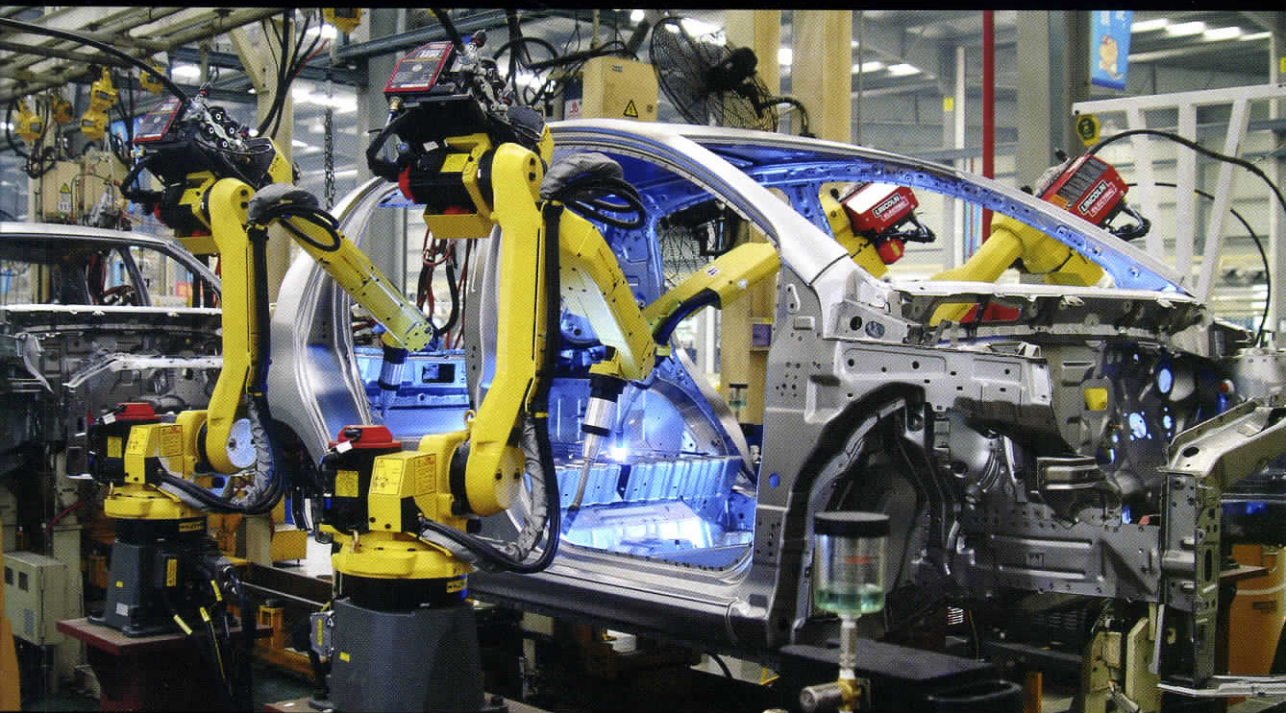


Artur CZUPRYŃSKI

# PODSTAWOWE TECHNOLOGIE SPAWALNICZE W ĆWICZENIACH LABORATORYJNYCH



Część pierwsza



GLIWICE 2019

## SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA.....	7
CELE, WYMAGANIA I ZASADY OBOWIĄZUJĄCE STUDENTÓW PRZYSTĘPUJĄCYCH DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH.....	9
1. ZAGROŻENIA I ZASADY ZACHOWANIA BEZPIECZEŃSTWA W PRACACH SPAWALNICZYCH .....	13
1.1. Cel ćwiczenia.....	13
1.2. Charakterystyka zagrożeń na stanowiskach spawalniczych.....	13
1.3. Przebieg ćwiczenia .....	27
Przykładowe pytania i polecenia kontrolne .....	28
Bibliografia .....	28
Akty prawne.....	29
Wykaz przywołanych norm .....	29
2. SPAWANIE ACETYLENOWO-TLENOWE, OXYACETYLENE WELDING, NUMER REFERENCYJNY PROCESU – 311 .....	30
2.1. Cel ćwiczenia.....	30
2.2. Historia wynalezienia i rozwoju metody .....	30
2.3. Charakterystyka metody .....	32
2.4. Gazy stosowane do spawania acetylenowo-tlenowego.....	32
2.5. Sprzęt do spawania acetylenowo-tlenowego.....	42
2.6. Spoiwa do spawania acetylenowo-tlenowego stali niestopowych .....	50
2.7. Technologia spawania acetylenowo-tlenowego .....	51
2.8. Niezgodności spawalnicze w złączach spawanych acetylenowo-tlenowo.....	53
2.9. Instrukcja technologiczna spawania acetylenowo-tlenowego.....	55
2.10. Stanowisko do spawania acetylenowo-tlenowego .....	56
2.11. Przebieg ćwiczenia .....	57
Przykładowe pytania i polecenia kontrolne .....	58
Bibliografia .....	59
Wykaz przywołanych norm .....	59

3. RĘCZNE SPAWANIE ŁUKOWE ELEKTRODĄ OTULONĄ, MANUAL METAL ARC WELDING, NUMER REFERENCYJNY PROCESU – 111 .....	61
