

Spawalność należy do najważniejszych właściwości technologicznych metali i ich stopów. Jest to zdolność do tworzenia trwałej spoiny o wysokiej jakości. Zazwyczaj rozumiana jest jako spawalność metalurgiczna, tzn. zależna przede wszystkim od sposobu produkcji, składu chemicznego, struktury i ewentualnie naprężeń materiału spawanego. Dalej, jako spawalność technologiczna, zależna jest od możliwej do przyjęcia technologii spawania i użytych parametrów procesu. W końcu, dotycząca samej konstrukcji, wynika z rozwiązań kształtu i wymiarów połączeń oraz ich sztywności. Na podstawie analizy przedstawionych aspektów można podzielić materiały metalowe na spawalne, spawalne pod pewnymi warunkami i zazwyczaj niespawalne. Konkretnie połączenie spawane należy oceniać we wszystkich tych kategoriach.

Spawalność zwykłych stali konstrukcyjnych

Najprostszym sposobem oceny składu chemicznego stali niestopowych pod względem przydatności do spawania jest wyznaczenie równoważnika węgla C_E .

Najczęściej jest używany wzór wg IIW (Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa):

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [\%]$$

Stale z $C_E \leq 0,35$ zwykle są spawalne bez problemów w najczęściej używanym zakresie grubości. Przy większych wartościach C_E (tzn. większej zawartości C i pierwiastków stopowych) należy liczyć się z koniecznością zmniejszenia szybkości chłodzenia, aby uniknąć możliwości powstawania pęknięć. Najprostszym sposobem jest zastosowanie podgrzewania spawanych części przed spawaniem. Ogólnie przyjmuje się, że czym wyższe jest C_E i czym grubszy jest materiał spawany, tym wyższa powinna być temperatura podgrzewania wstępnego. Dla stali o zawartości węgla $C \leq 0,22\%$ lub z $C_E \leq 0,41$ podgrzewanie zwykle nie jest konieczne. Szczegółowych zaleceń należy szukać w dokumentacji producenta danej stali. Aby dokonać szybkiej oceny - można skorzystać z poniższej tabeli, wykorzystywanej głównie przy napawaniu części maszyn.

Rodzaj stali

Typ stali Materiał dodatkowy	Grubość mat. (mm)	Konstrukcyjna $C_E < 0,3$ HB < 180	Niskostopowa $C_E 0,3-0,6$ HB 200-300	Narzędziowa $C_E 0,6-0,8$ HB 300	Chromowa 5-12% Cr HB 300-500	Chromowa >12% Cr HB 200-300	Nierdzewna 18/8 Cr/Ni HB ~200	Manganowa 14% Mn HB 250-500
Zalecana temperatura podgrzewania °C								
Stal niskostopowa 200-300 HB	≤20	-	100	150	150	100	-	-
	≤20 ≤60	-	150	200	250	200	-	-
	>60	100	180	250	300	200	-	-
Stal narzędziowa 300-450 HB	≤20	-	100	180	200	100	-	-
	>20 ≤60	-	125	250	250	200	-	o
	>60	125	180	300	350	250	-	o
Stal 12% Cr 300-500 HB	≤20	-	150	200	200	150	-	X
	>20 ≤60	100	200	275	300	200	150	X
	>60	200	250	350	375	250	200	X
Stal nierdzewna 18/8, 25/12 200 HB	≤20	-	-	-	-	-	-	-
	>20 ≤60	-	100	125	150	200	-	-
	>60	-	150	200	250	200	100	-
Stal manganowa 200 HB	≤20	-	-	-	X	X	-	-
	>20 ≤60	-	-	●100	X	X	-	-
	>60	-	-	●100	X	X	-	-
Stop Co typ 6 40 HRC	≤20	100	200	250	200	200	100	X
	>20 ≤60	300	400	●450	400	350	400	X
	>60	400	400	●500	●500	400	400	X
Zawierający węgliki ⁽¹⁾ 55 HRC	≤20	-	o-	o-	o-	o-	o-	o-
	>20 ≤60	-	100	200	●200	●200	o-	o-
	>60	o-	200	250	●200	●200	o-	o-

(1) max. 2 warstwy - występują pęknięcia
- bez podgrzewania lub max. 100°C
X zwykle się nie używa

o podgrzewanie przy napawanych dużych powierzchniach
• aby zapobiec pęknięciom należy układać warstwę pośrednią materiałem austenitycznym

Podczas spawania mikroskopowych stali drobnziarnistych można się spodziewać rozrostu ziarna w strefie wpływu ciepła (SWC) złącza, co oznacza spadek własności mechanicznych w tym obszarze. Dlatego tego typu stale spawa się zwykle bez podgrzewania (jeżeli jest to konieczne, tylko do ok. 100-150°C) i ogranicza energię liniową spawania.

W stalach obrabianych termomechanicznie można również spodziewać się spadku własności mechanicznych w SWC. Także i w tym przypadku konieczne jest ograniczenie energii liniowej spawania. Przy wyborze materiałów spawalniczych należy uwzględnić wszystkie warunki pracy połączenia, szczególnie temperatury roboczej, rodzaju obciążenia, wpływu środowiska korozyjnego itp.

Spawanie stali nierdzewnych i żaroodpornych

Oprócz odporności na korozję stal tego typu musi zwykle spełniać i inne wymagania, np. wytrzymałość lub przydatność do w wysokich lub bardzo niskich temperaturach, odporność na działanie różnych substancji chemicznych itp. Właściwości tych stali różnią się w zależności od składu chemicznego, który w większości gatunków decyduje o ich strukturze i spawalności.

Stale austenityczne

W przemyśle należą do najbardziej popularnej grupy stali nierdzewnych. Są one używane do produkcji wymienników ciepła, zbiorników ciśnieniowych, rurociągów, części maszyn i urządzeń, zwłaszcza w przemyśle chemicznym, spożywczym i energetycznym. Podstawowym rodzajem jest stal 18Cr/8Ni, z której przez różne modyfikacje składnikami stopowymi powstały inne gatunki o specyficznych właściwościach. Zakres zawartości głównych pierwiastków przedstawiono w poniższej tabeli.

