

Analiza i porównanie trwałości elektrod stosowanych podczas zmechanizowanego cięcia plazmowego

An analysis and comparison of durability of electrodes used in mechanical plasma cutting

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań trwałości elektrod stosowanych do cięcia plazmowego blach stalowych w warunkach produkcyjnych. Omówiono realizację różnych programów cięcia na przecinarce plazmowej sterowanej numerycznie. Porównano wpływ na zużywanie się elektrod liczby zajarzeń i długości cięcia. Dokonano analizy wpływu warunków pracy na głębokość i średnicę kraterów elektrod. Uzyskane wyniki badań umożliwiły odniesienie się do zaleceń producentów dotyczących stosowania i eksploatacji elektrod do cięcia plazmowego.

Słowa kluczowe: trwałość, cięcie plazmowe, katoda

Abstract

In the following paper researches' results of a durability of electrodes used in plasma cutting of steel sheet plates in the production conditions were presented. An implementation of different cutting programmes made on plasma numerically controlled cutting-off machine was shown. An influence of wearing electrodes on the number of strikes and the length of cutting was compared. An analysis was made of the influence of working conditions on the depth and diameter of electrodes' crater pipes. The following results allowed to refer to the producers' recommendations about a usage and operation of electrodes used in plasma cutting.

Keywords: durability, plasma cutting, cathode

Wstęp

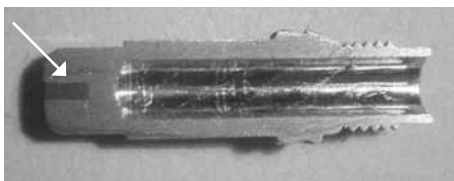
Obecnie w procesach produkcyjnych dużą rolę odgrywa cięcie plazmowe. Równocześnie następuje ciągłe podwyższanie wydajności i efektywności urządzeń do cięcia plazmowego. Niesie to za sobą konieczność stosowania elektrod do cięcia plazmowego zapewniających wymaganą jakość powierzchni cięcia i mających długotrwałą żywotność. W niniejszej publikacji omówiono proces zużycia elektrod wykorzystywanych podczas cięcia plazmowego. Pomimo zastosowania w trakcie badania elektrod różnych producentów, nie porównano ich między sobą, aby nie ukierunkowywać czytelnika na daną markę. Elementy te

charakteryzują się podobnym kształtem i kolorem. Produkowane elektrody mogą różnić się między sobą długością i kształtem rdzenia, a także materiałem, z którego są wykonane poszczególne części, co może wpływać na ich żywotność, wydajność i odporność na wysokie temperatury.

Elektroda zbudowana jest najczęściej z dwóch elementów: korpusu oraz rdzenia wykonanego z materiału trudno topliwego (rys. 1). Zazwyczaj materiałem na nietopliwy wkład jest hafn lub cyrkon – najczęściej w przypadku stosowania sprężonego powietrza jako gazu plazmowego. W przypadku stosowania innych gazów do cięcia (nieutleniających) rdzenie te wytworzone są z lantanu lub ceru [1].

Dr hab. inż. Jacek Słania, prof. PCz – Politechnika Częstochowska, **inż. Paweł Wilk** – Logiterm Koszęcin.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: jacek.slania@is.gliwice.pl



Rys. 1. Przekrój elektrody plazmowej wraz z zaznaczonym wkładem z materiału trudnotopliwego

Fig. 1. An intersection of a plasma electrode with an input of a high-melting material

Warto również zwrócić uwagę na elementy eksploatacyjne, których korpus wykonany jest w całości ze srebra. Ciekawym rozwiązaniem może być także połączenie dwóch materiałów składających się na wspomniany już korpus (srebro i miedź). Wszystkie te konstrukcje mają na celu maksymalne zwiększenie „osiągów” danej elektrody. Srebro ma dużo wyższą przewodność cieplną od miedzi, dzięki czemu odprowadzanie ciepła podczas procesu cięcia plazmowego jest dużo bardziej efektywne [2].

