PRZEDSIĘBIORCZOŚĆ I ZARZĄDZANIE 2017
Wydawnictwo SAN | ISSN 2543–8190

Tom **XVIII** | Zeszyt **11** | Część **III** | ss. **169–185**

Anatol Kałasznikow | a.kalasznikow@zsanatol.com.pl
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny

System wspomagania decyzji doboru parametrów cięcia plazmowego dla potrzeb redukcji kosztów wytwarzania

Decision Support System for Selecting Plasma Cutting Parameters of Cost Reduction Purposes

Abstract: The article presents the concept of the influence of parameters of plasma cutting (amperage, cutting speed, type and expense of industrial gas) on the quality of a product and the life span of exploitation parts. The product quality is understood as the value of the perpendicular deviation, surface coarseness, influence of the heat zone, hardness. The article indicates the necessity of developing a decision supporting system (DSS), as an element for simplifying and facilitating the estimation of production costs, which depend on parameters of plasma cutting. In the article the concept of a decision support system regarding the selection of plasma cutting parameters enabling costs reduction is presented. Based on the results of the conducted experiments, the impact of selected parameters on the product geometry (the quality of the processed products) and on the time of the plasma cutting process were determined. Comparative analysis for cutting parameters recommended by the manufacturer and determined based on the experience of a plasma cutter operator was performed.
Key words: decision support system, plasma cutting, parameters of plasma cutting, production costs

Wstęp

Dla mikro i małych przedsiębiorstw, niezależnie od branży, ograniczeniami w rozwoju są duże koszty inwestycyjne. Przedsiębiorstwa, w większości przypadków, decydując się na zakup nowego urządzenia, kierują się przede wszystkim kosztami zakupu. Na dalszy plan schodzą koszty związane z użytkowaniem i serwisem urządzenia oraz problemy z jakością wytwarzanych produktów. Tak samo jest w przypadku mikro i małych przedsiębiorstw, które zajmują się produkcją wyrobów metalowych. Sytuacja taka wynika ze struktury przedsiębiorstw zajmujących się produkcja wyrobów z metali. Jak pokazuje tabela 1 i rysunek 1, istnieje duża dysproporcja między liczbą przedsiębiorstw z sektora publicznego i prywatnego. Różnice te pogłębiają się na przestrzeni lat. Rośnie liczba przedsiębiorstw w sektorze prywatnym, a maleje liczba przedsiębiorstw w sektorze publicznym.

Tabela 1. Podmioty gospodarcze z branży: produkcja wyrobów z metali według sektora własności

	2005	2011	2012	2013	2014	2015
Ogółem	27 254	30 803	30 635	27 254	32 141	34 804
Sektor publiczny	85	34	32	31	26	24
Sektor prywatny	27 169	30 769	30 603	29 875	32 115	34 780

Źródło: opracowanie własne na podstawie [G.U.S. 2013], [G.U.S. 2014], [G.U.S. 2015].

Rysunek 1. Liczba podmiotów gospodarczych z branży produkcji wyrobów z metali według sektora własności

Źródło: opracowanie własne na podstawie [G.U.S 2013], [G.U.S 2014], [G.U.S. 2015].

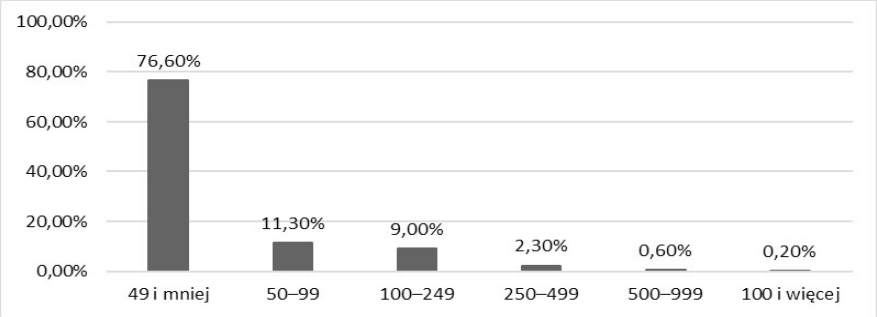
Ważność czynnika ekonomicznego wynika także z wielkości przedsiębiorstwa. Jak podają dane GUS z roku 2015, większość przedsiębiorstw zajmujących się produkcją wyrobów z metali to przedsiębiorstwa poniżej 49 pracowników (przedsiębiorstwa te stanowią ponad 76% wszystkich przedsiębiorstw). Czyli są to przedsiębiorstwa zaliczane do mikro i małych firm (tabela 2 i rysunek 2).

