

# Podręcznik spawania metodą MAG stali niestopowych niskostopowych i średniostopowych



AGENDA WYDAWNICZA



przegląd  
**SPAWALNICTWA**

# SPIS TREŚCI

<b>WSTĘP</b>	<b>11</b>
<b>1. Charakterystyka spawania stali elektrodą topliwą w osłonie gazu aktywnego (metodą MAG)</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Podstawowe cechy spawania stali metodami MAG i MIG</b>	<b>13</b>
1.1.1. Spawanie stali metodą MAG drutem litym – proces 135	15
1.1.2. Spawanie stali drutem z rdzeniem proszkowym w osłonie gazowej	17
1.1.3. Spawanie stali drutem z rdzeniem proszkowym samoosłonowym	19
<b>1.2. Specjalne procesy spawania metodą MAG</b>	<b>20</b>
1.2.1. Proces CMT – spawanie MAG z impulsowym podawaniem drutu	20
1.2.2. Proces STT	22
1.2.3. Spawanie punktowe metodą MAG	23
1.2.4. Spawanie wąskoszczelinowe RGT	24
1.2.5. Lutospawanie metodą MAG	25
<b>2. Urządzenia do spawania stali metodą MAG</b>	<b>26</b>
<b>2.1. Źródła energii do spawania metodą MAG</b>	<b>26</b>
2.1.1. Charakterystyka statyczna źródła do spawania metodami MIG/MAG	27
2.1.2. Samoregulacja długości łuku przy spawaniu metodą MIG/MAG	28
2.1.3. Rodzaj i biegunowość prądu spawania	29
<b>2.2. Rodzaje i właściwości źródeł energii do spawania metodą MAG</b>	<b>30</b>
2.2.1. Źródła prostownikowe	30
2.2.2. Źródła inwertorowe	31
<b>2.3. Sterowanie parametrami spawania w procesach MIG/MAG</b>	<b>31</b>
2.3.1. Spawanie prądem pulsującym	32
2.3.2. Spawanie synergiczne metodami MIG/MAG	33
<b>2.4. Budowa i działanie urządzeń do spawania stali metodą MAG</b>	<b>36</b>

2.4.1. Podajniki drutu elektrodowego	36
2.4.2. Przewód prowadzący drut elektrodowy i przewód wielofunkcyjny	41
2.4.3. Uchwyty elektrodowe	43
2.4.4. Butle na sprężone gazy osłonowe	45
2.4.5. Zawory butlowe	46
2.4.6. Butlowe reduktory ciśnienia gazu z przepływomierzem	46
2.4.7. Podgrzewacze gazu (dwutlenku węgla)	49
2.5. Przygotowanie do pracy urządzeń do spawania MIG/MAG	49
<b>3. Właściwości i spawalność stali niestopowych, nisko- i średniostopowych</b>	<b>51</b>
3.1. Podstawowe wiadomości o stalach	51
3.2. Klasyfikacja i oznaczanie stali niestopowych i niskostopowych	54
3.3. Uwagi o spawalności stali	58
3.4. Równoważnik węgla stali niestopowych i niskostopowych	59
3.5. Stale niestopowe (niskowęglowe) i ich spawalność	60
3.6. Stale drobnoziarniste	64
3.6.1. Stale drobnoziarniste normalizowane lub walcowane normalizująco	64
3.6.2. Stale drobnoziarniste ulepszone cieplnie	66
3.6.3. Stale drobnoziarniste walcowane termomechanicznie	67
3.7. Stale konstrukcyjne trudno rdzewiejące	69
3.8. Stale niestopowe i stopowe stosowane w niskiej temperaturze	70
3.9. Stale nisko- i średniostopowe do pracy w podwyższonej temperaturze	73
3.9.1. Charakterystyka stali do pracy w podwyższonej temperaturze	73
3.9.2. Spawanie stali do pracy w podwyższonej temperaturze	75
3.10. Staliwa niestopowe	78
<b>4. Druty elektrodowe lite do spawania metodą MAG stali niestopowych, nisko- i średniostopowych</b>	<b>80</b>
4.1. Charakterystyka użytkowa drutów elektrodowych litych do spawania metodą MAG	80
4.2. Klasyfikacja i oznaczanie drutów litych do spawania stali niestopowych i niskostopowych konstrukcyjnych	84

