

Promieniowanie widzialne użytecznym sygnałem w monitorowaniu procesu spawania

Marek Stanisław Węglowski

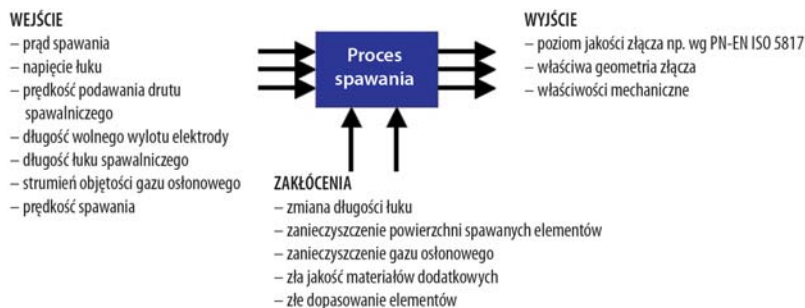
Procesy spawalnicze, jako procesy specjalne, których wyniki nie mogą być w pełni sprawdzone podczas późniejszej kontroli i badania wyrobu [1], muszą być prowadzone przez personel o odpowiednich kwalifikacjach, a warunki technologiczne procesu spawalniczego muszą być monitorowane i nadzorowane w sposób ciągły, w celu spełnienia wymagań jakościowych. Celem monitorowania procesu spawania jest wykrywanie odstępstw od założonych parametrów spawania w czasie wykonywania złącza.

Możliwe jest zidentyfikowanie obszaru spoiny, w którym nastąpiła zmiana parametrów, w celu przeprowadzenia dokładniejszych badań. Uzyskuje się dzięki temu obniżenie kosztów wykonania i kontroli ostatecznej konstrukcji, a także ograniczenie kosztów prac naprawczych. Warunkiem uzyskania tych efektów jest automatyczne oddziaływanie urządzenia monitorującego. Wymaga to optymalnej metody analizy monitorowania parametrów spawania i sygnałów generowanych przez łuk spawalniczy, w tym promieniowania łuku spawalniczego i jednocześnie określenia kryteriów klasyfikacji złącza na te, które spełniają wymagania i te, które wymagają dokładnego sprawdzenia i przeprowadzenia ewentualnej naprawy [2, 3].

Parametry procesu spawania obejmują [4]: prąd spawania, napięcie łuku spawalniczego, prędkość spawania, strumień objętości gazu, prędkość podawania drutu spawalniczego itp. Jeżeli do powyższej listy dopiszemy jeszcze oczekiwane właściwości złącza: mechaniczne, plastyczne, odporność na korozję i odporność na pękanie, to otrzymamy pełny zbiór parametrów, umożliwiającą zdefiniowanie modelu procesu spawania (rys. 1). W modelu tym parametry procesu są parametrami wejściowymi, a oczekiwane właściwości złącza – parametrami wyjściowymi.

Systemy monitorowania *on line* mają trzy zasadnicze zadania [5]:

- zebrać dane z procesu spawania przy zastosowaniu odpowiednich urządzeń pomiarowych
- dokonać analizy zebranych danych pomiarowych



Rys. 1. Model procesu spawania



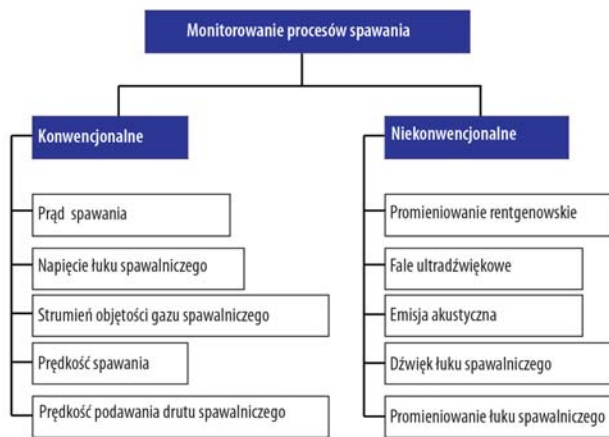
Rys. 2. System monitorowania procesów spawania

- informować czy proces przebiegał stabilnie i czy uzyskane połączenie spełnia założone wymagania.

