

**Gary B. Marquis - MIS: Rozwijanie najlepszych globalnych praktyk dla oceny zmęczenia konstrukcji spawanych**

Międzynarodowy Instytut Spawalnictwa (IIW) działa jako światowa sieć wymiany wiedzy na temat technologii łączenia w celu poprawy globalnej jakości życia. Jeden z zespołów roboczych, którym jest Komisja XIII, koncentruje się na nowych wynikach badań naukowych oraz zastosowaniu innowacyjnych technologii w celu unikania uszkodzeń zmęczeniowych w konstrukcjach spawanych. Obecnie opracowywanych jest kilka nowych wytycznych dotyczących zwiększenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji spawanych. Jedne z nich dotyczą stosowania obróbki mechanicznej z dużą częstotliwością jako metody zwiększania wytrzymałości zmęczeniowej konstrukcji spawanych. W artykule opisano aspekty tych wytycznych oraz niepowtarzalny międzynarodowy charakter pracy IIW, dzięki któremu stała się możliwa praca nad ich opracowywaniem.

**E. Meiß - DIN 2304 – Wymagania jakości dla procesów klejenia**

Obecne stosowane kleje to produkty wysokiej jakości. Właściwe ich stosowanie prowadzi do uzyskania produkcji bezodpadowej. Jeśli jednak występują błędy, to w ponad 90% wynikają one z błędów pojawiających się w procesie klejenia, a nie zastosowanego kleju, dlatego też norma DIN 2304 wprowadza wymagania jakości dla właściwego stosowania klejów. Norma DIN 2304 określa również aktualny stan wiedzy technicznej w zakresie organizacji profesjonalnego wdrażania procesów klejenia w przedsiębiorstwie. W związku z tym jakość *procesu klejenia* będzie dostosowana do jakości *produkcyjnego procesu klejenia*. W tym kontekście DIN 2304 dotyczy wszystkich złączy klejonych, których głównym zadaniem jest przenoszenie obciążeń, niezależnie od właściwości mechanicznych i plastycznych, jak również mechanizmu utwardzania użytego kleju. Ze względu na fakt, że OEM Working Group "Automotive" zdecydowała o wdrożeniu normy do swoich produkcji, DIN 2304 może w krótkim czasie stać się normą ogólnoswiatową tak dla producentów samochodów, jak również dla ich dostawców.

**S. Keitel, U. Wolski, U. Mückenheim, Ch. Sondershausen, J. Müglitz - Zrobotyzowane urządzenia spawalnicze MIG dla dużych konstrukcji stalowych**

Wielkość produkcji spawalniczej, geometria i normy jakościowe w sektorze energetyki wiatrowej wymagają automatyzacji. Zastosowanie konwencjonalnych robotów przemysłowych często nie jest możliwe ze względu na czynniki bezpieczeństwa, koszty, dostępne miejsce pracy i niezbędny czas programowania. Z drugiej strony, typowe zadania obróbcze, takie jak cięcie, spawanie łukowe i badania ultradźwiękowe są na tyle złożone, że nie mogą one być zmechanizowane za pomocą prostego oprzyrządowania. Małe, tanie, modułowe urządzenia na szynach, znane jako gąsienicowce, wypełniają lukę między prostym zmechanizowanym sprzętem, z jednej strony, a robotami przemysłowymi z drugiej. Charakteryzują się one łatwą obsługą i wszechstronnością w użytkowaniu, nawet w trudnych warunkach terenowych jak te pierwsze oraz możliwością programowania i ruchem sterowanym za pomocą czujników jak w robotach przemysłowych. W artykule omówiono możliwości i ograniczenia ww. koncepcji w odniesieniu do szeregu przykładów ich zastosowania.