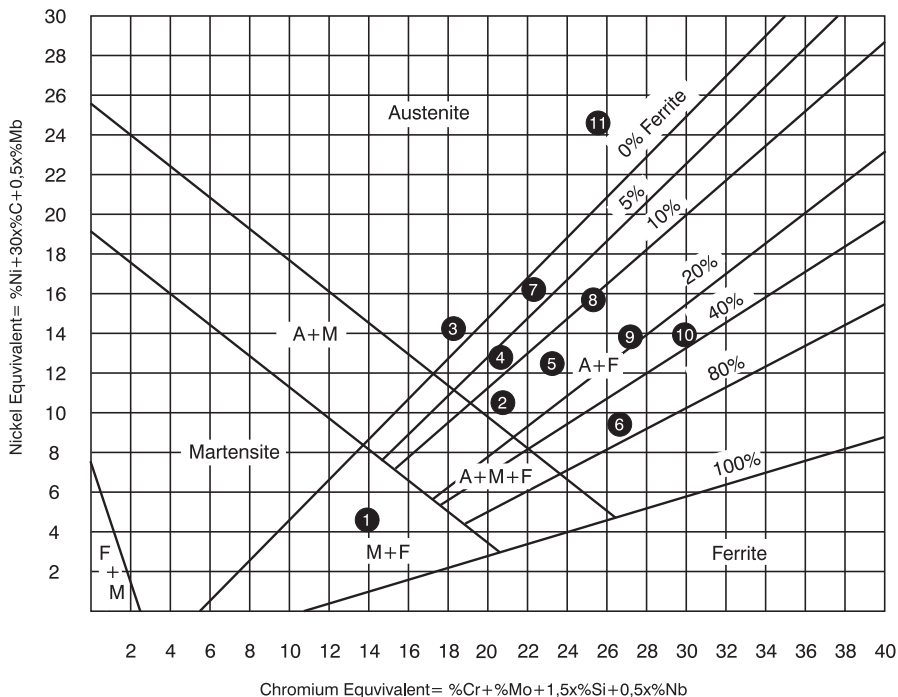
C	Cr	Ni	Mo
< 0,25 %	16 - 26 %	8 - 40 %	0 - 5 %

Zawartość węgla jest jednak w większości gatunków poniżej granicy 0,10 %.

Z punktu widzenia odporności na korozję międzykrystaliczną, istnieją dwie grupy stali austenitycznych - o bardzo niskiej zawartości węgla (np. < 0,03 %) oraz stabilizowana dodatkiem stopowym Ti lub Nb.

W austenitycznej strukturze stopiwa zwykle wymagana jest zawartość od 2 do 6%, a czasem więcej, ferrytu delta, który ze względu na jego właściwości mechaniczne jest gwarancją odporności na pęknięcia krystalizacyjne. Wstępnie można określić zawartość ferrytu na podstawie składu chemicznego stopiwa, według wartości równoważnika chromu (E_{Cr}) i niklu (E_{Ni}) z wykresu Schaefflera (rys. 1), lub z wykresu WRC 92 (rys. 2). Spawalność tej grupy stali nierdzewnych jest bardzo dobra, poza kilkoma wyjątkami stali o specjalnych właściwościach. Mogą być używane wszystkie znane technologie spawania łukowego zapewniające dobrą ochronę materiału przenoszonoego w łuku oraz jeziorka ciekłego metalu. Ponieważ popularne stale z tej grupy nie są podatne na powstawanie pęknięć, mogą być spawane, z wyjątkiem dużych grubości, bez podgrzewania. W odniesieniu do możliwości przemiany ferrytu delta może być zalecana maksymalna energia liniowa 1,5 kJ / mm i temperatura międzycięgowa do 150°C. Do spawania wybiera się zwykle materiał dodatkowy o podobnym lub identycznym składzie chemicznym, jak materiał rodzimy. Osobną grupę tworzą tzw. **superaustenityczne stale nierdzewne**, używane w warunkach bardzo dużego narażenia na korozję w przemyśle chemicznym, w produkcji np. mocznika. W stosunku do zwykłych stali austenitycznych posiadają podwyższoną zawartość Cr, Mo, Ni, wraz z innymi dodatkami stopowymi, takimi jak Nb, Cu i N w celu zwiększenia odporności na korozję naprężeniową. Ich struktura jest czysto austenityczna i spawa się je podobnymi materiałami dodatkowymi, które zapewniają w pełni austenityczne stopiwo.

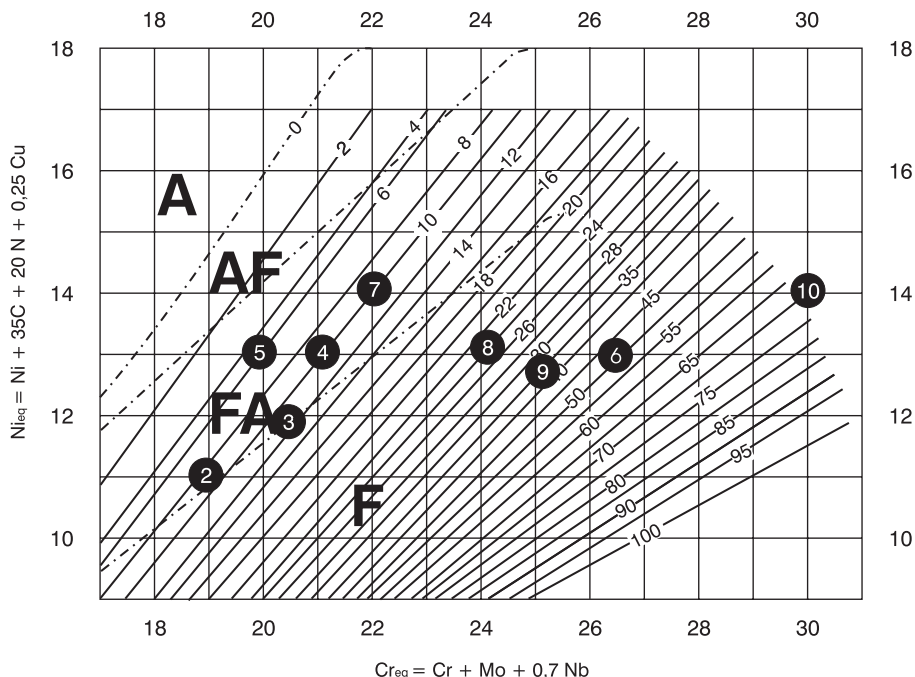
Rys. 1 - Wykres Schaeffler'a



Przykłady umieszczenia stopiwa niektórych materiałów spawalniczych na wykresach

Położenie	Materiał spawalniczy	Położenie	Materiał spawalniczy
1	OK 68.15; 68.17	6	OK 67.50; 67.55 OK Tigrod 2209
2	OK 61.30 OK Autrod/Tigrod 308L Shield Bright 308L OK Flux 10.92/OK Autrod 308L	7	OK 63.35 OK Autrod/Tigrod 318Si
3	OK 61.85; 67.45 OK Autrod/Tigrod 16.95	8	OK 67.64; 67.75 OK Autrod/Tigrod 309L
4	OK 61.81 OK Autrod/Tigrod 347Si OK Flux 10.93/OK Autrod 316L	9	OK 67.71 OK Autrod/Tigrod 309MoL Shield Bright 309L/X-TRA 309L
5	OK 63.30; 63.80; 63.85 OK Autrod 316LSi Shield Bright 316L	10	OK 68.81 OK Autrod 312
		11	OK 67.13; 67.15 OK Autrod/Tigrod 310

