

Wpływ parametrów cięcia plazmowego na jakość powierzchni ciętej

Influence of plasma cutting parameters on cut surface quality

Streszczenie

Przedstawiono charakterystykę cięcia plazmowego stali S355J2 wraz z oceną wizualną elementów, oceną jakości ciętych powierzchni (pomiar tolerancji prostokątności i średniej wysokości profilu chropowatości Rz5) w oparciu o PN-EN ISO 9013:2008 oraz pomiarem wartości twardości HV10.

Słowa kluczowe: cięcie termiczne, cięcie plazmowe, własności powierzchni cięcia, twardość, metalografia

Abstract

Presents characteristics of plasma cutting of steel S355J2 with element's visual evaluation, quality of cut surfaces evaluation (measurement of squareness tolerance and average profile height of roughness Rz5) based on PN-EN ISO 9013:2008 standard and measurement of hardness values HV10.

Keywords: thermal cutting, plasma cutting, surface cutting properties, hardness, metallography

Wstęp

Cięcie plazmowe jest metodą cięcia termicznego, w której źródłem ciepła jest strumień plazmowy. Do przemysłu została wprowadzona w latach 50., aby umożliwić rozdzielanie metali nieżelaznych oraz stali odpornych na korozję, których nie można było ciąć z wykorzystaniem tlenu. Proces polega na stapianiu materiału, a następnie wyrzuceniu go ze szczeliny za pomocą strumienia silnie zjonizowanego gazu o dużej energii kinetycznej, skoncentrowanego w plazmowym łuku elektrycznym, jarzącym się między ciętym przedmiotem (anoda) a nietopliwą elektrodą (katoda). Strumień plazmowy osiąga prędkość zbliżoną do prędkości dźwięku, a po opuszczeniu dyszy zawęża się w kierunku szczeliny. Jego temperatura dzięki dużej mocy, koncentracji łuku oraz składu gazu osiąga wartość od 10 000 K, nawet do 30 000 K, co doprowadza nie tylko do topienia materiału, ale także do jego parowania. Tak wysoka temperatura w połączeniu z energią kinetyczną gazu plazmowego gwarantuje cięcie z dużą szybkością wszystkich materiałów, które przewodzą prąd, stosownie do ich grubości. W zależności od wybranej technologii cięcia plazmowego, rodzaju ciętego materiału oraz systemu pracy możliwe jest wykonanie operacji rozdzielania materiału o grubości od 0,5 do nawet 160 mm [1÷4].

Metodyka badań

Celem badania było określenie jakości detali po cięciu plazmowym, zgodnie z PN-EN ISO 9013:2008 [5]. Próbki w kształcie kwadratów o wymiarach 70x70 mm zostały wycięte z blachy S355J2 o grubości 20 mm technologią plazmową przy użyciu tlenu jako gazu tnącego. Długość dojazdu palnika do detalu wynosiła 12 mm, natomiast odjazdu 8 mm. Operacja cięcia została wykonana na maszynie

DYNAMIC Speed HQ, a parametry procesu wraz z oznaczeniem próbek zestawiono w tabeli I.

Tabela I. Oznaczenie próbek oraz parametry cięcia plazmowego
Table I. List of sample codes and parameters of plasma cutting

Nr próbki (oznaczenie)	Parametr procesu			
	Prędkość cięcia [mm/min.]	Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]	Wysokość cięcia [mm]
1(P1)	900	120	142	2,5
2(P2)	450	120	154	2,5
3(P3)	1350	120	141	2,5
4(P4)	900	120	171	10,0

Za pomocą suwmiarki MAVe-H firmy FWP, mierzącej z dokładnością 0,05 mm wykonane zostały pomiary wymiarów nominalnych wszystkich próbek. Następnie, dzięki mikroskopowi SZX-TR30, przy powiększeniu x5,6 oraz programowi ToupView, zrobiono zdjęcia powierzchni elementów w celu wizualnej oceny ich jakości. Kolejnym etapem badań jakości było wykonanie pomiarów chropowatości Rz5 przy użyciu profilometru Taylor-Hobson Form Talysurf-120 L oraz pomiarów tolerancji prostokątności otrzymanych elementów. Jako ostatni został przeprowadzony pomiar twardości ciętych powierzchni metodą Vickersa (HV10) za pomocą twardościomierza HPO 250.