Monitorowanie procesów spawalniczych jest realizowane z wykorzystaniem tradycyjnych metod opartych na rejestracji parametrów elektrycznych łuku spawalniczego lub metod niekonwencjonalnych, wykorzystujących promieniowanie widzialne lub podczerwone, fale ultradźwiękowe, emisję akustyczną jako nośnik informacji o przebiegu i stabilności procesu spawania (rys. 3). Niekiedy stosowana jest radiografia w czasie rzeczywistym.

Konwencjonalne metody monitorowania procesów spawalniczych bazują przede wszystkim na pomiarze i rejestracji prądu spawania i napięcia łuku spawalniczego. W metodach tych rejestruje się również strumień objętości gazu osłonowego, prędkość spawania i prędkość podawania drutu spawalniczego. Monitorowanie jest realizowane specjalistycznymi urządzeniami moni-

mgr inż. Marek Stanisław Węglowski – Instytut Spawalnictwa, Gliwice



Rys. 3. Sygnały wykorzystywane w systemach monitorowania procesu spawania, działające *on line* [6]

torującymi lub uniwersalnymi kartami pomiarowymi. Pomiar prądu spawania i napięcia łuku spawalniczego jest wykorzystywany do oceny stabilności procesu spawania, zwłaszcza jeżeli korzysta się z zaawansowanej analizy sygnałów. Metody te są szczególnie użyteczne do synergicznego sterowania urządzeniami spawalniczymi w metodzie MIG/MAG (*Metal Inert Gas/Metal Active Gas*). Szczególnym przypadkiem zastosowania tradycyjnych metod jest kontrola procesu spawania wąskoszczelinowego metodą MAG (*Metal Active Gas*) z magnetycznym odchyleniem łuku spawalniczego, oparta na rejestracji przebiegu prądu spawania, lub też monitorowaniu spawania plazmowego opartym na pomiarze i rejestracji parametrów elektrycznych łuku

pomocniczego. Metody konwencjonalne są stosowane również do wykrywania zakłóceń procesu spawania w postaci zanieczyszczeń powierzchni blachy i braku prawidłowej osłony gazowej w metodzie spawania MAG. Ważnym aspektem zastosowania metod konwencjonalnych jest kontrola głębokości przetopienia. Do prowadzenia monitorowania procesu spawania w sposób konwencjonalny wykorzystuje się urządzenia monitorujące [2], które rejestrują podstawowe parametry spawania (tabl. 1) [2]:

- napięcie łuku
- prąd spawania
- prędkość podawania drutu
- strumień objętości gazu osłonowego.

Najczęściej urządzenie monitorujące, poza rejestracją parametrów, sygnalizuje przekroczenie zaprogramowanych wstępnie przez użytkownika wartości granicznych. Parametry potrzebne do przetwarzania wyników, a nie rejestrowane przez urządzenie (długość złącza, temperatura podgrzewania, temperatura międzysciegowa) są wpisywane z klawiatury przez operatora. Dokładna obróbka i analiza wyników monitorowania odbywa się za pomocą programu zainstalowanego w komputerze, do którego są przesyłane dane [2].

Metody konwencjonalne, pomimo swoich niewątpliwych zalet, takich jak małe koszty inwestycyjne i brak dodatkowych czujników, w wielu przypadkach są zastępowane i/lub uzupełniane metodami niekonwencjonalnymi, które charakteryzują się zdecydowanie większą czułością.

Tablica 1. Charakterystyka wybranych urządzeń do monitorowania procesu spawania [2]