Tabela 2. Firmy zajmujące się produkcją wyrobów z metali według liczby zatrudnienia w roku 2015

	Liczba osób zatrudnionych						
	Ogółem	49 i mniej	50–99	100–249	250–499	500–999	100 i więcej
Liczba podmiotów prowadzących działalność	4829	3700	545	433	111	29	11
Ujęcie procentowe	100%	76,6%	11,3%	9,0%	2,3%	0,6%	0,2%

Źródło: [G.U.S. 2017].

Rysunek 2. Procentowy udział podmiotów gospodarczych zajmujących się produkcją wyrobów z metali według liczby zatrudnienia w roku 2015



Źródło: [G.U.S. 2015].

Relatywnie niskie koszty zakupu urządzeń plazmowych przyczyniają się do tego, że mikro i małe przedsiębiorstwa z branży metalowej często decydują się na tego rodzaju inwestycje [Ilii, Coteata 2009]. Niskie koszty inwestycyjne i zalety w eksploatacji często przesłaniają wady tego typu urządzeń. Dopiero w trakcie eksploatacji niewątpliwe zalety zostają przesłonięte przez problemy, jakie wiążą się z wykorzystaniem tej technologii. W tabeli 3 zestawiono metody obróbki termicznej cięcia balach wraz z ich głównymi wadami i zaletami, podano także orientacyjny przedział cenowy takich urządzeń.

Tabela 3. Metody obróbki cięcia blach – zestawienie głównych wad i zalet

	Cięcie gazowe	Cięcie laserem	Cięcie wodą	Cięcie plazmowe
Zalety	duży zakres grubości ciętego materiału metoda ekonomiczna	wysoka precyzja wąska szczelina duża prędkość gładka powierzchnia powtarzalność wymiarowa mała strefa wpływu ciepła	wysoka precyzja cięcie dużych grubości bezpyłowe brak strefy wpływu ciepła brak problemów z rozszerzalnością materiałów	niski koszt zakupu i eksploatacji znaczne prędkości cięcia szybkie przebijanie wąska strefa wpływu ciepła niewielka szczelina cięcia

Wady	długi czas przebijania szeroka strefa wpływu ciepła tylko dla stali niestopowych niskowęglowych	wysoki koszt zakupu urządzenia ograniczona grubość cięcia	niska prędkość cięcia wysoki koszt zakupu urządzenia, wysoki koszt eksploatacji	hałas oraz zapylenie promieniowanie zmiany w strefie wpływu ciepła trudność w utrzymaniu prostopadłości mała dokładność wymiarowa
Zakres cenowy	Od 3 000 zł do 20 000 zł lub jako dodatkowy palnik w przecinarce plazmowej	Od 1 800 000 zł	Od 2 000 000 zł	Od 45 000 zł do 300 000 zł

Źródło: opracowanie własne.

Dla przedsiębiorstw kluczowy jest koszt produkcji. Jego ustalenie jest ważne w praktyce przemysłowej, ponieważ możliwość szybkiej i dokładnej kalkulacji kosztów prowadzi do zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstwa [Klimpel 1999]. Parametry cięcia plazmowego są zmiennymi, które wpływają na koszty produkcji [Ilii, Coteata 2009]. Koszty cięcia plazmowego są wypadkową wielu czynników i można je określić za pomocą wzoru:

$$K_{całkowity} = K_u + K_e + K_j$$

gdzie:

- Ku – koszt zakupu urządzenia;
- Ke – koszty eksploatacji (na które składają się: Kz – koszty części zamiennych, Kp – koszty poboru prądu, Ks – serwis urządzenia);
- Kj – koszt wykonania wyrobu o określonej klasie dokładności.