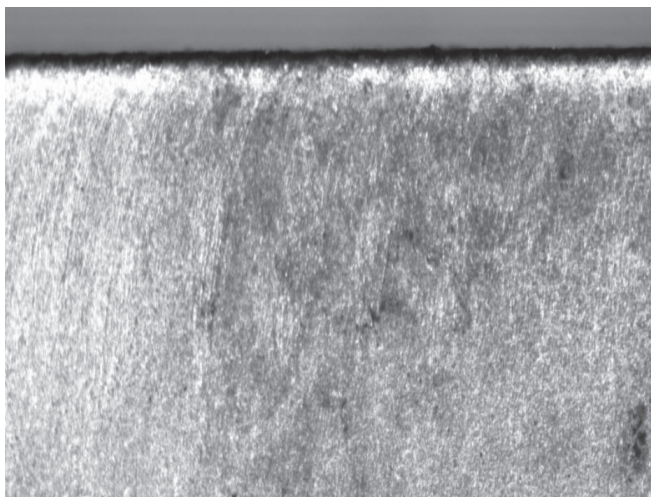
Inż. Piot Serek, dr inż. Leszek Łatka – Politechnika Wrocławska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: leszek.latka@pwr.edu.pl

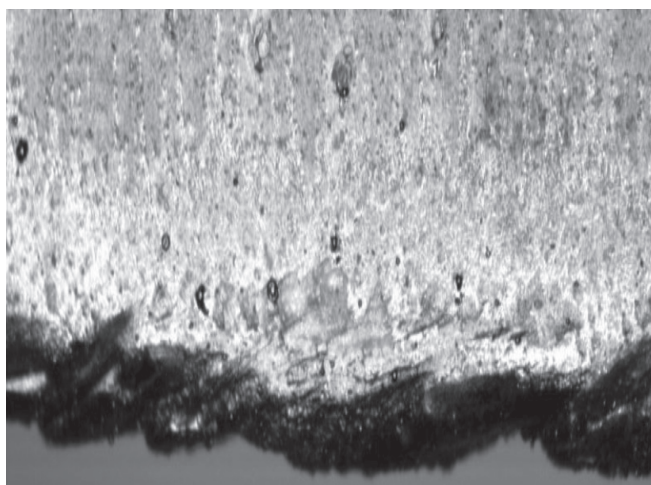
Ocena jakości powierzchni cięcia

Podczas oględzin okiem uzbrojonym pod uwagę brano takie parametry powierzchni po cięciu jak gładkość, obecność nawisów żużlowych, nadtopień oraz wyżłobień.

Próbka P1 została przygotowana wg parametrów zamieszczonych w tabeli I, a czas cięcia wyniósł 20 s. Długości krawędzi miały następujące wymiary: 70,20; 70,25; 70,35 i 70,15 mm, co pozwoliło go zakwalifikować do 1 klasy tolerancji w związku z występującymi odchyłkami wymiarów nominalnych. Wizualna ocena (rys. 1÷4) pozwala stwierdzić, iż jakość detalu wyciętego optymalnymi parametrami jest bardzo dobra. Występuje niewielki rozprysk na jej powierzchni, częściowe rozszerzenie fugi cięcia oraz nawisy na krawędzi od strony cięcia.