	QA/AMV Weldcheck	Mesmatic	Arc Data Monitor	MonArc 3000/6000
Monitorowane procesy spawania	MMA, TIG, MIG/MAG, SA	MMA, MIG/MAG, SA	MMA, MIG/MAG, SA	MMA, MIG/MAG, TIG, SA, PA
Rejestracja prądu spawania	0÷800 A DC, 0-600 A AC	10÷600 A	0÷800 A	0÷1000 A
Rejestracja napięcia łuku	0÷100 V	0÷200 V	0÷80 V	0÷60 V
Rejestracja prędkości podawania drutu	1÷120 m/h	brak danych	0÷150 m/h	0÷150 m/h
Rejestracja prędkości spawania	0÷60 m/h*	0÷60 m/h	0÷300 m/h	wyznaczona rachunkowo
Rejestracja strumienia objętości gazu	0÷20 l/min	8÷20 l/min	2,5÷120 l/min	0÷25 l/min
Rejestracja temperatury	od -20 °C do + 800 °C	do 1250 °C	0÷260 °C 90÷540 °C	nie
Obliczanie zużycia materiałów i energii	tak	tak	tak	tak
Obliczanie energii liniowej łuku	tak	tak	tak	tak
Rejestracja charakterystyk dynamicznych	nie	nie	nie	tak
Wydruk z urządzenia monitorującego	tak	przez zewnętrzną drukarkę	przez zewnętrzną drukarkę	tak
Pojemność pamięci	20 min -10 h	99 h	brak	20 min -10 h
Przesyłanie danych do komputera	tak	tak	tak	przenoszenie przez kartę pamięci
Autonomiczne zasilanie	tak	tak	tak	tak
Masa urządzenia	6,8 kg	1,6 kg	5 kg	12,5 kg

Wśród niekonwencjonalnych systemów monitorowania [6] prym wiodą metody wykorzystujące systemy wizyjne zwłaszcza na stanowiskach zrobotyzowanych. Stosowanie kamer CCD i szybkich algorytmów pozwala w czasie rzeczywistym ocenić stabilność procesu spawania, jakość wykonywanych złączy np. głębokość przetopienia. Wysoki koszt takich urządzeń skłania jednak do poszukiwania tańszych rozwiązań systemowych, opartych na pomiarze natężenia promieniowania łuku spawalniczego. W metodach optycznych rejestruje się natężenie promieniowania całego zakresu widmowego, bądź też odseparowuje się poszczególne linie widmowe, poddając zarejestrowane dane dalszej obróbce np. obliczaniu temperatury łuku. Metody optyczne są stosowane również do monitorowania procesu spawania łukiem krytym od strony grani. Równolegle są projektowane układy monitorujące rejestrujące dźwięk łuku spawalniczego metody MIG/MAG.

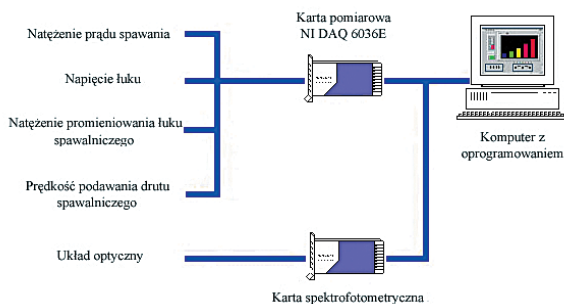
W bardzo specjalistycznych zastosowaniach wykorzystuje się metody ultradźwiękowe [7] i rentgenowskie [8, 9] lub też emisję akustyczną [10]. Ze względu na wysokie koszty inwestycyjne metody te nie znalazły szerszego zastosowania.

Największy postęp w dziedzinie monitorowania procesów spawania dokonał się na przestrzeni ostatnich lat w dziedzinie spawania laserowego [11]. Ze względu na brak charakterystycznych dla procesu spawania łukowego sygnałów elektrycznych, poszukuje się metod kontroli jakości i oceny stabilności procesu spawania, opartych na rejestracji natężenia promieniowania plazmy generowanej w trakcie spawania. Metody te są przede wszystkim wykorzystywane do kontroli głębokości przetopienia, ogniskowania wiązki laserowej, kontroli właściwej osłony gazowej. Metody optyczne są użyteczne przy spawaniu laserowym pod warstwą wody [12].

Do oceny stabilności procesu spawania powszechnie są stosowane [6]: sieci neuronowe, metody zbiorów rozmytych, algorytmy genetyczne, statystyczna kontrola jakości i systemy eksperckie.

Badania własne nad nowymi metodami monitorowania procesów spawania

W ramach prowadzonych projektów badawczych w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach trwają prace nad



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego do monitorowania procesu spawania [6]

nowoczesnymi metodami monitorowania procesów spawania. Bieżące prace są ukierunkowane na wykorzystanie promieniowania łuku spawalniczego jako sygnału użytecznego w systemach monitorujących.

