

Badania stabilności układu łuk – urządzenie zasilające w warunkach symulowanych zakłóceń procesu spawania metodą MAG

Experimental studies on stability of power source – arc system under simulated disturbances of MAG welding process

Streszczenie

Zjawiska fizyczne zachodzące w łuku podczas spawania różnymi odmianami metody MAG oraz MIG zależą zarówno od warunków spawania, jak i parametrów elektrycznych układu źródła zasilania – łuk. W artykule przedstawiono wyniki badań stabilności układu łuk – urządzenie zasilające prowadzonych w warunkach kontrolowanych, sztucznie wywołanych zakłóceń procesu spawania, podobnych do tych, jakie mogą wystąpić w rzeczywistych warunkach spawania. W badaniach wykorzystano zaawansowane rejestracje obrazu sposobów przechodzenia metalu w przestrzeni łukowej z końca topiącego się drutu elektrodowego do jeziora ciekłego metalu, filmowanego szybko rejestrującą kamerą, zsynchronizowane z przebiegami prądu i napięcia w obwodzie spawania. Przedstawiono również najważniejsze założenia techniczne tej metody rejestracji oraz wstępne analizy otrzymanych wyników badań.

Abstract

The physical phenomena taking place in the arc column during various processes of MAG and MIG welding depend on both the welding conditions and the electrical parameters of power source – arc system. This paper presents some results of the experimental studies on the stability of power source – arc system under controlled, artificially simulated disturbances of a welding process, similar to such, that might have occurred under real welding conditions. An advanced method of registration of such data as the pictures of the metal transfer modes across the arc column with the use of high-speed camera synchronized with the current and voltage waveforms in the welding circuit has been applied during the course of experiments. Basic technical details of the advanced method of data acquisition as well as the analysis of obtained results are also presented.

Wstęp

Zależności pomiędzy zjawiskami zachodzącymi w łuku spawalniczym a parametrami elektrycznymi układu łuk – spawalnicze źródło energii elektrycz-

nej, szczególnie przy zastosowaniu nowoczesnych odmian metody MAG i stosowanych do ich realizacji urządzeń, nie są dotychczas dokładnie poznane. W określonych warunkach spawania wyznaczonych rodzajem spawanego metalu, rodzajem gazu osłonowego, średnicą i rodzajem drutu elektrody oraz długością łuku zjawiska zachodzące w przestrzeni łukowej zależą przede wszystkim od właściwości statycznych i dynamicznych stosowanych urządzeń zasilających. Tradycyjne metody badawcze oparte na zewnętrznych charakterystykach statycznych, wyznaczeniu współczynnika Carrera [1], czy ocenie

Dr inż. Paweł Cegielski, mgr inż. Krzysztof Skrzyniecki, dr hab. inż. Andrzej Kolasa prof. PW, dr inż. Paweł Kołodziejczak – Politechnika Warszawska.

charakterystyk dynamicznych [4], zastosowane do urządzeń o nowoczesnych konstrukcjach, wykazują zazwyczaj ich dobre właściwości spawalnicze [9, 10]. Niestety, nie zawsze znajduje to potwierdzenie zarówno w przebiegu procesu spawania, jak i jakości wykonywanej spoiny. Przyczyna tkwi zapewne w złożoności konstrukcji nowoczesnych urządzeń, których charakterystyki statyczne i parametry dynamiczne mogą być dowolnie definiowane, wskutek czego częstotliwość i sposób przechodzenia kropli ciekłego metalu w przestrzeni łukowej są sterowane przez nadrzędne programy sterujące. Trudności w identyfikacji zależności pomiędzy parametrami elektrycznymi obwodu spawania a zjawiskami zachodzącymi w łuku i stabilnym przebiegiem procesu spawania wynikają również z niedoskonałości stosowanych metod badawczych.

Celowe wydaje się opracowanie nowych metod badawczych i kryteriów oceny zarówno stabilności procesu spawania, jak i właściwości stosowanych urządzeń zasilających łuk. Prace nad doskonaleniem tego rodzaju metod badawczych prowadzone są od wielu lat w Zakładzie Inżynierii Spajania Politechniki Warszawskiej, gdzie w celu stworzenia odpowiedniej bazy pomiarowej został opracowany i zastosowany w badaniach innowacyjny, komputerowy system do badań statycznych i dynamicznych spawalniczych źródeł energii elektrycznej [2, 3, 6÷8]. Badania prowadzone z wykorzystaniem tej aparatury pokazały jednak, że odpowiednio mierzone charakterystyki statyczne nadal mogą być cennym źródłem informacji o właściwościach spawalniczych źródeł energii. Dotyczy to zarówno źródeł konwencjonalnych, jak i nowoczesnych urządzeń inwertorowych. Uzyskanie dobrych wyników badań z użyciem dowolnego typu zasilacza spawalniczego okazało się możliwe dzięki koncepcji zautomatyzowanego, bardzo szybkiego i precyzyjnego pomiaru wartości parametrów elektrycznych w warunkach sterowanego obciążenia rezystancyjnego [6].

Przedstawione badania stabilności układu łuk – urządzenie zasilające prowadzone w warunkach kontrolowanych, sztucznie wywoływanych zakłóceń przebiegu procesu spawania miały na celu określenie zależności pomiędzy występującym zakłóceniem a dynamicznymi zmianami parametrów elektrycznych w obwodzie spawania. Próbom towarzyszyły nowoczesne rejestracje sposobów przechodzenia metalu w przestrzeni łukowej z końca topiącej się elektrody do jeziora metalu filmowanego szybko rejestrującą kamerą, zsynchronizowane z przebiegami prądu spawania i napięcia łuku. Omówiono najważniejsze założenia techniczne innowacyjnej formy rejestracji oraz wstępne analizy otrzymanych wyników badań.

Przedstawione w artykule wyniki prac badawczych i konstrukcyjnych otrzymano podczas realizacji pracy naukowej finansowanej ze środków budżetowych na naukę w latach 2010÷2013 jako projekt badawczy [5].

Program i zakres badań

Program badań zakładał wykonanie szeregu napoin w warunkach kontrolowanych, sztucznie wywoływanych zakłóceń przebiegu procesu z równoczesną rejestracją prądu spawania, napięcia łuku oraz obrazu przestrzeni łukowej z wykorzystaniem kamery. Wykonano dwie serie rejestracji:

- Badania porównawcze podczas napawania różnymi odmianami metody MAG z wykorzystaniem czterech różnych trybów zasilania łuku dostępnych w sterowanych cyfrowo źródłach inwertorowych (zachowano oryginalne oznaczenia przyjęte dla badanych źródeł): MAG Puls (spawanie prądem pulsującym o sterowanych synergicznie przez źródło parametrach), CMT (Cold Metal Transfer, odmiana niskoenergetyczna MAG z pulsacją posuwu drutu elektrodowego), SYN (spawanie łukiem niesterowanym, jednak z synergicznym sterowaniem parametrów wyjściowych źródła zasilania) i MAN (spawanie łukiem niesterowanym z ręcznym nastawianiem parametrów roboczych źródła zasilania).
- Badania porównawcze podczas napawania z wykorzystaniem trzech urządzeń zasilających łuk bez sterowania jego parametrami: jednego pracującego w trybie MAN z poprzedniej serii oraz dwóch innych urządzeń zasilających z ręcznym nastawianiem parametrów roboczych i o porównywalnej mocy, tj. prostownika diodowego i źródła inwertorowego.

