatkowy, specjalny stop na osnowie brązu

**Fig. 15.** AC PPTA hard-facing of knife gate valve: material – ductile cast iron grade GGG 40, the filler material: bronze base special alloy



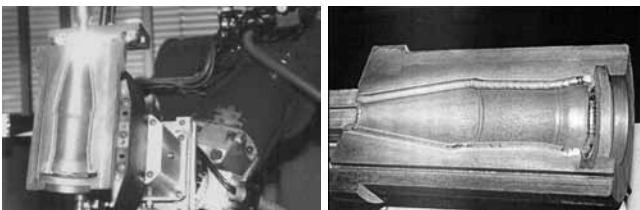
**Rys. 16.** Napawanie plazmowe proszkowe narzędzi do obróbki plastycznej metali

**Fig. 16.** PPTA hard-facing of the tools for metals forming



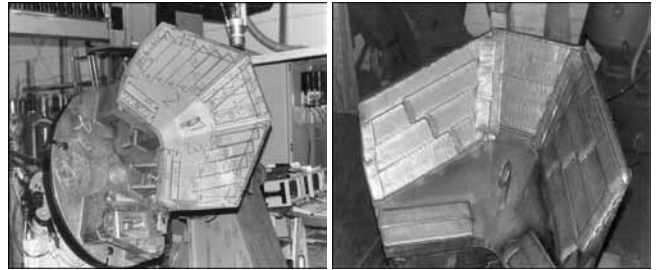
**Rys. 17.** Napawanie plazmowe proszkowe warstwy wierzchniej uszczelniającej gniazdo zaworu

**Fig. 17.** PPTA hard-facing the surface layer of the valve seat seal



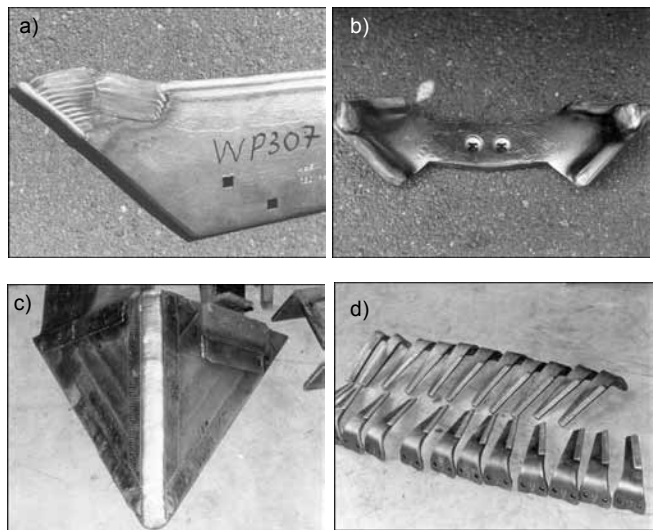
**Rys. 18.** Napawanie plazmowe proszkowe form szklarskich z żaroodpornego żeliwa chromowego

**Fig. 18.** PPTA hard-facing of heat-resistant chromium cast iron molds



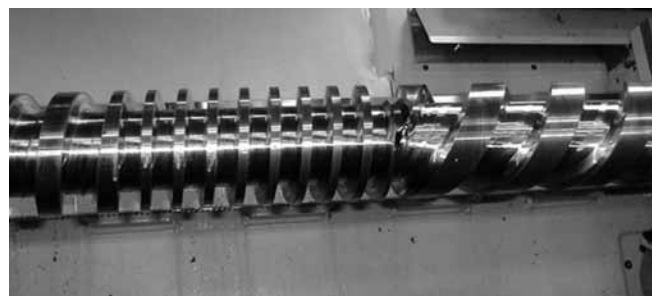
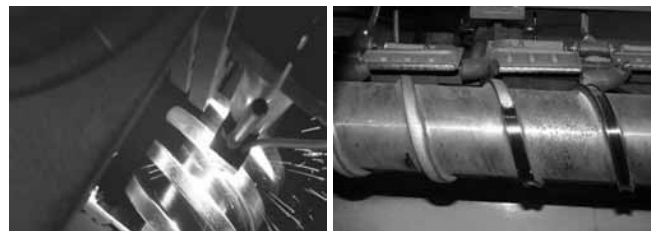
**Rys. 19.** Napawanie plazmowe proszkowe łyżki zespołu nabierającego koparki kołowej