4.3. Klasyfikacja i oznaczanie drutów litych do spawania metodą MAG stali do pracy w podwyższonej temperaturze	87
4.4. Dobór spoiwa do spawania stali niestopowych i niskostopowych	90
4.4.1. Dobór stopiwa pod względem zapewnienia wytrzymałości połączenia	91
4.4.2. Dobór spoiwa pod względem udatności (odporności na kruche pękanie)	93
4.4.3. Uwzględnianie czynników technologicznych przy doborze spoiwa	93
5. Gazy osłonowe do spawania metodą MAG stali niestopowych, nisko- i średniostopowych	95
5.1. Uwagi wstępne	95
5.2. Cechy fizyczne gazów wpływające na ich przydatność do spawania	95
5.3. Charakterystyka podstawowych gazów do spawania metodą MAG	98
5.3.1. Dwutlenek węgla	98
5.3.2. Argon	99
5.3.3. Tlen	100
5.4. Mieszanki gazów do spawania metodą MAG stali niestopowych, nisko- i średniostopowych	101
5.5. Klasyfikacja i oznaczanie gazów do spawania	105
5.6. Wpływ składu gazu osłonowego na spawanie metodą MAG stali niestopowych, nisko- i średniostopowych	107
5.6.1. Wpływ gazu osłonowego na formę przepływu stopiwa w łuku	107
5.6.2. Wpływ gazu osłonowego na porowatość spoin	108
5.6.3. Wpływ gazu osłonowego na rozprysk stopiwa	109
5.6.4. Wpływ gazu osłonowego na własności mechaniczne spoiny	111
5.6.5. Efektywność osłony gazowej łuku	111
6. Technologia spawania stali niestopowych, nisko- i średniostopowych metodą MAG drutem litym (135)	114
6.1. Wymagany stan powierzchni w obszarze złącza przed jego spawaniem	114
6.2. Przygotowanie brzegów złącza do spawania metodą MAG (135)	115
6.3. Struktura i właściwości złącza spawanego ze stali niestopowych i niskostopowych	120
6.4. Zabiegi cieplne związane ze spawaniem stali konstrukcyjnych	125

6.4.1. Wstępna obróbka cieplna	125
6.4.2. Podgrzewanie przed spawaniem i w trakcie spawania.	125
6.4.3. Temperatura podgrzewania złączy spawanych ze stali niestopowych i niskostopowych	127
6.4.4. Obróbka cieplna złączy po spawaniu	129
6.5. Wpływ czynników technologicznych/parametrów spawania metodą MAG (135) na właściwości spoiny	130
6.5.1. Uwagi wstępne	130
6.5.2. Rodzaj i biegunowość prądu spawania	131
6.5.3. Napięcie łuku	132
6.5.4. Natężenie prądu spawania	133
6.5.5. Rodzaj i średnica drutu elektrodowego	135
6.5.6. Długość wysunięcia (wolnego wylotu) drutu elektrodowego	136
6.5.7. Prędkość podawania drutu elektrodowego	138
6.5.8. Prędkość spawania	139
6.5.9. Rodzaj gazu osłonowego i natężenie jego wypływu	140
6.5.10. Pochylenie osi wzdłużnej spoiny	141
6.6. Formy przepływu stopiwa w łuku podczas spawania metodą MAG	142
6.7. Parametry technologiczne spawania stali konstrukcyjnych metodą MAG	147
7. Technika spawania stali metodą MAG drutem litym	155
7.1. Technika układania ściegu	155
7.2. Pochylenie uchwytu spawalniczego względem kierunku spawania	156
7.3. Spawanie w pozycji podolnej (PA)	157
7.4. Spawanie w pozycji nabocznej (PB)	159
7.5. Spawanie w pozycji pionowej (PF i PG)	160
7.6. Spawanie w pozycji naściennej (PC)	162
7.7. Spawanie w pozycji pułapowej (PE)	163
8. Niezgodności spawalnicze typowe dla spawania stali metodą MAG drutem litym	164

8.1. Uwagi o niezgodnościach w złączach spawanych metodą TIG	164
8.2. Pęcherze gazowe, pory	164
8.3. Przyklejenia (braki wtopienia)	166
8.4. Braki przetopu	167
8.5. Podtopienia	167
8.6. Odpryski stopiwa	169
9. Przykładowe pytania egzaminacyjne dotyczące spawania metodą MAG stali niestopowych, nisko- i średniostopowych	170
10. NAZWY, DEFINICJE, OBJAŚNIENIA	183
LITERATURA	189
NORMY	190

Zgodnie z przyjętymi w Polsce zasadami kwalifikowanie spawaczy obejmuje ich szkolenie i egzaminowanie zarówno z wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych w zakresie spawania poszczególnych rodzajów materiałów przy użyciu określonych metod. Zasady te są opisane w pierwszym zeszytzie serii wydawniczej *Podręcznik spawania – zagadnienia ogólne*, zawierającym informacje niezbędne w nauczaniu każdej metody spawania.