3.1. Cel ćwiczenia.....	61
3.2. Historia wynalezienia i rozwoju metody .....	61
3.3. Charakterystyka metody .....	64
3.4. Łuk elektryczny .....	66
3.5. Źródła prądu do spawania elektrodą otuloną.....	71
3.6. Elektrody otulone.....	75
3.7. Technologia ręcznego spawania łukowego elektrodą otuloną .....	81
3.8. Niezgodności spawalnicze w złączach stalowych spawanych łukowo elektrodą otuloną .....	88
3.9. Instrukcja technologiczna spawania łukowego elektrodą otuloną .....	90
3.10. Stanowisko do ręcznego spawania łukowego elektrodą otuloną .....	91
3.11. Przebieg ćwiczenia .....	92
Przykładowe pytania i polecenia kontrolne .....	93
Bibliografia .....	93
Wykaz przywołanych norm .....	94
4. SPAWANIE ŁUKOWE ELEKTRODĄ NIETOPLIWĄ WOLFRAMOWĄ W OSŁONIE GAZU, GAS-SHIELDED ARC WELDING WITH NON-CONSUMABLE TUNGSTEN ELECTRODE, NUMER REFERENCYJNY PROCESU – 14 .....	95
4.1. Cel ćwiczenia.....	95
4.2. Historia wynalezienia i rozwoju metody .....	95
4.3. Charakterystyka metody .....	97
4.4. Źródła prądu i osprzęt do spawania metodą TIG .....	100
4.5. Parametry spawania metodą TIG .....	103
4.6. Technologia spawania metodą TIG.....	116
4.7. Niezgodności spawalnicze w złączach spawanych łukowo metodą TIG.....	120
4.8. Instrukcja technologiczna spawania łukowego metodą TIG.....	122
4.9. Stanowisko do ręcznego spawania metodą TIG.....	123
4.10. Przebieg ćwiczenia .....	124
Przykładowe pytania i polecenia kontrolne .....	125
Bibliografia .....	125
Wykaz przywołanych norm .....	126
5. SPAWANIE ŁUKOWE ELEKTRODĄ TOPLIWĄ W OSŁONIE GAZU, GAS-SHIELDED METAL ARC WELDING, NUMER REFERENCYJNY PROCESU – 13 .....	127