Napoiny długości ok. 60 mm układano na metalicznie czystych próbkach ze stali konstrukcyjnej S235 o wymiarach 100 x 100 mm i grubości 3 mm. W celu dobrania optymalnych warunków napawania skorzystano, we wstępnej fazie badań, z funkcji automatycznego doboru parametrów dostępnych w urządzeniach cyfrowych serii TPS firmy Fronius. Jest to uzasadnione z uwagi na wysoką skuteczność i powtarzalność nastaw tego typu źródeł, a także brak w dostępnych źródłach literaturowych parametrów dla takich metod jak MAG Puls czy CMT. Dla wybranej odmiany spawania MAG, składu mieszanki gazowej (w badaniach zastosowano mieszkankę 82% Ar + 18% CO₂), rodzaju materiału łączonego oraz średnicy i rodzaju drutu elektrodowego (wykorzystano drut elektrodowy OK Autrod 12.51 firmy ESAB o średnicy 1 mm) pozostałe parametry, takie jak natężenie prądu, napięcie łuku czy prędkość podawania drutu sterownik synergiczny urządzenia dobiera automatycznie. Przydatną w praktyce cechą źródeł serii TPS jest możliwość dobierania parametrów spawania złączy doczołowych ze spoinami czołowymi na podstawie grubości łączonych elementów. Ponieważ próby obejmowały napawanie, parametry dobrano jak dla spoin czołowych, tj. w sposób gwarantujący uzyskanie, dla danej grubości blach, prawidłowej spoiny z pełnym przetopem.

Tablica I. Przykładowe parametry napawania (źródła cyfrowe ze sterowaniem synergicznym)

Table I. Example of bead-on-plate welding parameters for synergic digital controlled power sources

Nastawy stałe źródła		Grubość materiału, mm					3,0	
		Materiał i gaz osłonowy					Stal, Ar + CO ₂	
Nastawy stałe robota		Średnica drutu elektrodowego, mm					1,0	
		Prędkość napawania V_{sp} , mm/s					7,5	
Parametry regulowane spawalniczego źródła energii								
Odmiana metody MAG	Wartość nastawiona			ODCZYT PO SPAWANIU			Nr próby	Uwagi
	V_{dr} , m/min	U, V	I, A	V_{dr} , m / min	U, V	I, A		
CMT	4,6	11,1	110	5,0	13,6	110	1	-
MAGPuls		20,2	94	4,6	18,2	100	2	-
SYN		16,5	137	4,6	16,9	122	3	-
MAN		16,5	-	4,6	26,0	104	4	-

W przypadku urządzeń bez sterowników komputerowych (druga seria badań) zastosowano, jako punkt wyjścia, parametry ustalone dla trybu SYN źródeł synergicznych. Nastawianymi parametrami było napięcie łuku i prędkość podawania drutu elektrodowego (weryfikowana na podstawie odczytu prędkości z tachometru pomiarowego przyłożonego do wysuwającego się odcinka drutu).

W celach porównawczych założono jednakowe warunki procesu dla wszystkich badanych urządzeń i odmian metody MAG. Nie było to jednak w pełni możliwe. Pomijając różnice konstrukcyjne pomiędzy badanymi urządzeniami, różne procedury sterowania dla odmian synergicznych dają różne wartości nastaw parametrów dla poszczególnych odmian metody MAG. W celu jak największego ujednoczenia warunków procesu postanowiono zachować na niezmiennym poziomie dwa parametry – prędkość podawania drutu elektrodowego (V_{dr}) oraz prędkość napawania (V_{sp}). Wstępnie przyjęte warunki napawania zestawiono w tablicy I.

Dla obu serii badań w pierwszej kolejności wykonywano próby wzorcowe, bez zakłóceń procesu napawania. W kolejnych próbach proces napawania prowadzono w warunkach kontrolowanych, planowanych zakłóceń, do których należały:

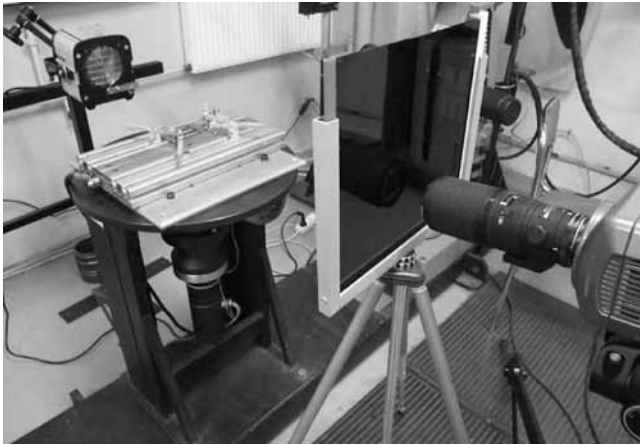
- Przejście łuku z metalicznie czystej powierzchni na powierzchnię silnie skorodowaną – w połowie próbki znajdował się obszar silnie skorodowany w wyniku długotrwałego oddziaływania kwasu.
- Przejście łuku z metalicznie czystej powierzchni na powierzchnię zanieczyszczoną olejem – w połowie próbki znajdował się obszar pokryty olejem mineralnym.
- Zanik gazu osłonowego – w połowie napawania odcinano dopływ gazu osłonowego.
- Skokowe skrócenie wolnego wylotu drutu elektrodowego – w połowie próbki znajdowała się nakładka powodująca skokowe skrócenie wolnego wylotu drutu; wysokość progu zmieniano w zakresie 3÷6 mm.
- Płynne skracanie wolnego wylotu drutu elektrodowego – próbkę pochylano, podnosząc jedną z krawędzi w zakresie 0÷8 mm, przy niezmiennym położeniu uchwyty elektrodowego.

- Skokowa zmiana prędkości napawania – po wykonaniu ok. 1/3 długości napoiny skokowo przyspieszono prędkość napawania od wartości nominalnej 7,5 m/s do 17,5 mm/s, a następnie po wykonaniu ok. 2/3 napoiny ponownie zmniejszono skokowo prędkość do wartości początkowej, zachowując podczas całej próby ciągłe jarzenie łuku.
- Przepalenie napawanej blachy – zmniejszono grubość napawanej próbki przez nawiercenie otworów wiertłem stożkowym o średnicy 14 mm i kącie rozwarcia 60° do głębokości równej ok. połowy jej grubości od strony przeciwnej do napawanej powierzchni.