Rys. 1. Krawędź po cięciu plazmowym elementu P1
Fig. 1. Edge of the element P1 after plasma cutting

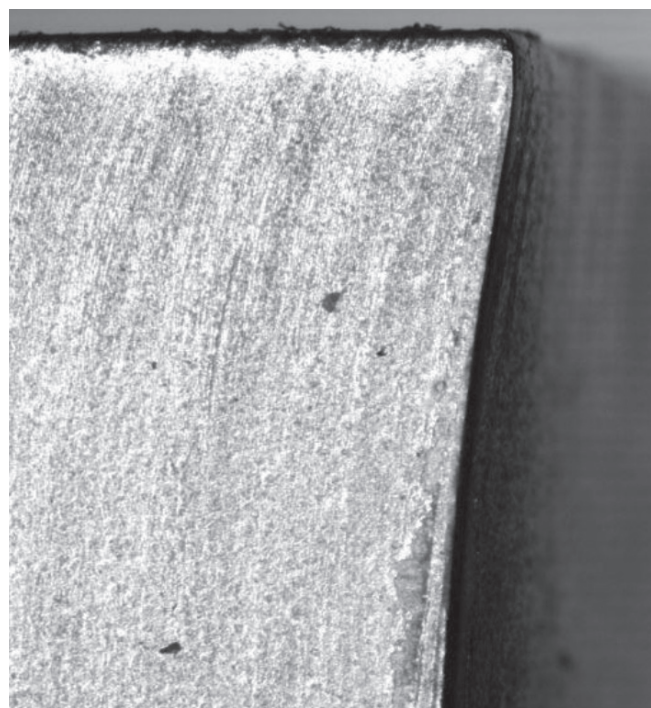


Rys. 2. Nawis na krawędzi elementu P1
Fig. 2. Overhang on the edge of the element P1

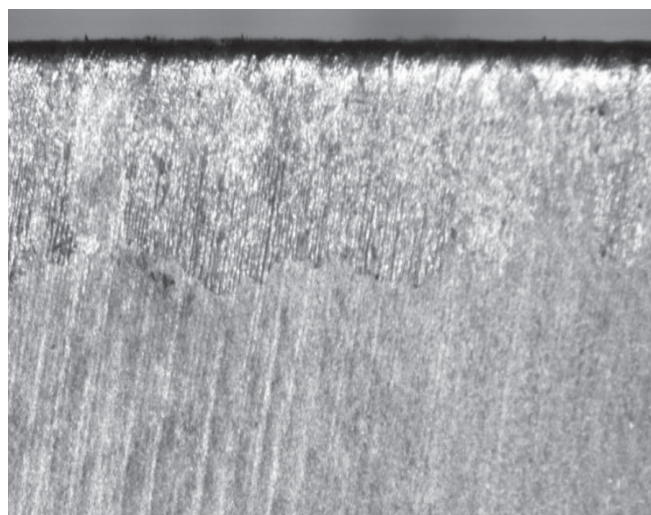
Próbka P2 została wycięta z dwoma zmianami parametrów. Obniżono prędkość cięcia, natomiast zwiększono wartość napięcie łuku (tabela I). Czas procesu wyniósł 40 s. Długości krawędzi elementu wyniosły: 69,30; 69,30; 69,70 i 69,80 mm, zatem odchyłki wymiarów nominalnych mieszczą się w wartościach dopuszczalnych dla 1 klasy tolerancji. Jakość powierzchni uległa pogorszeniu w porównaniu do pierwszego detalu. Można zaobserwować (ry. 5÷8) skos krawędzi do wewnątrz, zagłębienia w dolnej połowie, przyklejoną zalewkę żużlową, ubytek materiału na grubości przy krawędzi od strony cięcia.



