МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи №3
з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» для усіх форм навчання

2016

Методичні вказівки до практичної роботи №3 з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» для усіх форм навчання / Укл.: О.Є. Капустян. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016 – 18 с.

Укладач: О.Є. Капустян, ст. викладач
Рецензент: А.О. Шумілов, канд. техн. наук, доцент
Коректор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 8 від 1.06.2016

Затверджено
на засіданні НМК ІФФ
Протокол № 10 від 21.06.2016

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ 4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ 4
3 РОЗРАХУНОК 6
4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ 11
5 ЗМІСТ ЗВІТУ 11
6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ 11
7 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА 18

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕШН ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1 МЕТА РОБОТИ

Придбати практичні прийоми розрахунку параметрів режиму процесу електрошлакового наплавлення (ЕШН), з метою відновлення зношених, та виготовлення нових деталей машин і устаткування.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Сутність процесу ЕШН (рис. 2.1) полягає в плавленні витратного електрода, за рахунок тепла, що виділяється в шарі шлаку при проходженні через нього електричного струму, краплинному переносі розплавленого металу через шар шлаку в рідку металеву ванну і наступної спрямованої кристалізації наплавленого металу у мідному кристалізаторі, що охолоджується водою [1].

До основних параметрів процесу ЕШН відносяться:

– $I_{пл}$ - струм наплавлення;

– $U_{пл}$ - напруга наплавлення;

– $V_л$ - лінійна швидкість наплавлення металу;

– марка флюсу,

– $G_ш$ - кількість флюсу;

– $H_{шл}$ – висота шару шлакової ванни;

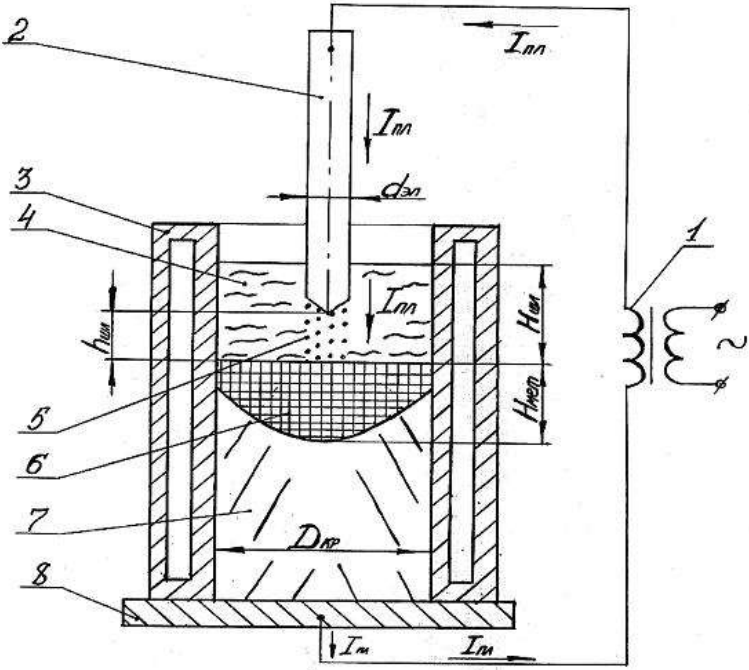
– $h_{шл}$ – висота шару шлакового міжелектродного проміжку;

– $d_{ел}$ - діаметр витратного електрода.

Вхідними даними для розрахунку є:

а) матеріал (сталь, чавун, мідь, бронза, титан, алюміній і т.п.) деталі, що наплавляють або матеріал, яким роблять наплавлення;

б) форма і розміри деталі із наплавленого матеріалу, зокрема, діаметр або сторона квадрата кристалізатора; поперечний переріз, висота.



$D_{кр}$ – діаметр кристалізатора або діаметр наплавленої деталі; $H_{мет}$ – висота металевої ванни.

1 – джерело живлення; 2 – витратний електрод; 3 – кристалізатор; 4 – розплавлений шлак; 5 – краплі розплавленого метала; 6 – металева ванна; 7 – закрісталізований наплавлений метал (деталь); 8 – піддон.