**M. Fiedler, A. Plozner, B. Rutzinger, W. Scherleitner - Wpływ odmian spawania łukowego w osłonie gazów na właściwości złączy spawanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości**

Czas stygnięcia w zakresie temperatury 800°C-500°C jest ważnym czynnikiem określającym własności złączy spawanych ze stali o wysokiej wytrzymałości. W procesie spawania czas chłodzenia

$t/5$  może być sterowany przez ilość wprowadzonego do materiału ciepła, a także poprzez różną grubość ścianki materiału spawanego. Nowoczesne metody spawania łukowego, wprowadzając ograniczoną ilość ciepła do materiału, zapewniają jednocześnie zachowanie współczynnika stąpienia i poprawiają stabilność poziomu wytrzymałości za pomocą zoptymalizowanych nastawów spawarki. W artykule porównano wpływ konwencjonalnych procesów spawania, takich jak: spawanie łukowego w osłonie gazu łukiem krótkim, łukiem natryskowym i łukiem pulsującym z nowo wprowadzonymi procesami, jak: PMC (Pulse Multi Control) i innymi w odniesieniu do właściwości spoiny. Szczególny nacisk położono na właściwości stopiwa i spoiny. Przedstawiono opracowane na tej podstawie praktyczne wnioski i zalecenia w celu optymalizacji właściwości złączy spawanych.

#### **J. Górka, S. Stano - Spawanie wiązką laserową złączy teowych blach o grubości 10 mm ze stali walcowanej termomechanicznie**

Przedstawiono badania dotyczące technologii spawania wiązką laserową złączy teowych bez materiału dodatkowego stali obrabianej termomechanicznie o wysokiej granicy plastyczności S700MC o grubości 10 mm. Wykonano złącza spawane jednostronnie i dwustronnie. Przeprowadzone badania nieniszczące pozwoliły sklasyfikować złącza na poziomie jakości B zgodnie z normą PN-EN ISO 13919-1. W przypadku spawania jednostronnego przy zastosowaniu mocy wiązki na poziomie 11 kW uzyskano wtopienie na głębokości 8 mm, bez wyraźnego odkształcenia średnicy złącza. Uzyskane złącza spawane dwustronnie charakteryzują się poprawną geometrią, a wymiary występujących w spoinach pęcherzy gazowych spełniają kryteria wymiarów granicznych poziomu jakości B (wymagania ostre). Spoina posiada strukturę bainityczno-ferrytyczną, a jej twardość wzrasta o około 60 HV1 w stosunku do twardości materiału rodzimego (280 HV1). W obszarze SWC następuje niewielkie zmiękczenie w stosunku do twardości materiału rodzimego.

#### **V. van der Mee - Spawanie stali odpornych na korozję o strukturze dwufazowej**

Przedstawiono stale dwufazowe stosowane w nowoczesnych gałęziach przemysłu. Omówiono szczegółowo wszystkie rodzaje tych stali (duplex, super duplex, lean duplex i hyper duplex) i ich własności, ze szczególnym uwzględnieniem odporności na korozję, a także podstawowe obszary zastosowania. Przedstawiono zagadnienia związane z technologią spawania, obejmujące przygotowanie materiału podstawowego, metody i techniki spawania, wymagania odnośnie ilości wprowadzonego ciepła, a także zabiegi cieplne przed i po spawaniu. Zwrócono uwagę na rosnący udział stali dwufazowych, stosowanych na konstrukcje spawane, a także przedstawiono perspektywę dalszego rozwoju.

#### **P. Bernasovský, A. Petráňová - Awaryjne konstrukcje ze stali austenitycznych – analiza przypadków**

Przedstawiono przypadki awarii konstrukcji wykonanych ze stali austenitycznych. Pierwszy przypadek dotyczy rury odlewanej odśrodkowo  $\varnothing 52,6 \times 5,8$  mm wykonanej ze stali w gatunku 25-35 CrNi, która pracowała w wysokiej temperaturze i w środowisku redukcyjnym ( $a_c \gg 1$ ). W drugiej części pracy przedstawiono natomiast wyniki badań elementów konstrukcji, tj. elementu wodomierza i rurociągu wody chłodzącej wykonanych ze stali austenitycznej. W obu przypadkach w trakcie stosunkowo krótkiej eksploatacji wykryto nieszczelności. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że przyczyną awarii jest korozja mikrobiologiczna spowodowana bakterią redukującą siarkę (SRB), a nie technologia spawania.

