

# Ocena jakości komponentów zgrzewanych łukiem wirującym

## Quality evaluation of Magnetically Impelled Arc Butt (MIAB) welded components

### Streszczenie

W artykule przedstawiono informacje dotyczące praktyki inżynierskiej badań niszczących i nieniszczących komponentów zgrzewanych łukiem wirującym. Scharakteryzowano ideę procesu i wykazano jej zalety w porównaniu z technologiami alternatywnymi. Opisano status dokumentów, wytyczne oraz instrukcje determinujące prawidłowe wykonanie połączeń. Przedstawiono procedury kontroli jakości zgrzein, dzieląc je na dwie podstawowe grupy – analizy w trakcie procesu oraz badania wykonanych połączeń. Nacisk położono na aspekty praktyczne, za przykład aplikacyjny stosując elementy przeniesienia napędu.

**Słowa kluczowe:** zgrzewanie łukiem wirującym; zgrzewanie rur, przemysł motoryzacyjny; parametry zgrzewania; jakość komponentów

### Abstract

Information on engineering practice of destructive and non-destructive testing of Magnetically Impelled Arc Butt (MIAB) welded components were presented. Concept of the process was characterized and its advantages in comparison with alternative technologies were demonstrated. Status of documents, guidelines and instructions determining the correct performance of joints were described. Procedures of welds quality control were presented and were divided into two basic groups – in the process analysis and research of performed joints. Practical aspects were emphasized, taking as an application example the elements of drive transmission.

**Keywords:** Magnetically Impelled Arc Butt welding; pipes MIAB welding; automotive industry; MIAB welding parameters, components quality

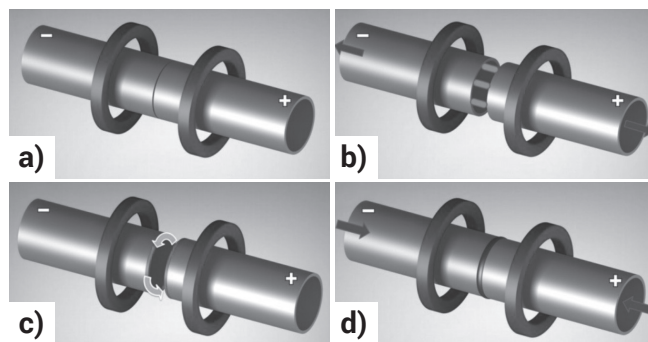
## Wstęp

### Proces zgrzewania łukiem wirującym

Zgrzewanie łukiem wirującym jest technologią dedykowaną do spajania rur lub innych profili o konturze zamkniętym. Uzyskanie znacznego stopnia uplastycznienia powierzchni czołowych materiałów łączonych (w tym procesie materiał nie jest doprowadzany do stanu ciekłego) uzyskiwane jest w wyniku oddziaływania łuku, który dodatkowo wprowadzany jest magnetycznie w ruch obrotowy, co zapewnia równomierność nagrzewania [1÷6]. Docisk spęczający realizowany w końcowej fazie procesu zapewnia stabilność połączenia i eliminację ewentualnych niezgodności, które zostają wyrzucone poza obszar złącza przenoszący obciążenia. Ruch wirujący wytworzony wskutek występowania siły Lorentza, będącej następstwem oddziaływania łuku z polem magnetycznym, które w nowoczesnych urządzeniach realizowane jest przez cewki, umieszczone wokół zgrzewanych elementów. Proces zgrzewania łukiem wirującym przebiega w kilku następujących po sobie etapach (rys. 1) [1÷12]:

- zamocowanie elementów w pozycjonujących szczękach (zazwyczaj trójpunktowych), doprowadzenie do zetknięcia ich powierzchni czołowych, wzbudzenie cewek magnetycznych,
- zajarzenie łuku w wyniku odsunięcia przedmiotów,

- równomierne nagrzanie powierzchni łącznych wskutek ruchu wirowego łuku,
  - po doprowadzeniu powierzchni czołowej materiału do stanu znacznego uplastycznienia wywarcie docisku spęczania.
- Szczegółowe informacje dot. idei zgrzewania łukiem wirującym i uzyskiwanych z wykorzystaniem tej techniki złączy zostały opublikowane na łamach Przeglądu Spawalnictwa [6].