Głównymi czynnikami wpływającymi na poszczególne koszty produkcji są parametry procesu, które wpływają na jakość produktu oraz na żywotność części eksploatacyjnych.

Tabela 4. Wady i zalety cięcia plazmą

ZALETY CIĘCIA PLAZMĄ	WADY CIĘCIA PLAZMĄ
• wysoka prędkość cięcia, • cięcie bez podgrzewania – szybkie przebijanie, • wąska strefa wpływu ciepła – stosunkowo niewielki wpływ temperatury na cały materiał dzięki dużym prędkościom i wąskiemu działaniu temperatury, • niewielka szczelina cięcia, • możliwość cięcia bez nadpalania materiałów cienkich, • relatywnie niski koszt inwestycji, • bardzo duże tempo produkcji z blachy cienkiej po właściwym ustawieniu i zaprogramowaniu.	• promieniowanie powodowane przez łuk elektryczny obejmujące zakres od podczerwieni do nadfioletu, • duży hałas >100dB (bez znaczenia w przypadku procesu cięcia pod wodą), • zapylenie – duża ilość gazów i dymów (problem rozwiązuje System Inteligentnego Sterowania Stołami Sekcyjnymi), • zmiany w strefie wpływu cięcia, • trudności w utrzymaniu prostopadłości krawędzi (problem rozwiązuje plazma high definition).

Źródło: [Durga 2000], [Pilarczyk 2012].

W tabeli 4 zestawiono wady i zalety cięcia plazmą [Durga 2000; Pilarczyk 2012]. Do istotnych problemów, które występują przy cięciu plazmowym należą: trudność w utrzymaniu prostopadłości krawędzi i zmiany właściwości materiału w strefie wpływu cięcia. W pierwszym przypadku problem ten rozwiązuje plazma high definition. Jednak dla mikro i małych przedsiębiorstw każda dodatkowa inwestycja może stać się dużym obciążeniem, które może zachwiać płynność finansową przedsiębiorstwa. W przypadku problemu zmian własności materiałów w strefie wpływu cięcia problem ten można rozwiązać poprzez zmianę zalecanych parametrów cięcia. Jednak koszt zakupu stosownego urządzenia jest wysoki. Postawiono następujące hipotezy:

1) Istnieje zbiór parametrów regulacji cięcia plazmowego, który zmniejszy zmiany w strefie wpływu ciepła oraz pozytywnie wpłynie na prostopadłość krawędzi w porównaniu z parametrami rekomendowanymi przez producenta.

2) Istnieje zbiór parametrów regulacji cięcia plazmowego, który umożliwia wydłużenie czasu pracy części eksploatacyjnych wycinarki plazmowej w porównaniu z parametrami rekomendowanymi przez producenta.

3) Możliwe jest stworzenie systemu wspomagania decyzji doboru parametrów cięcia plazmowego w oparciu o zebrane doświadczenia operatorów, który skróci czas regulacji wycinarki plazmowej i poprawi jakość wytwarzanych wyrobów.

Głównym celem artykułu jest przedstawienie koncepcji systemu wspomagania decyzji dotyczących doboru parametrów cięcia plazmowego umożliwiającego redukcję kosztów procesu. Na podstawie wyników przeprowadzonych eksperymentów określono wpływ wybranych parametrów na geometrię wyrobu (jakość obrabianych wyrobów) oraz na czas procesu cięcia plazmą. Przeprowadzono analizę porównawczą próbek dla parametrów cięcia zalecanych przez producenta oraz określonych na podstawie doświadczenia operatora wycinarki plazmowej.

