

MIĘDZYNARODOWA **67.** KONFERENCJA SPAVALNICZA

Nowoczesne Spawalnictwo w dobie Energetyki Jądrowej

13-15
PAŹDZIERNIKA **2026**

/ Katowice



Łukasiewicz
Górnośląski
Instytut
Technologiczny



**MATERIAŁY
KONFERENCYJNE**

/ Patronat honorowy



Ministerstwo
Energii



Łukasiewicz
Centrum

/ Diamentowy Partner



/ Podczas Targów



www.git.lukasiewicz.gov.pl

Zespół Redakcyjny / Editorial Staff

Redaktor naczelny / Editor-in-Chief

dr hab. inż. Jarosław Marcisz

Redaktor merytoryczny / Content Editor

prof. dr hab. inż. Adam Zieliński

Zastępca redaktora naczelnego / Deputy Editor-in-Chief

dr hab. inż. Zygmunt Mikno

Nadzór wydawniczy / Publishing Supervision

dr Marzena Kraszewska

Sekretarz redakcji / Editorial Secretary

mgr Justyna Chalecka

Projekt graficzny / Graphic Design

mgr inż. arch. Aleksandra Dobrzańska-Sadowska

Skład / Typesetting

Dariusz Olszewski

Organizator / Organizer

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny

Centrum Spawalnictwa

Organizacja wydarzenia:

Dział Komercjalizacji i Marketingu

Wydawca / Publisher

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny

ul. Karola Miarki 12–14

44-100 Gliwice, Polska

tel. +48 32 23 45 205

e-mail: redakcja@git.lukasiewicz.gov.pl

© Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny, 2026

ISBN 978-83-69078-00-7

Wydanie elektroniczne

Gliwice 2026

Komitet Naukowy / Scientific Committee

prof. dr hab. inż. Janusz Adamiec / Politechnika Śląska
Marcin Alexy, PhD / Amada Weld Tech Corporation / Niemcy
prof. dr hab. inż. Tomasz Chmielewski / Politechnika Warszawska
Luca Costa, PhD / International Institute of Welding / Włochy
dr hab. inż. Dariusz Fydrych, prof. PG / Politechnika Gdańska
dr hab. inż. Dariusz Golański, prof. PW / Politechnika Warszawska
prof. dr hab. inż. Grzegorz Golański / Politechnika Częstochowska
dr hab. inż. Jacek Górka, prof. PŚ / Politechnika Śląska
dr inż. Barbara Juszczak / Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych
prof. Volodymyr Kulyk, DSc / Lviv Polytechnic National University / Ukraina
dr inż. Artur Lange / Politechnika Wrocławska
prof. Yongbing Li, PhD / Shanghai Jiao Tong University / Chiny
dr hab. inż. Aleksander Lisiecki, prof. PŚ / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
prof. dr hab. inż. Jerzy Łabanowski / Politechnika Gdańska
dr hab. inż. Leszek Łatka, prof. PWr / Politechnika Wrocławska
dr inż. Katarzyna Łuczak / Akademia Śląska Katowice
Fernando Mañas Arteché, PhD / Spanish Association of Welding and Joining Technologies (CESOL) / Hiszpania
dr hab. inż. Radosław Maruda, prof. UZ / Uniwersytet Zielonogórski
Erik Meiß, PhD / Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM / Niemcy
dr hab. inż. Marek Mróz, prof. PRz / Politechnika Rzeszowska
dr hab. inż. Paweł Pichniarczyk, prof. AGH / Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
dr hab. inż. Marek Roszak / Politechnika Śląska
mgr inż. Marek Saperski / BM Biuro Techniki Spawalniczej
dr hab. inż. Mariusz Stępień / Politechnika Śląska
dr hab. inż. Bożena Szczucka-Lasota, prof. PŚ / Politechnika Śląska
dr hab. inż. Jacek Tomków / Politechnika Gdańska
dr hab. inż. Andrzej Trytek, prof. PRz / Politechnika Rzeszowska
Pierre Tsafack, PhD / University of Buea / Kamerun
dr inż. Volodymyr Vira / Politechnika Lwowska / Ukraina
prof. dr hab. inż. Tomasz Węgrzyn / Politechnika Śląska
Yu-Jun Xia, PhD / Shanghai Jiao Tong University / Chiny
Wenqi Zhang, PhD / Swantec Software and Engineering ApS / Dania
dr inż. Michał Kubica / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
dr hab. inż. Jarosław Marcisz / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
dr inż. Jolanta Matusiak / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
dr hab. inż. Zygmunt Mikno / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
dr inż. Jerzy Niagaj / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
mgr inż. Wojciech Oborski / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
dr inż. Adam Pietras / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
dr inż. Hanna Purzyńska / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
prof. dr hab. inż. Jacek Stania / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
dr inż. Michał Urbańczyk / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
dr inż. Aleksandra Węglowska / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
prof. dr hab. inż. Adam Zieliński, Dyrektor Łukasiewicz – GIT / Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny

Drodzy Czytelnicy

Oddajemy w Państwa ręce **Materiały konferencyjne 67. Międzynarodowej Konferencji Spawalniczej „Nowoczesne spawalnictwo w dobie energetyki jądrowej”**, odbywającej się w dniach 13–15 października 2026 roku w Międzynarodowym Centrum Kongresowym w Katowicach.

Międzynarodowa Konferencja Spawalnicza należy do najstarszych i najbardziej rozpoznawalnych wydarzeń środowiska spawalniczego w Polsce. Jej tradycja sięga 1953 roku, kiedy odbyła się Pierwsza Ogólnopolska Narada Spawalnicza poświęcona kontroli robót spawalniczych. Kolejne edycje wydarzenia stworzyły trwałą przestrzeń wymiany wiedzy i doświadczeń pomiędzy przedstawicielami nauki, przemysłu oraz instytucji związanych z rozwojem technologii spawalniczych.

Tematyka 67. edycji Konferencji koncentruje się w szczególności na wyzwaniach związanych z energetyką jądrową, w tym wymaganiach dotyczących bezpieczeństwa, jakości, nadzoru spawalniczego oraz badań nieniszczących. Program obejmuje również nowoczesne technologie spawania, technologie zgrzewania i procesy pokrewne, technologie wykorzystujące skoncentrowaną wiązkę energii, zagadnienia dotyczące konstrukcji spawanych, szkolenia i certyfikację personelu oraz najnowsze kierunki rozwoju technologii łączenia materiałów.

Publikacja zawiera materiały przygotowane przez autorów wystąpień prezentowanych podczas Konferencji. Stanowią one syntetyczne ujęcie podejmowanych problemów badawczych, wyników prac naukowych i wdrożeń oraz doświadczeń związanych z praktycznym zastosowaniem współczesnych technologii spawalniczych.

Mamy nadzieję, że zgromadzone materiały będą wartościowym źródłem wiedzy oraz inspiracją do dalszej wymiany doświadczeń, współpracy naukowej i rozwoju rozwiązań odpowiadających na aktualne potrzeby przemysłu.

Zespół Redakcyjny

Informacja o publikacji

Materiały zostały przygotowane na potrzeby 67. Międzynarodowej Konferencji Spawalniczej i są publikowane w formie elektronicznej w celu zapewnienia szerokiego i łatwego dostępu do prezentowanych treści. **Publikacja zawiera skrócone opracowania przygotowane przez autorów wystąpień konferencyjnych.**

Aktualny program Konferencji dostępny jest na stronie internetowej Łukasiewicz – GIT:

[Program 67. Międzynarodowej Konferencji Spawalniczej](https://www.git.lukasiewicz.gov.pl)

Spis treści / Contents

Zespół Redakcyjny / Editorial Staff	2
Organizator / Organizer	2
Wydawca / Publisher	2
Komitety Naukowy / Scientific Committee	3
Drodzy Czytelnicy	4
Informacja o publikacji	4
Kwalifikacje personelu spawalniczego oraz NDT podczas budowy elektrowni jądrowych w Polsce Jerzy Niagaj	9
Doświadczenia ZKS FERRUM S.A. w przygotowaniu i realizacji projektów jądrowych Max Siemieniak	10
Doświadczenia w dostawie konstrukcji stalowych dla sektora jądrowego Mariusz Chmiest	11
Wymagania dotyczące badań nieniszczących (NDT) według przepisów ASME/ASNT dla branży jądrowej Jacek Kozłowski	12
Welding repairs at VVER nuclear power plants Marek Slováček, Igor Kostolný, Adam Hluzák, Peter Brziak	13
Spawanie różnoimienne stopów tytanu wiązką elektronów Piotr Śliwiński	14
Przemysłowe zastosowania technologii spawania wiązką elektronów Paweł Pogorzelski	15
Badanie zagrożenia promieniowaniem laserowym w przemysłowych procesach technologicznych Jacek Kubica	16
Zastosowanie ręcznych i zautomatyzowanych technologii laserowych w branży kolejowej Łukasz Bigus	17
Spawanie laserowe w próżni w zastosowaniach do energetyki Hubert Danielewski	18

Mechaniczna redukcja naprężeń i odkształceń spawalniczych w elementach ze stali konstrukcyjnych poprzez przekuwanie pneumatyczne o dużej częstotliwości	19
Jacek Górka	
Problemy i możliwości skutecznej oceny degradacji spawalniczych drutów proszkowych	20
Jerzy Łabanowski, Aleksandra Świerczyńska, Dariusz Fydrych	
Kalorymetry stosowane do oceny ilości ciepła i sprawności cieplnej procesów spajania	21
Andrzej Trytek	
Technologie wytwarzania przyrostowego WAAM	22
Aleksander Lisiecki, Mateusz Sowa, Michał Urbańczyk, Mikołaj Sas	
Nowe rozwiązania w lutowaniu materiałów różnoimiennych, stal austenityczna – miedź	23
Bożena Szczucka-Lasota, Tomasz Węgrzyn, Adam Jurek, Artur Labus, Patrycja Lasota	
Nowe rozwiązania materiałowe w lutowaniu regeneracyjnym alternatorów	24
Tomasz Węgrzyn, Bożena Szczucka-Lasota, Adam Jurek, Adam Döring, Patrycja Lasota	
Od jakości spoiny do trwałości powłoki – zależności pomiędzy ISO 5817, ISO 8501-3 i EN 1090	25
Santina Topolska	
Charakterystyka mikrostruktury doczołowych złączy rur z austenitycznej stali żaroodpornej	26
Lechośław Tuz	
Ocena integralności strukturalnej złączy spawanych stosowanych w gazociągach po naprawie	27
Iryna Balabanska, Michał Urbańczyk, Piotr Gotkowski, Mateusz Sowa Volodymyr Vira, Volodymyr Kulyk, Bohdan Vasylyv, Valentyna Vavrukh	
Wpływ parametrów wytwarzania i obróbki postprocesowej na właściwości zmęczeniowe połączeń FSW umacnianych wydzieleniowo stopów aluminium	28
Robert Kosturek	
Opracowanie technologii spawania plazmowego hybrydowego złączy doczołowych blach ze stali S700MC	29
Adam Termin, Marcin Adamiak, Andrzej Klimpel	
Wykrywalność nieciągłości spawalniczych z zastosowaniem radiografii analogowej i cyfrowej – analiza porównawcza	30
Łukasz Rawicki, Łukasz Janczarek, Dorota Koper, Marcin Marszał	
Praktyczne doświadczenia z wdrożeń technologii TIPTIG (zaawansowany TIG z dynamicznie podawanym, podgrzewanym drutem) w polskim przemyśle	31
Grzegorz Sosin	
Rola Łukasiewicz – GIT w kształceniu i merytorycznym nadzorze nad szkoleniami w Polsce	32
Katarzyna Hyc-Dadak, Robert Jachym	