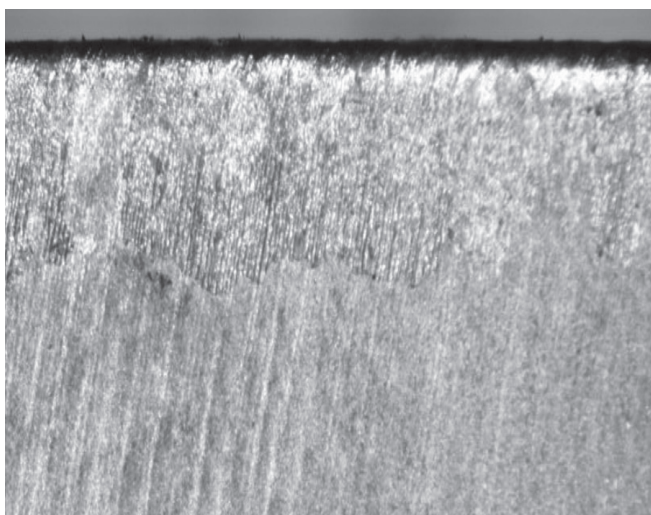
Rys. 3. Rozprysk na powierzchni elementu P1
Fig. 3. Spatter on the surface of the element P1



Rys. 4. Rozszerzenie fugi cięcia
Fig. 4. Dilatation of cutting joint

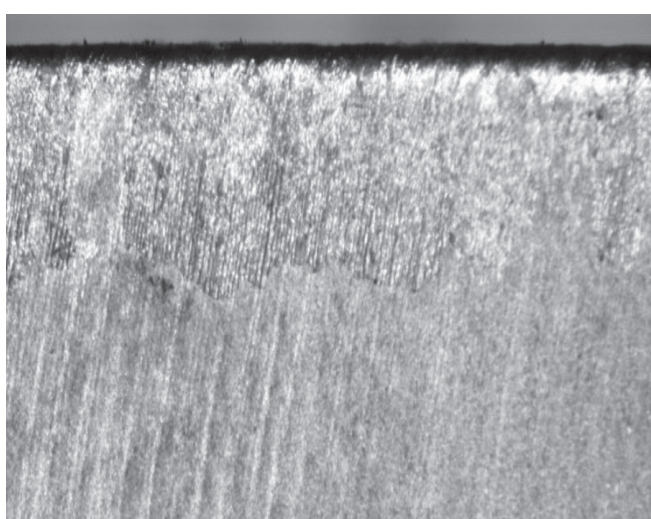


Rys. 5. Krawędź po cięciu plazmowym próbki P2
Fig. 5. Edge of the element P2 after plasma cutting



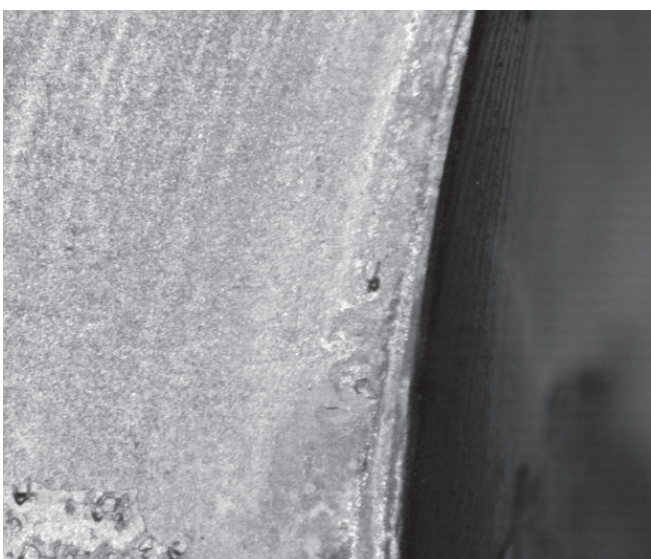
Rys. 6. Przyklejona zalewka żuźlowa oraz zagłębienia w dolnej połowie elementu P2