Рисунок 2.1 – Схема процесу ЕШН

Послідовність розрахунку параметрів процесу ЕШН:

а) вибрати марки флюсу, враховуючи хімічний склад наплавленого матеріалу, визначити робочу температуру флюсу і його питому електропровідність при робочій температурі плавлення. Розрахувати висоти шару шлакової ванни та шару шлакового міжелектродного проміжку, кількість флюсу, електричний опір шлакової ванни;

б) визначити оптимальну лінійну швидкість наплавлення $V_л$ деталі в залежності від її діаметра;

в) розрахувати струм і напругу процесу ЕШН.

3 РОЗРАХУНОК

Марка флюсу для електрошлакового наплавлення (ЕШН) деталі з конкретного матеріалу (табл. 3.1) обирається відповідно до табл. 3.2, а також згідно даним літературних джерел [1,2]. Робоча температура шару шлакової ванни повинна бути вище на 150-200° С температури ліквідусу матеріалу, що наплавляється [3].

Таблиця 3.1 - Хімічний склад сталей, та середнє значення теплоємності даного металу у твердому і розплавленому стані

Марка сталей	Химічний склад, %							$C_{рт}$, $\frac{Дж}{г \cdot {}^{o}C}$	$C_{рж}$, $\frac{Дж}{г \cdot {}^{o}C}$
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Інші		
20	0.23	0.11	0.635	-	0.074	0.13	Al=0.01	485,67	150,72
40	0.415	0.11	0.643	-	0.063	0.12	Al=0.006	485,67	653,14
У12	1.22	0.16	0.35	0.11	0.13	0.08	Al=0.006	485,67	686,64
30ХГС	0.36	1.05	0.9	1.04	-	-	-	510,79	577,78
1Х13	0.11	0.17	0.36	12.95	0.14	-	-	468,92	661,51
Х28	0.2	1.2	0.8	27	0.6	-	Ti=0.3	489,86	657,33
1Х18Н9Т	0.09	0.74	0.88	18.1	9.82	-	Ti=0.4	489,86	657,33
Х25Н20	0.25	1.5	2.0	25	20.5	-	-	489,86	657,33
Г13	1.22	0.22	13.0	-	-	-	-	519,16	707,57
Г21Х15Т	0.05	0.66	20.88	14.66	-	-	-	519,16	707,57
Р18	0.715	0.3	0.25	4.26	0.07	-	W=18.45	410,31	611,27

Примітка. $C_{рт}$, $C_{рж}$ – середнє значення теплоємності даного металу у твердому і рідкому стані.

Діаметр витратного електрода $d_{ел}$ (в мм) визначаємо по формулі:

$$d_{ел}=D_{кр}\ к_{з} \qquad (3.1)$$

де $D_{кр}$ – діаметр кристалізатора або наплавленої деталі, мм;

$к_{з}$ - коефіцієнт заповнення, $к_{з}$ = 0,50 – 0,70.

З метою підвищення енергетичних показників електрошлакового процесу доцільно застосовувати максимальні значення коефіцієнта заповнення.

Висота шару шлакової ванни визначається зі співвідношення:

Таблиця 3.2 - Флюси для ЕШН

Флюси	CaF_2	Al_2O_3	CaO	MgO	$T_{пл}$, ^oC	Призначення шлаку
АНФ-6	70	30	-	-	1320-1340	Для сталей без Ti і B; забезпечує значне зменшення сірки
АНФ-7	80	-	20	-	1200-1220	Для сталей і стопів без Al, Ti і B; забезпечує найбільше зниження S
АНФ-8	60	20	20	-	1240-1260	Для сталей без Ti і B; забезпечує найбільше зменшення сірки
АНФ-9	80	-	-	20	-	Теж саме, що й для АНФ-7
АНФ-19	80	-	-	-	1340-1360	Теж саме, що й для АНФ-7, але дає найбільшу шлакову ванну
АНФ-20	80	-	-	-	-	Для забезпечення значного зменшення фосфору
АНФ-21	50	25	-	-	1220-1240	Для сталей і стопів з алюмінієм і титаном
АНФ-1П	95	-	5	-	1390-1410	Для сталей і стопів з алюмінієм, титаном і бором
АН-29	-	55	45	-	-	Для сталей і стопів без Ti і B; дає найбільшу шлакову ванну
АНФ-5	80	-	-	-	1160-1180	Для мідних стопів
АНФ-291	18	40	25	17	-	Для сталей без Ti і B; забезпечує високу продуктивність
АНФ-292	-	60	35	5	1450	Теж саме, що й для АНФ-291 та зменшення сірки