Przebieg i wyniki badań

Przebadano 20 elektrod (po 5 w każdej serii), które wykorzystano podczas wypalania elementów z blach. Cięcie plazmowe odbywało się na przecinarce plazmowej firmy Stigal – VX Standard, którą obsługuje agregat plazmotwórczy marki Cebora Prof 162 z palnikiem plazmowym CP200. Urządzenie to jest wyposażone w system zapobiegający dalszej pracy po zużyciu elektrody.

Konieczność wymiany elektrody na nową sygnalizuje zapalenie się czerwonej kontrolki ostrzegawczej (na przedniej ścianie agregatu) oraz brak możliwości zajęcia łuku plazmowego.

Łączna liczba zajarzeń łuku wyniosła 18 520, przetięto 6885 m blach, w czasie ok. 48 h. Cięto elementy z blach o grubości od 1 do 20 mm (najczęściej od 1 do 6 mm). Każda z 20 przebadanych elektrod została wymieniona po zapaleniu się wspomnianej kontrolki. Wyniki dotyczące ciętych elementów dla określonej grubości blachy i zastosowanych parametrów cięcia były notowane wraz z wydrukiem widoku danego programu stworzonego w aplikacji WRYKRYŚ. Po przeprowadzonym badaniu porównano ze sobą poszczególne liczby zajarzeń łuku plazmowego, długości cięcia, a także czasy cięcia. Następnie dokonano przekroju wybranych elektrod w celu obserwacji stopnia zużycia, wraz z wymiarowaniem kraterów. Tablica I zawiera dane dotyczące liczby zajarzeń i długości cięcia dla poszczególnych grubości blach.

Z danych przedstawionych w tab. I wynika, że największą liczbę programów wycięto z blach o grubości 4, 6 i 3 mm (w kolejności od największej), a najmniejszą z blach o grubości 15 i 20 mm. W większości wymienionych blach długość cięcia jest ok. 3 razy mniejsza od liczby zajarzeń. Jest to zbieg okoliczności wywołany konstrukcją danych elementów, a także ułożeniem i częstotliwością wycinania poszczególnych arkuszy. DANE parametry pracy przedstawione są w tablicy II. Wartości te pozwalają na pogodzenie ze sobą dwóch czynników, a mianowicie wymaganej jakości powierzchni z odpowiednią prędkością cięcia.

Tablica I. Liczba zajarzeń wraz z długościami cięcia przyporządkowane do danej grubości blachy

Table I. The number of strikes with the length of cutting assigned to the thickness of a metal plate

	Grubość blachy, mm									
	1	2	3	4	5	6	10	12	15	20
Liczba zajarzeń	1221	1081	3674	6174	1637	4365	4	250	23	26
Długość cięcia, m	1113	649	1000	1835	591	1619	2	91	3,4	6,5

Tablica II. Parametry zastosowane podczas badania

Table II. Parameters used during research

Grubość blachy mm	Natężenie prądu A	Średnica otworu dyszy, mm	Napięcie łuku plazmowego, V	Prędkość cięcia m/min	Ciśnienie gazu bar
1	40	1,0	130	6	4,5
2	70	1,3	130	5	4,5
3	80	1,3	130	3,5	4,5
4	85	1,3	140	3	4,5
5	85	1,3	140	2,5	4,5
6	85	1,3	140	2	4,5
10	110	1,6	135	1,1	4,5
12	115	1,6	140	0,6	4,5
15	115	1,6	145	0,6	4,5
20	130	1,8	150	0,5	4,5

Pogrupowano elektrody po 5 szt. w czterech seriach. Wyciągnięcie średniej z danej serii miało na celu porównanie tych elementów z pozostałymi, w sposób najbardziej wiarygodny. Z racji tego, że cięcie plazmowe odbywało się w normalnym toku produkcji, nie zawsze każda elektroda była równo obciążona parametrami pracy. Na rysunku 2 przedstawiono elektrody (kratery) przy stopniowym zużywaniu się, od stanu nominalnego do zużycia. Trzeba jednak zwrócić uwagę na fakt, iż maksymalne dopuszczalne zużycie osiągnęła elektroda nr 4, której krater ma głębokość według zaleceń producenta, tzn. 1,5 mm [3].