Systemy wspomagania decyzji dostępne na rynku

Obsługa oraz zasada działania przecinarek plazmowych jest praktycznie taka sama, niezależnie od typu przecinarki czy producenta. Urządzenia różnią się ewentualnie źródłem zasilania oraz prędkością przejść jałowych. Wraz z urządzeniem do cięcia plazmowego firmy sprzedają oprogramowania własne lub firm spokrewnionych. Zestawienie wybranych dostępnych na rynku europejskim rodzajów oprogramowania zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5. Oprogramowania wspomagające decyzję w procesie cięcia termicznego

Nazwa	Producent	Opis
SigmaNest	Stigo	CAD/CAM 3D. Bardzo zaawansowane oprogramowanie. Wysoka optymalizacja. Cięcie oraz wykrawanie blach
ProNest 2017	Hypertherm	CAD/CAM Przeznaczony do zaawansowanego mechanicznego cięcia (laserowe, wodne, plazmowe, gazowe)
Wrykrys	Stigal	CAD/CAM Przygotowanie procesu cięcia plazmowego, optymalizacja oraz zarządzanie odpadami
TonCut	Codeton Software	Optymalizacja rozkroju materiałów płaskich jak: blachy, szyba, drewno, kamień, tworzywo sztuczne, aluminium, karton i inne
CutMaster 2D	Esab	Oprogramowanie stosowane w celu zoptymalizowania procesu cięcia konstrukcji metalowej, meblowej, szklanej i podobnych
SmartCam	Falina Systemy Cad Cam	Oprogramowanie pomaga zmniejszyć odpady oraz usprawnia proces produkcyjny w procesie cięcia laserowego, plazmowego, wodą oraz wykrawaniu młoteczkowym
Igems	Igems Software	Przystosowane dla początkujących użytkowników. Pomagający w kosztorysowaniu, tworzeniu detali, rozkrojów generując kody G dla maszyn CNC
MagicSaf	Air Liquide Welding Polska	Oprogramowanie dające możliwości projektowania trajektorii cięcia. Zaprojektowane z myślą dla urządzeń do cięcia gazowego, plazmowego, laserem, wodą oraz do wykrawania
StrikerSystems Nest	Stricker Systems	Narzędzie wspomagające proces cięcia na numerycznie sterowanych wycinarkach: plazmowych, laserowych, wodnych i innych maszynach
Lantek Expert Cut	Lantek Sheet Metal Solutions	Program stworzony do automatyzacji procesu cięcia na przecinarkach różnymi metodami
Cnc Kad	Metalix	2D/3D Program o zintegrowanej możliwości cięcia oraz wykrawania. Generuje kod NC oraz graficzną symulację
Radan	Radan Polska	Program przystosowany do obróbki blach
JetCam	JETCAM International s.a.r.l.	Narzędzie do zarządzania gospodarką materiałową blach

Źródło: [Cnc Kad, 2017], [CutMaster, 2017], [Igems, 2017], [JetCam, 2017], [Lantek, 2017],[Magic, 2017], [ProNest, 2017], [Radan, 2017], [SigmaNest, 2017], [SmartCam, 2017], [Stricker, 2017], [TonCut, 2017], [Wrykrys, 2017].

Wszystkie systemy wspomagające decyzję przy cięciu termicznym (tabela 9) posiadają następujące braki:

- brak narzędzia umożliwiającego kosztorysowanie przy zachowaniu żądanych klas jakości cięcia plazmowego,

- brak oprogramowania uwzględniającego klasyfikację części eksploatacyjnych oraz ich żywotność,
- brak możliwość zastosowania odpowiednich elementów części zamiennych palnika plazmowego w stosunku do żądanej jakości cięcia,
- brak możliwości wykonania szybkich ofert cenowych.

Doświadczenie operatora – parametry producenta

Wstępna faza badań polegała na przeprowadzeniu na wycinarce plazmowej WPA 6000 Compakt ze źródłem CUT 133 WDM szeregu badań doświadczalnych. Badania przeprowadzono na próbkach z blachy stalowej S235 JR w dwóch wersjach grubości: 4 i 12 mm. W technologii cięcia plazmowego na jakość procesu mają wpływ następujące parametry:

- natężenie prądu,
- napięcie łuku,
- prędkość cięcia,
- grubość cięcia,
- rodzaj i ciśnienie oraz natężenie przepływu gazu plazmowego,
- rodzaj i konstrukcja elektrody,
- średnica dyszy zwężającej,
- położenie palnika względem ciętego przedmiotu.