Rys. 2 - Wykres WRC-92



Przykłady umieszczenia stopiwa niektórych materiałów spawalniczych na wykresach

Położenie	Materiał spawalniczy	Położenie	Materiał spawalniczy
1	OK 68.15; 68.17	6	OK 67.50; 67.55 OK Tigrod 2209
2	OK 61.30 OK Autrod/Tigrod 308L Shield Bright 308L OK Flux 10.92/OK Autrod 308L	7	OK 63.35 OK Autrod/Tigrod 318Si
3	OK 61.85; 67.45 OK Autrod/Tigrod 16.95	8	OK 67.64; 67.75 OK Autrod/Tigrod 309L
4	OK 61.81 OK Autrod/Tigrod 347Si OK Flux 10.93/OK Autrod 316L	9	OK 67.71 OK Autrod/Tigrod 309MoL Shield Bright 309L/X-TRA 309L
5	OK 63.30; 63.80; 63.85 OK Autrod 316LSi Shield Bright 316L	10	OK 68.81 OK Autrod 312
		11	OK 67.13; 67.15 OK Autrod/Tigrod 310

Spawalność niektórych stali i stopów oraz dobór materiałów dodatkowych

Ferrytyczne stale nierdzewne

Ze względu na mniejszą zawartość Cr, stale ferrytyczne są tańsze od stali austenitycznych, mają dobrą odporność na korozję ogólną oraz korozję naprężeniową w środowiskach chlorków i są powszechnie stosowane przede wszystkim w przemyśle motoryzacyjnym. Ich skład chemiczny zwykle zawiera się w podanych granicach:

C	Cr	Ni	Mo
< 0,25 %	12 - 30 %	0 - 5 %	0 - 2 %

Struktura tych stali jest ferrytyczna, ale w niektórych gatunkach można spodziewać się głównie w SWC rozrostu ziarna oraz tworzenia martenzytu lub powstania kruchych faz podczas powolnego chłodzenia od temperatury około 1000°C. Dlatego te stale, w porównaniu do stali austenitycznych, są trudne do spawania, szczególnie przy dużych grubościach. Należy je spawać zasadniczo z podgrzewaniem. Temperatura może być określona eksperymentalnie, warunkami występowania pęknięć. Jeżeli nie ma takich możliwości, zalecana jest temperatura ok. 200°C. Energia liniowa spawania musi być ograniczona do minimum.

Z metod spawania są najczęściej używane MIG i TIG, z materiałami do spawania o podobnym składzie chemicznym lub materiałami austenitycznymi. Materiały austenityczne są nieodpowiednie, jeśli spoina jest narażona na atmosferę zawierającą związki siarki. Dla ręcznego spawania łukowego są używane elektrody zasadowe z niską zawartością wodoru dyfundującego w stopiwie. W przemyśle chemicznym, do produkcji kondensatorów i urządzeń do odsalania wody morskiej są używane też tzw. **superferrytyczne stale nierdzewne**. Mają one w stosunku do zwykłych stali ferrytycznych wyższą zawartość Cr, Mo, z dodatkiem innych mikroskładników. Spawalność tych stali jest dobra, ale wymaga bardziej rygorystycznego przestrzegania technologii spawania.

Stale nierdzewne typu Duplex

Stale ferrytyczno – austenityczne typu Duplex są bardzo ważną alternatywą dla stali austenitycznych odpornych na korozję. Stanowią bardzo korzystne połączenie cech stali ferrytycznych i austenitycznych – dobrej odporności korozyjnej i zwiększonej wytrzymałości. Umożliwia to eksploatację konstrukcji w tym samym lub dłuższym czasie, przy zmniejszeniu jej ciężaru, a tym samym kosztów materiałów i produkcji. Skład chemiczny zawiera się zwykle w podanych granicach:

C	Cr	Ni	Mo	Cu	N
<0,15%	18-30%	4-10%	0-3%	0-2%	~0,2%

Struktura stali Duplex jest dwufazowa, składająca się z 40 - 70% ferrytu i reszty austenitu. Do spawania można użyć wszystkich metod spawania łukowego. Ze względu na ryzyko rozrostu ziarna w SWC i możliwości wytrącania się węglików w wielowarstwowych spoinach przyjęte są ograniczenia wartości energii liniowej od 0,5 do 2,5 kJ / mm, przy temperaturze międzyścięgowej maks. 200 ° C. Do spawania używane są materiały dodatkowe o podobnym składzie chemicznym, ze zwiększoną zawartością niklu.

Stale z grupy **superduplex** mają zwiększoną zawartość głównie Ni, Mo i N, jak również i W, co korzystnie wpływa na przydatne własności, w tym także podnosi odporność na korozję wżerową, określaną współczynnikiem PRE (str. B2). Jego wartość dla tego typu stali jest powyżej 40 (stale austenityczne ok. 25). Spawalność tych stali jest bardzo dobra, ale warunki spawania są bardziej rygorystyczne - na przykład temperatura międzyścięgowa maksymalnie 150°C i energia liniowa podczas spawania w zakresie od 0,2 do 1,5 kJ / mm. W celu oszacowania zawartości fazy ferrytycznej jest zwykle używany wykres WRC 92 – (rys. 2).

Stale martenzytyczne

Nierdzewne stale martenzytyczne są rzadziej używane. Ze względu na skład chemiczny są hartowalne i przy dobrej odporności na korozję mają stosunkowo dobrą wytrzymałość. Ich przybliżony skład chemiczny jest następujący:

C	Cr	Ni	Mo
0,1 - 0,3 %	11 - 17 %	0 - 3 %	0 - 2 %

Spawalność tych gatunków jest gorsza niż w przypadku zwykłych stali ferrytycznych. Części są zwykle spawane po zahartowaniu i odpuszczeniu. Ze względu na strukturę martenzytyczną, są podatne na przegrzanie i rozrost ziarna głównie w SWC. Dlatego konieczne jest zastosowanie podgrzewania wstępnego i utrzymywanie temperatury międzyścięgowej zwykle do ok. 250°C. Z uwagi na skłonność do pęknięcia na zimno konieczna jest, zwłaszcza w konstrukcji spawanych o wysokiej sztywności, obróbka cieplna przeprowadzona jak najszybciej po spawaniu, bez chłodzenia do temperatury otoczenia. Jeżeli obróbka cieplna nie jest możliwa, należy spawać, wykonując austenityczne warstwy pośrednie. Zalecane są materiały dodatkowe o podobnym składzie chemicznym. Można też wybrać austenityczny materiał dodatkowy, jeśli ma odpowiednią wytrzymałość, a w razie potrzeby stop Ni-Cr lub Ni-Cr-Fe.