Примітка. Вміст SiO_2 і FeO в шлаках для ЕШН не повинен перевищувати 0,3 %, вміст сірки 0,05 %, а вуглецю в шлаці АНФ-1П та АНФ-21 для переплава низьковуглецевих сталей та стопів 0,02 %. В шлаці АНФ-19 вмістилось 20% ZnO_2, в шлаці АНФ-20 – 20 % BaO, в шлаці АНФ-21 - 25% TiO_2; і в шлаці АНФ-5 – 20 % NaF.

$$0{,}5\ d_{ел} \leq H_{шл} \leq 1{,}2\ d_{ел} \qquad (3.2)$$

Значення $h_{шл}$ (в мм) розраховують згідно рекомендацій [1]:

$$h_{шл} = 8{,}94 + 0{,}474 \cdot d_{ел} \qquad (3.3)$$

Кількість флюсу (в грамах) розраховується по формулі:

$$G_{фл} = 1,1 \cdot S_{кр} \cdot H_{шл} \cdot \rho_{фл.} \qquad (3.4)$$

де $\rho_{фл}$ – щільність флюсу, $\rho_{фл}$ = 2,5-2,8 (г/см³) [1].

Розрахунок електричних режимів процесу ЕШН проводять, враховуючи тепловий баланс плавлення витратного електрода. Для цього розраховують кількість тепла Q, потрібну для плавлення витратного електрода з масовою швидкістю $G_{пл}$:

$$Q = \frac{V_л \cdot \rho \cdot S_{ел} \cdot g_т}{к_з \cdot \eta}, \qquad (3.5)$$

$$g_т = C_{рт}(T_с - T_0) + \lambda + C_{рж}(T_м - T_л) \qquad (3.6)$$

де $V_л$ обирається за графіком, наведеним на рис. 3.1.

ρ – щільність металу в рідкому стані, г/см³ (рис. 3.2);

$g_т$ – теоретично необхідна кількість тепла для плавлення електрода із заданою продуктивністю $G_{пл}$, Дж/г;

ŋ – тепловий коефіцієнт корисної дії процесу, ŋ = 0,60 – 0,75;

T_0 – початкова температура, T_0 = 20 °С;

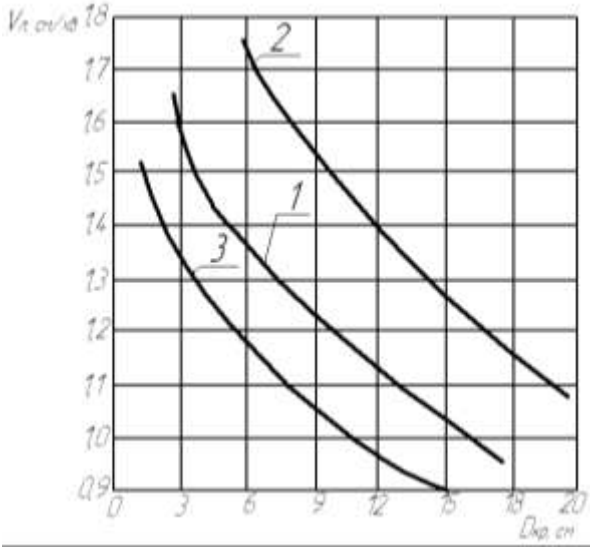
$T_с$, $T_л$ – температури солідус та ліквідус, для сталей можливо прийняти по діаграмі залізо-вуглець;

$T_м$ – температура крапель розплавленого металу, можливо прийняти на 80 –100° С вище температури ліквідус;

λ – питома енергія плавлення, для сталі λ =84 Дж/г, для чавуну сірого λ = 84 Дж/г, для чавуну білого λ = 140 Дж/г.