W celu zawężenia granic systemu (ograniczenie liczby zmiennych) dokonano rangowania parametrów cięcia plazmowego. Z przeprowadzonych analiz wynika, że najważniejszymi parametrami są (tabela 6):

- natężenie prądu,
- prędkość cięcia,
- rodzaj i wydatek gazu technologicznego.

Tabela 6. Metoda RANG – wybór najistotniejszych parametrów procesu cięcia plazmowego

EKSPERCI	Parametry mające wpływ na cięcie plazmowe								
	Ciśnienie gazu –przebijanie	Ciśnienie gazu –cięcie	Wysokość palnika cięcie	Napięcie łuku	Natężenie prądu	Prędkość cięcia	Wysokość startu	Czas dziurkowania	Odsunięcie palnika przebijanie
	[bar]	[bar]	[mm]	[V]	[A]	[mm/min]	[mm]	[s]	[mm]
1	7	3	4	8	1	2	5	6	9
2	8	2	9	4	1	3	5	6	7

3	7	3	4	1	2	5	6	8	9
4	6	4	5	2	1	3	7	9	8
5	6	3	2	1	5	4	7	8	9
6	7	5	3	9	2	1	4	6	8
7	6	5	4	7	2	1	3	9	8
8	3	7	1	6	2	4	5	8	9
9	10	9	8	3	1	2	6	5	7
10	7	4	3	9	1	2	6	5	8
11	8	3	7	6	1	2	4	5	9
12	6	2	4	5	1	3	8	9	7
13	7	4	5	6	2	1	3	8	9
14	6	5	7	2	3	1	4	8	9
15	6	4	5	3	1	2	8	9	7
Suma	100	63	71	72	26	36	81	109	123
Ranga	7	3	4	5	1	2	6	8	9

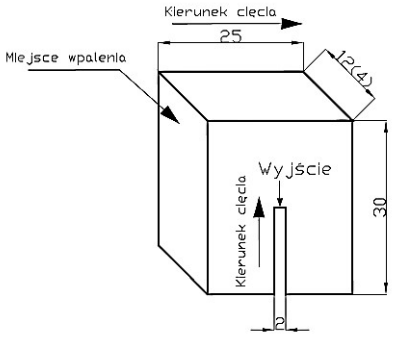
Źródło: opracowanie własne.

Badania wpływu doświadczenia operatora wycinarki plazmowej na jakość produktu, rozumianą jako zachowanie prostopadłości krawędzi i zmniejszenia tolerancji, dokonano na wycinarce plazmowej WPA 6000 Compakt ze źródłem CUT 133 WDM (rysunek 3) na detalu o wymiarach i kształcie pokazanych na rysunku 4.

Rysunek 3. Przecinarka plazmowa, na której przeprowadzono badania (opracowanie własne)

Źródło: opracowanie własne.

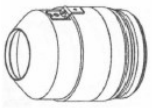
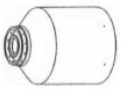
Rysunek 4. Schemat wykonanych detali



Źródło: [EN ISO 9013, 2002].

Detale wykonano w dwóch wariantach. W pierwszej wersji wykonano je z zachowaniem parametrów cięcia plazmowego, zalecanych przez producenta wycinarki plazmowej, które są dołączane do urządzenia w postaci kart z tabelami. Przykładowa specyfikacja parametrów cięcia plazmowego zalecana przez producenta wycinarki pokazana została w tabeli 7.