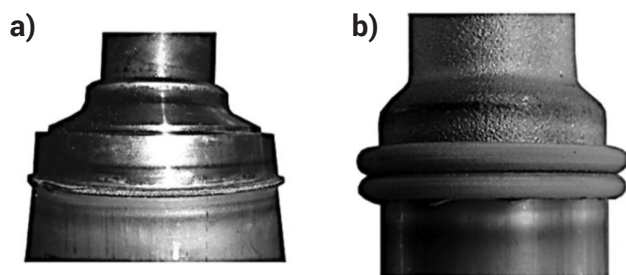
Rys. 1. Etapy zgrzewania łukiem wirującym [6]  
Fig. 1. Stages of Magnetically Impelled Arc Butt Welding [6]

Dr inż. Tomasz Piwowarczyk, dr inż. Marcin Korzeniowski, prof. dr hab. inż. Andrzej Ambroziak – Politechnika Wroclawska;  
mgr inż. Rafał Rutka, inż. Sławomir Krzywański, mgr inż. Mariusz Karolewski – GKN Driveline Oleśnica.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: tomasz.piwowarczyk@pwr.edu.pl

## Zgrzewanie łukiem wirującym jako alternatywa zgrzewania tarciovego

W ostatnich latach trendy w branży motoryzacyjnej wymusiły na producentach znaczną redukcję masy pojazdów. Ma to związek z aspektami zarówno użytkowymi, jak i ekonomicznymi oraz środowiskowymi. Sprzyja temu radykalny postęp w procesach przetwórstwa stali. Wskutek modyfikacji składu chemicznego połączonej z niekiedy bardzo skomplikowaną obróbką cieplną, przemysł hutniczy jest w stanie zaproponować odbiorcom stopy o niespotykanych dotąd właściwościach. Szczególnie interesujące są grupy stali wysokowytrzymałych, które zastępują stosowane do tej pory gatunki, oferując minimalizację masy elementu. Cieńsze grubości elementów, w przypadku spajania doczołowego, powodują ograniczanie powierzchni łączonych. To w wielu rozwiązaniach wymusza zmianę technologii wytwarzania na takie, które są dedykowane do konstrukcji spajanych na mniejszych obszarach styku. W przypadku analizowanych elementów przeniesienia napędu, z powodzeniem dotychczas zgrzewanych tarciovio, wraz z redukcją grubości ścianki rur poniżej 3 mm (w wielu przypadkach nawet 1,5 mm), zwrócono się w kierunku techniki zgrzewania łukiem wirującym. Zbyt cienka grubość rur zgrzewanych tarciovio może się przyczyniać do występowania problemów związanych z utrzymaniem oczekiwanych zależności kształtowo-wymiarowych elementów spajanych, jak również niezgodnościami technologicznymi wynikającymi z niestabilności procesu. Analiza geometrii podzespołów wytworzonych z cienkościennych rur zgrzewanych tarciovio wskazuje na liczne deformacje kształtu, najczęściej typu wybocheniowego, oraz związane z nimi wady technologiczne powstałe wskutek zakłóceń procesu łączenia. Siły wzdłużne potrzebne do zgrzania elementów metodą tarciovą w rezultacie powodują bicie promieniowe na nieakceptowalnym poziomie. Stąd też koncerny motoryzacyjne, realizujące prace w skali wielkoseryjnej, stawiają na powtarzalną jakością techniki produkcyjne, pozwalające na systematyczne wytwarzanie bez niezgodności. Liderzy sektora branży samochodowej, specjalizującego się w wytwarzaniu elementów układu napędowego, zdecydowali się w ostatnich latach na zmianę technologii spajania doczołowego cieńszych podzespołów ze zgrzewania tarciovego na zgrzewanie łukiem wirującym. Na rysunku 2. pokazano różnice w kształcie wyływki złączy zgrzewanych łukiem wirującym (a) oraz zgrzewanych tarciovio (b). Wprawdzie uzyskana wielkość wyływki zależy od zastosowanych parametrów procesowych właściwych dla każdej z technik łączenia, natomiast jednoznacznie można stwierdzić, iż z uwagi na większą grubość ścianki wyływka zgrzeiny zgrzewanej tarciovio jest znacznie większa. O ile w przypadku zgrzeiny wykonanych tarciovio decyzję o konieczności jej usuwania podejmuje klient (często jest to warunkowane dodatkowymi kosztami), złącza zgrzewane łukiem wirującym zwykle nie są dodatkowo obrabiane. Nawet w incydentalnych przypadkach stwierdzenia nierównomier-



Rys. 2. Wyływka po procesie zgrzewania łukiem wirującym (a), po procesie zgrzewania tarciovego (b)

Fig. 2. Flash after MIAB welding (a), after friction welding (b)

ności wyływki, ewentualne problemy związane z biciem eliminuje się podczas procesu wyważania [13].

Oprócz celnie wpisującej się w trendy obecnie panujące w przemyśle motoryzacyjnym zalety zgrzewania łukiem wirującym, pozwalającej dzięki stosowaniu materiałów o podwyższonej wytrzymałości i mniejszej grubości na wytwarzanie pojazdów o zredukowanej masie nieresorowanej, technika ta wykazuje wiele innych korzystnych właściwości. Pomijając korzyści ekonomiczne, podkreślić należy szczególnie uzasadnioną w warunkach masowej produkcji powtarzalną jakość połączeń, minimalizację wtrąceń i zanieczyszczeń w zgrzeinie, oszczędność czasu i mocy, możliwość zgrzewania elementów różnoimiennych i bezproblemowe ich pozycjonowanie (brak obrotu elementów) [1÷3,6,7,9÷11,14÷25]. Wszystkie te zalety przyczyniają się do zapewnienia właściwego poziomu bezpieczeństwa konstrukcji pojazdu.

