

Metodyka badań trwałości elektrod do zgrzewania oporowego punktowego z wykorzystaniem zmechanizowanego stanowiska pomiarowego

Life test methodology for resistance spot welding electrodes with the application of mechanized stand

Streszczenie

Żywotność elektrod do zgrzewania rezystancyjnego punktowego jest jednym z istotnych zagadnień technologicznych. Można ją ocenić na podstawie czasochłonnych i żmudnych badań trwałościowych. W artykule przedstawiono metodykę badań oraz wyniki przeprowadzonego testu porównawczego trwałości dwóch rodzajów elektrod, w którym wykorzystano zmechanizowane stanowisko testowe do tego celu, wydatnie skracające czas prowadzenia badań oraz eliminujące wiele niedogodności i niekorzystnych zjawisk w czasie stosowanej procedury.

Słowa kluczowe: zgrzewanie rezystancyjne punktowe, elektrody, test trwałości, stanowisko zmechanizowane

Abstract

Lifetime of electrodes for resistance spot welding is one of the most important technological issues. It can be assessed basing on time-consuming and arduous durability testing. The paper presents the electrode life test methodology and results of the comparative test of two types of electrodes. The new mechanized test stand was applied for this purpose which significantly shortened the tests' duration and eliminated a number of drawbacks and unfavorable phenomena in the course of the procedure.

Keywords: resistance spot welding, electrodes, life test, mechanized stand

Wstęp

Zwiększenie trwałości elektrod do zgrzewania rezystancyjnego punktowego jest jednym z istotnych zagadnień technologicznych, zwłaszcza w przypadku zgrzewania blach ocynkowanych, co ma miejsce m.in. w przemyśle motoryzacyjnym. Elektrody te powinny charakteryzować się odpowiednimi właściwościami, w szczególności wysoką przewodnością elektryczną i cieplną oraz dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi. Materiałem powszechnie stosowanym na elektrody są stopy miedzi z różnymi dodatkami niewielkich

zawartości chromu i cyrkonu, materiały kompozytowe Cu-Al₂O₃, a także stopy miedzi z wkładkami spieków na bazie wolframu [1]. Jednak wciąż prowadzone są dalsze badania w kierunku zwiększenia czasu pracy elektrod związane z opracowaniem materiałów o nowym składzie chemicznym, zmianą struktury znanych materiałów metodą obróbek cieplno-mechanicznych, a także modyfikacją powierzchni czoła elektrod przez nakładanie różnych powłok. Przydatność nowych rozwiązań jest weryfikowana w testach trwałości elektrod. Testy te mogą być także wykonywane jako jeden z aspektów określenia zgrzewalności danego materiału.

Mgr inż. Jan Godek, prof. dr hab. inż. Jacek Senkara – Politechnika Warszawska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: jangodek@gmail.com

Ocena żywotności elektrod do zgrzewania punktowego odbywa się na podstawie czasochłonnych i żmudnych badań trwałościowych. W niniejszej pracy przedstawiono metodykę badań oraz wyniki przeprowadzonego testu porównawczego trwałości dwóch rodzajów elektrod, w którym wykorzystano zmechanizowane stanowisko testowe, wydawnie ułatwiające prowadzenie badań oraz eliminujące liczne niedogodności i niekorzystne zjawiska podczas stosowanej procedury.

Trwałość elektrod

Zgrzewalność, podobnie jak spawalność czy lutowalność, należy do pojęć nie do końca sprecyzowanych i jednoznacznych. Abstrahując od sformułowań bardzo ogólnych (patrz [2]) czy też dyskusyjnych omówień, jakie można znaleźć w podręcznikach, zwłaszcza w odniesieniu do spawalności (różne definicje, rozbudowany podział, wskaźniki spawalności, modele), mówiąc o zgrzewalności materiałów metalicznych należy niewątpliwie rozważyć [3]:

- zdolność materiału do utworzenia pojedynczej zgrzeiny w danych warunkach;
- zdolność do tworzenia serii zgrzein;
- wytrzymałość zgrzeiny na planowane obciążenia zewnętrzne i ewentualnie inne wymagania dotyczące właściwości złącza zgrzewanego.

