



PROCES SAW

Stal niestopowa i niskostopowa
Przewodnik po spawaniu łukiem krytym

LINCOLN[®]
ELECTRIC



Lincoln Electric jest światowym liderem w dziedzinie projektowania i wytwarzania urządzeń i materiałów spawalniczych. Naszą misją jest pomoc naszym Klientom w osiągnięciu jak najlepszej wydajności i rentowności ich przedsięwzięć oraz zapewnienie profesjonalnego szkolenia ich personelu.

Nasza działalność opiera się na dwóch jednakowo ważnych dziedzinach: wyjątkowa jakość i wsparcie techniczne. Posiadamy największą w branży sieć dystrybucji i sprzedaży oraz ośrodki wsparcia technicznego w ponad 160 krajach na całym świecie.

Innowacyjność. Postawa dająca pierwszeństwo usłudze. Świeże podejście do projektowania, produkcji i pakowania. Pozycja światowego lidera.

TO WŁAŚNIE LINCOLN ELECTRIC

NASZE DOŚWIADCZENIE MOŻE SŁUżyć RÓWNIeż TOBIE

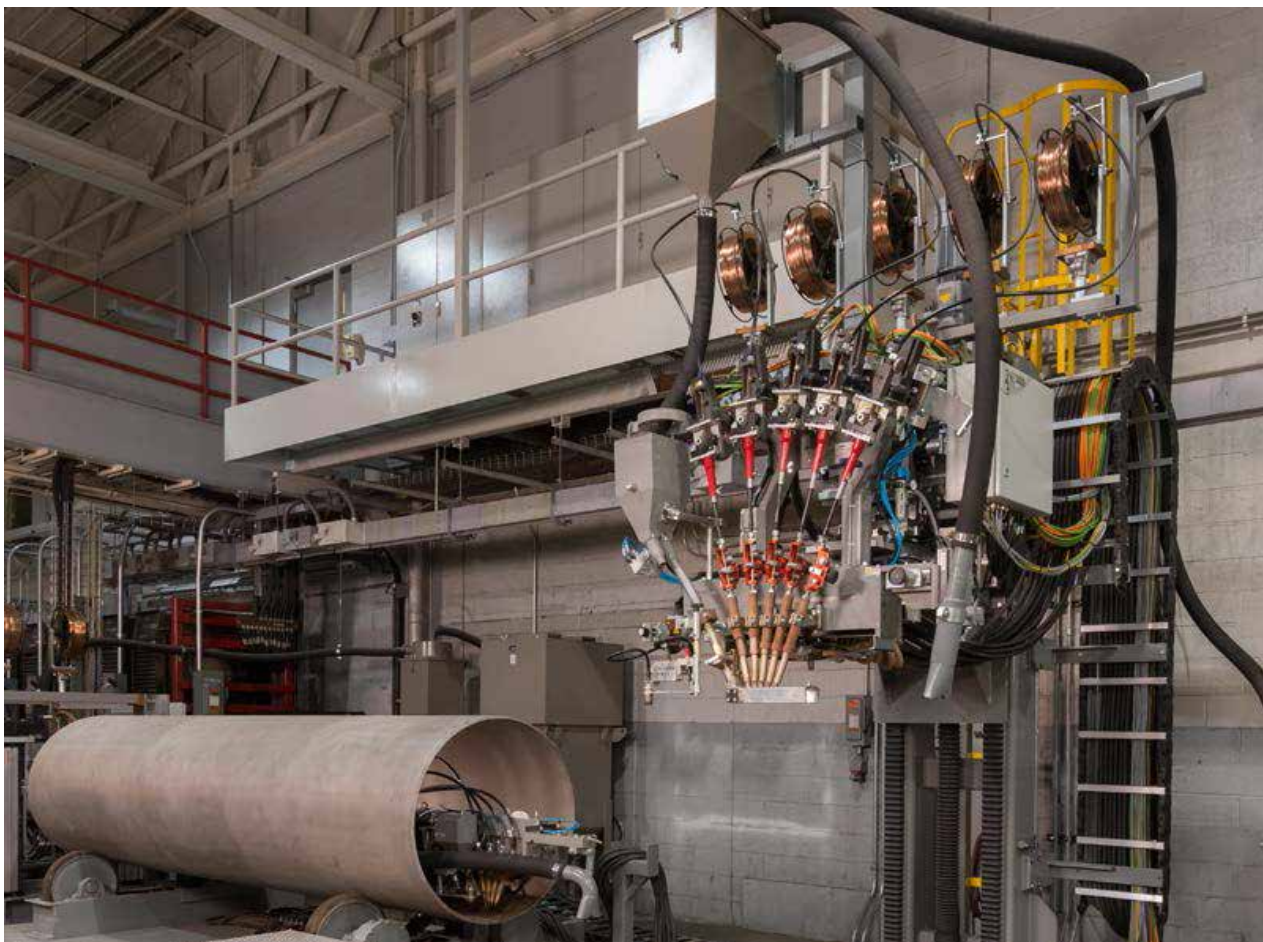
Lincoln Electric jest światowym liderem w dziedzinie projektowania i wytwarzania urządzeń i materiałów spawalniczych. Źródło prądowe do spawania łukiem krytym Power Wave® AC/DC 1000® SD jest jedynym tego typu produktem na rynku i jest uznawane przez profesjonalnych spawaczy za standard w tej dziedzinie. Zaawansowane procesy spawania łukiem krytym firmy Lincoln Electric to zastosowanie najnowszych, przemysłowych źródeł prądowych oraz mobilnych urządzeń do automatyzacji ciężkich prac spawalniczych, zapewniających nowy poziom jakości i niezawodności. Niezależnie od rodzaju zastosowania (zbiorniki ciśnieniowe, podesty mostów, linie panelowe czy produkcja rurociągów) sterowane programowo źródło prądowe Power Wave® AC/DC 1000® SD wraz ze zintegrowanym podajnikiem może poprawić jakość procesu spawania, obniżyć koszty pracy i zwiększyć wydajność spawania.



Technologia spawania łukiem krytym zastosowana w źródle prądowym Power Wave® AC/DC 1000® SD Lincoln Electric jest jedyna w swoim rodzaju na rynku spawalniczym.

TECHNOLOGIA SPAWANIA ŁUKIEM KRYTYM Z POWER WAVE® AC/DC 1000® SD FIRMY LINCOLN ELECTRIC

Źródło prądowe do spawania łukiem krytym Power Wave® AC/DC 1000® SD w połączeniu z materiałami eksploatacyjnymi od Lincoln Electric może pomóc w zwiększeniu wydajności, jakości i elastyczności łącząc cechy technologii kontrolowanych przebiegów falowych (Waveform Control Technology®) ze spawaniem łukiem krytym. Posiada możliwość użycia charakterystyki stałoprądowej (CC) lub stałonapięciowej (CV) oraz doboru odpowiedniej częstotliwości i amplitudy przebiegu AC. Sterowany programowo przebieg AC oraz polaryzacja ujemna i dodatnia DC pozwalają uzyskać wysoki współczynnik stopienia oraz wtopienie. W porównaniu ze źródłem konwencjonalnym zapewnia wyższą prędkość spawania, lepszą jakość spoin i zwiększoną wydajność w spawaniu jedno- i wieloładkowym. Więcej informacji można znaleźć w rozdziale 5.



Stanowisko do spawania pięcioma łukami

DLACZEGO POWER WAVE® AC/DC 1000® SD DO SPAWANIA ŁUKIEM KRYTYM WYRÓŻNIA SIĘ SPOŚRÓD RESZTY?

Najważniejsze cechy

- » Zasilanie 380-575 VAC, 50/60 Hz pozwala na pobór prądu ze wszystkich sieci przemysłowych.
- » Łatwe równoległe łączenie urządzeń oraz spawanie wielołukowe.
- » Trójfazowe napięcie wejściowe eliminuje niestabilność, charakterystyczną dla urządzeń zasilanych ze źródeł transformatorowych.
- » Urządzenie o stopniu ochrony IP23 można przechowywać na zewnątrz.
- » Oprogramowanie sterujące: regularne aktualizacje pozwalają na dodawanie nowych funkcji.

Firma Lincoln Electric jest wiodącym producentem urządzeń i materiałów eksploatacyjnych do spawania łukiem krytym. Źródło prądowe Power Wave® AC/DC 1000® SD do spawania łukiem krytym, w połączeniu z pomocą naszego zespołu serwisu technicznego sprawia, że precyzyjne spawanie łukiem krytym jest łatwiejsze do osiągnięcia.



Stanowisko do spawania łukiem krytym

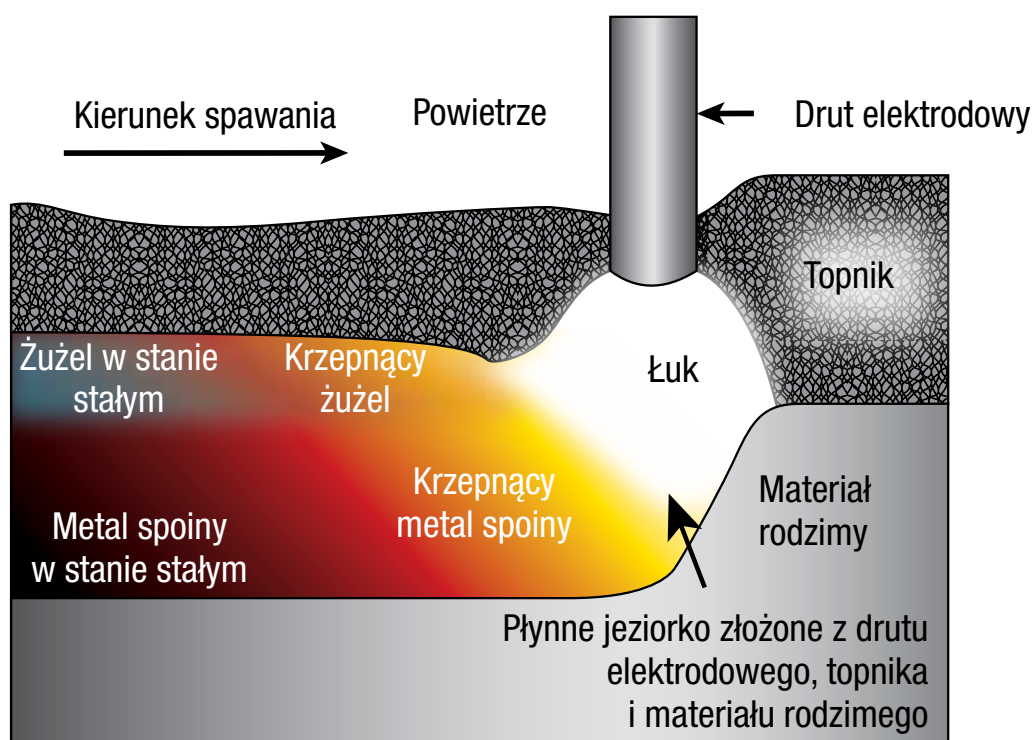
ROZDZIAŁY:

Lincoln Electric – informacje.....	2
Power Wave® AC/DC 1000® SD firmy Lincoln Electric	3
Rozdział 1: Wprowadzenie do spawania łukiem krytym	9
1.1 Zalety spawania łukiem krytym.....	11
1.2 Wady spawania łukiem krytym.....	11
1.3 Zastosowania	11
Rozdział 2: Spawanie jednym drutem elektrodowym.....	15
2.1 Konfiguracja złącza i dopasowanie.....	15
2.2 Dobór topnika i drutu elektrodowego	15
2.3 Czystość.....	16
2.4 Pozycja pracy.....	16
2.5 Podgrzewanie wstępne	17
2.6 Podłączenia przewodu masowego	18
2.7 Zasyp topnika	19
2.8 Średnica drutu – spawanie półautomatyczne.....	20
2.9 Średnica drutu – spawanie automatyczne	21
2.10 Prąd spawania.....	22
2.11 Napięcie łuku	23
2.12 Prędkość spawania.....	26
2.13 Odległość końcówki prądowej od materiału spawanego (CTWD)	28
2.14 Wydajność stapiania.....	28
2.15 Polaryzacja: DCEP w porównaniu z DCEN.....	28
2.16 Spawanie AC	29
2.17 Asymetryczna fala prostokątna AC	30
2.18 Częstotliwość przebiegu prądowego.....	31
2.19 Przesunięcie amplitudy przebiegu prostokątnego.....	32
2.20 Tabela obliczonych współczynników stapiania	33
Rozdział 3: Spawanie jednym drutem w pozycji podolnej i nabocznej	41
3.1 Przygotowanie	41
3.2 Blacha stalowa	42
3.3 Złącze zakładkowe z garbem.....	43
3.4 Złącze doczołowe	44
3.5 Wielowarstwowe spoiny czołowe z głębokim ukosowaniem	46
3.6 Płyty dobiegowe/wybiegowe	48
3.7 Spoiny pachwinowe	49
3.8 Głębokość wtopienia spoin pachwinowych: DCEP w porównaniu z DCEN.....	50
3.9 Spoiny pachwinowe w pozycji nabocznej	51
3.10 Spoiny pachwinowe w pozycji podolnej.....	53
3.11 Urządzenia do spawania spoin pachwinowych i złączy zakładkowych	53
3.12 Złącza zakładkowe	53
3.13 Spoiny otworowe	55
Rozdział 4: Wykonywanie spoin obwodowych.....	57
4.1 Opis i wyzwania.....	57
4.2 Ustawienie elektrody na obwodzie.....	58
4.3 Wpływ zmiennych procedury spawania.....	59
4.4 Obwodowe spoiny pachwinowe w złączach zakładkowych.....	59

4.5	Podawanie topnika.....	60
4.6	Usuwanie żużła.....	61
4.7	Zbieranie i recykling topnika.....	62
4.8	Układ uziemienia w spawaniu łukiem krytym.....	63
Rozdział 5: Wykonywanie spoin w systemie tandem		65
5.1	Wstęp.....	65
5.2	Zalety systemu tandem.....	66
5.3	Ograniczenia spawania łukowego w systemie tandemowym.....	66
5.4	Spawanie w systemie tandem DC-AC za pomocą urządzeń konwencjonalnych.....	66
5.5	Spawanie w systemie tandem przy zastosowaniu źródła prądowego Power Wave® AC/DC 1000® SD.....	68
5.6	Przesunięcie fazowe.....	69
5.7	Prąd roboczy.....	70
5.8	Inne parametry elektryczne spawania tandemowego.....	71
5.9	Parametry mechaniczne tandemowego spawania łukowego.....	72
5.10	Spawanie spoin pachwinowych w pozycji nabocznej.....	75
Rozdział 6: Wykonywanie spoin w procesie Tiny Twinarc		79
6.1	Wprowadzenie do procesu Tiny Twinarc.....	79
6.2	Korzyści.....	80
6.3	Zastosowania.....	80
6.4	Wydajność stapiania.....	81
6.5	Prędkość spawania.....	82
6.6	Spoiny pachwinowe.....	82
6.7	Złącza zakładkowe.....	83
6.8	Złącza doczołowe.....	83
6.9	Zalecenia dotyczące procedury.....	83
6.10	Zalecenia dotyczące urządzeń spawalniczych.....	85
Rozdział 7: Wady i niezgodności spawalnicze		87
7.1	Porowatość.....	87
7.1.1	Stan powierzchni materiału spawanego.....	88
7.1.2	Zanieczyszczenia.....	90
7.1.3	Nieprawidłowa grubość warstwy topnika.....	90
7.1.4	Złącza ze spoinami dwustronnymi.....	91
7.1.5	Złącza wtłaczane.....	91
7.1.6	Prędkość spawania.....	91
7.1.7	Ugięcie łuku.....	92
7.2	Ślady gazowe (Pockmarking).....	92
7.3	Pęknięcia.....	93
7.4	Inne rodzaje niezgodności.....	95
Rozdział 8: Przechowywanie, ponowne suszenie i recykling topnika do spawania łukiem krytym.		99
8.1	Zasady właściwego postępowania z topnikiem.....	99
8.2	Usuwanie odpadów żużła ze spawania łukiem krytym.....	100
8.3	Żużel kruszony.....	100

WPROWADZENIE DO SPAWANIA ŁUKIEM KRYTYM

Sięgając do średniowiecza, pierwszą formą spawania było zgrzewanie kuźnicze. W XIX wieku opracowano spawanie acetylenowo-tlenowe. W 1890 r. C.L. Coffin z Detroit otrzymał pierwszy amerykański patent na spawanie łukowe, co dało początek nowoczesnemu spawaniu łukiem elektrycznym.



Rysunek 1-1: Widok poglądowy typowego procesu spawania łukiem krytym

Spawanie łukiem krytym (SAW) wynaleziono o kilka lat wcześniej niż procesy spawania elektrodą topliwą w osłonie gazowej (GMAW) czy spawania łukowego drutem proszkowym (FCAW). Po raz pierwszy opatentowane w 1925 r. spawanie łukiem krytym jest na ogół określane dokumentach spawalniczych kodem AWS „SAW” i potocznie nazywane jest „spawaniem pod topnikiem” (ang. „subarc”). Materiały spawalnicze do spawania łukiem krytym są sklasyfikowane według norm referencyjnych: AWS/SFA-5.17 dla stali niestopowej i AWS/SFA-5.23 dla stali niskostopowej oraz PN-EN ISO 14171:2016-10 dla drutów elektrodowych, PN-EN ISO 14174:2019-07 dla topników.

Spawanie łukiem krytym jest procesem, w którym łuk spawalniczy jarzy się pomiędzy podawanym w sposób ciągły drutem elektrodowym (litym lub proszkowym), a materiałem spawanym, pokrytym warstwą granulowanego materiału, zwanego topnikiem. Zadaniem topnika jest wytworzenie osłony gazowej, zabezpieczającej łuk przed oddziaływaniem atmosferycznym (zob. rys. 1-1 na str. 9). Ponieważ pewna ilość topnika zostaje stopiona, tworząc ciekły żużel, może on również w ten sposób wpływać na skład chemiczny stopiwa.

Pojęcie łuku „krytego” dokładnie oddaje jedną z głównych zalet tego procesu, charakterystyczną jedynie dla procesu SAW – niewidoczny łuk elektryczny. Skutkiem tego faktu jest brak konieczności stosowania ciemnych okularów spawalniczych czy przyłbicy spawalniczej, chroniącej operatora przed promieniowaniem łuku i odpryskami spawalniczymi, co znacznie poprawia komfort i bezpieczeństwo operatora. Kolejną zaletą procesu SAW jest stosunkowo niewielka ilość wytwarzanego dymu i oparów.



Rysunek 1-2: Zautomatyzowany proces spawania łukiem krytym

Niestety, na skutek braku widoczności łuku pojawia się też pewna trudność sterowania procesem przez spawacza, który ma ograniczone możliwości dokonywania zmian na bieżąco, polegając bardziej na prawidłowym przygotowaniu złącza.

W przypadku spawania SAW drutem pojedynczym wydajność stapienia wynosi od 3 do 20 kg/godz., natomiast dla procesów wielołukowych może osiągnąć ponad 39 kg/godz. Spawanie łukiem krytym odbywa się na ogół w sposób zmechanizowany, co sprawia, że zakup i konfiguracja urządzeń, odpowiednich do danej aplikacji jest decyzją krytyczną (patrz rys. 1-2). Dlatego też niektórzy nadal stosują spawanie ręczne (półautomatyczne), podczas gdy inni całkowicie automatyzują proces spawania łukiem krytym.

1.1 ZALETY SPAWANIA ŁUKIEM KRYTYM

- » Minimalna ilość dymów i niewielkie promieniowanie łuku
- » Odpowiednie do spawania grubych elementów metalowych
- » Najwyższe wydajności stapienia i największą głębokość wtopienia w procesach spawania łukowego
- » Wysokiej jakości spoiny
- » Doskonała powtarzalność i jednorodność spoin



1.2 WADY SPAWANIA ŁUKIEM KRYTYM

- » Stosunkowo wysokie koszty inwestycyjne
- » Ograniczona mobilność
- » Konieczność stosowania granulowanego topnika
- » Skomplikowana konfiguracja urządzenia
- » Brak widoczności łuku ogranicza możliwość dokonywanie korekt podczas spawania
- » Ograniczenie stosowania wyłącznie do pozycji podolnej i nabocznej



1.3 ZASTOSOWANIA

Proces spawania łukiem krytym jest odpowiedni dla stali nisko- i średniowęglowych, stopów wysokowytrzymałych, stali nierdzewnych i niektórych stali niklowych. Spawanie SAW można stosować w przypadku wytwarzania i naprawy:

- » Rur, zbiorników ciśnieniowych, elementów cylindrycznych i stożkowych
- » Statków
- » Napawaniu utwardzającym, w tym napawaniu taśmą
- » Konstrukcji i mostów
- » Maszyn do robót ziemnych, górniczych i budowlanych
- » Maszyn rolniczych
- » Elementów maszyn ciężkich
- » Urządzeń transportowych
- » Morskich platform wydobywczych

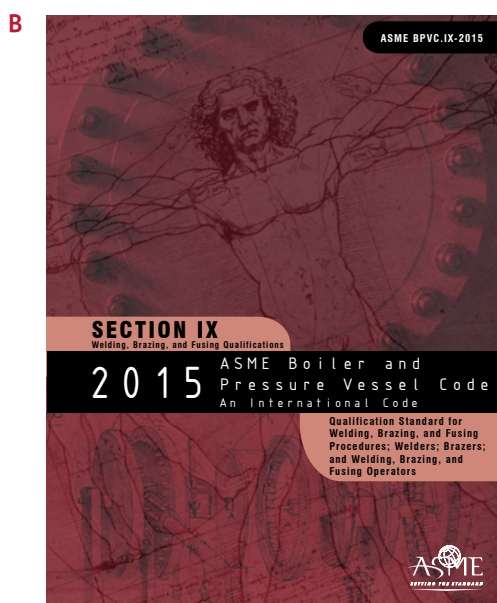
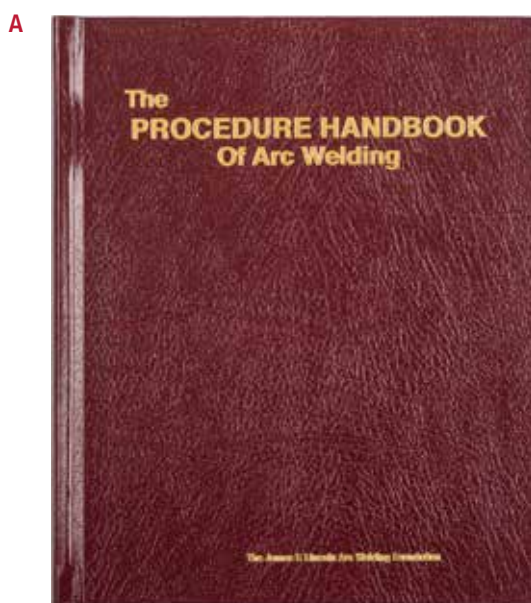


Rysunek 1-3: Zastosowania przemysłowe procesu SAW; A. Konstrukcje stalowe; B. Wieże wiatrowe; C. Budowa mostów.

Przewodnik ten zawiera szczegółowe informacje na temat zalecanego doboru urządzeń do spawania łukiem krytym. Ponadto przedstawiono wybór materiałów eksploatacyjnych oraz inne istotne zalecenia. Przedstawiono niektóre z najczęściej stosowanych procedur spawania z wykorzystaniem poszczególnych trybów.

Treści niniejszego przewodnika dotyczące spawania łukiem krytym odnoszą się do specyficznych wymagań, które wiele organizacji normalizacyjnych nakłada na gotowe spoiny, a w niektórych przypadkach na sposób wykonania spoiny. Przedstawiono wydajności stapienia z wartościami prądu dla określonych prędkości podawania drutu jako dane pomocne w ustaleniu odpowiedniej prędkości spawania dla żądanej wielkości spoiny.

Przewodnik wskazuje typowe przepisy AWS/ASME, które okażą się pomocne. Inne organizacje normatywne mają podobne zasady kwalifikowania i kontroli dla spawania łukiem krytym.



Przedrukowano z ASME 2015 BPVC, Rozdział IX, za zgodą Amerykańskiego Stowarzyszenia Inżynierów i Mechaników (ASME). Wszelkie prawa zastrzeżone. Zabrania się wykonywania dodatkowych kopii bez pisemnej zgody.



Rysunek 1-4: Publikacje źródłowe przepisów spawalniczych; A. Podręcznik procedur spawania łukowego; B. ASME Rozdział IX, Normy dotyczące kotłów i zbiorników ciśnieniowych; C, AWS D1.1 Normy spawania konstrukcji – stal.

Lined area for notes.

Notatki

Ponieważ zmienne w warunkach projektowania, produkcji i eksploatacji mogą mieć wpływ na wyniki uzyskane przy zastosowaniu informacji zawartych w niniejszym rozdziale, za badania i możliwość użytkowania wyrobu lub konstrukcji odpowiedzialny jest konstruktor i użytkownik.

Najprostszą metodą spawania łukiem krytym jest spawanie jednym drutem elektrodowym. Najtańsze i najmniej skomplikowane konfiguracje zawierają jedno źródło prądowe, jeden układ sterujący, jeden podajnik drutu, podający jeden drut elektrodowy. Każde zastosowanie jest inne i wiąże się ze specyficznymi wymaganiami. Celem tego rozdziału jest objaśnienie teorii i logiki stosowanej przy wykonywaniu spoin za pomocą jednego drutu elektrodowego.

2.1 KONFIGURACJA ZŁĄCZA I DOPASOWANIE

Spawanie łukiem krytym charakteryzuje duża głębokość wtopienia. Aby uniknąć przepalenia, krawędzie spawanych płyt muszą być odpowiednio przygotowane i dopasowane, lub procedura spawania powinna zostać zmodyfikowana, uwzględniając zastosowanie niższych prądów spawania, wyższych prędkości spawania, zmiany polaryzacji (DCEN lub AC), lub zwiększenia odległości końcówki prądowej od materiału spawanego.

Podstawą procesu spawania łukiem krytym, przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac, jest przede wszystkim niezbędna wiedza, doświadczenie, analiza i badania. Wiedza o wpływie poszczególnych parametrów na proces pozwoli m.in. ograniczyć ryzyko przepalenia lub sterować głębokością wtopienia. Modyfikacja złącza i dopasowania mają wpływ na wszystkie te zmienne.

2.2 DOBÓR TOPNIKA I DRUTU ELEKTRODOWEGO

Firma Lincoln Electric produkuje wiele topników i drutów elektrodowych, które po odpowiednim doborze przyniosą pożądane rezultaty. Przy wyborze najlepszych kombinacji drut/topnik należy korzystać z poniższych biuletynów:

- » C1.50 *Przewodnik wyboru spoiwa*: dotyczy wyboru metalu spoiwa w celu dopasowania go do określonych gatunków stali.
- » C1.10 *Katalog materiałów eksploatacyjnych do spawania*: zawiera konkretne informacje na temat dobierania topnika i drutu elektrodowego.

2.3 CZYSTOŚĆ

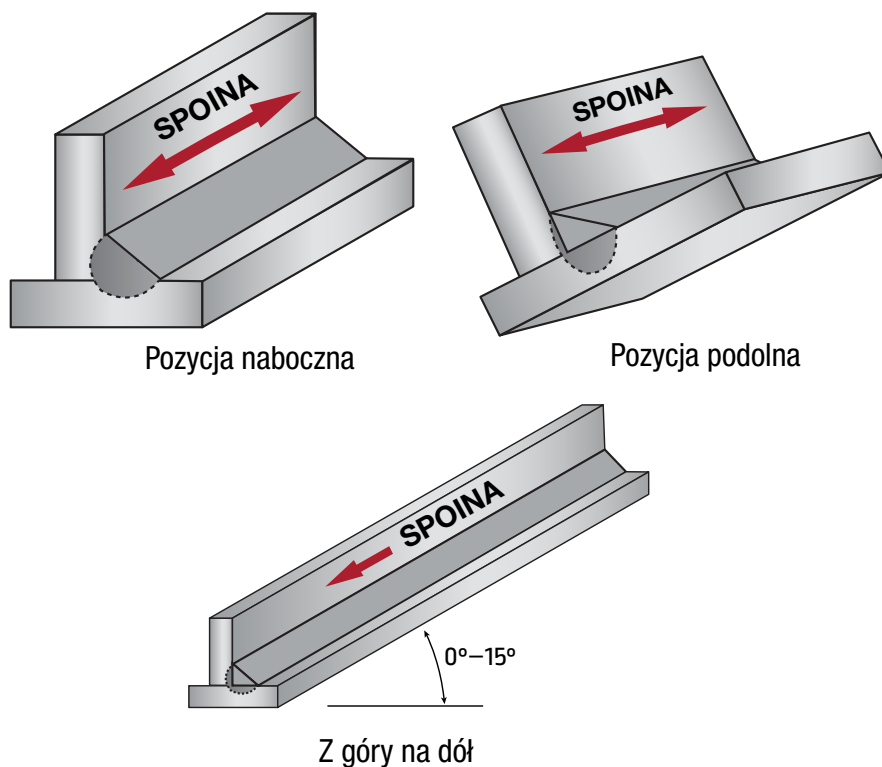
Zanieczyszczenia takie jak olej, tłuszcz, farba, rdza, kamień lub wilgoć mogą powodować porowatość. Ze względu na dużą ilość gazów powstających podczas spawania materiałów ocynkowanych, spoiny zanieczyszczone substancjami z powłok tych materiałów mogą mieć dużą porowatość. Decydując się na nieusuwanie powłok gruntujących materiał spawany, zalecane jest wykonanie spoin testowych na tym materiale.

Z uwagi na to:

1. Należy używać tylko czystych, wolnych od rdzy elektrod.
2. Zebrany topnik należy oczyścić, usuwając duże cząstki żużlu lub innych zanieczyszczeń.
3. Jeżeli zebrany topnik jest zanieczyszczony nadmiarem drobnych cząstek zgorzeli, zanieczyszczenia należy usunąć za pomocą separatora magnetycznego.
4. Usunąć wyraźne cząstki rdzy, zgorzeli, oleju, smaru lub wilgoci z obszaru złącza.
5. W przypadku spawania materiału zanieczyszczonego należy stosować niższe prędkości spawania, aby umożliwić ucieczkę gazu.
6. Podgrzać wstępnie powierzchnię złącza w celu odłuszczenia i odprowadzenia wilgoci.
7. Poddać obszar roboczy obróbce przez szlifowanie lub śrutowanie, aby usunąć zanieczyszczenia.

2.4 POZYCJA PRACY

Spawanie łukiem krytym można wykonywać w pozycji podolnej lub nabocznej. Jedyny wyjątek dotyczy cienkich blach, zwykle 1/4 cala (6,4 mm) lub cieńszych, nachylonych pod kątem 15°, które można spawać w pozycji z góry na dół uzyskując większe prędkości spawania i lepszą kontrolę wtopienia. Złącze kątowe może być ustawione poziomo lub obrócone (zob. rys. 2-1).



Rysunek 2-1: Spawanie w pozycji nabocznej, podolnej i z góry na dół.

2.5 PODGRZEWANIE WSTĘPNE

Podczas spawania stali stopowych, wysokowytrzymałych i wysokowęglowych może być wymagane wstępne podgrzewanie. Może być ono również zalecane przez różne normy. Grube płyty i sztywne złącza mogą również wymagać wstępnego podgrzewania w celu zapewnienia solidnych, wolnych od pęknięć spoin. Należy pamiętać, że w przypadku spoin, które wymagają wielu warstw, temperatura między warstwami powinna być utrzymywana w sposób określony w procedurze spawania (WPS).

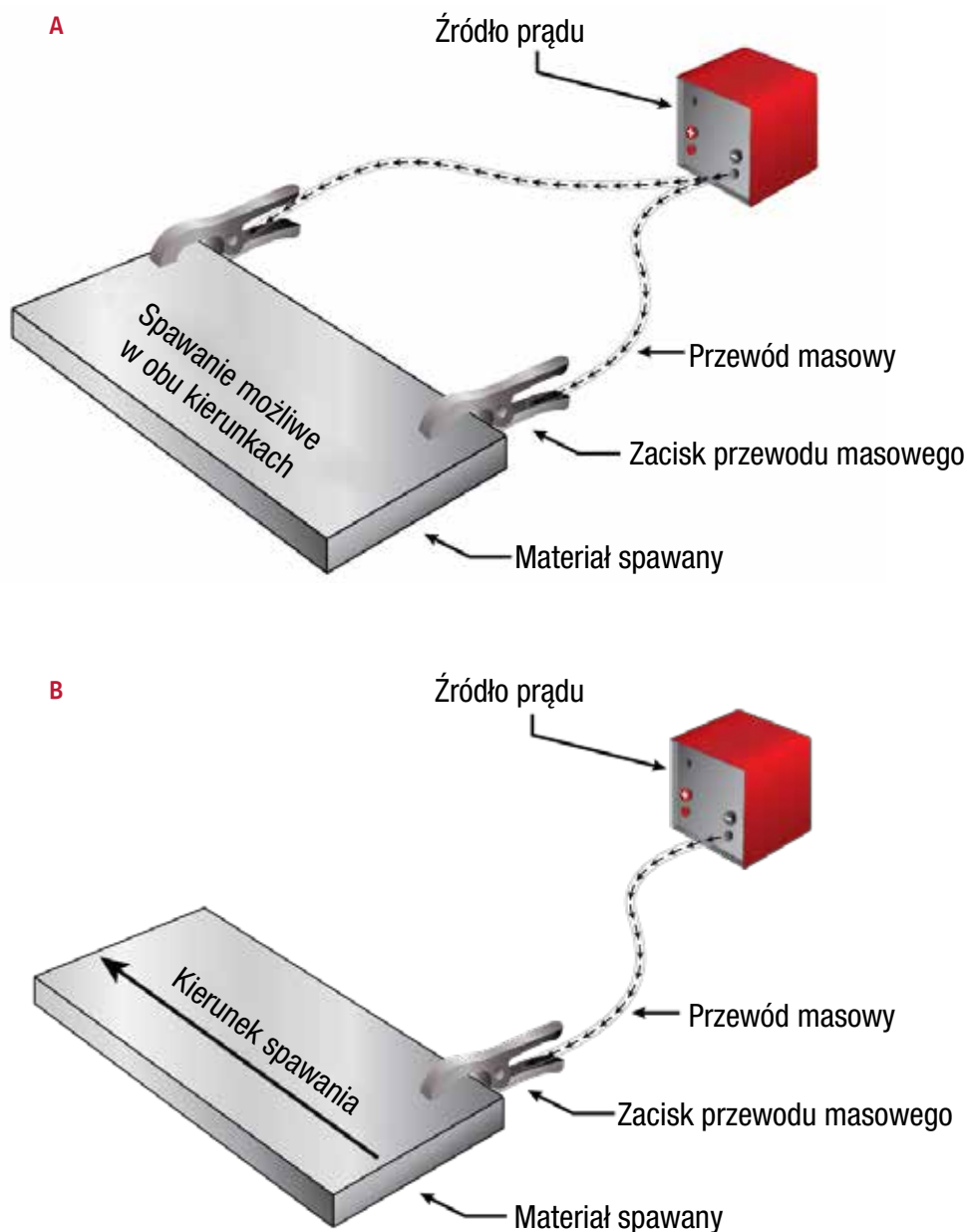
Minimalne, wymagane podgrzewanie wstępne może być określone w normach. Norma AWS D1.1 zawiera tabele określające sposób podgrzewania złącza. Najprostszym sposobem określenia temperatury podgrzewania jest użycie kalkulatora temperatury wstępnej i międzyścięgowej, takiego jak pokazany na rysunku 2-2, który można nabyć w Fundacji Spawania Łukowego Jamesa F. Lincolna pod adresem www.jflf.org.