## Zgrzewane łukiem wirującym – normy, wytyczne, uwarunkowania techniczne

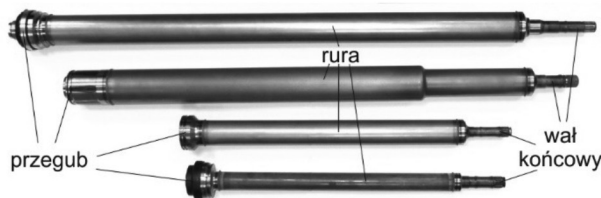
Mimo iż zgrzewanie łukiem wirującym jest procesem doskonalonym od kilkudziesięciu lat, znalezienie fachowej literatury oraz wytycznych technologicznych opisujących tą technikę jest problematyczne. Opracowania z zakresu spawalnictwa przedstawiają aspekty teoretyczne techniki, jej właściwości i potencjalne zastosowanie, nie zagłębiając się szczegółowo w parametry procesowe interesujące z inżynierskiego punktu widzenia. Dodatkowo aktualnie oferowane stanowiska do zgrzewania wyposażone są w autorskie systemy sterowania, które z jednej strony gwarantują użytkownikowi znaczną ergonomię obsługi maszyn, ale jednocześnie uniemożliwiają zastosowania metod porównawczych dla różnych warunków produkcyjnych (np. bezpośrednie przeniesienie parametrów z dwóch różnych maszyn). Polega to zazwyczaj na ukrywaniu rzeczywistych parametrów pod określonymi programami, które niejednokrotnie łączą ze sobą kilka atrybutów technologicznych. Zaawansowane algorytmy sterowania stanowią zatem jedną z metod producenta stanowisk do ochrony technicznych danych konfidencjonalnych, co z kolei przekłada się na jednostkowe wzmianki dot. technologii zgrzewania łukiem wirującym w ogólnodostępnej bibliografii. Krajowe i międzynarodowe jednostki normalizacyjne również nie opracowały dokumentów technicznych dedykowanych tej metodzie, wspominając o niej jedynie w normach ogólnych (np. dot. numeracji i nazw procesów spawalniczych). Nie istnieje też ogólnodostępny krajowy zbiór przepisów czy wytycznych, zarówno w aspekcie technologii, jak również oceny jakości zgrzeiny. Na rynku europejskim (Niemcy, Francja), jak również amerykańskim czy japońskim, zgrzewanie łukiem wirującym uzyskało dopuszczenia odpowiednich ośrodków dozoru technicznego i stosowane jest w produkcji wielu odpowiedzialnych konstrukcji, głównie w przemyśle samochodowym [6]. Przykładem może być instrukcja DVS - niemieckiej organizacji spawalniczej Merkblatt 2934 „Pressschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBP-Schweißen)”, zawierająca rzeczowe informacje procesowe. Niemniej takich dokumentów jest niewiele, stąd koncerny motoryzacyjne stosujące zgrzewane łukiem wirującym w swoich procesach wytwórczych, zmuszone są do przygotowania własnych uwarunkowań technicznych, modyfikując je wraz z rozwojem technologii i praktyką inżynierską.

## Kontrola jakości połączeń zgrzewanych

Aktualnie integralną częścią każdej zgrzewarki jest system monitorujący proces zgrzewania, który w połączeniu

z dedykowanym układem sterowania umożliwia kontrolę parametrów wpływających na jakość połączeń. Zadaniem układu jest mierzenie i sprawdzanie parametrów procesowych w aspekcie spełnienia żądanych wartości, mieszczących się w obrębie zdefiniowanych granic tolerancji. Procedury odbioru połączeń zgrzewanych są zwykle wypadkową doświadczeń koncernu i ustaleń z klientem. W przypadku elementów przeniesienia napędu rodzaj i częstotliwość wykonywanych badań z reguły są zbliżone, choć oczywiście ostateczna decyzja należy do zamawiającego. Jakość zgrzein wykonywanych łukiem wirującym jest wysoka i powtarzalna, stąd jakościowo i ilościowo klienci w porozumieniu z wytwórcą decydują się zwykle na podobne spektrum testów.

Standardowe spektrum badań zostanie przedstawione na przykładzie wałów przegubowych (rys. 3). Wał przegubowy składa się z 3 sekcji: rury, końcówki lewej (korpus bądź przegub kompletny) i końcówki prawej (stubshaft, czyli tzw. wał końcowy – wał krótki). Podczas procesu zgrzewania obie końcówki zostają w tym samym czasie jednocześnie zgrzewane do rury. Elementy składowe, w zależności od ich typu, mocowane są najczęściej w specjalne uchwyty dźwigniowe trójścżętkowe lub hydrauliczne mechanizmy suwakowe.