Fig. 6. Sticked slag burr and hollows in the lower half of the element P2



Rys. 7. Ubytek materiału na grubości przy krawędzi elementu P2

Fig. 7. Material loss on the thickness near edge of the element P2

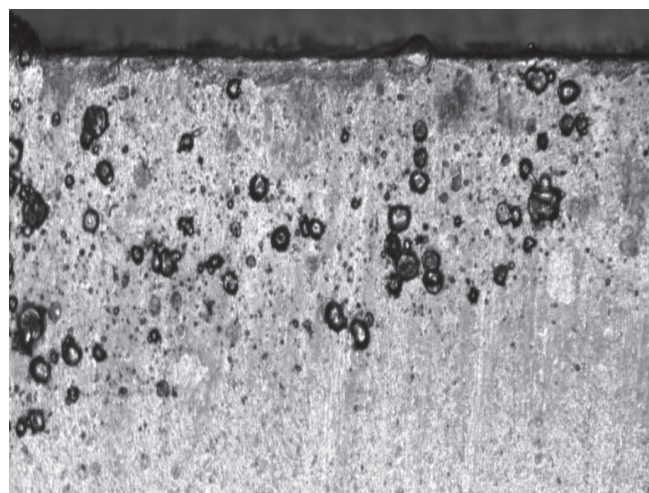


Rys. 8. Skos krawędzi do wewnątrz

Fig. 8. Cant to the inside edge

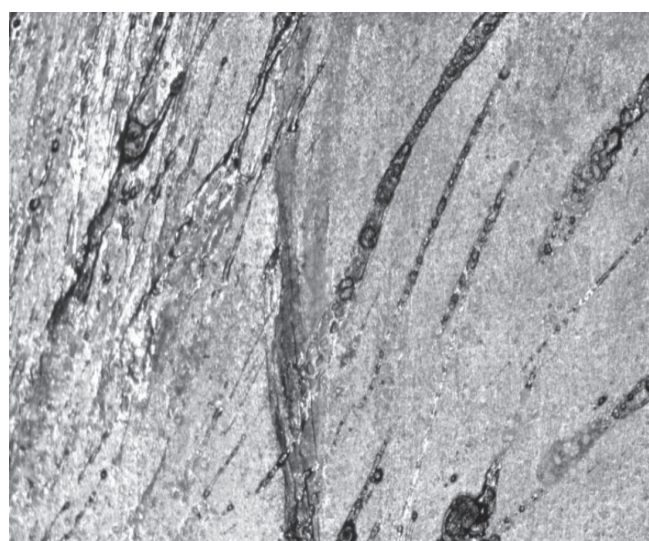
Próbkę P3 otrzymano po zwiększeniu prędkości cięcia oraz zmniejszeniu wartości napięcia łuku do poziomu jak w P1 (tabela I). Czas cięcia w tym przypadku wyniósł 13 s. Długość krawędzi próbki nie pozwoliły na zakwalifikowanie

po raz kolejny elementu do 1 klasy tolerancji odnośnie dopuszczalnych odchyłek od wymiarów nominalnych, ponieważ wyniosły one: 71,60; 70,85; 70,85 i 70,85 mm. Uzyskane odchyłki okazały się wystarczające na 2 klasę tolerancji. Na powierzchni elementów (rys. 9, 10) widoczny jest rozprysk, wżery, skos krawędzi na zewnątrz oraz nawisy na krawędziach od strony cięcia.