**O. Obruch, S. Jüttner, G. Ballschmiter, M. Kühn, K. Dröder - Zgrzewanie oporowe konstrukcji hybrydowych z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym (FRP) i stali przy użyciu metalowych łączników o specjalnej konstrukcji**

Przedstawiono technologię termicznego spajania materiałów kompozytowych i elementów metalowych, tworzących konstrukcje hybrydowe, za pomocą pomocniczych elementów łączących. Optymalizację wnikania tych elementów w materiał kompozytowy prowadzono, wykorzystując proces iteracyjny, przy założeniu najniższego poziomu zniszczenia tego materiału. W artykule przedstawiono ponadto zasadnicze wymagania odnośnie zgrzewania elementów pomocniczych w odniesieniu do perspektyw tego procesu. Przedstawiono i przeanalizowano różne koncepcje połączenia tych elementów. Zwrócono uwagę na zastosowanie niskiego poziomu energii wprowadzonej do materiału, w celu zminimalizowania zniszczenia cieplnego materiałów kompozytowych, i wynikający stąd wymóg nowego podejścia do zgrzewania punktowego. Biorąc pod uwagę powyższe, przedstawiono wybrane rozwiązania. Opisano również właściwości mechaniczne złączy i parametry zgrzewania.

**M. Hudycz, T. Chmielewski, D. Golański - Analiza rozkładu temperatury i naprężeń podczas tarcowego metalizowania tytanem ceramiki AlN**

Przedstawiono wyniki analizy numerycznej złącza AlN-Ti uzyskanego w procesie zgrzewania tarcowego, w którym trzpień tytanowy wcierany był czołowo w podłoże ceramiki azotkowej. Celem procesu było wytworzenie cienkiej powłoki metalicznej z tytanu na podłożu ceramiki, która umożliwiałaby jej dalsze spajanie z metalami. Proces metalizowania ceramiki przez tarcie nie był dotychczas stosowany jako narzędzie do metalizacji ceramiki i jak wykazały wstępne badania, może stanowić korzystną alternatywę w stosunku do obecnie stosowanych długotrwałych i kosztownych procesów metalizowania ceramiki. Poprzez modelowanie numeryczne procesu tarcia ceramiki AlN tytanem uzyskano informacje o rozkładzie pól temperatury oraz naprężeń na powierzchniach kontaktu układu AlN-Ti w fazie tarcia. Otrzymane wyniki będą pomocne w analizie mechanizmu tworzenia się warstwy pośredniej połączenia ceramiki AlN z tytanem.

**J. Adamiec - Właściwości rur ożebrowanych ze stopów niklu spawanych laserowo**

Przedstawiono wyniki oceny właściwości rur ożebrowanych ze stopu niklu Inconel 625 w zakresie ich sprawności cieplnej, odporności na korozję wysokotemperaturową oraz korozję elektrochemiczną. Stwierdzono, że zastosowanie żeber jako rozwinięcia powierzchni wymiany ciepła prawie trzykrotnie poprawia sprawność cieplną rur ożebrowanych, przy zachowaniu wysokiej odporności na korozję w atmosferze spalin i korozję elektrochemiczną.

**K. Wojsyk, M. Macherzyński - Określanie energii liniowej spawania metodą pomiaru pól poprzecznych spoin**

Praca zawiera propozycję oceny ilości ciepła wprowadzanego do materiałów metodą pomiaru pola poprzecznego przetopionych objętości podczas spawania lub napawania. Opisano współczesne próby szacowania energii liniowej przez montaż watomierzy w zasilaczach łuku oraz jej powiązanie z wymiarami liniowymi spoin. Uzasadniono konieczność zmiany podejścia do sposobu obliczania energii liniowej rozwojem metod spawania i wprowadzania nowych, wrażliwych na działanie ciepła materiałów. Wprowadzanie licznych impulsowych i hybrydowych (z udziałem lasera) metod spawania powoduje, że obliczanie w sposób konwencjonalny energii liniowej staje się dyskusyjne, co zilustrowano przykładami. Zaproponowano sposób obliczania wkładu ciepła podczas spawania punktowego.