Biorąc to pod uwagę, na charakterystykę zgrzewalności materiału inżynierskiego składają się [3÷5]:

- wyznaczenie diagramów zgrzewania w układzie prąd zgrzewania – czas zgrzewania przy stałej sile docisku i/lub prąd zgrzewania – siła docisku (przy stałym czasie zgrzewania);
- test trwałości elektrod;
- określenie możliwości zastosowania przez badania wytrzymałości zgrzein na obciążenia statyczne, dynamiczne (udarowe) i zmęczeniowe, naprężenia termiczne, korozyjność i inne, w zależności od wymagań.

Takie podejście jest także zgodne z zaleceniami standardów amerykańskich [6].

Trwałość elektrod do zgrzewania punktowego stanowi się w zdolności do tworzenia serii zgrzein i stanowi ważną przesłankę, która powinna być rozważana przy wprowadzaniu nowych materiałów konstrukcyjnych, opracowywaniu nowych procesów technologicznych lub modyfikacji i optymalizacji już działających. Czas pracy elektrod zależy zarówno od ich charakterystyki, jak i materiału zgrzewanego oraz parametrów procesu [7, 8]. Spośród wielu czynników mających wpływ na trwałość elektrod do najważniejszych należą:

- materiał elektrod, jego skład chemiczny i struktura;
- geometria elektrod, a w szczególności ich średnica oraz promień zaokrąglenia powierzchni roboczej,
- stan powierzchni czoła elektrod;
- rodzaj materiału zgrzewanego i stan jego powierzchni;
- parametry zgrzewania (natężenie prądu zgrzewania,

czas zgrzewania, siła docisku, wielkość skoku roboczego elektrod, wydajność układu chłodzenia elektrod, prędkość zgrzewania);

- charakterystyka urządzenia do zgrzewania, w tym także rodzaj źródła zasilania;
- niedokładności geometrii układu (przesunięcia osi elektrod, odchylenia kątowe).

Przez trwałość elektrod należy rozumieć liczbę zgrzein, które można wykonać z wymaganą jakością jednym kompletem elektrod, do momentu kiedy wystąpi konieczność korekty/regeneracji ich powierzchni czołowej. Przyjmuje się, że elektrody są zużyte, gdy średnica zgrzeiny, zmierzona w badaniu na odrywanie, jest mniejsza niż $3,5\sqrt{g}$, gdzie g jest grubością blachy w mm [9]. PN-EN ISO 8166 dopuszcza także alternatywne kryteria oceny trwałości elektrod, jednak są one bardziej skomplikowane i czasochłonne. Zaliczyć do nich można zmniejszenie wytrzymałości zgrzeiny na ścinanie lub skręcanie, wystąpienie „przyklejania się” elektrod do zgrzewanego materiału, a także ocenę zglądów metalograficznych lub inne kryteria, np. wymagania estetyczne.

Procedura oceny trwałości elektrod

Zasady i warunki prowadzenia testów trwałości elektrod są ujęte w PN-EN ISO 8166. Zaleca się stosowanie zgrzewarek konwencjonalnych zasilanych prądem przemiennym o częstotliwości 50 lub 60 Hz. Ponieważ temperatura medium chłodzącego elektrody może istotnie wpływać na ich trwałość, zaleca się, aby temperatura wody chłodzącej była mierzona i stała w każdej serii badań. Jeżeli nie są badane skutki chłodzenia elektrod, wydatek wody chłodzącej ma wynosić co najmniej 4 l/min na każdą elektrodę przy zgrzewaniu blach niepowlekanych oraz 6 l/min przy zgrzewaniu blach powlekanych. Zaleca się, aby temperatura wody chłodzącej na wlocie nie była wyższa niż 20 °C, a jej temperatura na wylocie nie powinna przekraczać 30 °C. Układy chłodzenia górnej i dolnej elektrody mają być rozdzielone, a woda do ich chłodzenia nie powinna pochodzić z obwodów chłodzenia transformatora i tyrystorów zgrzewarki.