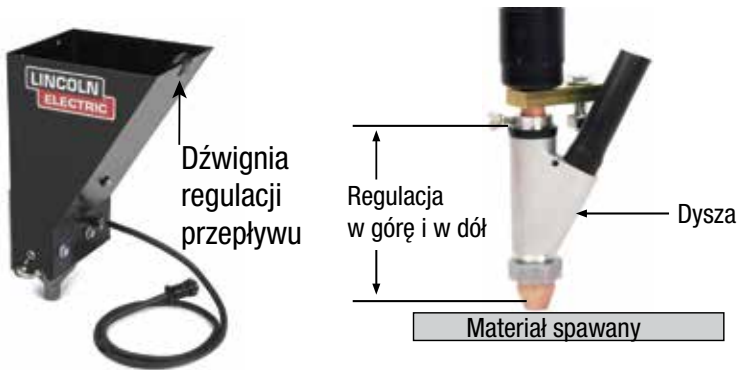
Rysunek 2-2: Kalkulator podgrzewania wstępnego i temperatury międzyścięgowej

2.6 PODŁĄCZENIA PRZEWODU MASOWEGO

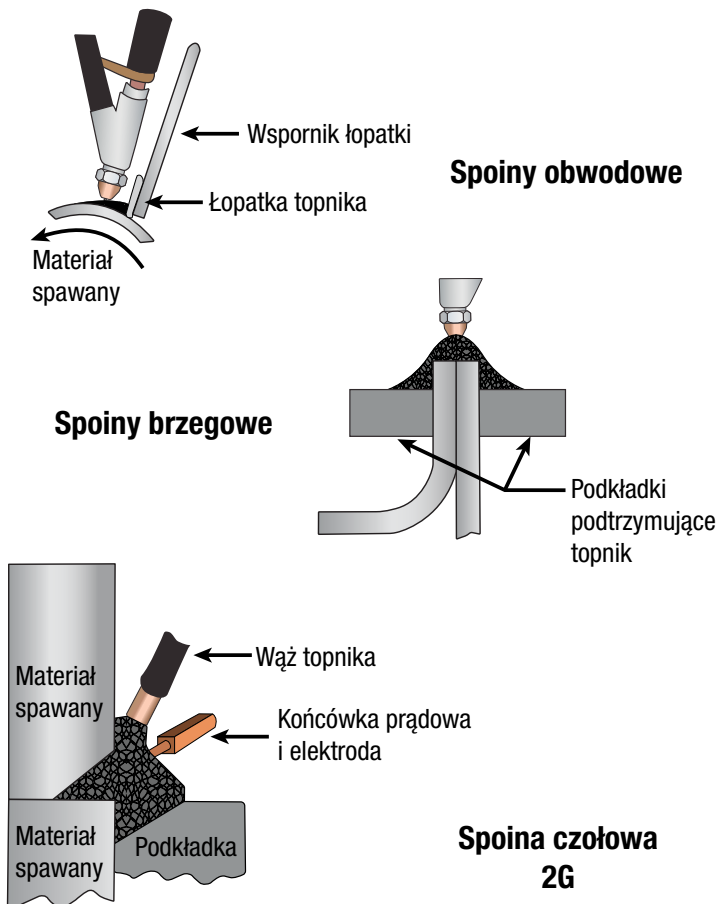
Najlepsze wyniki spawania uzyskuje się zazwyczaj przez spawanie w odległości od zacisku przewodu masowego. Przewód masowy należy zacisnąć bezpośrednio na materiale spawanym, w miarę możliwości najlepiej po obu stronach złącza (patrz rys. 2-3). Słabe połączenie może powodować niestabilność łuku, ugięcie łuku, porowatość i niewłaściwy kształt spoiny. Sprawdza się to szczególnie w przypadku spawania z polaryzacją DCEN. W wielu przypadkach lepsze wyniki uzyskuje się dzięki zastosowaniu dwóch przewodów masowych, po jednym na każdym końcu materiału spawanego.



Rysunek 2-3: A. Spawanie w obu kierunkach; B. Spawanie w jednym kierunku



Rysunek 2-4: Urządzenia do podawania topnika



Rysunek 2-5: Łopatki topnika, podkładki i inne elementy podtrzymujące

2.7 ZASYP TOPNIKA

Grubość warstwy topnika powinna być wystarczająca, aby zakryć łuk. Dobrym wskaźnikiem jest sytuacja, gdy na końcu drutu elektrodowego widać zaledwie migotanie światła. Zbyt mała ilość topnika powoduje nadmierne migotanie światła i porowatość spoiny. Może to również być bardzo uciążliwe dla operatora. Zbyt duże ilości topnika mogą powodować powstawanie wąskich i wypukłych ściegów, które będą miały nieodpowiedni wygląd, a usuwanie żużla będzie utrudnione.

OSTRZEŻENIE

Patrzenie bezpośrednio na błysk łuku spawalniczego lub narażenie skóry na jego oddziaływanie może być przyczyną oparzeń promieniowaniem UV. Należy używać odpowiedniej odzieży ochronnej i ochrony oczu.

W przypadku spawania półautomatycznego, rozmieszczenie topnika i pokrycie jest kontrolowane za pomocą półautomatycznego palnika. W przypadku spawania automatycznego, przepływ topnika może być regulowany przez zmianę odległości dyszy od materiału spawanego (patrz rys. 2-4). Zastosowanie dźwigni regulacji przepływu topnika zapewnia lepszą kontrolę i sprawdza się we wszystkich przypadkach.

Spoina czołowa 2G jest również potocznie zwana spoiną „godz. 3”. Wykonanie spoiny czołowej 2G w pozycji naściennej wymaga stosowania podkładek podtrzymujących topnik (patrz rys. 2-5). Ważne jest, aby ziarna topnika otaczające jeziorko spawalnicze nie przemieszczały się do momentu zakrzepnięcia spoiny. Materiały nieprzewodzące, ognioodporne bardzo dobrze sprawdzają się jako łopatki ograniczające podczas spawania obwodowego.

2.8 ŚREDNICA DRUTU – SPAWANIE PÓŁAUTOMATYCZNE

W przypadku ręcznego (półautomatycznego) spawania łukiem krytym stosowane są druty o średnicy 5/64-3/32 cala (2,0-2,4 mm). Każdy z drutów wymaga odpowiedniego uchwytu spawalniczego z przewodami zasilającymi, przewodnic i rolek napędowych.

Drut 5/64 cala (2,0 mm) jest odpowiedni do spawania materiałów o grubości 12-gauge (2,6 mm) i wyższej. Ręczny uchwyt do spawania SAW firmy Lincoln Electric jest lekki i elastyczny, co ułatwia pozycjonowanie i prowadzenie.

Drut 3/32 cala (2,4 mm) pozwala na stosowanie większego prądu spawania, co skutkuje wyższą wydajnością stapiania. Do ręcznych uchwytów SAW jest dostępne specjalne urządzenie podtrzymujące uchwyt, umożliwiające przesuw uchwytu wzdłuż złącza z regulowaną prędkością.



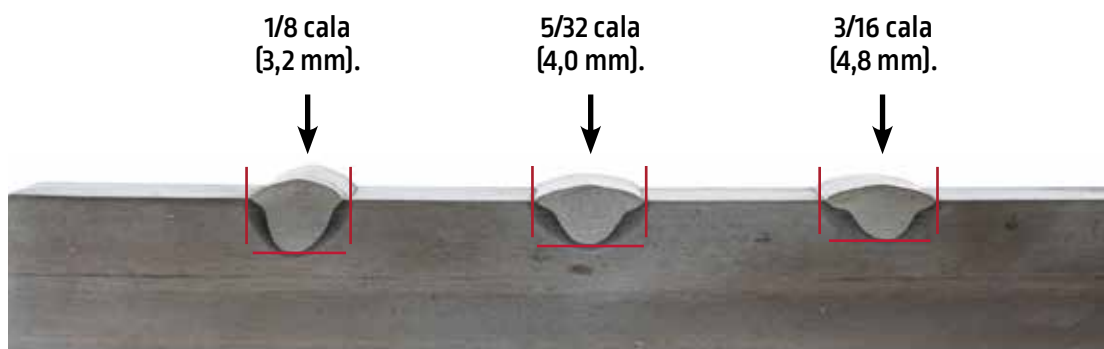
Rysunek 2-6: A i B, Uchwyty Lincoln Electric do spawania SAW; C, Power Pack (do regulacji prędkości spawania)

2.9 ŚREDNICA DRUTU – SPAWANIE AUTOMATYCZNE

Jeśli wszystkie inne parametry spawania są utrzymywane na stałym poziomie, zmiana średnicy drutu będzie miała następujące skutki.

1. Zwiększenie średnicy, mniejsza głębokość wtopienia
2. Zwiększenie średnicy, mniejsza wydajność stapiania
3. Zwiększenie średnicy, możliwość spawania większym prądem

Na rys. 2-7 przedstawiono trzy spoiny, wszystkie wykonane prądem stałym z polaryzacją dodatnią (DCEP) 650 A, przy napięciu łuku 32 V z prędkością 0,6 m/min. Wyraźna różnica kształtu spoiny jest wyłącznie wynikiem zmiany średnicy drutu.

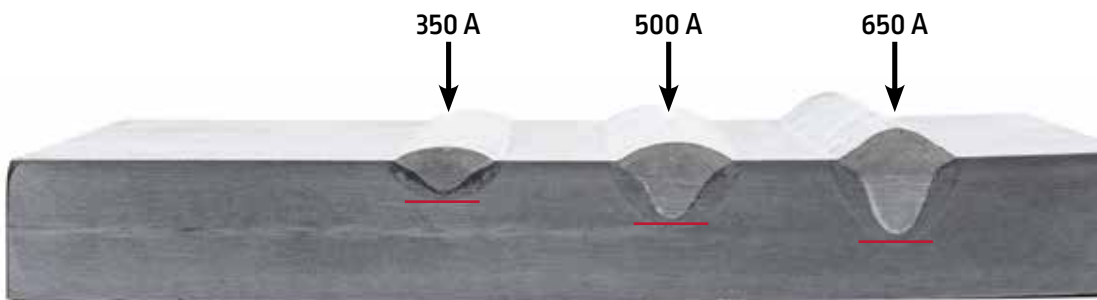


Rysunek 2-7: Wskazuje zależność między średnicą drutu i kształtem spoiny. Spawanie DCEP, prąd 650 A, napięcie 32 V, prędkość 0,6 m/min; Lewy, 1/8 cala (3,2 mm); Środkowy, 5/32 cala (4,0 mm); Prawy, 3/16 cala (4,8 mm). Czerwone linie wskazują na profil wtopienia.

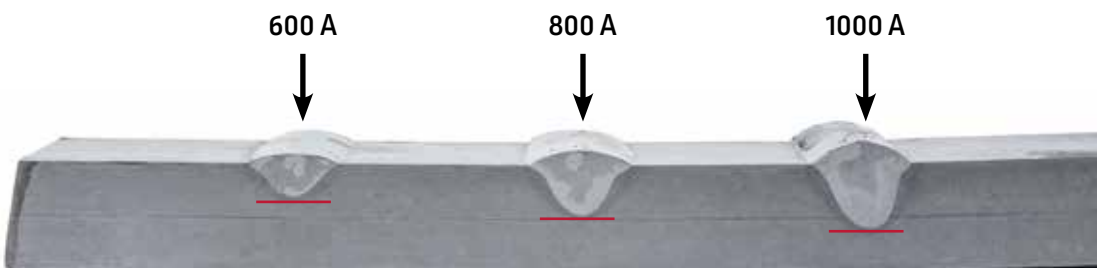
2.10 PRĄD SPAWANIA

Jeśli wszystkie inne parametry spawania są utrzymywane na stałym poziomie, zmiana prądu spawania może mieć następujące skutki:

- » Zwiększenie prądu, to większa głębokość wtopienia i współczynnik stapienia drutu (zob. tabelę 2-1 na str. 33, która przedstawia współczynniki stapienia drutów o różnych średnicach).
- » Zbyt wysokie prądy powodują powstanie niestabilnego łuku, podtopienia lub wysokiego i wąskiego lica spoiny.
- » Zbyt niskie prądy powodują niestabilny łuk i niezgodności kształtu i wymiaru spoiny (zob. rys. 2-8 i rys. 2-9, aby przeanalizować wpływ natężenia prądu na kształt i rozmiar lica spoiny).



Rysunek 2-8: Przedstawia zależność między głębokością wtopienia i prądem spawania. Drut 3/32 cala (2,4 mm), polaryzacja DCEP, prędkość 24 cali/min (0,6 m/min), napięcie łuku 35 V; Lewy, 350 A; Środkowy, 500 A; Prawy 650 A. Czerwone linie wskazują głębokość wtopienia.



Rysunek 2-9: Przedstawia zależność między głębokością wtopienia i prądem spawania. Drut 3/16 cala (4,8 mm), polaryzacja DCEP, prędkość 30 cali/min (0,8 m/min), napięcie łuku 34V; Lewy, 600 A; Środkowy, 800 A; Prawy 1000 A. Czerwone linie wskazują głębokość wtopienia.

2.11 NAPIĘCIE ŁUKU

Napięcie łuku (a nie napięcie źródła zasilania) czyli różnica potencjałów pomiędzy końcówką prądową, a materiałem spawanym, ma wpływ na kształt spoiny.

Długość kabli, ich ułożenie i indukcyjność mogą mieć wpływ na napięcie łuku elektrycznego. Jeśli wszystkie inne parametry spawania są utrzymywane na stałym poziomie, zmiana napięcia łuku może mieć następujące skutki:

1. Zwiększenie napięcia:

- Zwiększa długość łuku.
- Tworzy bardziej płaskie i/lub szersze lico spoiny.
- Poprawia usuwanie żużla na krawędziach spoin doczołowych i pachwinowych.
- Zwiększa całkowite zużycie topnika.
- Zależnie od typu topnika, może zwiększać odporność na porowatość.
- Jeżeli dopasowanie złącza jest słabe, pomaga wypełnić niewielkie szczeliny.
- Zmniejsza głębokość wtopienia.
- Zmniejsza odporność na porowatość powodowaną ugięciem łuku.

2. Zbyt wysokie napięcie:

- Powstają spoiny o kształcie kapelusza, które są podatne na pękanie.
- Skutkuje słabym usuwaniem żużla.
- Tworzy wklęsłą spoinę pachwinową, co może doprowadzić do pęknięcia w linii środkowej.
- Zwiększone ryzyko ugięcia łuku i wywoływanej tym porowatości.
- Może powodować podtopienia.
- Może prowadzić do rozbłysków łuku.

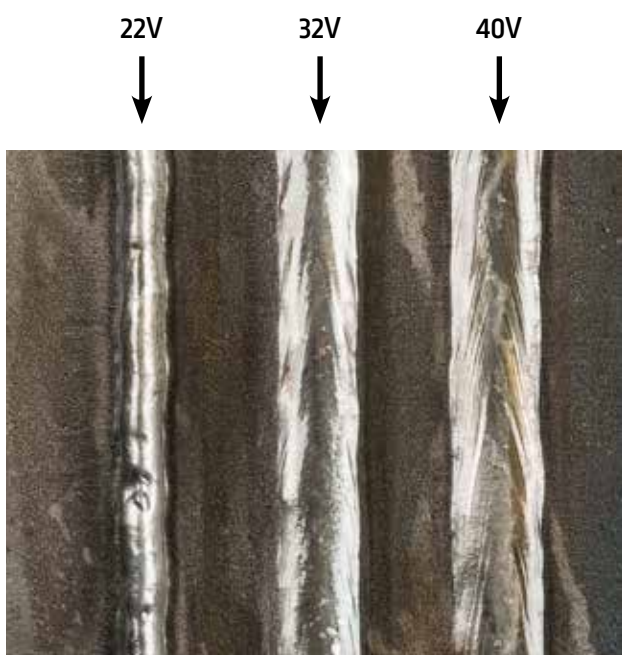
3. Obniżenie napięcia:

- Tworzy węższy stożek łuku, co zwiększa głębokość wtopienia.
- Zmniejsza ryzyko ugięcia łuku.
- Poprawia usuwanie żużla w spoinach wykonywanych metodą wąskoszczelinową.
- Pomaga stworzyć spoinę w kształcie żołędzia, który jest mniej podatny na pękanie.
- Może zwiększać pęknięcia z powodu niskiego stosunku głębokości do szerokości przy dużym natężeniu prądu.

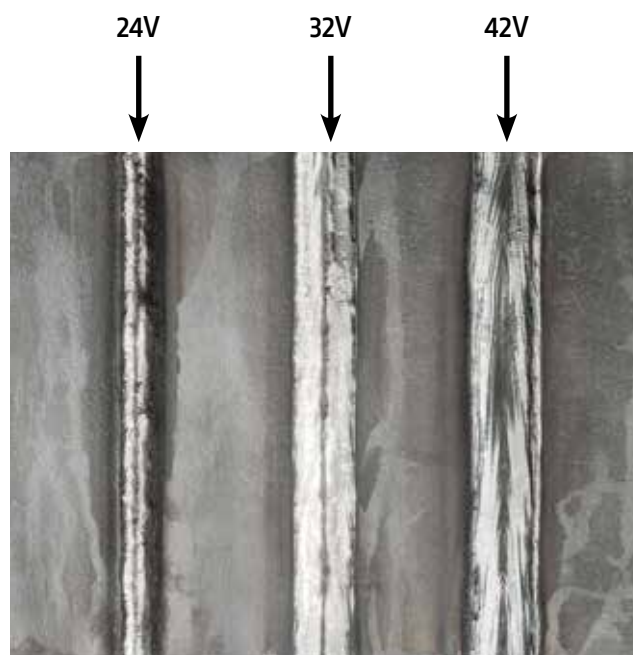
4. Bardzo niskie napięcie:

- Może tworzyć bardzo wysokie i wąskie lico spoiny.
- Słabe usuwanie żużla.
- Może przyczyniać się do niestabilności łuku.
- Zwiększa ryzyko wiązania żużla ze spoiną.

Zob. rys. 2-10 i rys. 2-11, zawierające przykłady wpływu napięcia na kształt i rozmiar spoiny.



Rysunek 2-10: Drut 3/32" (2,4 mm) z polaryzacją DCEP, prąd spawania 500 A, prędkość 24 cali/min (0,6 m/min); Lewy, 22 V; Środkowy, 32 V; Prawy, 40 V.



Rysunek 2-11: Drut 3/16" (4,8 mm) z polaryzacją DCEP, prąd 850 A, prędkość 30 cali/min (0,8 m/min); Lewy, 24V; Środkowy, 32 V; Prawy, 42V.

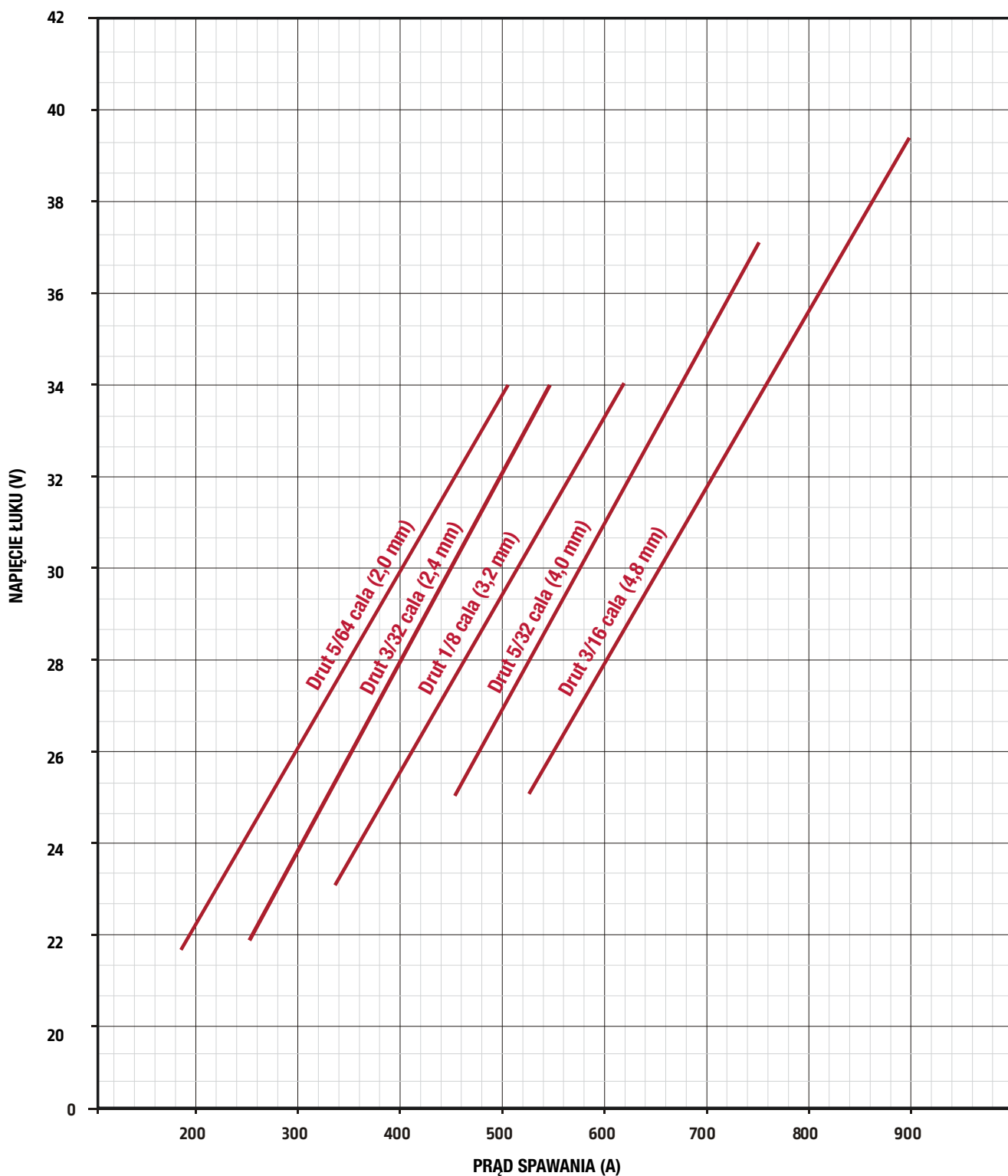
Napięcie – sugerowane ustawienie początkowe

Rys. 2-12 na stronie 25 dotyczy polaryzacji DCEP z odległością CTWD (od końcówki prądowej do materiału spawanego) 1-1/2 cala (38 mm). Należy zwrócić uwagę, że napięcia na wykresie dotyczą napięcia łuku (różnica potencjałów pomiędzy końcówką prądową, a materiałem spawanym), a nie napięcia źródła zasilania.

W przypadku polaryzacji AC zwiększyć o 2 lub 3 V.

W przypadku procedur zawierających większą odległość CTWD może być konieczne znaczne zwiększenie napięcia łuku (zob. rys. 2-12 na stronie 25).

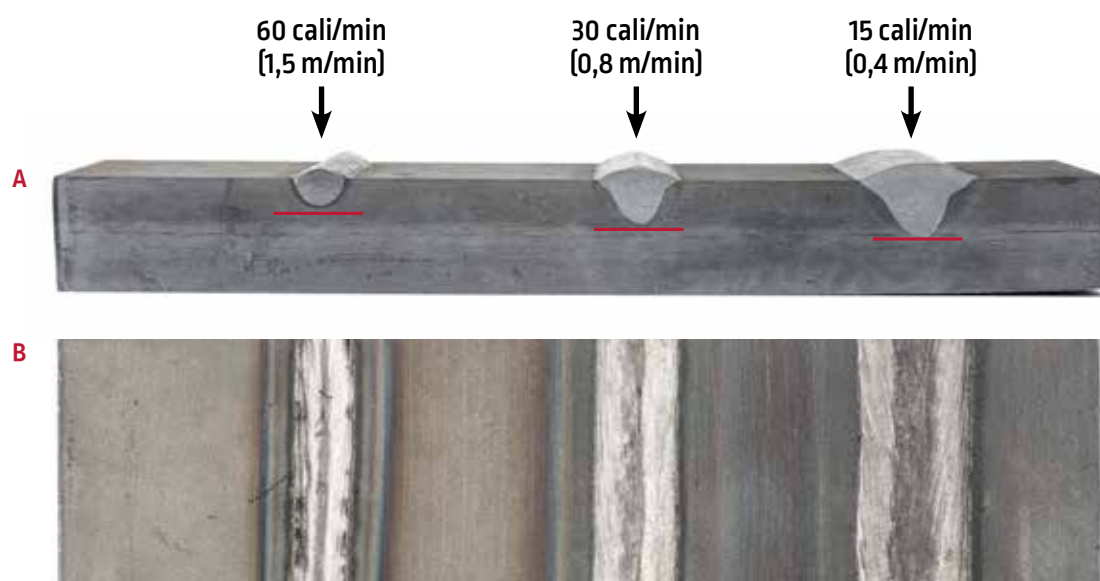
Napięcie łuku – zalecane ustawienie początkowe w funkcji prądu spawania, polaryzacja DCEP



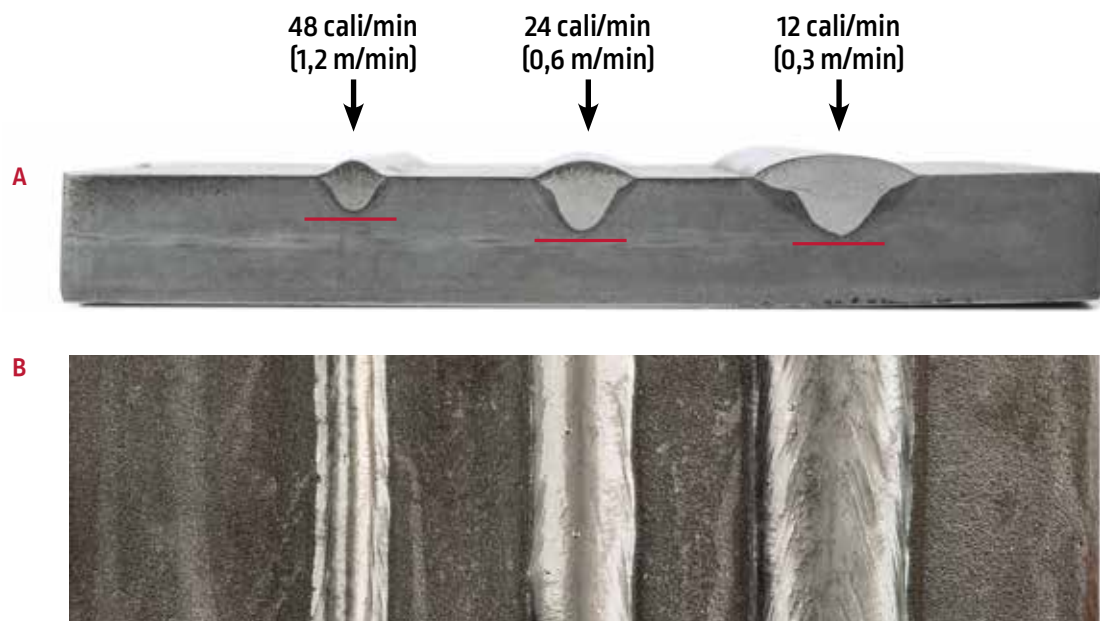
Rysunek 2-12: Napięcie łuku w funkcji prądu spawania, polaryzacja DCEP

2.12 PRĘDKOŚĆ SPAWANIA

Zmiana prędkości spawania, podobnie jak zmiana prądu, ma wpływ na wielkość spoiny i głębokość wtopienia. Rys. 2-13 i rys. 2-14, przedstawiają wpływ prędkości spawania na kształt, rozmiar spoiny oraz głębokość wtopienia.



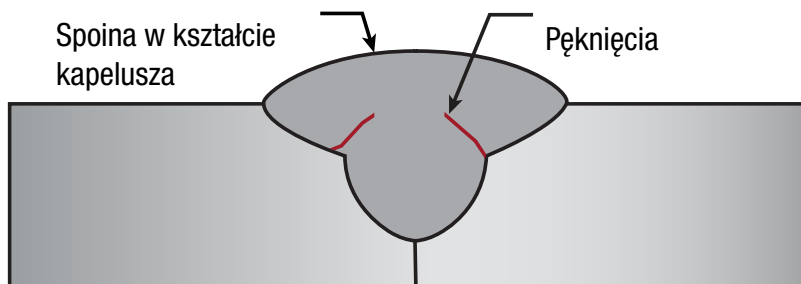
Rysunek 2-13: Przedstawia profil wtopienia w zależności od prędkości spawania. Drut 3/16 cala (4,8 mm), polaryzacja DCEP, prąd 850 A, napięcie łuku 34 V; Lewy, 60 cali/min (1,5 m/min); Środkowy, 30 cali/min (0,8 m/min); Prawy, 15 cali/min (0,4 m/min). A, Czerwone linie wskazują głębokość wtopienia; B, Widok z góry rys. 2-14 A.



Rysunek 2-14: Przedstawia profil wtopienia w zależności od prędkości spawania. Drut 3/32 cala (2,4 mm), polaryzacja DCEP, prąd 500 A, napięcie łuku 32V; Lewy, 48 cali/min (1,2 m/min); Środkowy, 24 cali/min (0,6 m/min); Prawy, 12 cali/min (0,3 m/min). A, Czerwone linie wskazują głębokość wtopienia; B, Widok z góry rys. 2-16 A.

Jeśli wszystkie inne parametry spawania są utrzymywane na stałym poziomie, zmiana prędkości spawania może mieć następujące skutki:

1. Wzrost prędkości spawania może zwiększyć tendencję do podtopienia i spowodować nierówny kształt spoiny.
2. Niższe prędkości dają gazom czas na wydostanie się z jeziorka spawalniczego, co zmniejsza możliwość wystąpienia porowatości i śladów gazowych (tzw. pockmarking).
3. Zbyt niskie prędkości spawania mogą powodować:
 - Powstanie spoin o kształcie kapelusza, które mogą pękać (zob. rys. 2-15). Inne rodzaje pęknięć i niezgodności spawalniczych, opisano w rozdziale 7.
 - Rozbłyśki łuku przez topnik, zwiększające ryzyko porowatości spoiny.
 - Duże jeziorko spawalnicze rozlewające się wokół łuku, skutkujące nierówną powierzchnią lica spoiny i wtrąceniami żużla.
 - Łuk unosi się na jeziorku, skutkując słabszym wtopieniem.



Rysunek 2-15: Pęknięcia „kapeluszowe”

2.13 ODLEGŁOŚĆ KOŃCÓWKI PRĄDOWEJ OD MATERIAŁU SPAWANEGO (CTWD)

Odległość końcówki prądowej od materiału spawanego to najłatwiejszy do zmierzenia parametr spawania. Często nieprawidłowo określana jako wolny wylot drutu (ESO). ESO jest w rzeczywistości odległością od końcówki prądowej do łuku. Parametr ESO nie jest łatwo mierzalny, szczególnie w przypadku spawania łukiem krytym. Nominalnie CTWD to 8-krotność średnicy drutu. CTWD to ważny czynnik, który ma wpływ na współczynnik stapiania drutu:

W trybie charakterystyki stałoprądowej (CC), prędkość podawania drutu (WFS) zmieni się następująco:

1. W przypadku zwiększenia CTWD, zwiększa się WFS.
2. W przypadku zmniejszenia CTWD, zmniejsza się WFS.

W trybie charakterystyki stałonapięciowej (CV), gdzie prędkość podawania drutu jest stała, natężenie prądu zmieni się następująco::

1. Zwiększenie CTWD, prąd spawania maleje.
2. Zmniejszenie CTWD, prąd spawania rośnie.

2.14 WYDAJNOŚĆ STAPIANIA

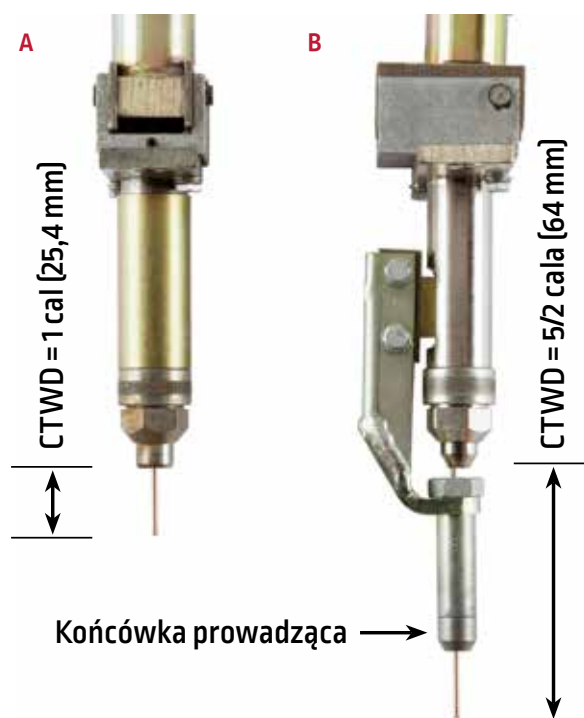
Wydatność stapiania można znacznie zwiększyć, używając odpowiednich urządzeń i procedur wpływających na wolny wylot drutu. Przez zastosowanie uchwytu z zespołem dyszy kontaktowej i tulejek prowadzących, odległość CTWD można zwiększyć z 3 cali (75 mm) do 5 cali (125 mm) (zob. rys. 2-16).

2.15 POLARYZACJA: DCEP W PORÓWNIANIU Z DCEN

W przypadku spawania prądem stałym, zaleca się w ogólnym przypadku zastosowanie polaryzacji DCEP, dającej najstabilniejszy łuk elektryczny. Przy takiej samej wartości prądu polaryzacja DCEP pozwala uzyskiwać gładkie lico spoiny oraz większą głębokość wtopienia, niż DCEN. Aby zminimalizować możliwość powstawania porowatości i/lub pęknięcia gorącego w przypadku stali o wysokiej zawartości węgla, siarki lub fosforu, preferowana może być polaryzacja DCEN, z uwagi na mniejsze wymieszanie z materiałem rodzimym.

Przy jednakowych ustawieniach prądu i CTWD, współczynnik stapiania dla DCEN jest o około 33% wyższy, niż w przypadku DCEP. Jest to przydatne w przypadku:

1. Spoin pachwinowych na blachach wolnych od rdzy i powłoki gruntowej.
2. Zastosowaniach do napawania utwardzającego i nawarstwiania.
3. Zastosowania głowicy Linc-Fill™.



Rysunek 2-16: A, Zespół dyszy kontaktowej; B, głowica Linc-Fill Long Stickout zamontowana na zespole dyszy kontaktowej.