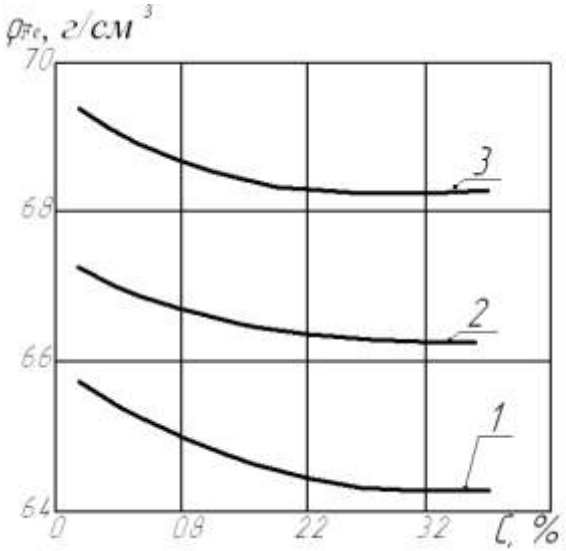
Шлакова ванна є джерелом тепла, яке виділяється в результаті проходження електричного струму $I_{пл}$ скрізь шлакову ванну, яка має опір $R_{шл}$. Можливо уявити, що для плавлення витратного електрода з швидкістю $G_{пл}$ в одиницю часу, буде потрібна електрична теплова потужність Q. Таким чином розраховуємо силу струму плавлення $I_{пл}$:

$$I_{пл} = \sqrt{\frac{g_т \cdot V_л \cdot \gamma \cdot S_{ел}}{\eta \cdot к_з \cdot R_{шл}}} \qquad (3.7)$$



1 – сталі та їх стопи; 2 – мідь та її стопи; 3 – титан та його стопи;

Рисунок 3.1 – Лінійна швидкість наплавлення в залежності від діаметра деталі



1 — 1550; 2 — 1600; 3 — 1700° С

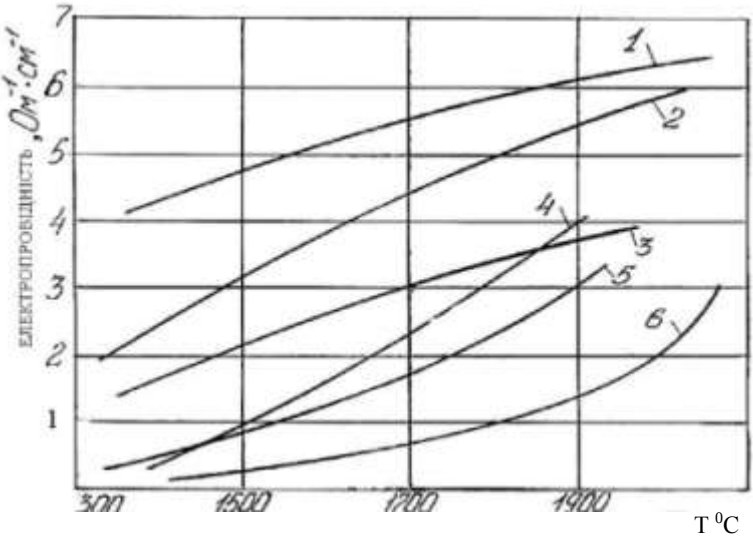
Рисунок 3.2 - Ізотерми щільність металу в рідкому стані

Опір шлакової ванни $R_{шл}$ розраховується по формулі (3.8):

$$\mathbf{R_{шл}} = \frac{h_{шл}}{\gamma \cdot S_{ел}} \cdot \frac{\ln(1/\kappa_з)}{1/\kappa_з - 1} \qquad (3.8)$$

де $S_{ел}$ – площа перетину витратного електрода, мм^2;

γ - питома електропровідність шлаку при робочих температурах плавки, Ом$^{-1}$см$^{-1}$. Визначається з графіків, наведених на рис. 3.3.



1 – АНФ - 1П; 2 – АНФ – 6 с 5 % Na_2O; 3 – АНФ – 21; 4 – типа АН – 291; 5 – АНФ – 6; 6 – АН - 29

Рисунок 3.3 - Питома електропровідність флюсу при робочій температурі

Напругу на шлаковій ванні розрахуємо за формулою:

$$U_{пл} = I_{пл} \cdot R_{шв} \qquad (3.9)$$

4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Викладач видає варіант розрахункового завдання, узгоджує матеріал деталі, її геометричні розміри (табл. 4.1).