Certyfikacja międzynarodowego personelu spawalniczego w świetle najnowszych przepisów Michał Kubica	33
Szkolenia NDT w Łukasiewicz – GIT Łukasz Rawicki	34
Nadzór spawalniczy w aspekcie norm i specyfikacji technicznych Cezary Kucaba	35
Nowe możliwości technologiczne w systemach monitorowania procesów spawania i pokrewnych Leszek Szubert, Piotr Skoczewski	36
Wpływ parametrów procesu zgrzewania tarcowego szybkoobrotowego (HSFW) na strukturę i właściwości mechaniczne złączy prętów stalowych Aleksandra Węglowska, Jacek Pietrzak, Damian Miara, Jolanta Matusiak	37
Zastosowanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w spawalnictwie Joanna Wyciślik-Sośnierz, Jolanta Matusiak, Kinga Michalak	38
Struktura i właściwości zakładkowych złączy FSW stopów aluminium z miedzią Damian Miara, Jacek Pietrzak, Jolanta Matusiak, Aleksandra Węglowska, Beata Rams	40
Klejenie jako metoda łączenia materiałów konstrukcyjnych Beata Rams, Kinga Michalak, Damian Miara	42
System elektromagnetycznego docisku w zgrzewaniu rezystancyjnym Zygmunt Mikno, Wiktor Czornik, Dominik Mikołajczyk, Mateusz Czechowski, Jan Zygadlewicz, Natan Siekierka, Mariusz Stępień	44
Evaluation of Projection Welded Joints Using Advanced Ultrasonic Technique Paweł Kustroń, Marcin Korzeniowski, Tomasz Piwowarczyk, Paweł Sokołowski, Tomasz Rządkosz, Ireneusz Wróbel, Wojciech Nowak	45
Inna skala, inne reguły: specyfika i fizyka procesu mikrozgrzewania oporowego Bartosz Apanasewicz, Marco Speth	46
Gdy wyłączniki automatyczne spotykają technologię zgrzewania – jak rozwój AI i centrów danych napędza zapotrzebowanie na rozwiązania zgrzewalnicze Marcin Alexy	47
Ocena zużycia elektrody: rola liczby zgrzein punktowych w degradacji materiału Rafał Dziurka, Sławomir Parzych, Wiktoria Zbyrad-Kolodziej, Monika Bochenek	49

ABSTRAKTY

Kwalifikacje personelu spawalniczego oraz NDT podczas budowy elektrowni jądrowych w Polsce

Jerzy Niagaj

ID 0009-0001-6831-1548

Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnoląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
jerzy.niagaj@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Na obecnym etapie przygotowań polskich firm z branży spawalniczej, jednym z najczęściej zadawanych pytań jest pytanie dotyczące wymagań w zakresie kwalifikacji personelu spawalniczego oraz badań NDT niezbędnych do realizacji zleceń dla przemysłu jądrowego. Odpowiedź na pytanie nie jest jednak łatwa przede wszystkim z dwóch powodów: po pierwsze wymagania do kwalifikacji personelu spawalniczego i NDT w przypadku realizacji prac dla branży jądrowej są uzależnione od poziomu bezpieczeństwa jądrowego urządzeń i systemów elektrowni jądrowej, a po drugie budowana na Pomorzu pierwsza wielkoskalowa elektrownia jądrowa będzie wznoszona w oparciu o projekt amerykańskiej firmy Westinghouse, co warunkuje stosowanie podczas projektowania i wytwarzania m.in. przepisów lub norm ASME, AWS i ASNT. Przepisy te są stosunkowo rzadko stosowane w praktyce przemysłowej na polskim rynku, a zatem wiedza dotycząca zawartych w nich wymagań nie jest szeroko rozpowszechniona. W referacie zostaną więc przedstawione podstawowe wymagania branży jądrowej i przepisów amerykańskich w zakresie kwalifikacji spawaczy i operatorów urządzeń spawalniczych oraz personelu badań NDT.

Słowa kluczowe: energetyka jądrowa, kwalifikacje spawaczy, badania nieniszczące, NDT, ASME, AWS, ASNT, bezpieczeństwo jądrowe

Doświadczenia ZKS FERRUM S.A. w przygotowaniu i realizacji projektów jądrowych

Max Siemieniak



ZKS FERRUM S.A., Polska

Korespondencja:

max.siemieniak@ferrumzks.eu

Streszczenie: Prezentacja przedstawia doświadczenia ZKS Ferrum S.A. w realizacji projektów dla sektora energetyki jądrowej oraz działania podjęte w celu dostosowania organizacji do wymagań projektów nuklearnych. Oparta jest na doświadczeniach zdobytych w wieloletniej współpracy z czołowymi światowymi dostawcami technologii energetycznych, obejmującej produkcję kluczowych komponentów dla wysp turbinowych elektrowni jądrowych realizowanych na rynkach europejskich, północnoamerykańskich i azjatyckich. Na podstawie doświadczeń zdobytych podczas realizacji kolejnych kontraktów w spółce zidentyfikowano szereg wyzwań wpływających na efektywność realizacji projektów. Dotyczyły one między innymi złożonych procesów komunikacyjnych, rozbudowanych wymagań jakościowych i spawalniczych, dużej liczby inspekcji prowadzonych na różnych etapach produkcji oraz trudności związanych z koordynacją działań pomiędzy klientem, nadzorem, biurem projektowym i produkcją.

W odpowiedzi wdrożono model organizacyjny oparty na dedykowanych zespołach projektowych, specjalistycznych procedurach dla projektów jądrowych, programach szkoleniowych oraz usprawnionej współpracy pomiędzy wszystkimi uczestnikami procesu. Wprowadzono również rozwiązania mające na celu zwiększenie efektywności nadzoru, inspekcji i zarządzania dokumentacją projektową. Przedstawione zostaną osiągnięte rezultaty obejmujące znaczącą poprawę terminowości dostaw, wzrost jakości wykonania, ograniczenie liczby niezgodności oraz rozwój kultury organizacyjnej ukierunkowanej na bezpieczeństwo, jakość i zrozumienie specyfiki projektów jądrowych. Wnioski płynące z tych doświadczeń mogą stanowić cenne wsparcie dla przedsiębiorstw przygotowujących się do udziału w rozwijającym się sektorze energetyki jądrowej w Polsce.

Słowa kluczowe: projekty jądrowe, zarządzanie projektami, jakość produkcji, komponenty energetyczne, kultura bezpieczeństwa, przemysł nuklearny

Doświadczenia w dostawie konstrukcji stalowych dla sektora jądrowego

Mariusz Chmiest



P.U.T. „Firmus” sp. z o.o., Polska

Korespondencja:
mariusz.chmiest@put-firmus.pl

Streszczenie: Referat przedstawia praktyczne doświadczenia przedsiębiorstwa PUT Firmus związane z realizacją konstrukcji stalowych dla sektora jądrowego, ze szczególnym uwzględnieniem dostaw dla projektu Hinkley Point C w Wielkiej Brytanii. Firma uczestniczyła w wykonaniu około 300 ton konstrukcji stalowych, obejmujących między innymi podesty, konstrukcje wsporcze oraz elementy wózków suwnicy „Polar Crane”.

Celem prezentacji jest wskazanie najważniejszych różnic pomiędzy realizacją typowych konstrukcji stalowych a produkcją przeznaczoną dla przemysłu jądrowego. Omówione zostaną wymagania dotyczące organizacji procesu produkcyjnego, kwalifikacji personelu, spawania, badań nieniszczących, identyfikowalności materiałów oraz dokumentacji jakościowej. Szczególna uwaga zostanie poświęcona konieczności wcześniejszego planowania kolejności wykonywania spoin i ich kontroli, opracowaniu map spawania oraz zapewnieniu możliwości przeprowadzenia wymaganych badań NDT na każdym etapie produkcji.

Przedstawione zostaną również doświadczenia związane z bardzo rozbudowanym zakresem kontroli jakości, wymaganiami klienta końcowego oraz zabezpieczeniami antykorozyjnymi, w tym wymaganiami dotyczącymi personelu posiadającego kwalifikacje ACQPA i FROSIO.

Referat ma charakter praktyczny i pokazuje, jakie przygotowanie organizacyjne, technologiczne i jakościowe jest niezbędne, aby skutecznie realizować konstrukcje stalowe dla sektora jądrowego.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, sektor jądrowy, Hinkley Point C, spawanie, identyfikowalność materiałów, kontrola jakości, NDT

Wymagania dotyczące badań nieniszczących (NDT) według przepisów ASME/ASNT dla branży jądrowej

Jacek Kozłowski



Przemysłowe Laboratorium Badawcze "TEST", Polska

Korespondencja:

jacek.kozlowski@test-plb.pl

Streszczenie: W ramach wystąpienia omówiono szeroko pojęte aspekty wykonywania badań nieniszczących w elektrowni jądrowej. O badaniach nieniszczących (NDT – Non-destructive Testing) mówimy wtedy, jeżeli w rezultacie wykonywanych badań/pomiarów struktura i cechy zewnętrzne badanych elementów nie ulegają zmianie. W prezentacji przedstawiono najważniejsze metody badań nieniszczących, takie jak radiograficzna (RT), ultradźwiękowa (UT), magnetyczno-proszkowa (MT), penetracyjna (PT), wizualna (VT) oraz ich zastosowanie w badaniach w energetyce jądrowej. Omówiono zasady wyboru odpowiedniej metody badawczej i czynniki umożliwiające wykrywanie i identyfikację niezgodności oraz powody stosowania określonych metod badawczych w zależności od możliwości i potrzeb. Poruszony został również problem wymaganych kwalifikacji personelu upoważnionego do prowadzenia tego rodzaju badań i wymagań certyfikacyjnych. Omówiono także zagadnienia możliwości wykorzystania personelu certyfikowanego zgodnie z wymaganiami PN EN ISO 9712 i sprecyzowano, dlaczego nie sprawdza się to w warunkach przepisów stosowanych w badaniach w elektrowni jądrowej i dlaczego można w tym przypadku wykorzystywać tę certyfikację tylko fragmentarycznie (szkolenie oraz doświadczenie). Omówione również zostały wymagania normatywne (ASME oraz AWS) dotyczące budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce oraz prowadzenia badań NDT. Ze względu na wykonawcę pierwszej polskiej elektrowni jądrowej (Westinghouse) odwołania przywołane w prezentacji odnoszą się do wymagań przepisów amerykańskich.

Słowa kluczowe: NDT, ASME, ASNT, certyfikacja personelu, radiografia, ultradźwięki, energetyka jądrowa

Welding repairs at VVER nuclear power plants

Marek Slovák

 0009-0003-8624-200X

Igor Kostolný

 0000-0003-4692-0198

Adam Hluzák

 -

Peter Brziak

 0000-0001-6449-2305

Welding Research Institute, Słowacja

Korespondencja:
slovacek@fme.vutbr.cz

Streszczenie: Welding and particularly weld repair in the field of nuclear power plants is a highly demanded complex activity. It involves the use of alloyed heat-resistant and corrosion-resistant materials, a lot of heterogeneous joints, and large wall thicknesses. Repairs on nuclear power plant equipment are very complicated by severely restricted access; in most cases, preheating or local post-weld heat treatment (PWHT) cannot be used and it has to be implemented of alternative repair technologies. The Welding Research Institute (VUZ) Bratislava is very active in developing and executing of weld repairs, as well as primary welding fabrication, for the nuclear power sector. This article and presentation provide a summary of repair methods developed and executed by VUZ Bratislava at VVER-type nuclear power plants. The focus is primarily on the following repairs: heterogeneous joints of the steam generator emergency feedwater system, the diffuser of the main coolant pump, the reactor pressure vessel and main flange parting line, the replacement and repair of control rod drive mechanism (CRDM) nozzles and the modification of the high-pressure feedwater heater. A brief overview of the repairs will be presented, including a description of the repair technology and preparatory activities, such as testimonial specimens, destructive and non-destructive testing, and numerical simulations. Furthermore, specially developed equipment, including both welding and machining devices, will be described.

Stowa kluczowe: weld repairs, VVER reactors, nuclear power plants, heterogeneous joints, repair technologies, non-destructive testing, PWHT

Spawanie różnoimienne stopów tytanu wiązką elektronów

Piotr Śliwiński

ID 0000-0002-7496-8458

Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnoląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
piotr.sliwinski@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Tematem pracy jest ocena możliwości wykonywania złączy różnoimennych stopów tytanu z innymi materiałami konstrukcyjnymi przy użyciu wiązki elektronów. Szczególną uwagę poświęcono łączeniu tytanu ze stalami oraz tytanu z aluminium, które ze względu na znaczne różnice temperatury topnienia, przewodności cieplnej i rozszerzalności cieplnej oraz skłonność do tworzenia kruchych faz międzymetalicznych stanowi istotne wyzwanie technologiczne. Omówiono badania przeprowadzone z wykorzystaniem urządzenia do spawania wiązką elektronów w próżni. Złącza blach z tytanu Grade 2, stali 1.4301 i stopu aluminium Al6082 wykonywano w konfiguracji doczołowej, stosując trzy warianty procesu: spawanie z przesunięciem wiązki względem osi złącza, lutowanie przez przetapianie wyłącznie strony aluminiowej oraz lutowanie z materiałem dodatkowym zarówno dla stali jak i aluminium. Przedstawiono zastosowanie dynamicznego odchyłania i oscylacji wiązki elektronów w celu precyzyjnego sterowania udziałem łączonych materiałów. Zaprezentowano wyniki badań metalograficznych, analizy mikrostruktury i składu chemicznego metodą SEM/EDS, wyniki pomiarów twardości oraz statycznej próby rozciągania. Omówiono wpływ sposobu prowadzenia wiązki, stopnia nadtopienia tytanu oraz zastosowania materiału dodatkowego na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne złączy. Przedstawione wyniki pozwalają ocenić możliwości wykorzystania wiązki elektronów do wytwarzania złączy różnoimennych z udziałem stopów tytanu oraz wskazać kierunki optymalizacji procesu, prowadzące do ograniczenia powstawania kruchych faz międzymetalicznych i uzyskania połączeń o korzystnych właściwościach użytkowych.

