

mgr inż. Leszek Szubert  
Zakład Elektronicznych Urządzeń Spawalniczych, Instytut Spawalnictwa

## **WIELOSTANOWISKOWY SYSTEM AKWIZYCJI PARAMETRÓW PROCESU ZGRZEWANIA REZYSTANCYJNEGO**

*W artykule omówiono opis budowy, możliwości oraz przeznaczenie wielostanowiskowego systemu akwizycji parametrów procesu zgrzewania rezystancyjnego, powstałego z myślą o zapewnieniu kompleksowej oceny przebiegu procesu produkcji w nowoczesnym zakładzie produkcyjnym. Zgrzewarki objęte działaniem systemu są monitorowane w sposób ciągły, a przebiegający na nich proces produkcji jest nadzorowany w celu wykrycia i zasygnalizowania odchylenia parametrów od wartości zadanych oraz archiwizacji jego parametrów. Nadzór technologiczny zakładu na podstawie zgromadzonych danych ma możliwość dokonania oceny jakości oraz stabilności przebiegającego procesu produkcji.*

### **NETWORK SYSTEM FOR MEASUREMENT AND ACQUISITION OF RESISTANCE WELDING PARAMETERS**

*It has been described the construction, capabilities and purpose of a network system for measuring and acquisition of resistance welding parameters. The system is based on the idea that the complex assessment of the production process run in modern production plants may be provided. The welding machines included in this system are monitored continuously while the production process is supervised in order to detect and indicate any deviations from the set values as well as to archive the process parameters. In terms of the acquired data, the technological supervisors of the enterprise are able to assess the quality of welded products and the stability of the production process run.*

### **WSTĘP**

Każdy zakład produkcyjny stawia sobie za cel wytwarzania produktów o jak najlepszej jakości, co pozwala osiągnąć sukces na rynku, gdzie konkurencja jest bardzo duża. Wynika to z faktu, że z jakością wiąże się zarówno niezawodność, trwałość, funkcjonalność, jak i wygląd, czyli cechy produktu umożliwiające zaspokojenie potrzeb coraz to bardziej wymagającego konsumenta. Jakość produktu wpływa również bezpośrednio na postrzeganie i ocenę producenta, czyli na jego markę. Znaczenie jakości rośnie we wszystkich dziedzinach życia gospodarczego – a także nieodzownie łączy się z konkurencyjnością – i w efekcie najczęściej wiąże się ze wzrostem wymagań stawianych technologiom oraz procesom wytwarzania produktów. W procesach łączenia metali jakość wykonania połączenia jest również czynnikiem stanowiącym o konkurencyjności produktu. Zgrzewanie rezystancyjne to jedna z najczęściej stosowanych metod łączenia metali. Szerokie zastosowanie znajduje między innymi w przemyśle motoryzacyjnym, gdzie wykorzystuje się ją do wykonywania połączeń elementów karoserii samochodów (około 3-5 tys. zgrzein na samochód). Również w innych dziedzinach przemysłu zgrzewanie rezystancyjne wykorzystywane jest w procesie produkcji.

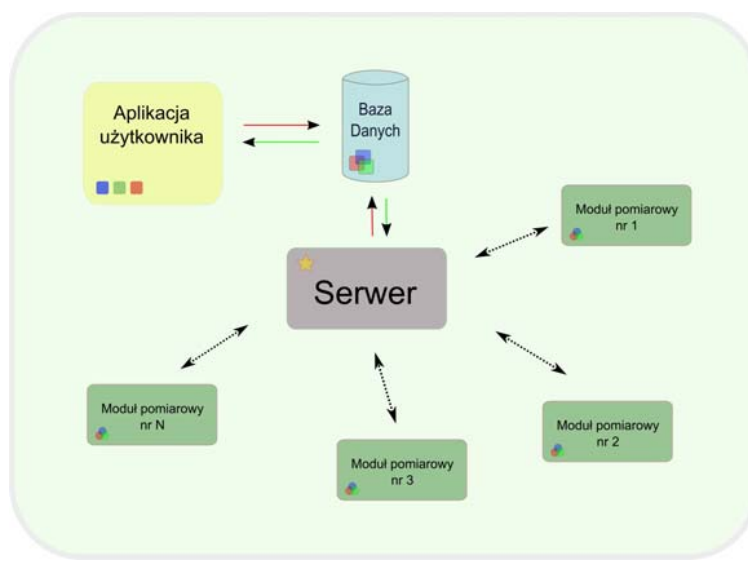
Połączenia zgrzewane także występują w miejscach, w których od jakości i solidności wykonania połączenia zależy bezpieczeństwo ludzi lub w miejscach, w których zniszczenie połączenia wiąże się z powstaniem sporych strat materialnych.