2. По вище викладеній методиці здійснюється розрахунок параметрів режиму електрошлакового процесу.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Креслення виробу згідно варіанту розрахункового завдання з вказанням геометричних розмірів, матеріалу, та галузі його можливого використання.

2. Докладний розрахунок параметрів процесу електрошлакового наплавлення та відновлення зношеної деталі машини

3. Обґрунтування отриманих результатів.

4. Висновки по роботі.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Фізична сутність процесу ЕШН деталей.

2. Основні параметри процесу ЕШН.

3. Вимоги при виборі флюсу для електрошлакового процесу.

4. Вимоги до температурного режиму флюсу, які забезпечують стабільність плавлення витратного електрода.

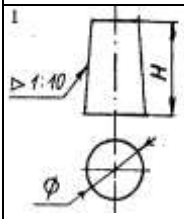
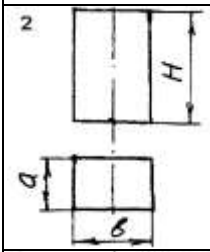
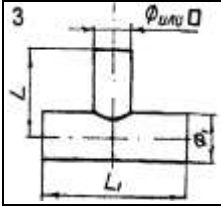
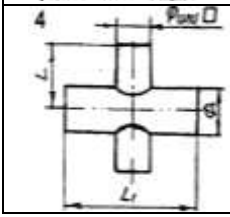
5. Сутність процесу рафінування металу при ЕШН?

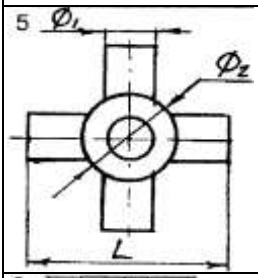
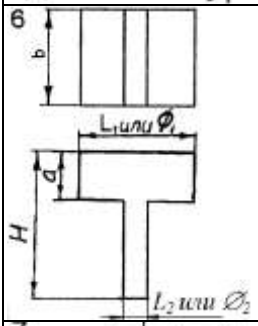
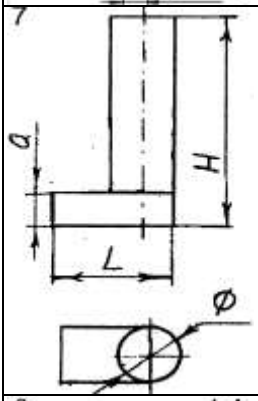
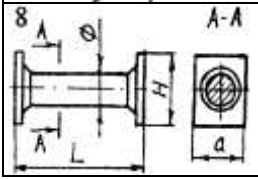
6. Особливість кристалізації металу при електрошлаковому наплавленні.

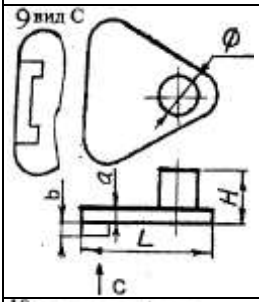
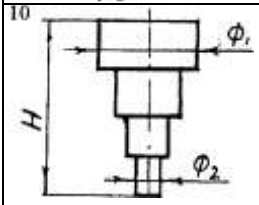
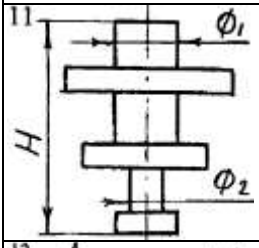
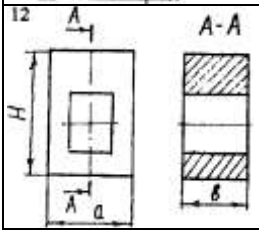
7. Будова металевої ванни. Вплив форми та розмірів металевої ванни на кристалізацію метала.