W zależności od celu badania, materiał elektrod oraz ich kształt i wymiary powinny być zgodne z wymaganiami odpowiednich norm ISO. Jeżeli nie określono inaczej, należy stosować proste elektrody do zgrzewania o wymiarach i tolerancjach określonych w ISO 5184, a w przypadku nasadek elektrodowych – w PN-EN ISO 5821. Doboru średnicy końcówki elektrody d należy dokonać w zależności od grubości zgrzewanej blachy, zgodnie ze wzorem:

$$d = 5\sqrt{g}$$

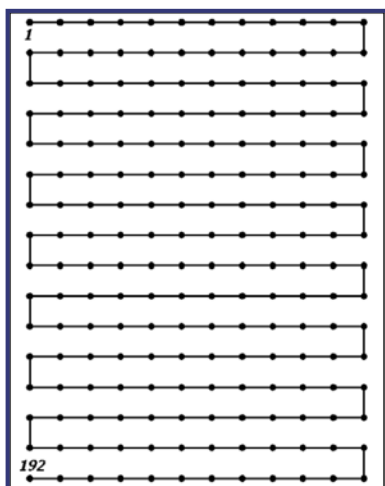
Podczas badań należy zapewnić dobrą współosiowość elektrody górnej i dolnej, w przeciwnym razie

zużycie elektrod będzie postępowało nierównomiernie i zbyt szybko. Prędkość zgrzewania powinna wynosić 50 zgrzein/min dla zgrzewarek stacjonarnych, 30 zgrzein/min przy zgrzewaniu zrobotyzowanym i 10 zgrzein/min dla zgrzewarek wielopunktowych.

Jak już wspomniano uprzednio, badania trwałości elektrod można prowadzić w celu określenia ich przydatności do zgrzewania określonego materiału lub też odwrotnie – charakteryzować w ten sposób jeden z aspektów zgrzewalności materiału rodzimego. W pierwszym przypadku, gdy przedmiotem badania nie jest materiał zgrzewany, norma szczegółowo określa jego rodzaj oraz grubość.

Przed przystąpieniem do badań trwałościowych należy tak dobrać parametry procesu, aby średnice pierwszych zgrzein były zbliżone do średnicy wyjściowej końcówki elektrody, która w przypadku elektrod lub nasadek o kształcie ściętego stożka wynosi $5\sqrt{g}$.

Na jeden cykl badań trwałości elektrod przypada 200 zgrzein. Pierwsze 192 zgrzeiny wykonuje się, zgrzewając dwa arkusze blachy o wymiarach co najmniej 350x470 mm. Należy zachować odległość zgrzein od krawędzi arkusza wynoszącą min. 10 mm i podziałkę (odległość środków sąsiadujących zgrzein) co najmniej 30 mm.



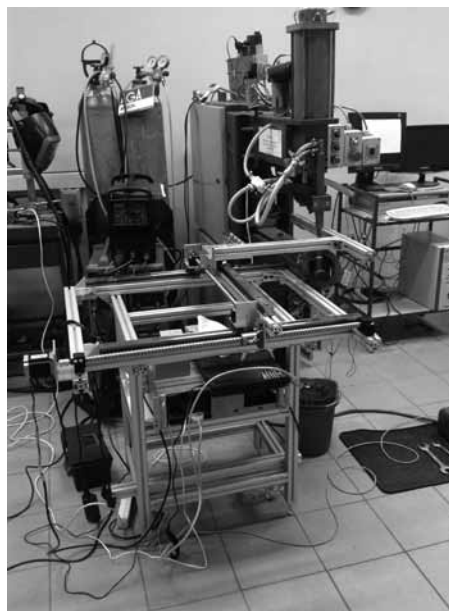
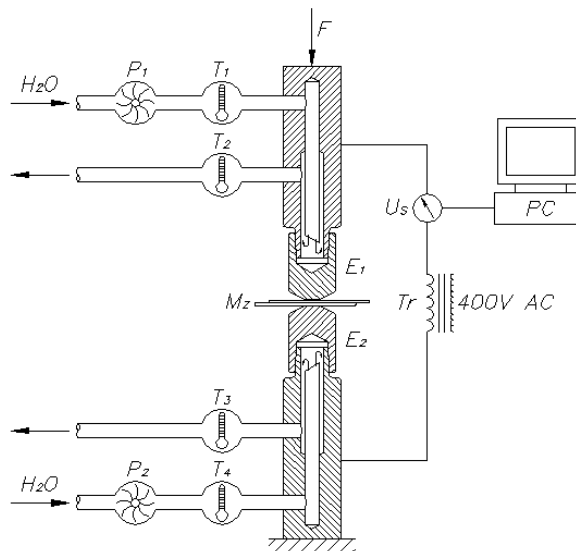
Rys. 1. Schemat rozmieszczenia i kolejność wykonywania zgrzein na arkuszu blachy o wymiarach 350x470 mm

Fig. 1. Schematic layout of welds over 350x470 mm sheet size and the order of their execution

Ostatnie 8 zgrzein cyklu przeznaczają się do testu odrywania i wykonuje się je, zgrzewając taśmy tych samych blach o wymiarach 30x250 mm. Opisane cykle po 200 zgrzeinach powtarzają się tak długo, aż testowane „ósemki” zgrzein przestaną spełniać przytoczone wcześniej kryteria jakościowe. Elektrody uznaje się wówczas za zużyte, a badanie za zakończone.