2.16 SPAWANIE AC

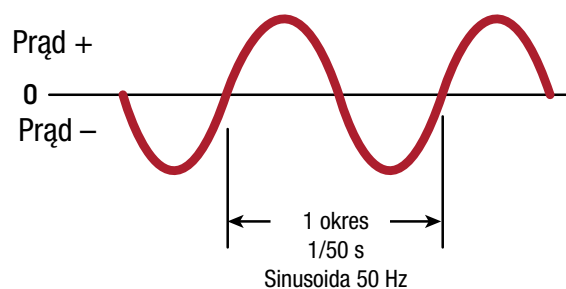
Konwencjonalne źródła zasilania prądem przemiennym generują prąd sinusoidalny o częstotliwości 50 lub 60 Hz. Prąd przepływa przez punkt zerowy dwukrotnie podczas każdego okresu (patrz rys. 2-17) czyli łuk zanika i ponownie zajarza się 100 (lub 120) razy na sekundę. Prąd szczytowy, podczas którego łuk jest stabilny, trwa bardzo krótko (zob. rys. 2-17 i rys. 2-18).

Przy tych samych wartościach średnicy drutu i prądu spawania, spawanie AC pozwala uzyskać wyższe wydajności stapiania, niż DCEP (zob. krzywe wydajności stapiania, str. 34-39).

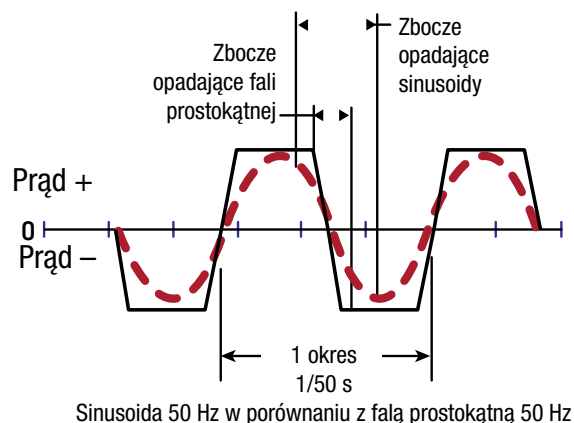
Technologia półprzewodnikowa i cyfrowa pozwoliła na uzyskanie fali prostokątnej AC (zob. rys. 2-18). Należy zwrócić uwagę na dwa ważne czynniki:

1. W przypadku fali prostokątnej czas przejścia prądu od wartości dodatniej do ujemnej jest znacznie krótszy.
2. Czas prądu szczytowego wydłuża się, co skutkuje większą stabilnością łuku i wyższą wydajnością stapiania.

Zapewnia to jednorodny i stabilny łuk. Prąd wyjściowy jest sterowany cyfrowo, co pozwala na zastosowanie kilku użytecznych funkcji, takich jak asymetria kształtu fali prądowej, zmiana częstotliwości oraz przesunięcie punktu zerowego.



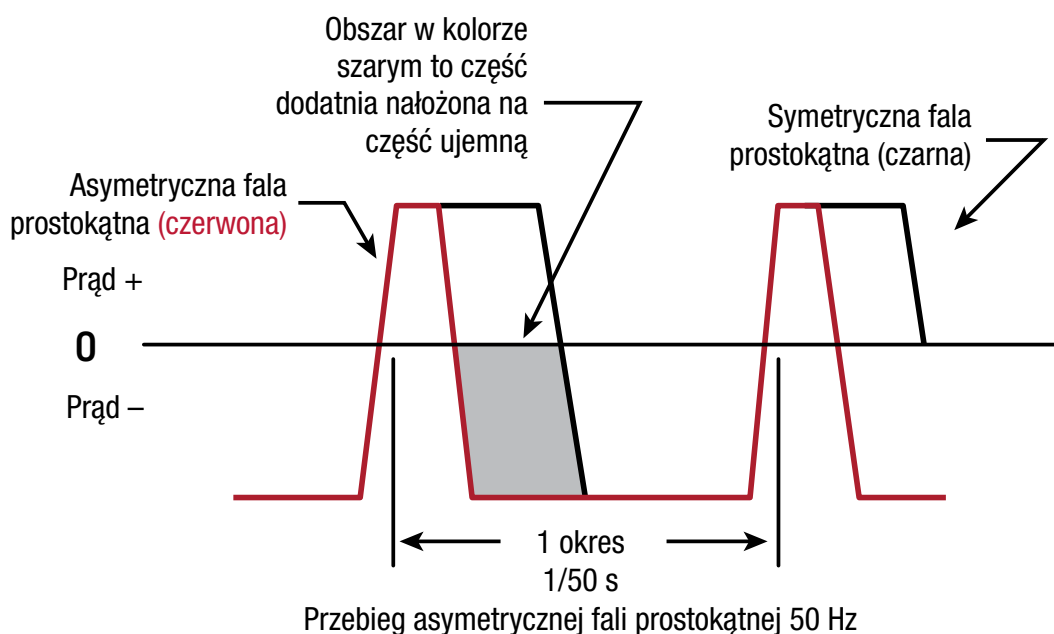
Rysunek 2-17: Sinusoida 50 Hz



Rysunek 2-18: Sinusoida i fala prostokątna

2.17 ASYMETRYCZNA FALA PROSTOKĄTNA AC

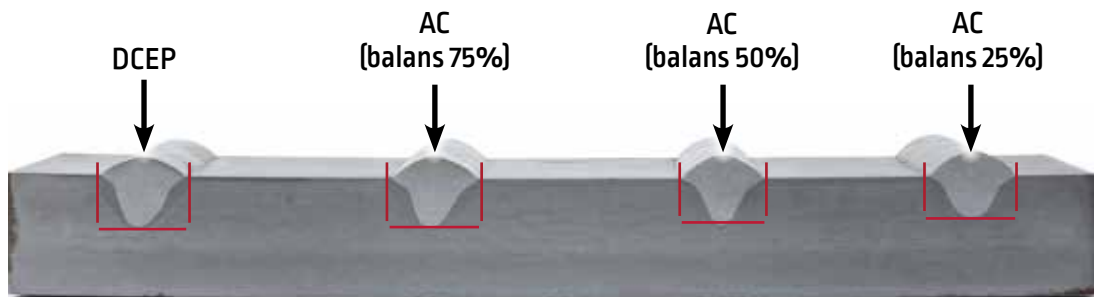
Asymetria przebiegu pozwala na dostosowanie czasu, przez jaki łuk jest zasilany dodatnią i ujemną wartością w czasie jednego okresu. Może to być pomocne w zwiększaniu lub zmniejszaniu wtopienia (tryby stałonapięciowe – CV), jak również w zwiększaniu lub zmniejszaniu wydajności stapiania (tryby stałoprądowe – CC). Balans definiowany jest jako wartość procentowa czasu dodatniej części przebiegu fali w stosunku do całego okresu (zob. rys. 2-19).



Rysunek 2-19: Przebieg asymetrycznej fali prostokątnej

Mówiąc inaczej:

1. Przy balansie 50% fala jest równo podzielona między część dodatnią i ujemną.
2. Przy balansie 25%, 25% okresu jest dodatnie, a 75% ujemne.
3. Wzrost balansu oznacza wydłużenie przebiegu fali o polaryzacji dodatniej – DCEP.



Rysunek 2-20: Wpływ balansu na głębokość wtopienia i kształt spoiny. Porównanie czterech spoin wykonanych przy zastosowaniu takich samych parametrów spawania, z wyjątkiem polaryzacji i balansu. Od lewej do prawej, DCEP; AC (balans 75%); AC (balans 50%); AC (balans 25%); Czerwone linie wskazują na profil wtopienia.

Rysunek 2-20 przedstawia cztery spoiny, efekt spawania prądem 650 A, przy napięciu łuku 28 V z prędkością 16 cali/min (40 cm/min).

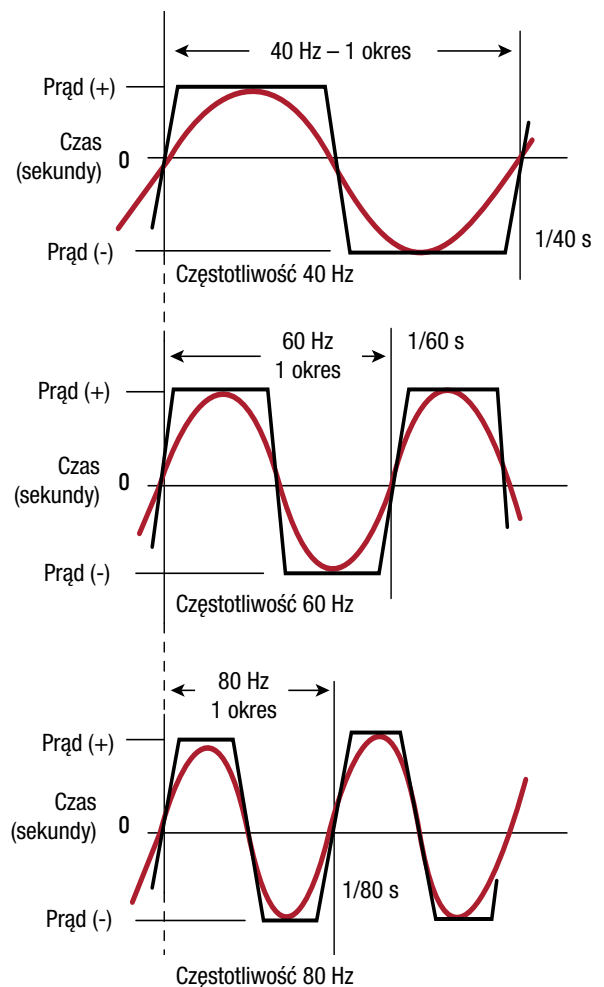
Wykonano je wg następujących procedur:

1. DCEP CC
2. AC CC 75%
3. AC CC 50%
4. AC CC 25%

2.18 CZĘSTOTLIWOŚĆ PRZEBIEGU PRĄDOWEGO

Na rys. 2-21 pokazano typowe przebiegi sinusoidalne (kolor czerwony) z przebiegami prostokątnymi (kolor czarny). Balans jest równy 50% i nie ma przesunięcia amplitudy (zob. rys. 2-22 na str. 32). Wartość prądu skutecznego RMS i napięcie są identyczne dla wszystkich trzech krzywych.

Częstotliwość definiuje się jako liczbę okresów sinusoidy w jednostce czasu. Sterowanie częstotliwością przebiegu ma głównie wpływ na stabilność łuku. Może mieć również niewielki wpływ na wydajność stapiania. Wyższe częstotliwości mogą ograniczać interakcje między łukami w spawaniu wielołukowym. Niższe częstotliwości to mniejsze problemy z indukcyjnością długich przewodów.

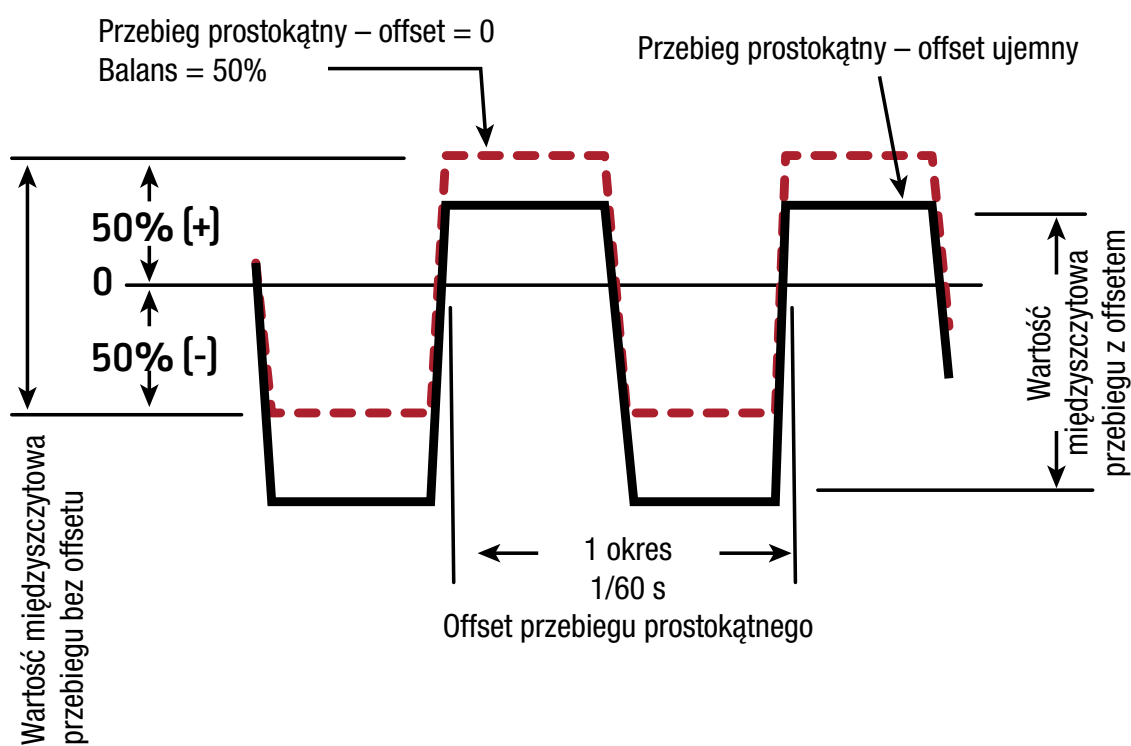


Rysunek 2-21: Przebiegi AC przy różnych częstotliwościach

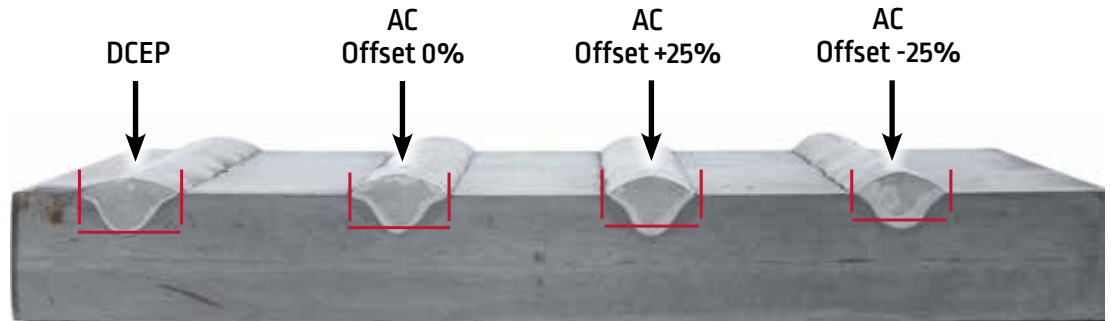
2.19 PRZESUNIĘCIE AMPLITUDY PRZEBIEGU PROSTOKĄTNEGO

Przesunięcie amplitudy przebiegu prądowego (offset) określa się jako dodatnie lub ujemne w odniesieniu do przejścia przez zero i przyjmuje wartość w zakresie od -25 do +25.

W przypadku prądu stałego przesunięcie ujemne przyczynia się do zwiększenia wydajności stapiania w stronę takich, które są możliwe w przypadku spawania DCEN, jednak bez problemów często napotykanych w jego przypadku (zob. rys. 2-22). Dodatni offset obniża wydajności stapiania (zob. rys. 2-23 na str. 33, który przedstawia wpływ offsetu na głębokość wtopienia i kształt spoiny).



Rysunek 2-22: Offset przebiegu prostokątnego

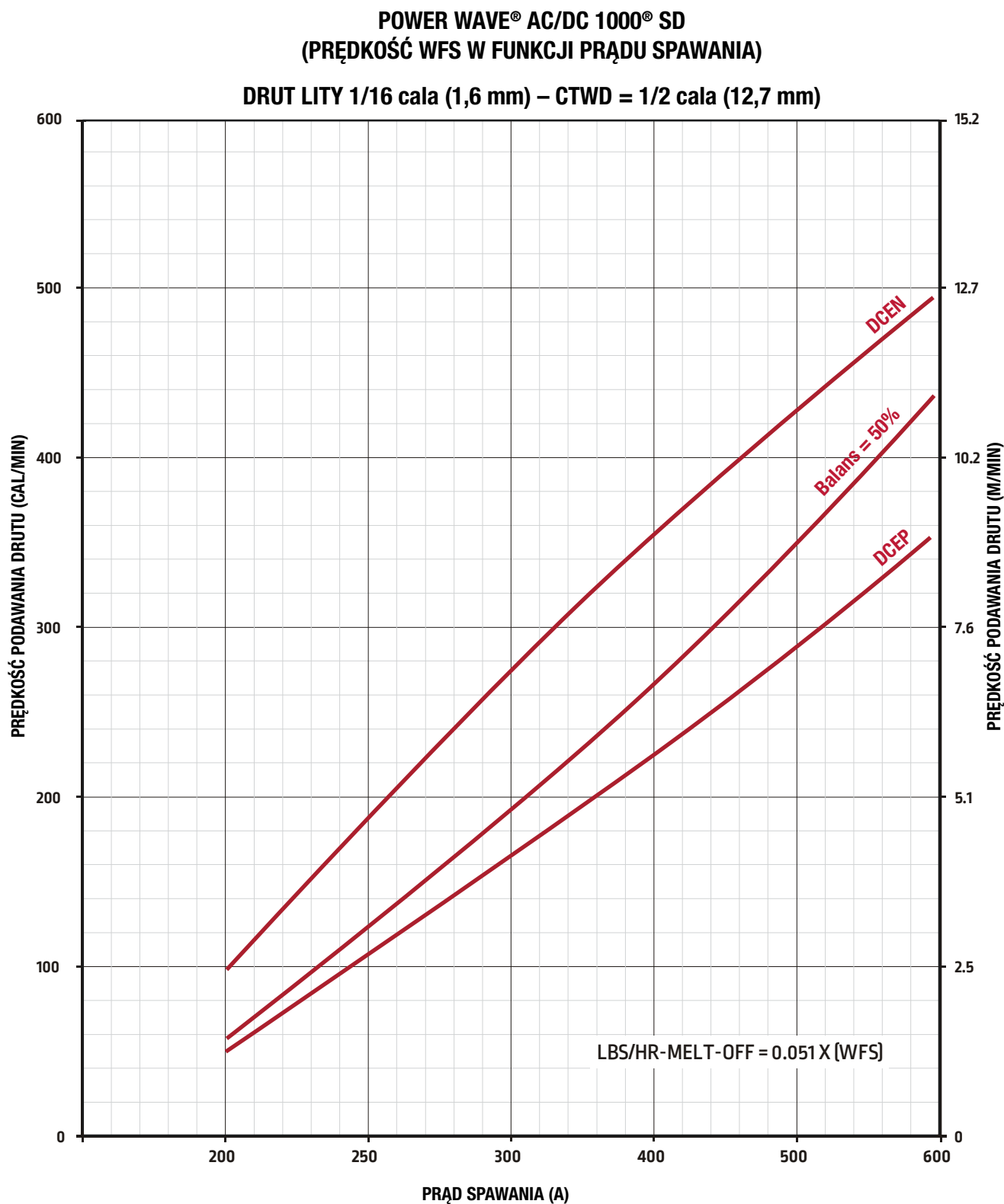


Rysunek 2-23: Wpływ przesunięcia na głębokość wtopienia i kształt spoiny. Porównanie czterech spoin wykonanych przy zastosowaniu takich samych parametrów spawania, z wyjątkiem offsetu. Od lewej do prawej, DCEP; AC z offsetem = 0%; AC z offsetem = +25%; AC z offsetem = -25%. Czerwone linie wskazują na profil wtopienia.

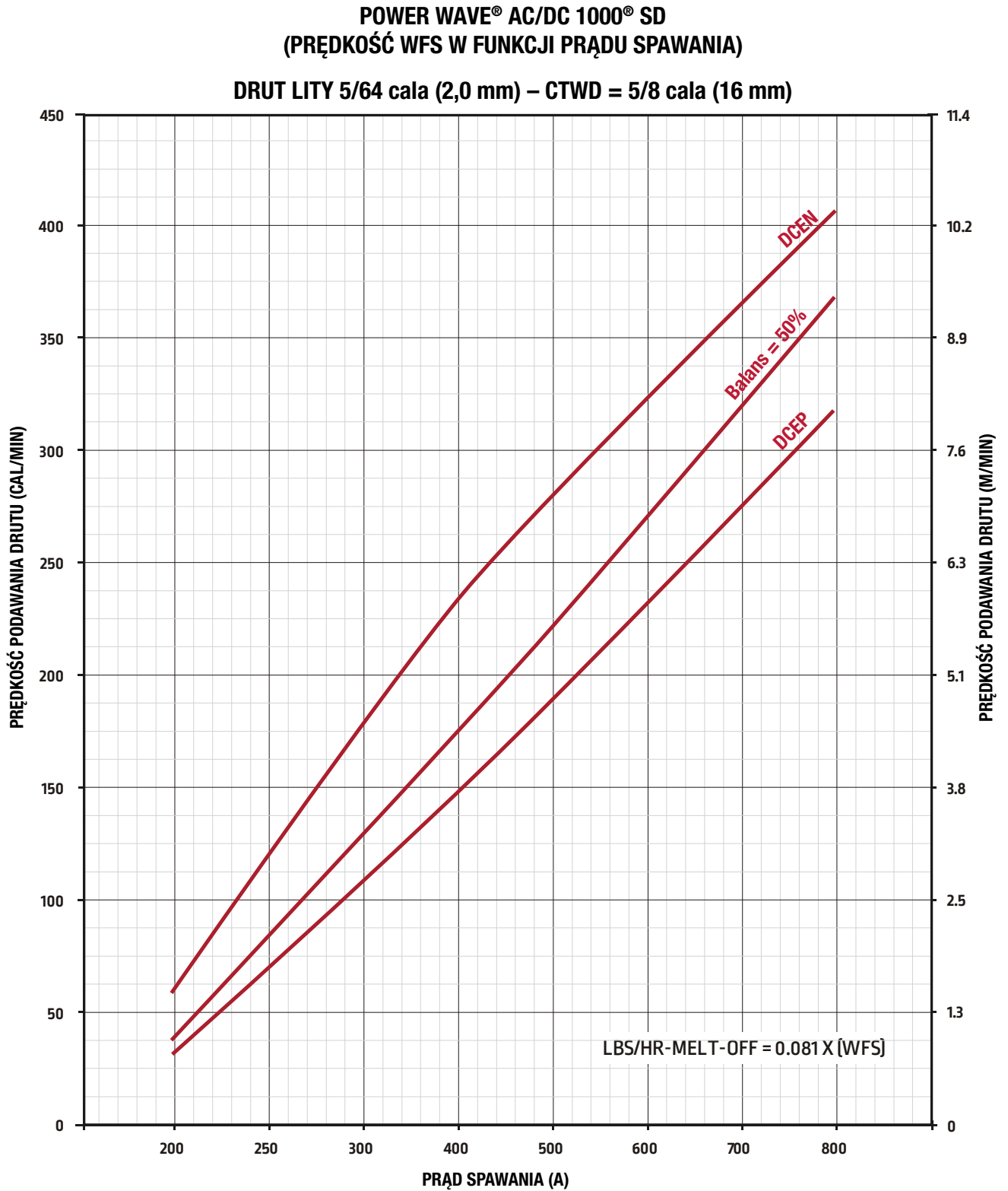
2.20 TABELA OBLICZONYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW STAPIANIA

Table 2-1: [A] Współczynnik stapienia [jednostki imperialne]		[B] Współczynnik stapienia [jednostki metryczne]	
Średnica [cale]	Współczynnik [funtów/godz.]	Średnica [mm]	Współczynnik [kg/h]
1/16	0,052	1,6	0,947
5/64	0,081	2,0	1,480
3/32	0,115	2,4	2,131
1/8	0,210	3,2	3,773
5/32	0,325	4,0	5,919
3/16	0,470	4,8	8,508

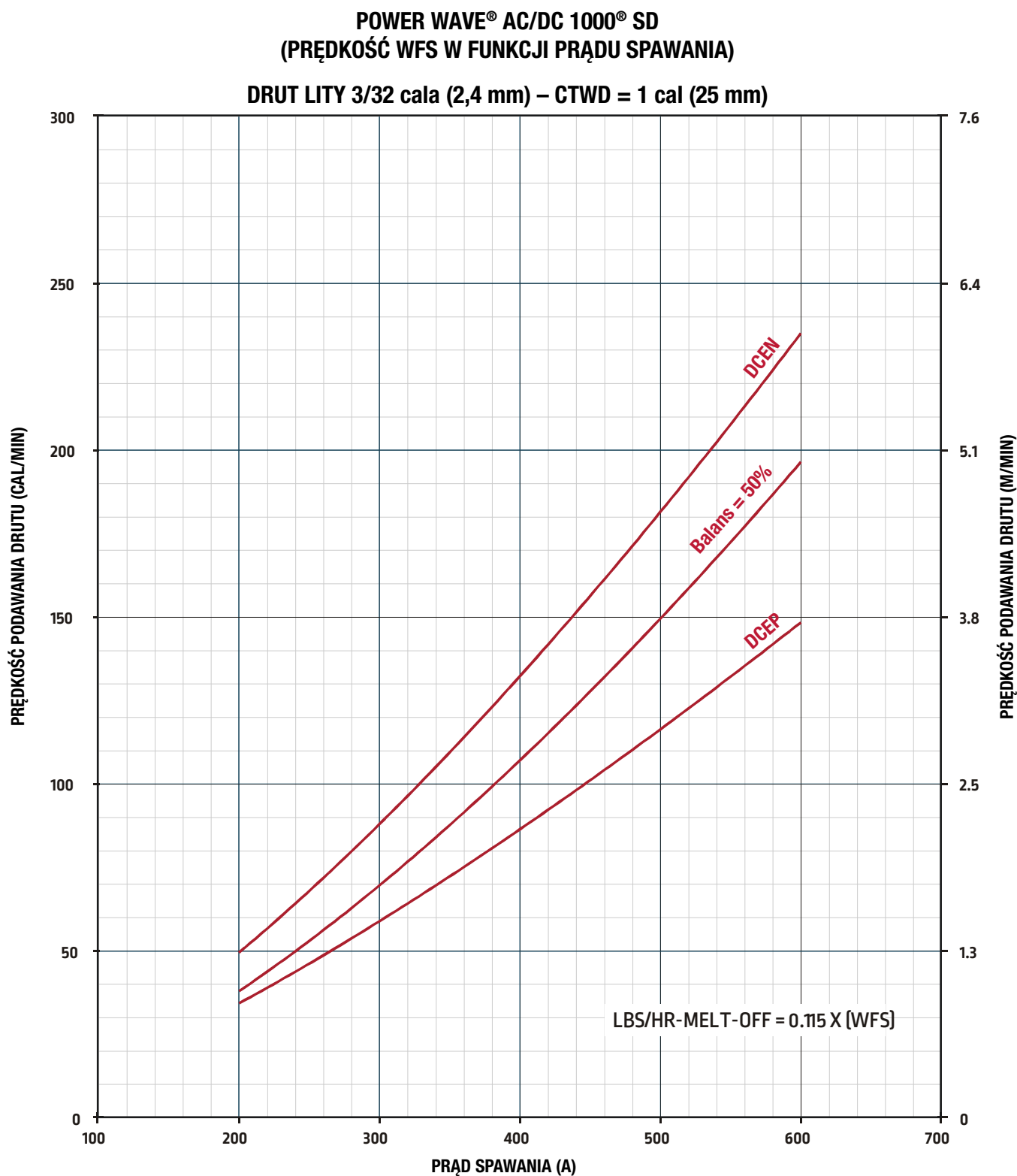
Gdy prędkość podawania drutu (WFS) jest wyrażona w calach na minutę (ipm), współczynnik pozwala obliczyć wydajność stapienia w funtach na godzinę. Gdy prędkość podawania drutu jest podana w metrach na minutę (m/min), współczynnik pozwala obliczyć wydajność stapienia w kilogramach na godzinę.



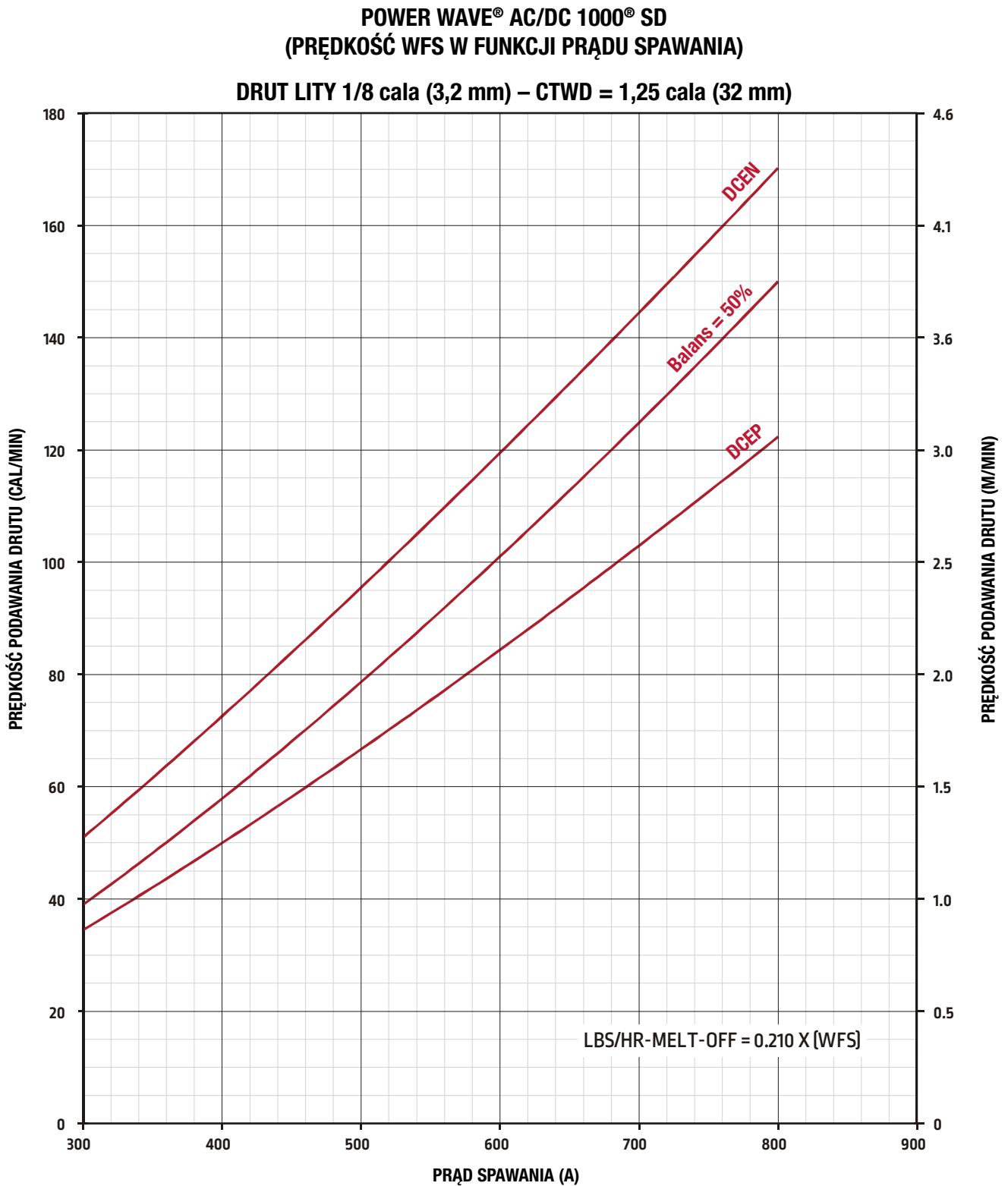
Rysunek 2-24: Drut lity 1/16 cala (1,6 mm) – CTWD = 1/2 cala (12,7 mm)



Rysunek 2-25: Drut lity 5/64 cala (2,0 mm) – CTWD = 5/8 cala (16 mm)



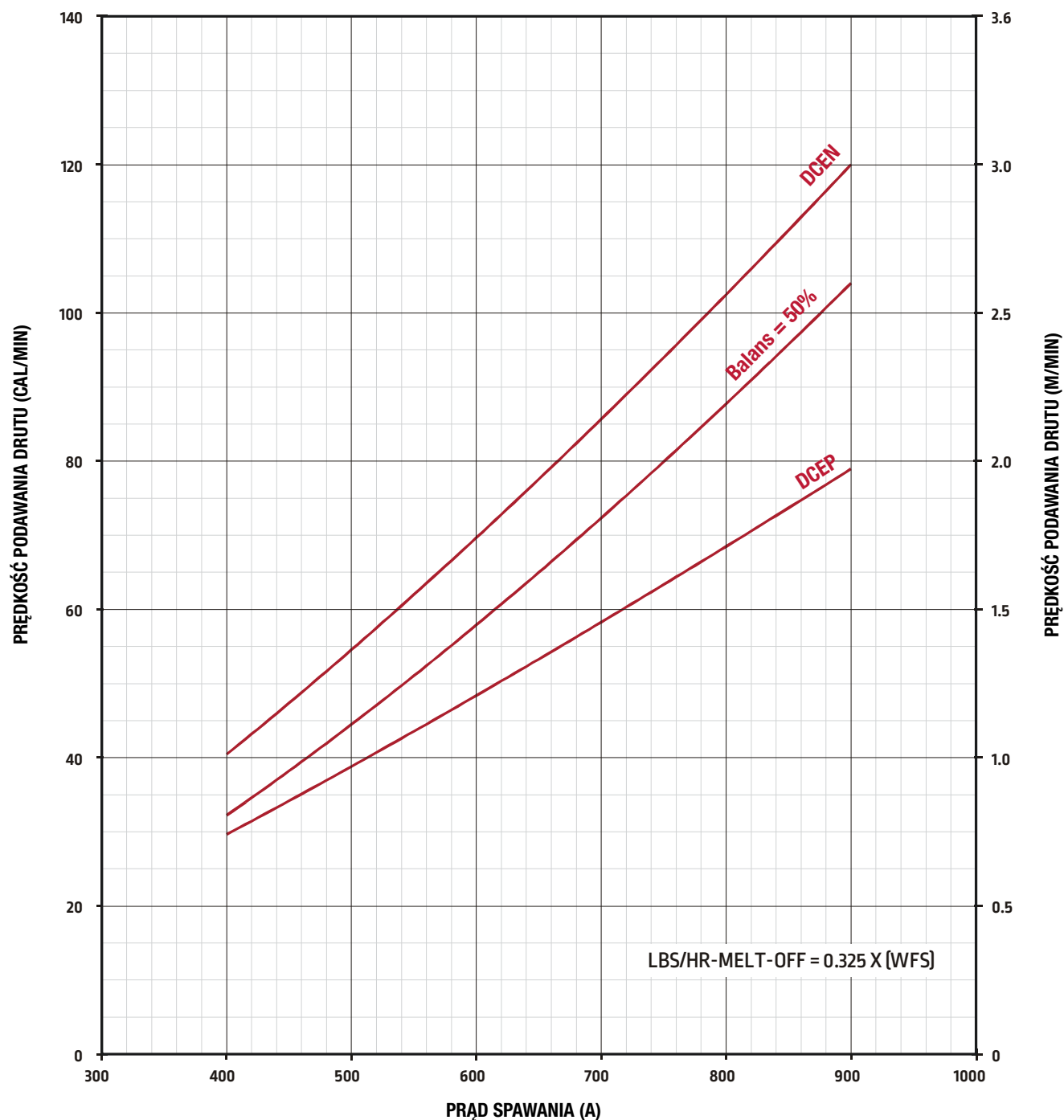
Rysunek 2-26: Drut lity 3/32 cala (2,4 mm) – CTWD = 1 cal (25 mm)



Rysunek 2-27: Drut lity 1/8 cala (3,2 mm) – CTWD = 1,25 cala (32 mm)

POWER WAVE® AC/DC 1000® SD
(PRĘDKOŚĆ WFS W FUNKCJI PRĄDU SPAWANIA)