W Instytucie Spawalnictwa zaprojektowano i skompletowano stanowisko do badania rozkładu widmowego promieniowania widzialnego łuku spawalniczego metody TIG prądem stałym. Próby były przeprowadzone na stanowisku do automatycznego spawania metodą TIG.

W skład układu pomiarowego wchodzi (rys. 4): przetwornik prądowy, napięciowy i optyczno-elektryczny, przetwornik obrotowo-impulsowy, spektrofotometr, karta pomiarowa i komputer PC. Sygnały elektryczne, odpowiadające natężeniu promieniowania widzialnego łuku i sygnały z obwodu spawania są rejestrowane przez urządzenie rejestrujące, wykorzystujące kartę pomiarową NI DAQ 6036E na komputerze PC. Sygnały te są następnie poddane analizie. Rejestracja rozkładów widmowych jest wykonywana przy użyciu karty spektrofotometrycznej firmy Ocean Optics, opartej na detektorze CCD Sony typ ILX511.

W trakcie badań przyjęto następujące warunki eksperymentu: łuk jarzy się między elektrodą wolframową torowaną (katoda) a płytą miedzianą (anoda), uchwyt elektrody jest nieruchomy, gaz osłonowy: argon (Ar), strumień objętości gazu: $q_g = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$, źródło prądu: Kemppi Pro 5000, łuk zasilany jest prądem stałym o wartości nastawianej w zakresie: 30–300 A. Przyjęto, że długość łuku jest równa odległości elektrody od materiału spawanego, zakres zmian długości łuku $L = 2\text{--}5 \text{ mm}$.

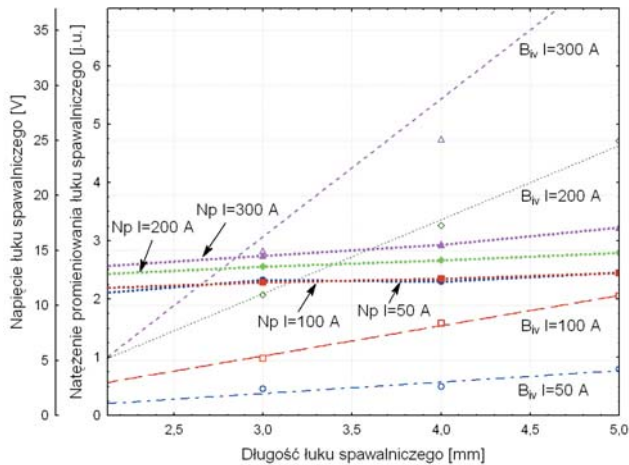
Podstawowym zadaniem systemu monitorującego jest wykrywanie wszelkiego rodzaju zakłóceń procesu spawania, w tym zmiany długości łuku spawalniczego.

Głównym celem pracy było zbadanie możliwości wykorzystania promieniowania widzialnego łuku spawalniczego do monitorowania stabilności procesu spawania metodą TIG, z uwzględnieniem zmian natężenia promieniowania widzialnego łuku spawalniczego, ze zmianą prądu spawania oraz ze zmianą długości łuku spawalniczego (odtworzenie przypadku przepalenia złącza i błędzenia łuku).

Wpływ długości łuku na natężenie promieniowania łuku spawalniczego

Długość łuku spawalniczego jest jednym z podstawowych parametrów spawania metodą TIG. Parametr ten bezpośrednio decyduje o napięciu łuku spawalniczego. Pomiar i kontrola długości łuku jest jednym z głównych zadań układów monitorujących w zrobotyzowanych i zautomatyzowanych stanowiskach spawalniczych. Długość łuku wpływa na rozkład energii łuku, a w konsekwencji na ilość ciepła wprowadzonego do złącza i na szerokość spoiny [5]. W przeprowadzonych badaniach długość łuku była zmieniana w zakresie 2–5 mm.