Postępująca automatyzacja oraz silna konkurencja na rynku zmusza do zwiększania wydajności produkcji przy zachowaniu, a niekiedy nawet wzroście, wymagań jakościowych. W efekcie czego w dużych zakładach produkcyjnych kontrola przebiegu procesu produkcji oparta na tradycyjnych metodach inspekcji jest mocno ograniczona, kosztowna oraz niemożliwa do prowadzenia w sposób ciągły. W takiej sytuacji prowadzi się wyrывkową kontrolę jakości wytwarzanych zgrzein w oparciu o metody niszczące. Okazało się jednak, że kontrola jakości wytwarzanych połączeń oparta na metodach niszczących, choć daje bardzo dobre wyniki w ocenie jakości zgrzeiny, ze względu na koszty, czasochłonność oraz ocenę tylko wybranego zbioru próbek nie nadaje się do kompleksowej oceny przebiegającego procesu produkcji. Badania te są tylko fragmentarycznym nośnikiem informacji o przebiegającym procesie i zwykle nie pozwalają na wychwycenie czynników losowo go zakłócających.

Dlatego też coraz częściej w nowoczesnych zakładach produkcyjnych sięga się po metody nieniszczące pozwalające na ocenę jakości wykonywanych połączeń zgrzewanych, wykorzystując do tego celu specjalistyczna aparaturę ultradźwiękowa lub systemy umożliwiające ciągłą kontrolę parametrów elektrycznych charakteryzujących proces zgrzewania, tj. przebieg natężenia prądu zgrzewania i napięcia na elektrodach zgrzewarki oraz ich pochodne – przebiegi rezystancji dynamicznej lub energii dostarczonej do zgrzeiny. W niektórych przypadkach stosuje się systemy pozwalające na ocenę jakości połączeń zgrzewanych oparte na statystycznych metodach analizy zmienności parametrów elektrycznych charakteryzujących proces zgrzewania, a także wykorzystuje się sieci neuronowe lub logikę rozmyta do oceny przebiegu procesu zgrzewania.

## OPIS SYSTEMU

W Instytucie Spawalnictwa od wielu lat prowadzi się badania i opracowuje przyrządy pomiarowe do monitorowania procesu zgrzewania rezystancyjnego. Opracowane przyrządy i systemy znajdują zastosowanie w zakładach przemysłowych, gdzie wykorzystuje się je zarówno do kontroli i oceny przebiegu procesu zgrzewania, jak i doboru jego parametrów. Jednym z nich jest wielostanowiskowy system akwizycji parametrów procesu zgrzewania rezystancyjnego, którego strukturę przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Struktura wielostanowiskowego systemu kontroli procesu zgrzewania

Wielostanowiskowy system kontroli procesu zgrzewania jest nowoczesnym systemem akwizycji danych o dwuwarstwowej architekturze typu klient-serwer. System zawiera moduły pomiarowe, których zadaniem jest gromadzenie i przesłanie informacji o przebiegu procesu zgrzewania do serwera. Oprogramowanie serwera dokonuje analizy i oceny przebiegu procesu, a następnie uzyskane informacje archiwizuje w bazie danych. W skład systemu wchodzi również aplikacja użytkownika będąca interfejsem pomiędzy personelem zarządzającym procesem produkcji a informacjami o przebiegu procesu zgromadzonymi w bazie danych.

Moduły pomiarowe stanowią część rozproszonego systemu pomiarowego i montowane są na każdej zgrzewarce objętej działaniem systemu nadzoru procesu zgrzewania. Automatycznie wykrywają rozpoczęcie procesu zgrzewania, rejestrują kluczowe z punktu widzenia oceny jakości wykonywanych złączy przebiegi elektryczne prądu i napięcia zgrzewania i za pomocą sieci komputerowej przesyłają je do serwera. Moduły pomiarowe opcjonalnie mogą również zawierać tor pomiarowy siły docisku elektrod.