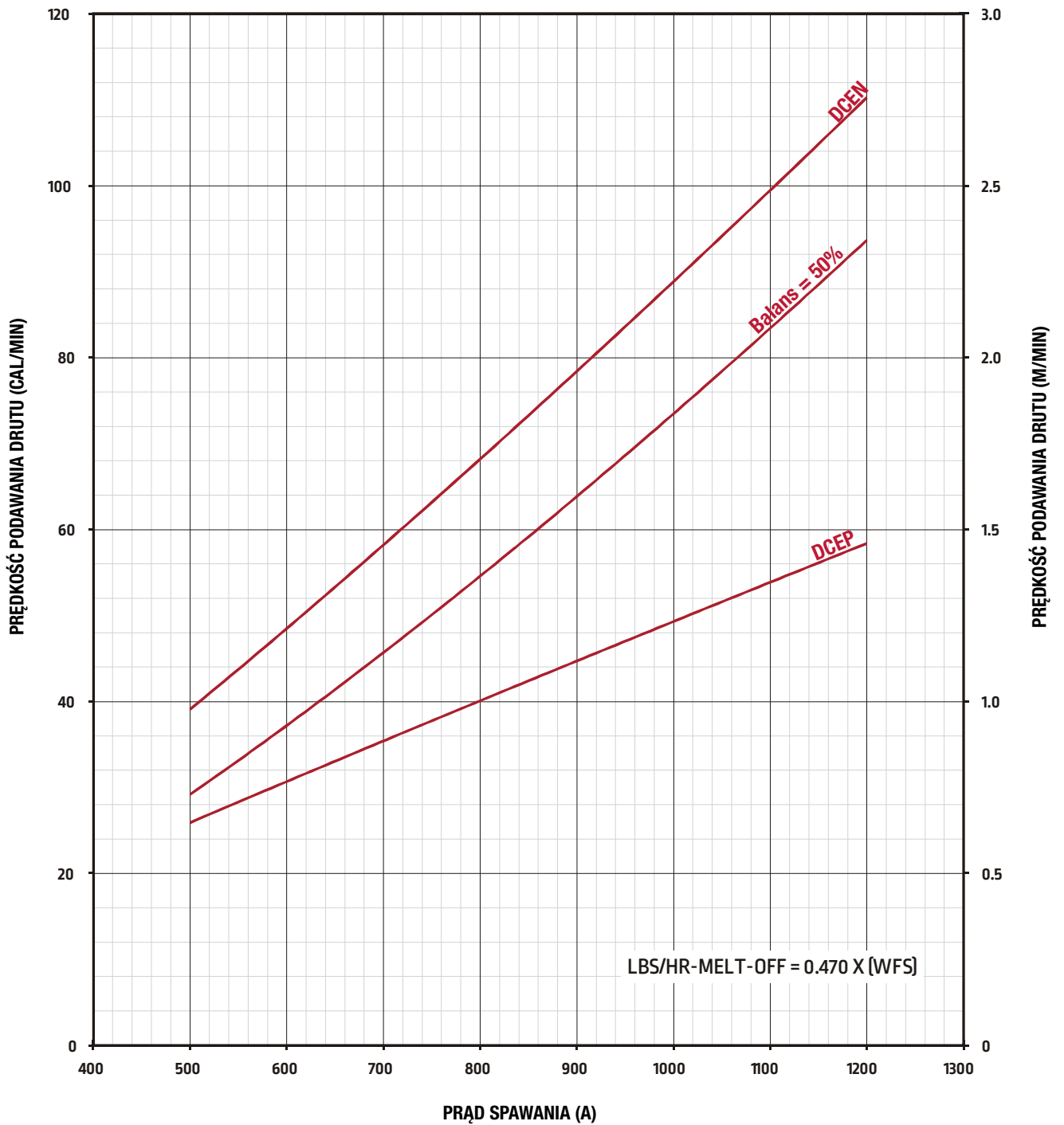
DRUT LITY 5/32 cala (4,0 mm) – CTWD = 1,25 cala (32 mm)



Rysunek 2-28: Drut lity 5/32 cala (4,0 mm) – CTWD = 1,25 cala (32 mm)

POWER WAVE® AC/DC 1000® SD
(PRĘDKOŚĆ WFS W FUNKCJI PRĄDU SPAWANIA)

DRUT LITY 3/16 cala (4,8 mm) – CTWD = 1,25 cala (32 mm)



Rysunek 2-29: Drut lity 3/16 cala (4,8 mm) – CTWD = 1,25 cala (32 mm)

Notatki

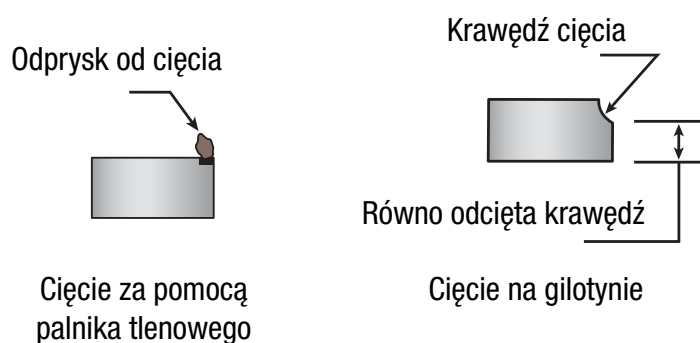
Rozdział 3

Spawanie jednym drutem w pozycji podolnej i nabocznej

3.1 PRZYGOTOWANIE

Poniższe wymagania i sugestie odnoszą się do wszystkich zastosowań spawania łukiem krytym.

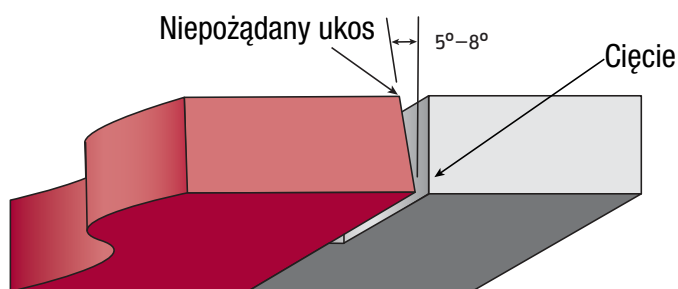
1. Zawsze należy używać czystego, suchego topnika.
2. Krawędzie powierzchni spawanych powinny być wolne od rdzy, podkładów, powłok organicznych, rozpuszczalników i smarów.
3. Złącze musi być właściwie przygotowane, materiał spawany dopasowany lub przymocowany za pomocą spoiny szczepnej.
4. Powierzchnie przylegania powinny być wolne od odprysków wytworzonych przez cięcie (zob. rys. 3-1).
5. Ustawić powierzchnie cięcia tak, aby nierówne krawędzie ścianek rowka były razem i skierowane do góry (zob. rys. 3-1).



Rysunek 3-1: Przygotowanie złącza

Przy cięciu plazmowym należy uwzględnić dwa szczególne aspekty:

1. Złe praktyki mogą prowadzić do zbierania się azotu na powierzchni podczas cięcia, co może powodować porowatość spoiny. Aby rozwiązać ten problem, konieczne może być dodatkowe szlifowanie powierzchni.
2. Po cięciu często pojawia się niepożądany ukos 5° – 8° tylko z jednej strony, który należy uznać za niewielkie ukosowanie krawędzi złącza (patrz rys. 3-2).



Kierunek cięcia powinien być tak dobrany, aby skos znajdował się po stronie odpadu (element w kolorze czerwonym). Jeśli nie jest to możliwe, wówczas szeroka część skosu powinna znaleźć się od strony lica spoiny, aby uniknąć ewentualnego przepalenia.

Rysunek 3-2: Cięcie plazmowe

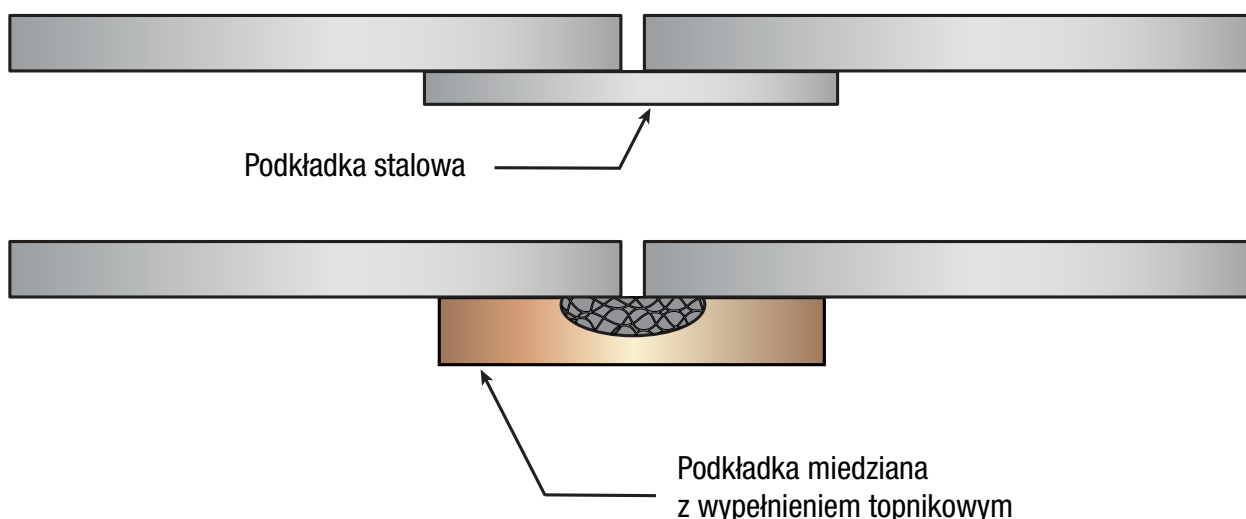
3.2 BLACHA STALOWA

Termin blacha oznacza zazwyczaj arkusz metalu (najczęściej stalowy) o grubości mniejszej niż 1/4 cala (6,4 mm). Kontrola odkształceń i przepalenia to główne trudności spawania cienkich blach łukiem krytym. Aby ograniczać odkształcenia, przedmiot spawany należy umieścić w sztywnym mocowaniu. Bardzo istotne jest również stosowanie podkładek zapobiegających przepaleniu, wykonanych przeważnie ze stali lub miedzi (zob. rys. 3-3).

Jeżeli zastosowana zostanie podkładka stalowa, stanie się ona częścią gotowego złącza. Aby uniknąć zniekształcania krawędzi i zwijania się blach, pomocne może być stosowanie w pewnych odstępach spoin szczepnych. Również zastosowanie niewielkiej szczeliny pomiędzy płytami (mniejszej niż średnica elektrody) może być korzystne dla kontroli wtopienia i nadlewu spoiny.

Jeśli podkładka stalowa nie może być użyta, należy zastosować podkładkę miedzianą. Podkładka miedziana może być płaskownikiem, płaskownikiem z małym rowkiem lub dużym rowkiem wypełnionym czystym topnikiem. Grań spoiny osiągnie optymalny kształt przy zastosowaniu podkładki z rowkiem wypełnionym topnikiem.

W przypadku używania płaskownika miedzianego z topnikiem, należy uważać, aby topnik nie dostał się pomiędzy płaską część płaskownika miedzianego i spawaną blachę. Ponieważ przez płaskownik zwykle przepływa prąd, jego powierzchnia powinna być czysta. Materiał spawany powinien być solidnie przymocowany do płaskownika miedzianego, aby uniknąć wycieku stopiwa z jeziora od strony graniowej.

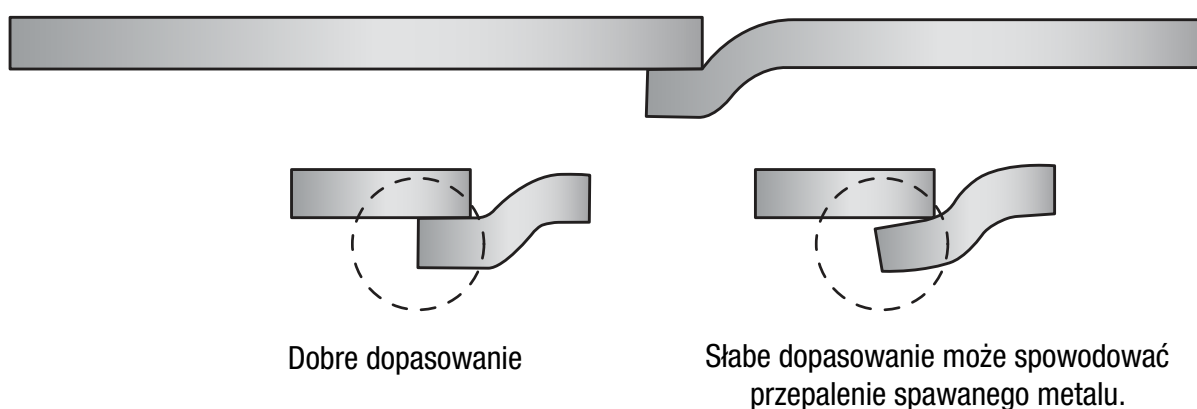


Rysunek 3-3: Podkładki zapobiegających przepaleniu

3.3 ZŁĄCZE ZAKŁADKOWE Z GARBEM

Ten sposób przygotowania do spawania jest często używany do produkcji przedmiotów cylindrycznych i jest powszechnie używany w przypadku blach. Grubość metalu jest zależna od dostępnej zdolności formowania do wytworzenia złącza zakładkowego.

Złącze zakładkowe z garbem (zob. rys. 3-4) wykorzystuje jedną krawędź blachy do utworzenia krawędzi uformowanej, która służy jako podłoże dla spoiny spawanej.



Rysunek 3-4: Na górze – typowe złącze zakładkowe z garbem.
Na dole po lewej – dobre dopasowanie. Na dole po prawej – słabe dopasowanie.

Płyty muszą być dobrze dociśnięte do siebie lub połączone za pomocą spoin szczepnych, aby uzyskać dobre dopasowanie i równomierność ściegu spoiny.

Jakość dopasowania i czystość złącza decyduje o tym, czy do pełnego przetopu potrzebna będzie jedna czy dwie warstwy.

Jeśli dopasowanie jest słabe, a w złączu jest zgorzelina lub rdza, wymagane będą dwie warstwy. Zadaniem pierwszej warstwy będzie wnikięcie aż do narożnika złącza, co może spowodować porowatość. Druga warstwa pochłonie większość pierwszej warstwy, wyeliminuje porowatość i pozostawi gładkie lico spoiny.

Jeżeli dopasowanie jest optymalne, a spawany materiał jest wolny od rdzy, zgorzeliny lub innych zanieczyszczeń, to złącze zakładkowe z garbem można spawać jednowarstwowo.

3.4 ZŁĄCZE DOCZOŁOWE

Aby uzyskać odpowiednią wytrzymałości złącza doczołowego bez rowka wymagany jest pełny przetop (przez całą grubość materiału „t”).

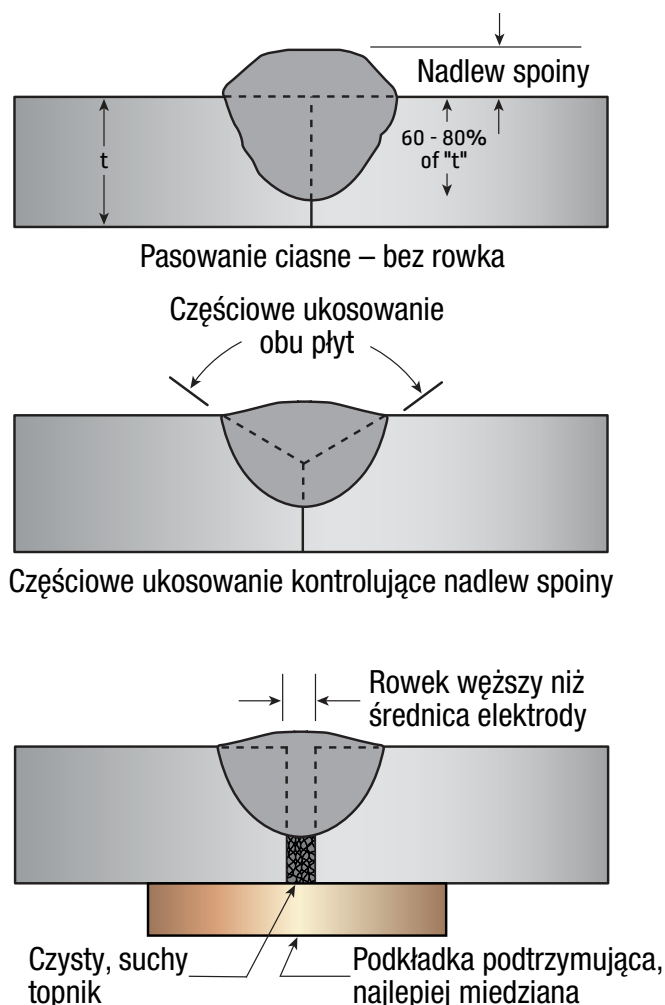
Płyty o grubości do 5/8 cala (16 mm) można szczelnie do siebie dopasować, a następnie spawać jednowarstwowo z każdej strony. Przy krawędziach prawidłowo obciętych mechanicznie lub palnikiem, można uzyskać 60% przetop przy pierwszej warstwie. Potencjalne przetopienie 75%-80% jest możliwe, jeżeli krawędzie płyty zostaną poddane obróbce mechanicznej i są ściśle do siebie dopasowane.

Gdy krawędzie są do siebie ściśle dopasowane, szczególnie w przypadku blach o grubości przekraczającej 1/2 cala (12,7 mm), istnieje ryzyko zbyt wysokiego nadlewu spoiny oraz nierównych krawędzi. Można to ograniczyć przez lekkie ukosowanie krawędzi lub dopasowanie płyt do siebie z niewielkim rowkiem. Należy zadbać o to, aby uniknąć zanieczyszczeń atmosferycznych (zob. rys. 3-5).

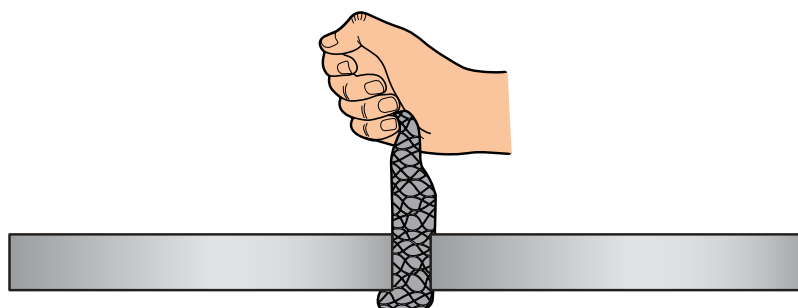
Zastosowanie rowka skutkuje większym przetopem. Z reguły, jeśli rowek jest wystarczająco szeroki, aby przesypywał się przez niego topnik (zob. rys. 3-6), należy zastosować podkładkę podtrzymującą lub wykonać spoinę uszczelniającą.

Spoinę uszczelniającą można wykonać ręcznie za pomocą elektrody otulonej, drutem MIG/MAG lub proszkowym w osłonie gazowej:

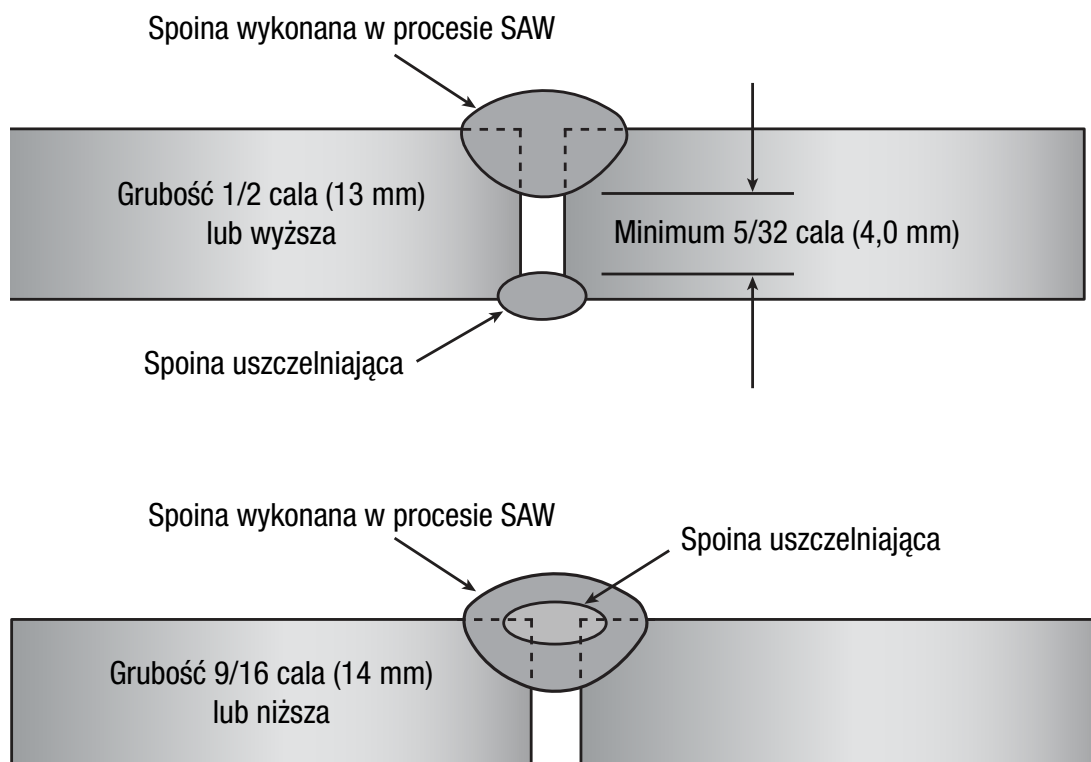
1. W przypadku grubości płyt 1/2 cala (13 mm) i wyższych spoinę uszczelniającą należy wykonać od strony grani spoiny (zob. rys. 3-7 na str. 45).
2. Przy spawaniu cieńszych płyt, spoinę uszczelniającą i/lub spoiny szcpepne należy nakładać od strony lica (zob. rys. 3-7 na str. 45).



Rysunek 3-5: Dopasowanie krawędzi



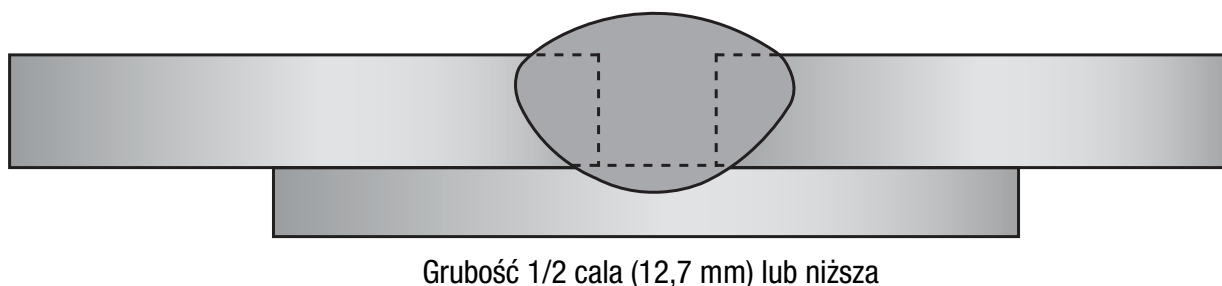
Rysunek 3-6: Wypełnianie rowka topnikiem



Rysunek 3-7: Spoina uszczelniające

OSTRZEŻENIE: Gdy istnieje możliwość uwięzienia topnika lub gazu wewnątrz spoiny, może dojść do powstania porowatości. Aby wyeliminować ten problem, konieczne jest wykonanie pełnego przetopu. Przetop można również ograniczyć, zostawiając co najmniej 5/32 cala (4,0 mm) przestrzeni między spoiną i podkładką podtrzymującą.

W przypadku stali o grubości do 1/2 cala (12,7 mm) spoiny z pełnym przetopem można wykonywać z jednej strony, stosując złącze ze szczeliną i podkładkę podtrzymującą ze stali lub miedzianą z rowkiem. Stalowa podkładka podtrzymująca może pozostać jako część złącza spawanego lub można ją usunąć w czasie obróbki mechanicznej (zob. rys. 3-8). Zastosowany tutaj proces jest analogiczny jak przy opisanym wcześniej spawaniu blach.

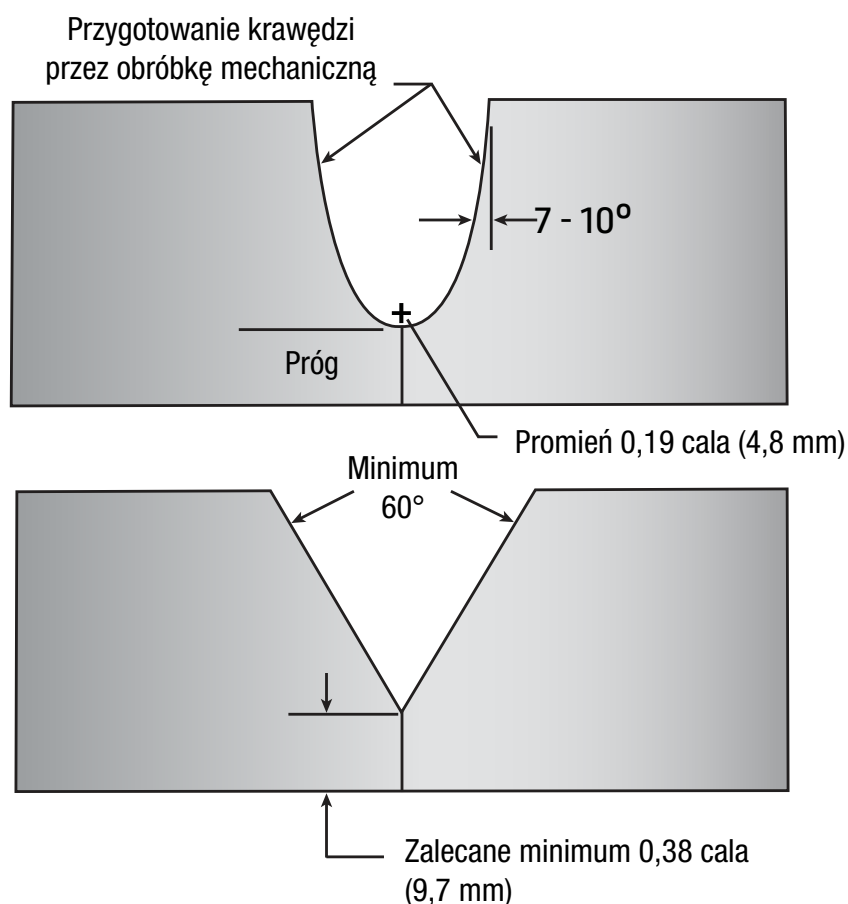


Rysunek 3-8: Podkładka podtrzymująca

3.5 WIELOWARSTWOWE SPOINY CZOŁOWE Z GŁĘBOKIM UKOSOWANIEM

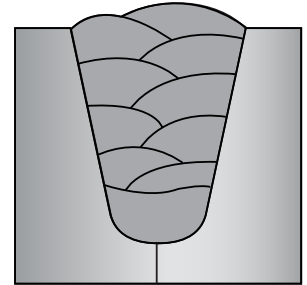
Pierwsza warstwa spoiny dla złącza z głębokim ukosowaniem wymaga również uwzględnienia przetopu i ryzyka ewentualnego przepalenia, jak w przypadku złącza doczołowego bez rowka. Powierzchnia grani złącza pełni rolę podkładki podtrzymującej. Jeśli wymagane jest stuprocentowe wtopienie, część złącza od strony grani wymaga ścisłego dopasowania, stanowiąc złącze doczołowe bez rowka. Jeżeli nie jest stosowana podkładka podtrzymująca zwykle takie złącza są przygotowywane z progiem (jak pokazano na rys. 3-9)

Kształt i głębokość rowka sprawia, że ilość topnika może stać się nadmiarowa. Może to mieć wpływ na kształt spoiny i utrudniać usuwanie żużla. Głębokość topnika powinna być wystarczająca, aby przykrywać łuk z widocznym niewielkim migotaniem na końcu drutu.



Rysunek 3-9: Przykłady prawidłowo przygotowanych złączy, zgodnie z AWS D1.1

Usuwanie żuźla może stać się problemem, jeśli jezioro spawalnicze stanie się zbyt szerokie i/ lub zbyt głębokie. Zbyt szerokie ściegi mogą również stać się wrażliwe na pęknięcia, jak opisano w rozdziale 7-3. Prawidłowe ułożenie ściegu i rozdzielanie warstw to najlepszy sposób na uzyskanie jednorodnych, łatwych do oczyszczenia spoin, o lepszej wytrzymałości (zob. rys. 3-10).

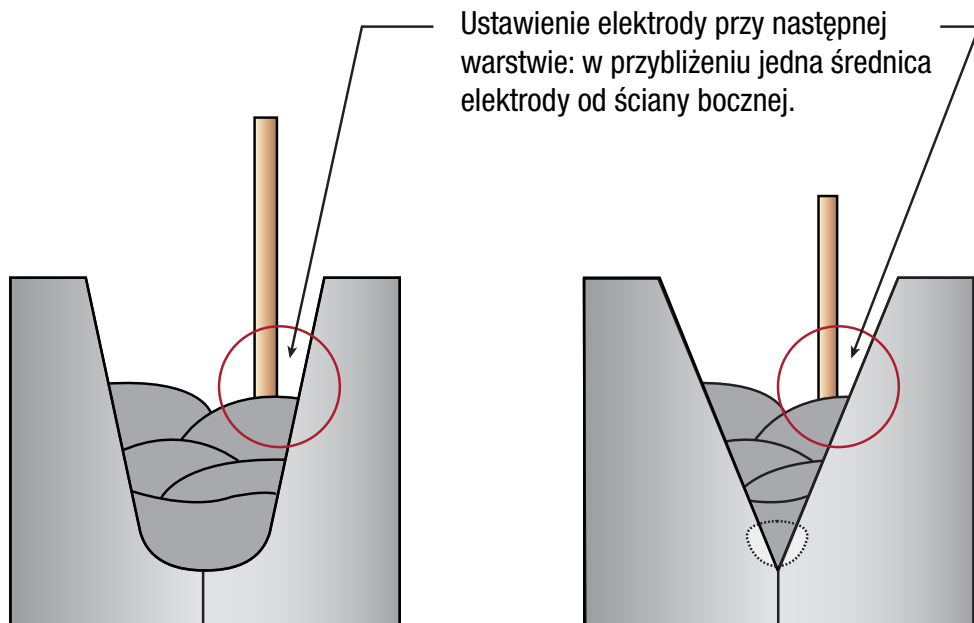


Prawidłowe układanie ściegu

Rysunek 3-10: Spoiny wielowarstwowe

Ustawienie elektrody na rysunku 3-11 jest istotne w złączach z głębokim ukosowaniem:

1. Zbyt mała odległość od ściany bocznej ukosowania powoduje podtopienie i bardzo utrudnia usuwanie żuźla.
2. Zbyt duża odległość od ściany bocznej ukosowania może spowodować powstanie bardzo wypukłego ściegu, co skutkuje wtrąceniami żuźla w spoinie.



Rysunek 3-11: Prawidłowe ustawienie elektrody przy spawaniu wielowarstwowym (ukosowanie U i V)

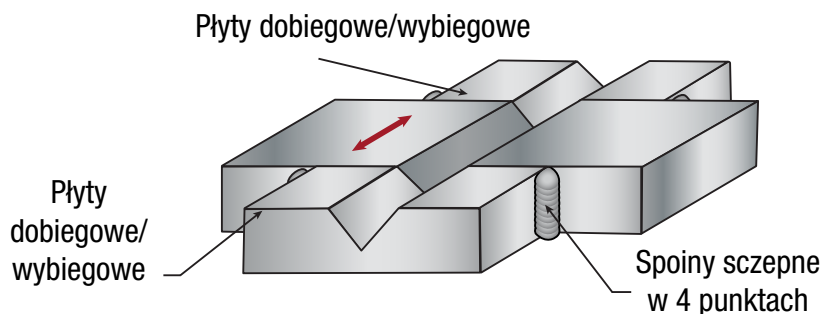
Umieszczenie w odległości około jednej średnicy elektrody od ściany bocznej sprawdza się w większości przypadków. Wykorzystując brzeg spoiny z poprzedniego ściegu jako punkt odniesienia, ustawić elektrodę w odległości jednej średnicy drutu od brzegu ściany złącza, aby zachować jednorodność układania ściegu. Należy sprawdzać odległość CTWD po każdej wykonanej warstwie, aby mieć pewność, że wymagana odległość jest cały czas zachowana.

3.6 PŁYTY DOBIEGOWE/WYBIEGOWE

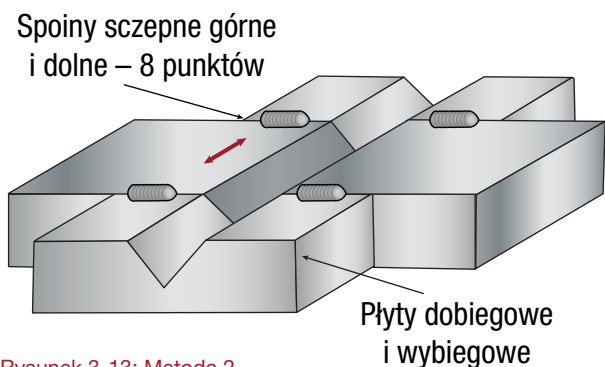
W połączeniach, w których spoina musi przebiegać do końca płyt, należy zastosować dodatkowe elementy, uniemożliwiające wyciekaniu metalu na końcu płyty. Najczęściej stosowaną metodą są płyty wybiegowe. Łuk zajarza się na płycie dobiegowej przyspawanej szepnie na początku złącza i po przejściu przez całe złącze zostaje wygaszony na płycie wybiegowej na końcu spoiny.

Płyty dobiegowe/wybiegowe są wystarczająco duże, aby cały ścieg na materiale spawanym został prawidłowo uformowany. Płyty wybiegowe muszą być wystarczająco szerokie, aby podtrzymywać topnik i zamknięte od spodu, aby zapobiegać przepaleniu. Płyty wybiegowe powinny być adekwatne do szerokości rowka. Po wykonaniu spoiny są one usuwane.

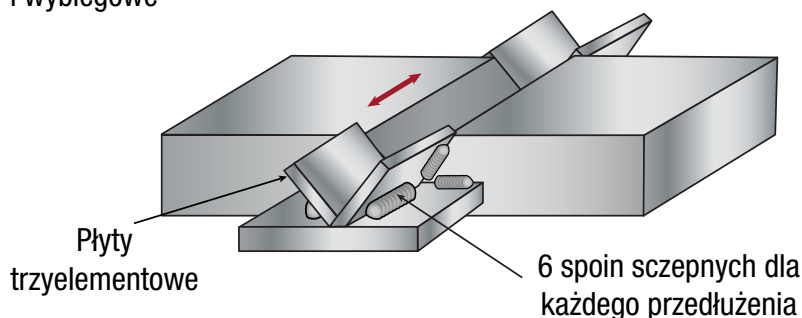
Jest ważne, aby płyta dobiegowa/wybiegowa naśladowała możliwie jak najściślej geometrię złącza. Trzy dopuszczalne metody łączenia płyt dobiegowych/wybiegowych przedstawiono na rys. 3-12, 3-13 i 3-14.