System pomiarowy

W dążeniu do zachowania możliwie największej obiektywności i powtarzalności wyników, system pomiarowy skonfigurowano na bazie spawalniczego stanowiska zrobotyzowanego oraz specjalnie w tym celu zbudowanego komputerowego urządzenia pomiarowego [2, 3]. W skład systemu weszły następujące elementy:

- robot przemysłowy IRp-6 ze zmodernizowanym układem sterowania,
- pozycjoner spawalniczy (zewnątrzna oś robota) z oprzyrządowaniem montażowym,
- zestaw interfejsów do sterowania spawalniczymi źródłami energii,
- badane źródła zasilające MAG (według założonego programu badań),
- komputerowe urządzenie pomiarowe z możliwością rejestrowania i przetwarzania w środowisku LabView,
- monochromatyczna, szybko rejestrująca kamera Vision Research, model Phantom v310, o rozdzielczości 1280x800 pikseli, maksymalnej liczbie rejestrowanych klatek 500 000 i minimalnym czasie otwarcia migawki 1 μ s z obiektywem makro Nikkor 200 mm, ϕ 2,8,



Rys. 1. Stanowisko eksperymentalne z kamerą do szybkiego filmowania

Fig. 1. Experimental set-up with high-speed camera

- reflektor Hedler HF65 o mocy 650 W, z zamontowaną soczewką Fresnela,
- szklany filtr zaciemniający (szary).

Ze względu na możliwości sterowania różnymi spawalniczymi źródłami zasilającymi, w tym pozbawionymi jakichkolwiek systemów interfejsowych, zastosowano dwa sposoby ich połączenia z układem sterowania robota: za pośrednictwem interfejsu cyfrowego ROB 3000 (Fronius) lub styków przekaźnika elektromagnetycznego wyzwalanego standardowym wyjściem jednobitowym robota.

Filmowanie szybką kamerą procesu spawania łukowego z wyodrębnieniem obrazu przechodzenia kropli ciekłego metalu do jeziora stawia szczególne wymagania. Konieczność rejestracji ogromnej liczby klatek, a więc bardzo krótki czas ekspozycji, w istotny sposób ogranicza ilość światła wpadającego przez obiektyw na przetwornik. Konieczne staje się zastosowanie dodatkowego źródła silnego światła, ustawianego w osi kamery tuż za jarzącym się łukiem i prześwietlającego jego obszar (tzw. oświetlenie tylne, rys. 1). Z kolei tak wysoka emisja promieniowania świetlnego łuku, potęgowana dodatkowym oświetleniem, wymusza zastosowanie filtra optycznego, chroniącego obiektyw i przetwornik rejestrujący obraz.

Podczas rejestracji obrazu jarzącego się łuku najczęściej stosowany jest układ nieruchomej elektrody i przemieszczającego się materiału spawanego. Ułatwia to oświetlenie obrazu oraz kontrolę jego ostrości. Nie jest widoczny całościowy obraz układanej spoiny czy napoiny. W opisywanych badaniach zastosowano znacznie trudniejszy, odwrotny układ – nieruchomy element napawany i ruchomą elektrodę przemieszczaną z wykorzystaniem robota przemysłowego. Oś obserwacji zorientowano prostopadle do osi napoiny, a obserwowany fragment o szerokości ok. 80 mm obejmował całość strefy napawania, dając w każdym punkcie ostry i wyraźny obraz (rys. 2). Dzięki temu możliwa była, na każdej zarejestrowanej klatce, kompleksowa

