

Mgr inż. Agnieszka Kiszka,
dr inż. Tomasz Pfeifer
Instytut Spawalnictwa, Zakład Technologii Spawalniczych

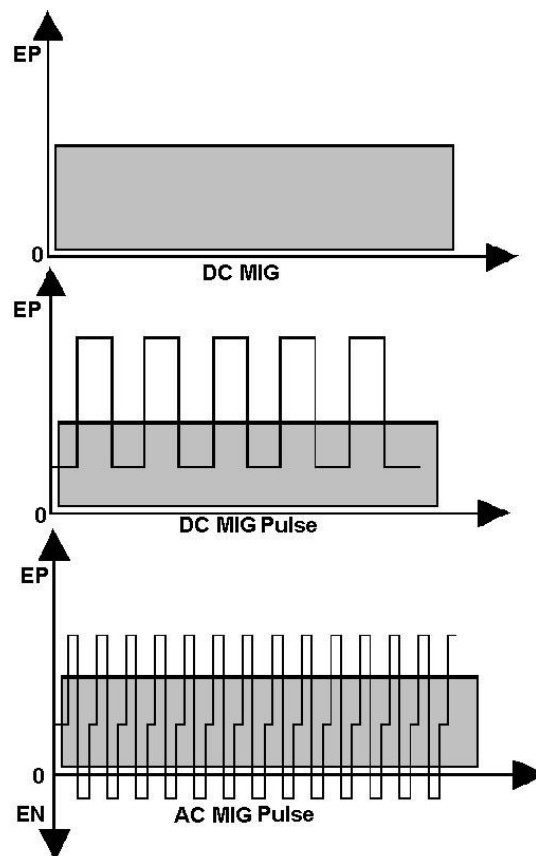
Spawanie cienkich blach stalowych z powłokami ochronnymi metodą MAG prądem o zmiennej biegunowości

Wstęp

Rozwój w zakresie nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych i technologii spawalniczych w ostatnim okresie związany jest bardzo ściśle z wymaganiami przemysłu motoryzacyjnego. Pomimo prób wprowadzenia do produkcji takich materiałów, jak stopy magnezu i aluminium, tworzywa sztuczne czy kompozyty, nadal w przeważającym stopniu stosowane są stale. Rozstrzygają o tym względy ekonomiczne, własności eksploatacyjne i łatwość łączenia. Wytwórcy z branży motoryzacyjnej nieustannie zgłaszają zapotrzebowanie na metody, umożliwiające uzyskanie wysokiej jakości połączeń z blach stalowych o małej grubości, zarówno powlekanych, jak i bez powłok ochronnych. Wykorzystywane dotychczas spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazu aktywnego (MAG) blach o grubościach do 3 mm nie dawało zadowalających efektów. Składały się na to problemy z wprowadzaniem do złącza zbyt dużej ilości ciepła, czego rezultatem były odkształcenia, a także odpryski towarzyszące procesowi spawania. Odpryski znacznie pogarszają estetykę połączeń, a usunięcie ich jest operacją czasochłonną.

Wprowadzenie do przemysłu samochodowego nowoczesnych odmian procesów spawania elektrodą topliwą było możliwe dzięki opracowaniu nowych rozwiązań w dziedzinie zaawansowanych układów sterowania urządzeń spawalniczych. W odpowiedzi na zapotrzebowanie przemysłu samochodowego opracowano tzw. metody niskoenergetyczne, wśród których prym wiodą metoda CTM i ColdArc. Zastosowanie niskoenergetycznych wariantów spawania elektrodą topliwą pozwala na znaczne zmniejszenie odkształceń spawanych elementów, ograniczenie rozprysku, a co się z tym wiąże, znaczne polepszenie estetyki. Zastosowanie tych metod w przypadku blach z powłokami pozwala zmniejszyć uszkodzenie powłoki ochronnej. Najnowszym rozwiązaniem w zakresie niskoenergetycznych metod spawania elektrodą topliwą jest zastosowanie prądu pulsującego o zmiennej biegunowości (rys.1).

W niniejszej publikacji przeanalizowano warunki technologiczne spawania materiałów konstrukcyjnych z powłokami przy zastosowaniu innowacyjnych metod: AC Pulse, opracowanej przez japońską firmę OTC Daihen i Cold Process, stosowanej przy wykorzystaniu urządzenia firmy Cloos. W artykule przedstawiono wyniki uzyskane w Instytucie Spawalnictwa w trakcie prowadzenia pracy badawczej [1].