5.1. Cel ćwiczenia.....	127
5.2. Historia wynalezienia i rozwoju metody .....	128
5.3. Charakterystyka metody .....	129
5.4. Charakterystyki statyczna i dynamiczna łuku spawalniczego i źródła prądu .	133
5.5. Przenoszenie metalu w łuku spawalniczym .....	136
5.6. Źródła prądu i osprzęt do spawania metodą MIG/MAG .....	144
5.7. Parametry spawania w metodzie MIG/MAG .....	151
5.8. Technika spawania metodą MIG/MAG .....	171
5.9. Wysokowydajne odmiany spawania łukowego metodą MIG/MAG.....	179
5.10. Niezgodności spawalnicze w złączach spawanych łukowo metodą MIG/MAG.....	183
5.11. Instrukcja technologiczna spawania łukowego metodą MIG/MAG .....	185
5.12. Stanowisko do półautomatycznego spawania metodą MIG/MAG .....	186
5.13. Przebieg ćwiczenia .....	187
Przykładowe pytania i polecenia kontrolne .....	188
Bibliografia .....	189
Wykaz przywołanych norm .....	189
<b>6. AUTOMATYCZNE SPAWANIE ŁUKIEM KRYTYM, SUBMERGED ARC WELDING, NUMER REFERENCYJNY PROCESU – 121 .....</b>	<b>190</b>
6.1. Cel ćwiczenia.....	190
6.2. Historia wynalezienia i rozwoju metody .....	190
6.3. Charakterystyka metody .....	192
6.4. Automaty do spawania łukiem krytym.....	195
6.5. Materiały dodatkowe do spawania łukiem krytym.....	198
6.6. Technologia spawania łukiem krytym.....	213
6.7. Niezgodności spawalnicze w złączach stalowych spawanych łukiem krytym	223
6.8. Instrukcja technologiczna spawania łukiem krytym .....	224
6.9. Stanowisko do automatycznego spawania łukiem krytym.....	225
6.10. Przebieg ćwiczenia .....	225
Przykładowe pytania i polecenia kontrolne .....	226
Bibliografia .....	227
Wykaz przywołanych norm .....	227

7. ZGRZEWANIE REZYSTANCYJNE, RESISTANCE WELDING, NUMER REFERENCYJNY PROCESU – 2 .....	229
7.1. Cel ćwiczenia.....	229
7.2. Historia wynalezienia i rozwoju metody .....	229
7.3. Charakterystyka metod zgrzewania rezystancyjnego.....	232
7.4. Warunki technologiczne zgrzewania rezystancyjnego.....	237
7.5. Zgrzewanie rezystancyjne punktowe (21).....	237
7.6. Zgrzewanie rezystancyjne liniowe (22).....	248
7.7. Zgrzewanie rezystancyjne garbowe (23).....	255
7.8. Zgrzewanie rezystancyjne iskrowe (24).....	260
7.9. Zgrzewanie rezystancyjne doczołowe zvarciowe (25).....	264
7.10. Materiały zgrzewane rezystancyjnie .....	268
7.11. Urządzenia do zgrzewania rezystancyjnego.....	269
7.12. Zakłócenia procesu zgrzewania rezystancyjnego.....	272
7.13. Niezgodności spawalnicze w złączach zgrzewanych rezystancyjnie.....	273
7.14. Stanowiska do zgrzewania rezystancyjnego.....	274
7.15. Przebieg ćwiczenia .....	275
Przykładowe pytania i polecenia kontrolne .....	277
Bibliografia .....	277
Wykaz przywołanych norm .....	278
8. CIĘCIE TLENOWE I ŻŁOBIENIE PŁOMIENIOWE, FLAME CUTTING AND FLAME GOUGING, NUMERY REFERENCYJNE PROCESÓW – 81 i 86 .....	279
8.1. Cel ćwiczenia.....	279
8.2. Historia wynalezienia i rozwoju metody .....	279
8.3. Charakterystyka metody .....	280
8.4. Paliwa gazowe stosowane do cięcia tlenowego .....	286
8.5. Sprzęt i akcesoria do cięcia tlenowego.....	291
8.6. Zasada obsługi urządzeń oraz technologia i technika cięcia tlenowego .....	295
8.7. Niezgodności w procesie cięcia tlenowego.....	300
8.8. Żłobienie płomieniowe .....	300
8.8.1. Charakterystyka metody .....	301
8.8.2. Techniki żłobienia płomieniowego.....	302
8.9. Stanowiska do cięcia tlenowego oraz żłobienia płomieniowego .....	303
8.10. Przebieg ćwiczenia .....	304
Przykładowe pytania i polecenia kontrolne.....	306
Bibliografia .....	306
Wykaz przywołanych norm .....	307