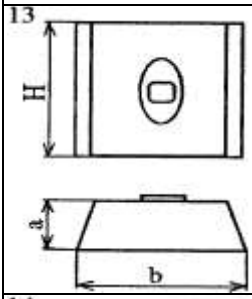
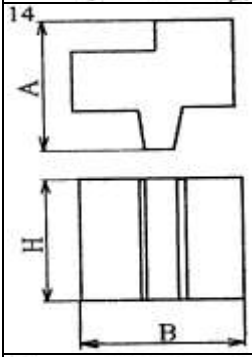
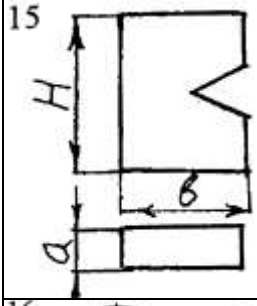
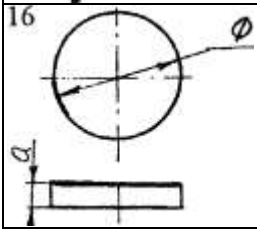
8. Можливості управління хімічним складом, структурою, властивостями наплавленого метала з метою підвищення зносостійкості, механічних та службових властивостей.

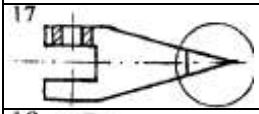
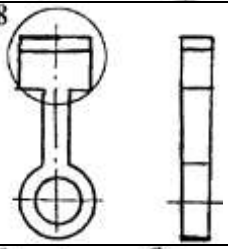
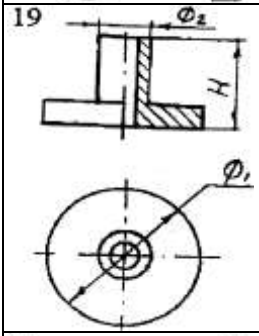
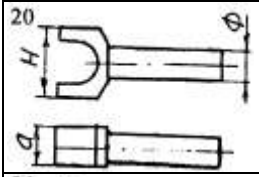
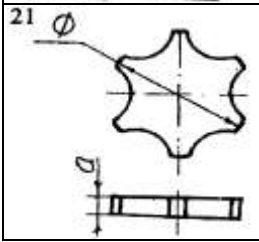
Таблиця 4.1 - Типові деталі отримані з використанням технології ЕШН

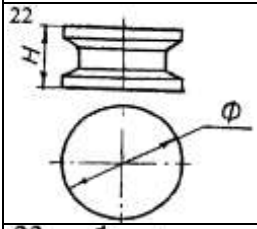
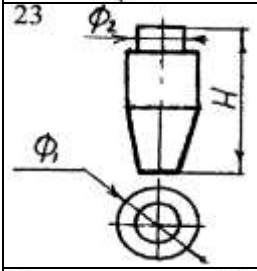
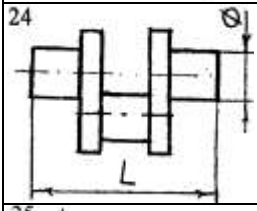
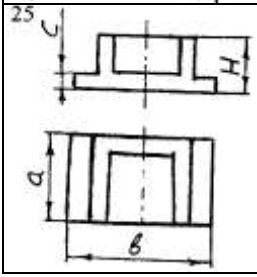
Виріб	Геометричні розміри, мм	Матеріал	Галузь можливого використання
1	2	3	4
1 	Ø = 50 – 250 H ≤ 400	Конструкційні, інструментальні сталі, кольорові метали та стопи	Вихідна заготівка для металообробки, заготівлі інструментів (фрез, різьбонакатних роликів, дискових ножиців, пуансонів)
2 	a = 70 – 200 b = 70 – 200 H ≤ 400	Конструкційні, інструментальні сталі, кольорові метали та стопи	Вихідна заготівка для металообробки Штампові кубики, заготівлі прес-форм
3 	Ø = 50 – 250 $Ø_1$= 50 – 250 L = 100-500	Конструкційні сталі, кольорові метали та стопи	Трійник, арматура для роботи при високих тисках, в агресивних середовищах
4 	Ø = 50 – 250 $Ø_1$= 50 – 250 L = 100-500	Конструкційні сталі, кольорові метали та стопи	Перехідник, арматура для роботи при високих тисках, в агресивних середовищах