**S.G. Grigorenko, S.W. Achonin, W.Ju. Belous, R.W. Selin - Wpływ obróbki cieplnej na strukturę i własności połączeń wysokostopowego stopu tytanu spawanych elektronowo**

Przedstawiono specyfikę formowania połączenia wysokostopowego stopu tytanu ( $\alpha + \beta$ ) o wysokiej wytrzymałości przy spawaniu wiązką elektronów w próżni. Badania przeprowadzono na próbkach stopu kompozycji Ti-Al-Mo-V-Nb-Cr-Fe-Zr, otrzymanego metodą przetapiania elektronowego. Zbadano wpływ cyklu cieplnego spawania i obróbki cieplnej po spawaniu na strukturalno-fazowe przemiany w metalu spoiny i strefie wpływu ciepła połączeń spawanych. W metalu spoiny i SWC powstaje struktura z przewagą metastabilnej fazy  $\beta$ , co powoduje obniżenie wskaźników plastyczności i udamności. W celu polepszenia struktury i własności mechanicznych połączeń spawanych wykonanych wiązką elektronów konieczne jest przeprowadzenie obróbki cieplnej po spawaniu. Najlepsze charakterystyki mechaniczne badanych złączy spawanych uzyskano po przeprowadzeniu obróbki cieplnej w piecu (wyżarzanie przy  $T=900^{\circ}\text{C}$  w ciągu 1 godziny i stygnięcie z piecem), która sprzyja otrzymaniu praktycznie jednorodnej struktury i rozpadowi metastabilnych faz w spoinie i SWC.

**A.A. Goljakiewicz, Ł.N. Orłow - Doświadczenie stosowania napawania drutem proszkowym w przedsiębiorstwach Ukrainy**

Omówiono doświadczenie zwiększania rezerwy części urządzeń w różnych gałęziach przemysłu. Jest ono osiągnięte za pomocą naniesienia warstw umacniających napawanych drutami proszkowymi. Wysoka odporność na zużycie w warunkach walcowania stali i jej prostowania jest osiągnięta poprzez formowanie matrycy martenzytycznej umocnionej dyspersyjnymi węglkami.

**M. Beloev, N. Lolov - Wybrane aspekty technologiczne wykonawstwa zbiorników do przechowywania amoniaku**

Omówiono czynniki związane z naprężeniowym pękaniem korozyjnym podczas eksploatacji zbiorników do przechowywania amoniaku. Przedstawiono szczegóły technologii spawania mające na celu zapewnienie maksymalnej trwałości tych zbiorników, metody zmniejszenia naprężeń spawalniczych w ich konstrukcji i nieniszczące metody pomiaru naprężeń własnych po odprężaniu konstrukcji.

**T. Piwowarczyk, M. Korzeniowski, A. Ambroziak, T. Kowal, R. Rutka, M. Karolewski - Wpływ przygotowania powierzchni czołowych rur na jakość zgrzein wykonanych łukiem wirującym**

Scharakteryzowano zgrzewanie łukiem wirującym - technologię wykonywania złączy doczołowych, głównie elementów o przekroju kołowym. Przedstawiono ideę i mechanizm powstawania połączeń. Wskazano na problematykę przygotowania powierzchni czołowych rur i jej wpływ na jakość otrzymywanych zgrzein. Eksperyment wykonano na wybranych elementach przenoszenia napędu, w aspekcie zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym. Przeprowadzono badania wizualne, geometryczne, metalograficzne oraz testy funkcjonalne oraz technologiczne złączy. Określono błędy krytyczne, dyskwalifikujące funkcjonalność połączeń zgrzewanych.