Na rys. 5 przedstawiono wpływ długości łuku L na natężenie promieniowania łuku spawalniczego, przy prądzie spawania I w zakresie 50–300 A. Na rysunku tym dodatkowo przedstawiono wpływ długości łuku

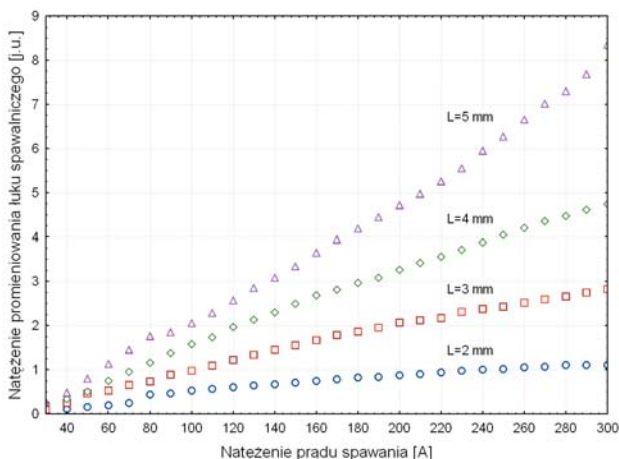


Rys. 5. Wpływ długości łuku spawalniczego na natężenie promieniowania (B_{iv}) i na napięcie łuku (N_p), przy prądzie spawania w zakresie 50–300 A, gaz osłonowy Ar

L na napięcie spawania. Widać, że znacznym zmianom długości łuku towarzyszą znaczne zmiany natężenia promieniowania łuku spawalniczego (długość fali 696 nm) i niewielkie zmiany napięcia łuku.

Wpływ zmiany prądu spawania metody TIG na natężenie promieniowania widzialnego łuku spawalniczego

Prowadzone próby pozwoliły na określenie wpływu prądu spawania na natężenie promieniowania łuku spawalniczego. Zakres prowadzonych badań obejmował pomiar natężenia promieniowania (długość fali 696,36 nm), przy prądzie spawania w zakresie 30–300 A, dla długości łuku 2–5 mm (rys. 6).



Rys. 6. Wpływ zmiany prądu spawania w metodzie TIG na natężenie promieniowania widzialnego łuku, przy długości łuku spawalniczego w zakresie 2–5 mm, dla długości fali 696,36 nm. Prąd zmieniano w zakresie 30–300 A. Gaz osłonowy – Ar

Wpływ zmiany prądu spawania i długości łuku spawalniczego metody TIG na natężenie promieniowania widzialnego

Na podstawie zebranych danych pomiarowych i równania 1 [13] można wyznaczyć zależność wiążącą natężenie promieniowania łuku spawalniczego (B_{iv}) z długo-

ścią łuku (L) i prądem spawania (I). Długość łuku mieści się w zakresie 2–5 mm.

$$B_{iv} = G_1 L I^2 \left(e^{\frac{G_2}{I}} - \frac{1}{2} \right) + G_3 I^2 + G_4 + \varepsilon \quad (1)$$

gdzie niepewność złożona ε [14]:

$$\varepsilon = \sqrt{(\varepsilon_i)^2 + 2(\varepsilon_k)^2 + (\varepsilon_{sw})^2} \quad (2)$$

gdzie:

$\varepsilon_i = 1\%$ – niepewność pomiaru prądu spawania miernikiem cęgowym LEM PR1001,

$\varepsilon_k = 0,01\%$ – niepewność pomiaru sygnałów za pomocą karty pomiarowej NI DAQ 6036E,

$\varepsilon_{sw} = 1\%$ – niepewność pomiaru natężenia promieniowania łuku spawalniczego.