Rys. 2. Trwałość elektrody – od stanu nominalnego do zużycia
Fig. 2. Durability of an electrode – from novelty up to scrapping

Na rysunku 2 z oznaczeniem 1 pokazana jest nowa elektroda. Elektrody 2÷4 wykazują naturalne zużycie. Można zauważyć, że od nr 5 następuje gwałtowne powiększenie średnicy krateru wraz z głębokością. Natomiast elektrody 8 i 9 wykazują skrajne zużycie. Nie zaleca się dalszej pracy elektrodami 5÷9. Stosowanie zużytych elementów eksploatacyjnych może prowadzić do zniszczenia dyszy, uchwytu plazmowego, a nawet agregatu plazmowego. Podczas cięcia takimi elektrodami (7, 8) można usłyszeć głośny huk, odgłos przypominający smażenie na patelni, a także może pojawić się duża ilość brunatnego dymu. Jest to niedopuszczalne i nieekonomiczne.

Na rysunku 3 przedstawiono porównanie średnic kraterów elektrod wykorzystanych podczas badania.

Średnica krateru zawiera się w zakresie 1,7÷3,8 mm. Trzy wartości przekroczyły 3 mm. Podczas cięcia plazmowego oprócz materiału nietopliwego również miedziany korpus elektrody może być narażony na odrywanie się, wraz ze strumieniem plazmy, drobnych cząstek miedzi.

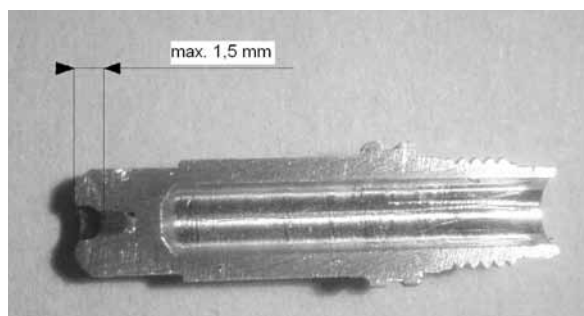
Głębokość krateru nie powinna przekraczać ok. 1,5 mm (rys. 4) [1]. Można powiedzieć, że ta wartość pokrywa się z informacjami producentów zarówno agregatów plazmowych, jak i palników. Jedne firmy uważają, że nie powinno się przekraczać wartości 1,5 mm, a inne – 2 mm [4, 5].

Na rysunku 5 ukazano wartości poszczególnych głębokości kraterów.



Rys. 3. Porównanie poszczególnych średnic kraterów w badanych elektrodach

Fig. 3. A comparison of particular diameters of crater pipes on examined electrodes

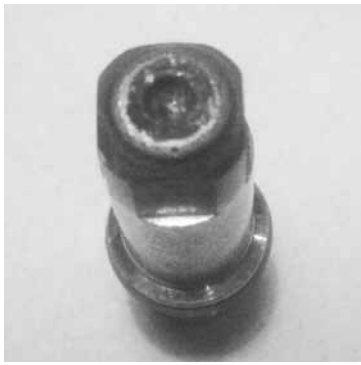


Rys. 4. Głębokość maksymalna krateru
Fig. 4. A maximum depth of a crater pipe



Rys. 5. Głębokości kraterów
Fig. 5. Depths of crater pipes

Jak wynika z rysunku 5, otrzymane głębokości kraterów są bardzo do siebie zbliżone. Ponieważ tak jak wspomniano wcześniej głębokość krateru powinna wynosić w granicach 1,5÷2,0 mm, przyjęto taki właśnie zakres jako dopuszczalny. Po przeanalizowaniu wyników można stwierdzić, że 75% wyników spełnia przyjęte kryteria. 25% z kolei jest na pograniczu zadanego progu. Na rysunkach 6÷8 zaprezentowano trzy elektrody o różnej wielkości krateru.