**Z. Mikno - Wysokosprawna zgrzewarka inwertorowa o podwyższonej częstotliwości – korzyści i zalety nowej technologii**

Przedstawiono korzyści i zalety zgrzewarek inwertorowych o podwyższonej częstotliwości pracy (10kHz). Porównano zgrzewarki konwencjonalne prądu przemiennego AC 50Hz i zgrzewarki

inwertorowe o częstotliwości pracy 1 i 10 kHz. W artykule przedstawiono wyniki prac w ramach aktualnie wykonywanego projektu *Programu Badań Stosowanych* (PBS3/B4/12/2015).

**A. Bicz, W. Bicz, M. Korzeniowski, T. Piwowarczyk, A. Ambroziak - Zastosowanie badań ultradźwiękowych do analizy jakości połączeń spajanych elementów o przekroju kołowym**

Prezentowano współczesne metody kontroli ultradźwiękowej elementów o przekrojach rurowych łączonych różnymi metodami spawalniczymi. Dla wybranych rozwiązań technologicznych przedstawiono zastosowanie odpowiednich prezentacji sygnałów ultradźwiękowych w różnych aplikacjach przemysłowych, głównie zautomatyzowanych. Ponadto przedstawiono istniejące rozwiązania przemysłowe stanowisk do badania rur, części maszyn i podzespołów z uwzględnieniem elementów mechanicznych oraz części związanych z akwizycją sygnałów ultradźwiękowych.

**K. Kaczmarek, P. Irek, Ł. Rawicki, J. Ślania - Wykrywanie niezgodności w złączach spawanych za pomocą techniki czasu przejścia wiązki dyfrakcyjnej (TOFD)**

W pracy zawarto wyniki badań ultradźwiękowych techniką czasu przejścia wiązki dyfrakcyjnej (TOFD). Badanie przeprowadzono na złączu doczołowym o grubości 10 mm spawanym metodą MMA, zawierającym niezgodności w postaci liniowych wtrąceń żużla. Zaprezentowano obrazy TOFD uzyskane przy badaniu z powierzchni od strony lica, a także z powierzchni od strony grani spoiny. Wyniki badań TOFD porównano z wynikami badań metalograficznych mikro- i makroskopowych przeprowadzonych w wybranych punktach złącza spawanego.

**T. Hejwowski, K. Marczevska-Boczkowska, E. Zięba - Mikrostruktura, odporność na zużycie i odporność na korozję powłok napawanych stopami na osnowie niklu i kobaltu**

Prezentowano wyniki badań powłok napawanych plazmowo mieszaninami proszku na osnowie kobaltu oraz proszku na osnowie niklu. Wykonano badania zużycia ściernego z wykorzystaniem ścierniwa korundowego i badania zużycia adhezyjnego w skojarzeniu rolka-kłosek. Badania korozji elektrochemicznej wykonano w 3% wodnym roztworze NaCl. Wykazano możliwość wytwarzania odpornych na zużycie powłok o pośrednich składach chemicznych.

**J. Pikuła, M. Łomozik, T. Pfeifer - Zastosowanie metody TIG w wielokrotnym spawaniu naprawczym elementów konstrukcyjnych po długotrwałej eksploatacji w przemyśle energetycznym**

Prezentowano wyniki badań spawania naprawczego metodą zmechanizowanego spawania TIG ściany szczelnej po długotrwałej eksploatacji. Określono wpływ naprawy mającej na celu usunięcie nieprzelotowych pęknięć w złączach spawanych wzdłuż pletw z wyjściem na ściankę rury na strukturę i twardość strefy wpływu ciepła (SWC) naprawczego złącza spawanego ściany szczelnej. Zbadano również wpływ wielokrotności spawania naprawczego na powstawanie karbów strukturalnych w SWC.