Po podstawieniu wartości otrzymujemy:

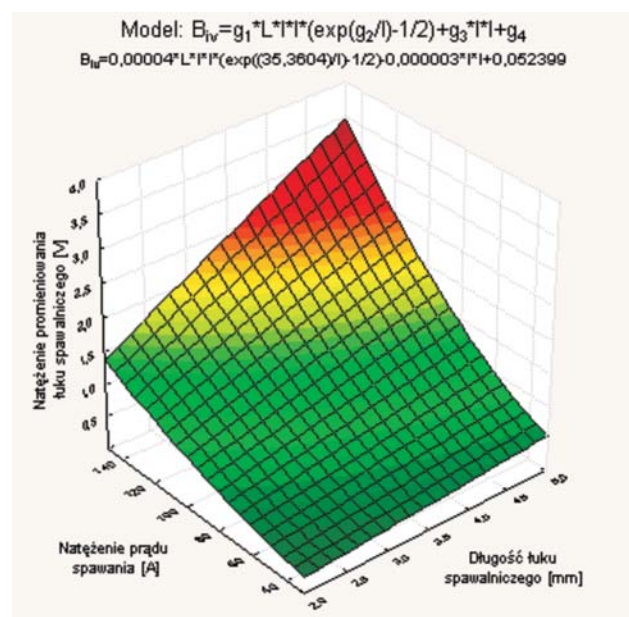
$$\varepsilon = \sqrt{(1\%)^2 + 2(0,01\%)^2 + (1\%)^2} = 1,41\% \quad (3)$$

Wykorzystując program komputerowy dla długości łuku w przedziale 2–5 mm, obliczono na podstawie zebranych danych pomiarowych współczynniki G_i . Równanie (1) przyjmuje postać:

$$B_{iv} = 0,00004 L I^2 \left(e^{\frac{35,3604}{I}} - \frac{1}{2} \right) - 0,000003 I^2 + 0,052399 \pm 1,41\% \quad (4)$$

Równanie to jest spełnione dla długości fali 696,36 nm i prądu do 150 A, przy długości łuku spawalniczego 2–5 mm. Współczynnik korelacji równania (4) $K = 0,97$.

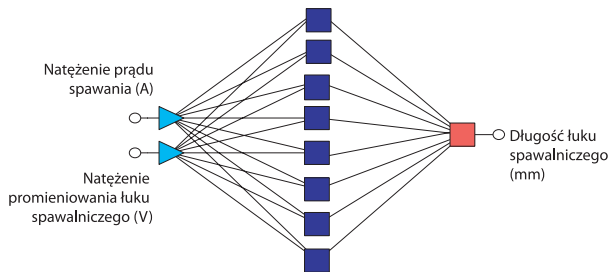
Graficznie równanie (4) wraz z modelem matematycznym przedstawiono na rys. 7.



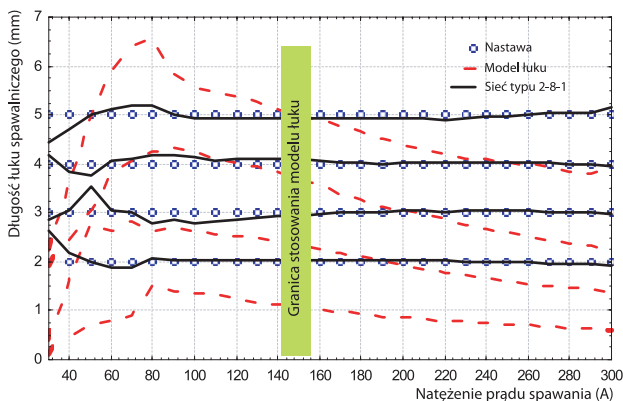
Rys. 7. Zależność natężenia promieniowania łuku spawalniczego metody TIG od długości łuku i prądu spawania, dla długości fali 696,36 nm i długości łuku 2–5 mm

Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do rozwiązania problemu regresji

Do znalezienia zależności wiążącej natężenie promieniowania łuku spawalniczego, prądu spawania w szerszym zakresie (30÷300 A) i długości łuku spawalniczego w zakresie 2÷5 mm wykorzystano sztuczne sieci neuronowe.



Rys. 8. Architektura optymalnej sieci typu perceptron wielowarstwowy, z jedną warstwą ukrytą z 8 neuronami, rozwiązującej postawiony problem regresji



Rys. 9. Wykres rozrzutu wyników obliczeń opartych na modelu łuku spawalniczego oraz sztucznej sieci neuronowej, w stosunku do rzeczywistej długości łuku spawalniczego

Zbudowano sieć neuronową automatycznym kreatorem sieci w programie Sieci Neuronowe. Na wejściu sieci neuronowej podawano wartości prądu spawania w zakresie 30÷300 A i wartości natężenia promieniowania widzialnego łuku spawalniczego (długość fali 696 nm) w zakresie 0,06–8,35 V. Automatyczny kreator

przetestował kolejno 1000 sieci [5], przy czym liczebność podzbioru uczącego wynosiła 78, walidacyjnego 28, a testowego 6. Po przetestowaniu 1000 sieci została wybrana sieć typu perceptron trójwarstwowy typu 2:2–8:1 (rys. 8).