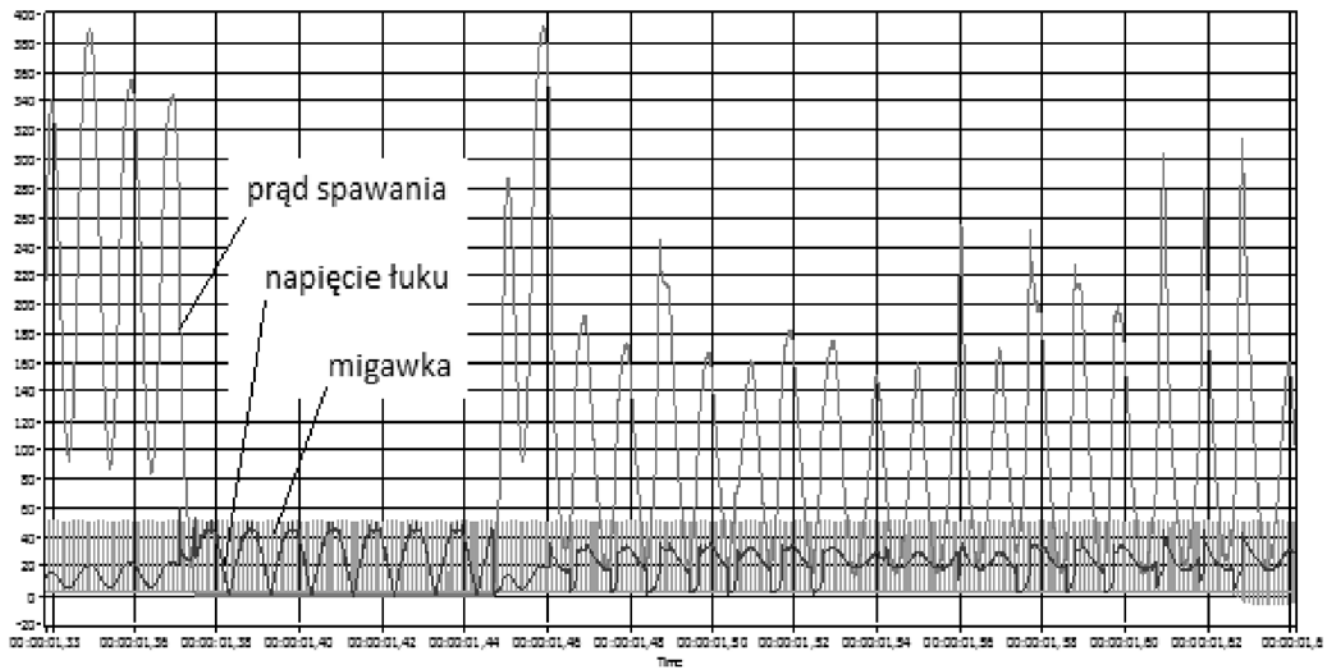


Rys. 2. Przykładowy obraz, zarejestrowany w poszczególnych fazach napawania

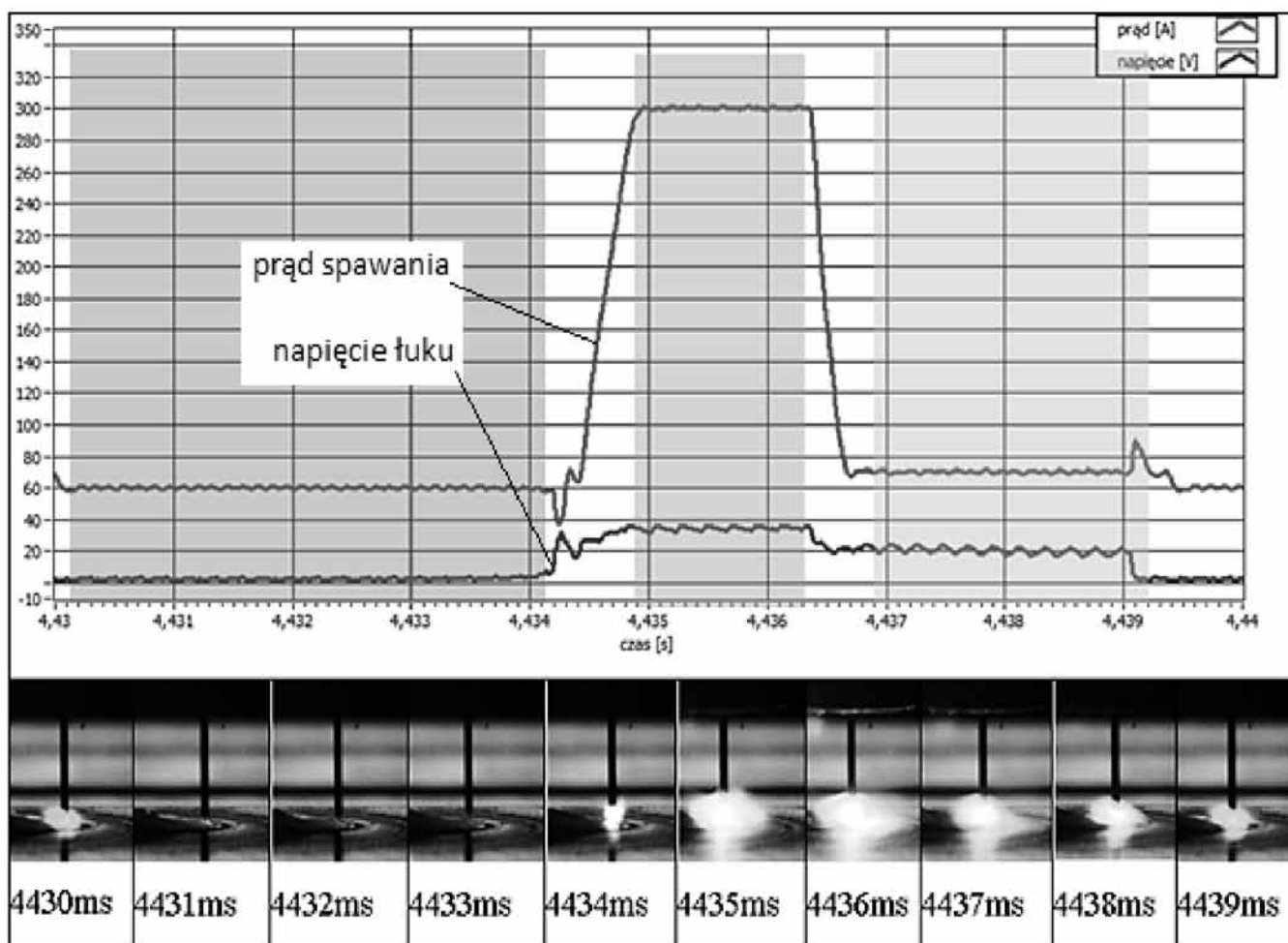
Fig. 2. Example of the arc image registered in different phases of welding process

ocena formowania i krzepnięcia metalu napoiny oraz jarzącego się łuku. Ze względu na konieczność rejestracji obrazu obejmującego znaczny obszar (dużą część napoiny oraz część uchwytu elektrodowego wraz z końcówką elektrody) podczas próby spawania trwającej średnio ok. 10 s rejestrowany obszar ograniczono do prostokąta o wymiarach ok. 70 x 40 mm oraz zmniejszono liczbę rejestrowanych klatek do 10 000 (1 000 klatek na sekundę) przy rozdzielczości 1280 x 400 pikseli. W rezultacie każdorazowo otrzymywano surowy plik o objętości ok. 8 GB, całkowicie zapełniający pamięć kamery.

Rejestrację obrazu zsynchronizowano z komputerową rejestracją parametrów prądowo-napięciowych obwodu spawania. Wykorzystano w tym celu jednobitowy sygnał synchronizujący, podawany z kamery do komputera rejestrującego. Ponieważ sygnał ten potwierdzał wykonanie każdej klatki, możliwe stało się rejestrowanie trzeciego kanału-sygnalów wyzwalania migawki (rys. 3). Pozwoliło to na wyodrębnienie i oznaczenie wszystkich klatek, a następnie ich wyświetlanie, np. podczas przeszukiwania kursorem zarejestrowanego przebiegu prądowo-napięciowego. Powiększony, pojedynczy impuls prądowy można opatrzyć klatkami filmu obrazującymi fazy jarzenia się łuku odpowiadające poszczególnym momentom trwania impulsu, przejścia kropli ciekłego metalu do jeziora i tworzenia samej napoiny (rys. 4). Na potrzeby dalszych, szczegółowych analiz zarejestrowanych sygnałów elektrycznych w korelacji z obrazem oraz wybranymi właściwościami uzyskanych napoin przeprowadzono także pomiary geometryczne napoin za pomocą skanera laserowego 3D SCANNER HD NextEngine.



Rys. 3. Przykład zarejestrowanego przebiegu z dodatkowym kanałem wyzwalania migawki
 Fig. 3. Example of welding current and voltage waveforms with supplementary camera shutter channel



Rys. 4. Powiększony, pojedynczy impuls zarejestrowanego przebiegu prądowo-napięciowego z klatkami filmu obrazującymi poszczególne fazy jarzenia się łuku
 Fig. 4. Welding pulse current and voltage waveforms with corresponding images of arc column

Wstępne wyniki badań

Zarejestrowane wielkości elektryczne, tj. dynamiczne zmiany wartości prądu i napięcia to w rzeczywistości obszerne zbiory liczb, a typowe przebiegi czasowe są jedynie jedną z najpopularniejszych form ich prezentacji (rys. 3, 4). Podobnie, wykonane za pomocą skanera laserowego pomiary geometrii napoin mają postać zbiorów punktów pomiarowych, opisujących w sposób ciągły zarys napoiny na całej jej długości. Dzięki temu możliwe staje się wykonanie różnych konwersji i przekształceń, przede wszystkim w odniesieniu do przebiegów prądowo-napięciowych, zmierzających do odnalezienia kryteriów różnicujących je, potwierdzających wystąpienie określonego zakłócenia w przebiegu napawania (spawania) i mogących spowodować przy tej okazji wady czy niezgodności. Ustalenie takich zależności mogłoby znaleźć zastosowanie w procesie monitoringu on-line jakości wykonywanej spoiny czy napoiny oraz identyfikacji lokalizacji i rodzaju powstałej niezgodności. Możliwe jest w tym celu podjęcie następującego trybu postępowania:

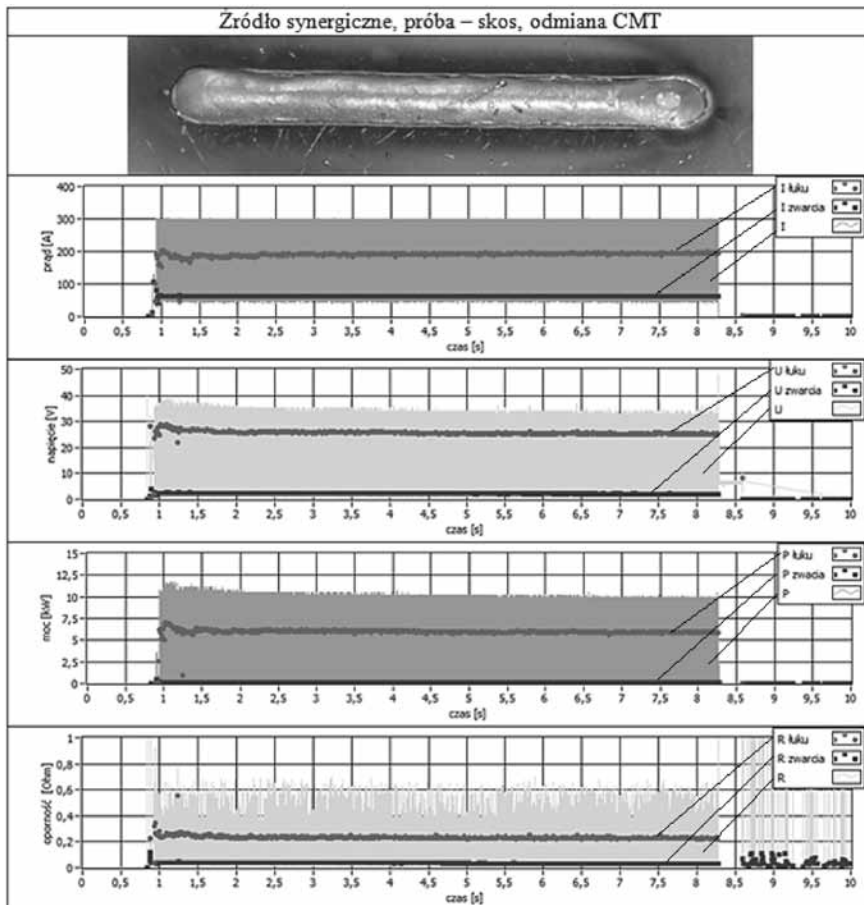
- odseparowanie składowych przebiegu prądu spawania w fazie zwarcia (jeśli nastąpiło) i jarzenia się łuku,
- odseparowanie składowych napięcia łuku w fazie zwarcia (jeśli nastąpiło) i jarzenia się łuku,
- wyznaczenie mocy dynamicznej w obwodzie spawania, z wyodrębnieniem składowych w stanie zwarcia (jeśli nastąpiło) i jarzenia się łuku; obliczenie na podstawie wartości chwilowych zarejestrowanego prądu spawania i napięcia łuku,
- wyznaczenie rezystancji dynamicznej w obwodzie spawania, z wyodrębnieniem składowych w stanie zwarcia (jeśli nastąpiło) i jarzenia się łuku; obliczenie na podstawie wartości chwilowych zarejestrowanego prądu spawania i napięcia łuku.

Wyniki wymienionych przekształceń pokazano na rysunkach 5÷8. Wskazują one m.in. na możliwość identyfikowania, na drodze analizy parametrów prądowo-napięciowych spawania (napawania), zakłóceń w przebiegu procesu i mogących powstać przy tej okazji wad (niezgodności). Już pobieżna analiza wstępnie przetworzonych wyników (zaprezentowano tylko niewielką ich część) potwierdza wyraźne różnice pomiędzy poszczególnymi odmianami spawania (napawania) metodą MAG a stosowanymi do ich realizacji urządzeniami. Odmiana niskoenergetyczna CMT wykazała bardzo wysoką stabilność i skuteczność procedur regulacji, maskując niektóre zakłócenia (np. płynna zmiana długości wolnego wylotu elektrody – rys. 5), a inne uwypuklając (np. skokowa zmiana długości wolnego wylotu elektrody – rys. 6). W pozostałych przypadkach, tj. dla innych odmian metody MAG oraz źródeł zasilania bez sterowania synergicznego, obserwowano mniejszą stabilność, a zarejestrowane i wstępnie przetworzone przebiegi już nie tak czytelnie wskazywały miejsce wystąpienia założonych zakłóceń. Jednym z wyjątków były próby z kontrolowanym

zanikiem gazu osłonowego oraz z symulacją przetopienia, podczas których, niezależnie od odmiany metody MAG oraz konstrukcji stosowanego źródła zasilania, uzyskiwano bardzo czytelne wskazanie miejsc wystąpienia zakłócenia, widoczne w postaci zaburzeń rejestrowanych i przetworzonych sygnałów (rys. 7÷8).