Rys. 6. Elektroda 1
Fig. 6. An electrode 1



Rys. 7. Elektroda 18
Fig. 7. An electrode 18



Rys. 8. Elektroda 4
Fig. 8. An electrode 4

Na rysunku 9 przedstawiono otrzymane wartości zajarzeń łuku plazmowego. Najwięcej zajarzeń uzyskały elektrody: 18 – 1459, 8 – 1365 i 19 – 1259, a najmniej elektrody 4 – 505, 5 – 520 i 17 – 572. Wartości te są co najmniej 2,5-krotnie mniejsze od wymienionych wcześniej. Powyżej 1000 razy zajarzyło się 9 elektrod, czyli 45% badanych elementów eksploatacyjnych.

W tabelicy III przedstawiono porównanie poszczególnych wartości dla elektrod: 8, 18 i 19.



Rys. 9. Liczba zajarzeń elektrod
Fig. 9. A number of strikes of electrodes

Tablica III. Porównanie elektrod, które uzyskały najwyższą liczbę zajarzeń

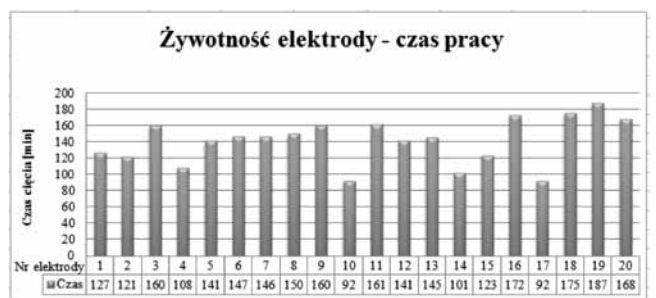
Table III. A comparison of electrodes, which obtained the highest number of strikes

Nr elektrody	Grubość ciętej blachy mm	Liczba zajarzeń		Długość cięcia m		Czas cięcia min
8	3	65	1365	165	371	150
	4	568		189		
	6	732		27		
18	3	862	1459	48	335	175
	5	115		54		
	6	482		233		
19	3	205	1259	109	426	187
	4	781		199		
	6	273		118		

Elektroda nr 18 okazała się wyjątkowo trwała i wydajna. Co ciekawe, zajarzyła się 862 razy przy 48 metrach cięcia (duża liczba zajarzeń – mała długość cięcia), a następnie zajarzyła się jeszcze ponad 500 razy na blachach o innej grubości.

Na rysunku 10 przedstawiono żywotność (czas pracy) poszczególnych elektrod. Czas ten jest liczony od momentu jarzenia się łuku plazmowego.

Rysunek 10 przedstawia wartości czasu pracy każdej elektrody. Można tutaj zwrócić uwagę na po-



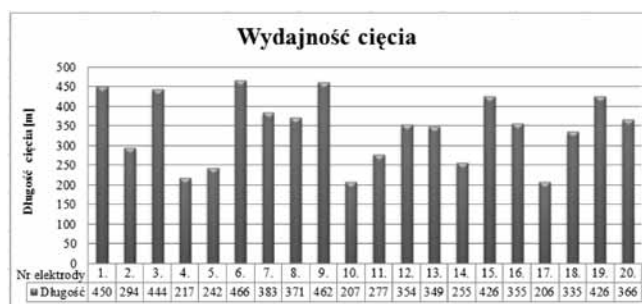
Rys. 10. Czas pracy elektrod
Fig. 10. An operating time of electrodes

dobny poziom trwałości. Elektrody 4, 10, 14 i 17 charakteryzują się najkrótszym czasem cięcia. Fakt ten potwierdza również wykres znajdujący się na rysunku 11 obrazujący wydajność cięcia. Tablica IV przedstawia porównanie kilku elektrod charakteryzujących się szybkim zużyciem. W przypadku elektrody 4 szybkie wyeksploatowanie jest spowodowane z jednej strony dużą liczbą zajarzeń na blasze o grubości 3 mm, a z drugiej strony cięciem kilkunastu metrów na blasze o grubości 12 i 20 mm.