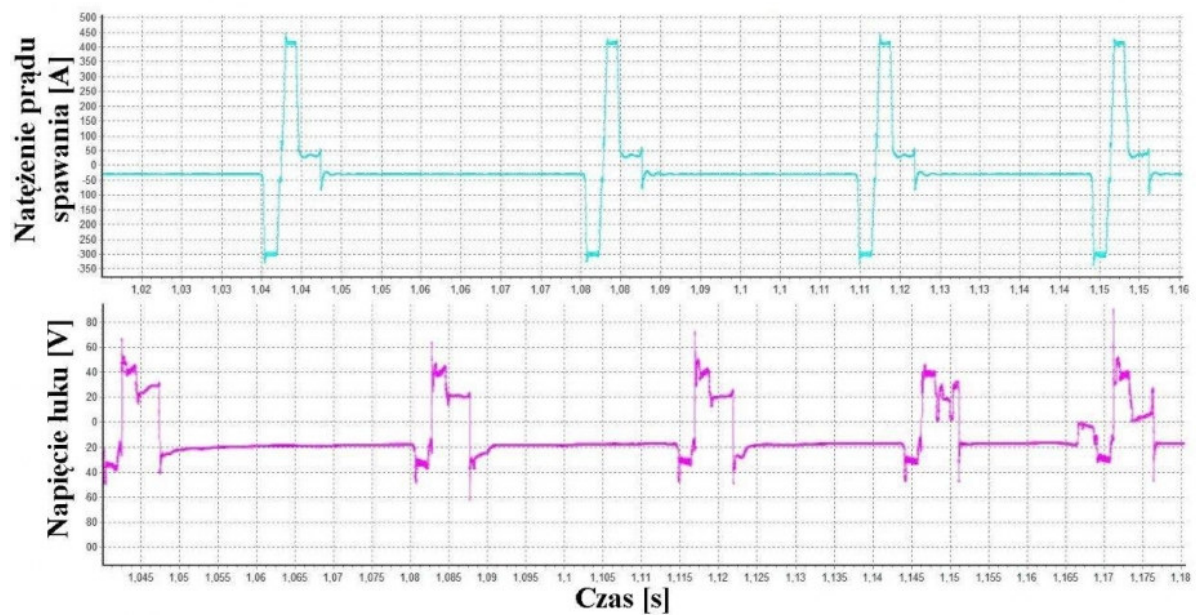
Rys.1 Przebieg prądu w różnych wariantach spawania elektrodą topliwą

Przebieg badań i wyniki

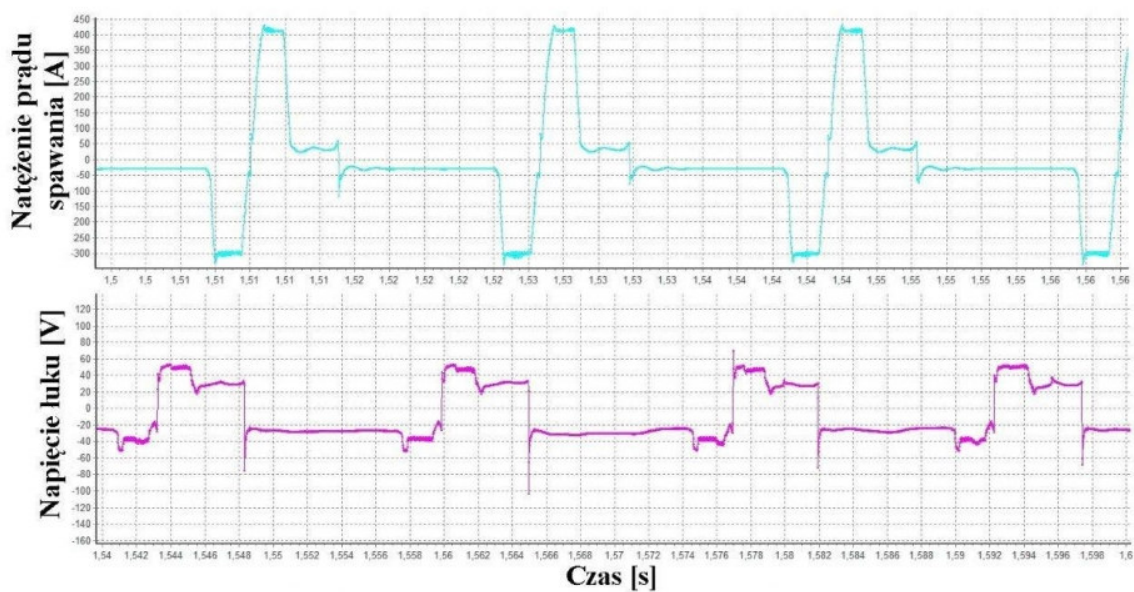
Badania technologiczne procesu spawania prądem o zmiennej biegunowości przeprowadzono na stanowisku zmechanizowanym, wyposażonym w traktor spawalniczy wraz z osprzętem mocującym uchwyt, jezdnię oraz przyrząd ustalający – mocujący spawane elementy. Do badań technologicznych zastosowano urządzenie DW 300 firmy OTC Daihen oraz urządzenie Qineo Champ 450 firmy Cloos. W trakcie prób technologicznych zastosowano drut elektrodowy PN-EN ISO 14341-A-G3Si1 o średnicy 1,0 i 1,2 mm [2]. Gaz osłonowy w przypadku urządzenia DW 300 stanowiła mieszanka 82 % Ar 18 % CO₂ (PN-EN ISO 14175-M21-ArC-18), natomiast w przypadku Qineo Champ 450 należało zastosować mieszankę 92% Ar 8% CO₂ (PN-EN ISO 14175-M20-ArC-8), ponieważ dla takiego gazu została opracowana konkretna linia synergiczna wykorzystywana w badaniach i zastosowanie innego gazu osłonowego utrudniało prowadzenie procesu [3]. W trakcie prób stosowano stałe natężenie przepływu gazu osłonowego - 12 l/min. Do badań zastosowano następujące stale: HX 420 LAD Z 100 MBO, HX 260 LAD Z140 MBO, DX53D ZF 100 RBO, HCT600X ZF100 RBO, H380 LAD Z140 MBO, DX56D ZF100 RBO [4, 5].