Rys. 3. Przykłady analizowanych wałów przegubowych  
Fig. 3. Examples of analyzed propshafts

Analizy poprawności wykonania zgrzein można podzielić na dwie główne grupy: kontrola parametrów procesowych podczas zgrzewania oraz badania wykonanych połączeń. Ich częstotliwość jest różna i zależy zarówno od specyfiki badania oraz umowy z klientem. W praktyce stosuje się następujące częstotliwości testów kontrolnych:

- podczas pierwszego uruchomienia produkcji,
- na początku zmiany,
- po przebrojeniu maszyny,
- po zmianie parametrów procesu,
- po korekcie współosiowości uchwytów,
- co najmniej 1/24 h,
- po dłuższym przestoju maszyny trwającym >24h.

## Kontrola parametrów procesowych podczas zgrzewania

Podczas przebiegu procesu zgrzewania mierzony jest szereg parametrów istotnych dla zachowania powtarzalności każdego cyklu, jaki i jakości uzyskanej zgrzeiny. Jego zakres jest uzależniony od typu zgrzewarki, ale biorąc pod uwagę, że aktualnie urządzenia dedykowane dla przemysłu motoryzacyjnego wykonuje zazwyczaj jedna firma, spektrum badań zawiera zazwyczaj kontrolę następujących wyróżników:

- położenie wyjściowe - rzeczywista pozycja sań podczas przylegania powierzchni czołowych elementów zgrzewanych, przed rozpoczęciem procesu zgrzewania, w stosunku do pozycji zadanej. Analizuje każde odchylenie długości przedmiotów obrabianych, jak również ich ewentualne elastyczne odkształcenie pod wpływem ciśnienia dociskania.
- odsuwanie - jest to rozmiar szczeliny powietrznej podczas fazy zgrzewania, która określa bezpośrednio długość łuku elektrycznego.

- przyrost prądu zgrzewania – jednostka proporcjonalna do energii cieplnej, która jest wytwarzana przez łuk elektryczny w szczelinie powietrznej. W przypadku występowania kilku bloków prądowych każdy z nich jest monitorowany oddzielnie.
- łączny czas zgrzewania - całkowity czas trwania procesu.
- przyrost prądu cewki - analiza prędkości i powtarzalności sterowania i regulacji prądu cewki (cewek) w każdej chwili trwania zgrzewania.
- ciśnienie docisku - siła docisku w końcowym etapie procesu zgrzewania podzielona przez powierzchnię tłoka, mierzona wraz z tzw. skróceniem całkowitym.
- prędkość docisku - prędkość, z którą elementy łączone stykają się ze sobą podczas dociskania.
- skrócenie całkowite - skrócenie elementów w stosunku do ich pierwotnej długości wskutek plastycznego odkształcenia elementów i wypierania materiału w strefie łączenia. W rzeczywistości jest to miara drogi na końcu programu, porównana z położeniem wyjściowym.
- położenie końcowe - droga zmierzona na końcu programu pod ciśnieniem dociskania, w odniesieniu do tzw. pozycji zadanej. Obowiązuje zależność: położenie końcowe = położenie wyjściowe - skrócenie całkowite.

## Badania połączeń zgrzewanych łukiem wirującym

Najczęściej wykonywane badania elementów zgrzewanych po procesie można podzielić na cztery grupy: geometryczne, technologiczne, metalograficzne oraz funkcjonalne.

Pomiary geometryczne można podzielić na wykonywane bezpośrednio na zgrzanych elementach oraz przeprowadzone na uprzednio przygotowanych zglądach metalograficznych.

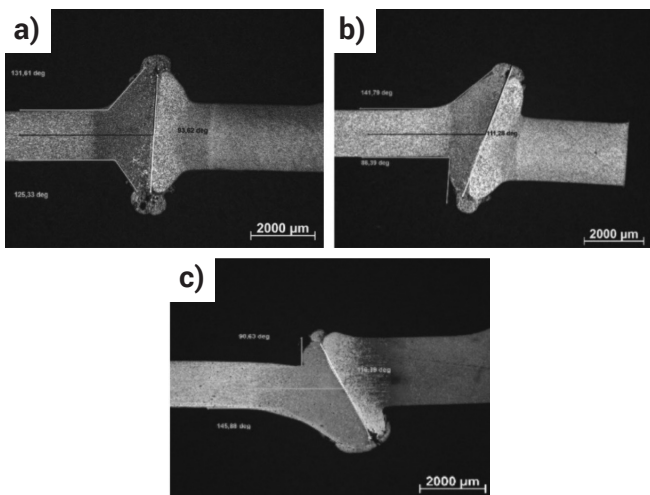
Długość całkowitą zgrzanych elementów kontroluje się w celu oceny wartości prawidłowego skrócenia całkowitego elementu. Zwykle na obu końcówkach znajdują się płaszczyzny bazowe, które pozwalają precyzyjnie wyznaczyć wymiar. Założenia konstrukcyjne elementów zgrzewanych łukiem wirującym wyznaczają, jaka powinna być wartość skrócenia w zależności od wymiarów komponentów. Na tej podstawie zakładane są naddatki na elementy.