Słowa kluczowe: wiązka elektronów, stopy tytanu, złącza różnoimienne, lutowanie, SEM/EDS, właściwości mechaniczne

Przemysłowe zastosowania technologii spawania wiązką elektronów

Paweł Pogorzelski

ID 0009-0000-6944-9701

Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
pawel.pogorzelski@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Spawanie wiązką elektronów (Electron Beam Welding, EBW) jest zaawansowaną technologią łączenia materiałów, wykorzystującą skupioną wiązkę elektronów o wysokiej energii. Proces realizowany w warunkach próżni umożliwia uzyskanie złączy o wysokiej czystości metalurgicznej, dużej głębokości wtopienia oraz wąskiej strefie wpływu ciepła, co pozwala ograniczyć odkształcenia i zachować wysoką jakość połączeń nawet w przypadku elementów o znacznych grubościach.

W referacie przedstawione zostaną możliwości technologiczne spawania wiązką elektronów oraz przykłady jego zastosowania w przemyśle. Omówione zostaną zagadnienia związane ze spawalnością wybranych grup materiałów, takich jak stale wysokowytrzymałe, stopy aluminium, tytanu, tantalu i molibdenu, a także możliwości wykonywania połączeń materiałów różniamiennych. Zaprezentowane zostaną również przykłady wykorzystania odchylania wiązki elektronów do kształtowania rozkładu energii oraz wpływu procesu na właściwości użytkowe obrabianych elementów.

Przedstawione realizacje wykonane w Centrum Spawalnictwa Łukasiewicz – Górnośląskiego Instytutu Technologicznego obejmują zarówno spawanie materiałów jedno- i różniamiennych, jak również procesy obróbki powierzchniowej, w tym hartowanie wiązką elektronów. Celem referatu jest przedstawienie potencjału technologii EBW jako nowoczesnego narzędzia wspierającego rozwój zaawansowanych rozwiązań produkcyjnych w sektorach o wysokich wymaganiach jakościowych i technologicznych.

Słowa kluczowe: EBW, spawanie wiązką elektronów, stale wysokowytrzymałe, materiały różniamiennne, obróbka powierzchniowa, przemysł zaawansowany

Badanie zagrożenia promieniowaniem laserowym w przemysłowych procesach technologicznych

Jacek Kubica

ID 0000-0001-6636-7372

Centralny Instytut Ochrony Pracy -
Państwowy Instytut Badawczy, Polska

Korespondencja:
jakub@ciop.pl

Streszczenie: Rozwój i coraz szersze zastosowanie technologii laserowych w przemyśle wiążą się z koniecznością właściwej identyfikacji i oceny zagrożeń związanych z promieniowaniem laserowym. W referacie przedstawiono zagadnienia dotyczące oceny zagrożenia promieniowaniem laserowym w rzeczywistych warunkach przemysłowych procesów technologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem promieniowania odbitego i rozproszonego. Omówiono podstawowe wymagania dotyczące bezpieczeństwa pracy wynikające z obowiązujących przepisów oraz norm odnoszących się do bezpieczeństwa urządzeń laserowych i ochrony pracowników. Przedstawiono zasady oceny poziomu zagrożenia w odniesieniu do wartości maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE) oraz znaczenie pomiarów parametrów promieniowania w ocenie bezpieczeństwa na stanowiskach pracy. Szczególną uwagę zwrócono na ograniczenia stosowanych systemów pomiarowych oraz wpływ czynników występujących w środowisku przemysłowym na wiarygodność wyników pomiarów. Wspomniano o takich czynnikach, jak niejednorodność powierzchni materiału, zmienność współczynnika odbicia, zmiany położenia głowicy laserowej, a także obecność dymów i cząstek powstających podczas procesów technologicznych. Przedstawiono również przykładowe widma promieniowania optycznego obserwowanego w rzeczywistych warunkach procesów technologicznych, wskazując na obecność promieniowania w zakresie widzialnym pochodzącego od plazmy. Zwrócono uwagę na konieczność rozróżnienia promieniowania laserowego od promieniowania generowanego przez plazmę oraz jego eliminacji z wyników pomiarów w celu właściwej oceny zagrożenia promieniowaniem laserowym. Zaproponowano rozwiązania techniczne umożliwiające ograniczenie wpływu promieniowania pochodzącego od plazmy na wyniki pomiarów, w tym zastosowanie odpowiednio dobranych filtrów absorpcyjnych.

Słowa kluczowe: promieniowanie laserowe, bezpieczeństwo pracy, MDE, pomiary optyczne, promieniowanie rozproszone, stanowiska przemysłowe

Zastosowanie ręcznych i zautomatyzowanych technologii laserowych w branży kolejowej

Łukasz Bigus



KD LaserWeld & Technology, Polska

Korespondencja:

l.bigus@kdaserweld.com

Streszczenie: W branży kolejowej, w aplikacjach spawania poszycia pojazdów wagonowych coraz większą popularność zyskują procesy spawania laserowego, szczególnie dynamicznie rozwija się w tym zastosowaniu proces ręcznego spawania laserowego. W teorii, oraz na podstawie licznie prezentowanych materiałów reklamowych, jest to proces prosty, nie wymagający dużej ilości wiedzy i doświadczenia, a także łatwy do wdrożenia. Jednak pomimo pozornie prostego procesu, wiele zagadnień wymaga szczegółowej analizy w celu wykluczenia niezgodności spawalniczych i spełnienia wymagań normy PN-EN 15085-2. Ważnym zagadnieniem jest również certyfikacja personelu oraz uznanie technologii wg obowiązujących norm. Poza elementami ścian pojazdów kolejowych ręczne procesy laserowe stosowane są do spawania wielu innych elementów składowych m.in. zbiorników, elementów konstrukcji czy elementów ozdobnych/wykończeniowych. Procesy mają zastosowanie zarówno na etapie produkcji, jak i do napraw czy regeneracji elementów, po odpowiednim przygotowaniu w przypadku np. zakładów naprawczych taboru kolejowego.

Dla zautomatyzowanych procesów, największe wyzwanie stanowi gabaryt elementów cienkościennych, który znacząco utrudnia przygotowanie odpowiedniego oprzyrządowania oraz sposobów kontroli i utrzymania takich kluczowych parametrów jak odpowiednia szczelina spawalnicza, równoległość powierzchni spawanych oraz krawędzi łączonych elementów.

W wystąpieniu chcemy przybliżyć kilka przykładów dotyczących konkretnych aplikacji dla branży kolejowej w zakresie spawania ręcznego dla, których przeprowadziliśmy uznanie technologii spawalniczych oraz system zautomatyzowany dla czołowego polskiego producenta taboru kolejowego, w którego budowie bierzemy udział.

Słowa kluczowe: spawanie laserowe, kolejnictwo, PN-EN 15085, automatyzacja, certyfikacja technologii, tabor kolejowy

Spawanie laserowe w próżni w zastosowaniach do energetyki

Hubert Danielewski

ID 0000-0003-4675-6236

Politechnika Świętokrzyska, Polska

Korespondencja:

hdanielewski@tu.kielce.pl

Streszczenie: Współczesny sektor energetyczny, w tym dynamicznie rozwijająca się energetyka jądrowa, stawia rygorystyczne wymagania w odniesieniu do poziomu jakości oraz niezawodności wykonywanych połączeń spawanych. Tradycyjne metody łukowe oraz spawanie laserowe w atmosferze ochronnej często okazują się niewystarczające przy łączeniu grubościennych komponentów ze stali wysokostopowych, cyrkonu czy stopów niklu. Technologie spawania wiązkowego w próżni, zarówno spawanie elektronowe jak i laserowe umożliwiają wykonanie powtarzalnych połączeń wolnych od porowatości, przyklejeń i podtopień. Odpowiednio dobrane parametry spawania wraz z wykonaniem złącza w środowisku, które gwarantuje brak niezgodności spawalniczych jest kluczowe zwłaszcza dla branży energetycznej i jądrowej.

Omawiane spawanie laserowe w zredukowanym ciśnieniu poprawia sprawność samego procesu, jednocześnie gwarantuje ochronę obszaru spawania oraz redukuje odkształcenia konstrukcji w związku z osiąganym poziomem gęstości mocy stosowanego źródła ciepła w postaci wiązki laserowej.

W przypadku aplikacji energetycznych przedstawione zostaną wybrane przykłady dotyczące spawania korpusów reaktorów, zbiorników ciśnieniowych oraz elementów paliwowych. Przedstawione będą możliwości zastosowania technologii spawania laserowego w próżni w kontekście systemów z lokalną próżnią. Wyniki badań potwierdzają, że technologia ta stanowi bezpieczną i wysoce efektywną alternatywę dla dotychczasowych metod wytwarzania kluczowych komponentów elektrowni jądrowych nowej generacji. Rozwój nowoczesnych technologii spawalniczych w tym laserowych jest kluczowy w kontekście kreowania nowoczesnej gospodarki opartej na wiedzy.

Słowa kluczowe: spawanie laserowe, próżnia, energetyka, zaawansowane technologie spajania, jakość złączy, procesy specjalne

Mechaniczna redukcja naprężeń i odkształceń spawalniczych w elementach ze stali konstrukcyjnych poprzez przekuwanie pneumatyczne o dużej częstotliwości

Jacek Górka

ID 0000-0001-7838-3636

Politechnika Śląska, Polska

Korespondencja:
jacek.gorka@polsl.pl

Streszczenie: Celem badań była analiza wpływu pospawalniczej obróbki (wyżarzanie odprężające, przekuwanie pneumatyczne) na własności złączy doczołowych i teowych ze stali konstrukcyjnych: S235, S355, S460NL, S690QL, S960QL spawanych z wykorzystaniem podkładki ceramicznej na stanowisku zrobotyzowanym metodą 135 (MAG) oraz określenie wpływu przekuwania i obróbki cieplnej na poziom naprężeń i odkształceń pospawalniczych. Analiza ta oparta została na porównaniu trzech złączy doczołowych w stanie po spawaniu, z przekuwaniem każdego ze ściegów oraz z przeprowadzoną obróbką cieplną – wyżarzanie odprężające. Przekuwanie o wysokiej częstotliwości (90 Hz) każdego wykonanego ściegu miało na celu zmniejszenie naprężeń i odkształceń w złączu spawanym poprzez wprowadzenie do niego naprężeń ściskających. Został do tego wykorzystany młot pneumatyczny Weld Line 10 firmy PITEC GmbH. Poza badaniami wymaganymi przez normę EN ISO 15614-1 wykonane zostały badania metalograficzne mikroskopowe oraz pomiary naprężeń z wykorzystaniem efektu Barkhausena w oparciu o procedurę badawczą dostawcy technologii – Firmę NNT oraz badania XRD. Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie przekuwania o wysokiej częstotliwości po wykonaniu każdego ściegu nie wpłynęło na negatywny wynik wszystkich z wymaganych badań podczas kwalifikowania technologii spawania w porównaniu do płyt próbnych w stanie po spawaniu i po obróbce cieplnej – wyżarzanie odprężające. Przekuwanie międzyściegowe łożysk spoiny i SWC spowodowało redukcję odkształceń i naprężeń po spawaniu w odległości 15 mm od osi złącza w porównaniu do wyniku pomiaru naprężeń dla próbki w stanie po spawaniu. Pozwala to na pozytywną ocenę przekuwania w kontekście redukcji karbu jakim jest koncentracja naprężeń rozciągających w obszarze linii wtopienia i SWC. Obróbka cieplna - wyżarzanie odprężające spowodowała praktycznie całkowitą redukcję naprężeń pozostających powstałych w wyniku procesu spawania.