Spawalność staliwa, podobnie jak stali, zależy przede wszystkim od zawartości węgla i innych składników stopowych. Najłatwiej spawalne są staliwa węglowe o zawar-

tości do 0,25% C oraz staliwa stopowe o strukturze austenitycznej. W odlewach, ze względu na mniejszą plastyczność i większą ilość wad wewnętrznych, staliwo ma zwykle gorszą spawalność w porównaniu ze stałą o takim samym składzie chemicznym. Spawanie często odbywa się w stanie normalizowanym w odlewach ze stali niestopowej lub w stanie ulepszonym cieplnie w odlewach niskostopowych. Ogólnie, obowiązują te same zasady doboru spoiw, co dla analogicznych gatunków stali. Wskazane jest używanie zasadowych elektrod i topników.

Zeliwo

Zeliwo, jako stop żelaza z węglem (2 - 4,5%), krzemem (1 - 3%), manganem i innymi składnikami, o wysokiej zawartości zanieczyszczeń fosforem i siarką, jest zwykle dość trudne do spawania. Odlewy wykazują często chemiczne i strukturalne niejednorodności. Zeliwo ma niekorzystne własności mechaniczne - niską wytrzymałość i wysoką kruchość. Podane zasady dotyczą żeliwa szarego, ale można też spawać zeliwo ciągliwe i sferoidalne. Najczęściej naprawia się odlewy żeliwne „na zimno”, podanymi elektrodami utulonymi:

Baza Elektroda Zastosowanie

Ni	OK 92.18,	Wszędzie tam, gdzie konieczne jest stworzenie wytrzymałego a jednocześnie niezbyt twardego (150 HB) połączenia, które będzie można łatwo obrobić. Nie zaleca się do żeluz z wysoką zawartością P i S.
Ni-Fe	OK 92.58,	Gdy jest wymagana większa wytrzymałość lub chodzi o połączenie żeliwa szarego ze stałą oraz przy spawaniu żeliwa z wysoką zawartością P lub S. Twardość jest nieco wyższa niż przy stopach Ni, ale spoina może być obrabiana skrawaniem.
Ni-Cu	OK 92.78	Są często stosowane, zwłaszcza gdy trzeba dostosować kolor spoiny do materiału rodzimego. Obróbka mechaniczna spoiny jest bardzo łatwa.

Ogólne zasady spawania żeliwa szarego

Przygotowanie krawędzi

- zaleca się większy kąt ukosowania niż przy stali lub rowek typu U

- wszystkie krawędzie muszą być zaokrąglone a pęknięcia usunięte
- koniec pęknięcia należy zakończyć wywierconym otworem lub wykonać poprzeczną spoinę (ok. 2 cm) po obu stronach pęknięcia
- powierzchnia łączonych krawędzi musi być wolna od zanieczyszczeń i nasycenia olejem
- do przygotowania krawędzi można użyć elektrody OK 21.03

Spawanie

Zaleca się przestrzeganie następujących zasad:

- spawanie wykonuje się od środka pęknięcia, na przemian w obie strony, krótkimi ściegami (maks. długość 10 x średnica elektrody)
- natychmiast po spawaniu należy usunąć żużel, a świeżo ułożony ścieg przekuć zaokrąglonym młotkiem
- stosować możliwie najniższe natężenie prądu spawania i elektrody o małej średnicy
- jeśli podczas spawania występuje porowatość, należy ścieg usunąć i wykonać ponownie
- podczas spawania temperatura elementu nie powinna przekroczyć 100°C
- podczas spawania grubszych części wskazana jest technika z układaniem warstw pośrednich

Do napraw odlewów jest często używany drut rdzeniowy NICORE 55. Odlewy z żeliwa białego są uważane za niespawalne.

Stale trudno spawalne i połączenia różnoidalne

Biorąc pod uwagę, że istnieje wiele aplikacji, które nie mogą być tu szczegółowo opisane, do szybkiego doboru odpowiedniej elektrody można wykorzystać ogólne schematy, podane na następnej stronie. Do trudno spawalnych materiałów zaliczamy stal o wysokiej zawartości węgla (CE > 0,45), stal narzędziową, stal sprężynową, stале ulepszone cieplnie i stale o nieznanym składzie. W praktyce, przy naprawie różnego rodzaju części, gdy zwykle nie jest możliwe użycie podgrzewania wstępnego, jednym z najlepszych rozwiązań jest użycie austenitycznych lub niklowych materiałów dodatkowych. Najczęściej są używane:

Typ stopu	Elektroda	Drut lity/rdzeniowy
29Cr9Ni	OK 68.81, OK 68.82	OK Autrod 312
18Cr9Ni6Mn	OK 67.45	OK Autrod 16.95 OK Tubrodur 14.71 OK Tubrod 15.34
Stopy Ni	OK 92.26	OK Autrod 19.85

Dobór elektrod do połączeń różnoimiennych

1. OK 67.70, OK 67.75
2. OK 67.45, OK 68.81, OK 68.82



1. OK 92.26
2. OK 67.70, OK 67.75, OK 67.45
3. OK 63.30, OK 63.35



Do tego typu połączeń nie należy używać elektrod niestopowych

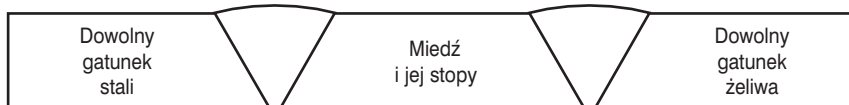
1. OK 92.18
2. OK 92.60



1. OK 92.60
2. OK 92.18



OK 94.25



1. Podstawowy wybór
2. Wybór w drugiej kolejności
3. Wybór w trzeciej kolejności

Zalecenia dotyczące prawidłowego materiałów spawalniczych do napraw i regeneracji

Wybór elektrod, drutów i topników do napraw i regeneracji powinien być dokonany w oparciu o informacje dotyczącą warunków pracy elementu lub jego części, rodzaju narażenia powierzchni roboczej a przede wszystkim w oparciu o identyfikację mechanizmu zużycia.