Rejestracja przebiegu prądu i napięcia w czasie

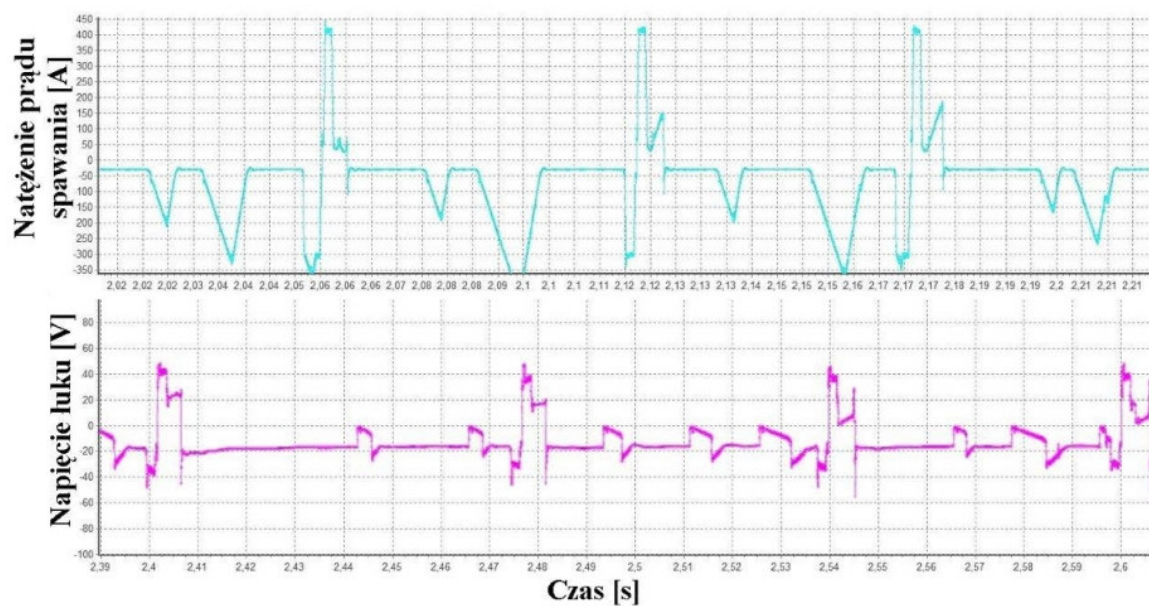
Pierwszy etap badań polegał na zarejestrowaniu przebiegów natężenia prądu i napięcia łuku w funkcji czasu. Do badań wykorzystano system monitorowania parametrów elektrycznych procesu spawania, który został opracowany w Instytucie Spawalnictwa [6]. W trakcie rejestracji wykonano napoiły na blachach o grubości 3 mm. Przebiegi rejestrowano przy stałych nastawach parametrów technologicznych. Parametrem zmienianym podczas rejestracji był procentowy udział składowej ujemnej w przebiegu prądu spawania. Parametr ten w przypadku obydwu urządzeń jest wielkością bezwymiarową i może być nastawiany od -30 do +30 (DW 300) i od - 50 do + 50 (Qineo Champ). Przebiegi dla skrajnych nastaw udziału składowej ujemnej pokazano na rysunkach 2-7.



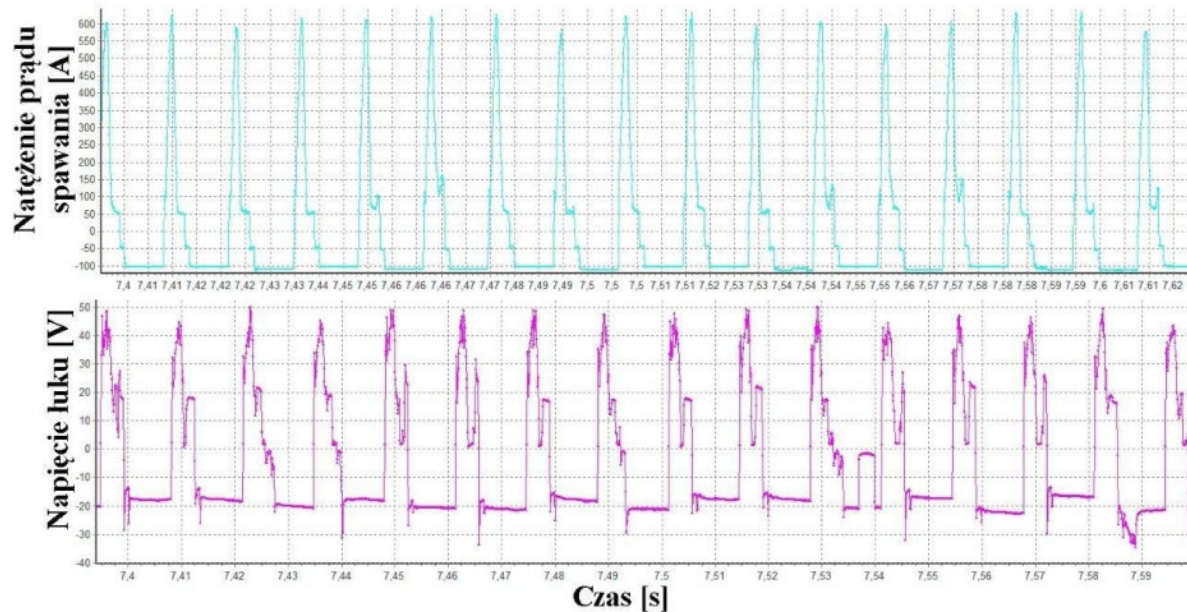
Rys. 2. Przebieg zmian napięcia i natężenia prądu w trakcie napawania blachy z powłoką cynkową przy zastosowaniu urządzenia DW 300. Neutralna nastawa ilości składowej ujemnej