Porównanie wyników uzyskanych po wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych i modelu łuku spawalniczego (równanie 4) przedstawiono na rys. 9.

Na rys. 9 widać, że lepsze wyniki analizy regresji można uzyskać dla badanego przypadku przy wykorzystaniu sieci typu perceptron trójwarstwowy typu 2:2–8:1 (rys. 8), niż przy zastosowaniu modelu łuku spawalniczego.

Podsumowanie

Nowoczesne metody monitorowania procesu spawania są nieodłącznym elementem każdego zautomatyzowanego lub zrobotyzowanego systemu produkcji. Pozwalają one na szybkie wykrycie już w trakcie produkcji wadliwie wykonanej spoiny, a co za tym idzie na obniżenie kosztów produkcji. Oznacza to możliwość wykrycia wadliwych elementów bez konieczności prowadzenia kosztownych badań nieniszczących. Powszechnie stosowane do tej pory konwencjonalne metody monitorowania procesów spawania, bazujące na pomiarze prądu spawania i napięcia łuku spawalniczego, w wielu przypadkach okazują się niewystarczające i są uzupełniane lub zastępowane metodami niekonwencjonalnymi. Zalicza się do nich systemy wykorzystujące promieniowanie łuku spawalniczego do diagnozowania stabilności procesu spawania, w tym również kontrolowanie długości łuku spawalniczego. Zmiana długości łuku spawalniczego metody TIG powoduje zmiany natężenia promieniowania widzialnego łuku. Zwiększenie długości łuku powoduje wzrost natężenia promieniowania widzialnego łuku spawalniczego metody TIG, wybranej linii widmowej 696 nm (rys. 5). Wzrost ten jest uzależniony od prądu spawania (rys. 5). Większy wzrost natężenia promieniowania widzialnego łuku spawalniczego zaobserwowano przy większych prądach. Zwiększenie prądu spawania metodą TIG powoduje wzrost natężenia promieniowania widzialnego łuku dla wybranej długości fali (rys. 6), przy czym wzrost ten jest większy dla dłuższego łuku.

REKLAMA

Oferujemy:

Zasilacze:
Impol-1, Mean Well, Siemens

Czujniki przemysłowe:
indukcyjne, optyczne, ultradźwiękowe, pojemnościowe

Enkodery:
obrotowe i liniowe impulsowe i absolutne

Liczniki

Timery

Tachometry

Doradztwo techniczne

Zasilacze przemysłowe Mean Well

24 V 1,5; 2; 2,5; 3,2; 5; 10; 20; 40 A

F. Szafrński Sp. Jawna, ul. Krakowiaków 103, 02-255 Warszawa
Tel. (022) 886-56-02, fax (022) 886-56-04, impol@impol-1.pl, www.impol-1.pl

Wykorzystując model matematyczno-fizyczny, wyznaczono zależność (równanie 4) wiążącą natężenie promieniowania widzialnego łuku spawalniczego z prądem spawania i długością łuku spawalniczego metody TIG. W modelu tym uwzględniono niepewność złożoną pomiarów.

Wykorzystywany model łuku spawalniczego (równanie 4), w zakresie zmian długości łuku od 2 do 5 mm, jest słuszny jedynie dla prądu spawania do 150 A. Powyżej tej wartości prądu należy poszukiwać innych metod regresyjnych.