Ponieważ elektrody otulone do ręcznego spawania łukowego należą w tej dziedzinie nadal do powszechnie używanego typu materiału spawalniczego, w tabeli nr 1 można znaleźć zalecane rozwiązania zgodnie z określonymi, typowymi warunkami pracy regenerowanej części. Ponieważ w rzeczywistości występuje jednoczesny wpływ wielu czynników, podane zalecenia zostały opracowane na podstawie wyników praktycznych testów. W tabeli 2. można znaleźć przykłady zalecanych elektrod dla często poddawanych regeneracji części maszyn i urządzeń górniczych, ziemnych, młynów, narzędzi do pracy na zimno i na gorąco, stali Hadfielda itp.

Przy wyborze odpowiedniego materiału należy kierować się:

- typem zużycia
- warunkami roboczymi powierzchni
- wymaganiami dotyczącymi obróbki mechanicznej po napawaniu

W wyborze właściwego rodzaju stopu mogą być pomocne pytania:

1. Dotyczące składu chemicznego wybranego materiału dodatkowego:

- a) jaki rodzaj stopiwa jest użyteczny i odpowiedni ?
- b) czy wymagane jest podgrzewanie wstępne ?
- c) czy potrzebne jest ułożenie warstwy buforowej pomiędzy materiałem rodzimym i napoiną ?

2. Dotyczące warunków spawania:

- a) czy jest możliwe wykonanie podgrzewania ? Jeśli nie, użycie materiałów utwardzających może być bardzo ograniczone. Wtedy zazwyczaj zaleca się elektrody austenityczne oraz na bazie niklu:
 - austenityczne, np. OK 67.45, OK 67.75
 - ferrytyczno-austenityczne, np. OK 68.81, OK 68.82
 - na bazie niklu, np. OK 92.18, OK 92.60, OK 92.26, OK 92.35

- b) w jakiej pozycji będzie przeprowadzona naprawa? Pozycja spawania może mieć wpływ na wybór technologii, a także ograniczyć wybór najlepszego materiału spawalniczego.
- c) czy będzie możliwe wykorzystanie metody MIG/MAG lub spawania łukiem krytym ?
- d) do jakich metod spawania służą dostępne materiały dodatkowe ?

3. Warunki robocze regenerowanej części:

- a) jaki jest główny mechanizm zużycia danej części (ścieranie, tarcie metal-metal, erozja, kawitacja, itp.) ? Aby zapewnić odporność na ścieranie powodowane przez skały, rudę i minerały - zalecane jest stosowanie zarówno twardego stopiwa bezpośrednio po spawaniu, lub stopiwa, które utwardza się pod wpływem zgniotu i uderów. Zalecane są elektrody OK 84.78, OK 84.80, OK 84.58, OK 83.65, OK 86.08, 86.28. Dla uzyskania odporności na zużycie erozyjne wymagana jest twarda powierzchnia oraz drobnoziarnista mikrostruktura napoiny. Zalecane są elektrody OK 84.80, OK 84.78, OK 84.58, OK 85.65, OK 83.65, EN 600B, OK 84.84.

Zużyciu kawitacyjnemu turbin wodnych zwykle zapobiega się prewencyjnym napawaniem elektrodami austenitycznymi. Jest najczęściej używaną elektroda do tego celu jest OK 63.35, ale także można użyć OK 67.70, OK 67.71, OK 68.81, OK 68.82.

4. Wpływ środowiska, w którym element lub konstrukcja pracuje:

- a) czy występuje obecność czynników wywołujących korozję ?
- b) jaka jest temperatura eksploatacyjna części – niska czy wysoka ?

Aby uzyskać odporność na zużycie w agresywnym środowisku, stopiwo musi wykazywać odporność mechaniczną i jednocześnie być częściowo lub w pełni nierdzewne, w zależności od stopnia narażenia na korozję.

Wybór odpowiedniego rodzaju materiału w dużej mierze zależy od nabytego doświadczenia i prawidłowej oceny poszczególnych czynników.

Tabela 1. **Napawanie i platerowanie. Dobór elektrod spełniających różne warunki pracy**

Rodzaj narażenia	Stopień odporności 5. - doskonała, 3. - dobra, 1. - ograniczona
Korozja <u>Wymaganie:</u> Odporność na korozję	5. OK 92.26, OK 92.35, OK 94.25 4. OK 68.81, OK 68.82, OK 67.45 3. OK 84.80, OK 84.78, OK 84.42 2. OK 84.58, OK 83.50, EN 600B 1. OK 83.28, OK 83.65, OK 85.58, OK 85.65, OK 86.08, OK 86.28
Wysoka temperatura Utlenianie <u>Wymaganie:</u> Odporność na zgorzelinę	5. OK 92.26, OK 92.35 4. OK 68.81, OK 68.82, OK 84.78, OK 67.45, OK 67.13, OK 67.15, OK 83.65, OK 84.80 3. OK 84.42, OK 84.58, OK 85.58, OK 85.65 2. OK 83.50, EN 600B 1. OK 83.28, OK 86.08, OK 86.28
Wysoka temperatura <u>Wymaganie:</u> Twardość w wysokiej temp., odporność na odpuszczanie	5. OK 92.35 4. OK 84.78, OK 85.58, OK 85.65 3. OK 84.42, EN 600B, OK 84.58, OK 83.65 2. OK 83.28, OK 68.81, OK 68.82, OK 86.08 1. OK 67.45, OK 67.60
Niska temperatura <u>Wymaganie:</u> Zachowanie własności w niskiej temperaturze	5. OK 92.26, OK 92.35, OK 67.45, OK 94.25 4. OK 67.45, OK 86.08 3. OK 83.28, OK 68.81, OK 68.82 2. OK 83.50, OK 84.42, EN 600B 1. OK 83.65, OK 84.58, OK 84.78, OK 85.65
Rodzaj zużycia: Udar, duży nacisk <u>Wymaganie:</u> Odporność na udar i nacisk	5. OK 92.35, OK 86.08, OK 68.81, OK 68.82 4. OK 67.45, OK 83.28 3. OK 92.26 2. OK 84.42, EN 600B, OK 85.65 1. OK 83.50, OK 83.65, OK 84.58, OK 84.78, OK 94.25
Zużycie skałą, rudą itp. <u>Wymaganie:</u> Wysoka twardość lub umocnienie zgniotem	5. OK 84.78, OK 84.84, OK 84.80 4. OK 86.08, OK 83.65, OK 85.65 3. OK 83.50, OK 84.58, OK 84.42, EN 600B 2. OK 85.58, OK 68.81, OK 68.82, OK 67.45 1. OK 83.28
Ścieranie drobnziarnistymi minerałami (piasek, glina) <u>Wymaganie:</u> Wysoka twardość powierzchni	5. OK 84.84, OK 84.78, OK 84.80 4. OK 83.65, OK 85.65 3. OK 84.58, OK 83.50, EN 600B 2. OK 84.42, OK 68.81, OK 68.82 1. OK 67.45, OK 83.28, OK 86.08
Kawitacja	5. OK 63.35, OK 67.71, OK 68.17 4. OK 67.45, OK 94.25 3. OK 84.42 2. EN 600B, OK 84.58 1. OK 83.28