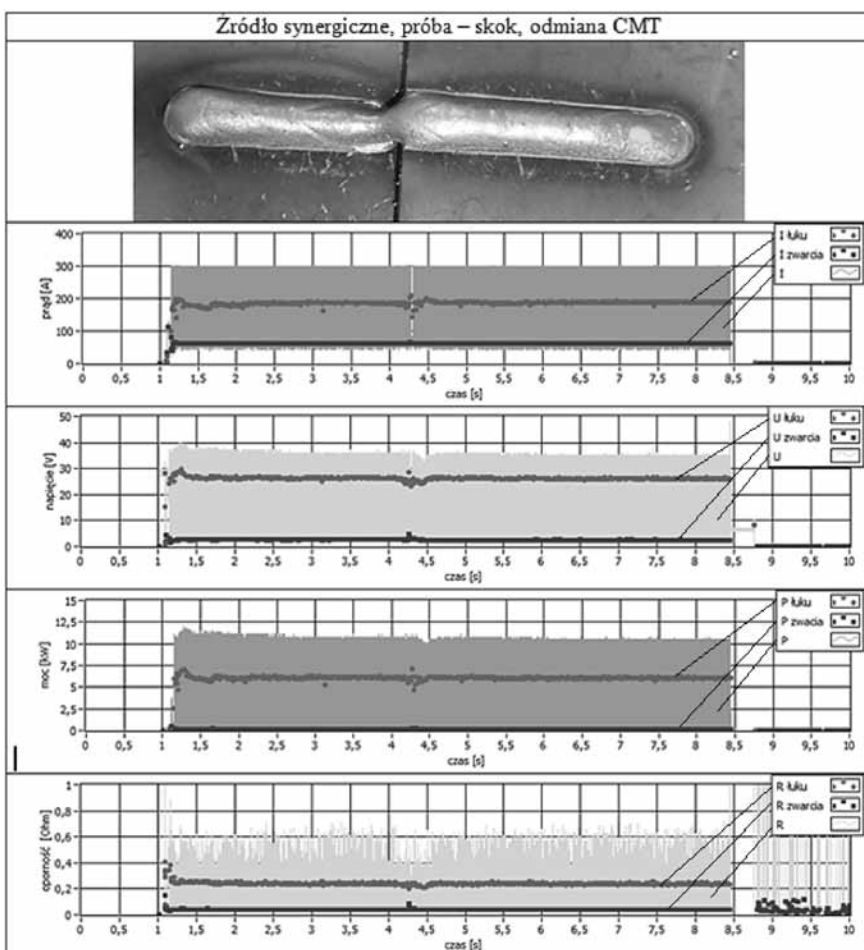
Szczegółowe rozpoznawanie badanych nieprawidłowości, mogących pociągać za sobą powstawanie wad i niezgodności spawalniczych, wymagać będzie opracowania katalogu wskaźników identyfikacyjnych. W tym celu konieczne jest prowadzenie dalszych, bardziej szczegółowych konwersji i analiz rejestrowanych wielkości. Przykładowe wyniki tego rodzaju obróbki zarejestrowanych danych, w odniesieniu do próby z zaplanowanym zakłóceniem w postaci płynnej zmiany wolnego wylotu drutu elektrodowego, uzyskane dla inwertorowego źródła spawalniczego ze sterowaniem synergicznym i odmiany CMT, przedstawiono na rysunku 9. W odniesieniu do wstępnych przekształceń zarejestrowanych danych przedstawionych na rysunku 5 (dla tej samej próby), przebiegi prądu spawania i napięcia łuku filtrowano według nowej, autorskiej koncepcji, a każdy z przebiegów porównywano z wynikami próby wzorcowej. Wykresy oznaczone na rysunku 9 jako RMS przedstawiają zarejestrowane przebiegi czasowe prądu spawania i napięcia łuku, pozbawione szumów i wyrażone w postaci wartości skutecznych. Pozostałe przebiegi (MIN, MID i MAX) są wynikiem zastosowanych konwersji. Przedstawiają wartości skuteczne odseparowane na podstawie analizy wartości chwilowych rezystancji dynamicznej, z progami odcięcia wyrażającymi odrębne fazy jarzenia się łuku. Dopiero ten sposób filtracji danych pozwolił na wykazanie, na drodze analizy sygnałów pomiarowych, wielu wcześniej niewidocznych anomalii w stabilnym przebiegu spawania. Przykładowo, dla próby z założonym zakłóceniem w postaci płynnej zmiany wolnego wylotu drutu elektrodowego wcześniej filtrowane przebiegi (rys. 5) nie wykazywały żadnych odchyłeń, jednak przy nowym podejściu zakłócenia ujawniły się bardzo wyraźnie (rys. 9). Dotyczy to przede wszystkim odchyłeń od wartości wzorcowych niektórych składowych napięcia łuku.

Dla pozostałych zakłóceń, symulowanych podczas prób spawania odmianą CMT widać, że odchylenia od wzorca (próba bez zakłóceń) mają za każdym razem inny charakter, możliwy do wskazania na podstawie różnych grup spośród wyodrębnionych przebiegów MIN, MID i MAX. W przypadku pozostałych odmian metody MAG i stosowanych do ich realizacji urządzeń zasilających wyodrębnienie poszczególnych faz cyklu jarzenia się łuku przebiega analogicznie do wcześniej opisanych, przyjmując za podstawę progowanie rezystancji dynamicznej. Identyfikacja wielkości charakterystycznych prądu i napięcia dla tak wyznaczonych faz odbywa się jednak według odrębnych algorytmów, z uwzględnieniem specyfiki każdej z odmian spawania. Ich wyniki prezentowane będą w kolejnych publikacjach.



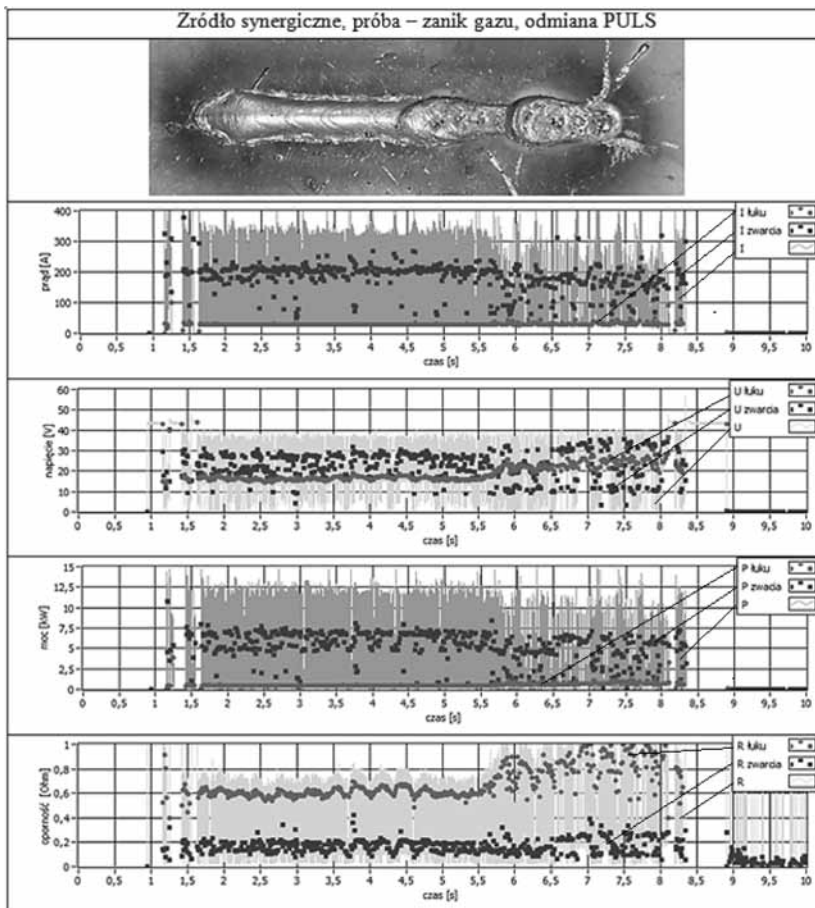
Rys. 5. Próba z wywołanym zakłóceniem w postaci płynnej zmiany wolnego wylotu drutu dla źródła spawalniczego inwerterowego ze sterowaniem synergicznym i odmiana CMT. Od góry: prąd spawania, napięcie łuku, moc dynamiczna, rezystancja dynamiczna

Fig. 5. An experiment with the continuous change of electrode wire stick out and synergic digital controlled power source for CMT welding. From the top: the bead view, the welding current, voltage, power and dynamical resistance waveforms.



