

Александров О. Г., Антонюк Д. А., Капустян О. Є.

**ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ
ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ
ТА НАПЛАВЛЕННЯ**

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

**Львів
«Новий Світ-2000»
2019**

УДК 621.791.75(075)
ББК 30.616я7
А 46

*Розповсюдження та тиражування
без офіційного дозволу видавництва
заборонено.*

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Рецензенти:

Размишляєв О.Д. – д.т.н., проф., Приазовський державний технічний університет;

Посвятенко Е.К. – д.т.н., проф., Національний транспортний університет;

Камель Г.І. – д.т.н., проф., Дніпродзержинський державний технічний університет.

ISBN 978-966-418-240-6

Александров О.Г., Антонюк Д.А., Капустян О.Є.

А 46 Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення:
Навчальний посібник. – Львів: «Новий Світ-2000», 2019. – 224 с.

Навчальний посібник «Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення» містить у собі матеріали для вивчення принципів роботи, особливостей вибору, монтажу, експлуатації і технічного обслуговування зварювальних джерел живлення українських та іноземних моделей. Видання призначене для студентів, аспірантів та інженерно-технічних працівників в галузі зварювального виробництва, проектування та виготовлення металоконструкцій, підвищення зносостійкості деталей машин методами дугового зварювання, наплавлення і наплення.

УДК 621.791.75(075)
ББК 30.616я7
А 46

© Александров О.Г., Антонюк Д.А.,
Капустян О.Є., 2019
© «Новий Світ-2000», 2019

ISBN 978-966-418-240-6

Зміст

Вступ	7
Перелік умовних позначень і скорочень	9
Розділ 1. Загальні відомості про джерела живлення зварювальної дуги.....	11
1.1. Сучасні тенденції і перспективи використання дугового розряду для зварювання та наплавлення.....	11
1.2. Типи джерел живлення.....	12
1.3. Вимоги до технологічних властивостей джерел.....	14
1.4. Технічні характеристики джерел живлення	16
1.5. Контрольні питання	18
Розділ 2. Властивості зварювальної дуги та вимоги до джерел живлення	19
2.1. Фізична природа, електричні властивості дуги. Фізичні процеси в дузі.....	19
2.2. Статичні характеристики дуги.....	22
2.3. Динамічні властивості дуги та джерела живлення	25
2.4. Статична стійкість системи «джерело живлення – дуга»	27
2.5. Контрольні питання	31
Розділ 3. Зварювальна дуга змінного струму.....	32
3.1. Особливості горіння дуги змінного струму.....	32
3.2. Горіння дуги змінного струму в зварювальному колі з резистором	33
3.3. Особливості дуги змінного струму в колі з індуктивністю	35
3.4. Вимоги до параметрів джерела змінного струму. Вибір напруги холостого струму трансформатора.....	36
3.5. Контрольні питання	38
Розділ 4. Вибір джерел живлення для різних способів зварювання.....	39
4.1. Ручне дугове зварювання покритими електродами.....	39
4.1.1. Запалення дуги	39

4.1.2. Стабільність горіння дуги	41
4.1.3. Стабільність режиму зварювання.....	41
4.1.4. Еластичність зварювальної дуги	43
4.1.5. Вплив параметрів джерела живлення на розбризкування металу під час зварювання покритими електродами	44
4.1.6. Регулювання (настроювання) режиму зварювання	44
4.1.7. Шляхи поліпшення зварювальних властивостей джерел живлення.....	45
4.2. Джерела живлення для механізованого зварювання плавким електродом у захисних газах.....	46
4.3. Вимоги до джерел для автоматичного зварювання під флюсом....	51
4.4. Контрольні питання	53
Розділ 5. Зварювальні трансформатори	55
5.1. Загальні відомості та класифікація	55
5.2. Елементи теорії зварювальних трансформаторів	56
5.2.1. Основні співвідношення в трансформаторах зі збільшеним магнітним розсіюванням	56
5.3. Трансформатори з рухомими обмотками.....	60
5.4. Трансформатори з рухомими магнітними шунтами	66
5.5. Трансформатори з реактивною котушкою.....	75
5.6. Трансформатори з рознесеними обмотками.....	76
5.7. Зварювальні трансформатори з пристроєм стабілізації горіння дуги (ПСГД).....	78
5.8. Трансформатори з підмагнічуванням шунта.....	83
5.9. Тиристорні трансформатори	86
5.10. Технічне обслуговування зварювальних трансформаторів.....	92
5.11. Контрольні питання	95
Розділ 6. Зварювальні випрямлячі.....	97
6.1. Загальні відомості та класифікація зварювальних випрямлячів.....	97
6.2. Вентилі для зварювальних випрямлячів.....	99
6.3. Схеми випрямлення	103