W niniejszej pracy wykorzystano sztuczne sieci neuronowe. Po przetestowaniu kolejnych sieci stwierdzono, że najlepsze rezultaty regresyjne można uzyskać dla badanego przypadku, przy wykorzystaniu sieci typu perceptron trójwarstwowy, typu 2:2 – 8:1 (rys. 8). Taki model sieci zapewnia najbardziej wiarygodne odwzorowanie zależności pomiędzy długością łuku spawalniczego a natężeniem promieniowania łuku i prądem spawania. Mała różnica pomiędzy wartością rzeczywistą (rys. 9) a obliczoną wskazuje na dobre dopasowanie sieci neuronowej. Zastosowanie sieci neuronowej pozwoli na monitorowanie *on line* długości łuku spawalniczego na stanowiskach zautomatyzowanych i zrobotyzowanych.

Przedstawione w artykule wyniki badań wskazują, że promieniowanie łuku spawalniczego zawiera szereg informacji o przebiegu procesu spawania. Sygnał ten jest znacznie czulszy na zmiany warunków spawania i powinien zostać wykorzystany jako narzędzie w monitorowaniu procesów spawalniczych.

Podziękowania: Badania były częściowo finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu badawczego 3 T10C 021 28 w latach 2005–2007.

Bibliografia

1. A. Klimpel, *Kontrola i zapewnienie jakości w spawalnictwie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
2. K. Luksa, *Monitorowanie procesów spawania*, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 1999, nr 5, s. 59 – 62.
3. J.C. Papritan, S.C. Helzer, *Statistical process control for welding*, Welding Journal, 1991, nr 3, s. 44 – 48.
4. P.J. Blakeley, *Who should be using arc monitoring?*, W&MF, 1990, nr 6, s. 268 – 272.
5. M. Węglowski, Z. Mikno i in., *Badanie zależności natężenia promieniowania widzialnego łuku spawalniczego od parametrów i zakłóceń spawania metodą TIG*, Praca badawcza, Gliwice 2004.
6. M. Węglowski, Z. Mikno i in., *Ocena stabilności procesu spawania oparta na promieniowaniu łuku spawalniczego z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji i statystycznej kontroli jakości*, Praca badawcza, Gliwice 2005.
7. N.M. Carlson, J.A. Johnson i in., *Ultrasonic NDT methods for weld sensing*, Materials Evaluation, 1992, nr 11, s. 1338 – 1343.
8. S.J. Rokhlin, K. Cho i in., *Closed-loop process control of weld penetration using real-time radiography*, Materials Evaluation, nr 3, s. 363 – 369.
9. A.C. Guu, S.I. Rokhlin, *Arc welding process control using radiographic sensing*, Materials Evaluation, 1992, nr 11, s. 1344 – 1348.
10. K.L. Taylor-Burge, T.J. Harris i in., *The real time analysis of acoustic weld emission using neural networks*, Proceedings of the International Conference on the Joining of Materials JOM-6, 1993, s. 60 – 67.
11. M. Fox, C. Peters i in., *Application of optical sensing for laser cutting and drilling*, Applied Optics, 2002, nr 24, s. 4988 – 4995.
12. X. Zhang, W. Chen i in., *Relationship between weld quality and optical emission in underwater Nd: YAG laser welding*, Optical and Laser in Engineering, 2004, nr 41, 717 – 730.
13. P.J. Li, Y.M. Zhang, *Precision Sensing of Arc Length in GTAW Based on Arc Light Spectrum*, Transaction of the ASME, 2001, nr 2, s. 62 – 65.
14. J. Izydorczyk, *Niepewność pomiarów*, Seminarium firmy POLGAT, Gliwice 1997. ■



APARATURA DO POMIARÓW I REGULACJI TEMPERATURY



CZUJNIKI TEMPERATURY
-100 °C...+1800 °C
RÓWNIEŻ Exi_aIIC T6



**TABLICOWE MIERNIKI
TEMPERATURY**
Ni100, Pt100, J, K, N, S



PRZETWORNIKI TEMPERATURY
0...20 mA, 4...20 mA, 0...10 V
RÓWNIEŻ Exi_aIIC T6



**MIKROPROCESOROWE
REGULATORY TEMPERATURY:**
P, PI, PD, PID

tel. (22) 720 23 02
fax (22) 720 23 05
e-mail: czaki@czaki.pl
<http://www.czaki.pl>



CZAKI THERMO-PRODUCT
05-090 Raszyn-Rybie, ul. 19 Kwietnia 58