## PRZEDMOWA

W podręczniku zostały poruszone podstawowe zagadnienia spawalnicze ujęte w instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych, które mogą być prowadzone w ramach zajęć z przedmiotów: podstawy technologii spawalniczych, technologie spawania i cięcia termicznego oraz technologia zgrzewania. Jest on przeznaczony dla słuchaczy studiów stacjonarnych i niestacjonarnych drugiego stopnia oraz studiów podyplomowych, odpowiada programom oraz systemowi zapewnienia jakości kształcenia studentów na kierunkach: mechanika i budowa maszyn, inżynieria materiałowa, automatyka i robotyka oraz zarządzanie i inżynieria produkcji. Ponadto treści zawarte w opracowaniu mogą być wykorzystane jako pomocniczy materiał dydaktyczny w szkoleniu personelu spawalniczego na różnego rodzaju kursach doszkalających umożliwiających uzyskanie certyfikatów kompetencji z zakresu spawalnictwa. W poszczególnych instrukcjach podręcznika zawarto wprowadzenie teoretyczne do tematu ćwiczenia wraz z rysunkami i tablicami, co stanowi suplement do wykładów z przedmiotu wynikającego z planu studiów oraz może pomóc w staranniejszym przygotowaniu się studentów do zajęć dydaktycznych. Tematyka ćwiczeń laboratoryjnych została dobrana tak, aby zapewnić studentom gruntowną wiedzę inżynierską, ze szczególnym naciskiem położonym na działania praktyczne, w zakresie: technologii wytwarzania konstrukcji metodami spawalniczymi, urządzeń spawalniczych, automatyzacji i robotyzacji procesów spawalniczych oraz kontroli i zapewnienia jakości w spawalnictwie. Treści przekazywane studentom w toku ćwiczeń laboratoryjnych dobrane są w taki sposób, aby można było oczekiwać, że absolwent po kilku latach praktyki zawodowej w przemyśle, na odpowiednich stanowiskach związanych z produkcją spawalniczą oraz przy ciągłym pogłębianiu swojej wiedzy technicznej i inżynierskich kompetencji zawodowych będzie zdolny do wykonywania samodzielnej pracy, zapewniając zastosowanie najnowszych osiągnięć technologicznych na poziomie międzynarodowym. W pierwszej części podręcznika zostały przedstawione materiały dydaktyczne do ćwiczeń laboratoryjnych dotyczących zagrożeń i zasad zachowania bezpieczeństwa w pracach spawalniczych, spawania acetylenowo-tlenowego, ręcznego spawania łukowego elektrodą otu-

loną, spawania elektrodą nietopliwą wolframową w osłonie gazu, spawania elektrodą topliwą w osłonie gazu, automatycznego spawania łukiem krytym, zgrzewania rezystancyjnego oraz cięcia tlenowego i żłobienia płomieniowego. Druga część podręcznika zawierać będzie informacje przydatne w przeprowadzeniu ćwiczeń z zakresu spawania plazmowego, cięcia i żłobienia plazmowego, spawania i cięcia laserowego, lutowania twardego i lutowania miękkiego, lutowania łukowego, zgrzewania tarcioowego, spajania tworzyw termoplastycznych, klejenia oraz naprężeń i odkształceń spawalniczych.

„Uczyć z pasją, by pasję zaszcześcić” to motto przyświecające pracy dr inż. Marcelego Mazura, dr inż. Zdzisława Bulskiego i dr hab. inż. Andrzeja Szymańskiego, wieloletnich pracowników Katedry Spawalnictwa Politechniki Śląskiej, wybitnych nauczycieli akademickich wielu pokoleń inżynierów spawalników, ich pamięci dedykuję ten podręcznik.