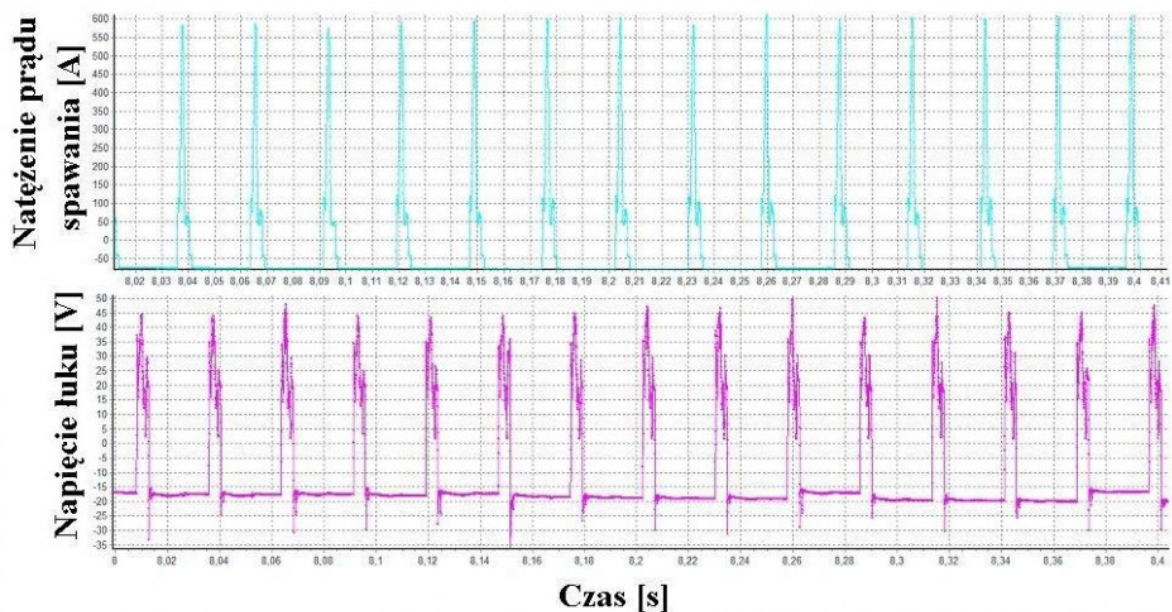
Rys. 3. Przebieg zmian napięcia i natężenia prądu w trakcie napawania blachy z powłoką cynkową przy zastosowaniu urządzenia DW 300. Minimalny udział składowej ujemnej



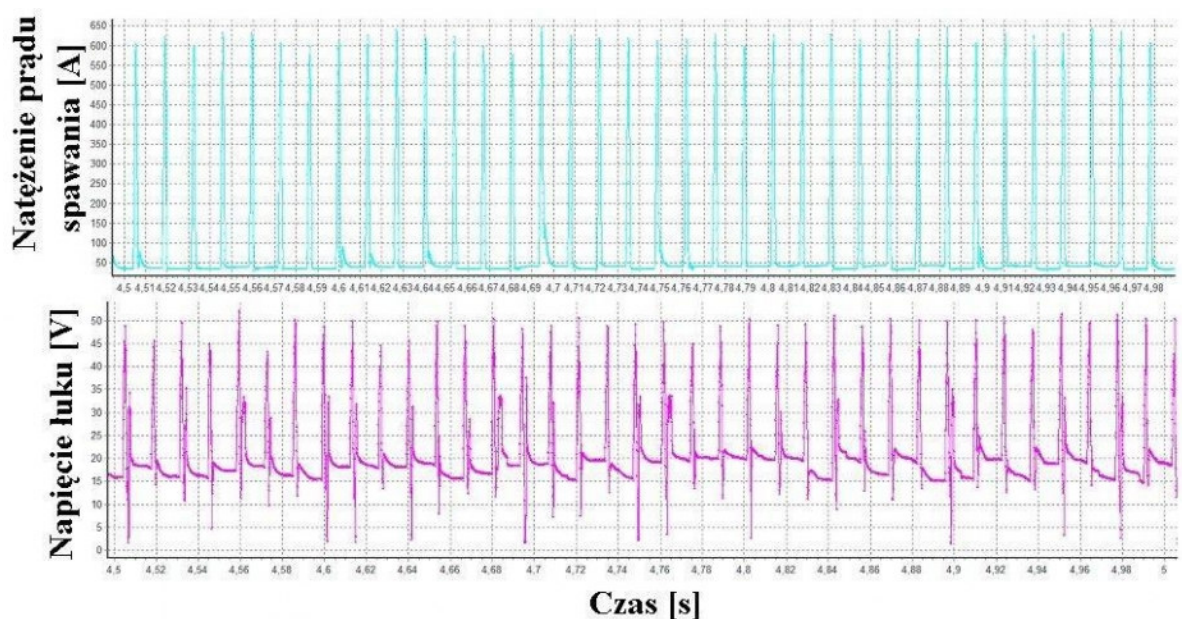
Rys. 4. Przebieg zmian napięcia i natężenia prądu w trakcie napawania blachy z powłoką cynkową przy zastosowaniu urządzenia DW 300. Maksymalny udział składowej ujemnej



Rys. 5. Przebieg zmian napięcia łuku i natężenia prądu w funkcji czasu, zarejestrowanych w trakcie napawania blachy z powłoką cynkową przy zastosowaniu urządzenia Qineo Champ 450. Neutralna nastawa ilości składowej ujemnej



Rys. 6. Przebieg zmian napięcia łuku i natężenia prądu w funkcji czasu, zarejestrowanych w trakcie napawania blachy z powłoką cynkową przy zastosowaniu urządzenia Qineo Champ 450. Maksymalny udział składowej ujemnej



Rys. 7. Przebieg zmian napięcia łuku i natężenia prądu w funkcji czasu, zarejestrowanych w trakcie napawania blachy z powłoką cynkową przy zastosowaniu urządzenia Qineo Champ 450. Minimalny udział składowej ujemnej