Tab. 2 - Elektrody, druty i topniki do napraw i regeneracji (wybrane aplikacje)

Napawane elementy	Wymagana twardość napojiny	MMA	MAG, FCAW i SAW	Dodatkowa obróbka cieplna po napawaniu
Wąty	< 250 HV	OK 48.XX, OK 55.00	OK Flux 10.40 OK Flux 10.71/ OK Autrod 12.40+ OK Autrod 13.12	Wyzarzanie odprężające
	200-300 HV	OK 74.78, OK 74.70	OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.10	Wyzarzanie odprężające
	30-35 HRC	OK 83.28	OK Flux 10.40, 10.71/ OK Tubrodur 15.40	Wyzarzanie odprężające
	35-40 HRC		OK Flux 10.40, OK Flux 10.71 , OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.40+	Wyzarzanie odprężające
	44-49 HRC 50-56 HRC	OK 84.42 EN 600B		
Ogniwa gąsiennic	30-35 HRC	OK 83.28	OK Flux 10.61 +/ OK Tubrodur 15.73	
	35-40 HRC		OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.10 , OK Tubrodur 15.43 OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.40+ OK Flux 10.71/ OK Tubrodur 15.40	
Płyty, walce i rolki	31-35 HRC	OK 83.28	OK Tubrodur 15.43	
	45-50 HRC**	OK 86.28 + OK 86.08	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65 +	
		** po utwardzeniu zgniotem		
Szczęki hamulcowe	30-35 HRC	OK 83.28	OK Tubrodur 15.43	
	45-50 HRC**	OK 86.08	OK Tubrodur 15.60	
		** po utwardzeniu zgniotem		
Łopatkki mieszadeł	50-56 HRC	EN 600B		
	55-63 HRC	OK 84.58 OK 84.78*	OK Tubrodur 15.73 OK Tubrodur 14.70*	
	> 62 HRC	OK 84.80, OK 84.84		
Części młynów, kruszarek, młotków	55-58 HRC	OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 83.65, OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*	
	> 63 HRC	OK 84.80	PZ 6168	

* twardość węglików chromu ok. 1500 HV

** po utwardzeniu zgniotem

Tab. 2 - **C-d.**

Napawane elementy	Wymagana twardość napoiwy	MMA	MAG, FCAW i SAW	Dodatkowa obróbka cieplna po napawaniu
Zęby czepaków koparek (odkuwki) łączenie		OK 48.XX, OK 55.00 OK Femax 38.65	OK Autrod 12.51, OK Aristorod 12.50	
	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 15.40 + OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 48.XX + OK 83.65 OK 84.78*, OK 84.80	OK Tubrodur 14.70*	
Zęby czepaków koparek (stal 13% Mn) łączenie		OK 63.35, OK 67.45	OK Tubrodur 14.71, OK Tubrodur 15.34	
	≈ 50 HRC	OK 48.XX + EN 450B OK 84.42	OK Tubrodur 15.40	
	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	> 62 HRC	OK 84.84	PZ 6168	
Łączki koparek łączenie				
		OK 63.35, OK 67.45	OK Tubrodur 14.71, OK Autrod 312	
		OK 67.75, OK 68.81	OK Autrod 309L, OK Autrod 16.95	
		OK 68.82		
Napawanie	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 84.78 + OK 84.80	OK Tubrodur 14.70*	
Koła toczne dźwigów	< 250 HV	OK 48.XX	OK Flux 10.40, 10.71/OK Autrod 12.40+	Wyzarzanie odprężające
	200-300 HV	OK 74.78	OK Autrod 13.12	
	30-35 HRC	OK 83.28	OK Flux 10.96/OK Autrod 12.10	Wyzarzanie odprężające
	40-45 HRC**	OK 86.08 OK 86.28+	OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.40 OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65+	
Ostrza gilotyń	50-56 HRC	EN 600B	OK Tubrodur 15.73	
Narzędzia do pracy na zimno	60-65 HRC	OK 85.65		

* twardość węglików chromu ok. 1500 HV

** po utwardzeniu zgniotem

Tab. 2 - **C.d.**

Napawane elementy	Wymagana twardość napoiwy	MMA	MAG, FCAW i SAW	Dodatkowa obróbka cieplna po napawaniu
Koła zębate	< 250 HV	OK 48.XX	OK Autrod 12.51	
	200-300 HV	OK 74.78	OK Aristorod 13.12	
	30-35 HRC	OK 83.28	OK Tubrodur 15.43	
Podajniki ślimakowe	44-49 HRC	OK 84.42, EN 450B	OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.40	
	51-56 HRC	EN 600B	OK Tubrodur 15.73 + OK Autrod 13.91	
	55-58 HRC	OK 84.58	OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.52	
Czerpaki pogłębiarek (stal 13% Mn)	30-40 HRC**	OK 67.52, OK 67.45	OK Tubrodur 14.71, OK Autrod 16.95	
	50-56 HRC	OK 68.81, OK 68.82	OK Autrod 312	
	55-63 HRC	EN 600B	OK Tubrodur 15.52	
		OK 84.58, OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*	
		OK 84.80		
		200-230 HV	OK 86.08	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65+
Czerpaki, łączniki ze stali niestopowej i niskostopowej	50 HRC	OK 86.28+		
	30-50 HRC**	OK 67.45	OK Tubrodur 14.71, OK Autrod 16.95	
	55-58 HRC	OK 48.XX	OK Tubrodur 15.52, OK Autrod 13.91	
	> 62 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 14.70*	
		OK 84.78*, OK 84.80		
		OK 84.84	PZ 6168	
Prewencyjne napoiwy w "szachownicę", napawanie płyt ściernych	< 250 HV	OK 48.XX	OK Autrod 12.51	
	200-300 HV	OK 74.78	OK Aristorod 13.12	
	200-230 HV	OK 67.45	OK Tubrodur 14.71	
	31-35 HRC	OK 83.28	OK Tubrodur 15.40, OK Tubrodur 15.43	
44-50 HRC	OK 84.42, OK 86.28**+	OK Tubrodur 15.42, OK Tubrodur 15.65**+		
50-58 HRC	OK 84.58	OK Tubrodur 15.52		
58-63 HRC	OK 83.65, OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*		
> 62 HRC	OK 84.80, OK 84.84	PZ 6168		