**Autor**

## **CELE, WYMAGANIA I ZASADY OBOWIĄZUJĄCE STUDENTÓW PRZYSTĘPUJĄCYCH DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH**

Celem ćwiczeń laboratoryjnych jest utrwalenie wiedzy inżynierskiej z zakresu procesów i technologii spawalniczych, bazując na pracy własnej studenta umożliwiającej poznanie zasady działania i opanowanie obsługi podstawowych urządzeń i osprzętu spawalniczego. Po ukończeniu ćwiczeń laboratoryjnych student powinien umieć:

- scharakteryzować podstawowe metody spawania, zgrzewania, lutowania, lutospawania, klejenia oraz cięcia termicznego i żłobienia metodami spawalniczymi,
- dobrać technologię spajania oraz cięcia termicznego stali konstrukcyjnych oraz stopów aluminium, miedzi czy tytanu, zapewniającą pożądane właściwości materiałowe obrabianych elementów konstrukcyjnych,
- przygotować stanowisko spawalnicze, znać sposoby przygotowania elementów do łączenia oraz potrafić dobrać materiały dodatkowe i metodę wykonywania połączenia spawanego w zależności od konstrukcji złącza i rodzaju łączonych półfabrykatów,
- klasyfikować rodzaje spoin i zgrzein ze względu na ich przeznaczenie, sposób wykonania i konstrukcję oraz znać ich oznaczenia na rysunku technicznym,
- rozróżniać rodzaje złączy spawanych, zgrzewanych i lutowanych, a także określić oraz oznaczyć podstawowe pozycje spawania,
- obsługiwać urządzenia spawalnicze oraz dobrać podstawowe parametry technologiczne umożliwiające poprawne przeprowadzenie poszczególnych procesów spawalniczych,
- przeciwdziałać odkształceniom i naprężeniom spawalniczym,
- ocenić jakość wykonanych połączeń spajanych oraz powierzchni po procesie cięcia termicznego,
- planować procesy spawalnicze z uwzględnieniem: wielkości produkcji spawalniczej, wydajności procesu spawalniczego, różnorodności wytwarzanych konstrukcji,



- ocenić wybraną technologię spawalniczą pod względem techniczno-ekonomicznym,
- zastosować przepisy bhp, ochrony ppoż. oraz ochrony środowiska podczas wykonywania prac spawalniczych,
- przygotować zespołowy raport końcowy z ćwiczenia laboratoryjnego.

Każdorazowo przystępując do zajęć, student jest zobowiązany do teoretycznego przygotowania się z zakresu przeprowadzonego tematu ćwiczenia laboratoryjnego na podstawie wiedzy zdobytej na wykładzie oraz literatury podanej w karcie przedmiotu. Ponadto student na podstawie wcześniej nabytych doświadczenia i wiedzy powinien umieć:

- odnieść się do zagrożeń na stanowisku pracy,
- wykonywać pomiary wielkości geometrycznych przy użyciu warsztatowych narzędzi pomiarowych (spoinomierz, liniał, suwmiarka, głębokościomierz, kątomierz, mikrometr, przymiar spawalniczy, sprawdzian spawalniczy, promieniomierz, szczelinomierz, wzorce chropowatości),
- ocenić jakość procesu technologicznego i produktu końcowego,
- posługiwać się dokumentacją techniczną,
- rozróżnić gatunki stali,
- pozyskać informacje z różnych źródeł, a zdobytą wiedzę wykorzystać w praktyce,
- identyfikować, formułować i rozwiązywać problemy,
- interpretować otrzymane wyniki i wyciągać wnioski.

Zajęcia z podstaw spawalnictwa, które odbywają się w tematycznych pracowniach laboratoryjnych, ze względu na specyfikę prowadzonych prac, wymagają od studentów szczególnej ostrożności oraz zachowania wzmożonej dyscypliny, z uwagi na zagrożenie ich zdrowia i życia. W związku z tym student powinien przestrzegać następujących zasad:

- przystępując do ćwiczeń laboratoryjnych, powinien być ubrany w fartuch ochronny i odpowiednio wysokie obuwie skórzane oraz stosować środki ochrony osobistej przewidziane do użycia na danym stanowisku spawalniczym, takie jak okulary, przyłbice, rękawice itp.,
- samodzielnie uruchamiać i obsługiwać urządzenia znajdujące się w spawalni jedynie za zgodą i pod nadzorem prowadzącego ćwiczenie.