Pomiar bicia, które może być spowodowane niewłaściwą geometrią złącza zgrzewanego, wykonuje się wg założeń określonych na podstawie rysunku konstrukcyjnego. Zwiększona wartość bicia na komponencie (za taką przyjmuje się zwykle >0,2÷0,3 mm) negatywnie wpływa na funkcjonowanie całej części w pojeździe, generując wibrację i hałas.

Pomiar kąta zgrzeiny wykonuje się na wcześniej przygotowanym zglądzie metalograficznym. Jest to miara prostokątności linii zgrzeiny w odniesieniu do osi symetrii elementów zgrzewanych (rury i komponentów końcowych). Niewłaściwa miara kąta, związana ściśle z długością samej zgrzeiny, może skutkować obecnością utlenionych metali, które przy prawidłowym złączu zostałyby wyciśnięte na zewnątrz. Dlatego też dąży się, aby kąt linii zgrzeiny był jak najbardziej zbliżony do 90°. Dodatkowo mierzona jest również wartość kąta samej wypłytki, którego przejście powinno mieć charakter rozarty, z uwagi na możliwość powstania karbu mechanicznego. Na rysunku 4 pokazano sposób pomiaru kątów dla zgrzeiny prawidłowej (a) oraz nie spełniającej wymagań technologicznych (b,c).

Do grupy badań technologicznych zaliczany jest test zginania i test płatkowy. Test zginania (ang. crush test) nie jest tożsamy ze znanym dla połączeń spajanych klasycznym badaniem wytrzymałości na zginanie, wykonywanym wg PN-EN ISO 5173:2010. Jest to autorska próba dwubiegowego wgniatania specjalnej konstrukcji stempli, mająca

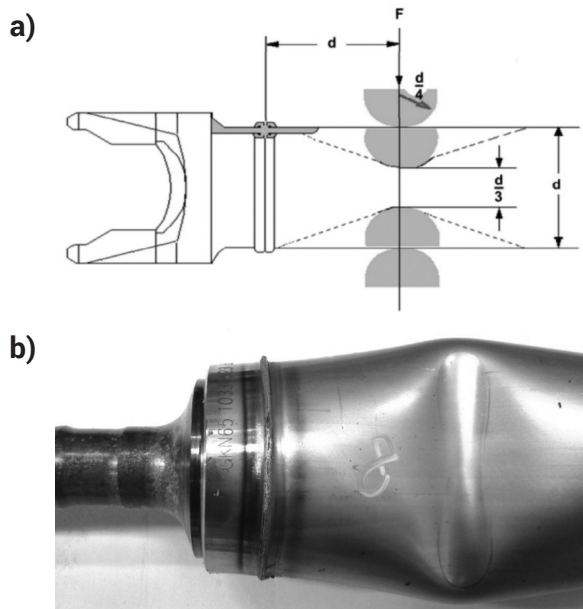




Rys. 4. Pomiar kąta zgrzeiny dla złącza poprawnego (a) oraz niepoprawnego (b,c)

Fig. 4. Weld angle measurements of correct joint (a) and incorrect joint (b,c)

na celu ocenę wytrzymałości mechanicznej zgrzeiny i strefy wpływu ciepła (rys. 5a). Konstrukcja zakończonego walcowo narzędzia i miejsca analizy związane są ściśle z wymiarami rury (najczęściej z jej średnicą). Całość odbywa się na dedykowanym stanowisku, przy zachowaniu określonych warunków przeprowadzania próby. Ewentualne niezgodności stwierdzone w wyniku destrukcyjnego działania narzędzia nie powinny przebiegać wzdłuż lub prostopadle do linii zgrzeiny (rys. 6c,d). Należy podkreślić, że pęknięcie w materiale lub strefie wpływu ciepła (rys. 6b) nie dyskwalifikuje zastosowanych parametrów zgrzewania. Zaletą próby jest brak konieczności specjalnego przygotowywania i obrabiania próbek – analizuje się całe wały przegubowe bezpośrednio po zgrzewaniu.