6.3.1. Однофазна схема випрямлення.....	103
6.3.2. Трифазна мостова схема.....	104
6.3.3. Шестифазна схема зі зрівняльним реактором.....	107
6.3.4. Кільцева схема випрямлення.....	108
6.4. Зовнішні характеристики зварювальних випрямлячів з трифазною мостовою схемою випрямлення.....	110
6.5. Випрямлячі для ручного зварювання.....	113
6.6. Випрямлячі для механізованого зварювання в середовищі вуглекислого газу.....	119
6.7. Універсальні випрямлячі.....	127
6.8. Багатопостові випрямлячі.....	135
6.8.1. Зварювальні конвертори.....	140
6.8.2. Регулятори струму.....	141
6.9. Зварювальні інверторні випрямлячі.....	147
6.9.1. Випрямлячі з тиристорним інвертором.....	148
6.9.2. Випрямлячі з транзисторним інвертором.....	154
6.9.3. Інверторне устаткування з частотою перетворення більше 100 кГц і цифровим керуванням.....	160
6.10. Технічне обслуговування випрямлячів.....	161
6.11. Контрольні питання.....	164
Розділ 7. Зварювальні генератори.....	166
7.1. Класифікація зварювальних генераторів і сфери їх застосування.....	166
7.2. Конструктивний склад і принцип дії колекторних зварювальних генераторів.....	167
7.2.1. Колекторні генератори незалежного збудження.....	168
7.2.2. Колекторні генератори з самозбудженням і послідовною розмагнічуючою обмоткою.....	173
7.3. Вентильні генератори.....	175
7.4. Зварювальні агрегати.....	180
7.5. Технічне обслуговування зварювальних агрегатів.....	182
7.6. Контрольні питання.....	183

Розділ 8. Джерела живлення для аргонодугового зварювання	184
8.1. Джерела для зварювання неплавким електродом	184
8.1.1. Особливості горіння дуги та вимоги до джерел живлення.....	184
8.1.2. Допоміжні пристрої джерел.....	187
8.1.3. Джерела постійного струму	193
8.1.4. Джерела змінного струму.....	197
8.1.5. Універсальні джерела	198
8.2. Джерела для імпульсно-дугового зварювання плавким електродом у середовищі аргону.....	203
8.3. Контрольні питання	207
Розділ 9. Джерела живлення дугових плазмових процесів ...	208
9.1. Вимоги до джерел	208
9.2. Джерела живлення для плазмового зварювання, наплавлення та напилення	209
9.3. Джерела живлення для плазмового різання	210
9.4. Контрольні питання	214
Розділ 10. Віртуальний лабораторний практикум з дисципліни «Зварювальні джерела живлення» для дистанційної системи навчання	215
Література	221

Вступ

Проектування сучасних металевих конструкцій та деталей обладнання засноване на застосуванні передових технологій і раціональному використанні ресурсів. Це, зокрема, стосується сучасних технологічних процесів зварювання матеріалів. Зварювання на сьогодні є основним засобом з'єднання, технічної реконструкції та найбільш ефективним методом економії металу, покращення якості та міцності конструкції.

Саме тому в більшості технічних вузів України здійснюється підготовка бакалаврів, спеціалістів і магістрів за спеціальностями, що пов'язані зі зварюванням, наприклад, такими як «Технологія та устаткування зварювання», «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» тощо.

Навчальна дисципліна «Джерела живлення для зварювання» є однією з базових курсів циклу підготовки зварювальників та має на меті надання знань в області застосування, принципу дії, конструкції та експлуатації джерел живлення для дугового зварювання і наплавлення. Акцентування пильної уваги на цьому типі обладнання пояснюється тим, що дугове зварювання є найбільш розповсюдженим у зварювальній техніці, а джерела живлення дуги – основним устаткуванням як зварювальних постів, так і зварювальних машин, установок і агрегатів.

Навчальний посібник складений відповідно до об'єму, змісту та завдань навчальних планів дисциплін «Джерела живлення для зварювання» і «Джерела живлення для наплавлення і напилення» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

У книзі наводяться відомості стосовно джерел живлення, що випускаються як в Україні, так і в більшості технічно розвинених країн. Підручник містить також рекомендації щодо вибору, монтажу, експлуатації, технічного обслуговування джерел; у ньому наводяться технічні характеристики більшості типів джерел, що випускаються на початку XXI ст.

Під час написання підручника були використані опубліковані в монографіях, збірках праць і журналах «Автоматичне зварювання», «Зварювальне виробництво», «Зварювання» результати науково-технічних досліджень і конструкторських розробок провідних вчених науково-дослідних інститутів і науково-виробничих об'єднань та професорсько-викладацького складу вузів (В.В. Андрєєва, О.Н. Браткової, М.І. Заксу,

І.І. Заруби, В.К. Лебедева, В.С. Мілютіна, Б.Є. Патона, І.Я. Рабіновича, В.В. Смірнова, М.Н. Шолохова і багатьох інших).

