

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичної роботи №2
«Розрахунок параметрів ЕШН деталей машин»
з дисципліни «Теорія процесів зварювання» для студентів
спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до проведення практичної роботи № 2
«Розрахунок параметрів ЕШН деталей машин» з дисципліни «Теорія
зварювальних процесів» для студентів спеціальності 131 «Прикладна
механіка» усіх форм навчання / Укл.: О.Є. Капустян, І.М. Білоник,
С.П. Бережний. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017 – 18 с.

Укладачі: О.Є. Капустян, ст. викладач
І.М. Білоник, канд. техн. наук, доцент
С.П. Бережний, канд. техн. наук, доцент
Рецензент: Р.А. Куликовський, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 8 від 29.03.2017

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 8 від 11.04.2017

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
3 РОЗРАХУНОК	5
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	10
5 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ	11
6 ЗМІСТ ЗВІТУ	11
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	11
Додаток А Типові деталі отримані з використанням технології ЕШН	13

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

До основних параметрів процесу ЕШН (рис. 2.1) [1] 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.

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.

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

Рисунок 2.1 – Схема процесу ЕШН

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].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$d_{\text{ел}} = D_{\text{кр}} \cdot k_3 \quad (3.1)$$

де $D_{\text{кр}}$ – діаметр кристалізатора або напавленої деталі, мм;
 k_3 - коефіцієнт заповнення, $k_3 = 0,50 - 0,70$.

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

Марка сталей	Хімічний склад, %							$C_{\text{рт}}, \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}}$	$C_{\text{рж}}, \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}}$
	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
X28	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
X25Н20	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
P18	0.715	0.3	0.25	4.26	0.07	-	W=18.45	410,31	611,27

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

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

Висота шару шлакової ванни визначається зі співвідношення:

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

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

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

Кількість флюсу (в грамах) розраховується по формулі:

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

де $\rho_{\text{фл}}$ – щільність флюсу, $\rho_{\text{фл}} = 2,5-2,8 \text{ (г/см}^3\text{)}$ [1].

Таблиця 3.2 - Флюси для ЕШН

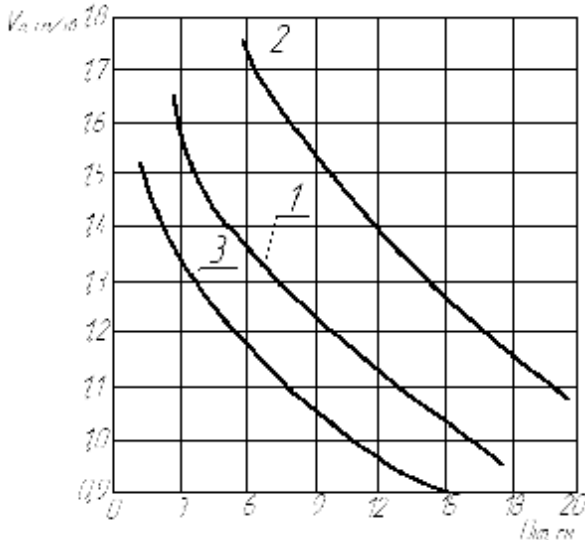
Флюси	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	T _{пл} , °C	Призначення шлаку
АНФ-6	70	30	-	-	1320-1340	Для сталей без Ti і В; забезпечує значне зменшення сірки
АНФ-7	80	-	20	-	1200-1220	Для сталей і стопів без Al, Ti і В; забезпечує найбільше зниження S
АНФ-8	60	20	20	-	1240-1260	Для сталей без Ti і В; забезпечує найбільше 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 В; дає найбільшу шлакову ванну
АНФ-5	80	-	-	-	1160-1180	Для мідних стопів
АНФ-291	18	40	25	17	-	Для сталей без Ti і В; забезпечує високу продуктивність
АНФ-292	-	60	35	5	1450	Теж саме, що й для АНФ-291 та зменшення сірки

Примітка. Вміст SiO₂ 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% ZnO₂, в шлаці АНФ-20 – 20 % BaO, в шлаці АНФ-21 - 25% TiO₂; і в шлаці АНФ-5 – 20 % NaF.

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}:

$$Q = \frac{V_{\text{л}} \cdot \rho \cdot S_{\text{ел}} \cdot g_{\text{т}}}{\kappa_3 \cdot \eta}, \quad (3.5)$$

де $V_{\text{л}}$ обирається за графіком, наведеним на рис. 3.1.
 ρ – щільність металу в рідкому стані, г/см³ (рис. 3.2).