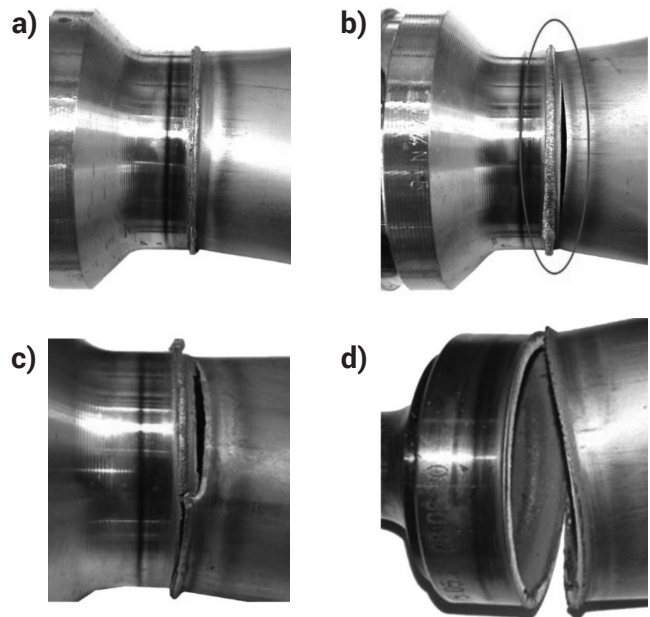


Rys. 5. Założenia teoretyczne (a) i wynik (b) testu zginania

Fig. 5. Theoretical assumptions (a) and practical result (b) of crush test

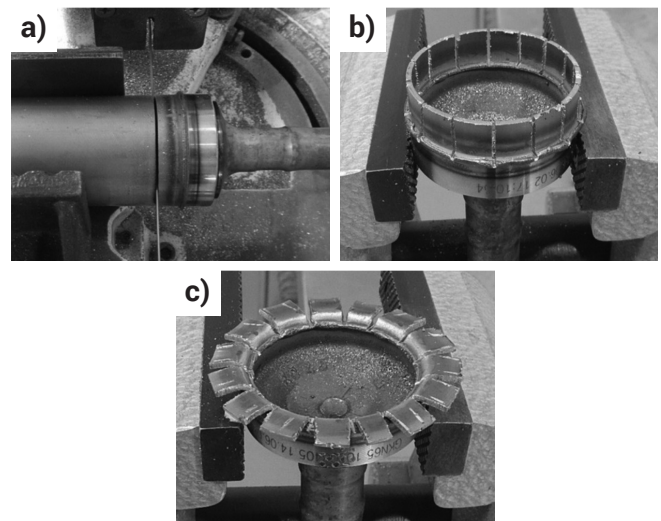
Test płatkowy (ang. petal test, tulip test) jest inżynierską próbą oceny stopnia zmian strukturalnych w zgrzeinie i strefie wpływu ciepła. Jego wynik jest ściśle skorelowany z dokładnością przygotowania elementów. Na wstępie detal przecina się równoległe do zgrzeiny w zadanej odległości od jej linii (rys. 7a), a następnie wykonuje prostopadle do zgrzeiny cięcia o stałej szerokości, zależnej od średnicy

rury (rys. 7b). Tak powstałe „płatki” odgina się do zewnątrz pod kątem min. 90°, obserwując zmiany powierzchni w miejscu gięcia (rys. 7c). Próbę uznaje się za zgodną, jeżeli przy linii zgrzeiny nie obserwuje się niezgodności typu: pęknięcia, rozwarstwienia bądź złuszczenia materiału.



Rys. 6. Poprawny (a,b) i niepoprawny (c,d) wynik testu zginania

Fig. 6. Correct (a,b) and incorrect (c,d) result of crush test

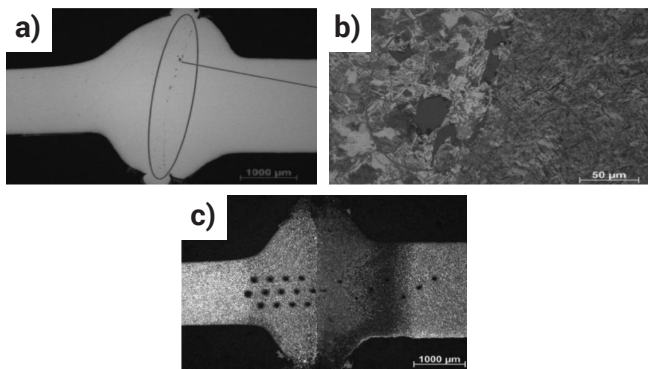


Rys. 7. Podstawowe etapy testu płatkowego

Fig. 7. Basic stages of petal test

Badania metalograficzne są popularnym narzędziem stosowanym do analizy połączeń spajanych. Pozwalają na określenie zmian strukturalnych, jakie zachodzą podczas procesu łączenia w poszczególnych strefach złącza, ale również na wykrycie ewentualnych niezgodności i zdefiniowanie ich charakteru. W przypadku połączeń zgrzewanych łukiem wirującym przeprowadza się zarówno badania makro-, jak i mikrostruktury (rys. 8a,b). Na przygotowanych w tym celu zglądach metalograficznych można dodatkowo przeprowadzić wspomniane pomiary geometryczne złącza, ale również zmierzyć twardość. Dla zgrzein wykonanych tą techniką zwykle stosuje się pomiary metodą Vickersa, wykonując odciski w kilku rzędach w środku grubości elementów, wzdłuż ich osi (rys. 8c).