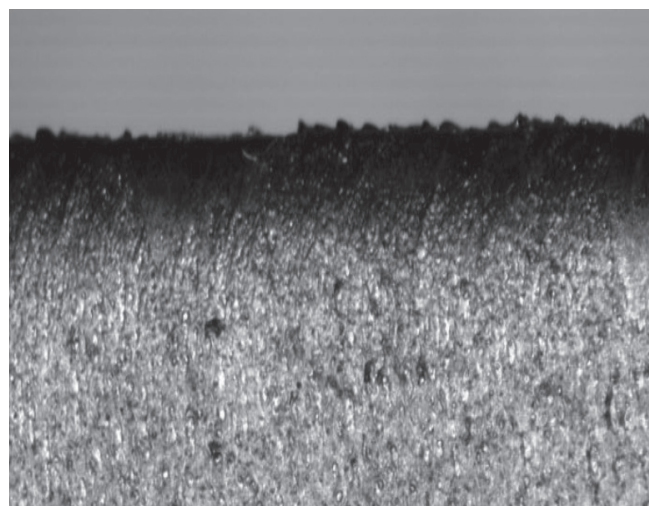
Rys. 9. Skos krawędzi do wewnątrz

Fig. 9. Cant to the inside edge



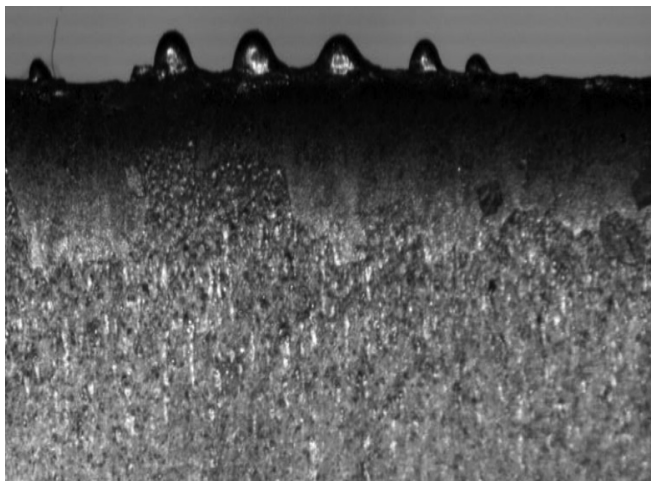
Rys. 10. Rozprysk na powierzchni elementu P3