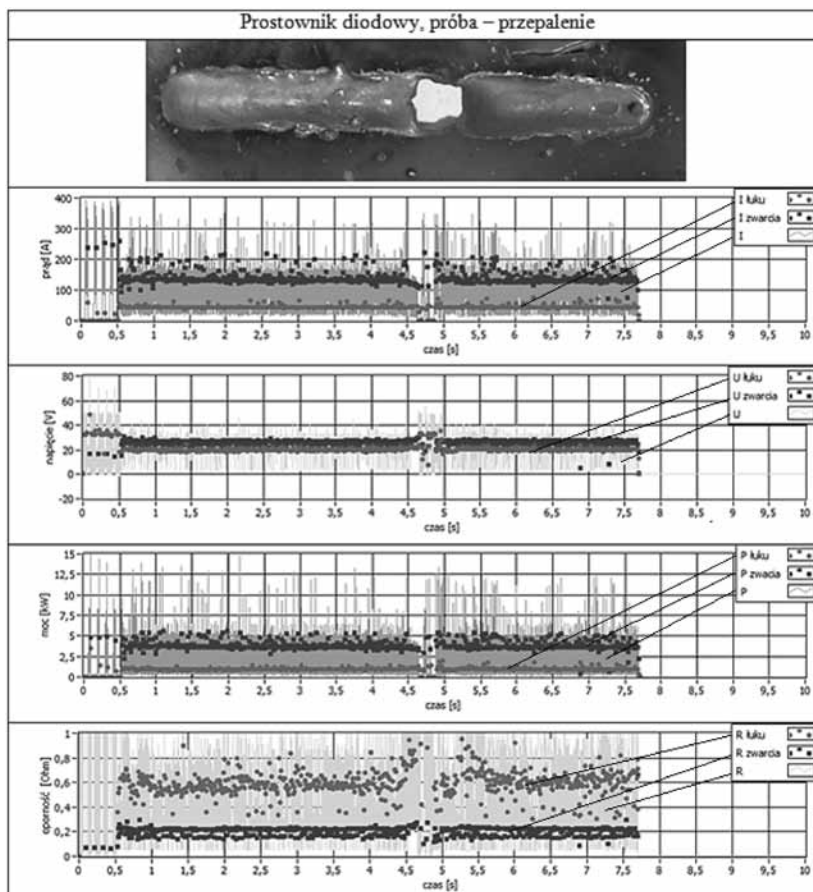
Rys. 6. Próba z wywołanym zakłóceniem w postaci skokowej zmiany wolnego wysuwu drutu dla źródła spawalniczego inwerterowego ze sterowaniem synergicznym i odmiana CMT. Od góry: prąd spawania, napięcie łuku, moc dynamiczna, rezystancja dynamiczna

Fig. 6. An experiment with the step change of electrode wire stick out and synergic digital controlled power source for CMT welding. From the top: the bead view, the welding current, voltage, power and dynamical resistance waveforms



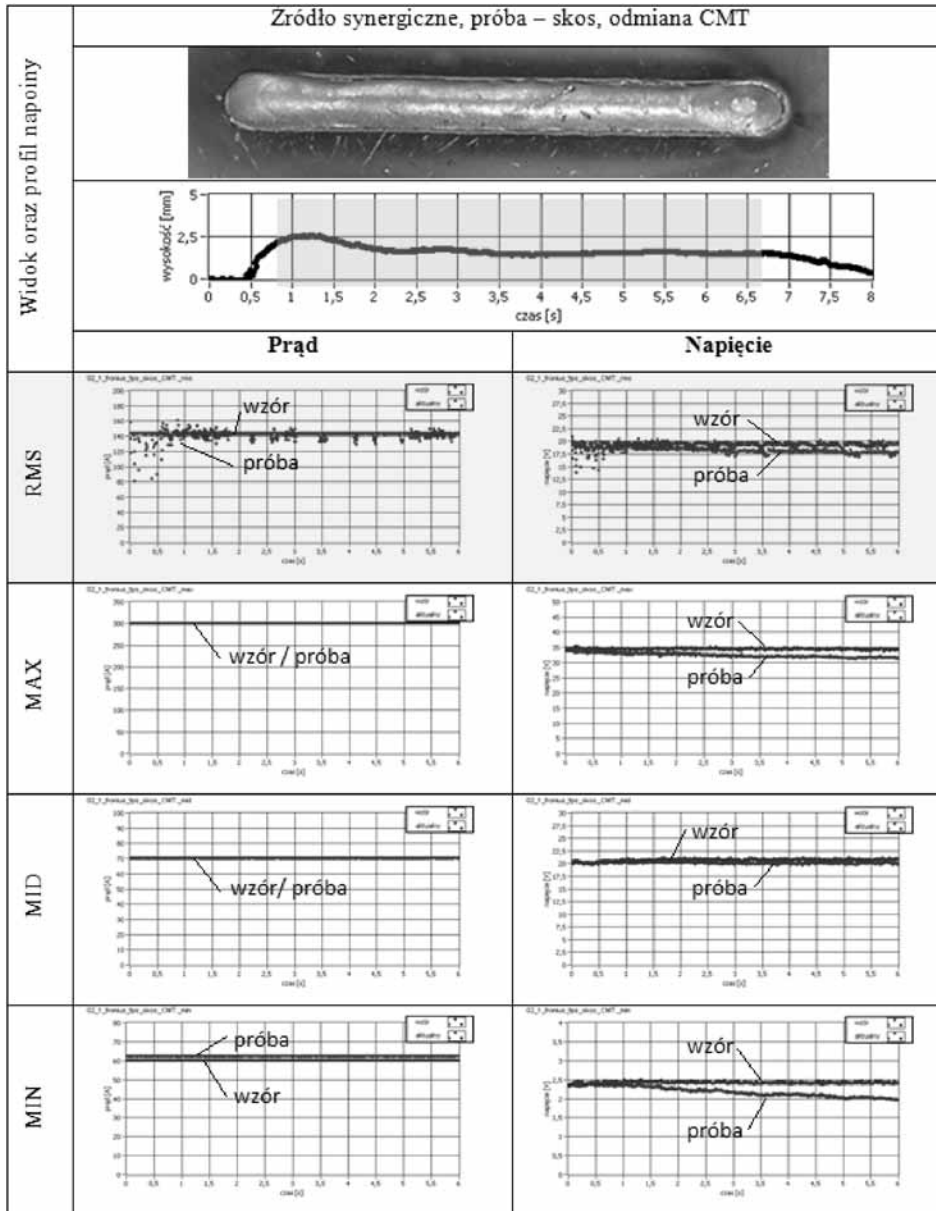
Rys. 7. Próba z wywołanym zakłóceniem w postaci zaniku gazu osłonowego dla źródła spawalniczego inwertorowego ze sterowaniem synergicznym i odmiany PULSE. Od góry: prąd spawania, napięcie łuku, moc dynamiczna, rezystancja dynamiczna

Fig. 7. An experiment with the shielding gas cut off and synergic digital controlled power source for PULSE welding. From the top: the bead view, the welding current, voltage, power and dynamical resistance waveforms