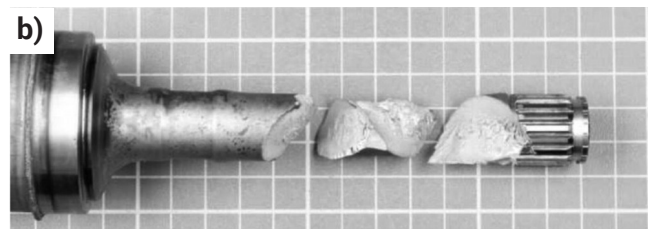
Ostatnie grupa - testy funkcjonalne, polegają na obciążaniu gotowych detali, a niekiedy całych zespołów, symulowanymi



**Rys. 8.** Makrostruktura (a), mikrostruktura (b) i rzędy odcisków po pomiarach twardości (c) złącza zgrzewanego łukiem wirującym  
**Fig. 8.** Macrostructure (a) microstructure (b), and rows of indentation marks after hardness measurements (c) MIAB welded joint

parametrami pracy, odzwierciedlającymi (co do charakteru, nie obciążenia) rzeczywiste warunki eksploatacyjne. Wykonuje się w tym celu statyczny test skręcania, polegający na obciążeniu wału statycznie rosnącym momentem skręcającym. Wstępnie nagrany do zadanej temperatury element, skręca się z założoną prędkością i obserwuje odkształcenia. W zależności od ustaleń można skręcać próbki: aż do pęknięcia, do zadanej wartości odkształcenia (plus wytrzymanie w temperaturze założony przedział czasu) lub z założoną stałą prędkością, według dowolnego programu składającego się z następujących po sobie cykli odkształceń i przerw. Funkcjonalny test skręcania ma na celu wyznaczenie rzeczywistych cech użytkowych analizowanych elementów w celu weryfikacji właściwych współczynników bezpieczeństwa. W przypadku kontroli wałów przegubowych zgrzewanymi łukiem wirującym propagacja zniszczenia obciążonej próbki nie może przebiegać przez linię zgrzeiny oraz w jej pobliżu.

Ponieważ wyniki prób skręcania przeprowadzonych statycznie nie są wystarczające do pełnej oceny rzeczywistej pracy konstrukcji, często obciążanej udarowo, wykonuje się dodatkowo testy skręcania dynamicznego. Ich głównym



**Rys. 9.** Stanowisko do testów skręcania (a) i widok próbki po jego przeprowadzeniu (b)

**Fig. 9.** Stand of torsion tests (a) and sample view after process completing (b)

celem jest określenie wpływu zwiększenia szybkości obciążenia na zjawisko przejścia materiału w stan kruchości. Dodatkowo stanowią one metodę kontroli jakości zastosowanej obróbki cieplnej. Natomiast stosowana próba skręcania zmęczeniowego określa zachowanie się materiałów w warunkach działania obciążeń zmiennych. Wyznacza ona liczbę cykli odpowiadających danej trwałości zmęczeniowej, dla różnego charakteru i wielkości obciążeń. Wyniki uzyskane w próbie zmęczeniowej są często przedstawiane w formie wykresu Wöhlera, określającego zależność pomiędzy wartością naprężeń niszczących próbkę, a ilością cykli zmian obciążenia tej próbki.

## Wnioski

Technika zgrzewania łukiem wirującym, przedstawiona w artykule na przykładzie wytwarzania elementów przeniesienia napędu wykazuje wiele zalet w porównaniu z metodami alternatywnymi, jak np. zgrzewanie tarciove. Szczególną zasadność jej wdrażania obserwuje się właśnie w branży motoryzacyjnej, gdzie przykładowie wpisuje się w aktualny trend redukcji masy pojazdów z zastosowaniem nowoczesnych materiałów i technologii. Mimo uzasadnionego potencjału aplikacyjnego technika ta nie doczekała się w Polsce ustandaryzowanej dokumentacji procesowej. W związku z tym koncerny ją stosujące zmuszone są do opracowania wewnętrznych instrukcji. Spektrum badań, a przede wszystkim ich częstotliwość, ustalane są wspólnie z klientem. Proces zgrzewania łukiem wirującym umożliwia zapewnienie produkcji powtarzalnej i jakościowej. Przyczynia się do tego również system kontroli służący ocenie jakości powstałych zgrzein. Dzieli się on na dwie grupy: analizy w trakcie procesu oraz badania wykonanych połączeń. Najistotniejsze parametry analizowane podczas zgrzewania to: ciśnienie docisku, prąd zgrzewania i szczelina odsuwania, natomiast testy zgrzein obejmują badania: geometryczne, technologiczne, metalograficzne oraz funkcjonalne. Należy podkreślić, że opisane spektrum badawcze zapewnia praktycznie wytwarzanie bez niezgodności, czego dowodem jest stuprocentowy brak reklamacji asortymentu wytworzonego z jej zastosowaniem.

*Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu pt. „Kryteria i metodyka określania jakości złączy zgrzewanymi łukiem wirującym” finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach III Programu Badań Stosowanych.*

## Literatura

- [1] Klimpel A.: Spawanie zgrzewanie i cięcie metali – Technologie, WNT, Warszawa, 1999.
- [2] Pilarczyk J. (red.): Poradnik Inżyniera Spawalnictwo, t. 2, WNT, Warszawa, 2005.
- [3] Kubiszyn I.: Zbadanie warunków zgrzewania łukiem wirującym. Praca badawcza Instytutu Spawalnictwa, nr Ba-37, Gliwice 1980.
- [4] Kachinskiy V.S.: Magnetically Impelled Arc Butt Welding of pipe and hollow parts for mass production, materiały E.O.Paton Electric Welding Institute, Birmingham 2014.

- 
- [5] Phillips D.H.: Magnetically Impelled Arc Butt (MIAB) welding of chromium-plated steel tubular components utilizing arc voltage monitoring techniques, rozprawa doktorska, The Ohio State University, 2008.
- [6] Piwowarczyk T., Małachowska A., Sokołowski P.: Tendencje rozwojowe zgrzewania łukiem wirującym w aspekcie zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym, Przegląd Spawalnictwa, nr 6 (85), 2013.
- [7] Rutka R.: Wpływ parametrów procesu na właściwości złączy zgrzewanych łukiem wirującym, Praca Dyplomowa Magisterska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska, 2015.
- [8] Ganowski F. J.: The magnetarc welding process. Welding & Metal Fabrication, vol. 42, no. 5, 1974.
- [9] Lassociński P.: Podstawy teoretyczne zgrzewania łukiem wirującym. Przegląd Spawalnictwa, nr 1, 1992.
- [10] Lassociński P.: Urządzenia do zgrzewania łukiem wirującym. Przegląd Spawalnictwa, nr 1, 1993.
- [11] Linnert G.E.: Welding Metallurgy - Carbon and Alloy Steels. AWS, Miami, Florida, Ed. 4, Vol. I. Fundamentals, Chapter 6, 1994.
- [12] Gerlach M.: Stand und Entwicklungsrichtungen des MBL-H-Verfahrens. ZISMitt., Bd. 23, no. 10, 1981.
- [13] [13] Korzeniowski M., Kustroń P., Piwowarczyk T., Ambroziak A., Mikno Z., Wiśniewski G., Kozioł M., Szramiak R.: Analiza zależności kształtowo-wymiarowych zgrzein garbowych w elementach przeniesienia napędu wykonanych technologią MIAB, Przegląd Spawalnictwa, nr 3, 2016.
- [14] Gratz H.J.: Erfassung von Parametern beim MBL-Schweissen zur Gutesicherung. ZISMitt., 1979, Bd. 21, no. 10.
- [15] Hagon D., Riley N.: MIAB welding - Part 2. Fabricating the Fiesta rear axle, Metal Construction, no 12, 1979.
- [16] Johnson K.I.: MIAB welding - principles of the process. Metal Construction, no. 11, 1979.
- [17] Johnson K.I.: The magnetically impelled arc butt welding of mild steel tubing. Welding Journal, vol. 58, no. 11, 1979.
- [18] Krohn H.: Automatisches Kehlnahtschweissen - mit dem MBL-Verfahren kein Problem. ZIS Mitt., Bd.21, no. 10, 1979.
- [19] Loebner R.: Magnetarc welding theory and practice. Doc. MIS III-694-81.
- [20] Paasch M.: Leistungssteigerung durch den Einsatz von MBL-Vorrichtungen. ZISMitt., Bd. 21, no. 10, 1979.
- [21] Pening E.: MBL-Schweissen an abnahmspflichtigen Bauteilen im Kraftwerk-anlagenbau. ZISMitt., Bd.21, no. 10, 1979.
- [22] Penning F.: MBL-Schweissen bei der Fertigung von Bohrstange. ZISMitt., Bd. 23, no. 10, 1981.
- [23] Poetschukat W.: Lichtbogenlaufverhalten beim MBL-Schweissen von Rohr Platte Verbindungen. ZISMitt., Bd. 23, no. 10, 1981.
- [24] Schlebeck E.: Automatisierungsprobleme der MBL-Schweißtechnik. ZISMitt., Bd. 23, no. 10, 1979.
- [25] Takagi K.: Application of rotating arc butt welding to town gas pipelines. Doc. MIS III-673-81.
-