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.

$$g_{\text{т}} = C_{\text{рт}}(T_{\text{с}} - T_0) + \lambda + C_{\text{рж}}(T_{\text{м}} - T_{\text{л}}) \quad (3.6)$$

де $g_{\text{т}}$ – теоретично необхідна кількість тепла для плавлення електрода із заданою продуктивністю $G_{\text{пл}}$, Дж/г;

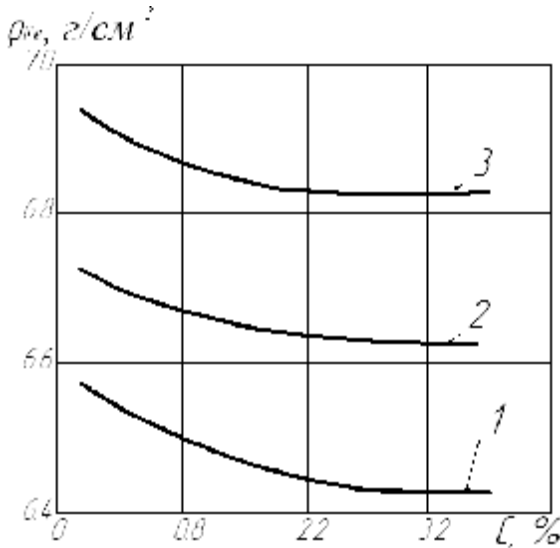
η – тепловий коефіцієнт корисної дії процесу, $\eta = 0,60 - 0,75$;

T_0 – початкова температура, $T_0 = 20$ °C;

$T_{\text{с}}$, $T_{\text{л}}$ – температури солідус та ліквідус, для сталей можливо прийняти по діаграмі залізо-вуглець;

$T_{\text{м}}$ – температура крапель розплавленого металу, можливо прийняти на 80–100° C вище температури ліквідус;

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



1 — 1550; 2 — 1600; 3 — 1700° C

Рисунок 3.2 - Ізотерми щільності металу в рідкому стані

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

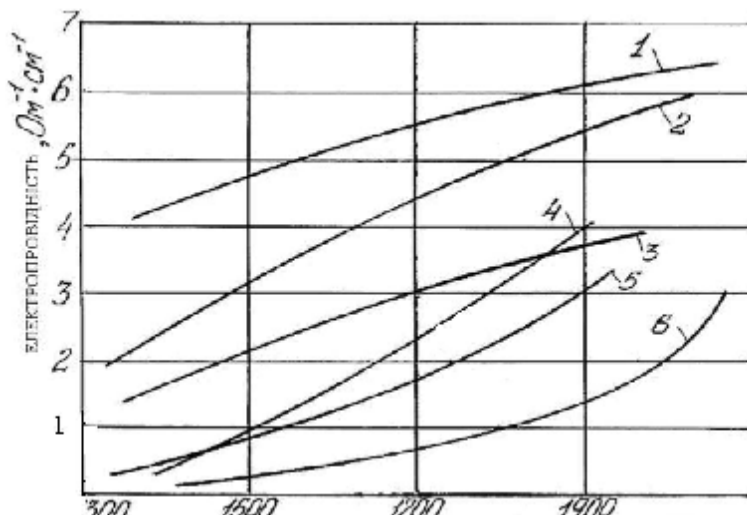
$$I_{\text{пл}} = \sqrt{\frac{g_{\text{т}} \cdot V_{\text{л}} \cdot \gamma \cdot S_{\text{ел}}}{\eta \cdot \kappa_3 \cdot R_{\text{шл}}}} \quad (3.7)$$

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

$$R_{\text{шл}} = \frac{h_{\text{шл}}}{g \times S_{\text{ел}}} \times \frac{\ln(1/\kappa_3)}{1/\kappa_3 - 1} \quad (3.8)$$

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

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



1 – АНФ - 1П; 2 – АНФ - 6 с 5 % Na₂O; 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:

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

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

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 металу.

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

5 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

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

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

6 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.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ключев 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.

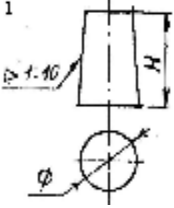
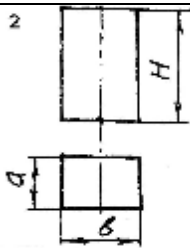
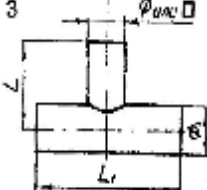
4. Соловьёв А.В., Калмыков В.А., Нечаев Е.А. Инженерный метод расчёта параметров электрошлаковой выплавки - Труды ЦНИИТМАШ.- 1983.-№176.-44с.