Rys. 8. Próba z wywołanym zakłóceniem w postaci przepalenia dla prostownika diodowego. Od góry: prąd spawania, napięcie łuku, moc dynamiczna, rezystancja dynamiczna

Fig. 8. An experiment with the base metal burn thru and diode rectifier power source. From the top: the bead view, the welding current, voltage, power and dynamical resistance waveforms



Rys. 9. Próba z wywołanym zakłóceniem w postaci płynnej zmiany wolnego wylotu drutu dla źródła spawalniczego inwerterowego ze sterowaniem synergicznym i odmiana CMT. Widok rzeczywisty napoiny z profilem uzyskanym ze skanera pomiarowego

Fig. 9. An experiment with continuously change of electrode wire stick out and synergic digital controlled power source for CMT welding. From the top: the bead view, the beat profile

Podsumowanie

Podczas realizacji opisanych badań oraz analizy ich wyników potwierdzono wysoką przydatność opracowanego i wykonanego w ZIS PW układu pomiarowego z aplikacją pomiarowo-rejestrującą w środowisku LabView do badań statycznych i dynamicznych systemów łuk – urządzenia zasilające, jak również jego dobre współdziałanie z aparaturą do szybkiego filmowania przestrzeni łukowej. Na szczególną uwagę zasługuje zrealizowana podczas prowadzonych badań pełna synchronizacja rejestracji wielkości elektrycznych z zapisem obrazów strefy łuku, umożliwiającą precyzyjną identyfikację i przyporządkowanie każdej klatki filmu określonego momentowi zarejestrowanego przebiegu prądu spawania i napięcia łuku.

Prowadzone badania wybranych aspektów jakości spoin lub napoin wykonywanych różnymi odmianami metody MAG, stanowiące pierwszy etap zaplanowanego programu badawczego, potwierdziły korelacje pomiędzy zakłóceniem procesu spawania mogącym być przyczyną niezgodności w wykonywanej spoinie lub napoinie a dynamicznymi zmianami prądu spawania i napięcia łuku. Wymaga to jednak bardziej zaawansowanych niż stosowane dotychczas metod rejestracji tych wielkości, a następnie odpowiedniej obróbki zarejestrowanych przebiegów. Ustalenie takich zależności pomiędzy zakłóceniem procesu spawania a odpowiadającym mu sygnałem elektrycznym mogłoby znaleźć zastosowanie w procesie monitoringu on-line jakości wykonywanej

spoiny czy napoiny oraz identyfikacji lokalizacji i rodzaju powstałej niezgodności. Należy podkreślić, że zarówno rodzaj zakłócenia, jak i konkretna odmiana metody MAG wymaga zróżnicowanego podejścia do takiego sposobu identyfikacji niezgodności. Wyniki przedstawionych w niniejszym artykule analiz, które z uwagi na znaczną liczbę zgromadzonych danych

nadal są prowadzone, potwierdzają możliwość takiej identyfikacji. Poszerzy to wiedzę na temat kryteriów i wskaźników oceny stabilności procesu spawania, w tym możliwości identyfikacji wad na podstawie mierzonych w czasie rzeczywistym parametrów prądowo-napięciowych w układzie łuk – spawalnicze źródło energii elektrycznej.

Literatura


- [1] Carrer A.: Dynamic behavior of DC arc welding generators for arc welding. IIW Doc. 11-31-58.
- [2] Cegielski P., Kolasa A., Skrzyniecki K., Kołodziejczak P.: Komputerowy system do badań właściwości statycznych i dynamicznych źródeł energii elektrycznej do spawania łukowego. Przegląd Spawalnictwa 1/2012, s. 3-9.
- [3] Cegielski P., Kolasa A.: Komputerowy system do badań właściwości statycznych i dynamicznych spawalniczych źródeł energii elektrycznej. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Mechanika, z. 215, Warszawa 2006, s. 135-149.
- [4] Kolasa A.: Właściwości dynamiczne źródeł energii elektrycznej do spawania łukowego oraz kryteria ich oceny. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Mechanika, z. 135, Warszawa 1990.
- [5] Projekt badawczy własny Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N503 206339 pt. Badanie zależności pomiędzy zjawiskami zachodzącymi w łuku spawalniczym w różnych odmianach metody MAG a parametrami elektrycznymi układu łuk – urządzenie spawalnicze. Kierownik: prof. nzw. dr hab. inż. Andrzej Kolasa.
- [6] Skrzyniecki K., Cegielski P., Kolasa A., Kołodziejczak P.: Charakterystyki statyczne nowoczesnych urządzeń do spawania łukowego. Przegląd Spawalnictwa 1/2013.
- [7] Skrzyniecki K., Kolasa A., Cegielski P.: Badanie charakterystyk statycznych i dynamicznych układu źródła zasilania – łuk. Przegląd Spawalnictwa 6/2011, s. 33-36.
- [8] Skrzyniecki K., Krajewski A., Cegielski P., Hudycz M., Kolasa A.: Zastosowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych do badania urządzeń i procesów spawalniczych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Mechanika, z. 229, Warszawa 2009, s. 115-124.
- [9] Węglowski M., Kolasa A., Cegielski P.: Badania właściwości technologicznych spawalniczych zasilaczy inwertorowych. Przegląd Spawalnictwa 9-10/2006, s. 52-55.
- [10] Węglowski M., Kolasa A., Cegielski P.: Ocena stabilności procesu ręcznego spawania łukowego elektrodami otulonymi. Przegląd Spawalnictwa 1/2006, s. 4-8.

 4METAL.PL

Ponad 2000 podwykonawców z całego świata

[katalog firm] PONAD 2000 FIRM Z CAŁEGO ŚWIATA
PODZIELONYCH NA KATEGORIE

[giełda pracy] OGŁOSZENIA PRACOWNIKÓW
I PRACODAWCÓW Z BRANŻY

 [giełda materiałów] OGŁOSZENIA KUPNA I SPRZEDAŻY, SZCZEGÓŁOWO
PODZIELONE NA GATUNKI I KSZTAŁTY MATERIAŁÓW

[giełda maszyn] PONAD 2300 AKTUALNYCH OGŁOSZEŃ
KUPNA I SPRZEDAŻY

[wydarzenia] LISTA TARGÓW I IMPREZ BRANŻOWYCH
ZE ŚWIATA

[aktualności] TECHNOLOGIE, WYWIADY, SPRAWOZDANIA,
WSZYSTKO CZEGO POTRZEBUJESZ

[media] INFORMACJE O CZASOPISMACH
BRANŻOWYCH Z CAŁEGO ŚWIATA

[video] RELACJE, WYWIADY,
PREZENTACJE

 www.4metal.pl
 www.4metal.de
 www.4metal.cz
 www.4metal.com
 www.4metal.nl
 www.4metal.at
 www.4metal.be
 www.4metal.ru
 www.4metal.ch
 www.4metal.it
 www.4metal.ro
 www.4metal.hu
 www.4metal.us



GET THE MEMBERSHIP