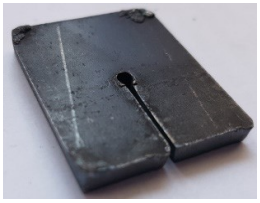
Tabela 7. Przybliżone wartości parametrów cięcia plazmowego – prąd 80A

Prąd 80 A				**Plazma O_2 / Wtórne powietrze**						**STAL**
Ciśnienie gazów przedmuch bar		Ciśnienie gazów-cięcie bar		Grubość ciętego materiału	Napięcie łuku	Wysokość palnika	Prędkość cięcia	Wysokość startu		Czas dziurkowania
Plazma	Wtórne	Plazma	Wtórne							
N2,powietrze	powietrze	O_2	powietrze	mm	V	mm	mm/min	mm	%	S
2,4	2,4	5,8	2,4	**2**	112	2,5	10200	3,8	150	0,1
				2,5	115	2,5	1400	3,8		0,1
				3	117	2,5	4650	3,8		0,2
				4	120	2,0	4300	3	200	0,2
				6	123	2,0	2540	3		0,3
				10	127	2,0	1900	3,8		0,5
			1,2	**12**	130	2,0	1350	5,0	250	0,7
				15	133	2,0	1000	5,0		0,8
				20	135	2,5	653	5,0		0,9
Kolejność zużywających się części										
Mufa zewnętrzna		Osłona		Mufa wewnętrzna		Dysza	Rozdzielacz			Elektroda
220173		220189		220176		220188	220179			220187
										

Źródło: [MTH13W, 2009].

W drugim wariancie detal wykonano przy parametrach cięcia plazmowego, które wynikają z doświadczenia operatora wycinarki plazmowej. Zastosowane parametry dla obu wariantów zestawiono w tabeli 8 i 9.

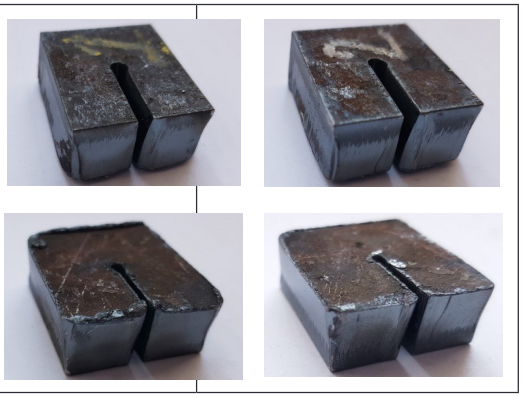
Tabela 8. Parametry cięcia dla detalu o grubość 4 mm

Parametry cięcia (grubość blachy 4 mm)	Dane producenta	Doświadczenie operatora
Natężenie [A]	80	80
Prędkość cięcia [mm/min]	4300	3600
Ciśnienie gazów podczas cięcia [bar]	5,8	6,0
Wysokość palnika podczas cięcia [mm]	2,0	3,0
Czas dziurkowania [s]	0,2	0,1
Wysokość startu [mm]	3	4
Uzyskany detal:		

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9. Parametry cięcia dla detalu o grubość 12 mm (opracowanie własne)

Parametry cięcia (grubość blachy 12 mm)	Dane producenta	Doświadczenie operatora
Natężenie [A]	130	130
Prędkość cięcia [mm/min]	2200	1900
Ciśnienie gazów podczas cięcia [bar]	6,4	6,5
Wysokość palnika podczas cięcia [mm]	3,25	3,5
Czas dziurkowania [s]	0,5	0,4
Wysokość startu [mm]	6,5	7,0

Uzyskany detal:	

Źródło: opracowanie własne.

W pierwszej kolejności dokonano oceny wykonania próbek metodą wzrokową. Już po tej ocenie można stwierdzić, że próbki wykonane z zastosowaniem parametrów obróbki wynikających z doświadczenia operatora cechują się wyższą dokładnością wykonania, tj. posiadają mniejsze ukosy zewnętrzne oraz brak mocno przylegających wypływek.

Następnie za pomocą narzędzi pomiarowych (suwmiarka noniuszowa o dokładności 0,02 mm oraz kątownika warsztatowego) sprawdzono prostopadłości krawędzi i dokładność wykonania. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 10. Do pomiarów wybrano trzy miejsca:

- miejsce maksymalnego ukosu zewnętrznej powierzchni detali,
- szerokość górnej szczeliny,
- szerokość dolnej szczeliny.