Wyniki uzyskane podczas rejestracji parametrów elektrycznych w trakcie napawania potwierdziły, że natężenie prądu i napięcie łuku rzeczywiście zmieniają swoją biegunowość. W przebiegu czasowym prądu spawania można wyodrębnić ze składowej ujemnej dwa składniki: prąd bazowy i prąd impulsu. Prąd bazowy podtrzymuje łuk w momencie zmiany polaryzacji napięcia, ujemny impuls steruje kroplą ciekłego spoiwa. Informacje literaturowe wskazują, że proces zachodzi jedynie dla wartości współczynnika większych niż 30%, w przeciwnym razie zmiana polaryzacji może zdestabilizować łuk [7]. W przypadku obydwu urządzeń nastawa udziału składowej ujemnej jest bezwymiarowa, więc nie można bezpośrednio określić, jaki jest dokładnie procentowy udział składowej ujemnej w przebiegu natężenia prądu spawania i napięcia łuku (prace nad tym zagadnieniem są aktualnie prowadzone). Podczas badań zaobserwowano, iż dla nastawy

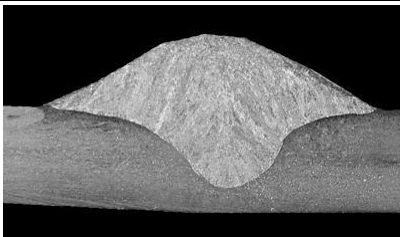
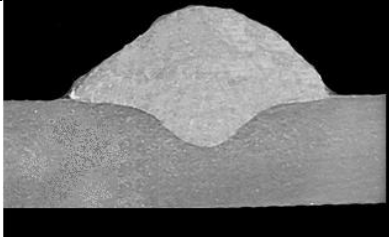
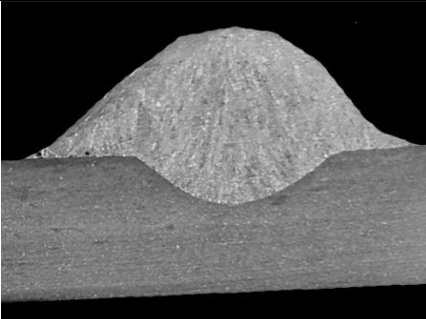
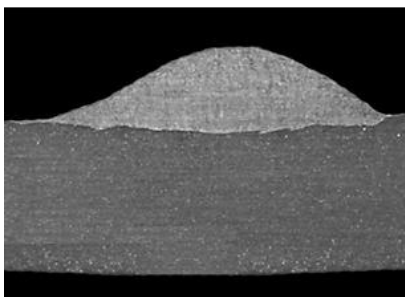
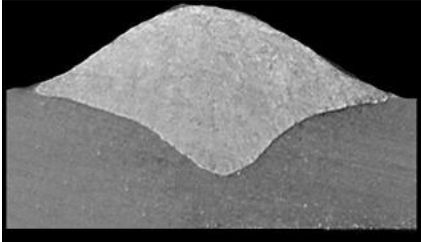
zapewniającej minimalny udział składowej ujemnej w przypadku urządzenia Qineo Champ (rys. 7), składowa ujemna w ogóle nie występuje. Przebieg prądu w tym przypadku jest charakterystyczny dla klasycznego spawania łukiem pulsującym.

Podczas rejestracji parametrów zaobserwowano, że zmiana udziału składowej ujemnej w istotny sposób wpływa na przebieg procesu i wygląd napoin. Dlatego w kolejnym etapie przeprowadzono próby technologiczne spawania i napawania z zastosowaniem różnych nastaw tego parametru, których celem było określenie jego wpływu na kształt napoin/spoin i estetykę złącza.

Wpływ różnych nastaw składowej ujemnej na przebieg procesu

W celu określenia wpływu ilości składowej ujemnej na jakość, geometrię złącza i głębokość wtopienia wykonano szereg napoin przy różnych nastawach tego parametru, przy stałych wartościach pozostałych parametrów technologicznych (prędkość podawania drutu, prędkość spawania). Napoiny zostały wykonane na blachach ze stali HX420 LAD Z 100 MBO o grubości 3 mm. W tablicy 1 zaprezentowano przykładowe makrostruktury napoin wykonanych dla różnych nastaw ilości składowej ujemnej.

Tablica 1. Makrostruktury napoin wykonanych na blachach ze stali HX420 LAD Z 100 MBO o grubości 3 mm przy różnych nastawach udziału składowej ujemnej

Ilość składowej ujemnej	Makrostruktura	
	AC Pulse	Cold Process
Neutralna nastawa ilości składowej ujemnej		
Maksymalny udział składowej ujemnej		
Minimalny udział składowej ujemnej		
Uwagi: próbki trawiono w odczynniku Adlera		

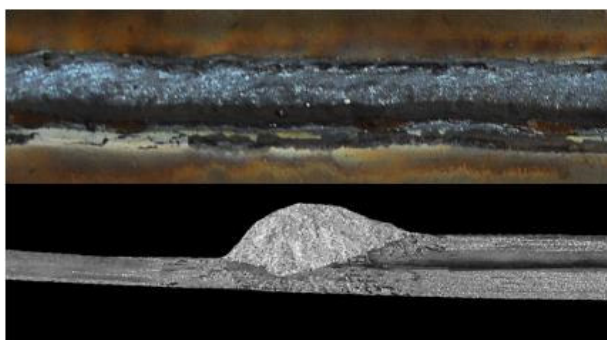
Badania technologiczne i przeprowadzone badania metalograficzne makroskopowe wykazały, że ilość składowej ujemnej wpływa na geometrię i estetykę napoin. Przy maksymalnym udziale składowej ujemnej uzyskano najmniejszą głębokość wtopienia, a przy ustawieniu minimalnego udziału składowej ujemnej zaobserwowano największą głębokość wtopienia. Uzyskane napoiny cechują się bardzo dobrą jakością i estetyką. Proces napawania przebiegał stabilnie z małą ilością odprysków, co umożliwiło uzyskanie gładkiego i równomiernego lica napoiny. Na przekrojach napoin nie zaobserwowano

żadnych niezgodności spawalniczych. Stwierdzono jedynie, że przy skrajnych nastawach proces przebiega mniej stabilnie, jest mniejsza powtarzalność i pojawia się większy rozprysk, co powoduje znaczne pogorszenie estetyki.