Aby określić wielkość rozrzutu, test trwałości należy wykonać na co najmniej trzech kompletach elektrod. Z tego względu należy dołożyć starań, aby poszczególne elektrody nie różniły się co do składu chemicznego, struktury i stanu powierzchni. Powinny one pochodzić z tej samej partii materiału i być wykonane za pomocą tej samej metody, np. kucia na zimno. Nie zaleca się czyszczenia powierzchni czoła elektrod podczas badania trwałości.

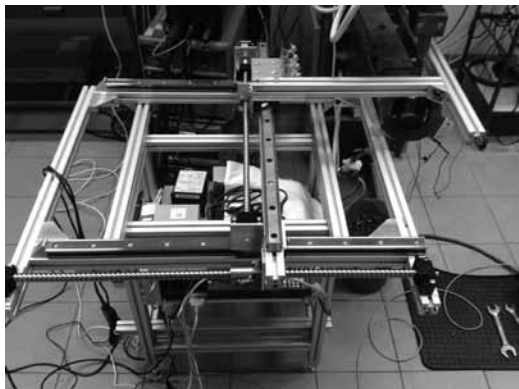
Z powodu konieczności wykonywania setek, a nawet tysięcy zgrzein, badania trwałości elektrod są długotrwałe i pracochłonne. Aby proces ten zoptymalizować, podjęto próbę jego mechanizacji. W Zakładzie Inżynierii Spajania Politechniki Warszawskiej, posiadającym zgrzewarkę punktową ZPf-40, zbudowano zmechanizowane stanowisko badawcze do pomiaru trwałości elektrod do zgrzewania oporowego (rys. 2). Oznaczenia na rysunku: P_1, P_2 – przepływomierze wody chłodzącej, T_1, T_2, T_3, T_4 – termometry wody chłodzącej, E_1, E_2 – badane elektrody, M_z – materiał zgrzewany, T_r – transformator mocy, U_s – układ sterowania zgrzewarki.



Rys. 2. Stanowisko do pomiaru trwałości elektrod do zgrzewania oporowego na bazie zgrzewarki ZPf-40 (oznaczenia w tekście)

Fig. 2. The stand on ZPf-40 welder basis for the resistance welding electrodes life test (explanations of symbols in the text)

Zgrzewarka została wyposażona w aparaturę pomiarową do kontroli parametrów zgrzewania zgodnie z PN-EN ISO 8166 oraz w dwuosiowy manipulator pełniący funkcję stołu ruchomego do przemieszczania zgrzewanych blach (rys. 3).



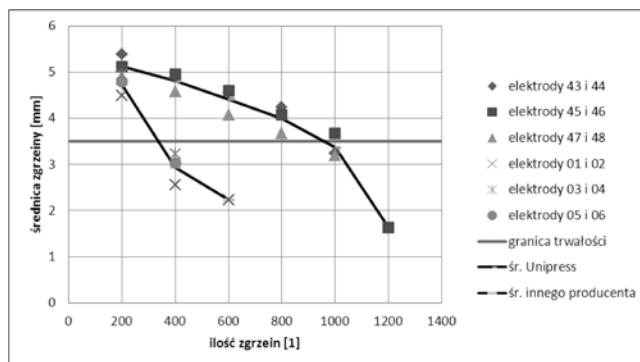
Rys. 3. X-Y ruchomy stół do przemieszczania zgrzewanych arkuszy blach
Fig. 3. X-Y moving table for the displacement of spot welded metal sheets

Ruchomy stół o zakresie ruchów 500x700 mm napędzany jest silnikami krokowymi sterowanymi komputerowo przez aplikację Mach3. Program w języku G steruje ruchami stołu po zadanej trajektorii (rys. 1). Układ sterowania zgrzewarki został sprzęgnięty z układem sterowania manipulatora, dzięki czemu usytuowanie zgrzein następuje ściśle w odpowiednich miejscach arkusza blachy.