Słowa kluczowe: naprężenia spawalnicze, odkształcenia, przekuwanie pneumatyczne, wyżarzanie odprężające, efekt Barkhausena, stal konstrukcyjna

Problemy i możliwości skutecznej oceny degradacji spawalniczych drutów proszkowych

Jerzy Łabanowski

ID 0000-0003-3094-4101

Aleksandra Świerczyńska

ID 0000-0003-4033-7962

Dariusz Fydrych

ID 0000-0002-2557-8568

Politechnika Gdańska, Polska

Korespondencja:

aleksandra.swierczynska@pg.edu.pl

Streszczenie: Stan drutów proszkowych jest istotnym czynnikiem wpływającym na stabilność procesu spawania, właściwości stopiwa oraz jakość złączy spawanych. Degradacja materiałów dodatkowych może zachodzić w wyniku niewłaściwych warunków przechowywania, oddziaływania wilgoci, temperatury i zanieczyszczeń, a także podczas ich transportu, przewijania i użytkowania. Skuteczna ocena stopnia degradacji stanowi istotne wyzwanie, ponieważ zmiany zachodzące na powierzchni drutu nie zawsze pozwalają jednoznacznie określić jego przydatność do dalszego zastosowania. W badaniach uwzględniono ocenę wizualną i mikroskopową powierzchni drutów, pomiary rezystancji elektrycznej oraz ocenę wybranych właściwości mechanicznych i fizycznych. Analizowano również podatność drutu na podawanie, stabilność procesu spawania oraz pomiary zawartości wodoru dyfundującego w stopiwie. Uzyskane wyniki wskazują, że pojedyncza metoda badawcza może być niewystarczająca do jednoznacznej oceny stopnia degradacji. Szczególne znaczenie ma korelacja zmian właściwości powierzchniowych, elektrycznych i technologicznych drutu z jego zachowaniem podczas spawania. Kompleksowe podejście do oceny może zwiększyć wiarygodność kwalifikacji materiałów dodatkowych, ograniczyć nieuzasadnione wycofywanie drutów oraz zmniejszyć ilość odpadów i koszty procesu.

Słowa kluczowe: druty proszkowe, degradacja materiałów, wodór dyfundujący, stabilność procesu, materiały dodatkowe, spawalność

Kalorymetry stosowane do oceny ilości ciepła i sprawności cieplnej procesów spajania

Andrzej Trytek

 0000-0001-5981-8892

Politechnika Rzeszowska, Polska

Korespondencja:
trytek@prz.edu.pl

Streszczenie: Rozwój poszczególnych metod spajania oraz hybrydowych procesów spawalniczych stawia badaczy przed koniecznością wyboru metodyki do oceny sprawności cieplnej, a co za tym idzie odpowiedniego kalorymetru spawalniczego. W związku z tym podjęto próbę oceny kalorymetrów spawalniczych stosowanych od połowy XX wieku. Opracowanie stanowi kompleksowe podsumowanie możliwości badawczych kalorymetrów stosowanych w procesach spawania i zgrzewania. Dokonano syntetycznego przeglądu kalorymetrów oceniając ich konstrukcję, możliwości badawcze oraz zastosowanie.

Przeprowadzony przegląd oraz analiza poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych pozwoliły na pogrupowanie i klasyfikację kalorymetrów spawalniczych. Analizowane kalorymetry podzielono według ich konstrukcji, metodyki pomiaru oraz ich cech funkcjonalnych i użytkowych. Zaproponowano klasyfikację kalorymetrów spawalniczych oraz opracowano ich schematy koncepcyjne.

Przedstawiona analiza kalorymetrów pozwala na szybki wybór odpowiedniej metodyki do oceny ilości ciepła i badań sprawności cieplnej procesów spajania.

Słowa kluczowe: kalorymetria spawalnicza, sprawność cieplna, energia liniowa, procesy spawania, metrologia, badania procesów

Technologie wytwarzania przyrostowego WAAM

Aleksander Lisiecki¹

ID 0000-0002-2003-7092

Mateusz Sowa¹

ID 0009-0002-4431-2674

Michał Urbańczyk¹

ID 0000-0001-8015-3338

Mikołaj Sas

ID -

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
aleksander.lisiecki@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Technologie wytwarzania przyrostowego WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) należą do najbardziej perspektywicznych metod produkcji wielkogabarytowych elementów metalowych. Ich głównymi zaletami są wysoka wydajność nanoszenia materiału, stosunkowo niski koszt wyposażenia oraz możliwość wytwarzania elementów o złożonych kształtach. Jednocześnie istotnym ograniczeniem procesu WAAM pozostaje kumulacja ciepła w kolejnych warstwach materiału, prowadząca do zmian geometrii wyrobu, pogorszenia jakości powierzchni oraz niejednorodności strukturalnych i właściwości mechanicznych.

Celem badań było określenie wpływu wymuszonego chłodzenia strumieniem powietrza na przebieg zrobotyzowanego procesu WAAM oraz na właściwości wytworzonych elementów. Badania przeprowadzono na stanowisku wyposażonym w robota spawalniczego Panasonic TAWERS. Materiał dodatkowy stanowił drut rdzeniowy z rdzeniem metalicznym STEIN MEGAFIL 1100, natomiast chłodzenie realizowano za pomocą strumienia sprężonego powietrza skierowanego na ściankę wytwarzanego elementu. Analizę warunków cieplnych przeprowadzono z wykorzystaniem kamery termowizyjnej oraz pomiarów kontaktowych temperatury. Ponadto wykonano badania wizualne, makroskopowe, mikroskopowe oraz pomiary twardości metodą Vickersa.

Uzyskane wyniki wykazały, że zastosowanie wymuszonego chłodzenia istotnie ogranicza akumulację ciepła podczas procesu, prowadząc do bardziej równomiernego rozkładu temperatur na przekroju ścianki. W konsekwencji uzyskano poprawę dokładności geometrycznej ścian, ograniczenie deformacji oraz zmniejszenie liczby niezgodności materiałowych. Badania mikrostrukturalne wykazały bardziej jednorodną i drobnoziarnistą strukturę materiału, natomiast pomiary twardości wykazały bardziej równomierny rozkład twardości na przekroju poprzecznym ścianki. Wyniki badań wskazują, że wymuszone (aktywne) chłodzenie stanowi skuteczne narzędzie stabilizacji procesu WAAM i może przyczynić się do zwiększenia produktywności oraz jakości przemysłowego wytwarzania przyrostowego elementów metalowych.

Słowa kluczowe: WAAM, wytwarzanie przyrostowe, chłodzenie aktywne, robotyzacja, mikrostruktura, druk 3D metali

Nowe rozwiązania w lutowaniu materiałów różnoimiennych, stal austenityczna – miedź

Bożena Szczucka-Lasota¹

 0000-0003-3312-1864

Tomasz Węgrzyn¹

 0000-0003-2296-1032

Adam Jurek¹

 0000-0002-9552-0062

Artur Labus²

 0009-0008-8330-0936

Patrycja Lasota¹

 0009-0005-8536-5539

¹ Politechnika Śląska, Polska

² TÜV SÜD Polska Sp. z o.o., Warszawa

Korespondencja:

bozena.szczucka-lasota@polsl.pl

Streszczenie: Układy chłodzenia stosowane w lokomotywach pracują w warunkach znacznych obciążeń cieplnych i mechanicznych, dlatego ich elementy powinny charakteryzować się wysoką trwałością oraz niezawodnością połączeń. W przypadku elementów wykonanych z miedzi i stali austenitycznej szczególnego znaczenia nabiera dobór odpowiedniej technologii łączenia, umożliwiającej uzyskanie trwałego złącza przy ograniczeniu niekorzystnych zjawisk zachodzących w strefie połączenia.

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu lutowania miedzi i stali austenitycznej z zastosowaniem drutów elektrodowych na bazie miedzi, zawierających dodatki stopowe, takie jak Sn, Al oraz Si. Oceniono właściwości mechaniczne uzyskanych złączy oraz przeprowadzono analizę ich mikrostruktury z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej i skaningowej mikroskopii elektronowej. Wytrzymałość uzyskanych złączy osiągała poziom około 145 MPa, co wskazuje na ich dobre właściwości mechaniczne i możliwość zastosowania w procesach regeneracji elementów układów chłodzenia lokomotyw.

Analizie poddano również procesy dyfuzyjne zachodzące na granicy miedź–lutowina–stal oraz mechanizmy powstawania i kształtowania struktury złącza. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do optymalizacji technologii lutowania i projektowania trwałych połączeń przeznaczonych do budowy oraz regeneracji układów chłodzenia lokomotyw.

Słowa kluczowe: lutowanie, miedź, stal austenityczna, połączenia różnoimienne, mikrostruktura, regeneracja

Nowe rozwiązania materiałowe w lutowaniu regeneracyjnym alternatorów

Tomasz Węgrzyn

 0000-0003-2296-1032

Bożena Szczucka-Lasota

 0000-0003-3312-1864

Adam Jurek

 0000-0002-9552-0062

Adam Döring

 0000-0001-5114-9401

Patrycja Lasota

 0009-0005-8536-5539

Politechnika Śląska, Polska

Korespondencja:

tomasz.wegrzyn@polsl.pl

Streszczenie: Rosnące wymagania dotyczące ograniczenia stosowania ołowiu w materiałach lutowniczych, wynikające przede wszystkim z jego negatywnego wpływu na środowisko i zdrowie człowieka, stwarzają potrzebę opracowywania nowych, bezpieczniejszych stopów lutowniczych. Szczęólnego znaczenia nabierają materiały przeznaczone do naprawy i regeneracji elementów elektrotechnicznych, w przypadku których lut powinien jednocześnie zapewniać odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, przewodność elektryczną oraz dobre właściwości technologiczne. W pracy przedstawiono wyniki badań wieloskładnikowego lutu bez ołowiu przeznaczonego do zastosowania w procesie regeneracji elementów alternatora. Badany stop na bazie cyny zawierał 4–6% Bi oraz po 1% Cu, Ag i Al. Zmienna zawartość bizmutu została zastosowana w celu określenia jego wpływu na właściwości oraz strukturę badanego materiału. Uzyskane wyniki wykazały, że lut charakteryzuje się dobrymi właściwościami lutowniczymi i elektrycznymi oraz wytrzymałością mechaniczną sięgającą około 90 MPa. Analiza mikrostruktury pozwoliła na identyfikację wieloskładnikowej eutektyki oraz faz międzymetalicznych Ag_3Sn i Sn_5Cu_6 . Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania badanego stopu jako perspektywicznego, bez ołowiu materiału lutowniczego w regeneracji alternatorów.

Słowa kluczowe: lutowanie regeneracyjne, alternatory, luty bezołowiowe, stopy cyny, właściwości elektryczne, materiały lutownicze

Od jakości spoiny do trwałości powłoki – zależności pomiędzy ISO 5817, ISO 8501-3 i EN 1090

Santina Topolska

 0000-0003-4175-678X

Politechnika Śląska, Polska

Korespondencja:
santina.topolska@polsl.pl

Streszczenie: Trwałość systemu ochronnego zależy nie tylko od właściwego doboru materiałów powłokowych i zachowania parametrów ich aplikacji. Równie istotna jest jakość podłoża, która w przypadku konstrukcji stalowych kształtowana jest już na etapie wykonywania i odbioru połączeń spawanych. Nierówności lica spoiny, ostre krawędzie, podtopienia, rozpryski spawalnicze czy lokalne niezgodności powierzchniowe mogą stać się miejscami przedwczesnego rozwoju procesów korozyjnych – nawet wtedy, gdy sama powłoka została wykonana zgodnie z założeniami technologicznymi.

W wystąpieniu przedstawione zostaną wzajemne zależności pomiędzy wymaganiami dotyczącymi jakości spoin według PN-EN ISO 5817, przygotowania powierzchni określonego w PN-EN ISO 8501-3 oraz zasad wykonania konstrukcji stalowych wynikających z PN-EN 1090-2. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na obszary, w których wymagania poszczególnych norm spotykają się w praktyce warsztatowej i odbiorowej, lecz nie zawsze są interpretowane w sposób jednoznaczny.

Na podstawie przykładów zaczerpniętych z praktyki inspekcyjnej omówiony zostanie wpływ geometrii i jakości wykonania połączeń spawanych na możliwość prawidłowego przygotowania powierzchni, aplikację powłoki oraz ich późniejszą trwałość. Postawione zostanie również pytanie, czy spełnienie poziomu jakości spoiny jest wystarczającą gwarancją uzyskania podłoża odpowiedniego do skutecznego zabezpieczenia antykorozyjnego.