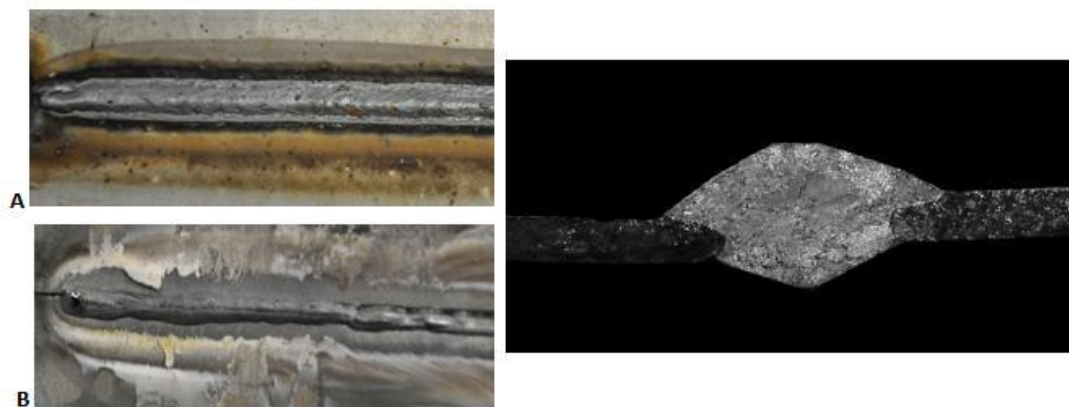
Zbadano także wpływ udziału składowej ujemnej na przebieg procesu spawania, a także na jakość i estetykę złączy spawanych. Do badań wybrano blachy o grubości 1,5 mm ze stali DX 53 D ZF 100 RBO z powłoką cynk-żelazo. Badania przeprowadzono wykonując złącza zakładkowe przy różnych nastawach parametru oraz stałych warunkach spawania (prędkość podawania drutu i prędkość spawania). W trakcie trwania procesu oceniano stabilność procesu, a każde wykonane złącze poddawano badaniom wizualnym. Jako kryterium poprawności wyboru parametrów i warunków spawania zastosowano poziom jakości B według normy PN-EN ISO 5817 [8]. Kolejnym kryterium było jak najmniejsze uszkodzenie warstwy cynku. Przeprowadzone badania wizualne złączy wykonanych przy różnych nastawach udziału składowej ujemnej wykazały, że praktycznie w całym zakresie nastaw udziału składowej ujemnej w przebiegu (za wyjątkiem skrajnych) można uzyskać złącza o bardzo dobrej jakości. Im mniejszy udział składowej ujemnej w przebiegu, tym mniejsze uszkodzenie warstwy cynku w pobliżu spoiny. Wraz ze zmniejszeniem udziału składowej zaobserwowano zwiększenie ilości ciepła wprowadzonego do materiału, co objawiało się zwiększeniem się szerokości strefy przegrzania złącza, większymi odkształceniami oraz lokalnymi przepaleniami łączonych elementów.

Badania technologiczne spawania różnych stali z powłokami

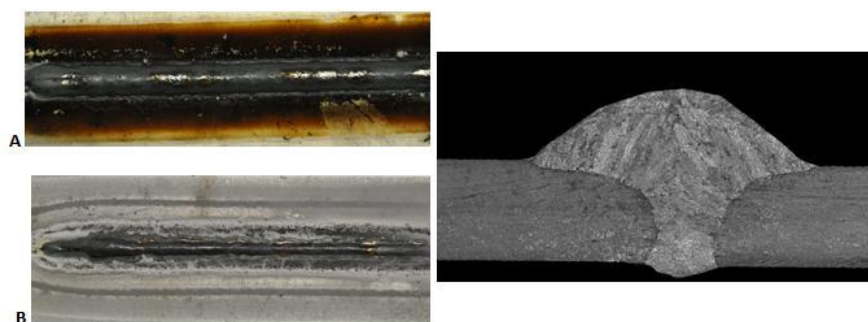
W kolejnym etapie przeprowadzono badania technologiczne spawania różnorodnych złączy (doczołowe, teowe i zakładkowe), wykonanych z blach o różnej grubości. Badania wykazały, że metoda spawania elektrodą topliwą prądem ze zmienną biegunowością umożliwia wykonywanie złączy doczołowych, teowych i zakładkowych, charakteryzujących się bardzo dobrą jakością. Oprócz parametrów technologicznych spawania podstawową zmienną wpływającą na możliwość łączenia i przebieg procesu jest udział składowej ujemnej. Cienkie elementy najkorzystniej jest spawać przy dużym udziale składowej ujemnej, co zapewnia niewielkie odkształcenia i minimalne uszkodzenie warstwy cynku. Natomiast złącza teowe i złącza doczołowe o większej grubości należy spawać z mniejszym udziałem składowej ujemnej, gdyż wtedy proces jest bardziej „energetyczny”. Badania wykazały, że przy odpowiednim doborze parametrów technologicznych można wykonywać złącza zakładkowe i doczołowe z blach o grubości 0,75 mm i 0,8 mm. Na rysunkach 8-10 przedstawiono widoki i makrostruktury wybranych połączeń.