Fig. 10. Spatter on the surface of the element P3



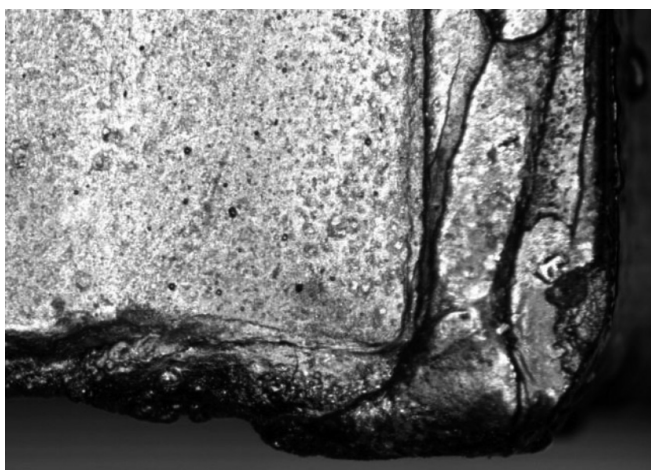
Rys. 11. Krawędź po cięciu detalu P4

Fig. 11. Edge of the element P4 after cutting

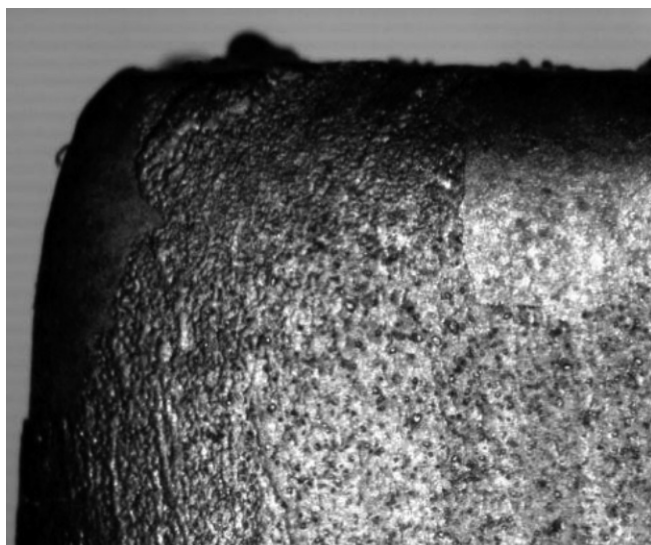


Rys. 12. Nawisy przy krawędzi cięcia w próbce P4
Fig. 12. Overhangs on the edge

Próbkę P4 wycięto ze zwiększoną wartością napięcia łuku oraz wysokością cięcia (tabela I). Czas cięcia wyniósł 20 s. Z uwagi na otrzymane długości krawędzi został on zakwalifikowany do 1 klasy tolerancji dopuszczalnych odchyłek od wymiarów nominalnych, które wynosiły 70,55; 70,90; 70,35 i 70,65 mm. Na otrzymanych zdjęciach (rys. 11 - 14) można zaobserwować następujące niezgodności: zaokrągloną krawędź, nawisy, wżery, zalewkę żuźlową oraz skos krawędzi.

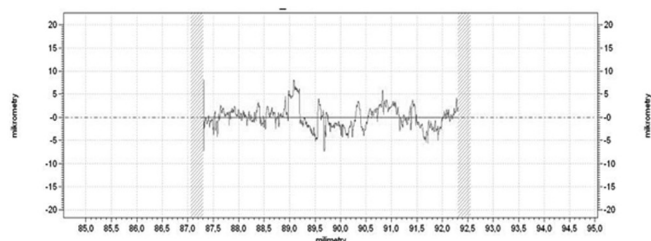


Rys. 13. Przyklejona zalewka żuźlowa w próbce P4
Fig. 13. Sticked slag burr



Rys. 14. Zaokrąglona krawędź w próbce P4 po cięciu
Fig. 14. Curved edge after plasma cutting

Pomiar parametru średniej wysokości profilu (Rz5) został rozpoczęty w punkcie oddalonym o minimum 15 mm od miejsca rozpoczęcia cięcia w kierunku posuwu oraz w odległości 2/3 grubości cięcia od krawędzi górnej. Wartość Rz5 każdej próbki została zmierzona w 3 miejscach, liczba odcinków pomiarowych wynosiła 5, natomiast całkowite przemieszczenie 15 mm. Przykładowy profil chropowości powierzchni bocznej elementu po cięciu plazmowym przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 15. Profil chropowości powierzchni bocznej próbki P1
Fig. 15. Roughness profile of the sample P1

Za pomocą profilometru Taylor- Hobson Form Talysurf-120 L uzyskano szereg wartości chropowości, tj. Ra, Rz, Rt, Rc, Rq zmierzonych na danej długości powierzchni bocznej badanej próbki. Na ich podstawie utworzone zostały wykresy profili chropowości, które pokazują wartości chropowości w μm na danej długości pomiarowej. Wyniki pomiarów Rz5 zebrano w tabeli II.

Tablica II. Wyniki pomiarów Rz5 dla próbek wyciętych plazmowo
Table II. The results of Rz5 measurements of samples after the plasma cutting

Nr próbki	Miejsce pomiaru		
	1	2	3
	Rz5 [μm]		
P1	8,25	9,62	11,52
P2	4,15	5,53	4,38
P3	9,61	8,64	8,13
P4	9,28	10,11	8,99

Tablica III. Wartości tolerancji prostopadłości dla próbek wyciętych plazmowo
Table III. The results of Rz5 measurements of samples after the plasma cutting

Nr próbki	Nr krawędzi			
	1	2	3	4
	Tolerancja prostopadłości(u) [mm]			
P1	0,29	0,44	0,56	0,24
P2	0,28	0,53	0,65	0,97
P3	0,23	0,38	0,11	0,86
P4	0,74	0,36	0,44	0,84

Pomiar parametru tolerancji prostopadłości został wykonany zgodnie z PN-EN ISO 9013:2008 dla wszystkich 4 krawędzi na grubości każdej z próbek. Wyniki otrzymano poprzez analizę zdjęć krawędzi elementów w programie GIMP. Po wyskalowaniu każdego elementu, mierzono największe wartości parametru tolerancji prostopadłości przy użyciu odpowiednich opcji programu. Wartości tolerancji prostopadłości zebrano w tabeli III.