Słowa kluczowe: jakość spoin, ISO 5817, ISO 8501-3, EN 1090, ochrona antykorozyjna, przygotowanie powierzchni

Charakterystyka mikrostruktury doczołowych złączy rur z austenitycznej stali żaroodpornej

Lechośław Tuz

 0000-0001-9877-2110

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Polska

Korespondencja:

ltuz@agh.edu.pl

Streszczenie: Wieloletnia eksploatacja wyrobów stalowych w warunkach wysokiej temperatury wymaga spełnienia podstawowych kryteriów tj. odpowiedniej żaroodporności i żarowytrzymałości. Niewłaściwie zdefiniowane czynniki środowiskowe lub eksploatacyjne powodować jednak będą, że materiały ulegać będą przyspieszonej degradacji. W referacie przedstawione będą wyniki badań metaloznawczych stali Cr-Ni-Fe po eksploatacji i próbach prowadzenia spawania naprawczego. Wyniki pokazują, że zarówno zdefiniowanie środowiska eksploatacji może być powodem przyspieszonej degradacji, nawet z 30 lat do kilku tygodni, a badania nieniszczące w obszarze złączy spawanych nie zawsze zapewniają skuteczność wykrywania nieciągłości, szczególnie w obszarze strefy wpływu ciepła.

Słowa kluczowe: stal żaroodporna, mikrostruktura, złącza doczołowe, rury stalowe, spawanie, właściwości materiałowe

Ocena integralności strukturalnej złączy spawanych stosowanych w gazociągach po naprawie

Iryna Balabanska¹

 0009-0006-0385-6092

Michał Urbańczyk¹

 0000-0001-8015-3338

Piotr Gotkowski¹

 0009-0004-0999-3990

Mateusz Sowa¹

 0009-0002-4431-2674

Volodymyr Vira²

 0000-0002-5121-7336

Volodymyr Kulyk²

 0000-0001-5999-3551

Bohdan Vasyliv²

 0009-0002-3459-4858

Valentyna Vavrukh²

 0000-0002-3143-2522

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

² Politechnika Lwowska, Ukraina

Korespondencja:

iryna.balabanska@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: The lifetime of a gas pipeline is largely affected by operational conditions resulted in the material degradation. This study explores microstructure-related peculiarities affecting the structural integrity of 17H1S pipeline steel repair welds. The steel parts were extracted from both the long-term operated pipeline and new pipe used for repair. The butt welds were prepared according to NEW–OPERATED (N–O) scheme. Three batches of N–O impact test samples were prepared from these welded parts, with a V-notch placed in a plane of (1) the N–O weld, (2) heat-affected zone (HAZ) on the new steel side (HAZ–N), and (3) HAZ on the operated steel side (HAZ–O). Impact test of the samples was performed with measuring their impact toughness, and scanning electron microscopy (SEM) analysis was carried out. SEM analysis revealed on fracture surface of the N–O weld sample dimple relief with numerous non-metallic inclusions. Similar fracture pattern was observed in the HAZ–N sample, whereas the HAZ–O sample exhibited distinct cleavage facets throughout the fracture surface. Different fracture micromechanisms detected in the studied areas were found to correlate with corresponding impact toughness values. Thus, the developed “mechanical behavior – fracture morphology” approach is suggested as promising for optimization of weld processing mode.

Słowa kluczowe: gas pipeline, 17H1S steel, repair welds, heat-affected zone, impact toughness, fracture morphology, scanning electron microscopy (SEM), structural integrity

Wpływ parametrów wytwarzania i obróbki postprocesowej na właściwości zmęczeniowe połączeń FSW umacnianych wydzieleniowo stopów aluminium

Robert Kosturek

 0000-0002-6663-0529

Wojskowa Akademia Techniczna, Polska

Korespondencja:
robert.kosturek@wat.edu.pl

Streszczenie: Przedstawiono wybrane wyniki badań nad niskocyklowym zmęczeniem jednoimiennych połączeń doczołowych elementów ze stopów AA2519-T62 oraz AA7075-T651, wykonanych metodą zgrzewania tarcowego z przemieszaniem (friction stir welding – FSW). Połączenia otrzymano przy różnych parametrach procesu, obejmujących prędkość obrotową narzędzia w zakresie 200-800 rpm oraz prędkość zgrzewania od 50 do 150 mm/min. Wybrane złącza poddano również obróbkom postprocesowym, takim jak dwuetapowa obróbka cieplna obejmująca przesycanie i starzenie, umacnianie wybuchowe oraz kulowanie pneumatyczne. Wszystkie warianty połączeń poddano badaniom zmęczeniowym w zakresie niskocyklowym, co umożliwiło ocenę ich efektywności w warunkach działania obciążeń zmiennych o znacznej amplitudzie.

Słowa kluczowe: FSW, stopy aluminium, zmęczenie niskocyklowe, obróbka cieplna, kulowanie, umacnianie wybuchowe

Opracowanie technologii spawania plazmowego hybrydowego złączy doczołowych blach ze stali S700MC

Adam Termin¹

 0009-0001-9595-4768

Marcin Adamiak²

 0000-0001-8851-2091

Andrzej Klimpel²

 0000-0001-5765-5663

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnos Śląski Instytut Technologiczny, Polska

² Politechnika Śląska, Polska

Korespondencja:
adam.termin@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Technologia spawania hybrydowego plazmowego (PHW) to nowoczesny i wysoce wydajny proces łączenia metali. Łączy ona technologie spawania łukiem plazmowym (PAW) oraz spawania łukowego w osłonie gazowej (MAG), które działają jednocześnie i w tym samym momencie. Opisane badania miały na celu opracowanie technologii PHW z jednym przejściem dla połączeń blach ze stali wysokowytrzymałej S700MC o grubości 10,0 mm. Przeanalizowano wpływ podstawowych parametrów spawania na jakość i geometrię połączeń spawanych oraz na stabilność procesu PHW. Połączenia spawane poddano zarówno badaniom nieniszczącym, jak i niszczącym, co potwierdziło wysoką jakość połączeń oraz realność jednoprzebiegowych połączeń blach metodą PHW. Proces PHW może stanowić alternatywę dla procesu hybrydowego spawania laserowego (LHW).

Słowa kluczowe: PHW, spawanie hybrydowe, PAW, MAG, S700MC, stale wysokowytrzymałe

Wykrywalność nieciągłości spawalniczych z zastosowaniem radiografii analogowej i cyfrowej – analiza porównawcza

Łukasz Rawicki



Łukasz Janczarek



Dorota Koper

0009-0006-4543-2490

Marcin Marszał



Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
lukasz.rawicki@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Badania radiograficzne RT należą do nieniszczących metod kontroli jakości złączy spawanych, pozwalających na ujawnienie nieciągłości wewnętrznych niewidocznych podczas badań wizualnych. Rozwój technik cyfrowych z zastosowaniem radiografii pośredniej (CR, ang. Computed Radiography) oraz radiografii cyfrowej bezpośredniej (DR, ang. Digital Radiography) istotnie zmienił praktykę przemysłową i zamienił sposób rejestracji obrazu radiograficznego na błonie radiograficznej np. na detektory cyfrowe. Promieniowanie X lub γ przenika przez badany materiał, ulegając osłabieniu zależnemu od grubości, gęstości i materiału na drodze promieniowania jonizującego. Różnica w zaczerwienieniu (błona radiograficzna) lub sygnale cyfrowym (detektor elektroniczny) interpretowana jest przez operatora jako obraz nieciągłości. Parametry decydujące o wykrywalności nieciągłości to kontrast obrazu, rozdzielczość przestrzenna wpływająca na zdolność rozróżnienia drobnych detali, stosunek sygnału do szumu (SNR), czułość obrazu wyrażana klasą wskaźnika jakości obrazu (IQI). Celem opracowania jest porównanie obu technik pod kątem zdolności do wykrywania typowych nieciągłości spawalniczych jakimi są braki przetopu, pęcherze, wtrącenia żużla czy podtopienia.

Słowa kluczowe: radiografia cyfrowa, radiografia analogowa, RT, CR, DR, nieciągłości spawalnicze, IQI

Praktyczne doświadczenia z wdrożeń technologii TIPTIG (zaawansowany TIG z dynamicznie podawanym, podgrzewanym drutem) w polskim przemyśle

Grzegorz Sosin



MGSplus sp. z o.o., Polska

Korespondencja:
gs@mgsplus.com.pl

Streszczenie: Klasyczna metoda TIG (141) gwarantuje wysoką jakość złączy, jednak jej głównym ograniczeniem pozostają niska wydajność oraz duża ilość wprowadzanego ciepła. Technologia TIPTIG – wykorzystująca dynamicznie podawany i wstępnie podgrzewany drut – stanowi odpowiedź na te wyzwania bez kompromisów jakościowych. Referat prezentuje wdrożenia przemysłowe oraz wyniki pomiarów własnych autora z polskiego przemysłu.

W zakładzie wytwarzającym urządzenia dla energetyki jądrowej przejście z metod 141/111 na TIPTIG umożliwiło zatwierdzenie 11 rygorystycznych technologii spawania (PQR). Aplikacja ta zapewniła spoiny wolne od wad, wysoką udarność w niskich temperaturach (-50°C), obniżenie kosztów spawania i materiałów dodatkowych oraz redukcję zapotrzebowania na trudnodostępnych spawaczy metod 111 i 141.

Drugi przypadek dotyczy zrobotyzowanej produkcji cienkościennych (2 mm) zbiorników ze stali nierdzewnej. Adaptacja podajnika i uchwytu TIPTIG pozwoliła na ponad trzykrotny wzrost prędkości spawania przy zachowaniu wymaganej jakości oraz dotychczasowej powierzchni gniazda produkcyjnego.

Trzeci przykład obejmuje zakład produkujący urządzenia kotłowe, gdzie TIPTIG zastosowano przy prefabrykacji ekranów. Nowa metoda zminimalizowała odkształcenia cieplne, poprawiła estetykę spoin oraz znacząco przyspieszyła prace w obszarach realizowanych dotychczas tradycyjną metodą TIG.

Słowa kluczowe: TIPTIG, TIG, automatyzacja spawania, energetyka jądrowa, wydajność produkcji, kwalifikacja technologii

Rola Łukasiewicz – GIT w kształceniu i merytorycznym nadzorze nad szkoleniami w Polsce

Katarzyna Hyc-Dadak



Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

Robert Jachym

0000-0002-9472-6552

Korespondencja:
katarzyna.hyc-dadak@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Łukasiewicz – GIT pełni funkcję krajowego centrum kompetencji w zakresie kształcenia, kwalifikowania i certyfikacji personelu technicznego, szczególnie w obszarze spawalnictwa i technologii pokrewnych. Rola instytutu polega zarówno na opracowywaniu i wdrażaniu programów szkoleniowych zgodnych z krajowymi i międzynarodowymi wymaganiami, organizowaniu szkoleń i egzaminów dla specjalistów różnych szczebli, od spawaczy po inżynierów i inspektorów, do transferu nowoczesnej wiedzy technologicznej do przemysłu poprzez działalność szkoleniową, badawczą i ekspercką. W prezentacji przedstawiono aktualne kierunki działania Instytutu. Dzięki połączeniu działalności naukowo-badawczej, edukacyjnej i certyfikacyjnej Łukasiewicz – GIT nie tylko przygotowuje specjalistów do wykonywania zawodu, ale również kształtuje standardy kwalifikacji zawodowych oraz sprawuje merytoryczny nadzór nad systemem szkolenia. W efekcie instytut stanowi kluczowe ogniwo zapewniające wysoką jakość kadr technicznych i bezpieczeństwo procesów przemysłowych w Polsce.