У книзі детально описано обладнання, розроблене в Інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона, в Національному інституті зварювання Росії, ТОВ «Селма», Каховським ЗЕЗО, Харківським ВО «Комунар», ВО «Технотрон» та іншими підприємствами й фірмами.

Книга може бути корисна студентам та аспірантам зварювальних спеціальностей, інженерно-технічним працівникам, які діють в області зварювального виробництва, виробництва металоконструкцій, підвищення зносостійкості деталей машин методами дугового зварювання, наплавлення та напилення.

Автори навчального посібника висловлюють свої глибоку подяку д.т.н., проф. Размишляєву О.Д., д.т.н., проф. Посвятенко Є.К., д.т.н., проф. Камелю Г.І. та к.е.н. Антонюк К.І., які внесли актуальні та слушні рекомендації щодо покращення структури та змісту видання.

Перелік умовних позначень і скорочень

З метою зменшення загального обсягу навчального посібника під час опису процесів, які протікають у зварювальній дузі, джерелах живлення та іншому обладнанні, введемо наступні позначення та скорочення:

a – постійна генератора;

a, b, c – щітки генератора;

C – постійна генератора;

CMT (Cold Metal Transfer) – перенесення металу шляхом реверсування двигуна при короткому замиканні;

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності;

E_c – напруженість стовпа дуги;

f – частота змінного струму;

I_0, U_{xx} – струм і напруга холостого ходу;

$I_{кз}, U_{кз}$ – струм і напруга короткого замикання;

I_n, U_n – номінальні сила струму та напруга джерела;

I_p, U_p – струм і напруга зварювання;

I_u, U_u – вихідні струм і напруга на вторинних клеммах;

$I_{обр}, I_v$ – струм обриву краплі та струм збудження індуктивного генератора;

$J_{ан}, J_{кат}, J_{ст}$ – щільність струму у прианодній, прикатодній областях і у стовпі дуги;

K_p – коефіцієнт розбризкування електродного дроту;

$\kappa_{ст}, \kappa_{сн}$ – коефіцієнти регулювання дуги за струмом і напругою;

k_y – коефіцієнт стійкості;

k_m – коефіцієнт магнітного зв'язку обмоток;

$l_{ан}, l_{кат}, l_{ст}$ – протяжність катодної, анодної області та стовпа дуги;

L, R – індуктивний і активний опір зварювального кола;

R_m – магнітний опір генератора магнітопроводу трансформатора;

STT (Surface Tension Transfer) – перенесення металу за рахунок сил поверхневого натягу;

TIG, WIG – зварювання неплавким електродом;

TPS – інвенторне джерело синергетичне;

U_0 – напруга дуги;

U_3 – напруга повторного збудження дуги;

$U_{ан}, U_{кат}, U_{ст}$ – напруга прианодна, прикатодна, стовпа дуги;

W – число витків обмотки;

W_k – число витків котушки збудження;
 X_T – індуктивність;
 X_p – активний опір;
 Z_n – повний опір кола;
 α – кут управління тиристором;
 γ – інтервал комутації;
 γ_c, S_c – електропровідність і поперековий переріз стовпа дуги;
 ρ_o, ρ_u – диференціальний опір дуги та джерела;
 $\omega = 2\pi f$ – кутова частота змінного струму;
АДБ, АДД – агрегати з бензиновим і дизельним приводом;
АЗФ – автоматичне зварювання під флюсом;
АРДС – автоматичне регулювання дуги саморегулюванням;
АРНД – автоматичне регулювання напруги дуги;
ВАХ – зовнішня вольт-амперна характеристика;
ВКЗ – вимушені короткі замикання;
ЗВГ – зварювання у вуглекислому газі;
ЗЗГ, MIG/MAG – зварювання в середовищі захисних газів;
ЕРС – електрорушійна сила;
ДТ, ДН – датчик струму та напруги;
 K, K_m – контактор;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ПН, ПВ – тривалість навантаження та включення;
ПСГД – пристрій стабілізації горіння дуги;
РБ, РБГ – баластні реостати;
РДЗ, ММА – ручне дугове зварювання;
ТТР – тиристорні трансформатори;
 Φ_o, Φ_g – основний потік трансформатора та магнітний потік збудження індуктивного генератора;
 $\Phi_n, \Phi_p, \Phi, \Phi_y$ – магнітні потоки намагнічуючої, розмагнічуючої, підмагнічуючої, обмотки якоря;
ШИМ – широтно-імпульсне модулювання.