Jak można zauważyć, wpływ parametrów cięcia plazmowego na utwardzenie się powierzchni jest niewielki. Najwyższą wartość w przypadku powierzchni czołowej osiągnięto dla próbki P4 (z najwyższą wysokością cięcia), natomiast dla powierzchni bocznej wzrost twardości miał miejsce zarówno dla zwiększonej, jak i zmniejszonej prędkości cięcia (próbki P2 i P3).

Tablica IV. Wartości średnie HV10 oraz odchylenia standardowego
Table IV. The average values of HV10 hardness measurements and standard deviation

Nr próbki	HV10		Odchylenie standardowe	
	Powierzchnia czołowa	Powierzchnia boczna	Powierzchnia czołowa	Powierzchnia boczna
	Tolerancja prostopadłości(u) [mm]			
1	291	318	22	22
2	281	367	24	26
3	240	371	12	27
4	331	312	25	71

Podsumowanie

Wizualna ocena pokazuje, że każdorazowe odstępstwo od warunków nominalnych powoduje pogorszenie jakości otrzymanych produktów. Cięcie plazmowe gwarantuje niewielkie ilości powstałych po procesie wad oraz ich niskiej intensywności. Analiza otrzymanych wyników parametru HV10 pozwala na stwierdzenie, iż twardość powierzchni czołowych każdej z próbek jest mniejsza niż twardość ich powierzchni bocznych. Zmiana parametrów nie powoduje dużych zmian mierzonych wartości, każdy element posiada twardość mniejszą od maksymalnej (450 HV10). Im wolniejsza jest prędkość cięcia, tym na materiał dłużej oddziałują wysokie temperatury, co jest równoznaczne z wydłużeniem czasu chłodzenia. Gdy prędkość chłodzenia przekroczy wartość krytyczną, wówczas w materiale tworzą się twarde oraz kruche struktury.

Wszystkie próbki wycięte metodą plazmową mieszczą się w zakresie 1 średnich wartości profilu, dla którego maksymalna wartość Rz5 dla elementu o grubości 20 mm wynosi 21 μ m.

Analiza wyników badania tolerancji prostopadłości pokazuje, że cięcie metodą plazmową pozwala uzyskać wysoką jakość ciętych powierzchni. Jest ona związana z dużą gęstością energii, która sprawia, że strumień tnący jest bardziej skoncentrowany [7÷9]. Rozrzut w wartościach tolerancji prostopadłości dla poszczególnych próbek może być spowodowany minimalnym przesunięciem detali w czasie trwania procesu. Zmierzone wartości tolerancji prostopadłości dla próbek P1, P3 i P4 mieszczą się w zakresie 3 dla grubości 20 mm, z kolei próbkę P2 należy już zakwalifikować do zakresu 4.

Literatura

- [1] Klimpel A., Spawanie, zgrzewania i cięcie metali. Technologie. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [2] Klimpek A., Mazur M., Podręcznik spawalnictwa. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- [3] Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera. Tom 2: Spawalnictwo, praca zbiorowa. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [4] Baran K.: Gazy techniczne w procesie cięcia plazmowego. Przegląd Spawalnictwa, vol. 87 (7), s. 59-62, 2015.
- [5] PN-EN ISO 9013: Cięcie termiczne – Klasyfikacja cięcia termicznego – Specyfikacja geometrii i tolerancje jakości.
- [6] PN-EN ISO 6507-1: Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 1: Metoda badań.
- [7] Ferenc K., Spawalnictwo. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- [8] Słania J., Krawczyk R., Cieśla D.: Charakterystyka cięcia termicznego. Przegląd Spawalnictwa, vol. 87 (7), s. 5-8, 2015.
- [9] Krawczyk R., Słania J., Cieśla D.: Porównanie metod cięcia termicznego stali. Przegląd Spawalnictwa, vol. 87 (7), s. 9-12, 2015.