Rys. 8 Widok i makrostruktura złącza zakładkowego ze stali DX56D ZF100 RBO o grubości 0,75 mm. Trawienie Adler, powiększenie x8

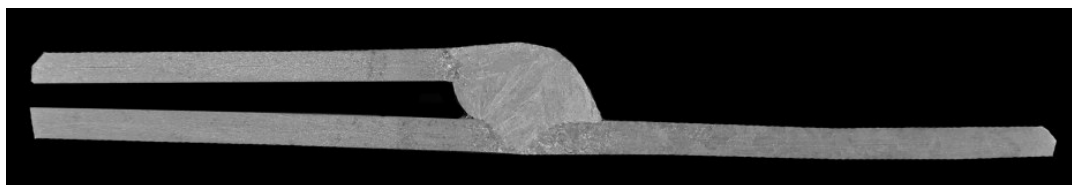


Rys. 9. Widok oraz makrostruktura złącza doczołowego na „I” ze stali DC04+ZE 25/25 AO o grubości 0,8mm, próbka nr 24 z tabl. 9. A-widok od strony lica spoiny, B- widok od strony grani. Trawienie Adler, powiększenie x8,5

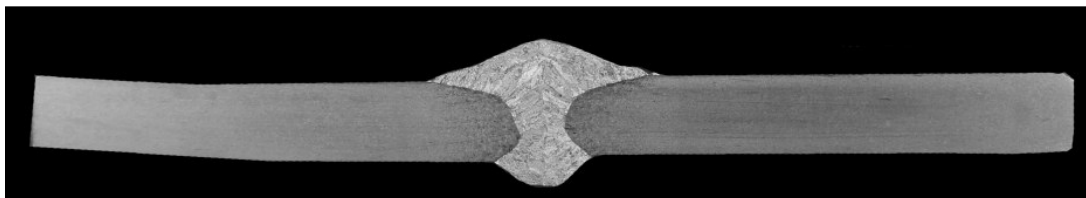


Rys. 10. Widok oraz makrostruktura złącza doczołowego na „I” ze stali HX 420 LAD Z 100 MBO o grubości 3,0 mm, próbka nr 10.1 z tabl. 9; A-widok od strony lica spoiny, B- widok od strony grani. Trawienie Adler, powiększenie x5,5

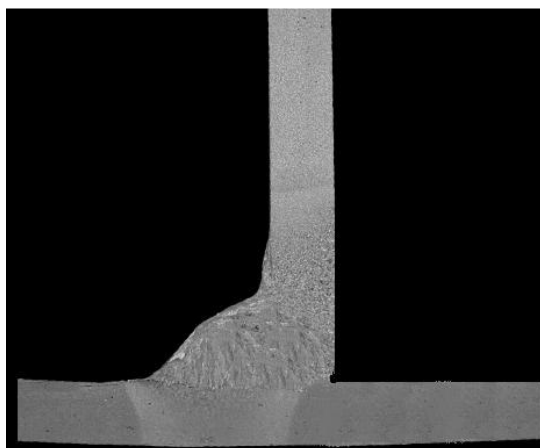
Zaletą metody spawania elektrodą topliwą prądem o zmiennej biegunowości jest możliwość wykonywania złączy niedopasowanych, nawet ze szczeliną 2 mm, co jest szczególnie ważne w przemyśle motoryzacyjnym, gdzie konieczność spawania elementów niedokładnie dopasowanych występuje bardzo często. Zwykle jest to podstawowa przyczyna tworzenia się niezgodności spawalniczych, takich jak przepalenie i brak przetopu. Elementy, w których stwierdza się obecność takich niezgodności kierowane są do spawania naprawczego, co zwiększa koszty produkcji i ilość wyrobów niezgodnych, pogarszając jednocześnie statystyki produkcyjne. W trakcie badań technologicznych przeprowadzono więc próby spawania złączy niedopasowanych. Wykonano 3 rodzaje złączy: zakładkowe, doczołowe na „I”, a także teowe. Złącza zakładkowe zostały wykonane ze stali HCT 600X ZF 100 RBO o grubości 1,2 mm. Na złącza doczołowe na „I” zastosowano blachy ze stali HX 420 LAD Z100 MBO o grubości 3,0 mm. Złącza teowe wykonano z materiału H380 LAD Z140 MBO o grubości 2,0 mm. Połączenia zostały wykonane przy odstępach 0,5 i 1,0 mm. Na rysunkach 11-13 przedstawiono wybrane zdjęcia makroskopowe złączy niedopasowanych.



Rys. 11. Makrostruktura złącza zakładkowego ze stali HCT600X ZF 100 RBO o grubości 1,2 mm. Złącze spawane z odstępem 1,0 mm. Trawienie Adler, powiększenie x4



Rys. 12. Makrostruktura złącza doczołowego na „I” ze stali HX 420 LAD Z100 MBO o grubości 3,0 mm. Złącze spawane z odstępem 0,5 mm. Trawienie Adler, powiększenie x3



Rys. 13. Makrostruktura złącza teowego ze stali H389 LAD Z140 o grubości 2,0 mm. Złącze spawane z odstępem 0,5 mm. Trawienie Adler, powiększenie x5

Badania wykazały, że wariant spawania metodą MAG prądem o zmiennej biegunowości może być zastosowany do łączenia niedopasowanych złączy zarówno doczołowych, teowych, jak i zakładkowych. Dla wszystkich rodzajów powłok, stali i grubości uzyskano dobrą jakość, estetykę oraz skuteczny efekt mostkowania. Odpowiedni dobór warunków spawania pozwala na zminimalizowanie bądź też całkowite wyeliminowanie rozprysku.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania technologiczne spawania cienkich blach ze stali niestopowych i niskostopowych o podwyższonej wytrzymałości, zabezpieczonych różnymi powłokami na bazie cynku wykazały, że zastosowanie prądu o zmiennej biegunowości umożliwia uzyskanie złączy o dobrej jakości i estetyce. Proces spawania prądem o zmiennej biegunowości przebiega co prawda mniej stabilnie niż tradycyjne spawanie metodą MAG i cechuje się specyficznym dźwiękiem, natomiast złącza spawane charakteryzują się dobrą jakością i na ogół są wolne od odprysków.