Rysunek 3-12: Metoda 1: Płyty wybiegowe powinny być dopasowane do kształtu złącza i mieć podobną grubość, jak materiał spawany.



Rysunek 3-13: Metoda 2



Rysunek 3-14: Metoda 3

3.7 SPOINY PACHWINOWE

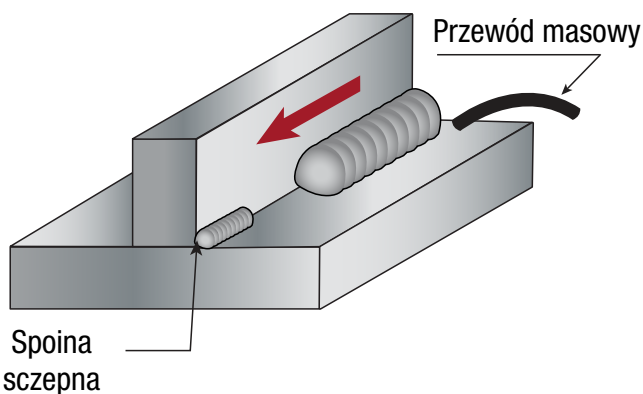
Na co zwrócić uwagę przy wykonywaniu spoin pachwinowych:

1. Ryzyko uginania łuku.
2. Rozmiar i kształt spoiny oraz głębokość wtopienia.

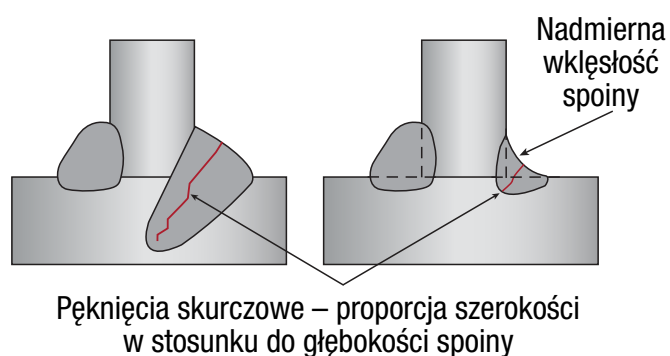
Ryzyko uginania łuku

Podczas spawania spoin pachwinowych prądem DC, może wystąpić zjawisko uginania się łuku, przy czym najczęściej dzieje się to przy polaryzacji DCEN. Staranne uziemienie i spawanie w kierunku od zacisku masowego pozwala na ograniczenie ryzyka. Ugięcie łuku może skutkować niewłaściwym kształtem spoiny, podtopieniem i silną porowatością. Pomocne może być również wykonanie dużej spoiny szczepnej na końcu złącza (zob. rys. 3-15). O ile jest to możliwe, zastosowanie spawania prądem AC może wyeliminować ten problem.

Rysunek 3-16 przedstawia dwa pęknięcia wzdłuż linii środkowej, powstające podczas krzepnięcia. Pierwsze jest wynikiem nadmiernego wtopienia, drugie natomiast spowodowane jest nadmierną wklęsłością spoiny. Oba przypadki są przykładem pęknięcia skurczowego, powstałego na skutek złej proporcji szerokości (W) w stosunku do głębokości (D) spoiny. Inne rodzaje pęknięć i nieciągłości opisano w rozdziale 7.



Rysunek 3-15: Pozycja spoiny szczepnej



Rysunek 3-16: Pęknięcia skurczowe

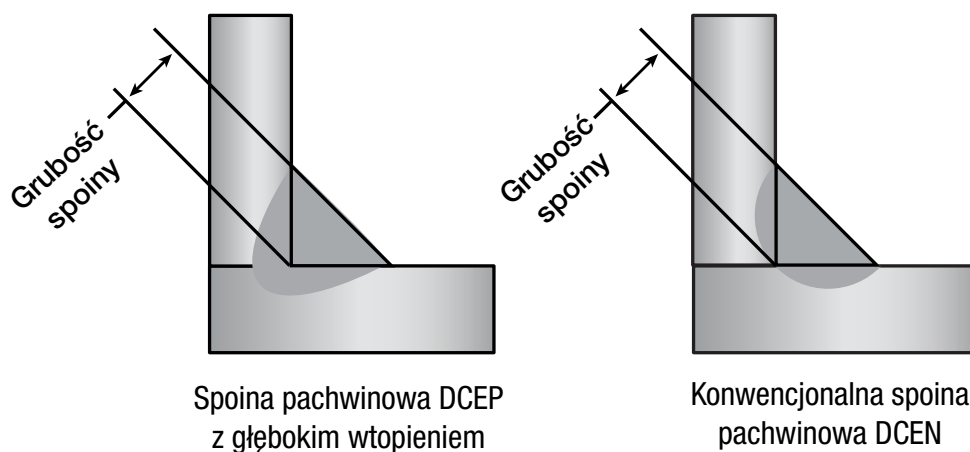
Kształt spoiny i głębokość wtopienia

Kompletna spoina pachwinowa jest połączeniem stopionych materiałów spoiwa i materiału rodzimego. Rozmiar spoiny pachwinowej jest zwykle określany przez widoczną część spoiny. Głównymi cechami spoiny pachwinowej są: szerokość, grubość, wypukłość i głębokość wtopienia.

3.8 GŁĘBOKOŚĆ WTOPIENIA SPOIN PACHWINOWYCH: DCEP W PORÓWNANIU Z DCEN

Wymagając mniejszej ilości stopiwa i być może większych prędkości spawania, spoiny pachwinowe DCEP o głębokim wtopieniu mogą ograniczyć koszty spawania w porównaniu z konwencjonalnymi spoinami pachwinowymi DCEN. Wytrzymałość danej spoiny pachwinowej jest zależna od efektywnej grubości spoiny.

UWAGA: Wykonanie spoiny pachwinowej z głębokim wtopieniem może być niezgodne z niektórymi normami.



Rysunek 3-17: Spoiny pachwinowe o zbliżonej wytrzymałości

3.9 SPOINY PACHWINOWE WYKONANE W POZYCJI NABOCZNEJ

Maksymalna grubość jednowarstwowej spoiny pachwinowej, wykonanej w pozycji nabocznej wynosi ok. 5/16 cala (7,8 mm). Próba wykonania grubszej spoiny pachwinowej zwykle skutkuje niewłaściwym kształtem spoiny, podobnym do przedstawionego poniżej (zob. rys. 3-18). Aby dowiedzieć się więcej o podtopieniach, nawisach i innych niezgodnościach spawalniczych, zob. rozdział 7.

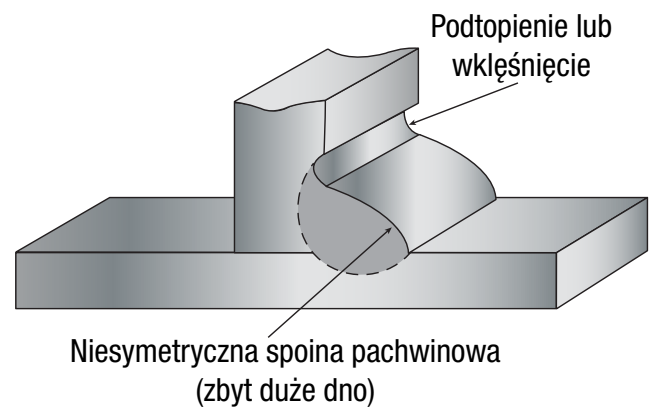
Duże spoiny pachwinowe można wykonywać wielowarstwowo. Spoina pachwinowa 3/8 cala (10 mm) jest zwykle wykonywana dwuwarstwowo, a spoina 1/2 cala (12,5 mm) jest wykonywana w sześciu przejściach (zob. rys. 3-19).

UWAGA: W wielu niezależnych normach spawalniczych, spoina o grubości 5/16 cala (7,8 mm) jest definiowana jako maksymalna, dopuszczalna spoina wykonana jednowarstwowo w pozycji nabocznej za pomocą pojedynczej elektrody. Dotyczy to również norm AWS. Nie ma ograniczenia co do grubości spoin wykonywanych w pozycji podolnej.

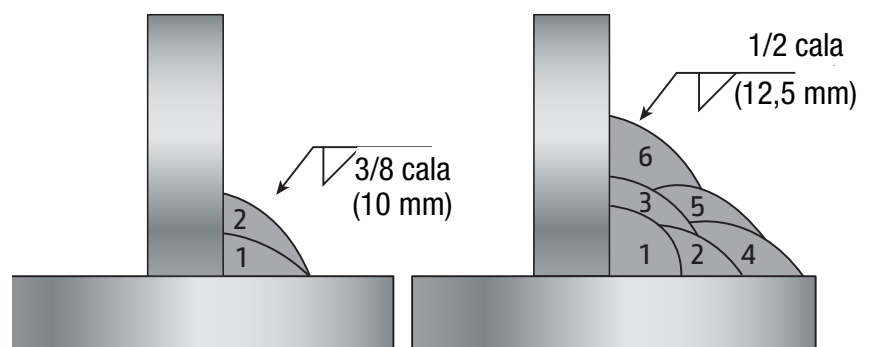
Konfiguracja: automatyczne spawanie spoin pachwinowych w pozycji nabocznej

Typową konfigurację dla spoin jednowarstwowych pokazano na rys. 3-20 na str. 52.

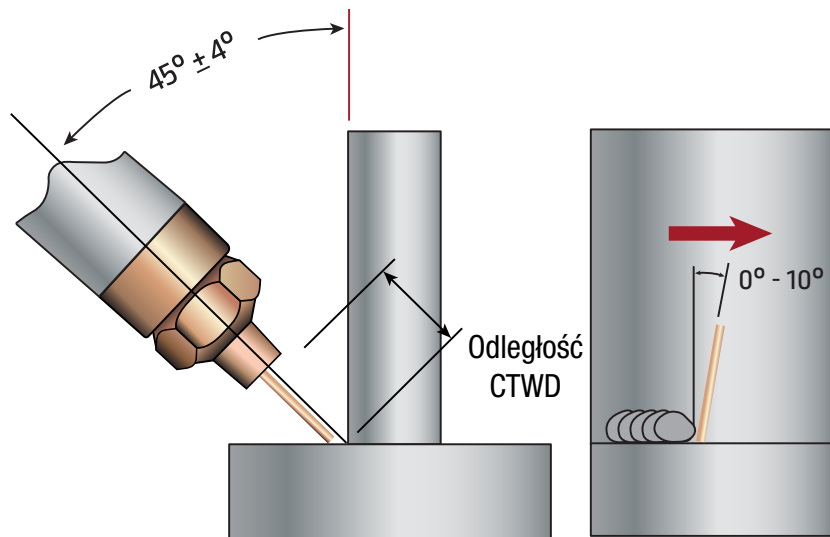
Odległość końcówki prądowej od elementu spawanego (CTWD) zależy jest od średnicy drutu i zadanej wielkości spoiny. Z praktyki wynika, że właściwa odległość CTWD dla większości spoin jest iloczynem średnicy drutu i cyfry 8. Na przykład drut o średnicy 5/32 cala (4,0 mm) należy zwykle ustawić na odległość 5/4 cala (32 mm). Niewielki kąt prowadzenia uchwytu ruchem ciągnącym (zob. rys. 3-21 na str. 52) może być pomocny przy większych spoinach.



Rysunek 3-18: Spoina pachwinowa 1

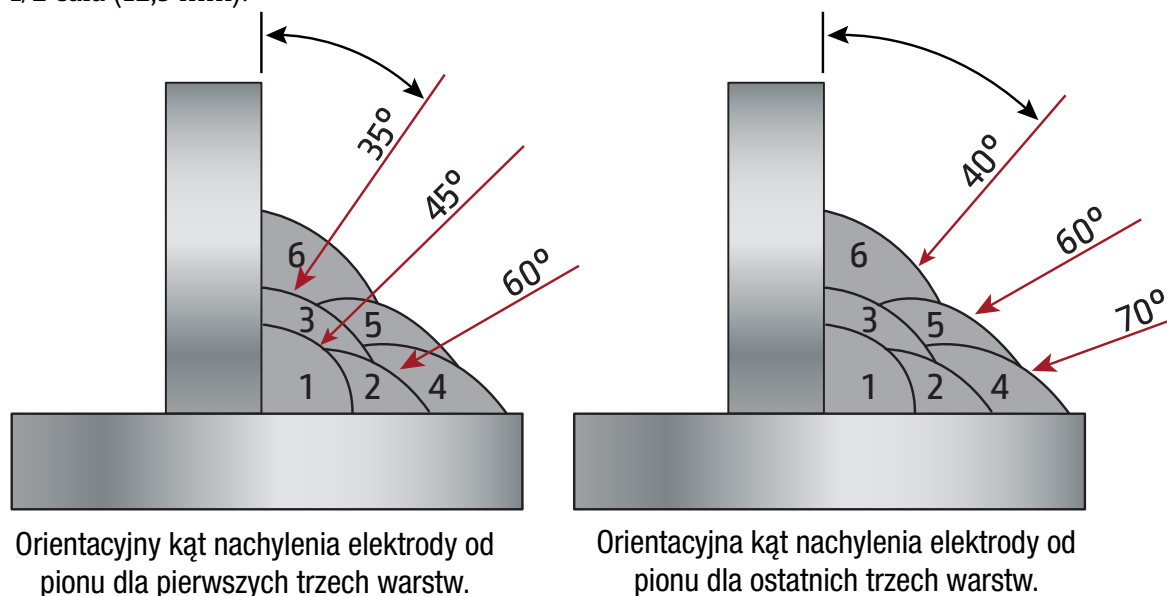


Rysunek 3-19: Spoina pachwinowa 2



Rysunek 3-20: Ustawienie elektrody – jednowarstwowa spoina pachwinowa w pozycji nabocznej

Wielowarstwowe spoiny pachwinowe wymagają modyfikacji pozycji elektrody przy spawaniu każdej warstwy (zob. rys. 3-21). Na rzeczywiste ustawienie elektrody ma wpływ średnica drutu i kombinacja drutu i topnika. W przypadku większych spoin wielowarstwowych, niezużyty topnik może być użyty do utworzenia bariery na niższych warstwach, podtrzymującej bieżącą warstwę. Czwarta warstwa powinna ustalać odpowiednią wielkość podpory spoiny, 1/2 cala (12,5 mm).



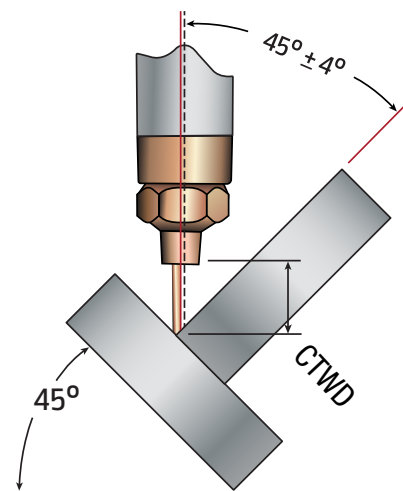
Orientacyjny kąt nachylenia elektrody od pionu dla pierwszych trzech warstw.

Orientacyjny kąt nachylenia elektrody od pionu dla ostatnich trzech warstw.

Rysunek 3-21: Ustawienie elektrody – wielowarstwowa spoina pachwinowa w pozycji nabocznej

3.10 SPOINY PACHWINOWE W POZYCJI PODOLNEJ

Wytyczne, odnoszące się do spoin pachwinowych wykonywanych w pozycji nabocznej, dotyczą także spoin pachwinowych wykonywanych w pozycji podolnej, z tą różnicą, że spoinę 1/2 cala (12,5 mm) można wykonać jednowarstwowo, jednym drutem. Należy stosować niewielki kąt prowadzenia uchwytu ruchem ciągnącym. Przy spawaniu dużych spoin pomocne może być obrócenie złącza o 2-3° w górę. Zapobiega to nadpływowi żużla przed łuk spawalniczy. Odległość CTWD musi zostać zachowana przez cały czas kładzenia warstwy (zob. rys. 3-22).



3.11 URZĄDZENIA DO SPAWANIA SPOIN PACHWINOWYCH I ZŁĄCZY ZAKŁADKOWYCH

W przypadku spawania automatycznego, pomocne może się okazać zastosowanie uchwytu z zakrzywioną szyjką. Ten typ dyszy zalecany jest do utrzymania zasobnika topnika w pozycji niemal pionowej. Ponieważ zasobnik topnika jest zamontowany na płycie czołowej rolki napędowej, zastosowanie standardowych dysz prostych wymaga obrócenia płyty czołowej rolki napędowej o odpowiedni kąt. W ten sposób zasobnika topnika zostanie również obrócony. Zasobnik nie powinien być obracany o więcej niż 40° od pionu, w przeciwnym razie podawanie topnika może być nierównomierne.

Do złączy zakładkowych z ustawieniem kąta elektrody od 0° do 30° od pionu należy używać prostych zespołów dyszy uchwytu.

Zamontowanie dźwigni regulacji topnika na zasobniku bardzo ułatwia regulację ilości topnika dostarczanego do spawanego złącza (zob. rys. 2-5 na str. 19).

3.12 ZŁĄCZA ZAKŁADKOWE

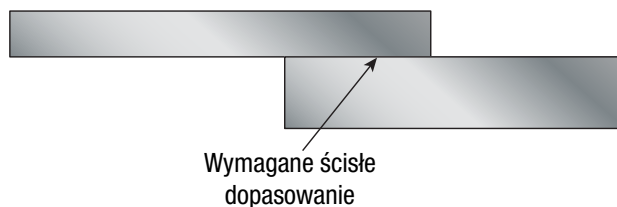
Dwa główne wymagania dla złączy zakładkowych, niezależnie od grubości spawanego materiału:

1. Pasowanie płyt musi być szczelne. Ewentualne szczeliny w pasowaniu spowodują powstanie spoiny o niedostatecznej grubości w przypadku grubych płyt górnych i postrzępioną lub „podtopioną” górną krawędź cieńszych płyt.
2. Przylegające powierzchnie powinny być wolne od wszelkich powłok, zwłaszcza organicznych, a także od grubej zgorzeli walcowniczej i rdzy.

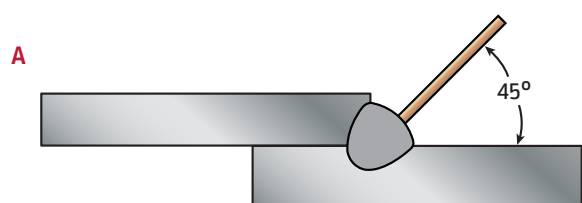
Rysunek 3-22: Ustawienie elektrody – jednowarstwowa spoina pachwinowa w pozycji podolnej



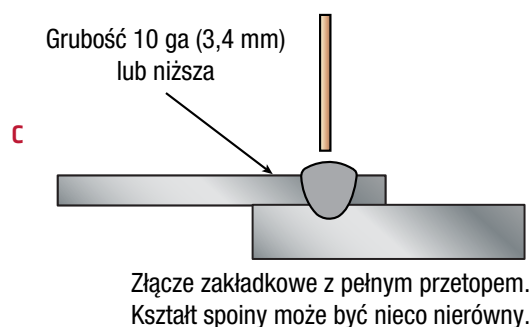
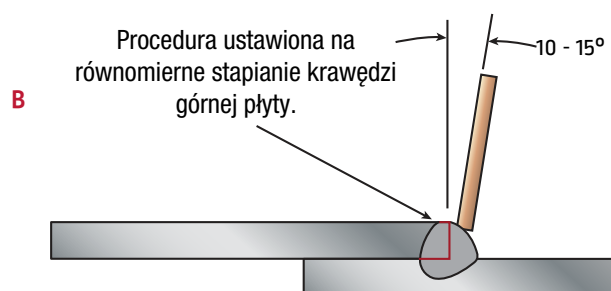
Rysunek 3-23: Zakrzywiona szyjka uchwytu SAW



Rysunek 3-24: Dopasowanie złącza zakładkowego



Typowe złącze zakładkowe (spoina podobna do spoiny pachwinowej). Dla grubszych płyt krawędź górnej płyty na ogół nie zostaje przetopiona.



Rysunek 3-25: Trzy rodzaje spoin w złączach zakładkowych

Na rys. 3-24 i 3-25 przedstawiono pasowanie i typy spoin złącza zakładkowego.

Czasami wymagany rozmiar spoiny jest tak dobrany, że jest ona nieco mniejszy, niż grubość górnej płyty. Może to sprawić, że krawędź górnej płyty będzie wyglądać na postrzępioną i/lub „podtopioną”. Procedura może być ustawiona tak, aby tylko równomiernie stapała górny narożnik krawędzi (zob. rys. 3-25 B). Należy pamiętać o sprawdzeniu określonych wymagań normy, obowiązującej dla danego zastosowania.

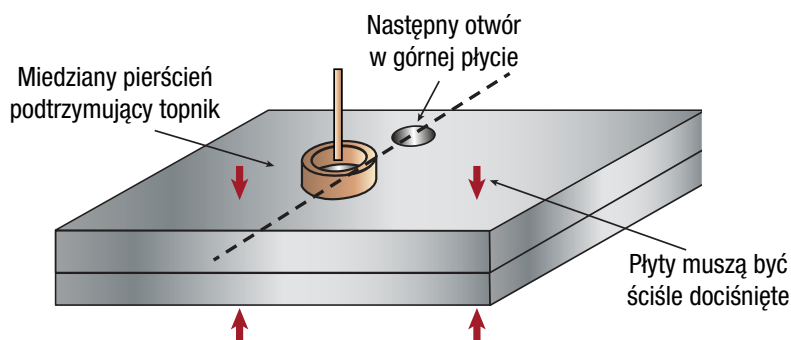
3.13 SPOINY OTWOROWE

Wykonanie spoiny otworowej w zasadzie nie wymaga prowadzenia łuku. Zależnie od grubości spawanych płyt, maksymalna średnica otworu do wypełnienia spoiną wynosi 3/4 cala (19 mm). Największa grubość płyty, którą można zespawać to 1/2 cala (12,5 mm). W przypadku grubszych płyt zmiany w odległości CTWD mogą powodować niepożądane zmiany napięcia i natężenia prądu.

Zaleca się stosowanie w pełni zautomatyzowanych urządzeń w celu wykorzystania wstępnie ustawionego zajarzenia łuku, przebiegu łuku i wypełnienia krateru. Spoiny te są zazwyczaj wykonywane w odpowiednim czasie, aby zapewnić właściwe wypełnienie, w tym krateru. Korzystanie z wykresów prędkości podawania drutu/prądu spawania jest pomocne w ustaleniu właściwej procedury.

Chociaż spoiny otworowe można wykonywać półautomatycznie, zachowanie ich jednorodności i powtarzalności wymaga sporych umiejętności ze strony spawacza.

Miedziany pierścień stosowany do podtrzymania topnika powinien być na tyle wysoki, aby zapewnić odpowiednią głębokość topnika. Średnica pierścienia powinna być wystarczająco duża, aby umożliwić jednolite rozprowadzanie topnika w otworze. Przykład miedzianego pierścienia podtrzymującego przedstawiono na rysunku 3-26.



Rysunek 3-26: Spoina otworowa

4.1 OPIS I WYZWANIA

Spoina obwodowa to specyficzny rodzaj spoiny wytwarzanej po obwodzie obracanego, cylindrycznego przedmiotu spawanego. Spoiny obwodowe są najczęściej wykonywane przy produkcji rur i zbiorników. Spoiny obwodowe (lub okrągłe) różnią się od spoin czołowych i pachwinowych trzema głównymi aspektami:

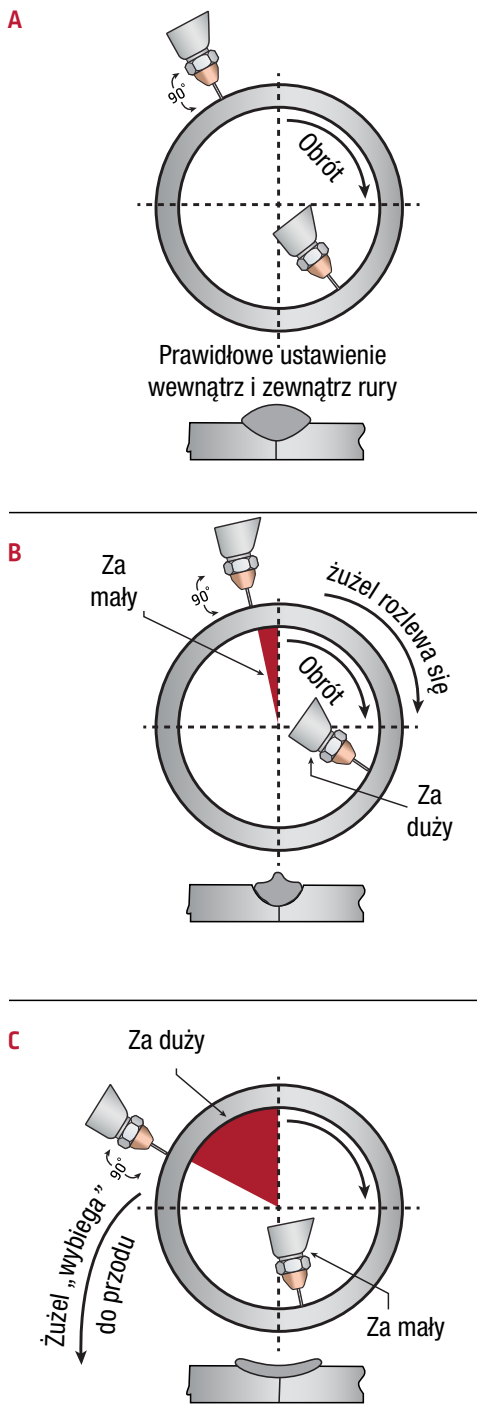
1. Stopiony topnik i metal spoiny mają tendencję do rozlewania się. Im mniejsza jest średnica spawanego elementu, tym większa jest tendencja do rozlewania się.
2. Łatwość usuwania żużła, kluczowa dla:
 - zapewnienia dobrego połączenia na początku i na końcu spoin jednowarstwowych.
 - ułatwienia ciągłego spawania bez przerwy między warstwami spoin wielowarstwowych.
3. Uzyskanie właściwego kształtu spoiny wymaga kontroli stopionego żużła i/lub metalu spoiny, aby uniknąć nawisu lub wylewania się z jeziora spawalniczego.

Główne czynniki, które pozwolą wyeliminować powyższe problemy:

- » Położenie elektrody na obwodzie z dala od górnego lub dolnego martwego punktu.
- » Ścisła kontrola procedury spawania.
- » Podtrzymywanie topnika, szczególnie na przedmiotach o niewielkiej średnicy.
- » Stosowanie topnika, który tworzy szybko krzepnący żużel.
- » Utrzymanie prawidłowej pozycji i kąta elektrody względem spoiny. Dla uzyskania dobrego kształtu spoiny pożądanym jest kąt 90° lub niewielki kąt prowadzenia ruchem ciągnącym.
- » Utrzymanie prawidłowej odległości CTWD.



Rysunek 4-1: Rury spawane spiralnie



Rysunek 4-2: Wpływ ustawienia elektrody na kształt spoiny

4.2 USTAWIENIE ELEKTRODY NA OBWODZIE

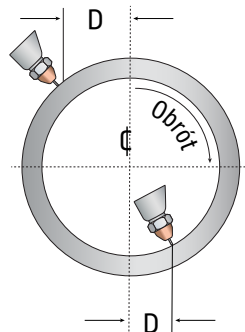
Rysunek 4-2 (A) przedstawia prawidłową pozycję elektrody na obwodzie obracanego przedmiotu spawanego, skutkującą poprawnie wykonaną spoiną.

Rysunek 4-2 (B) pokazuje niepożądany rezultat spawania, będący skutkiem zastosowania zbyt małego kąta elektrody na obwodzie zewnętrznym, lub zbyt dużego kąta na obwodzie wewnętrznym, nawet przy zastosowaniu właściwych parametrów spawania.

Rysunek 4-2 (C) pokazuje niepożądany rezultat spawania w przypadku zastosowania zbyt dużego kąta elektrody na obwodzie zewnętrznym, lub zbyt małego kąta na obwodzie wewnętrznym.

Rys 4-3 przedstawia odległość (D) ustawienia elektrody względem pionowej osi cylindra. Należy pamiętać, że wymiar ten jest mierzony od osi do końcówki elektrody, ustawionej na właściwą odległość CTWD.

UWAGA: Na wszystkich rysunkach kierunek obrotu spawanego przedmiotu jest zgodny z ruchem wskazówek zegara. Jeśli kierunek obrotów jest przeciwny do ruchu wskazówek zegara, pomiar będzie zachodził w przeciwnym kierunku.



Prędkość spawania ma wpływ na zalecane ustawienie elektrody. Na przykład wzrost prędkości spawania może wymagać zwiększenia przesunięcia elektrody względem osi.

Średnica cylindra	Zakres przesunięcia elektrody (wymiar D)
cale (mm)	w calach (mm) od osi pionowej
1–3 [25–76]	3/8 – 3/4 [9,5–19,1]
3–18 [76–457]	3/4 – 1 [9,5–19,1]
18–36 [457–914]	1-1/4 – 1-1/2 [31,7–38,1]
36–42 [914–1067]	1-1/2 – 1-3/4 [38,1–44,4]
42–48 [1067–1219]	1-3/4 – 2 [50,8–63,5]
48–72 [1219–1829]	2 – 2-1/2 [50,8–63,5]
ponad 72 [1829]	3 [76,2]

Rysunek 4-3: Zalecane przesunięcie elektrody

4.3 WPŁYW ZMIENNYCH PROCEDURY SPAWANIA

Niezależnie od pozycji elektrody na przedmiocie spawanym, zbyt duże jezioro spawalnicze będzie miało tendencję do rozlewania się, gdy czas potrzebny na krzepnięcie będzie niewystarczający. Czynniki mające bezpośredni wpływ na wielkość jeziora spawalniczego:

1. Prąd spawania
2. Prędkość spawania
3. Średnica elektrody
4. Napięcie łuku (ilość żużla jest proporcjonalna do napięcia)

Wydajność stapiania i prędkość spawania są szczególnie ważne w sterowaniu wielkością spoiny i jej kształtem. Dla danej procedury spawania, zmniejszenie natężenia prądu (wydajności stapiania) i/lub zwiększenie prędkości spawania zmniejsza objętość materiału spoiwa w złączu. Dobrym punktem wyjścia, zwłaszcza dla spawania przedmiotów o mniejszej średnicy, jest stosowanie wydajności stapiania wyrażonej w funtach/godz., która jest liczbowo taka sama lub mniejsza jak średnica spawanego przedmiotu, wyrażona w calach. Ta praktyczna reguła nie dotyczy wartości wyrażonych w jednostkach metrycznych. Na przykład przy spawaniu rury o średnicy 14 cali, punktem wyjścia jest wydajność stapiania 14 funtów/godz. i prędkość spawania 14 cali na minutę.

4.4 OBWODOWE SPOINY PACHWINOWE W ZŁĄCZACH ZAKŁADKOWYCH

Podczas wykonywania obwodowych spoin pachwinowych, trzeba uwzględnić dwie główne kwestie:

1. Ustalić punkt spoiny na obwodzie, tak jakby to była spoina czołowa.
2. Ustawić elektrodę w tym punkcie tak, jakby miała być wykonywana spoina pachwinowa w pozycji nabocznej.

4.5 PODAWANIE TOPNIKA

Topnik powinien być podawany tuż przed elektrodą i łukiem lub wokół elektrody. Należy zwracać uwagę na podawanie topnika w równomierny i spójny sposób. Istnieją dwa przyrządy, których można użyć do podawania topnika (zob. rys. 4-4).



Rysunek 4-4: Przedstawia metody podawania topnika; Z lewej zespół dyszy kontaktowej Lincoln Electric, który podaje topnik wokół elektrody; Z prawej strony zespół dyszy kontaktowej Lincoln Electric, który podaje topnik przed łukiem;

Ilość topnika powinna być wystarczająca, aby przykryć łuk z widocznym jedynie niewielkimi migotaniem łuku na końcu i wzdłuż elektrody.

Posługując się zespołem przewodnika drutu, można kontrolować ilość topnika, przesuwając korpus koncentratora topnika w górę lub w dół. W przypadku zespołu dyszy kontaktowej zaleca się, aby zasobnik topnika miał zainstalowaną przesuwную regulację podawania topnika.

Aby zapobiec rozsypywaniu się topnika niezależnie od zespołu dyszy należy zastosować przyrząd podtrzymujący topnik.

Przyrząd musi być izolowany elektrycznie i wyposażony w elastyczną wyściółkę z tkaniny, np. z wysokotemperaturowego włókna szklanego, która ma kontakt z powierzchnią przedmiotu spawanego

(typowy przyrząd przedstawiono na rys. 4-5). Regulacja przepływu i kierunku topnika jest bardzo ważna dla kontroli jeziora spawalniczego. Jeśli topnik rozsypuje się w sposób niekontrolowany, metal spoiny nie będzie się zestawiał w żądanym miejscu, nie będzie osłonięty i będzie narażony na zanieczyszczenie atmosferyczne.

Przyrząd podtrzymujący topnik

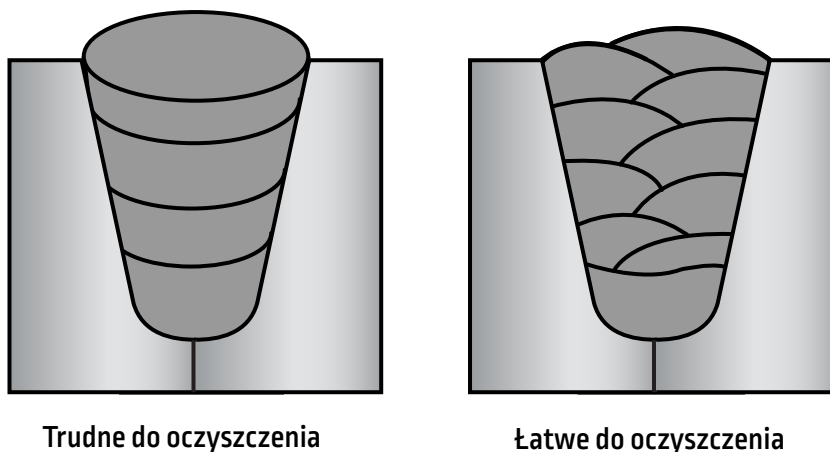


Rysunek 4-5: Przyrząd podtrzymujący topnik

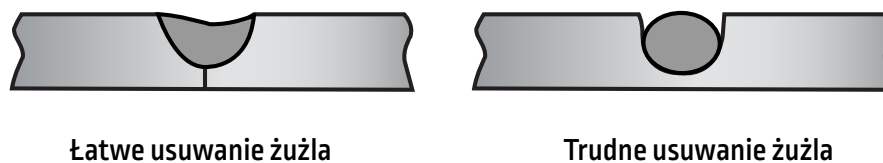
4.6 USUWANIE ŻUŻLA

Usuwanie żużla jest szczególnie ważne w przypadku spoin obwodowych, gdyż ma zapewnić prawidłowe połączenie kolejnych warstw spoiny. Czynniki wpływające na usuwanie żużla to:

1. Dobór topnika
2. Procedura (szczególnie napięcie łuku)
3. Temperatura (bliskość szwu spoiny)
4. Kształt i położenie ściegu
 - **UWAGA:** Warstwy przesunięte względem siebie zwykle umożliwiają lepsze usuwanie żużla, niż warstwy nakładane jedna na drugiej (zob. rys. 4-6).
 - Aby zapewnić dobre usuwanie żużla na cieńszych materiałach, wymagających tylko dwóch lub trzech warstw spoiny, przedostatnia warstwa powinna układać się jak na rys. 4-7 (z lewej strony).