Na rysunku 11 przedstawiono wydajność cięcia. Wartości poszczególnych długości przeciętego materiału wahają się od 206 do 466 m w najlepszym przypadku. Średnia długość cięcia jedną elektrodą to ponad 300 m. Sześcioma elektrodami przekroczono długość cięcia 400 m. Z kolei 7 elektrod nie osiągnęło progu 300 m długości cięcia.

Tablica IV. Porównanie elektrod o najkrótszym czasie cięcia
Table IV. A comparison of electrodes with the shortest time of cutting

Nr elektrody	Grubość ciętej blachy, mm	Liczba zajarzeń	Długość cięcia m	Czas cięcia min	
4	3	364	127	217	108
	4	46	47		
	5	65	25		
	12	26	17		
	20	4	1		
10	3	704	116	207	92
	4	370	91		
14	4	1004	242	255	101
	6	25	13		
17	4	363	134	206	92
	5	134	47		
	6	75	25		



Rys. 11. Długość cięcia uzyskana na danej elektrodzie
Fig. 11. The length of cutting obtained on a particular electrode

W tablicy V zestawiono uśrednione wartości omawianych wcześniej parametrów.

Tablica V. Zestawienie uśrednionych wartości różnych parametrów
Table V. A list of average values of various parameters

Seria (elektrody)	Wartości średnie				
	Średnica krateru mm	Głębokość krateru, mm	Liczba zajarzeń	Długość cięcia m	Czas pracy min
1. (1÷5)	2,66	1,90	791	329	131
2. (6÷10)	2,62	2,00	1063	378	145
3. (11÷15)	2,18	1,74	849	332	134
4. (16÷20)	2,28	1,58	1000	338	158

Powyższa tablica ukazuje porównanie wspomnianych średnich wartości badanych parametrów z poszczególnych serii. Warto zwrócić uwagę na fakt bardzo zbliżonych do siebie wyników średniej długości cięcia i czasu pracy. Pozostałe elementy również są do siebie zbliżone. Średnie głębokości krateru nie przekraczają przyjętego dopuszczalnego poziomu.

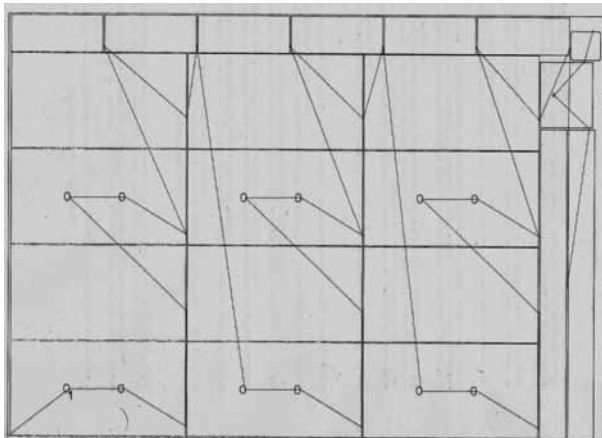
Na zużycie elektrody ma wpływ wiele czynników, ale jednym z ważniejszych jest liczba zajarzeń łuku plazmowego. Przy każdym wygaszaniu łuku następuje odrywanie się mikroskopijnych cząstek wkładu z materiału trudno topliwego [1]. Można dowiedzieć, że elektroda wykonująca mniejszą liczbę zajarzeń z dużymi odległościami cięcia (rys. 13) zużyje się znacznie mniej niż elektroda wykonująca proces napunktowania lub wypalania bardzo dużej liczby małych otworów (rys. 12). Realizacja programu przedstawionego na rysunku 14 spowoduje umiarkowane zużycie elektrody.