Bezwzględnie zabrania się studentom:

- obserwacji procesów spawalniczych bez stosownych środków ochrony wzroku i zachowania odpowiedniej odległości od stanowiska laboratoryjnego,

- prowadzenia prac spawalniczych bez włączonej wentylacji stanowiskowej lub ogólnej,
- dotykania rozgrzanych przedmiotów bezpośrednio po procesie spawalniczym,
- dotykania przewodów będących pod napięciem,
- kierowania źródeł ciepła na butle ze sprężonymi gazami, urządzenia lub inne osoby,
- opierania się o urządzenia, przewody i inne elementy stanowisk laboratoryjnych,
- samodzielnej naprawy i demontażu urządzeń spawalniczych oraz ingerencji w ich konstrukcję,
- używania urządzeń spawalniczych do innych celów niż to przewidziano w ćwiczeniu,
- bezmyślnego manipulowania przyciskami i pokrętłami urządzeń spawalniczych i pomiarowych,
- przesuwania spawalniczych kurtyn lamelowych, zdejmowania osłon urządzeń oraz usuwania innych elementów wyposażenia laboratorium mających wpływ na bezpieczeństwo osób przebywających w spawalni.

W trakcie odbywania ćwiczeń laboratoryjnych student jest zobowiązany do przestrzegania dyscypliny wewnętrznej, porządku i zasad dobrego wychowania. Przepisy dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy przy czynnościach spawalniczych muszą być bezwarunkowo przestrzegane przez osoby znajdujące się w pomieszczeniach laboratoryjnych. Zagadnienia dotyczące zagrożeń w pracach spawalniczych oraz zasady ochrony przed ich skutkami należy przedstawić studentom na pierwszym ćwiczeniu laboratoryjnym.

Podręcznik zawiera materiały dydaktyczne dotyczące technologii spawalniczych oraz instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych, które mogą być prowadzone na wyższych uczelniach technicznych w ramach zajęć z przedmiotów: podstawy technologii spawalniczych, technologie spawania i cięcia termicznego oraz technologia zgrzewania. Publikacja skierowana jest do słuchaczy studiów stacjonarnych i niestacjonarnych drugiego stopnia, kształcących się na kierunkach: mechanika i budowa maszyn, inżynieria materiałowa, automatyka i robotyka oraz zarządzanie i inżynieria produkcji. Może być również przydatna dla inżynierów, technologów, mistrzów spawalników oraz personelu spawalniczego niższego szczebla, którzy doksztalają się na różnego rodzaju kursach umożliwiających otrzymanie dodatkowych certyfikatów kompetencji.

Dr inż. Artur Czupryński jest wieloletnim pracownikiem naukowo-dydaktycznym Katedry Spawalnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Jest uznanym nauczycielem akademickim i specjalistą z dziedziny inżynierii materiałowej – w szczególności technologii spawalniczych – autorem dwóch podręczników akademickich oraz wielu krajowych i zagranicznych publikacji naukowych z tej dziedziny. W 2018 roku został uhonorowany medalem im. inż. Stanisława Olszewskiego, który jest przyznawany przez Sekcję Spawalniczą SIMP najwybitniejszym polskim i zagranicznym spawalnikiem w uznaniu ich zasług dla rozwoju spawalnictwa.

Słowa kluczowe:

- zagrożenia i zasady zachowania bezpieczeństwa w pracach spawalniczych
- spawanie acetylenowo-tlenowe
- ręczne spawanie łukowe elektrodą otuloną
- spawanie elektrodą nietopliwą wolframową w osłonie gazu
- spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazu
- automatyczne spawanie łukiem krytym
- zgrzewanie rezystancyjne
- cięcie tlenowe

Wydawnictwo Politechniki Śląskiej  
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 5  
tel. (32) 237-13-81, faks (32) 237-15-02  
[www.wydawnictwopolitechniki.pl](http://www.wydawnictwopolitechniki.pl)  
Dział Sprzedaży i Reklamy  
tel. (32) 237-18-48  
e-mail: [wydawnictwo\\_mark@polsl.pl](mailto:wydawnictwo_mark@polsl.pl)  
<http://www.polsl.pl/Jednostki/RJ02-WPS>

ISBN 978-83-7880-675-2