Podstawowymi zmiennymi procesu, mającymi największy wpływ na przebieg i możliwość spawania oraz na jakość i estetykę połączeń są parametry technologiczne (prędkość podawania drutu, prędkość spawania, kąt pochylenia uchwytu, długość łuku), a także współczynnik udziału składowej ujemnej w przebiegu prądu spawania. Zmiana udziału

składowej ujemnej wpływa znacząco na zmianę napięcia łuku i ilości ciepła wprowadzonego do złącza. Badania wykazały, że najkorzystniej jest stosować neutralne nastawy tego parametru. Zwiększenie udziału składowej ujemnej powoduje zmniejszenie głębokości wtopienia i zdolność łuku do mostkowania. Jeśli zachodzi konieczność spawania cienkich blach i jak najmniejszego uszkodzenia powłoki cynkowej, to należy zastosować w przebiegu prądowym większy udział składowej ujemnej. Zastosowanie dużego udziału składowej ujemnej w przebiegu umożliwia również spawanie złączy niedopasowanych. Zmniejszenie udziału składowej ujemnej powoduje wzrost energetyczności procesu i zwiększenie głębokości wtopienia. Złącza teowe oraz elementy o większej grubości wymagają zastosowania w przebiegu prądowym większego udziału składowej dodatniej. Najkorzystniej jest stosować neutralną nastawę udziału składowej ujemnej, gdyż wtedy uzyskuje się zarówno dobrą jakość spoiny, jak i odpowiednią głębokość wtopienia.

[Wiecej artykułów w Biuletynie Instytut Spawalnictwa w Gliwicach - zachęcamy Państwa do prenumeraty](#)

LITERATURA

1. Matusiak J., Pfeifer T., Wyciślik J. , Kiszka A.: Analiza wpływu warunków technologicznych innowacyjnych technik spajania różnych materiałów konstrukcyjnych z nowoczesnymi powłokami ochronnymi na stan środowiska pracy. Praca badawcza Instytutu Spawalnictwa nr Ma-34, Gliwice 2011 r.
2. PN-EN ISO 14341:2011 „Materiały dodatkowe do spawania. Druty elektrodowe i stopiwo do spawania łukowego elektrodą metalową w osłonie gazu stali niestopowych i drobnoziarnistych. Klasyfikacja”
3. PN-EN ISO 14175:2009 „Materiały dodatkowe do spawania. Gazy i mieszaniny gazów do spawania i procesów pokrewnych”
4. PN-EN 10346:2011 „Wyroby płaskie stalowe powlekane ogniowo w sposób ciągły. Warunki techniczne dostawy”
5. PN-EN 10152:2011 „Wyroby płaskie stalowe walcowane na zimno ocynkowane elektrolitycznie do obróbki plastycznej na zimno. Warunki techniczne dostawy”
6. Szubert L., Skoczewski P, Welcel M.: System rejestracji parametrów elektrycznych procesu spawania dla wielu stanowisk produkcyjnych. Praca badawcza Instytutu Spawalnictwa nr Fc-89, Gliwice 2010 r.
7. Jaskólski K.: Robotyzacja OTC z wykorzystaniem niskoenergetycznych metod spawania. Materiały firmy SAP, 2010
8. PN-EN ISO 5817:2009 „Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych”

Mgr inż. Agnieszka Kiszka, dr inż. Tomasz Pfeifer – Instytut Spawalnictwa, Zakład Technologii Spawalniczych

A. Kiszka, T. Pfeifer - Spawanie cienkich blach stalowych z powłokami ochronnymi metodą MAG prądem o zmiennej biegunowości

Przedstawiono wyniki badań nad zastosowaniem nowo opracowanej metody spawania elektrodą topliwą w osłonie gazu prądem o zmiennej biegunowości do łączenia blach z powłokami ochronnymi. Proces prowadzono na urządzeniach DW 300 firmy OTC Daihen i Qineo Chamo 450 firmy Cloos. Omówiono wpływ udziału składowej ujemnej w przebiegu prądu i napięcia na jakość złączy i stabilność procesu oraz na stopień uszkodzenia powłoki ochronnej. Przedstawiono możliwość zastosowania procesu spawania prądem o zmiennej biegunowości do łączenia cienkich blach, stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym.

A. Kiszka, T. Pfeifer - Welding of thin sheets with protective coatings using variable polarity MAG method

Results of research on application of variable polarity MAG method for welding of thin sheets with protective coatings have been presented. The process was carried on with the use of OTC Daihen DW 300 and Cloos Qineo Champ welding devices. The influence of negative component of welding current and voltage on process stability, joints quality and the degree of protective coating damage has been discussed. It has been presented the usability of variable polarity MAG processes for welding of thin sheets in automotive industry.

Artykuł "Kierunki poprawy efektywności spawania stali nierdzewnych" Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach 1/2012