* twardość węglików chromu ok. 1500 HV

** po utwardzeniu zgniotem

Tab. 2 - **C-d.**

Napawane elementy	Wymagana twardość napoiwy	MMA	MAG, FCAW i SAW	Dodatkowa obróbka cieplna po napawaniu
Stal niestopowa i niskostopowa	< 250 HV	OK 48.XX	OK Flux 10.40, 10.71/OK Autrod 12.40+	
	250-300 HV	OK 74.78	OK Autrod 13.12	
	31-35 HRC	OK 83.28	OK Flux 10.96/OK Autrod 12.10	
	45-50 HRC**	OK 86.28+	OK Tubrodur 15.43	
	50-58 HRC	OK 84.58	OK Tubrodur 15.65+ OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.52 OK Autrod 13.91	
Stal Hadfielda (13% Mn)	200-230 HV 400 HV**	OK 86.08, OK 86.28+ OK 67.45, OK 67.52	OK Tubrodur 14.71, OK Tubrodur 15.60 OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 14.71	
Narzędzia kuźnicze	31-35 HRC	OK 83.28	OK Tubrodur 15.40, OK Tubrodur 15.43	
	≈ 40 HRC**	OK 92.35		
	≈ 45 HRC	OK 84.42	OK Tubrodur 15.73	
	40-52 HRC		OK Tubrodur 15.86+	
Kruszarki płyty ze stali 13% Mn stożki ze stali 13% Mn wrzeczona ze stali 13% Mn obudowy ze stali 13% Mn rolki itp.	200-230 HV	OK 86.08, OK 86.28+	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65+	
	45-50 HRC**	OK 86.08 , OK 86.28+	OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65+	
	55-58 HRC	OK 48.XX + OK 84.58	OK Tubrodur 15.52	
	58-63 HRC	OK 48.XX + OK 83.65		
Nożyce	60-65 HRC	OK 84.78*	OK Tubrodur 14.70*	Odpuszczanie 525°C
	≈ 45 HRC**	OK 85.65	OK Tubrodur 15.87+	Odpuszczanie 550°C
Walce hutnicze do stali węglowych i niskostopowych	250-300 HV	OK 85.58		
	30-35 HRC	OK 74.78	OK Tubrodur 15.40, OK Autrod 13.12	Wyzarzanie odprężające 500°C
	40-50 HRC	OK 83.28	OK Flux 10.71/OK Tubrodur 15.42, OK Tubrodur 15.43	Wyzarzanie odprężające 560°C
	44-50 HRC	OK 92.35	OK Flux 10.96/ OK Autrod 12.40+ OK Flux 10.61 +/OK Tubrodur 15.73	Wyzarzanie odprężające 500°C
	40-52 HRC	OK 84.42	OK Tubrodur 15.86+	

+ materiał spoza standardowej oferty

* twardość węglików chromu ok. 1500 HV

** po utwardzeniu zgięciem

OK 48.XX dowolna elektroda tego typu

Spawalność aluminium i jego stopów

Aluminium i jego stopy można podzielić na dwie grupy pod względem spawalności:

- materiały odpowiednie do spawania - Al, stopy AlMn, AlMg, AlSi
- stopy trudne do spawania - stopy AlCuMg, AlMgSi, AlZnMg

Przed przystąpieniem do spawania należy znać rodzaj stopu lub ustalić skład na drodze analizy chemicznej. Należy wziąć pod uwagę znaczące różnice we właściwościach aluminium i stali, na przykład:

- przewodność cieplna i elektryczna aluminium jest około 4 razy większa, a rozszerzalność cieplna 2 razy wyższa,
- 4 razy mniejsza wytrzymałość niż stali,
- temperatura topnienia - Al - ~ 635°C (stal 1535°C),
- występowanie na powierzchni aluminium i jego stopów trudnotopliwych tlenków (temperatura topnienia 2046°C)

Dominującymi metodami spawania jest MIG i TIG, ale można również użyć elektrod otulonych, spawania plazmowego itp. Warunkiem uzyskania dobrej jakości połączenia jest duża czystość spawanych powierzchni, duża czystość gazu osłonowego, jak również właściwe dopasowanie łączonych elementów i prawidłowe geometria złącza.

Do spawania metodą MIG zalecane jest źródło prądu DC z „gorącym startem”, podajnik wyposażony w rolki z rowkiem w kształcie litery U, teflonowe przewodniki i jako gaz osłonowy mieszanka Ar + He lub He. Do spawania metodą TIG wymagane jest źródło prądu AC z „gorącym startem”, z możliwością pulsacji oraz gaz osłonowy Ar lub mieszanina Ar+He.

Dodatkowe materiały spawalnicze są wybierane w zależności od składu chemicznego materiału podstawowego oraz z uwagi na dominujące wymagania konstrukcji. Zalecane materiały umieszczono w tabeli 3.

Tab. 3

Typ materiału	PN	W. Nr.	AA EN AWS	Elektroda otulona OK	Drut / pręt MIG OK AUTROD TIG OK TIGROD
Al					
Al 99,8	A00	3.0285	1080		1450
Al 99,7		3.0275	1070A		1070, 1450
Al 99,6	A0		1060		1070, 1450
Al 99,5 E		3.0257	1350		1070, 1450
Al 99,5	A1	3.0255	1050A		1070, 1450
Al 99		3.0205	1200		1070, 1450
Al 99,0 Cu	A2		1100		5356 ¹⁾
Al 98		3.0185			1450
AlMn					
AlMn0,6		3.0506		96.20	
AlMn1	PA1	3.0515	3103	96.20	1070, 1450, 5754
AlMnCu		3.0517		96.20	
AlMn1Cu			3003		1450
AlMn1Mg1	PA43		3004	96.20	4043, 5754
					5356 ¹⁾ , 5183
AlMn1Mg0,5			3005		5754, 5356 ¹⁾
AlMg					
AlMg1		3.3315	5005	96.20	5754, 5356
AlMg1,5			5050		1450
AlMg1,8		3.3326			5754
AlMg2	PA2		5051		5754, 5356

Tab. 3 - c.d.