Seria podręczników zawierających zwięźle podany słuchaczom materiał dotyczący poszczególnych procesów spawania, jest wydawana i rozprowadzana przez Przegląd Spawalnictwa. Szczegółowe informacje znajdują się na stronie [www.pspaw.pl](http://www.pspaw.pl).

Niniejszy zeszyt – oznaczony numerem 6 – obejmuje wiadomości niezbędne uczestnikom (i praktykującym absolwentom) kursów spawania stali ferrytycznych – od niestopowych do średniostopowych – metodą MAG drutami litymi. Inne procesy spawania są opisane w następujących zeszytach:

- Zeszyt 2: Podręcznik spawania aluminium i jego stopów metodą TIG
- Zeszyt 3: Podręcznik spawania aluminium i jego stopów metodą MIG
- Zeszyt 4: Podręcznik spawania stali nierdzewnych metodą TIG
- Zeszyt 5: Podręcznik spawania stali niestopowych metodą TIG
- Zeszyt 7: Podręcznik spawania stali niestopowych elektrodami otulonymi
- Zeszyt 8: Podręcznik spawania stali nierdzewnych metodą MAG
- Zeszyt 9: Podręcznik spawania stali nierdzewnych elektrodami otulonymi
- Zeszyt 10: Podręcznik spawania miedzi i jej stopów metodą TIG
- Zeszyt 11: Podręcznik spawania gazowego i cięcia stali

Często zdarza się, że osoba szkolona w zakresie spawania stali niestopowych i niskostopowych metodą MAG (lub w innym zakresie) posiada już kwalifikacje potwierdzone zdaniem egzaminem z innego procesu spawania. Wówczas szkolenie teoretyczne może trwać tylko 8 godzin i obejmować zagadnienia wyłącznie dotyczące spawania procesem 135, zawarte w niniejszym podręczniku. Jeśli natomiast szkolenie w spawaniu stali niestopowych i niskostopowych metodą MAG drutami litymi (135) jest pierwszym szkoleniem spawalniczym, nauczanie teoretyczne powinno obejmować również materiał zawarty w *Podręczniku spawania – zagadnienia ogólne. Zeszyt 1*. Liczba godzin pełnego szkolenia jest wtedy oczywiście większa.

W tym zeszytzie szczegółowo scharakteryzowano tylko spawanie metodą MAG drutami litymi (proces 135) w zastosowaniu do ferrytycznych stali konstrukcyjnych niestopowych, niskostopowych i średniostopowych ujętych w grupach materiałowych od 1 do 6 oraz 11 wg Raportu Technicznego CR ISO 15608. Spawanie metodą MAG stali wysokostopowych (głównie nierdzewnych), występujących w grupach materiałowych od 7 do 10, jest treścią *Podręcznika spawania stali nierdzewnych – Zeszyt 8*.

Podano tu również krótkie charakterystyki spawania niektórymi odmianami metody MAG, np. drutami proszkowymi o rdzeniu topnikowym (proces 136) i metalicznym (proces 138), spawania punktowego, spawania z impulsowym podawaniem drutu (STT, CMT) i innymi.

Zamieszczono też informacje na temat spawalności poszczególnych grup stali ferrytycznych (od niestopowych średniostopowych), technologii ich spawania, przygotowania złączy oraz niezgodności spawalniczych charakterystycznych dla metody 135. Scharakteryzowano też urządzenia stosowane do spawania metodą MAG.

Zgodnie z zasadą przyjętą dla całej serii podręczników nie opisano w tym zeszycie tematów dotyczących zagadnień wspólnych dla wszystkich metod spawania, jak np. podstaw elektrotechniki, rodzajów złączy i spoin oraz ich oznaczania na rysunkach, naprężeń i odkształceń spawalniczych, kontroli jakości spoin, zagrożeń i bezpieczeństwa w spawalnictwie, szkolenia i egzaminowania spawaczy. Są one zamieszczone w *Podręczniku spawania – zagadnienia ogólne. Zeszyt 1*.

Podkreślić należy, że niektóre wiadomości zawarte w tym zeszycie wykraczają poza wymagany zakres tematyczny przewidziany na kursach spawania stali konstrukcyjnych, ale z pewnością będą one przydatne w praktyce zawodowej. Pozostawia się decyzji wykładowcy, które z nich należy włączyć do programu nauczania.

Podręczniki tej serii są przeznaczone nie tylko dla słuchaczy, wykładowców i instruktorów kursów spawania, ale również dla innych osób związanych ze spawalnictwem, w tym technologów, inspektorów, kontrolerów, projektantów konstrukcji stalowych.