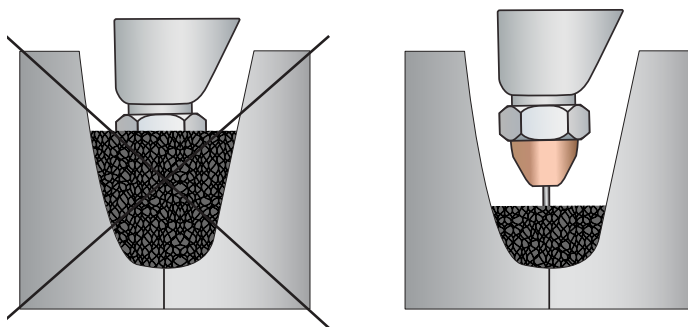


Rysunek 4-6: Wpływ kształtu ściegu na usuwanie żużla



Rysunek 4-7: Kształt spoiny przed wykonaniem ostatniej warstwy

Głęboka warstwa pokrycia topnikiem powodować trudniejsze usuwania żużla. Może również skutkować złym położeniem ściegu, a także zakleszczeniem żużla w narożnikach warstwy spoiny. Głębokość warstwy topnika powinna być wystarczająca, aby przykrywać łuk z widocznym jedynie niewielkim migotaniem. Nadmierna głębokość topnika może powodować zmniejszenie trwałości końcówki prądowej i w niektórych przypadkach, uszkodzenia samej dyszy (zob. rys. 4-8).



Rysunek 4-8: Głębokość warstwy topnika

4.7 ZBIERANIE I RECYKLING TOPNIKA

Spoiny obwodowe mogą mieć postać długich, ciągłych spoin, wymagających dużych ilości topnika. Zalecane jest stosowanie systemu odzysku topnika, który po oczyszczeniu z cząstek żużlu będzie można ponownie użyć. W przypadku niektórych spoin można do tego celu zastosować odpowiednio skonfigurowany system odciążu topnika. Jeśli jest to niewykonalne, można użyć osłoniętego naczynia, które przechwyci zarówno żużel, jak i niestopiony topnik. Przed ponownym użyciem zebrany w ten sposób topnik należy przepuścić przez przesiewacz i separator magnetyczny. Topnik, który spadł na podłogę lub utknął w oprzyrządowaniu mocującym nie nadaje się do ponownego użycia. Jeżeli odzyskany topnik ma być przechowywany przed ponownym użyciem, należy z nim postępować tak, jak opisano w rozdziale 8: *Przechowywanie, ponowne suszenie i recykling topnika do spawania łukiem krytym*.

4.8 UKŁAD UZIEMIENIA W SPAWANIU ŁUKIEM KRYTYM

Uziemienie ramy oprzyrządowania mocującego w celu zamknięcia obwodu spawania jest bardzo złą praktyką i należy tego unikać. Uziemienie przez część stacjonarną oprzyrządowania mocującego powoduje, że prąd spawania musi przepływać przez łożyska. Może to prowadzić do nierównomiernego uziemienia, a także skrócenia trwałości łożysk. Jeżeli przedmiot spawany jest przymocowany do obracającego się wału, można stosować miedziane lub miedziano-grafitowe elementy ślizgowe. W punkcie podłączenia wał musi być wolny od rdzy oleju i farby. Najlepszymi uziemieniami mogą być dostępne na rynku obrotowe układy masowe o odpowiedniej wartości znamionowej prądu lub system uziemienia szczotkowego (zob. rys. 4-9).



Rysunek 4-9: Szczotki uziemiające przymocowane do wspornika.

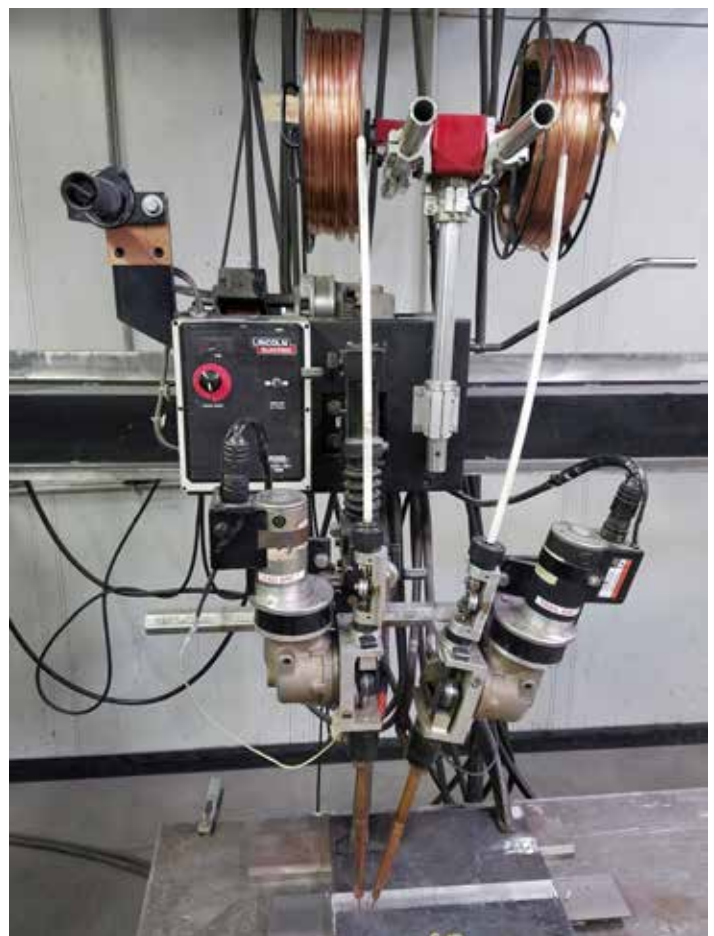
Notatki

5.1 WSTĘP

Rozdział jest poświęcony spawaniu dwoma drutami elektrodowymi w systemie tandem. Istnieje wiele zastosowań wykorzystujących trzy, cztery lub większą liczbę drutów elektrodowych, tworzących jedno jezioro spawalnicze, ale wykraczają one poza zakres tego dokumentu. Jeżeli potrzebują Państwo więcej informacji o spawaniu wieloma drutami, prosimy o kontakt z lokalnym przedstawicielem firmy Lincoln Electric. Typową konfigurację spawania łukowego w systemie tandem

przedstawiono na rys. 5-1. Obejmuje ona dwa źródła prądowe, dwa podajniki drutu, dwie szpule drutu, dwa zespoły dyszy kontaktowej i dwa łuki, połączone z jednym jeziorkiem spawalniczym. Ponieważ łączny prąd dwóch elektrod jest większy niż jednej, otwiera to nowe możliwości dla wielu zastosowań, które do tej pory wykorzystywały automaty spawalnicze z jedną elektrodą.

Wyższy prąd dwóch elektrod zwiększa wydajność stapienia i prędkość spawania, zmniejsza zniekształcenia wynikające ze zwiększonej prędkości i obniża koszty spawania.



Rysunek 5-1: Konfiguracja stanowiska tandem

5.2 ZALETY SYSTEMU TANDEM

1. Spawanie łukowe w systemie tandem umożliwia od 25% do 100% wyższe wydajności stapiania i prędkości spawania niż spawanie jednym drutem i może się lepiej sprawdzić w szeregu zastosowań, takich jak:
 - spawanie wielowarstwowe
 - jednowarstwowe spoiny czołowe blach 10 mm i grubszych.
 - jednowarstwowe spoiny pachwinowe w pozycji nabocznej i złącza zakładkowe 1/4-1/2 cala (6,4–12,7 mm).
 - jednowarstwowe spoiny pachwinowe w pozycji podolnej 1/4–3/4 cala (6,4–19,1 mm).
 - spawanie obwodowe rur o dużej średnicy, min. 24 calowych (60 cm).
2. Stanowi najlepszą opcję dla spawania z podkładkami podtrzymującymi topnik.



Rysunek 5-2: Konfiguracja systemu tandem z dwiema elektrodami DC-AC

5.3 OGRANICZENIA SPAWANIA ŁUKOWEGO W SYSTEMIE TANDEM

Połączenie wysokiej prędkości spawania, większego jeziorka spawalniczego, bardziej skomplikowanej konfiguracji i wyższych kosztów urządzeń sprawia, że spawanie wieloładkowe jest niepraktyczne w następujących zastosowaniach:

- » Krótkie spoiny i spoiny obwodowe o niewielkiej średnicy.
- » Instalacje, w których wymagane są częste zmiany konfiguracji.
- » Zlecenia niskonakładowe, które nie uzasadniają kosztów urządzeń.

5.4 SPAWANIE W SYSTEMIE TANDEM DC-AC ZA POMOCĄ URZĄDZEŃ KONWENCJONALNYCH

W każdym układzie tandemowym występują dwa druty (łuki) łączące się z jednym jeziorkiem spawalniczym. Są one oznaczone jako łuk prowadzący i wleczony. Drut prowadzący służy do przetapiania spawanego materiału. Drut wleczony odpowiada za wypełnienie i zamknięcie spoiny. Ponieważ maksymalny przetop powstaje przy polaryzacji DCEP, a główną rolą łuku prowadzącego jest wykonanie przetopu, oczywistym jest więc zastosowanie polaryzacji DCEP dla łuku prowadzącego w typowej konfiguracji tandemowej. Aby uniknąć uginania łuku drut wleczony pracuje z polaryzacją AC.

Typowa konfiguracja stanowiska spawalniczego w tym procesie składa się z automatycznej głowicy NA-3 lub NA-5 i źródła prądu DC dla łuku prowadzącego oraz głowicy automatycznej NA-4 i źródła prądu AC z trybem CC dla łuku wleczzonego (zob. rys. 5-3).



Rysunek 5-3: Urządzenia spawalnicze DC-AC w systemie tandem

5.5 SPAWANIE W SYSTEMIE TANDEM PRZY ZASTOSOWANIU ŹRÓDŁA PRĄDOWEGO POWER WAVE® AC/DC 1000® SD

Źródło prądowe do spawania łukiem krytym Power Wave® AC/DC 1000® SD (rys. 5-4) znacznie uprościło proces tandemowy i zapewniło dużą elastyczność w porównaniu z wcześniejszymi systemami do spawania tandemowego. Dzięki ulepszonej technologii konfiguracji DC-AC są uproszczone, a ich efektywność – zmaksymalizowana. To samo źródło prądowe można użyć do polaryzacji DC+, DC- i różnorodnych konfiguracji AC.

Power Wave® AC/DC 1000® SD daje możliwość regulacji częstotliwości, balansu i offsetu, co pozwala znacznie ulepszyć procedurę spawania.

Główne cechy źródła Power Wave® AC/DC 1000® SD do spawania łukiem krytym, które ułatwiają wdrożenie spawania tandemowego:

- » Zasilanie trójfazowe zapewnia symetryczne obciążenie wszystkich faz.
- » Łatwa modyfikacja kąta przesunięcia fazowego przebiegu prądowego dla elektrody prowadzącej i wleczonej. Omówiono to w punkcie 5.6.
- » Ponieważ zajarzenie łuku odbywa się zawsze przy polaryzacji DCEP, problemy z zajarzeniem łuku, które niekiedy nękały wcześniejsze systemy tandemowe AC-AC, zostały zminimalizowane.
- » Wszystkie ustawienia trybów pracy są kontrolowane na panelu przednim sterownika MAXsa® 10 za pomocą przycisku lub pokrętła, nie ma więc potrzeby dokonywania skomplikowanych zmian w konfiguracji sprzętowej źródła zasilania.

Każdy operator, nieobeznany z obsługą i funkcjonalnością urządzenia Power Wave® AC/DC 1000® SD do spawania łukiem krytym powinien zapoznać się wcześniej z instrukcją obsługi.

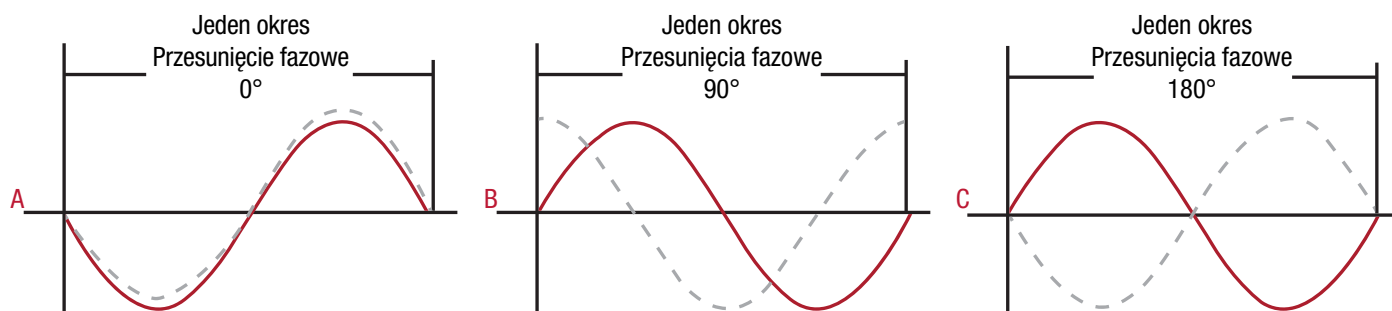


Rysunek 5-4: Power Wave® AC/DC 1000® SD

5.6 PRZESUNIĘCIE FAZOWE

Przesunięcie fazowe, występujące między dwoma niezależnymi przebiegami prądowymi AC-AC w systemie tandem ma widoczny wpływ na zachowanie się łuków i ich oddziaływanie na jeziorko spawalnicze. Wzajemne oddziaływanie łuków na siebie wpływa na ich stabilność, kształt i wielkość spoiny oraz przetop.

Przesunięcie fazowe to różnica wartości kątów fazowych dwóch przebiegów okresowych o takiej samej częstotliwości. Na przykład, każda z faz trójfazowego prądu sieciowego jest przesunięta względem drugiej o 120° . Obwody spawania AC-AC obejmują dwa oddzielne obwody jednofazowe. Chociaż każdy obwód jest niezależnie zasilany, może dochodzić do interakcji między nimi. Typowe zależności międzyfazowe, które mogą występować w obwodach spawania tandemowego są przedstawione na rys. 5-5 A, B i C. Krzywa ciągła i przerywana przedstawiają dwa niezależne łuki.



Rysunek 5-5: Przykłady przebiegu okresowego dwóch niezależnych łuków spawalniczych

Aby zrozumieć zależności między przedstawionymi obwodami spawania łukowego, należy zwrócić uwagę na następujące kwestie:

- » Wykres A: Amplituda i polaryzacja obu przebiegów jest zawsze taka sama. W tym przypadku łuki zajarzają się i gasną w tym samym momencie, a prąd łączny będzie sumą dwóch niezależnych prądów.
- » Wykres B: Gdy amplituda pierwszego przebiegu osiąga maksimum lub minimum, amplituda drugiego przebiegu ma wartość 0 i odwrotnie. Innymi słowy, zawsze aktywny jest jeden łuk. Sprzyja to w znacznym stopniu uzyskaniu stabilności łuków tandemowych. Przy zastosowaniu łuków o jednakowym balansie możliwa jest zazwyczaj najbardziej stabilna praca i w efekcie najlepszy wygląd spoiny.
- » Wykres C: Gdy amplituda pierwszego przebiegu osiąga maksimum, amplituda drugiego jest minimalna. Polaryzacja obu przebiegów jest zawsze odwrotna.

Przykład wpływu kąta przesunięcia fazowego na spoinę pachwinową, zob. rys. 5-6. Jediną różnicą w produkcji obu spoin pachwinowych 1/4 cala (6,4 mm) jest zmiana kąta przesunięcia fazowego z 90° na 180°. W przypadku spawania symetrycznym przebiegiem AC-AC, optymalny kąt wynosi 90%. Każdy inny kąt przesunięcia fazowego może spowodować niestabilność łuku.

Tabela 5-1 zawiera optymalne kąty przesunięcia fazowego dla różnych wartości balansu przebiegów prądowych.



Rysunek 5-6: Wpływ kąta fazowego na spoiny spawane łukiem elektrycznym

Table 5-1: Balans łuków w systemie tandem

Balans łuku 1	Balans łuku 2	Kąt przesunięcia fazowego między łukami
50%	50%	90
75%	75%	190
25%	25%	190
35%	35%	180
65%	65%	180

Ta tabela przedstawia ustawienia kąta fazowego podczas spawania łukiem tandemowym AC-AC z użyciem źródła prądowego Lincoln Electric Power Wave® AC/DC 1000 SD®.

5.7 PRĄD ROBOCZY

Prąd uziemienia może być dość złożonym tematem, ale znajomość kilku podstaw pomoże zrozumieć, w jaki sposób prąd uziemienia odnosi się do spawania łukiem tandemowym, zwłaszcza jeśli prąd uziemienia jest monitorowany i stosowane są wspólne przewody robocze. Jeśli wszystkie przewody robocze są spięte razem i użyty jest skalibrowany miernik zaciskowy, obserwowana wartość nie musi być arytmetyczną sumą wartości amperaży ustawionego dla każdej elektrody, ponieważ występuje interakcja pomiędzy łukami.

Rysunek 5-5 na stronie 69 przedstawia następujące zależności (zakładając, że prąd obu łuków jest taki sam):

- » Rysunek 5-5 na str. 69, A: Obie krzywe są w fazie, stąd sumaryczna wartość skuteczna prądu uziemienia będzie dwa razy większa od wartości skutecznej prądu przepływającego przez każdą elektrodę.

- » Rysunek 5-5 na stronie 69, B: Przykład przedstawia sytuację najczęściej występującą w tandemowych obwodach spawania łukowego. Wartość skuteczna prądu uziemienia jest większa od wartości skutecznej prądu każdej elektrody.
- » Rysunek 5-5 na str. 69, C: W każdym punkcie wartości obu przebiegów są jednakowe, ale posiadają przeciwną polaryzację. Sumaryczny prąd uziemienia jest więc zerowy.

5.8 INNE PARAMETRY ELEKTRYCZNE SPAWANIA TANDEMOWEGO

Spawanie łukiem tandemowym AC-AC może być podatne na niepożądaną indukcyjność i/lub zakłócenia elektryczne, szczególnie gdy przy większych częstotliwościach łuku. Odpowiednie prowadzenie przewodów prądowych, sterujących oraz detekcji napięcia łuku zminimalizuje wpływ zakłóceń elektrycznych na proces spawania.

Podstawowe zalecenia:

- » Przewody sterujące i przewody prądowe łuku prowadzącego i wlezonego powinny znajdować się w możliwie największej odległości od siebie.
- » Przewody sterujące i przewody detekcji napięcia powinny być oddalone od przewodu masowego i przewodów prądowych.
- » Nie należy prowadzić przewodów przez metalowe, magnetyczne lub przewodzące prąd rury lub ceowniki (dotyczy to również odcinków rur lub ceowników używanych w wysięgnikach manipulatorów).
- » W celu uzyskania najwyższej skuteczności, przewody detekcji napięcia powinny być przymocowane do materiału spawanego jak najdalej od zacisku masowego (jeśli spawanie przebiega w kierunku przeciwnym od zacisku masowego, przewód detekcji napięcia należy przymocować na końcu materiału spawanego).
- » Przewody detekcji napięcia nie powinny przecinać ścieżki przebiegu prądu.
- » **UWAGA:** Zob. instrukcję serwisową 2.51 (pomiar prądu i napięcia).

W większości zastosowań spawania tandemowego, optymalny odstęp między łukami wynosi 5/8–3/4 cala (15–19 mm). Kąt nachylenia elektrody wlezonej w stosunku do elektrody prowadzącej ma wpływ zarówno na ostateczny kształt spoiny, jak i na ogólną stabilność obu łuków. Należy to uwzględnić jako istotny parametr procesu. Kąt nachylenia 10°–12°, jak pokazano na rysunku 5-9 na str. 72, jest najbardziej pożądany. Niestabilność łuku i niewłaściwy kształt spoiny może być wynikiem nieoptymalnych kątów elektrod i odstępów między nimi.

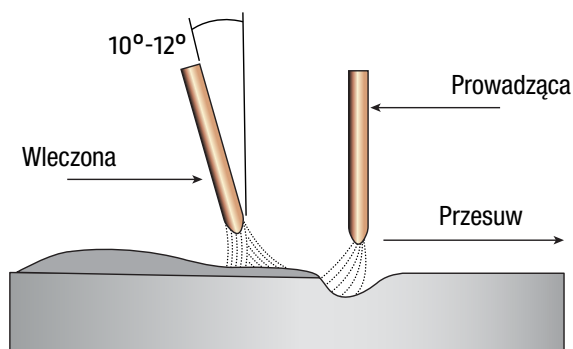
5.9 PARAMETRY MECHANICZNE TANDEMOWEGO SPAWANIA ŁUKOWEGO

Skuteczne spawanie łukiem tandemowym jest możliwe wtedy, gdy wymagane parametry elektryczne i mechaniczne są starannie ustalone i przestrzegane. Typowe wymagania mechaniczne dla wszystkich procedur spawania tandemowego są podane na kolejnych stronach.

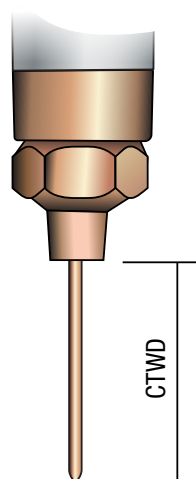
Odległość końcówki prądowej do materiału spawanego (CTWD)

Czasami błędnie określana jako wolny wylot drutu, odległość CTWD ma jedno precyzyjne znaczenie:

- » Jest to odległość od końcówki prądowej do powierzchni, na której ma być wykonywana spoina.



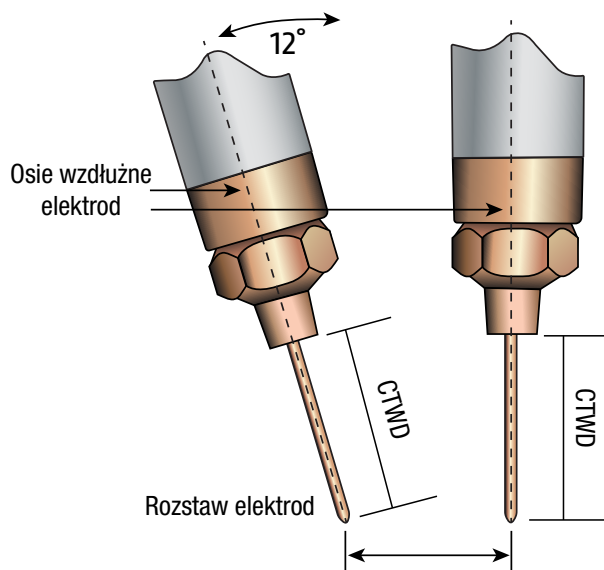
Rysunek 5-7: Typowy kąt nachylenia



Rysunek 5-8: Odległość końcówki prądowej do materiału spawanego (CTWD)

Rozstaw elektrod (rys. 5-9)

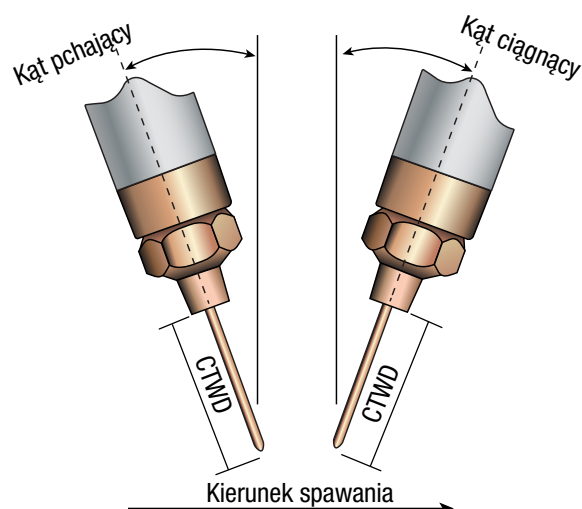
Jest to odległość pomiędzy punktami osi wzdłużnych elektrod w odległości CTWD. Dla wielu konfiguracji łuków tandemowych, najlepszy rozstaw elektrod wynosi od 5/8 do 3/4 cala (16–19 mm). Szerszy rozstaw skutkuje mniejszym przetopem i szerszym ściegiem.



Rysunek 5-9: Rozstaw elektrod

Kąty nachylenia elektrod względem kierunku spawania (rys. 5-10)

W zależności od nachylenia elektrody w kierunku zgodnym lub przeciwnym do kierunku spawania, kąty te nazywane są kątami pchającymi lub ciągnącymi. Elektroda prowadząca ma zwykle kąt ciągnący 0° – 3° , a elektroda wleczona kąt pchający 10° – 12° . Istnieją pewne wyjątki od tych wartości, np. przy spawaniu małych spoin z dużą prędkością.



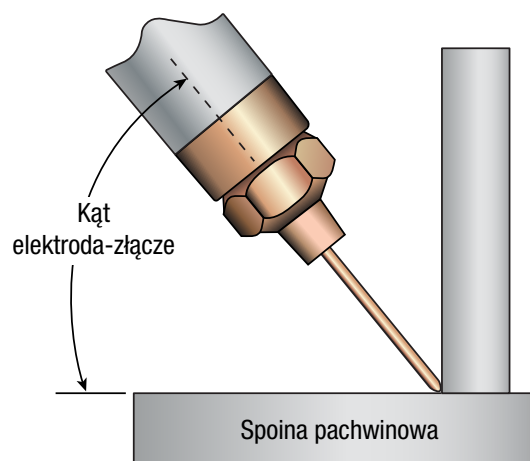
Rysunek 5-10: Kąty nachylenia elektrod względem kierunku spawania

Kąt elektroda-złącze – spoiny pachwinowe w pozycji nabocznej i złącza zakładkowe (rys. 5-11)

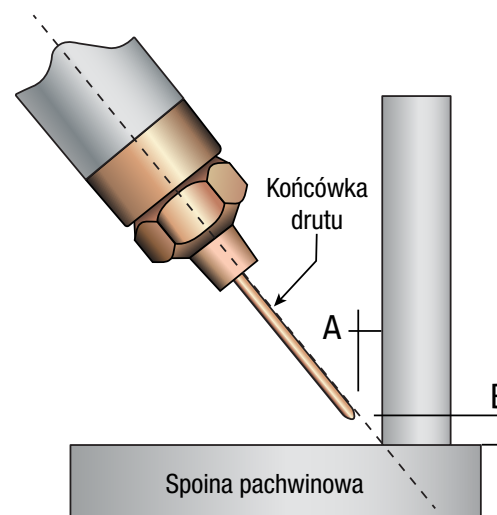
Jest to kąt między osią wzdłużną elektrody i poziomą powierzchnią złącza. Jeśli drut elektrodowy jest prawidłowo wyprostowany, kąt ten można zmierzyć do dyszy kontaktowej.

Ustawienie elektrody względem osi złącza – spoiny pachwinowe w pozycji nabocznej i złącza zakładkowe (rys. 5-12)

Podczas spawania większości spoin jednowarstwowych końcówka drutu powinna być skierowana na oś złącza. W przypadku spoin wielowarstwowych końcówka drutu może być przesunięta od osi złącza poziomo i/lub pionowo (odpowiednio odległość „A” i „B”). Bardzo duże spoiny jednowarstwowe 3/8–1/2 cala (9,5–12,7 mm) wymagają przesunięcia zarówno o wymiar „A”, jak i „B”.



Rysunek 5-11: Kąt elektroda-złącze – spoiny pachwinowe w pozycji nabocznej i złącza zakładkowe



Rysunek 5-12: Położenie elektrody względem osi złącza – spoiny pachwinowe w pozycji nabocznej i złącza zakładkowe

Położenie elektrody względem osi złącza – jednowarstwowe spoiny pachwinowe w pozycji podolnej (rys. 5-13)

Złącze spawane jest obrócone wtedy o 45° , co oznacza, że kąt między elektrodą a płaszczyzną poziomą będzie zawsze wynosił 90° . W szczególnych przypadkach, gdy pożądane są spoiny pachwinowe o nierównomiernym ściegu, kąt między elektrodą i płaszczyzną poziomą może być inny niż 90° .

Przesunięcie elektrody – duże, wielowarstwowe spoiny pachwinowe w pozycji podolnej (rys. 5-14).

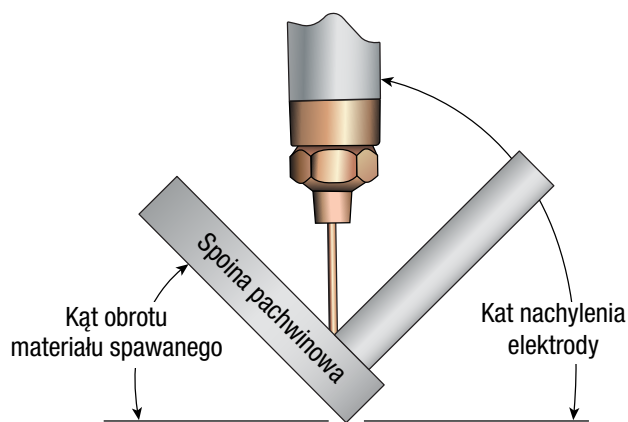
Po nałożeniu pierwszej warstwy, przy spawaniu kolejnych może być konieczne przesunięcie elektrody w stosunku do początkowego ustawienia. Wymiar przesunięcia należy wskazać jako prawo- lub lewostronny. Zależnie od rozmiaru spoiny pachwinowej może być konieczne dostosowanie kąta nachylenia elektrody, co zapewni prawidłową zwilżalność krawędzi. Dla każdej warstwy należy zachować tę samą odległość CTWD.

Położenie elektrody – spoiny czołowe (rys. 5-15)

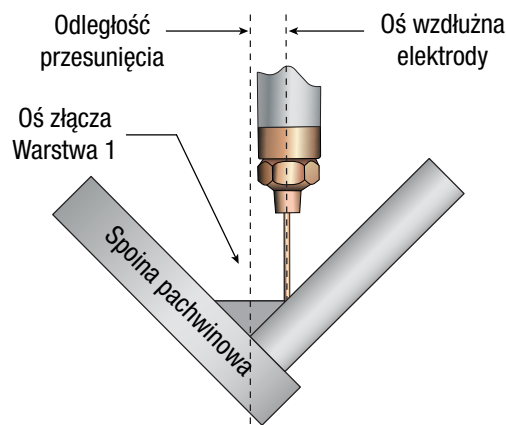
Elektroda ustawiana jest pionowo do osi złącza (złącza „C” i „D”), czyli kąt nachylenia „A” wynosi 90° . Jeśli złącze „D” wymaga nałożenia więcej niż jednej warstwy ze względu na głębokość ukosowania, należy traktować je jak złącze „B”.

Typ „B” oznacza złącze doczołowe z dowolnym, symetrycznym rowkiem. Kąt „A” wynosi 90° . Jeśli wymagane są więcej niż dwie warstwy, niezbędne będzie przesunięcie elektrody.

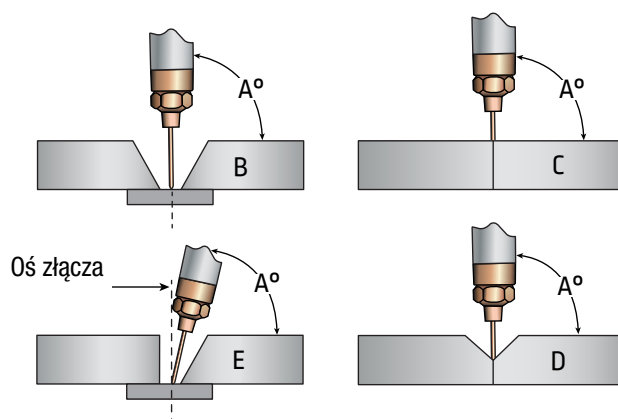
Typ „E” przedstawia złącze doczołowe z niesymetrycznym rowkiem. Złącza wielowarstwowe wymagają zastosowania przesunięcia elektrody i pewnej korekty kąta „A”.



Rysunek 5-13: Położenie elektrody względem osi złącza – jednowarstwowe spoiny pachwinowe w pozycji podolnej



Rysunek 5-14: Przesunięcie elektrody – duże, wielowarstwowe spoiny pachwinowe w pozycji podolnej



Rysunek 5-15: Położenie elektrody – spoiny czołowe

5.10 SPAWANIE SPOIN PACHWINOWYCH W POZYCJI NABOCZNEJ

Podobnie jak w przypadku procedur wymaganych do wykonania spoin pachwinowych w pozycji nabocznej pojedynczą elektrodą, konfiguracja spawania tandemowego wymaga kilku dodatkowych kroków. Na kolejnych stronach zostaną omówione dwa rodzaje spoin pachwinowych, w tym 5/16 cala (8 mm) i mniejszych, oraz 3/8–1/2 cala (9,5–12,7 mm) do spawania wielowarstwowego.

Konfiguracja spoiny pachwinowej 5/16 cala (8 mm) i mniejszej



Rysunek 5-16: Rozstaw elektrod dla spoiny pachwinowej

Na rys. 5-16 przedstawiono typowy rozstaw elektrod dla spoin pachwinowych: 5/8–3/4 cala (16–19 mm). Ten rozstaw jest dość powszechny dla większości spoin pachwinowych, z wyjątkiem dużych spoin jednowarstwowych.



Rysunek 5-17: Spoina pachwinowa – łuk prowadzący i wleczony

Rysunek 5-17 przedstawia orientację łuku prowadzącego i wleczonego względem osi złącza. Należy zauważyć, że łuk wleczony jest ustawiony pod kątem pchającym. Kąt pchający na ogół przyjmuje wartość 10°–12°.

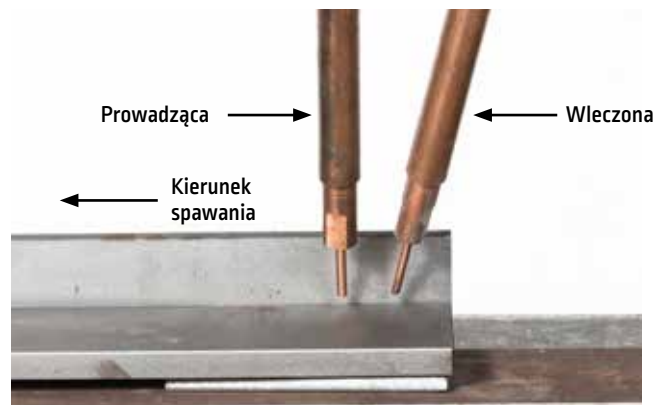
Jednowarstwowe spoiny pachwinowe 3/8–1/2 cala (9,5–12,7 mm)

Spawanie spoiny pachwinowej o takiej wielkości podczas jednego przejścia jest podobne do wykonywanie dwóch warstw jednocześnie. Pomyślne wykonanie zależy od dokładnego ustawienia parametrów mechanicznych i elektrycznych.