Słowa kluczowe: szkolenia techniczne, kwalifikacje zawodowe, certyfikacja, spawalnictwo, transfer wiedzy, Łukasiewicz – GIT

Certyfikacja międzynarodowego personelu spawalniczego w świetle najnowszych przepisów

Michał Kubica



Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnoląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
michal.kubica@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Międzynarodowy Instytut Spawalnictwa (IIW) i Europejska Federacja Spawalnicza (EWF) na przestrzeni ponad 30 lat istnienia zharmonizowanego systemu szkolenia i kwalifikowania personelu spawalniczego, na bieżąco dostosowują jego zakres do istniejących warunków światowego rozwoju. Aktualnie wprowadzane są następujące nowości, pozwalające na elastyczność, bezpieczeństwo i dalszą harmonizację tego systemu:

- Manufacturing Certificates Platform (MCP) – platforma EWF do generowania dyplomów i certyfikatów cyfrowych w sposób uniemożliwiający ich sfalszowanie. Falszywe dyplomy i certyfikaty stanowią wyzwanie w różnych regionach świata, a walka z ich rozpowszechnianiem stała się priorytetem, aby zagwarantować pracownikom oraz firmom dostęp do wiarygodnej dokumentacji,
- Modułowe podejście programów IIW/EWF do szkolenia koordynatorów prac spawalniczych. Program szkolenia (według najnowszego wydania dokumentu IAB-252) jest podzielony na niezależne Jednostki Kompetencji (CU) zapewniające niezbędną wiedzę, umiejętności i odpowiedzialność w zakresie konkretnych zadań i obowiązków związanych z koordynowaniem prac spawalniczych,
- ISCED (International Standard Classification of Education) – Międzynarodowa Standardowa Klasyfikacja Edukacji jako uniwersalny punkt odniesienia przy definiowaniu zharmonizowanych warunków wstępnych przyjęcia do szkolenia IWE, IWT i IWS. ISCED to zestaw ośmiu kategorii poziomów edukacyjnych służących do klasyfikacji systemów kształcenia na całym świecie.

Słowa kluczowe: IIW, EWF, certyfikacja spawalnicza, MCP, cyfrowe certyfikaty, koordynacja prac spawalniczych, ISCED, kompetencje spawalnicze.

Szkolenia NDT w Łukasiewicz – GIT

Łukasz Rawicki



Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnoląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
lukasz.rawicki@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Szkolenia NDT (badania nieniszczące) w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Górnoląskim Instytucie Technologicznym prowadzi dział szkolenia NDT w Centrum Spawalnictwa. Szkolenia obejmują wszystkie podstawowe metody badań nieniszczących zgodnie z normą PN-EN ISO 9712, w stopniach kwalifikacji 1, 2 i 3 dla metod VT (metoda wizualna), PT (metoda penetracyjna), MT (metoda magnetyczno proszkowa), RT (metoda radiograficzna) i UT (metoda ultradźwiękowa). Dodatkowo w metodzie UT prowadzone są szkolenia w nowoczesnych technikach badań ultradźwiękowych jak TOFD oraz Phased Array. Szkolenia obejmują szkolenia podstawowe dla osób zdobywających kwalifikacje po raz pierwszy odnowienia i recertyfikacje po 5 i 10 latach ważności certyfikatów kompetencji zgodnie z normą PN-EN ISO 9712. Szkolenia BASIC oraz szkolenia odnawiające i recertyfikujące dla metod VT, PT, MT, RT, UT w 3 stopniu certyfikatów kompetencji. Prowadzone są szkolenia dla sektora kolejowego w metodzie UT oraz szkolenia z zakresu antykorozyj. Kursy prowadzone są w nowoczesnych laboratoriach Instytutu, obejmują część teoretyczną i praktyczną, a kończą się egzaminem i uzyskaniem certyfikatu zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9712. Doskonalenie metod badań nieniszczących prowadzi do konieczności ciągłego szkolenia i kwalifikowania personelu wykonującego badania oraz certyfikacji według określonych w normach zasad.

Słowa kluczowe: NDT, szkolenia, ISO 9712, certyfikacja personelu, VT, PT, MT, RT, UT

Nadzór spawalniczy w aspekcie norm i specyfikacji technicznych

Cezary Kucaba



Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnoląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
cezary.kucaba@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Nadzór spawalniczy stanowi kluczowy element zapewnienia jakości, bezpieczeństwa oraz zgodności procesów produkcyjnych z wymaganiami technicznymi i prawnymi. Jego rola jest szczególnie istotna ze względu na fakt, że spawanie zaliczane jest do procesów specjalnych, których jakości nie można w pełni zweryfikować wyłącznie poprzez kontrolę końcową wyrobu. Podstawowym dokumentem określającym zadania, odpowiedzialność oraz kompetencje personelu nadzoru spawalniczego jest norma PN-EN ISO 14731, ściśle powiązana z wymaganiami jakościowymi normy PN-EN ISO 3834. Wymagania te obejmują m.in. planowanie procesów spawania, kwalifikowanie technologii spawalniczych, nadzór nad dokumentacją WPS i WPQR, kontrolę kwalifikacji personelu, a także monitorowanie przebiegu procesu produkcyjnego.

Specyfikacje techniczne, normy wyrobu oraz wymagania kontraktowe determinują zakres działań nadzoru spawalniczego, wpływając na dobór metod kontroli, badań nieniszczących oraz kryteriów odbioru konstrukcji spawanych. Skutecznie realizowany nadzór pozwala ograniczyć ryzyko występowania niezgodności, zwiększyć powtarzalność procesów oraz zapewnić spełnienie oczekiwań klienta i wymagań certyfikacyjnych. W efekcie stanowi on istotne narzędzie wspierające zarządzanie jakością i konkurencyjność przedsiębiorstw wykorzystujących technologie spawalnicze.

Słowa kluczowe: nadzór spawalniczy, ISO 14731, ISO 3834, jakość spawania, WPS, WPQR

Nowe możliwości technologiczne w systemach monitorowania procesów spawania i pokrewnych

Leszek Szubert

 0000-0003-4310-4849

Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnoląski Instytut Technologiczny, Polska

Piotr Skoczewski

 -

Korespondencja:
katarzyna.hyc-dadak@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Rozwój elektroniki pomiarowej, systemów wbudowanych oraz nowoczesnych metod przetwarzania danych stwarza nowe możliwości w zakresie monitorowania procesów spawania i procesów pokrewnych. Współczesne rozwiązania umożliwiają nie tylko rejestrację podstawowych parametrów procesu, takich jak prąd i napięcie spawania, lecz również pomiar i analizę dodatkowych wielkości charakteryzujących przebieg procesu. Pozwala to na prowadzenie zaawansowanej analizy danych oraz ocenę stanu procesu w czasie rzeczywistym. W wystąpieniu przedstawione zostaną wybrane kierunki rozwoju systemów monitorowania, obejmujące wielokanałową akwizycję danych, synchronizację sygnałów pomiarowych, zwiększanie częstotliwości i dokładności pomiarów, a także integrację z systemami sterowania i komunikacji przemysłowej. Omówione zostaną również metody wyznaczania rozszerzonych parametrów i wskaźników opisujących stabilność, powtarzalność oraz występowanie zakłóceń podczas realizacji procesu.

Współczesne systemy monitorowania coraz częściej wykorzystują zaawansowane metody przetwarzania danych, umożliwiające analizę dużych zbiorów próbek oraz wyznaczanie złożonych parametrów i wskaźników diagnostycznych. Zastosowanie wydajnych metod obliczeniowych, w tym przetwarzania równoległego realizowanego z wykorzystaniem technologii wielordzeniowych i akceleratorów GPU, pozwala skrócić czas analizy danych oraz realizować wybrane algorytmy w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

Przedstawione zostaną również możliwości wykorzystania aplikacji webowych do zdalnej prezentacji wyników pomiarów, analizy danych historycznych, porównywania parametrów procesów oraz dostępu do informacji pochodzących z wielu stanowisk produkcyjnych za pośrednictwem jednolitego interfejsu użytkownika. Rozwiązania te umożliwiają także integrację z systemami wspomagającymi zarządzanie produkcją i kontrolę jakości. Istotnym kierunkiem rozwoju jest ponadto integracja danych pochodzących z wielu źródeł oraz stanowisk produkcyjnych. Takie podejście umożliwia budowę rozproszonych systemów monitorowania, wspierających diagnostykę nieprawidłowości funkcjonowania stanowisk czy szerzej gniazd produkcyjnych, ocenę jakości realizowanych procesów oraz gromadzenie danych przeznaczonych do dalszej analizy, optymalizacji i doskonalenia procesu produkcji.

Słowa kluczowe: monitorowanie procesów, analiza danych, Przemysł 4.0, diagnostyka, akwizycja danych, systemy pomiarowe

Wpływ parametrów procesu zgrzewania tarcioowego szybkoobrotowego (HSFW) na strukturę i właściwości mechaniczne złączy prętów stalowych

Aleksandra Węglowska

 0000-0002-5550-624X

Jacek Pietrzak

 -

Damian Miara

 0000-0001-9378-8834

Jolanta Matusiak

 0000-0002-2134-027X

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
aleksandra.weglowska@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Zgrzewanie tarcioowe obrotowe jest stosowane do łączenia materiałów jednoimiennych i różnoimiennych m.in. stali, stopów aluminium, magnezu, miedzi, tytanu, cyrkonu i innych. Prędkość obrotowa i siła docisku są parametrem decydującym o nagrzewaniu obszaru styku łączonych elementów. Konwencjonalne zgrzewanie tarcioowe jest prowadzone przy prędkości obrotowej w zakresie od 500 do 5000 obr/min oraz sile docisku do 10 000 kN, co pozwala na łączenie elementów o powierzchni w miejscu łączenia wynoszącej nawet 30 000 mm². Natomiast w produkcji elementów o małej masie i niewielkich rozmiarach stosowane jest zgrzewanie tarcioowe szybkoobrotowe, umożliwiające zgrzewanie z prędkością obrotową do 25 000 obr/min, przy małych siłach docisku (od kilku do kilkudziesięciu kN). Zastosowanie wysokich prędkości obrotowych istotnie wpływa na charakterystykę przebiegu procesu zgrzewania, w szczególności na przebieg momentu obrotowego tarcia, skrócenia elementów oraz moc cieplną procesu. Przy małej prędkości obrotowej, rzędu kilkaset obr/min, moc cieplna procesu jest duża, a proces przebiega w stosunkowo niskich temperaturach. Wzrost prędkości obrotowej do kilkudziesięciu tysięcy obr/min, powoduje, że temperatura materiału w styku wzrasta, a w mikroobszarach może sięgać nawet temperatury topnienia zgrzewanych materiałów. Obszary przemysłu, w których można zastosować zgrzewanie tarcioowe to przede wszystkim przemysł motoryzacyjny, lotniczy, wojskowy, kolejowy, kosmiczny, gazowniczy i naftowy, ale również rolnictwo (budowa maszyn), budownictwo i transport. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu parametrów technologicznych procesu zgrzewania tarcioowego szybkoobrotowego: prędkości obrotowej, docisku tarcia i czasu tarcia na przebieg procesu zgrzewania i jakość złączy prętów z wybranych gatunków stali konstrukcyjnych. Złącza poddano badaniom wizualnym, metalograficznym makro i mikroskopowym, badaniom twardości i wytrzymałości na rozciąganie. Do analizy procesu zgrzewania wykorzystano zarejestrowane przebiegi momentu obrotowego tarcia, temperatury obszaru zgrzewania oraz przebiegi drogi skracania. Wyniki obliczeń prędkości skracania vs wskazują, że im większa jest siła docisku tarcia i prędkość obrotowa, tym większa jest prędkość skracania elementów. W oparciu o uzyskane wyniki badań opracowano warunki technologiczne zgrzewania umożliwiające uzyskanie złączy charakteryzujących się ciągłością materiałową w obszarze zgrzewania oraz wytrzymałością odpowiadającą wytrzymałości materiału rodzimego, przy czasie tarcia poniżej 1,0 s.

Słowa kluczowe: HSFW, zgrzewanie tarcioowe, prędkość obrotowa, mikrostruktura, właściwości mechaniczne

Zastosowanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w spawalnictwie

Joanna Wycislik-Sośnierz

ID 0000-0003-2608-5754

Jolanta Matusiak

ID 0000-0002-2134-027X

Kinga Michalak

ID 0009-0002-3524-0381

Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnoląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
joanna.wycislik-sosnierz@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), inaczej gospodarka cyrkularna to model ekonomiczny opierający się na konieczności maksymalnego wykorzystania zasobów oraz minimalizowania ilości odpadów poprzez ponowne użycie, naprawę, odnawianie i recykling.

Dane statystyczne pokazują, że obecnie ponad 90% światowego przemysłu funkcjonuje według modelu gospodarki liniowej, w którym surowce są wydobywane, przetworzone na produkty, używane, a następnie wyrzucane jako odpady, w myśl zasady „weź-wyprodukuj-zużyj-wyrzuć”. Model liniowy przyczynia się jednak do degradacji środowiska naturalnego, prowadząc do zmian klimatycznych i utraty różnorodności biologicznej oraz do wyczerpywania surowców i wzrostu ilości odpadów. Z tych powodów trwały wzrost gospodarczy oparty na liniowym modelu produkcji nie jest możliwy. W tym kontekście gospodarka o obiegu zamkniętym (Circular Economy - CE) jest postrzegana jako alternatywa, która może przynieść znaczne korzyści gospodarcze i ekologiczne.