Tabela 10. Zestawienie pomiarów próbek

	Próbka parametry producenta 4 mm	Próbka parametry operatora 4 mm	Próbka parametry producenta 12 mm	Próbka parametry operatora 12 mm
Ukos zewnętrznej powierzchni	1,32	0,90	2,64	1,72
Górna szerokość szczeliny	1,44	2,30	2,10	2,30
Dolna szerokość szczeliny	0,58	0,90	1,00	1,24

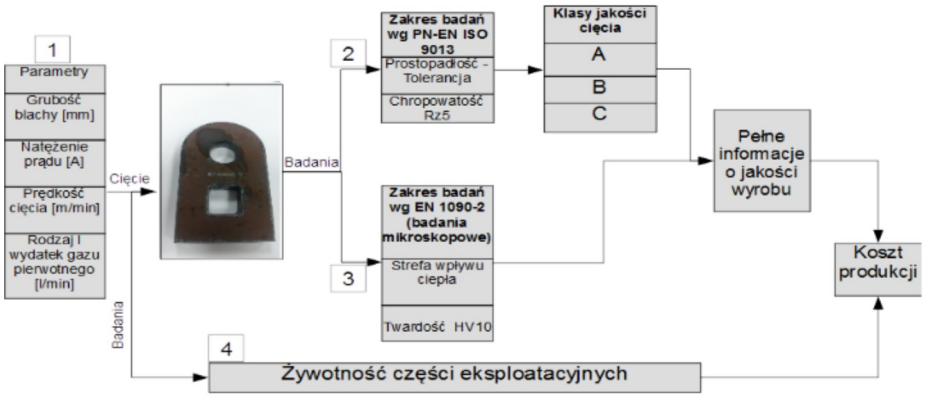
Źródło: opracowanie własne.

Pomiary potwierdziły, że cięcie plazmowe dokonane z zastosowaniem parametrów wynikających z doświadczenia operatora dają próbki o wyższej jakości, co skutkuje występowaniem mniejszych ukosów i wyższą dokładnością wymiarową wykonania detali.

Koszt produkcji w aspekcie parametrów cięcia plazmowego

Cięcie plazmowe jest procesem, w wyniku którego otrzymujemy półprodukty przeznaczone najczęściej do dalszej obróbki. Im dokładniej jest wykonany półwyrób oraz im mniejsza jest strefa wpływu ciepła i mniejsza tolerancja wymiarowa, tym wymagany jest mniejszy nakład pracy w dalszym procesie produkcyjnym, a tym samym możliwe jest zredukowanie kosztów wytworzenia wyrobu gotowego. W praktyce pożądane jest uzyskanie jak najmniejszej strefy wpływu ciepła oraz jak najmniejszych zmian strukturalnych zachodzących na krawędziach. W związku z tym należy dążyć do jak najwyższej jakości półproduktu. Na postawie hipotez badawczych ustalono ramowy plan badań. Schemat planowanych badań został zaprezentowany na rysunku 5. Na rysunku 6 przedstawiono badaną próbkę.

Rysunek 5. Schemat blokowy cyklu badań



Źródło: opracowanie własne.

Geometria wyrobu i tolerancja jakości

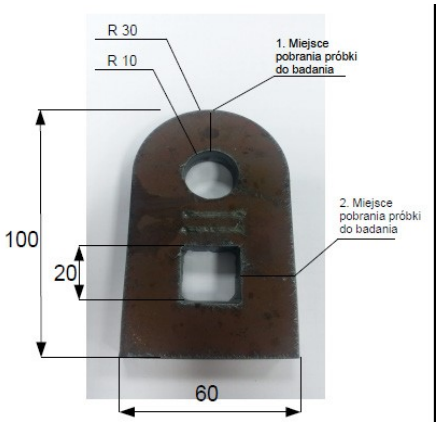
O przypisaniu danego wyrobu, po cięciu plazmowym, do danej klasy jakości decydują parametry określne w PN-EN ISO 9013:2017-04. Cięcie termiczne – klasyfikacja cięcia termicznego – specyfikacja geometrii wyrobu i tolerancje jakości [EN ISO 9013, 2002].