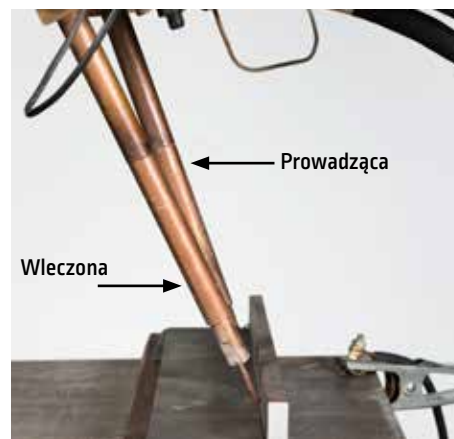
Konfiguracja przedstawiona na rys. 5-18 jest taka, jaką widzi operator podczas pracy. Stosowany jest tutaj przesuw wózka z prawej do lewej strony i choć nie jest to widoczne, oba łuki są ustawione na odległość CTWD 1-1/2 cala (38 mm). Należy zauważyć, że łuk wleczony wygląda tak, jakby był ponad dolną płytą podstawy zespołu. Położenie każdej elektrody przedstawiono na kolejnych fotografiach. Elektroda prowadząca ma zwykle średnicę 3/16 cala (4,8 mm), a elektroda wleczona – 1/8 cala (3,2 mm).

Rysunek 5-19 przedstawia widok elektrod z boku złącza. Należy zwrócić uwagę, że każda elektroda ustawiona jest pod innym kątem. Łuk prowadzący jest ustawiony tak, aby tworzyć dolną część spoiny pachwinowej, a łuk wleczony ma za zadanie dopełniać grubość spoiny i tworzył jej pionową część. W pewnym sensie powstaje wtedy spoina dwuwarstwowa. Rozstaw elektrod zapewnia, że dolna część spoiny jest wystarczająco zakrzepnięta, aby umożliwić nakładanie stopiwa przez łuk wleczony. Żużel z łuku prowadzącego jest jeszcze na tyle miękki, że nie stanowi przeszkody dla łuku wlezonego.

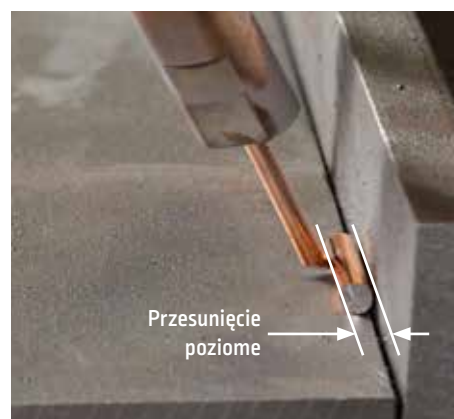
Rys 5-20 przedstawia pozycję elektrody łuku prowadzącego przy prawidłowej odległości CTWD. Jest to odległość od osi złącza do krawędzi końca elektrody najbliższej linii złącza.



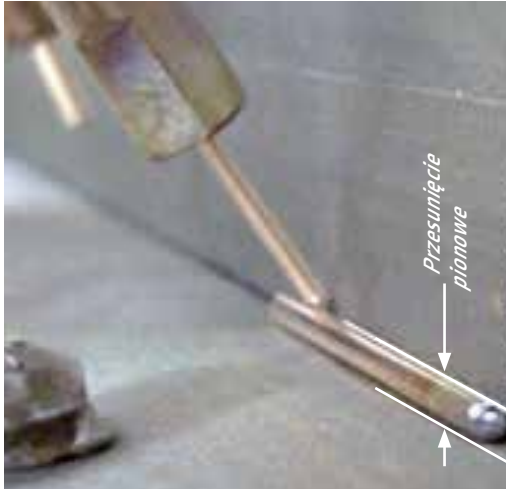
Rysunek 5-18: Konfiguracja spoiny pachwinowej – elektroda prowadząca i wleczona



Rysunek 5-19: Widok z boku złącza



Rysunek 5-20: Łuk prowadzący w prawidłowej odległości CTWD

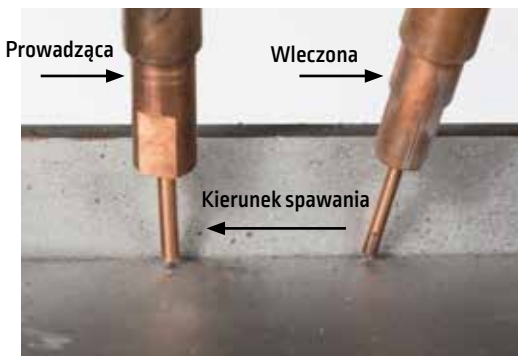


Rysunek 5-21: Położenie łuku wlezonego

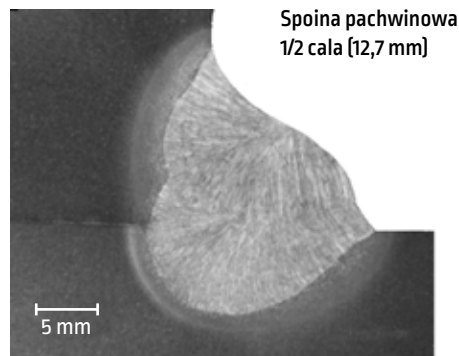
Rys. 5-21 przedstawia położenie łuku wlezonego. Należy zwrócić uwagę, że jest on ustawiony w pewnej odległości powyżej płyty poziomej. Wewnętrzna część elektrody prawie dotyka płyty pionowej.

Rys. 5-22 przedstawia oba łuki prawidłowo ustawione do wykonania spoiny pachwinowej. W tego rodzaju dużej, jednowarstwowej spoinie pachwinowej wymiary konfiguracji mechanicznej muszą być precyzyjnie ustawione, a druty elektrodowe starannie wyprostowane, aby nie występowały problemy powodowane „błądzeniem drutu”.

Prawidłowa konfiguracja i procedura spawania pozwoli uzyskać dobrą, końcową spoinę (patrz rys. 5-23).



Rysunek 5-22: Położenie łuku wlezonego



Rysunek 5-23: Makrofotografia spoiny pachwinowej 1/2 cala (12,7 mm), wykonanej systemem tandemowym

Rozdział 6

Wykonywanie spoin w procesie Tiny Twinarc

6.1 WPROWADZENIE DO PROCESU TINY TWINARC

Opracowana w połowie lat pięćdziesiątych XX konfiguracja Tiny Twinarc® to proces spawania łukiem krytym, w którym wykorzystuje się dwie elektrody o małej średnicy podawane z dużą prędkością przez jeden podajnik. Proces Tiny Twinarc, stosowany zamiast konwencjonalnej elektrody pojedynczej, oferuje znaczne oszczędności w zakresie spawania w wielu zastosowaniach. Główne zalety procesu to większa prędkość spawania i wyższe wydajności stapiania. Dwa druty, które znajdują się w niewielkiej odległości od siebie, tworzą wydłużone jeziorko spawalnicze, które poprawia właściwości nadążania i umożliwia większą prędkość spawania, zachowując jednocześnie właściwy kształt spoiny.

Modernizacja stanowiska spawania łukiem krytym z konfiguracji z jedną elektrodą do konfiguracji dwudrutowej Tiny Twinarc jest tanią opcją zwiększającą wydajność. Korzystając z tego samego źródła zasilania, podajnika i układu sterowania, oba druty są jednocześnie podawane przez zespół dyszy kontaktowej Twinarc do jednego jeziorka spawalniczego (zob. rys. 6-1).



Rysunek 6-1: Konfiguracja Tiny Twinarc

6.2 KORZYŚCI

Przejsie na Tiny Twinarc zwiększa prędkość spawania, zapewnia porównywalną lub lepszą jakość spoiny (w zależności od zastosowania) i wymaga minimalnych nakładów finansowych.

Zalety Tiny Twinarc wobec procesu z jednym łukiem:

1. Umożliwia wysokie wydajności stapiania, potencjalnie wyższe nawet o 40%.
2. Wzrost prędkości spawania o 25% w przypadku materiałów o niewielkiej grubości i 50-75% w przypadku grubszych materiałów.
3. Zużycie energii na jednostkę masy metalu spoiny jest niższe.
4. Zniekształcenia są zmniejszone o 5-10%.
5. Niższa jest też energia liniowa.
6. Minimalny przetop jest możliwy w przypadku cienkich materiałów lub małych spoin.

UWAGA: Proces Tiny Twinarc charakteryzuje się niską energią liniową na jednostkę masy stapianego metalu, co jest pomocne w kontrolowaniu odkształceń. Staje się to szczególnie istotne w przypadku spawania wysokowytrzymałych gatunków stali, gdzie oddziaływanie na strefę wpływu ciepła jest krytyczne.

6.3 ZASTOSOWANIA

Proces Tiny Twinarc ma zastosowanie w produkcji prefabrykowanych budynków, maszyn do robót ziemnych, koparek, betoniarek, wagonów kolejowych, cystern i zbiorników, elementów konstrukcji cienkościennych i wielu innych produktów, wykonanych z materiałów o grubości od 14 ga (1,9 mm) po bardzo grube płyty.

System ten jest wszechstronny i stosowany w:

1. cienkich złączach spawanych dużymi prędkościami
2. grubych złączach spawanych dużymi wydajnościami stapiania
3. dużych spoinach obwodowych
4. spoinach pachwinowych
5. złączach zakładkowych
6. spoinach czołowych
7. napawaniu

6.4 WYDAJNOŚĆ STAPIANIA

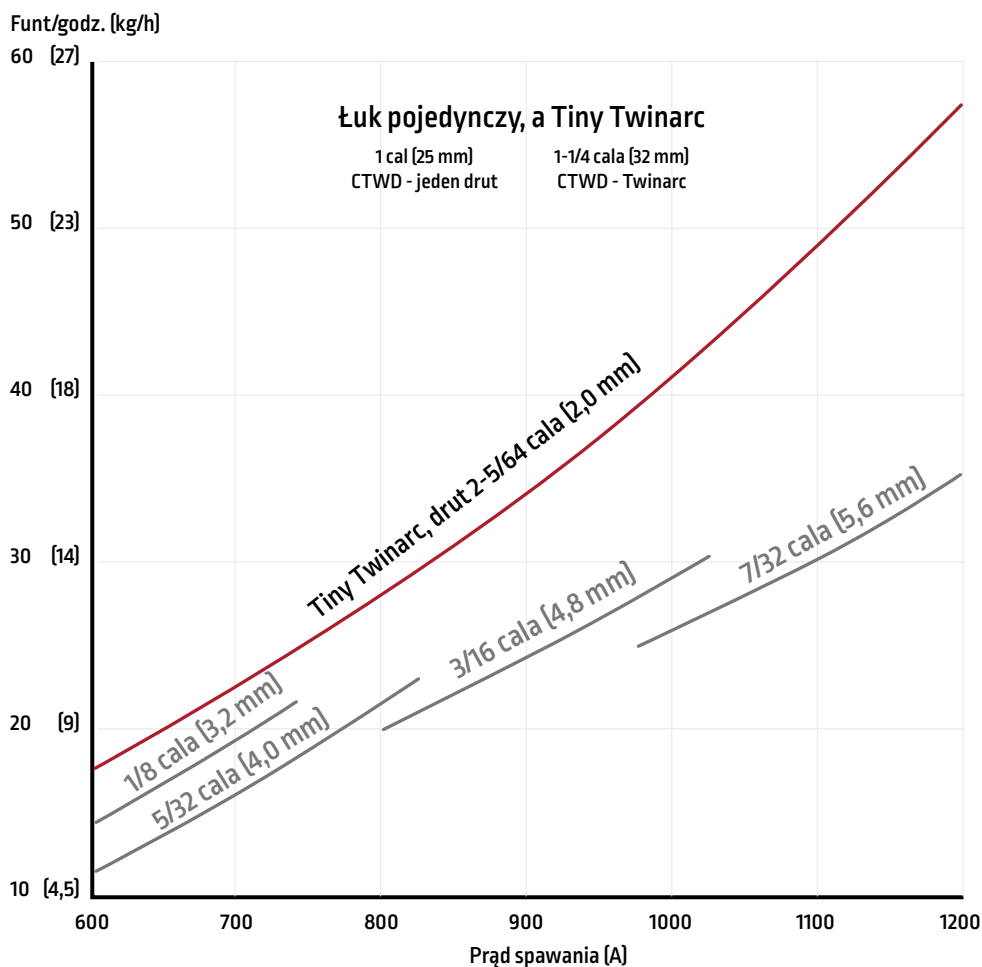
Zwiększenie prądu spawania

W przypadku procesu jednołukowego, zwiększenie prądu spawania może skutkować niewłaściwym kształtem spoiny, podtopieniem i/lub nadmiernym przetopem. W proces Tiny Twinarc prąd spawania jest rozdzielony na dwa druty, co pozwala uzyskać akceptowalny kształt spoiny przy dużym natężeniu prądu spawania. (zob. rys. 6-2).

Nagrzewanie oporowe

Innym czynnikiem przyczyniającym się do wyższej wydajności stapiania w procesie Tiny Twinarc jest efekt nagrzewania oporowego drutów o mniejszej średnicy przez wyższą gęstość prądu.

Wydajność stapiania (DCEP)



Rysunek 6-2: Wydajność stapiania dla spawania jednym drutem i Tiny Twinarc

6.5 PRĘDKOŚĆ SPAWANIA

Sposobem na zwiększenie prędkości spawania podczas spawania jednym drutem jest wzrost prądu spawania, jednak może to powodować problemy związane z kształtem spoiny, podtopieniem lub przepalaniem.

W procesie Tiny Twinarc, wyższa wydajność stapiania skutkuje zwiększeniem prędkości spawania, przy jednoczesnym zachowaniu pożądanego kształtu i geometrii spoiny, przetopu i innych parametrów spawania.

Na wydajności stapiania i prędkości spawania ma wpływ odległość CTWD. Przy wyższych prędkościach spawania, gdy wymagany jest bardziej zwarty, węższy łuk, należy zastosować mniejszą odległość CTWD. Aby zmaksymalizować wydajność stapiania należy zastosować większą odległość CTWD, wspomagając nagrzewania oporowe drutu.

6.6 SPOINY PACHWINOWE

Spoiny pachwinowe w pozycji nabocznej

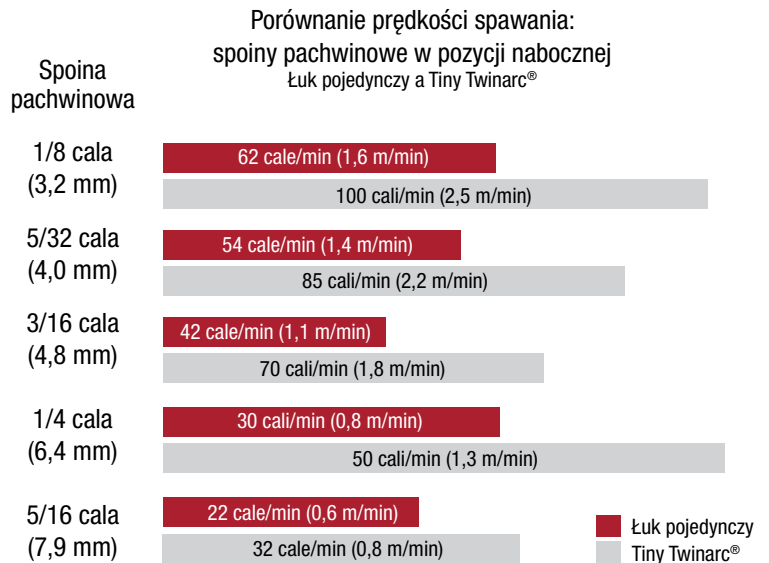
Podczas spawania w pozycji nabocznej spoin pachwinowych od 1/8 cala (3,2 mm) do 5/16 cala (7,9 mm) proces Tiny Twinarc zapewnia wzrost prędkości spawania do 68% (zob. rysunki 6-3 i 6-4).

Spoiny pachwinowe w pozycji podolnej

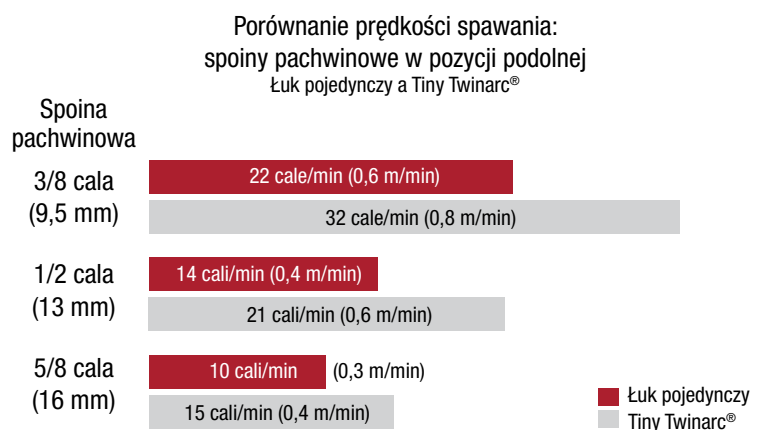
Proces Tiny Twinarc gwarantuje wzrost prędkości spawania o 50%, w porównaniu ze spawaniem jednym drutem (zob. rys. 6-5).



Rysunek 6-4: Spoina pachwinowa wykonana w pozycji nabocznej za pomocą Tiny Twinarc



Rysunek 6-3: Porównanie prędkości spawania: spoiny pachwinowe w pozycji nabocznej



Rysunek 6-5: Porównanie prędkości spawania: spoiny pachwinowe w pozycji podolnej

6.7 ZŁĄCZA ZAKŁADKOWE

Prędkość spawania niedużych spoin w procesie Tiny Twinarc jest większa o 43%–70% w porównaniu do spawania jednym drutem (zob. rys. 6-6.)

6.8 ZŁĄCZA DOCZOŁOWE

Proces Tiny Twinarc szczególnie jest polecany do spawania spoin czołowych na kotłach i zbiornikach o dużych grubościach ścianek. Spoiny czołowe można wykonywać w pozycji podolnej i naściennej. Możliwy jest wzrost prędkości o ponad 30% (zob. rys. 6-7.)

6.9 ZALECENIA DOTYCZĄCE PROCEDURY

Aby uzyskać maksymalny przetop, należy obrócić i zablokować zespół końcówki prądowej zgodnie z kierunkiem spawania. Aby zminimalizować przetop i zwiększyć szerokość ściegu spoiny, należy obrócić i zablokować zespół końcówki prądowej prostopadle do złącza spawanego.

Dobór topnika i drutu elektrodowego

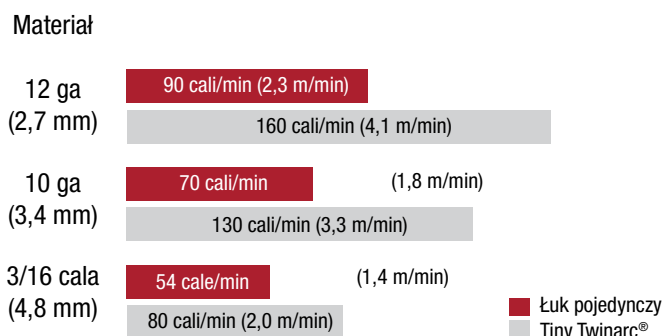
Drut i topnik dla procesu Tiny Twinarc należy dobrać analogicznie jak do spawania jednym drutem. Zalecenia doboru drutu i topnika znajdują się w biuletynie C1.10. Skonsultuj się z przedstawicielem firmy Lincoln Electric, aby uzyskać informacje o zalecanych procedurach spawania.

Polaryzacja

DCEP jest zalecana:

1. aby uzyskać najlepszą udarność
2. aby uzyskać najgłębsze wtopienie
3. aby uzyskać najwyższą jakość, potwierdzoną badaniami radiograficznymi
4. do spawania cienkich materiałów z dużą prędkością spawania
5. aby zwiększyć odporność na ugięcie łuku

Porównanie prędkości spawania: cienkie złącza zakładkowe
Łuk pojedynczy a Tiny Twinarc®



Rysunek 6-6: Porównanie prędkości spawania: cienkie złącza zakładkowe

Porównanie prędkości spawania: złącza doczołowe z ukosowaniem



Łuk pojedynczy a Tiny Twinarc®



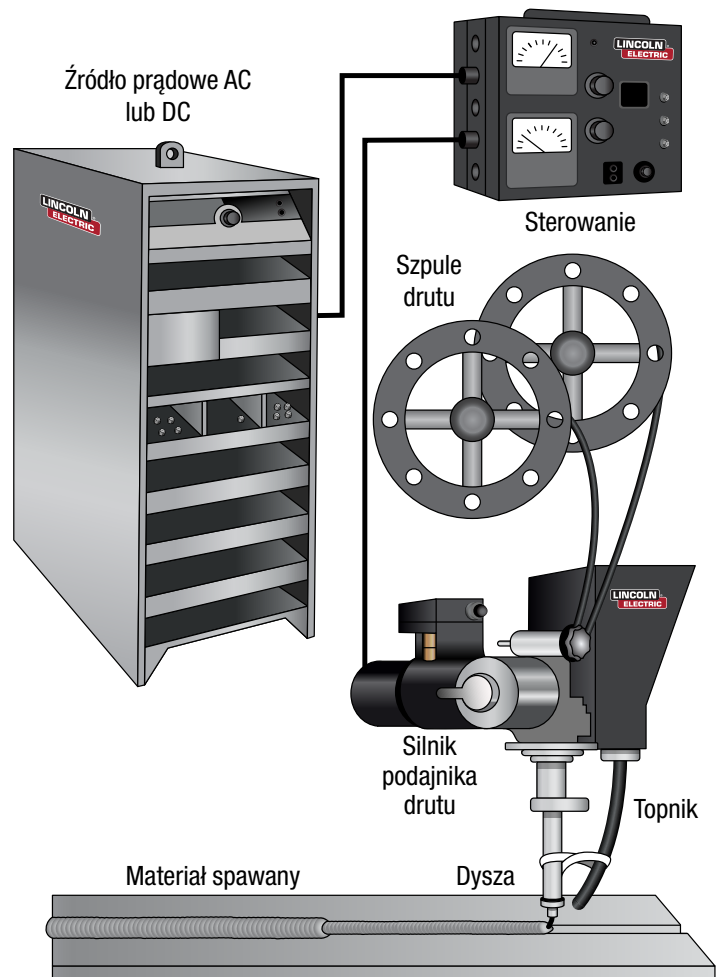
Rysunek 6-7: Porównanie prędkości spawania: złącza doczołowe z ukosowaniem

DCEN jest zalecana:

1. aby uzyskać kształt spoiny mniej podatny na pęknięcie – lepszy stosunek głębokości do szerokości spoiny.
2. do ograniczenia ryzyka pęknięć w sytuacji, gdy pierwiastki stopowe w materiale rodzimym przyczyniają się do pęknięcia metalu spoiny.
3. aby uzyskać wyższą wydajność stapiania.
4. do spawania dwustronnego dwoma łukami, gdzie wymagany jest minimalny przetop i maksymalne stapianie.
5. do wykonania typowych spoin pachwinowych (1/4 cala (6,4) lub większych), gdzie przetop nie jest krytyczny.

Prąd przemienny (AC) jest zalecany:

1. do uzyskania równowagi między głębokością przetopu i wydajnością stapiania.
2. do maksymalizacji prędkości spawania z zachowaniem dobrego przetopu grani i ścian bocznych.
3. aby zapewnić najwyższą odporność na ugięcie łuku.



Rysunek 6-8: Schemat stanowiska Tiny Twinarc

Średnica drutu

Średnica drutu elektrodowego dla procesu Lincoln Electric Tiny Twinarc jest kompromisem pomiędzy wydajnością stapiania, kształtem spoiny, ryzykiem migotania łuku przez topnik, głębokością wtopienia, itp.

Dostępne rozmiary średnic to:

- » 0,045 cala (1,1 mm)
- » 0,052 cala (1,3 mm)
- » 1/16 cala (1,6 mm)
- » 5/64 cala (2,0 mm)
- » 3/32 cala (2,4 mm)
- » 1/8 cala (3,2 mm)

Źródła prądowe z charakterystyką CV i CC

Źródło prądowe z charakterystyką CV jest preferowane:

1. w zastosowaniach o wysokich prędkościach.
2. do spawania w pozycji nabocznej spoin pachwinowych 3/16 cala (4,8 mm) i mniejszych
3. do spawania w pozycji podolnej spoin pachwinowych 5/16 cala (7,9 mm) i mniejszych

Źródło prądowe z charakterystyką CC jest preferowane:

1. do zastosowań o wysokiej wydajności stapiania.
2. do maksymalnego przetopu.

6.10 ZALECENIA DOTYCZĄCE URZĄDZEŃ SPAWALNICZYCH

Do nowych instalacji zalecane są poniższe urządzenia:

1. Źródło prądowe CV lub CC o odpowiednich wartościach znamionowych.
2. Podajnik drutu z odpowiednią przekładnią, wynoszącą 95:1 dla prędkości 10–300 cali/min (0,4–7,6 m/min) lub 57:1 dla prędkości 40–500 cali/min (1,3–12,7 m/min).
3. Dwie szpule drutu, beczki itp.
4. Dwie końcówki prądowe o prawidłowej średnicy.
5. Zespół dyszy Lincoln Electric Tiny Twinarc (odpowiedni do średnicy drutu i prądu spawania).
6. Układ prostowania drutu.

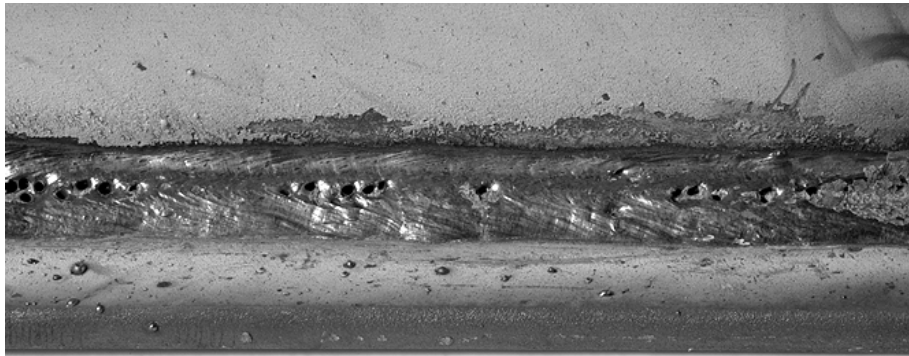


Rysunek 6-9: Dysza kontaktowa Lincoln Electric Tiny Twinarc może podawać dwie elektrody do szybkiego wykonywania spoin łukiem krytym w płytach od 14 ga (1,89 mm) i grubszych.



Rysunek 6-10: Układ prostowania drutu Lincoln Electric Tiny Twinarc przeznaczony jest do drutów o średnicy 0,045–3/32 cala (1,2 do 2,4 mm). Jest szczególnie przydatny w procedurach z większą odległością CTWD.

Niezgodnością spawalniczą określa się nieciągłość w strukturze spoiny lub odchylenie od wymaganej geometrii. Nie wszystkie niezgodności są wadą kwalifikującą spoinę do odrzucenia. Niezgodność uznawana jest za wadę dyskwalifikującą spoinę, jeżeli na skutek jej wystąpienia nie zostały spełnione założenia i kryteria, ustalone przed procesem spawania. Dokładne zbadanie złącza i weryfikacja zgodności spoiny z przepisami i normami ma zasadnicze znaczenie dla określenia, czy konieczna będzie naprawa.



Rysunek 7-1: Porowatość

7.1 POROWATOŚĆ

Porowatość spoiny jest wynikiem działania gazów, które podczas krzepnięcia jeziorka zostają uwięzione w metalu spoiny. Porowatość stanowią puste przestrzenie w spoinie, które mogą, lecz nie muszą być widoczne na jej powierzchni.

Do porowatości może prowadzić wiele różnych czynników.

Zaliczamy do nich:

- » Stan i czystość powierzchni stali
- » Powłokę ochronną materiału spawanego
- » Zanieczyszczenie topnika lub elektrody
- » Obecność wilgoci
- » Odpryski od cięcia lub żłobienia
- » Wchłanianie azotu przez materiał cięty plazmowo
- » Nieprawidłową grubość warstwy topnika lub brak pokrycia łuku

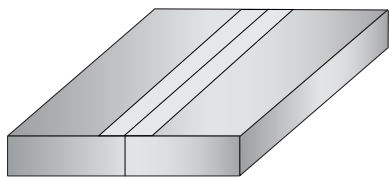
Topnik wilgotny lub zanieczyszczony innymi substancjami może powodować porowatość i inne niezgodności spawalnicze. Zawilgocenie drutu elektrodowego, rdza lub wilgoć wewnątrz drutów proszkowych również mogą być czynnikami, powodującymi niezgodności spawalnicze.

7.1.1 STAN POWIERZCHNI MATERIAŁU SPAWANEGO

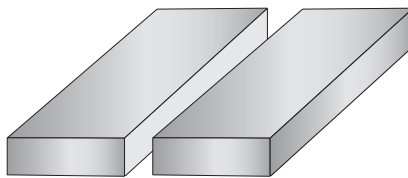
Stal z jasnoszarym, jednorodnym nalotem na powierzchni, nie sprawia problemów podczas spawania. Gruba lub łuszcząca się powłoka na materiale spawanym może być przyczyną porowatości, a także skutkować nierównymi krawędziami spoiny.

Rdzawoczerwony osad zwykle zawiera dużo wilgoci. Należy całkowicie usunąć go z bocznych ścianek złącza. Przygotowując złącze doczołowe z lub bez ukosowania, należy usunąć z obszaru złącza zgorzelinę i powłoki podkładowe (patrz rysunek 7-2).

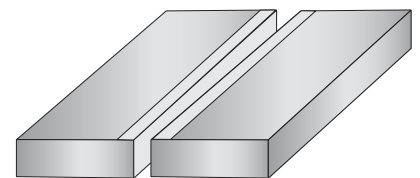
Przygotowując złącze teowe, ważne jest, aby powierzchnie przylegające były czyste (zob. rys. 7-3). W przypadku spoin jednostronnych należy oczyścić całą powierzchnię przetopu.



Czyszczenie tylko zewnętrznej części złącza odnosi niewielki skutek

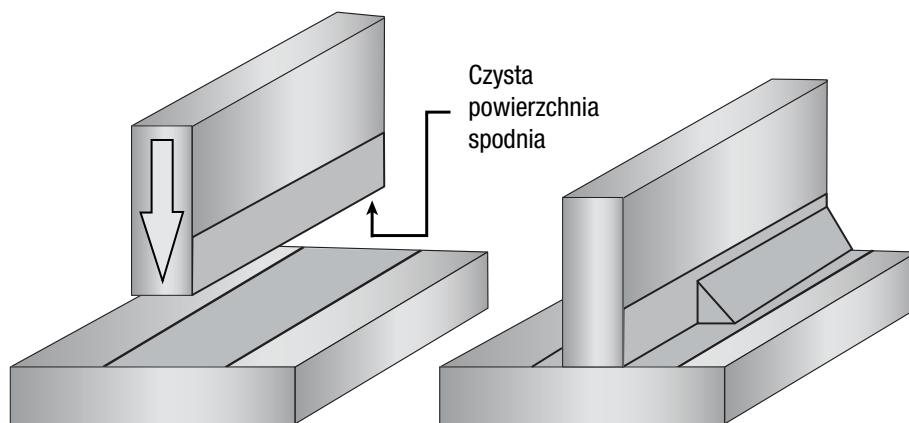


Czyszczenie tylko powierzchni przylegających może, ale nie musi dawać dobrych rezultatów



Najlepsze rezultaty daje czyszczenie powierzchni przylegających i zewnętrznych

Rysunek 7-2: Zalecane przygotowanie powierzchni



Rysunek 7-3: Zalecane przygotowanie powierzchni

Nie jest konieczne czyszczenie każdej krawędzi, która ma być spawana. Krawędzie przygotowane w drodze obróbki mechanicznej lub cięcia gazowego mogą być spawane bez dalszego czyszczenia, jeśli nie są zardzewiałe lub pokryte olejem (zobacz rys. 7-4 na str. 89). Szlifowanie powierzchni będzie wymagane, gdy operacje cięcia plazmowego pozostawią warstwę odprysków, zawierającą rozpuszczony azot na powierzchni cięcia.

Nieprzygotowane krawędzie z normalną, szczelną, szarą zgorzeliną walcowniczą mogą być z powodzeniem spawane drutem ze stali uspokojanej krzemem.

Szczotkowanie mechaniczne i/lub śrutowanie oczyści krawędzie z rdzy i czerwonej zgorzeliny walcowniczej, a podgrzewanie palnikiem wyeliminuje wilgoć (zob. rys. 7-5). Chociaż każdy z tych procesów znacznie zmniejszy porowatość, ale dla uzyskania najlepszych rezultatów należy stosować oba te procesy. W celu odprowadzenia wilgoci resztkowej należy podczas spawania umieścić palnik gazowy około 1–2 stopy (0,3–0,6 m) przed łukiem. Palnik powinien być wystarczająco gorący, aby podgrzać płytę do temperatury 300–500°F (149–260°C). Niewystarczająca ilość ciepła może pozostawić nieco wilgoci resztkowej, która spowoduje porowatość podpowierzchniową.

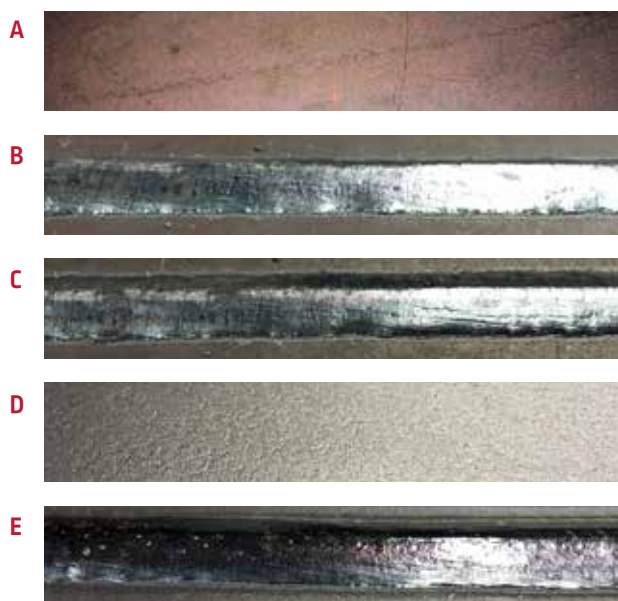
Odtłuszczenie i/lub mycie jest często stosowane w celu usuwania olejów, smarów i innych podobnych materiałów. Przed rozpoczęciem spawania spłukać pozostałości środków myjących i dokładnie osuszyć powierzchnię. Niektóre środki myjące pozostawiają po sobie warstwę zanieczyszczeń, które mogą również powodować porowatość (zob. rys. 7-6). Należy wybrać środek myjący, która jest odpowiedni do danego procesu spawania. Elektrody o niskiej zawartości krzemu ograniczają porowatość wywołowaną przez związki organiczne.

Powłoki powierzchniowe

Materiały spawane często posiadają powłoki ochronne (cynkowe, aluminiowe lub epoksydowe). Powłoki te są generalnie dużym utrudnieniem w procesie spawania, są również przyczyną powstawania dużej ilości gazów i dymów spawalniczych. Często zdarza się, że największa grubość powłoki ochronnej znajduje się na krawędziach i narożach płyt. Może to utrudnić odgazowanie podczas krzepnięcia i prowadzić do poważnej porowatości. Podczas gdy niektóre powłoki powierzchniowe są reklamowane jako nadające się do spawania, nadal należy zwracać uwagę na to, aby wymagania dotyczące jakości spawania były spełnione.



Rysunek 7-4: Dobre, wolne od porowatości spoiny można wykonywać na materiałach obrabianych mechanicznie i ciętych gazowo oraz na nieobrabianych z niedużą zgorzeliną walcowniczą. Zob.: A, materiał obrabiany mechanicznie; B, materiał cięty gazowo; C, materiał bez obróbki.