Typ materiału	PN	W. Nr.	AA EN AWS	Elektroda otulona OK	Drut / pręt MIG OK AUTROD TIG OK TIGROD
AlMg2,5 AlMg3	PA11	3.3535	5052 5754		4043, 5754 5754, 5356 ¹⁾ 5183, 5087
AlMg4 AlMg5	PA20	3.3555	5086 5056		5356 5356, 5183 5087
AlMg6 AlMg7				96.50 96.50	4047 4047
AlMgMn		3.3527		96.20	5754, 5356 5183
AlMg2Mn0,8		3.3527			5754, 5183 5087
AlMg2,7Mn		3.3537			5754, 5356 5183, 5087
AlMg4Mn		3.3545			5356, 5183 5087
AlMg4,5Mn	PA13	3.3547	5083		5356, 5183 5087
AlMgSi0,5		3.3206	6060	96.40	4043, 5754 5356, 5183 5087
AlMgSi0,7		3.3210		96.40	4043, 5754 5356, 5183 5087
AlMgSi0,8		3.2316		96.40	4043, 5754 5356, 5183 5087
AlMg0,5Si AlMg1Si1		3.2315	6063	96.40 96.40	4043, 5356 5183, 5087
AlMg1SiCu	PA45	3.3211		96.40	4043, 5356 5183, 5087
AlMgSi1Mn	PA4		6082	96.50	4043, 4047, 5356 5183, 5087
AlMg5Si1 G-AlMg3		3.3541		96.40	4043, 5356, 5183 5754, 5356 5183
G-AlMg5		3.3561			5356, 5183 5087
G-AlMg10 G-AlMg3Si		3.3241			5356, 5183 5356, 5183
G-AlMg3Cu G-AlMg5Si		3.3261			5356, 5183 5356, 5183 5087
G-AlMg10Cu					5356, 5183

Tab. 3 - c.d.

Typ materiału	PN	W. Nr.	AA EN AWS	Elektroda otulona OK	Drut / pręt MIG OK AUTROD TIG OK TIGROD
AlSi					
AlSi5		3.2345		96.40	4043
AlSi9				96.50	4047
AlSi12				96.50	4047
AlSi5Cu3				96.40	4043
AlSi6Cu4			AA 319	96.40, 96.50	4043, 4047
AlSi7Cu3				96.40, 96.50	4043, 4047
AlSi7Mg			AA 356	96.40, 96.50	4043, 4047
G-AlSi12	AK7	3.2581		96.50	4047
G-AlSi12Cu		3.2583	(4032)	96.50	4047
G-AlSi11		3.2211		96.50	4047
G-AlSi10Mg	AK11	3.2381		96.50	4047
G-AlSi10MgCu		3.2383		96.50	4047
G-AlSi9Mg		3.2373		96.50	4047
G-AlSiMg	AK 9	3.2371		96.40	4043
G-AlSi5Mg		3.2341		96.40	4043
G-AlSi8Cu3		3.2161		96.50	4047
G-AlSi6Cu4				96.40, 96.50	4043, 4047
AlZn					
AlZnMg1		3.3547		96.40	5356, 5183
AlZn4,5Mg1	PA47	3.4335		96.40	4043, 5356 5183, 5087
AlZn5Mn			D 712		4043, 5356
AlCu					
AlCuMg1		3.1325		96.40	4043, 5183 5087
AlCu4Mg			2017	nie zaleca się spawania	
AlCu4Mg1			2024	nie zaleca się spawania	
AlCu4MgPb		3.1645	2030	nie zaleca się spawania	
AlCu4SiMg		3.1255	2014	nie zaleca się spawania	
AlFe					
AlFeSi				96.40	4043

1) OK AUTROD 5356 może być zastąpiony drutem OK AUTROD 5183, lub OK AUTROD 5087, jeżeli temp. pracy nie przekracza 65°C.

Rodzaj stopu	Zalecany materiał dodatkowy do metody spawania						
	Oznaczenie	W.Nr.	Cecha stopu	111	131	141	12
Czysty nikiel i stopy Ni - Mn							
Ni 99,6	2.4060						
LC-Ni 99,6	2.4061	205					
Ni 99,4 Fe	2.4062						
Ni92,2	2.4066	200					
LC Ni99	2.4068	201					
NiMn1	2.4106						
NiMn1C	2.4108		OK 92.05	OK A 19.92	OK T 19.92		
NiMn1,5	2.4109						
NiMn2	2.4110						
NiMn5	2.4116						
NiMn3Al	2.4122						
NiAl4Ti	2.4128						
G-Ni95	2.4170						
G-Ni93C	2.4175						
Stopy Ni - Cu							
NiCu30Fe	2.4360	400					
LC-NiCu30Fe	2.4361		OK 92.86	OK A 19.93	OK T 19.93		
G-CuNi30Nb	2.4365						
NiCu30Al	2.4375	K-500					
Stopy Ni - Cr +.., Ni - Mo +..							
NiCr21Mo14W	2.4602	22					
NiCrMo16Al	2.4605	59	OK 92.59	OK A 19.81	OK T 19.81	OK A 19.81 + OK 10.90	
NiMo16Cr16Ti	2.4610	C-4					
Stopy Ni - Cr - Mo							
NiCr22Mo6Cu	2.4618		OK 92.45	OK A 19.82	OK T 19.82	OK A 19.82 + OK 10.90	
NiCr22Mo7Cu	2.4619	G-3					
NiCr21Mo6Cu	2.4641						
NiCr20CuMo	2.4660	20					
Stopy Ni - Cr - Ti							
NiCr20Ti	2.4630		OK 92.26	OK A 19.82	OK T 19.82	OK A 19.82 lub 19.85	
NiCr20TiAl	2.4631		OK 92.45	OK A 19.85	OK T 19.85	z topnikiem OK 10.90	
			OK 92.82				
Stopy Ni - Cr - Fe +..., inne							
NiCr15Fe7TiAl	2.4669	X-750	OK 92.26	OK A 19.85	OK T 19.85	OK A 19.85 + OK 10.90	
			OK 92.82				
NiCr15Fe	2.4816	600/600H	OK 92.26	OK A 19.82	OK T 19.82	OK A 19.82 lub 19.85	
LC-NiCr15Fe	2.4817	600L	OK 92.45	OK A 19.85	OK T 19.85	z topnikiem OK 10.90	
NiCr23Fe	2.4851	601H	OK 92.82				
NiMo16Cr15W	2.4819	C-276	OK 92.59	OK A 19.81	OK T 19.81	OK A 19.81 + OK 10.90	
NiCr21Mo	2.4858	825	OK 92.45	OK A 19.82	OK T 19.82	OK A 19.82 + OK 10.90	
NiCr 60 15	2.4867		OK 92.26				
NiCr 80 20	2.4869		OK 92.86	OK A 19.85	OK T 19.85	OK A 19.85 + OK 10.90	
NiCr20Ti	2.4951	75					

Wytłuszczonym drukiem zaznaczono gatunki z podstawowej oferty