W systemie gospodarki o obiegu zamkniętym należy dążyć do minimalizacji ilości odpadów i maksymalizacji efektywności wykorzystania zasobów, stąd koncepcja strategii „R”. Strategie R pokazują, w jaki sposób projektowanie i produkcja oparte na obiegu zamkniętym mogą zapewnić dalsze wykorzystanie zasobów i ograniczyć ilość odpadów trafiających do środowiska. Są to: R0 (Refuse) Odmowa, R1 (Rethink) Przemyślenie, R2 (Reduce) Ograniczenie, R3 (Reuse) Ponowne wykorzystanie, R4 (Repair) Naprawa, R5 (Refurbish) Odnowienie, R6 (Remanufacture) Regeneracja, R7 (Repurpose) Zmiana przeznaczenia, R8 Recykling i R9 (Recover) Odzysk. Oprócz minimalizowania ilości powstających odpadów, kolejnym kluczowym elementem GOZ jest ekoprojektowanie wpisujące się strategię R1 (rethink=przemyśleć). Pod tym pojęciem rozumie się nie tylko tworzenie produktów łatwiejszych do naprawy i recyklingu (poprzez produkcję systemów z wymiennymi elementami), ale opracowywanie technologii z uwzględnieniem aspektów środowiskowych. Przykładem zastosowania zasad GOZ w spawalnictwie są wyniki badań prowadzonych w zakresie inżynierii środowiska mających na celu pokazanie sposobów ograniczenia ilości powstających zanieczyszczeń pyłowych i gazowych, bowiem metoda spawania, zastosowane materiały podstawowe i dodatkowe (druty spawalnicze, gazy osłonowe) oraz parametry technologiczne procesu decydują o ilości powstających zanieczyszczeń i jednocześnie stanowią drogi modyfikacji procesu w aspekcie redukcji powstających odpadów. Wyniki te udostępniane są w systemie doradczym i-EkoSpawanie, który oparty jest o bazy danych zawierające wskaźniki emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych oraz skład chemiczny powstającego pyłu pochodzącego z procesów spajania i cięcia różnych materiałów konstrukcyjnych.

Rosnące wymagania środowiskowe, konieczność ograniczenia zużycia zasobów i redukcji powstających odpadów przy zwiększających się regulacjach prawnych sprawiają, że sektor spawalniczy stoi przed potrzebą zmiany i koniecznością wskazania realnych możliwości tej transformacji zgodnie z zasadami GOZ. Implementacja zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w procesach spajania przyczyni się do zmniejszenia wpływu na środowisko, obniżenia kosztów produkcji oraz zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstw poprzez racjonalne gospodarowanie zasobami.

Słowa kluczowe: gospodarka obiegu zamkniętego, GOZ, zrównoważony rozwój, ekoprojektowanie, emisje, recykling

Struktura i właściwości zakładkowych złączy FSW stopów aluminium z miedzią

Damian Miara

ID 0000-0001-9378-8834

Jacek Pietrzak

ID -

Jolanta Matusiak

ID 0000-0002-2134-027X

Aleksandra Węglowska

ID 0000-0002-5550-624X

Beata Rams

ID 0009-0003-1737-130X

Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
damian.miara@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Wraz z szybkim rozwojem przede wszystkim przemysłu energetycznego zachodzi konieczność wykonywania połączeń z materiałów różniamiennych takich jak aluminium z miedzią. Mimo iż takie zastosowanie cieszy się coraz większym zainteresowaniem występują duże trudności w łączeniu tego rodzaju materiałów, w tym o bardzo niewielkich grubościach. Trudności technologiczne w łączeniu związane są z różnicą we właściwościach mechanicznych, termicznych i elektrycznych tych materiałów. Przy niewielkich grubościach łączonych materiałów istnieje duże ryzyko szybkiego niszczenia łączonych elementów zamiast ich łączenia. Trudności z wykonywaniem tego typu połączeń odnoszą się nie tylko do standardowo wykonywanych złączy doczołowych, ale także złączy zakładkowych.

Łączenie na zakładkę stopów aluminium z miedzią, mimo różnic we właściwościach materiałów, pozwala na wykorzystanie zalet obu łączonych materiałów. W takim przypadku wykonane złącza nie tylko posiadają dobrą przewodność elektryczną, przewodność cieplną, dużą odporność na korozję i wysokie własności mechaniczne, ale także mogą obniżyć masę konstrukcji. Dodatkowo, np. w przemyśle energetycznym mogą zastąpić istniejące połączenia śrubowe powszechnie stosowane w przekładniach. Istnieją także komponenty aluminium + miedź stosowane elementy konstrukcji dużych mocy takich jak transformatory, szyny prądowe itp. W przemyśle elektrycznym złącza Cu-Al mogą być stosowane jako rury chłodnicze i kondensatory czy rury lub złączki wymienników ciepła w zastosowaniach cieplnych. Są także szeroko stosowane w przemyśle transportowym i lotniczym. Celem badań technologicznych prowadzonych w Łukasiewicz – GIT było poznanie warunków zgrzewania na zakładkę blach aluminium z miedzią, w różnej konfiguracji ustawienia materiałów do zgrzewania oraz opracowanie wytycznych zgrzewania tarcowego FSW, prowadzących do uzyskania złączy zakładkowych o powtarzalnej jakości. Do badań wybrano trzy rodzaje stopów aluminium tj. stop EN AW-1050, EN AW-5083, EN AW-6082 o grubościach 1,0 mm oraz 2,0 mm, które zgrzewano ze stopem miedzi CU-ETP (M1E) o grubościach również 1,0 mm oraz 2,0 mm. W próbach technologicznych badania określano wpływu rodzaju narzędzia oraz podstawowych parametrów procesu FSW, takich jak prędkość obrotowa narzędzia oraz prędkość zgrzewania, na możliwość wykonywania złączy i ich jakość. Wykonano badania struktury złączy FSW oraz badania wytrzymałości.

Na podstawie przeprowadzonych badań określono, że poprawny dobór narzędzia do zgrzewania oraz dobór parametrów zgrzewania umożliwia uzyskanie „haczykowatego” kształtu w strefie zgrzewania (z ang. „hook formation”), co stanowi podstawę do otrzymania wysokiej wytrzymałości połączenia o pełnej ciągłości metalicznej. Wykazano, że wytrzymałość złącza w próbach na ścinanie jest ograniczona poprzez najszerszy element złącza – stop aluminium. Zastosowanie FSW pozwala na uzyskanie wytrzymałości na poziomie nawet 87% wytrzymałości stopu aluminium. Stwierdzono ponadto, że ze względu na znacznie wyższą temperaturę topnienia i twardość miedzi Cu-ETP (M1E) w stosunku do stopów aluminium proces FSW generuje znaczącą różnicę w deformacji plastycznej pomiędzy obydwojema materiałami. Aluminium (blacha górna) jest znacznie bardziej plastyczne i ulega znacznie większemu wymieszaniu podczas gdy miedź (blacha dolna) jest mniej uplastyczniona i zdeformowana, co może wymagać asymetrycznego ustawienia narzędzia podczas procesu zgrzewania. Wyniki badań prowadzonych w Łukasiewiczu – GIT stanowią nową wartość w dziedzinie zgrzewania za pomocą technologii FSW i mogą być wykorzystywane w rozwiązaniach dla przemysłu energetycznego, do wykonywania złączy zakładkowych o niewielkich grubościach np. do wykonywania końcówek prądowych w transformatorach, szynach czy wiązkach prądowych.

Słowa kluczowe: FSW, aluminium, miedź, złącza zakładkowe, materiały różnoimienne, mikrostruktura

Klejenie jako metoda łączenia materiałów konstrukcyjnych

Beata Rams

ID 0009-0003-1737-130X

Kinga Michalak

ID 0009-0002-3524-0381

Damian Miara

ID 0000-0001-9378-8834

Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

Korespondencja:
beata.rams@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Technologie klejenia ze względu na liczne zalety, takie jak: możliwość łączenia materiałów o różnych właściwościach fizykochemicznych, o różnej geometrii i wymiarach, brak strefy wpływu ciepła w łączonym obszarze, równomierne obciążenie złącza oraz zapewnienie szczelności i ochrony przed korozją, stosowana jest do łączenia różnych materiałów konstrukcyjnych. Klejenie jako metoda łączenia, obok spawania i zgrzewania, znalazło zastosowanie w przemyśle kolejowym, motoryzacyjnym, przy budowie samolotów i statków oraz wielu innych gałęziach przemysłowych.

Zastosowanie technologii klejenia wymaga od konstruktorów uwzględnienia wielu czynników technologicznych i konstrukcyjnych, które wpływają na wytrzymałość połączeń klejowych. Do głównych warunków technologicznych zalicza się: rodzaj stosowanego kleju, sposób przygotowania powierzchni do klejenia oraz warunki utwardzania kleju. Natomiast najważniejszymi czynnikami konstrukcyjnymi są: wymiary złącza klejowego, sposób obciążenia złącza, symetryczność połączenia oraz grubość warstwy kleju.

Celem pracy badawczej prowadzonej w Łukasiewicz – GIT było pokazanie możliwości zastosowania technologii klejenia do łączenia różnych materiałów konstrukcyjnych, w tym stali, stopów aluminium oraz tworzyw sztucznych. Przeanalizowano wpływ wybranych warunków technologicznych na wytrzymałość złączy klejowych. Skupiono się głównie na wpływie sposobu przygotowania powierzchni, w tym metod konwencjonalnych – mechanicznych (szlifowania i obróbki strumieniowo-ściernej) oraz metod nowoczesnych (chemicznej metody ATOP i obróbki plazmą) na wytrzymałość złączy klejowych. W badaniach technologicznych analizowano zastosowanie różnych rodzajów klejów i ich wpływu na jakość uzyskiwanych połączeń klejowych oraz możliwości zwiększenia wytrzymałości poprzez dobór odpowiednich warunków ich utwardzania.

W zastosowaniach przemysłowych ważnym aspektem uwzględnianym podczas projektowania złączy klejowych jest nie tylko uzyskanie wymaganej wytrzymałości doraźnej, ale także zapewnienie wytrzymałości długookresowej. Wytrzymałość długookresową określa się na podstawie przyspieszonych badań starzeniowych, w których złącza klejowe po procesie starzenia porównuje się z próbkami nie poddanymi starzeniu. W zależności od tego w jakich warunkach będzie pracowało połączenie klejowe i na jakie czynniki będzie ono narażone dobierane są odpowiednie testy starzeniowe. Na przykład w przemyśle motoryzacyjnym czynnikami, na które narażone są połączenia klejowe są: wilgoć, chemiczne środki myjące, sól, promieniowanie UV oraz zmiany temperatury. W związku z tym połączenia klejowe poddawane są testom starzeniowym uwzględniającym te czynniki, są to np. testy zanurzeniowe, testy mgły solnej, testy klimatu zmiennego oraz testy kataplazmy.

W Łukasiewicz – GIT przeprowadzono badania przyspieszonego starzenia na złączach wykonanych ze stopu aluminium, które łączono za pomocą klejów epoksydowych. Złącza klejowe poddano testom: kataplazmy, klimatu zmiennego oraz zanurzeniowy. Wyniki badań starzeniowych odniesiono do próbek referencyjnych. Na podstawie tych badań określono jakość uzyskanych połączeń klejowych.

Słowa kluczowe: klejenie, połączenia klejowe, przygotowanie powierzchni, starzenie materiałów, adhezja, wytrzymałość

System elektromagnetycznego docisku w zgrzewaniu rezystancyjnym

Zygmunt Mikno¹

 0000-0002-8102-6020

Wiktor Czornik²

 -

Dominik Mikołajczyk²

 -

Mateusz Czechowski²

 -

Jan Zygadlewicz²

 -

Natan Siekierka²

 -

Mariusz Stępień²

 0000-0002-4279-0472

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska
² Politechnika Śląska, Polska

Korespondencja:
zygmunt.mikno@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: Przedstawiono rezultaty pracy mającej na celu opracowanie stanowiska zgrzewarki rezystancyjnej z elektromagnetycznym dociskiem elektrod, które jest wynikiem współpracy zespołów Łukasiewicz – GIT, Centrum Spawalnictwa i Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej. Tego typu stanowisko zgrzewarki jest pierwszym takim rozwiązaniem w kraju. Nowe opracowanie dotyczy koncepcji docisku elektrod zgrzewarki z zastosowaniem elektromagnesów wraz z elektronicznym układem sterowania i oprogramowaniem (do zadawania parametrów cyklu zgrzewania i monitorowania parametrów charakterystycznych procesu zgrzewania). Zaletą nowego rozwiązania sterowania dociskiem jest możliwość modulacji wartości siły docisku w czasie zgrzewania (przepływu prądu). Przeprowadzono badania numeryczne dla potwierdzenia ww. zalet i przeprowadzono technologiczne próby zgrzewania celem weryfikacji obliczeń MES i sprawdzenia poprawności działania kompletnego stanowiska.