Norma ta przewiduje dwie klasy jakości: A – detale wytwarzane bez obróbki wykańczającej oraz B – z przewidzianą po procesie cięcia obróbką wykańczającą. Z doświadczenia wynikającego z praktyki produkcyjnej w branży metalowej wynika, że jeżeli jakość powierzchni ciętej nie ma znaczenia, a najważniejszy jest krótki czas realizacji zlecenia, rekomenduje się wprowadzenie trzeciej klasy jakości – C. W związku z tym, prowadząc badania i stosując różne parametry procesu cięcia plazmowego, próbki będą oceniane według trzech klas jakości (A, B i C).

Badania metalograficzne

W procesie obróbki metodą cięcia plazmowego, oprócz parametrów określonych w normie PN-EN ISO 9013:2017-04, cięcie termiczne – klasyfikacja cięcia termicznego – specyfikacja geometrii wyrobu i tolerancje jakości [EN ISO 9013, 2002], na jakość produktu wpływają również: szerokość strefy wpływu ciepła oraz zmiany strukturalne zachodzące w krawędziach, określone w normie PN-EN ISO 1090-2 *Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – część 2: wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych* [PN-EN ISO 1090-2, 2012]. Celem badań metalograficznych jest określenie kształtu i szerokości strefy wpływu ciepła oraz zmian strukturalnych zachodzących na badanych krawędziach w zależności od zastosowanych parametrów cięcia plazmowego. Na rysunku 6 przedstawiono badany detal z zaznaczonymi miejscami pobrania próbki do badania.

Rysunek 6. Detal z zaznaczonymi miejscami pobrania próbek do badań metalograficznych



Źródło: opracowanie własne.

W praktyce przemysłowej dopiero informacje o dokładności wykonania oraz strefie wpływu ciepła są wystarczające do podjęcia decyzji o realizacji dalszych operacji technologicznych dla otrzymania gotowego wyrobu.

Żywotność części eksploatacyjnych

Parametry cięcia plazmowego wpływają na żywotność części eksploatacyjnych, która determinuje koszt produkcji. Części eksploatacyjne wraz i ich orientacyjną żywotnością zestawiono w tabeli 10. Głównym problemem eksploatacyjnym jest nierównomierność zużywania się części, przy czym o wymianie poszczególnych części decyduje doświadczenie operatora [MTH13W, 2009]:

- o wymianie elektrody i dyszy decyduje gorsza jakość cięcia lub niestabilny strumień plazmy przy zmianie koloru z czerwonego na niebiesko-biały odcień. Kontrolę zużycia tych elementów można wykonać za pomocą lusterka, sprawdzając ewentualną deformację dyszy lub odpryski metalu, a także wgłębienie elektrody, które nie powinno być większe jak 1,5 mm;
- osłonę mufy wymienia się, gdy jest widoczna deformacja otworu od roztopionego metalu;
- pierścień rozdzielaczy wymienia się w przypadku, gdy jest mniejszy przepływ gazu lub jego nieregularne krążenie. Powodem może być niewłaściwe smarowanie lub zapchane otwory;
- pozostałe części zużywają się w zależności od eksploatacji urządzenia. Wpływ na skrócenie żywotności części ma nieprawidłowe startowanie, niedotrzymywanie optymalnych warunków cięcia, np. odpryski metalu na końcówce palnika podczas startu, niesterowany start, zbyt duży dystans palnika nad materiałem, niewłaściwie nastawiona prędkość cięcia lub wielkość natężenia prądu cięcia.

Można zatem przyjąć, że żywotność poszczególnych części zależy od parametrów cięcia plazmowego, co jest kluczowym aspektem wpływającym na kosztochłonność procesu.