Zadaniem serwera jest archiwizacja i ocena przebiegu procesu zgrzewania na podstawie przesłanych danych. Zaobserwowane przebiegi natężenia prądu oraz napięcia zgrzewania pozwalają na wyznaczenie wielkości pochodnych tj. rezystancji dynamicznej, mocy chwilowej a także energii dostarczonej do zgrzeiny, niezbędnych do oceny jakości wykonywanych złączy. Zastosowany algorytm oceny jakości opiera swoje działanie na statystycznej kontroli procesu zgrzewania.

Metody statystycznej oceny jakości produkcji są powszechnie stosowane w różnych dziedzinach przemysłu. Wykorzystuje się je do monitorowania wybranych parametrów procesu produkcji niosących informację o jego przebiegu. Przy tym najważniejsza jest ocena czy proces jest pod kontrolą (tzn. statystycznie stabilny, przewidywalny) – czy też występują czynniki, które go destabilizują i czynią nieprzewidywalnym, a ich wyeliminowanie prowadzić może do optymalizacji jego przebiegu.

Podstawą statystycznej analizy procesu jest określenie i zarazem zróżnicowanie przyczyn powodujących zmienność procesu. W rzeczywistości wyróżnić można dwie grupy czynników powodujących zmienność procesu: grupę czynników losowych powodujących niewielką zmienność procesu określaną mianem naturalnej zmienności procesu, oraz grupę czynników specjalnych powodujących znaczną zmienność procesu skutkującą pogorszeniem jego właściwości. Do pierwszej grupy zalicza się na ogół czynniki związane ze zmiennością warunków środowiskowych tj. zmianami ciśnienia, temperatury, wilgotności, drganiami, zmiennością sprzętu i urządzeń, zmianami stanu psychofizycznego operatorów, a także zmiennością sprzętu monitorującego proces. Kiedy tylko takie czynniki występują proces ocenia się jako statystycznie stabilny (będący pod kontrolą *ang. in-control*). Do drugiej grupy czynników zalicza się czynniki specjalne. Występowanie takich czynników na ogół jest łatwo zauważalne w postaci znaczących wahań parametrów procesu i problemów jakościowych. W takiej sytuacji proces określa się jako niestabilny, poza kontrolą (*ang. out-of-control*). Do czynników tych zalicza się niestabilność parametrów procesu zgrzewania (odchylenia od wartości nominalnej wartości prądu zgrzewania, siły docisku, czasów zgrzewania, programu zgrzewania), niestabilność pracy urządzeń i układów mechanicznych, zmiany parametrów materiałowych zgrzewanych elementów, zmiany charakterystyki i właściwości elektrod, problemy z dopasowaniem i położeniem elektrod. Niewłaściwie dobrana technologia (źle dobrane materiały konstrukcyjne, urządzenia, elektrody, parametry i programy zgrzewania) wynikająca na ogół ze zbyt niskich kwalifikacji personelu technicznego, zła organizacja pracy i procesu produkcji, częste manipulowanie oraz nieuzasadnione zmiany parametrów

zgrzewania, wszystko to powoduje powstanie zmienności i wahań w procesie zgrzewania objawiających się w postaci problemów jakościowych wytwarzanych złącz i znajduje swoje odzwierciedlenie w obserwowanych przebiegach. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów w oparciu o statystyczną analizę przebiegu procesu wyznacza się wskaźniki jakości dla każdej wykonanej zgrzeiny.

Personel zarządzający procesem produkcji ma do dyspozycji aplikację, której zadaniem jest wizualizacja przebiegającego procesu zgrzewania. Na rys. 2 przedstawiono interfejs graficzny aplikacji.