Słowa kluczowe: zgrzewanie rezystancyjne, elektromagnesy, docisk elektrod, MES, automatyzacja procesów, sterowanie

Evaluation of Projection Welded Joints Using Advanced Ultrasonic Technique

Paweł Kustron

ID 0000-0003-1973-519X

Marcin Korzeniowski

ID 0000-0003-1231-2899

Tomasz Piwowarczyk

ID 0000-0001-6817-6369

Paweł Sokołowski

ID 0000-0003-2425-2643

Tomasz Rzadkosz

ID 0009-0004-3515-3952

Ireneusz Wróbel

ID -

Wojciech Nowak

ID -

Politechnika Wrocławska, Polska

Korespondencja:

zygmunt.mikno@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie: The presentation focuses on the issue of ultrasonic testing of projection welded joints. The subject of the conducted work is the development of an ultrasonic system for the inspection of projection welded joints, supported by artificial intelligence. One of the key elements necessary for the proper calibration of the ultrasonic system is the development of appropriate reference standards for projection welds.

The presentation will include a detailed methodology for the development of suitable reference samples, as well as the results of verification studies, including investigations carried out using the SAM (Scanning Acoustic Microscopy) method, measurements performed with 3D scanners (laser stereovision), as well as conventional mechanical strength and metallographic tests.

The results obtained so far confirm the high potential of ultrasonic systems in the quality assessment of projection welded joints.

The research is being conducted within the framework of the project entitled: "Development of a portable and user-friendly ultrasonic system, supported by artificial intelligence, for non-destructive testing of projection welds in automotive body structures," co-financed by the Polish National Centre for Research and Development under the 4th edition of the INNOGLOBO programme, Agreement: INNOGLOBO/4/71/AI4Nuts/2025.

Słowa kluczowe: projection welding, ultrasonic testing, artificial intelligence, SAM, non-destructive testing, reference standards

Inna skala, inne reguły: specyfika i fizyka procesu mikrozgrzewania oporowego

Bartosz Apanasewicz¹



¹ APWELD, Polska

² Harms & Wende GmbH & Co. KG, Niemcy

Marco Speth²



Korespondencja:
office@apweld.com

Streszczenie: Niniejsza praca poświęcona jest tematyce mikrozgrzewania, które stanowi wyspecjalizowaną gałąź oporowego łączenia metali. Ze względu na miniaturyzację komponentów stosowanych w elektrotechnice, elektronice oraz mechanice precyzyjnej, procesy te charakteryzują się odmienną specyfiką technologiczną w porównaniu do klasycznego zgrzewania oporowego. W trakcie wystąpienia przedstawione zostaną kluczowe wytyczne branżowe (w tym normy DVS), a także specyfika parametrów procesowych, takich jak prądy o niskim natężeniu, precyzyjnie kontrolowana, niewielka siła docisku oraz brak ustandaryzowanego oprzyrządowania elektrodowego.

Ważnym aspektem prelekcji będzie analiza wpływu właściwości fizycznych materiałów oraz stanu ich powierzchni na jakość złącza. Omówione zostaną zasady doboru materiałów elektrodowych w zależności od zgrzewanych skojarzeń metalicznych, ze szczególnym uwzględnieniem trudnych technologicznie metali kolorowych, stopów miedzi i stali powlekanych. Autor przedstawi również wpływ powłok galwanicznych (m.in. cynowych, niklowych i srebrnych) na rezystancję stykową oraz stabilność procesu zgrzewania, wskazując na najczęstsze problemy technologiczne występujące podczas łączenia elementów wielowarstwowych.

W części poświęconej wariantom technologicznym omówione zostaną główne zasady aplikacji: zgrzewanie bezpośrednie, szeregowo oraz szczelinowe. Szczególna uwaga zostanie poświęcona zgrzewaniu garbowemu, stanowiącemu dominującą metodę w mikro-zgrzewaniu, a także procesowi kompaktowania (zagęszczania) elastycznych przewodów wielodrutowych jako nowoczesnej alternatywy dla zaciskania mechanicznego. Zaprezentowane zostaną również metody sterowania procesem z wykorzystaniem pomiaru drogi wtopienia, co ma kluczowe znaczenie dla zachowania tolerancji wymiarowych i powtarzalności w produkcji seryjnej.

Uzupełnieniem tematyki będzie charakterystyka lutowania kształtkowego (termoelektrodowego) jako procesu pokrewnego, stosowanego przy montażu komponentów wrażliwych na wysokie temperatury. Referat podsumowuje praktyczne zasady projektowania geometrii garbów i elektrod oraz dobór parametrów prądowo-dociskowych, stanowiąc kompendium wiedzy niezbędnej do optymalizacji procesów mikrozgrzewania w przemysłowych liniach produkcyjnych.

Słowa kluczowe: mikrozgrzewanie oporowe, metale kolorowe, rezystancja stykowa, kompaktowanie przewodów, elektronika, DVS

Gdy wyłączniki automatyczne spotykają technologię zgrzewania – jak rozwój AI i centrów danych napędza zapotrzebowanie na rozwiązania zgrzewalnice

Marcin Alexy



AMADA WELD TECH GmbH, Niemcy

Korespondencja:
marcin.alex@amadaweldtech.eu

Streszczenie: Dynamiczny rozwój sztucznej inteligencji (AI), przetwarzania w chmurze oraz transformacji cyfrowej powoduje bezprecedensowy wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną oraz infrastrukturę niezbędną do jej bezpiecznej i niezawodnej dystrybucji. Według aktualnych prognoz branżowych zużycie energii elektrycznej przez centra danych będzie w nadchodzących latach systematycznie rosnąć, głównie za sprawą rozwoju aplikacji opartych na AI, obliczeń wysokiej wydajności (HPC) oraz przetwarzania dużych zbiorów danych. Rozbudowa centrów danych generuje bezpośrednie zapotrzebowanie na urządzenia służące do rozdzielenia i zabezpieczania energii elektrycznej. Każde nowe centrum danych wymaga rozbudowanej infrastruktury elektroenergetycznej obejmującej transformatory, rozdzielnice, systemy szynoprzewodów, styczniki, rozłączniki oraz wyłączniki automatyczne. Szczególnie istotną rolę odgrywają wyłączniki automatyczne, które chronią instalacje elektryczne przed skutkami przeciążeń i zwarć, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo oraz niezawodność pracy całego systemu.

Analiza konstrukcji nowoczesnych wyłączników automatycznych pokazuje, że zawierają one liczne komponenty wytwarzane z wykorzystaniem technologii zgrzewania oporowego, lutowania oporowego, kompaktowania przewodów oraz pokrewnych procesów spajania materiałów.

W prezentacji przedstawiono budowę i zasadę działania współczesnych wyłączników automatycznych, ze szczególnym uwzględnieniem elementów wymagających zastosowania procesów spajania podczas produkcji. Omówione zostaną między innymi zespoły przewodzące prąd, układy stykowe, elastyczne połączenia prądowe, zaciski oraz inne kluczowe elementy, w których jakość połączenia bezpośrednio wpływa na rezystancję elektryczną, zachowanie cieplne, trwałość mechaniczną oraz żywotność wyrobu.

Szczegółowo zaprezentowane zostaną wybrane zastosowania technologii spajania wykorzystywane w produkcji wyłączników automatycznych. Należą do nich zgrzewanie garbowe elementów miedzianych i stopów miedzi, lutowanie oporowe połączeń elektrycznych, zgrzewanie przewodów wielodrutowych do zacisków, mocowanie ruchomych styków srebrnych oraz procesy kompaktowania przewodów przygotowujące je do dalszych operacji technologicznych. Omówione zostaną wymagania techniczne, wyzwania procesowe oraz aspekty jakościowe związane z poszczególnymi aplikacjami, podkreślając konieczność zapewnienia wysokiej powtarzalności i niezawodności procesów produkcyjnych.

Oprócz samych technologii spajania przedstawione zostaną przykłady rozwiązań maszynowych stosowanych w produkcji wyłączników automatycznych – od specjalizowanych głowic zgrzewalniczych integrowanych z automatycznymi liniami produkcyjnymi, poprzez stanowiskowe maszyny zgrzewalnicze przeznaczone do produkcji małoseryjnej i prac rozwojowych, aż po w pełni zautomatyzowane systemy dedykowane produkcji wielkoseryjnej.

Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom sterowania procesem, wydajności produkcji, identyfikowalności wyrobów oraz rosnącej roli cyfryzacji i koncepcji Przemysłu 4.0 w nowoczesnych urządzeniach zgrzewalniczych. Prezentacja pokazuje, że wzrost produkcji wyłączników automatycznych bezpośrednio przekłada się na zwiększone zapotrzebowanie na innowacyjne technologie spajania, zdolne zapewnić jakość, wydajność i niezawodność wymagane przez współczesne urządzenia elektroenergetyczne.

Autor wskazuje, że technologia zgrzewania oporowego będzie nadal odgrywać kluczową rolę w zaspokajaniu rosnącego zapotrzebowania na wyłączniki automatyczne i podobne urządzenia, a dostawcy technologii spajania są ważnym ogniwem wspierającym dalszy rozwój globalnej infrastruktury dla sztucznej inteligencji.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, centra danych, wyłączniki automatyczne, zgrzewanie oporowe, Przemysł 4.0, elektroenergetyka

Ocena zużycia elektrody: rola liczby zgrzein punktowych w degradacji materiału

Rafał Dziurka¹

ID 0000-0001-6130-8656

Sławomir Parzych²

ID 0000-0003-3524-3769

Wiktoria Zbyrad-Kolodziej³

ID 0000-0002-6803-6072

Monika Bochenek⁴

ID -

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Polska

² Politechnika Krakowska, Polska

³ Politechnika Rzeszowska, Polska

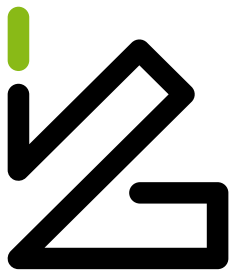
⁴ Wiśniowski sp. z o.o., Polska

Korespondencja:

slawomir.parzych@pk.edu.pl

Streszczenie: W niniejszej pracy przeprowadzono analizę degradacji elektrod zachodzącej podczas zgrzewania rezystancyjnego punktowego oraz oceniono jej wpływ na przebieg procesu i właściwości mechaniczne używanych złączy. W celu odwzorowania warunków sprzyjających intensyfikacji procesów zużycia elektrod do badań zastosowano blachy stalowe DX51D+Zn275 o grubości 1,5 mm, pokryte cynkiem galwanicznym. Podczas zgrzewania cynk obecny na powierzchni łączonych elementów wchodzi w interakcję z materiałem elektrod, prowadząc do powstawania na ich powierzchni warstw wzbogaconych w Zn. Zjawisko to przyczynia się do zmian właściwości fizykochemicznych oraz topografii powierzchni roboczej elektrod, a w konsekwencji do intensyfikacji ich degradacji eksploatacyjnej. Próbkę przeznaczoną do badań właściwości mechanicznych oraz analiz mikrostrukturalnych pobierano po wykonaniu odpowiednio 300, 500 oraz 1100 zgrzein, co umożliwiło ocenę zmian zachodzących wraz ze wzrostem stopnia zużycia elektrod. Właściwości mechaniczne złączy oceniano na podstawie próby ścinania, wyznaczając maksymalną wartość siły powodującej zniszczenie złącza. Stan powierzchni elektrod analizowano metodami mikroskopii optycznej z wykorzystaniem profilometrii powierzchni oraz pomiarów parametrów chropowatości.

Słowa kluczowe: zgrzewanie punktowe, zużycie elektrod, degradacja materiału, powłoki cynkowe, wytrzymałość złączy, profilometria



Łukasiewicz

Górnośląski

Instytut

Technologiczny

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny

ul. Karola Miarki 12–14
44-100 Gliwice, Polska

© Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny, 2026

ISBN 978-83-69078-00-7