**K. Luksa, M. Bednarek - Charakterystyka i spawalność stali ulepszanych cieplnie stosowanych na osłony balistyczne**

Scharakteryzowano wybrane stale ulepszone cieplnie stosowane na osłony balistyczne. Przedstawiono wymagania norm co do własności i składu chemicznego tych stali, a także wymagania, jakie muszą spełniać w przypadku wykorzystania ich na osłony balistyczne. Opisano i wymieniono zalecenia związane z procesem spawania tych stali. Porównano równoważniki węgla  $C_e$  wybranych gatunków stali stosowanych na osłony balistyczne, a także sugerowane przez producentów stali

temperatury podgrzewania wstępnego. Z analizy zebranych informacji wynika, iż do spawania tych stali należy stosować procesy niskowodorowe, które zapewniają zawartość wodoru dyfundującego poniżej  $5 \text{ cm}^3$  na 100 g stopiwa. Podgrzewanie wstępne jest zalecane dla blach o grubości powyżej 30 mm, a temperatura międzyścięgowa nie może przekraczać  $200^\circ\text{C}$ . Spawanie należy prowadzić wielościęgowo, stosując materiały dodatkowe wysokostopowe, o strukturze austenitycznej, najlepiej z gatunku G 18 8 Mn. W przypadku spawania w osłonach gazowych należy dobrać mieszanki na bazie argonu; zalecane: 82% Ar + 18%  $\text{CO}_2$  lub 92% Ar + 8%  $\text{CO}_2$ .

#### **S. Stano, J. Adamiec, J. Dworak, M. Urbańczyk - Badania procesu spawania laserowego złączy teowych z cienkich blach austenitycznych**

Przedstawiono wyniki badań procesu spawania laserowego laserem  $\text{CO}_2$  oraz laserem Yb:YAG złączy teowych cienkich blach ze stali X5CrNi18-10 (stal 304), X6CrNi18-10 (stal 304H) i X15CrNiSi25-21 (stal 310), które zostały wybrane jako stale nierdzewne o możliwości ich zastosowania na rury ożebrowane, przeznaczone do pracy w kotłach o parametrach nadkrytycznych. Próby spawania przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch odmiennych źródeł laserowych - lasera gazowego  $\text{CO}_2$  oraz lasera na ciele stałym Yb:YAG. Określono odpowiedni kąt wejścia wiązki laserowej w obszar styku blach, który zapewniał uzyskanie prawidłowego kształtu spoiny. Przeprowadzone badania nieniszczące pozwoliły sklasyfikować złącza w poziomie jakości B zgodnie z normą 13919-1. Dla wybranych połączeń przeanalizowano rozkład składników stopowych w obszarze złącza. Stwierdzono, że w wyniku procesu spawania laserowego został zachowany równomierny rozkład składników stopowych bez wyraźnego ich ubytku w obszarze spoiny.

#### **A. Świerczyńska, J. Łabanowski, D. Fydrych - Wpływ energii liniowej i mikrostruktury na zawartość wodoru pozostającego w złączach spawanych ze stali superdupleks**

Przedstawiono badania nad zawartością wodoru pozostającego w złączach spawanych ze stali superdupleks wykonanych metodami FCAW i SAW. W wyniku zastosowania różnych technologii spawania uzyskano spoiny o różnych mikrostrukturach i zawartości ferrytu. Pomiar zawartości wodoru pozostającego w złączach metodą całkowitego spalania wykazały na jego zróżnicowaną zawartość w materiale rodzimym oraz w badanych spoinach. Stwierdzono, że zawartość wodoru w spoinach stali superdupleks zależy nie tylko od udziału objętościowego mikrostruktur, ale również od ich budowy i energii liniowej spawania.

#### **L. Szubert, J. Matusiak, P. Skoczewski, J. Wyciślik - System pomiarowy i przetwarzania danych do oceny poziomu dźwięku emitowanego przy wytwarzaniu konstrukcji spawanych**

Przedstawiono budowę, możliwości techniczne oraz przeznaczenie wielostanowiskowego systemu pomiarowo-analitycznego do oceny parametrów procesu spawania oraz poziomu dźwięku. System stanowi innowacyjne rozwiązanie w technice pomiarowej dotyczącej parametrów procesu spawania i pomiarów ciśnienia akustycznego w halach technologicznych. Wdrożony do praktyki przemysłowej system umożliwia monitoring i rejestrację poziomu hałasu w poszczególnych gniazdach produkcyjnych oraz monitoring i rejestrację warunków technologicznych spawania różnych konstrukcji lub wyrobów.