**Fig. 19.** PPTA hard-facing of bucket of wheel excavator



**Rys. 20.** Napawanie plazmowe proszkowe elementów części maszyn rolniczych: a) lemiesz, b) ząb brony, c) odkładnica pogłębiacza, d) noże kultywatora

**Fig. 20.** PPTA hard-facing of agricultural machinery parts: a) landside share, b) harrow tooth, c) mouldboard, d) cultivator knives



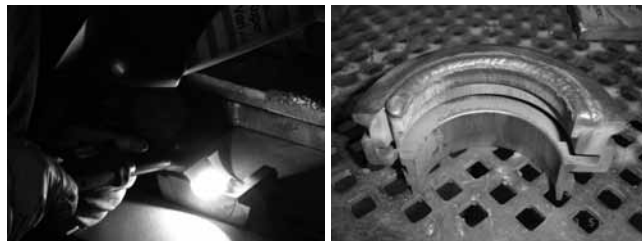
**Rys. 21.** Napawanie plazmowe proszkowe ślimaka wyciskarki

**Fig. 21.** PPTA hard-facing of extruder worm



**Rys. 22.** Przykład zrobotyzowanego spawania plazmowego proszkowego

**Fig. 22.** Example of robotic PPTA process



**Rys. 23.** Ręczne napawanie plazmowe proszkowe form szklarskich ze stopu miedzi proszkiem na osnowie niklu

**Fig. 23.** Manual PPTA hard-facing of copper alloy molds with the use of nickel base powder

## Literatura

- [1] Pekarek M.: 1. Verkäufer Training 2006, 100 Jahre Castolin, 35 Jahre GAP.
- [2] Klimpel A.: Technologia napawania i natryskiwania ciepłego, WNT Warszawa 2000.
- [3] Matthes K. J., Khaled A.: Plasma-arc polder surfacing with pulsed arc for minimum – deformation shaping, Schweissen und Schneiden, no. 9/1996.
- [4] Bouaifi B., Reichmann B.: New areas of application through the development of the high-productivity plasma-arc powder surfacing process, Schweissen und Schneiden, 12/1998.
- [5] Dilthey U., Kabatnik L.: Central powder feed in the plasma-arc powder surfacing process, Schweissen und Schneiden, 12/1998.
- [6] Klimpel A.: Prace własne Katedry Spawalnictwa, Politechnika Śląska w Gliwicach 2003.
- [7] Bunt F. J.: Magnetic arc oscillation for weld surfacing, using mechanised TIG, MIG and PTA processes, TWI Industrial Members Report No. 544, April 1996.
- [8] Som A. I., Krivstun I. V.: Laser plus plasma: search new possibilities in surfacing, The Paton Welding Journal, No. 12/2000.
- [9] Dobaj E.: Maszyny i urządzenia spawalnicze, wyd. III, WNT Warszawa 2006.
- [10] Pocica A., Nowak A.: Dobór kąta ostrzenia elektrod wolframowych o małych średnicach, Przegląd Spawalnictwa, nr 3/1996.
- [11] Sewell R.: Szlifowanie elektrod wolframowych, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, nr 2/2002.
- [12] Roloff H. J.: Sensierung des Brennerabstandes beim Plasmaschneiden, ZIS -Report, no. 5/1990.
- [13] Materiały własne firmy Castolin.



## POLSKIE TOWARZYSTWO SPAWALNICZE Oddział w Opolu

informuje o organizacji

**XVIII KONFERENCJI SPAWALNICZEJ „SPAWANIE W ENERGETYCE”**  
w dniach od 24 do 26 kwietnia 2012 r. w Ośrodku Ziemowit w Jarnołtówku

- sesje referatowe
- wystawy techniczne
- imprezy towarzyszące

Wszystkich zainteresowanych udziałem w konferencji zapraszamy do skontaktowania się z Polskim Towarzystwem Spawalnictwem – Oddział w Opolu.

Dodatkowe informacje: Pocica Anna, tel. 48 77 400 62 51, e-mail: a.pocica@po.opole.pl  
Derwich Tomasz, tel. 48 77 401 92 95, e-mail: tomasz.derwich@esab.pl

Korespondencję prosimy kierować pod adresem:  
POLSKIE TOWARZYSTWO SPAWALNICZE – ODDZIAŁ W OPOLU  
ul. A. Struga 10, 45-073 OPOLE (fax: 48 77 401 92 01)