Rysunek 7-5: A, Płyta z nalotem rdzy; B, Spoina na płycie z rdzą; C, Spoina na płycie z rdzą po wstępnym podgrzaniu płyty do 400°F (204°C); D, Płyta piaskowana; E, Spoina na płycie piaskowanej. Poprzez szczotkowanie mechaniczne i/lub piaskowanie i ogrzewanie palnikiem nawet najbardziej zardzewiałą płytę można oczyścić tak, aby możliwe było wykonanie dobrej jakościowo spoiny, wolnej od porowatości.



Rysunek 7-6: Porowatość spowodowana zabrudzeniem olejem.

Niektóre powłoki antykorozyjne są przezroczyste, przez co płyta wygląda na czystą i niepowlekaną. Powłoki te mogą jednak powodować nadmierne wydzielanie gazów i ewentualną porowatość.

Podobnie jak w przypadku rdzy i zgorzeliny walcowniczej, powłoki ochronne należy usuwać z przylegających powierzchni materiału spawanego (zob. rys. 7-2 i rys. 7-3 na stronie 88).

7.1.2 ZANIECZYSZCZENIA

Zanieczyszczenia topnika

Zanieczyszczony topnik może powodować porowatość spoiny. Najczęstsze zanieczyszczenia w topniku:

- » Zabrudzenia
- » Zgorzelina walcownicza
- » Wilgoć

Odsłonięty topnik spawalniczy może wchłaniać wilgoć. Topnik należy przechowywać zgodnie z zaleceniami producenta. Informacje o przechowywaniu i obchodzeniu się z topnikami firmy Lincoln Electric podano w rozdziale 8.

Stosowanie urządzeń do odzyskiwania topnika, które odpowiednio usuwają żużel, zgorzelinę i pył, zmniejszy ryzyko wystąpienia porowatości.

Unikać zbierania zgorzeliny walcowniczej za pomocą urządzeń do odzyskiwania topnika. Usuwanie zgorzeliny walcowniczej z topnika wymaga zastosowania w układzie odzysku topnika separatora magnetycznego.

Zanieczyszczenie drutu elektrodowego

Nie używać zardzewiałego drutu elektrodowego. Niewłaściwie przechowywany drut może rdzewieć, co często skutkuje porowatością, szczególnie podczas spawania cienkich materiałów z dużą prędkością. Zardzewiały drut spawalniczy może powodować nierównomierne podawanie, nadmierne zużycie końcówek prądowych i niestabilność łuku.

7.1.3 NIEPRAWIDŁOWA GRUBOŚĆ WARSTWY TOPNIKA

Odpowiednie pokrycie topnikiem jest konieczne do ochrony stopionego metalu przed oddziaływaniem atmosfery. Natomiast nadmiar topnika może powodować niewłaściwy kształt spoiny i zwiększać ryzyko wystąpienia wad spoiny.

Ilość topnika powinna być wystarczająca, aby zakryć łuk. Dobrym wskaźnikiem jest sytuacja, gdy na końcu drutu widać zaledwie migotanie światła. Zbyt mała ilość topnika powoduje nadmierne przebicie i porowatość spoiny. Niewystarczające pokrycie topnikiem występuje najczęściej przy spawaniu obwodowym (zob. rys. 7-7).

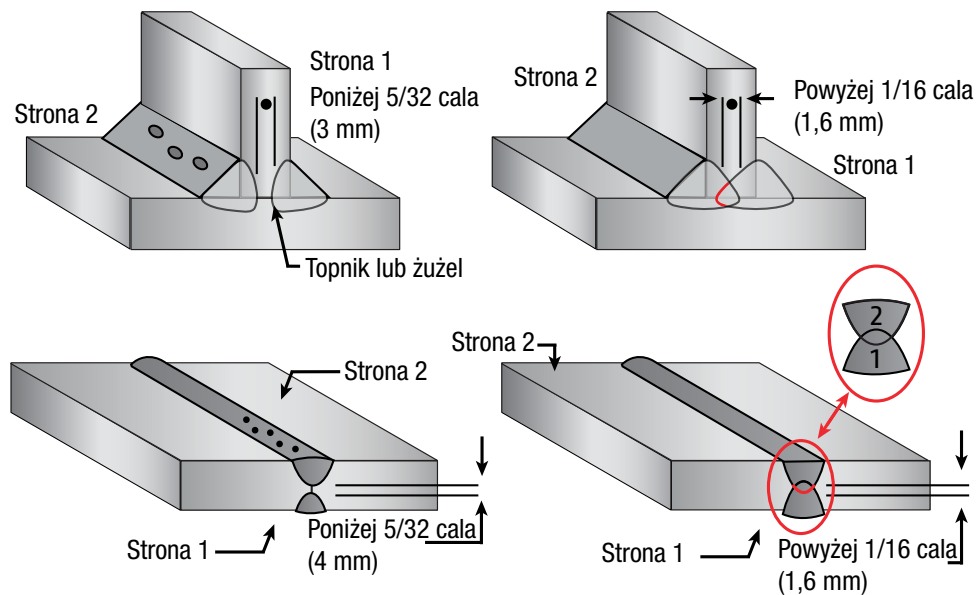


Rysunek 7-7: Pęcherze gazowe w spoinie wynikające z niedostatecznego pokrycia topnikiem

W przypadku spoin obwodowych o małej średnicy, spoin narożnych i wielowarstwowych spoin pachwinowych, konieczne jest zastosowanie dodatkowych elementów, koniecznych do podtrzymania topnika wokół łuku (zob. rozdz. 4).

7.1.4 ZŁĄCZA ZE SPOINAMI DWUSTRONNYMI

Kiedy przeciwległa strona spoiny jest zamykana przez poprzednią spoinę lub ciągłą spoinę szepną, niepełne przetopienie do przeciwległej spoiny lub spoiny szepnej może spowodować powstanie porowatości (zob. rys. 7-8).



Rysunek 7-8: Porowatość w spoinie dwustronnej

7.1.5 ZŁĄCZA WTŁACZANE

Części pasowane przez wcisk, przed połączeniem ze sobą są zwykle powlekane środkiem smarnym. Podczas spawania smar staje się źródłem powstawania gazów, które mogą powodować porowatość, zwykle w postaci dużych pustek występujących na końcu lub w pobliżu końca spoiny. Wtedy najlepiej jest pozostawić szczelinę do 1/32 cala (0,8 mm). Innym rozwiązaniem jest wykonanie nacięć na powierzchni jednej części, umożliwiających ucieczkę gazu.

7.1.6 PRĘDKOŚĆ SPAWANIA

Spawanie z dużymi prędkościami skutkuje ryzykiem większej porowatości ze względu na szybsze krzepnięcie jeziorka. Spawanie prądem stałym (DC) również zwiększa ryzyko powstawania porowatości, spowodowanej uginaniem łuku. Jeśli ograniczanie uginania łuku jest nieskuteczne, zmniejszenie prędkości i prądu spawania może być czynnikiem redukującym porowatość w powyższych procedurach.

UWAGA: Zmniejszenie prędkości spawania na ogół ogranicza ryzyko porowatości. Niższe prędkości dają więcej czasu na odprowadzenie substancji gazowych ze stopionego metalu.

7.1.7 UGIĘCIE ŁUKU

Uginanie łuku, które może powodować porowatość występuje często podczas spawania drutem o małej średnicy i polaryzacji DCEN. Pojawia się przy wysokich prędkościach automatycznego spawania stali o małej grubości, a także, ale rzadziej w przypadku grubszych płyt i bardziej złożonych złączy.

Porowatość spowodowana uginaniem łuku zwykle występuje przy końcu spoiny. Czynniki minimalizujące ryzyka uginania łuku to:

- » Spawanie w kierunku przeciwnym do zacisku masowego.
- » Wykonanie większej spoiny szczepnej na końcu złącza.
- » Podłączyć przewód masowy z początkowej strony złącza i spawać w kierunku szczepienia na końcu złącza lub materiału rodzimego.
- » O ile to możliwe, stosować prąd przemienny (AC).
- » Używać długich płyt dobiegowych/wybiegowych.
- » Unikać magnetyzmu szczątkowego.
- » Ograniczyć napięcie.
- » Przeanalizować dobór topnika, ponieważ typ topnika będzie oddziaływać na podatność na porowatość wywoływaną ugięciem łuku.
- » Elektroda powinna być tak blisko ustawienia pionowego, jak to możliwe.

Wszelkie materiały magnetyczne znajdujące się w pobliżu łuku, w tym oprzyrządowanie, mogą utrzymywać magnetyzm szczątkowy i przyczyniać się do ugięcia łuku.

7.2 ŚLADY GAZOWE (POCKMARKING)

Wgłębienia na powierzchni spoiny (zob. rys. 7-9) powstają, gdy gazy wydostające się z ciekłego jeziora spawalniczego zostają uwięzione na granicy żużel-metal.

Mogą być spowodowane przez zanieczyszczenia (tj. rdzę, zgorzelinę walcowniczą i wilgoć), topniki z szybko stygnącym żużlem i szybkie tempo krzepnięcia jeziora.

Występowanie śladów gazowych można wyeliminować lub ograniczyć przez zmniejszenie prędkości spawania, zwiększenie napięcia i podwyższenie temperatury podgrzania wstępnego. Nie są zwykle uważane za wady, ani nie wskazują na porowatość podpowierzchniową. Ślady gazowe zazwyczaj nie są niezgodnością, prowadzącą do dyskwalifikacji spoiny.



Rysunek 7-9: Ślady gazowe (Pockmarking)

7.3 PĘKNIĘCIA

Pęknięcia to rozerwanie w strukturze materiału. Pęknięcia zwykle powstają na skutek wzrostu naprężeń w złączu spawanym. Przeważnie dzielone są na pęknięcia gorące lub zimne. Pęknięcia gorące powstają w czasie krzepnięcia metalu spoiny. Pęknięcia zimne mają miejsce, gdy spoina osiąga temperaturę zbliżoną do temperatury otoczenia. Ich przyczyną jest wysoka zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie. Pęknięcia mogą być wzdłużne lub poprzeczne.

Pęknięcia wzdłużne (rys. 7-10)

Pęknięcia wzdłużne zazwyczaj są ułożone wzdłuż osi spoiny. Najczęściej powstają podczas krzepnięcia jeziorka. Spowodowane są niewłaściwym stosunkiem głębokości do szerokości spoiny, zanieczyszczeniami o niskiej temperaturze topnienia lub wklęsłym licem spoiny. Ryzyko powstawania pęknięć wzdłużnych można ograniczyć wykonując spoiny, w których iloraz szerokości do głębokości wynosi od 1,1 do 1,4. Ponadto zastosować mniejszą głębokość wtopienia, zredukować prędkości spawania oraz dobrać odpowiednie materiały.

Pęknięcia poprzeczne (rys. 7-11)



Rysunek 7-10: Pęknięcia wzdłużne



Rysunek 7-11: Pęknięcia poprzeczne

Pęknięcia poprzeczne występują prostopadle do osi spoiny. Jedną z przyczyn pęknięcia poprzecznego są naprężenia skurczowe w metalu spoiny o niskiej ciągliwości. Kilka innych przyczyn to wtrącenia metaliczne (miedź) i wysoka zawartość wodoru.

Pęknięcia w strefie wpływu ciepła (SWC) (rys. 7-13) i pękanie w spoinie (rys. 7-14)

Pęknięcia w strefie wpływu ciepła (SWC) i pęknięcia w spoinie to rodzaje pęknięć zimnych. Pęknięcia te są zwykle krótkie i mogą być wzdłużne lub poprzeczne. Pęknięcia w strefie wpływu ciepła są wywoływane szeregiem czynników, które obejmują obecność wodoru, podatną mikrostrukturę i wysokie naprężenia resztkowe.

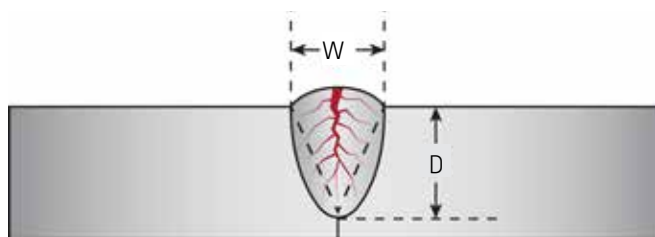
Pęknięcia krystalizacyjne

Stosunek szerokości do głębokości (rys. 7-15)

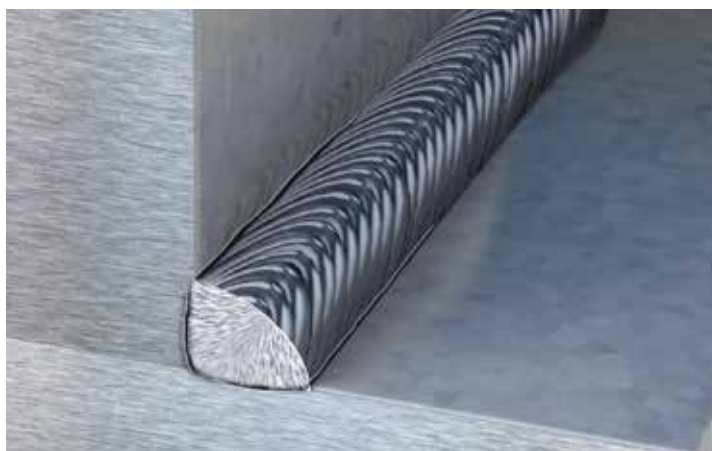
Spoiny o nadmiernej głębokości i małej szerokości są bardziej podatne na pękanie krystalizacyjne z powodu naprężeń rozciągających, powstających podczas krzepnięcia w osi spoiny (zob. rys. 7-12). Zachowanie zalecanego stosunku szerokości do głębokości spoiny od 1,1 do 1,4 minimalizuje podatność na pękanie krystalizacyjne.

Pękanie kapeluszowe (rys. 7-16 na str. 95)

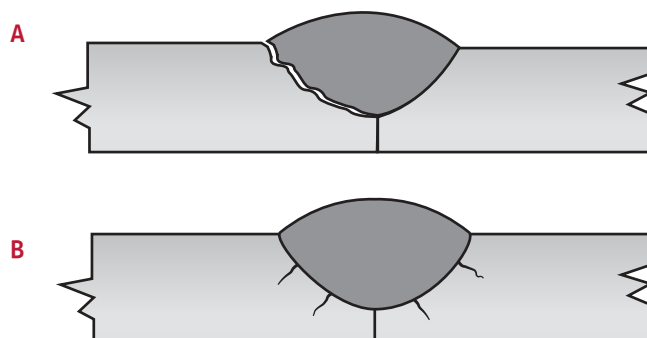
Pęknięcia kapeluszowe mogą wystąpić przy ostrych przejściach wzdłuż granicy wtopienia w wyniku naprężeń powstających podczas krzepnięcia. Eliminację ostrych przejść można osiągnąć przez regulację parametrów spawania, kąta prowadzenia uchwytu i konstrukcji złącza.



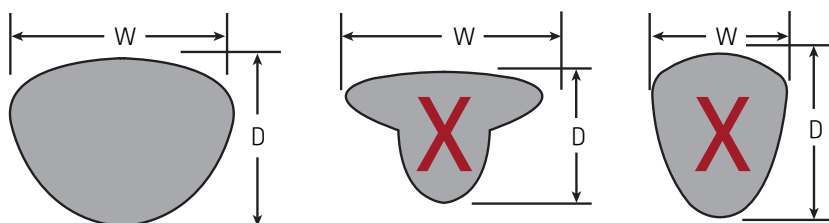
Rysunek 7-12: Pęknięcia wzdłuż osi spoiny



Rysunek 7-13: Pęknięcia w strefie wpływu ciepła

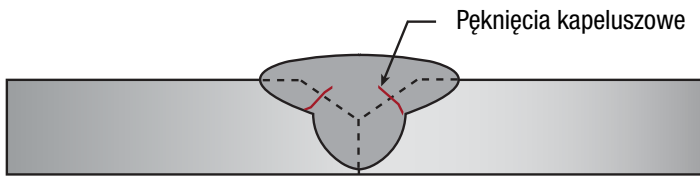


Rysunek 7-14: Typowa lokalizacja pęknięć: na granicy wtopienia (A) i w strefie wpływu ciepła (B)

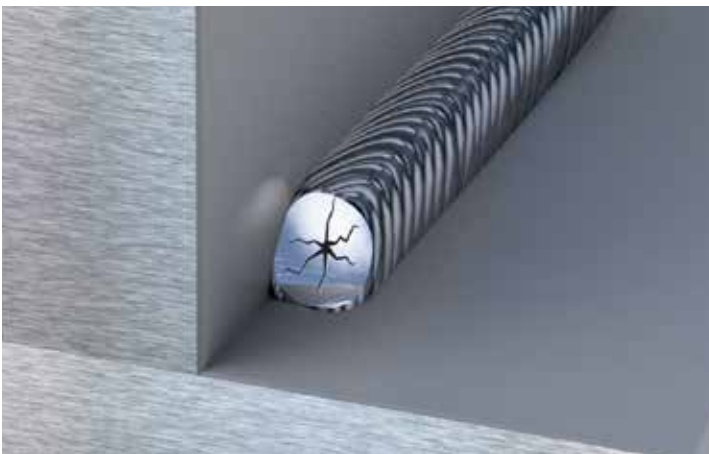


Zalecany stosunek szerokości do głębokości spoiny od 1,1 do 1,4

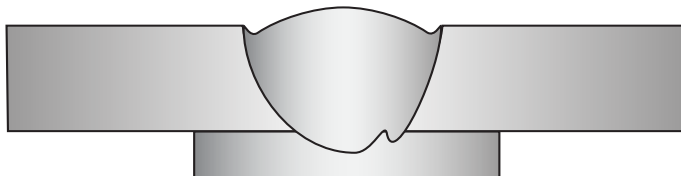
Rysunek 7-15: Proporcje wymiarów spoiny



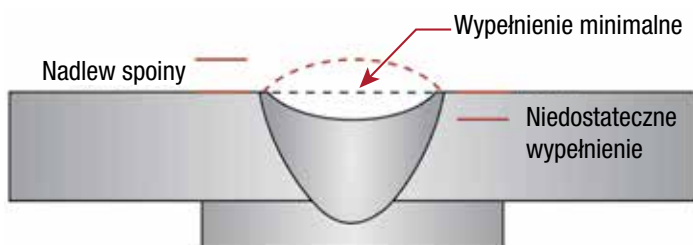
Rysunek 7-16: Pęknięcia w kształcie kapelusza



Rysunek 7-17: Pęknięcia w kraterze



Rysunek 7-18: Podtopienie



Rysunek 7-19: Niedostateczne wypełnienie

Pęknięcia w kraterze (rys. 7-17)

Niewystarczające wypełnienie krateru na końcu spoiny może wywołać pęknięcie podczas krzepnięcia jeziora, spowodowane silnymi naprężeniami podczas kurczenia się materiału w krzepnącym, wklęsłym kraterze. Największym zagrożeniem przy pęknięciach w kraterze jest ryzyko rozprzestrzeniania się ich w pozostałej części spoiny. Zastosowanie odpowiedniej procedury wypełniania krateru zminimalizuje to ryzyko. Można stosować też płyty wybiegowe, które eliminują problem krateru w spoinie.

7.4 INNE RODZAJE NIEZGODNOŚCI

Podtopienie (rys. 7-18)

Podtopienie jest wadą, które oznacza szczelinę w metalu rodzimym bezpośrednio wzdłuż krawędzi lub brzegów spoiny. Podtopienie jest zwykle powodowane przez nieprawidłową procedurę spawania, zbyt wysokie napięcie lub oba te czynniki jednocześnie. Podtopienia mogą powodować wzrost naprężeń. Przed inspekcją należy zawsze sprawdzać normę spawalniczą.

Niedostateczne wypełnienie (rys. 7-19)

Niedostateczne wypełnienie to stan, w którym lico spoiny czołowej leży poniżej poziomu powierzchni metalu rodzimego. Niezgodność tę można wyeliminować przez dobór odpowiednich parametrów spawania.

Nadmierny nadlew spoiny czołowej (rys. 7-20)

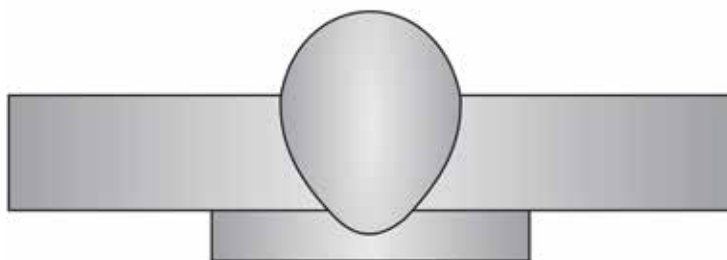
Nadlew spoiny to część metalu spoiny, która wystaje powyżej (lub poniżej) powierzchni złącza. Przed inspekcją należy zawsze sprawdzać normę spawalniczą. Za wielkość nadlewu odpowiada dobór parametrów spawania. Dobór odpowiedniej wydajności stapiania i wymiarów ściegu pozwala kontrolować nadlew spoiny.

Wtrącenia żuźla (rys. 7-21)

Wtrącenia żuźla są wynikiem uwieżenia żuźla w metalu spoiny. Są one charakterystyczne dla każdego procesu spawania, w którym wykorzystuje się topnik do osłaniania łuku. Zła technika spawania lub nieprawidłowa konstrukcja złącza to główne przyczyny powstawania wtrąceń żuźla.

Niedostateczne wtopienie lub brak wtopienia (LOP) (rys. 7-22)

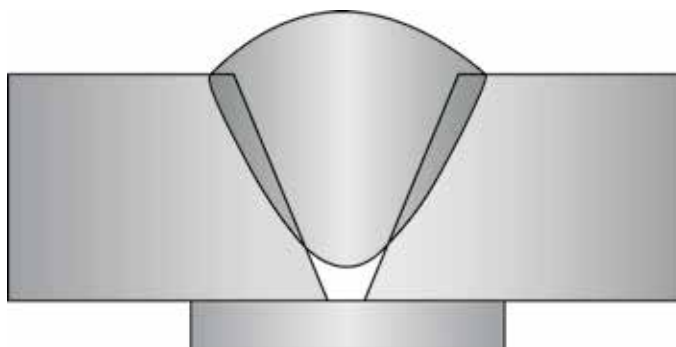
Niedostateczne wtopienie to brak wypełnienia na grani spoiny czołowej. Wielkością wtopienia steruje przede wszystkim prąd spawania, wzrost prądu spowoduje zwiększenie wtopienia. Na wtopienie może mieć również wpływ konstrukcja złącza i technika spawania.



Rysunek 7-20: Nadmierny nadlew



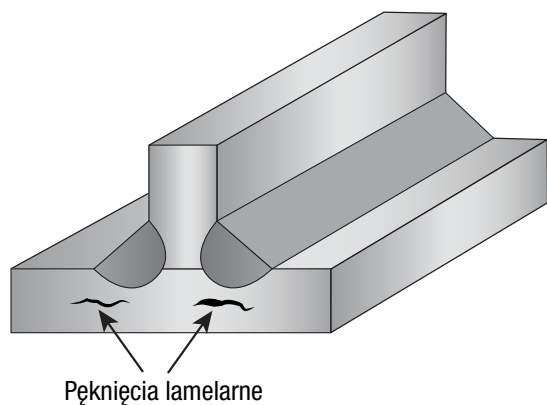
Rysunek 7-21: Wtrącenia żuźla



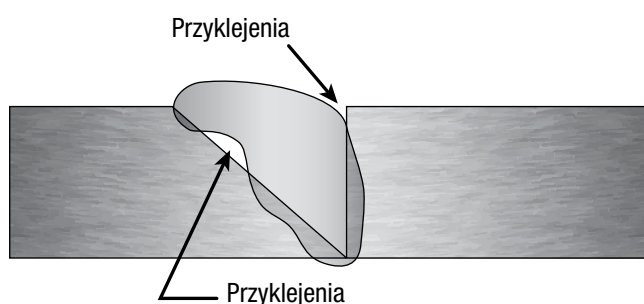
Rysunek 7-22: Niedostateczne wtopienie



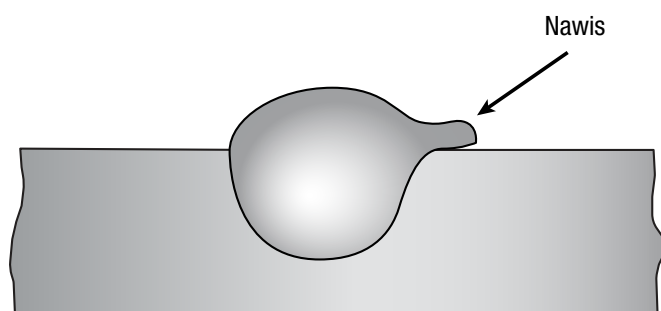
Rysunek 7-23: Spoinomierz



Rysunek 7-24: Pęknięcia lamelarne



Rysunek 7-25: Przyklejenia



Rysunek 7-26: Nawis

Pęknięcia lamelarne (rys. 7-24)

Pęknięcia lamelarne to schodkowe pęknięcie w metalu rodzimym, które zwykle występują równoległe do jego powierzchni. Pęknięcia są wynikiem obecności wtrąceń niemetalicznych, znajdujących się na przekroju blachy równoległe do kierunku walcowania. Wtrącenia te obniżają wytrzymałość materiału rodzimego w kierunku jego grubości i pod wpływem naprężeń skurczowych powstają pęknięcia, które przenoszą się z jednej warstwy na kolejną, tworząc charakterystyczne schodki. Pęknięcia lamelarne najczęściej występują w elementach stalowych o większej grubości.

Przyklejenia (rys. 7-25)

Brak stopienia między metalem spoiny, a metalem rodzimym lub między kolejnymi warstwami spoiny jest oznaką niekompletnego połączenia spawanego. Przyczyny niepełnego wtopienia to zła technika spawania, niewłaściwe parametry spawania (prąd i prędkość spawania) oraz nieprawidłowe oczyszczenie i przygotowanie złącza.

Nawis (rys. 7-26)

Do nawisu dochodzi, gdy nadmiarowy metal spoiny, niewtopiony w powierzchnię materiału spawanego, wystaje poza lico spoiny lub jej grań. Nawis powstaje w wyniku spłynięcia metalu spoiny i jest niezgodnością, która dyskwalifikuje spoinę. Nawisu można uniknąć stosując odpowiednie wartości prądu i prędkości spawania lub poprawiając przygotowanie metalu rodzimego.

8.1 ZASADY WŁAŚCIWEGO POSTĘPOWANIA Z TOPNIKIEM

Szczegółowe instrukcje dotyczące postępowania z topnikiem firmy Lincoln Electric można znaleźć w wytycznych dostępnych na stronie lincolnelectric.com.

Topniki do spawania łukiem krytym i inne produkty niskowodorowe muszą być suche, aby mogły działać prawidłowo. Topniki firmy Lincoln Electric, które znajdują się w oryginalnych, nieotwartych workach, pozostaną suche, jeżeli zapewni się im właściwe warunki przechowywania.

Hermetycznie zamknięte opakowania, takie jak metalowe beczki, plastikowe wiadra lub worek Sahara Ready Bag (SRB), jeśli nie zostaną uszkodzone, zachowują niezmienny poziom wilgotności topnika. Topniki Lincoln Electric z hermetycznie zamkniętych opakowań mogą być użyte bezpośrednio po ich otwarciu, gwarantując niski, zgodny z certyfikatem poziom wodoru dyfundującego.

Gdy worki do składowania topnika spawalniczego zostaną przebite lub nie nadają się do dalszego przechowywania, topnik należy z nich przesypać do szczelnie zamykanych pojemników. Kondensacja pary wodnej z otaczającego powietrza może spowodować zawilgocenie nieszczelnie przechowywanego topnika.

Kondensacja wilgoci może również wystąpić na blachach stalowych i innych materiałach przechowywanych w tym samym miejscu. Zjawisko to może być szczególnie silne w wilgotnych warunkach, zwłaszcza gdy obniża się temperatura powietrza (szczególnie po zachodzie słońca). Wilgotność względna (RH) to stosunek masy pary wodnej w danej objętości do masy pary, która nasyca tę objętość przy danej temperaturze.

Topnik w otwartych workach, wystawionych na działanie powietrza lub w zamkniętych opakowaniach, które są przechowywane w szczególnie wilgotnych warunkach, może ulec zawilgoceniu na skutek zjawiska kondensacji. W zależności od ilości wilgoci, może ona mieć negatywny wpływ na jakość spoiny, gdy:

1. Wilgoć powoduje wzrost wodoru w spoinie oraz obniża odporność na pęknięcia wewnętrzne w materiale rodzimym, szczególnie stali hartowanej (możliwe pęknięcia opóźnione).
2. Wilgoć jest przyczyną porowatości. Wykrycie porowatości może wymagać kontroli rentgenowskiej lub badania niszczącego.
3. Względnie wysoka wilgotność powoduje widoczną porowatość lub ślady gazowe na powierzchni spoiny.
4. **UWAGA:** Wilgoć może również powodować nadmierną płynność żużla, chropowatą powierzchnię spoiny oraz problemy z usuwaniem żużla



Rysunek 8-1: Szczelnie zamknięty worek topnika

Podobnie jak w przypadku wszystkich procesów spawania łukowego, w celu uzyskania skutecznej spoiny konieczna jest dokładna ocena stanu materiału spawanego. Zła jakość materiału może powodować powstanie porowatości.

Kluczowe znaczenie ma zwrócenie uwagi na jakość topnika użytego do spawania łukiem krytym. Topnik wilgotny lub zanieczyszczony innymi substancjami może powodować porowatość i inne niezgodności spawalnicze. Bezpieczne przechowywanie topnika i drutu jest warunkiem koniecznym w procesie spawania łukiem krytym.

8.2 USUWANIE ODPADÓW ŻUŻLA ZE SPAWANIA ŁUKIEM KRYTYM

Standardowe testy środowiskowe, dotyczące składowanych odpadów, przeprowadzone przez agencje rządowe USA potwierdzają, że żużel ze spawania łukiem krytym Lincoln Electric nie jest odpadem niebezpiecznym i może być składowany na wysypiskach.

8.3 ŻUŻEL KRUSZONY

Żużel powstający podczas procesu spawania, który następnie jest kruszony w celu wykorzystania jako topnik spawalniczy, jest nazywany żużlem kruszonym. Różni się on od topnika z recyklingu, który nigdy nie został stopiony w żużel i często może być zebrany z czystej powierzchni i ponownie wykorzystany bez kruszenia. Składniki topników spawalniczych wpływają na skład chemiczny stopiwa, zabezpieczają roztopiony metal przed wpływem atmosfery, stabilizują jarzenie się łuku, umożliwiają łatwe usuwanie żużla oraz zapewniają odpowiednią zwiżalność i szybkość krzepnięcia. Kiedy topnik jest topiony przez łuk spawalniczy, dochodzi do wielu reakcji chemicznych. Niektóre z pierwiastków zawartych w topniku mogą wejść w reakcję z innymi i stworzyć nowy związek chemiczny.

Jedną z najważniejszych funkcji topnika jest usuwanie tlenków lub innych zanieczyszczeń z powierzchni spawanej. Jest to szczególnie ważne w przypadku tlenków i siarczków, które w przeciwnym razie zostałyby rozpuszczone w metalu spoiny lub byłyby obecne w postaci wtrąceń. Aby to osiągnąć, pierwiastki chemiczne zawarte w topniku muszą być składnikiem odpowiedniego związku chemicznego. Na przykład mangan (Mn), który jest składnikiem takich związków chemicznych jak żelazomangan, krzemomangan, tlenek manganu i krzemian manganu. Jednak każdy z tych związków będzie miał inny wpływ na czystość i skład chemiczny spoiny. Ponadto każdy z nich ma inną temperaturę topnienia, co będzie miało wpływ na charakterystykę topnika. Stopiony topnik miesza się ze stopionym metalem stopiwa, a zanieczyszczenia ze stopiwa są wychwytywane przez żużel. Kiedy żużel jest kruszony do późniejszego użycia jako topnik, jego skład chemiczny różni się od pierwotnego i zawiera więcej szkodliwych zanieczyszczeń.

Oryginalny topnik i topnik z żużla mają na ogół wyraźnie inne temperatury topnienia i zwizalność. Wynika to z postaci tlenku, krzemku, fluorku, metalu, itp. Ponadto, po stopieniu, materiały wchodzące w skład topnika, stabilizujące i osłaniające łuk nie są już dostępne w pierwotnej postaci. Zmiana tych związków po stopieniu często wpływa niekorzystnie na usuwanie żużla i charakterystykę topnika, co skutkuje niższymi prędkościami spawania i wydajnością. Żużel jest zazwyczaj o 20% gęstszy niż topnik aglomerowany. Będzie to sprzyjać segregacji wszelkich mieszanek tego żużla z oryginalnym topnikiem spawalniczym. Może on również znacznie zwiększać zużycie topnika spawalniczego, zwiększać stosunek żużla do metalu i wpływać na kształt ściegu.

UCZ FACHU.

MY ZAJMIEMY SIĘ RESZTĄ.

POLITYKA OBSŁUGI KLIENTA

Przedmiotem działalności firmy Lincoln Electric jest produkcja i sprzedaż wysokiej jakości urządzeń spawalniczych, materiałów spawalniczych oraz urządzeń do cięcia. Naszym celem jest zaspokojenie potrzeb klientów, a nawet przewyższenie ich oczekiwań. Klient może poprosić Lincoln Electric o radę lub informacje dotyczące zastosowania naszych produktów w jego konkretnym przypadku. Odpowiadamy na zapytania naszych klientów na podstawie informacji przez nich przekazanych oraz według najlepszej wiedzy na temat rozpatrywanego zastosowania, jaką posiadamy w danym momencie. Nie jesteśmy jednak w stanie zweryfikować informacji nam przekazanych ani ocenić wymagań technicznych w każdym konkretnym przypadku. W związku z tym Lincoln Electric nie jest w stanie zagwarantować tego rodzaju porad i nie ponosi odpowiedzialności za tego rodzaju informacje czy porady. Co więcej, udzielenie tego rodzaju informacji i porad nie stanowi, nie przedłuża, ani nie zmienia żadnych gwarancji w odniesieniu do naszych produktów. W odniesieniu do tego rodzaju informacji i porad nie udzielamy w szczególności żadnej gwarancji wyraźnej lub dorozumianej, w tym jakiegokolwiek dorozumianej gwarancji przydatności do celów handlowych lub do innych szczególnych zamierzeń klienta.

Lincoln Electric jest odpowiedzialnym producentem, ale wybór i wykorzystanie produktów sprzedanych przez Lincoln Electric jest całkowicie pod kontrolą klienta i wyłącznie klient jest za to odpowiedzialny. Wiele czynników poza kontrolą Lincoln Electric ma wpływ na wyniki osiągnięte przy zastosowaniu różnych typów metod produkcji i wymagań serwisowych.

Zastrzegamy sobie prawo do wprowadzania zmian. Informacje zawarte w niniejszej publikacji są aktualne w momencie druku i zgodne ze stanem naszej najlepszej wiedzy. Wszystkie aktualne informacje można znaleźć na stronie www.lincolnelectric.com.

LINCOLN ELECTRIC COMPANY

22801 St. Clair Avenue • Cleveland, OH • 44117-1199 • USA
Tel.: +1.216.481.8100 • www.lincolnelectric.com