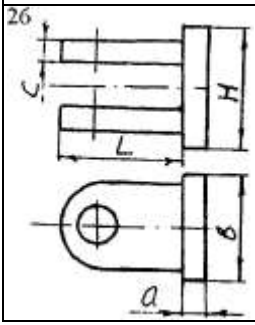
1	2	3	4
5 	$Ø_1$=50 – 200 $Ø_2$=50 – 250 L ≤ 600	Конструкційні сталі	Хрестовина, перехідники
6 	а= 30 – 200 в ≤ 400 H ≤ 600 L_1≤ 250 L_2 = 20-100 $Ø_1$ ≤ 250 $Ø_2$ = 50 – 200	Конструкційні та інструментальні сталі	Деталі перемінного перетину типу наковальні, тавра
7 	Ø=50 – 200 L ≤ 600 L ≤ 600 а = 40-200	Конструкційні сталі	Деталі секції колінчатих валів, опорні вісі з фіксаторами
8 	$Ø_1$=50 – 200 $Ø_2$=50 – 250 L ≤ 600	Конструкційні сталі	Опорні вісі

1	2	3	4
9 вид С 	Ø = 50 – 250 L = 600 H = 500 a = 30 – 200 в = 1-100	Конструкційні сталі	Деталі типу “серга”
10 	$Ø_1 \leq 250$ $Ø_2 \geq 50$ $H \leq 600$	Конструкційні сталі	Східчастий вал редукторів зубцюватих передач
11 	$Ø_1 \leq 250$ $Ø_2 \geq 50$ $H \leq 600$	Конструкційні сталі	Вал-шестірня зубцюватих передач
12 	a = 70 – 200 b = 70 – 200 $H \leq 600$	Конструкційні сталі	Деталі хомут замків

1	2	3	4
13 	a = 70 – 200 b = 70 – 200 H ≤ 400	Інструментальні сталі	Кувальні вставки, штампи, прес-форм
14 	A = 80 – 200 B = 80 – 200 H ≤ 400	Інструментальні сталі	Штампи пуансони
15 	a = 20 – 400 b = 70 – 250 H = 70-250	Мідь, хромиста бронза	Губки контактних машин, струмопроводів, струмознімачів
16 	Ø = 250 a = 20 – 400	Мідь, хромиста бронза	Електроди для шовних машин

1	2	3	4
17 		Зносостійкі матеріали	Відновлення зубів екскаваторів
18 		Зносостійкі матеріали	Відновлення біл дробарок
19 	$Ø_1 = 50$ $Ø_2 \geq 50$ $H \leq 600$	Конструкційні сталі	Заготівки фланців, маточин, полумуфт.
20 	Ø=50 – 200 H = 70-200 a = 70 – 200	Конструкційні сталі	Заготівки виделок
21 	Ø=250 a = 20	Конструкційні сталі	Заготівки зірочок ланцюгових механізмів

1	2	3	4
22 	Ø=50 – 250 H = 30-600	Конструкційні сталі, інструментальні сталі	Заготівки роликів листопрокатних та трубопрокатних станів
23 	$Ø_1$=250 $Ø_2$=50 H = 600	Інструментальні сталі	Трубопрошивні оправки
24 	Ø=50 – 250 L = 600	Конструкційні сталі	Секції колінчатих валів
25 	a = 70 – 200 b = 70 – 200 c = 30 H = 600	Конструкційні сталі	Заготівки корпусних деталей

1	2	3	4
	a = 40 – 200 b = 100 – 300 c = 20-40 H = 100–300 L = 100–1000	Конструкційні сталі	Заготівки кріпильних і опорних вузлів

7 ЛІТЕРАТУРА

1. Клюев М.М., Волков С.Е. Электрошлаковый переплав.- М.: Металлургия. - 1984.-208с.

2. Электрошлаковая сварка и наплавка. /Под ред. Б.Е.Патона. – М.: Машиностроение, - 1980.-511с.

3. Тепловые процессы при электрошлаковом переплаве. /Под ред. Б.И.Медовара - К: Наукова думка. -1978.-304с.

4. Соловьёв А.В., Калмыков В.А., Нечаев Е.А. Инженерный метод расчёта параметров электрошлаковой выплавки - Труды ЦНИИТМАШ.- 1983.-№176.-44с.

5. Колесник В.П. Методика расчета некоторых технологических параметров при разработке технологии электрошлаковой выплавки заготовок – Труды ЦНИИТМАШ. - 1983. - №194. - 96с.

6. Латаш Ю.В. Медовар Б.И. Электрошлаковый переплав-М.: Металлургия. - 1970. – 240 с.