Testowanie stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze zostało przetestowane podczas badań porównawczych trwałości elektrod wykonanych ze stopu CuCrZr produkcji jednej z czołowych firm światowych oraz elektrod wykonanych z podobnego materiału po specjalnej obróbce cieplno-mechanicznej w Instytucie

Wysokich Ciśnień Unipress PAN [10, 11]. Badaniom poddano po trzy komplety elektrod z każdego stopu, w sumie wykonano 4400 zgrzein. Materiałem zgrzewanym były blachy stalowe ocynkowane w gatunku DX51D+Z, o grubości 1 mm. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 4 w układzie współrzędnych: liczba wykonanych zgrzein – średnica zgrzeiny. Linia poziomą oznaczono próg minimalnej dopuszczalnej wielkości średnicy zgrzeiny ($d = 3,5\sqrt{g}$). Widoczne jest, że oba rodzaje elektrod zużywają się wraz z postępem testu trwałości – liczbą wykonanych zgrzein, których średnice stają się coraz mniejsze. Jednak zmniejszenie średnicy zgrzein poniżej dopuszczalnego poziomu nastąpiło znacznie później w przypadku elektrod produkcji IWC Unipress PAN.



Rys. 4. Wyniki badań porównawczych trwałości elektrod do zgrzewania punktowego. Elektrody 43+48 produkcji IWC PAN, elektrody 1+6 innego producenta

Fig. 4. The results of the comparative test of spot welding electrodes. Electrodes No 43+48 are of IWC PAN production, electrodes 1+6 came from another manufacturer

Podsumowanie

Zastosowanie zmechanizowanego stanowiska do badania trwałości elektrod do zgrzewania punktowego umożliwiło wydatne skrócenie czasu testów i eliminację uciążliwej, ręcznej obsługi. Ponadto przyczyniło się do eliminacji niekorzystnych czynników i zachowania ściśle powtarzalnych warunków podczas całego testu, co nie było możliwe przy ręcznym prowadzeniu badania: zachowania prostopadłości osi

elektrod względem zgrzewanych blach, identycznych odstępów między zgrzeinami, jednostajnej prędkości zgrzewania oraz usunięcia operatora ze strefy szkodliwego działania pola elektromagnetycznego.

Zmechanizowane testy trwałości elektrod wykazały swoją przydatność przez wychwycenie znaczącej różnicy pomiędzy zachowaniem się elektrod o jednakowym składzie chemicznym, ale zróżnicowanej strukturze, wytworzonych przez dwu różnych producentów.

Literatura

- [1] PN-EN ISO 5182 Materiały na elektrody i sprzęt pomocniczy.
- [2] PN -84/M-69005 Spawalnictwo. Spajanie metali. Terminologia.
- [3] EN ISO 18278-1:2004. Resistance welding – Weldability – Part 1: Assessment of weldability for resistance spot, seam and projection welding of metallic materials (od 31.05.2005 status PN).
- [4] EN ISO 18278-2:2004. Resistance welding – Weldability – Part 2: Alternative procedures for the assessment of sheet steels for spot welding (od 31.05.2005 status PN).
- [5] EN ISO 14327:2004. Resistance welding – Procedures for determining the weldability lobe for resistance spot, projection and seam welding (od 31.05.2005 status PN).

- [6] Resistance Welding Manual (4th Edition), Resistance Welder Manufacturers' Association (RWMA), Philadelphia 2003.
- [7] Zhang H., Senkara J.: Resistance welding. Fundamentals and applications. CRC Press, Taylor&Francis, Boca Raton (FLA), 2012.
- [8] Papkala H.: Zgrzewanie oporowe metali, Wyd. KaBe, Krosno 2003.
- [9] PN-EN ISO 8166 Procedura oceny trwałości elektrod do zgrzewania punktowego przy stałych nastawach maszyny.
- [10] Zyśk B., Kulczyk M., Lewandowska M., Kurzydłowski K.J.: Effect of heat treatment and hydrostatic extrusion on mechanical properties of CuCrZr alloy. Archives of Metallurgy and Materials 55, 2010.
- [11] Kulczyk M., Zyśk B., Lewandowska M., Kurzydłowski K.J.: Grai refinement i CuCrZr by SPD processing. Physica Status Solidi A207, 2010, 1136-1138.