Szybsze zużycie elektrody występuje również w przypadku cięcia grubszych blach. Cięcie plazmowe elementów z arkuszy o grubości 12, 15, 20 mm itd. trwa nie tylko dłużej, ale wówczas elektroda jest także narażona na stosowanie wyższych parametrów cięcia. Taka sytuacja nie sprzyja jej żywotności.



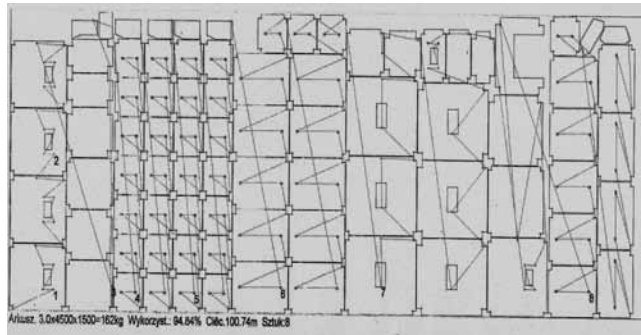
Rys. 12. Widok programu. Blacha o grubości 3 mm. Parametry: liczba zajarzeń 540, długość cięcia 29 m [wykres]

Fig. 12. A view of a programme. A sheet metal plate – 3 mm thickness. Parameters; the number of strikes 540, the length of cutting 29 m [graph]



Rys. 13. Elementy rozmieszczone na arkuszu. Blacha o grubości 3 mm. Parametry: liczba zajarzeń 15, długość cięcia 44 m [wykres]

Fig. 13. An Elements disposed on the sheet. A sheet metal plate – 3 mm thickness. Parameters; the number of strikes 15, the length of cutting 44 m [graph]



Rys. 14. Program wypalony 12 elektrodą. Blacha o grubości 3 mm. Parametry: liczba zajarzeń 256, długość cięcia 100,74 [wykres]

Fig. 14. An programme burnt out by an electrode 12. A sheet metal plate – 3 mm thickness. Parameters; the number of strikes 256, the length of cutting 100,74 m [graph]

Podsumowanie

Zużycie elektrod stosowanych podczas cięcia plazmowego jest nieodłącznym czynnikiem, towarzyszącym każdemu procesowi. Największe zużycie następuje nie w czasie cięcia, lecz w momencie zajarzania łuku plazmowego. Wykonane badanie umożliwiło porównanie poszczególnych parametrów odnoszących się do zużycia elementów eksploatacyjnych. Można zauważyć, że wyniki otrzymane podczas badania są do siebie zbliżone, w niektórych przypadkach porównywalne. Zsumowanie uzyskanych wyników pozwoli-

ło na potwierdzenie pewnej powtarzalności podczas cięcia plazmowego. Pomiar głębokości kraterów z jednej strony pozwolił na konfrontację wszystkich elektrod, jeśli chodzi o ten parametr, a z drugiej strony dzięki niemu można stwierdzić, iż minimalne różnice w głębokości (0,5÷0,8 mm powyżej wartości 1,5 mm) nie mają istotnego wpływu na uzyskanie podobnej jakości powierzchni cięcia. Jest to również pewna informacja o niemożliwości zatrzymania procesu cięcia zgodnie z wytycznymi producentów.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa. Poradnik inżyniera. Spawalnictwo. Tom 2. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2005.
- [2] Praca zbiorowa. Mały poradnik mechanika. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1994.
- [3] Instrukcja obsługi agregatu plazmowego Cebora Prof 162.
- [4] Instrukcja obsługi urządzenia do cięcia Air Plasma- 36, Ozas – Esab.
- [5] Instrukcja obsługi przecinarki Powercut 1300/1600 Esab.