Rys. 2. Interfejs aplikacji użytkownika - przykładowy przebieg procesu zgrzewania

W oknie aplikacji na górnym wykresie przedstawiono zbiorczą charakterystykę kontrolowanego parametru, w tym przypadku przebiegu rezystancji dynamicznej. Linia ciągłą (kolor niebieski) oznaczono wybrany przebieg dla konkretnej zgrzeiny, natomiast tło stanowią wszystkie zmierzone wartości dla wybranego procesu (stanowiące realizację danego etapu wytwarzania dla wybranego produktu). Wykres dolny zawiera wartości wskaźnika jakości dla kolejnych zgrzein. Kolorem czerwonym oznaczono zgrzeiny zaklasyfikowane jako nieprawidłowe (występowanie czynników destabilizujących proces zgrzewania), natomiast kolorem zielonym zgrzeiny zaklasyfikowane jako prawidłowe (brak czynników destabilizujących – naturalna zmienność procesu).

Kontrola i ocena procesu zgrzewania za pomocą statystycznej kontroli procesu pozwala na wykrycie czynników destabilizujących przebieg procesu zgrzewania takich jak: zmiany warunków technologicznych i materiałowych, czy niestabilność pracy urządzeń sterujących i układów mechanicznych.

## PODSUMOWANIE

Zastosowanie wielostanowiskowego systemu akwizycji parametrów zgrzewania pozwala na kompleksową i ciągłą ocenę przebiegu procesu zgrzewania stosunkowo niewielkim kosztem. Takie rozwiązanie umożliwia realne ograniczenie ilości badań niszczących oraz automatyzację procesu oceny jakości, co ma ogromne znaczenie przy zwiększaniu wydajności

produkcji. Także możliwość oceny jakości w czasie rzeczywistym pozwala na natychmiastowe podjęcie działań w przypadku wystąpienia problemów jakościowych.

Metoda kontroli jakości połączeń przez pomiar parametrów elektrycznych zgrzewania na stałe przyjęła się w przemyśle. Wraz z rozwojem przemysłu w znacznym stopniu rozwijają się także urządzenia i systemy pomiarowe do kontroli procesu zgrzewania. W ślad za tym podąża i unowocześnia się oferta Instytutu Spawalnictwa w zakresie urządzeń do pomiarów i kontroli procesu zgrzewania rezystancyjnego.

## LITERATURA

- [1] Papkała H.: „Zgrzewanie oporowe metali”, Wydanie I, Wydawnictwo KaBe, Krosno, 2003.
- [2] Pancewicz A., Szebeszczyk T., Szubert L.: „Wielostanowiskowy system monitoringu parametrów procesu zgrzewania rezystancyjnego do zastosowania w przemyśle motoryzacyjnym”, Sprawozdanie z pracy badawczej ST-237, Instytut Spawalnictwa Gliwice 2006.
- [3] Lin Z., Yansonng Z.: „ Study on real-time measurement of nugget diameter for resistance spot welding using a neuro-fuzzy algorithm“, Instrumentation and Measurement Technology Conference, Como 2004.
- [4] Mintz D., Wen J. T.: „Process monitoring and control for robotic resistive welding”, New York State Center for Advanced Technology in Automation, Robotics and Manufacturing, IEEE New York 1995.
- [5] Powell H. J., Westgate S. A., Wierner K.: „A practical guide to process and quality control for resistance spot welding“, TWI Report from Core Research Programme, Cambridge 1996.
- [6] Matusiak J., Mikno Z., Papkała H., Pietras A., Rams B., Zadroga L.: „Opracowanie kryteriów technologicznych bieżącej kontroli jakości zgrzein i adaptacyjnego sterowania procesem zgrzewania rezystancyjnego”, Sprawozdanie z pracy badawczej ST-213, Instytut Spawalnictwa, Gliwice 2004.
- [7] Chien C. S., Kannatey-Asibu E.: „Investigation of monitoring systems for resistance spot welding“, The University of Michigan, Welding Journal 1999.
- [8] Oakland J. S.: „Statistical Process Control”, Wydanie V, Butterworth-Heinemann Oxford 2003.
- [9] Min J.: „Real time monitoring weld quality of resistance spot welding for the fabrication of sheet metal assemblies”, National Lien-Ho Institute of Technology and Commerce, Taiwan, Journal of Materials Processing Technology, Elsevier 2002.
- [10] Xin Z., Yansong Z.: „Research for ultrasonic fast identification of the stick weld defect”, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 2006.
- [11] Cook E. G., Maxwell J. E.: „Statistical weld process monitoring and interpretation”, Vanderbilt University, Nashville, IEEE 1994.