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

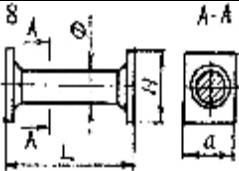
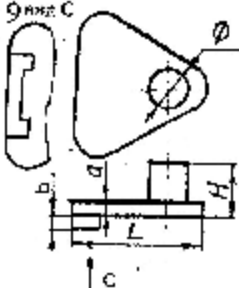
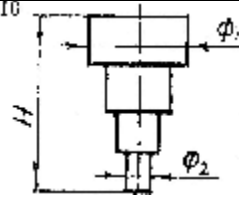
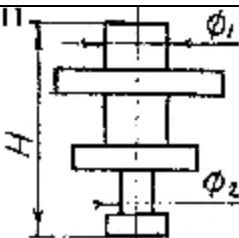
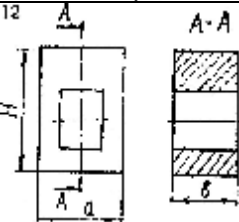
6. Латаш Ю.В. Медовар Б.И. Электрошлаковый переплав-М.: Металлургия. - 1970. – 240 с.

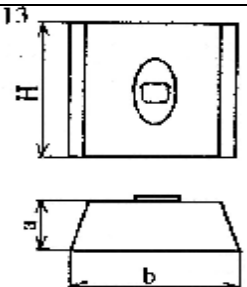
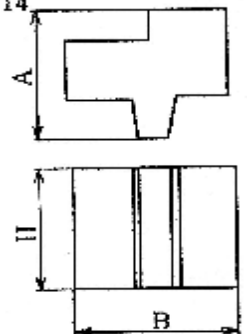
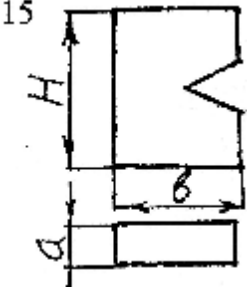
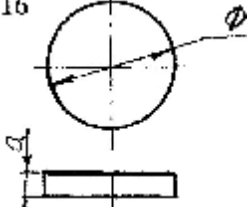
Додаток А

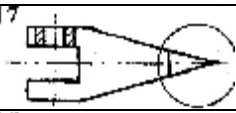
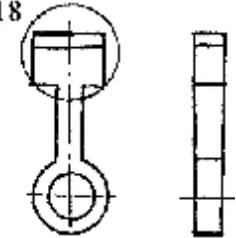
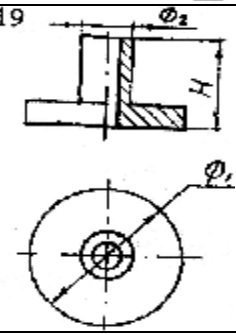
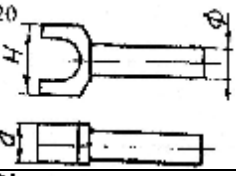
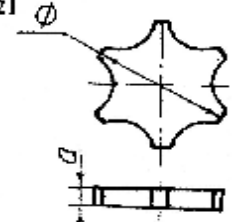
Типові деталі отримані з використанням технології ЕШН

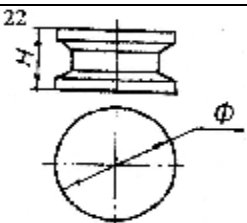
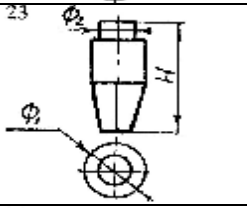
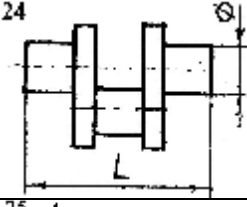
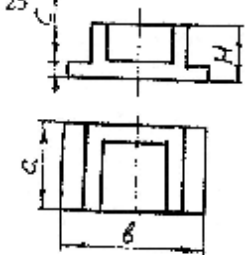
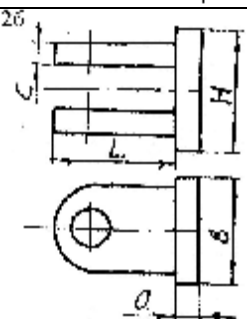
Виріб	Геометричні розміри, мм	Матеріал	Галузь можливого використання
1	2	3	4
	$\varnothing = 50 - 250$ $H \leq 400$	Конструкційні, інструментальні сталі, кольорові метали та стопи	Вихідна заготівка для металообробки, заготівлі інструментів (фрез, різьбонакатних роликів, дискових ножиців, пуансонів)
	$a = 70 - 200$ $b = 70 - 200$ $H \leq 400$	Конструкційні, інструментальні сталі, кольорові метали та стопи	Вихідна заготівка для металообробки Штампові кубики, заготівлі прес-форм
	$\varnothing = 50 - 250$ $\varnothing_1 = 50 - 250$ $L = 100 - 500$	Конструкційні сталі, кольорові метали та стопи	Трійник, арматура для роботи при високих тисках, в агресивних середовищах

1	2	3	4
	$\varnothing = 50 - 250$ $\varnothing_1 = 50 - 250$ $L = 100-500$	Конструкційні сталі, кольорові метали та стопи	Перехідник, арматура для роботи при високих тисках, в агресивних середовищах
	$\varnothing_1 = 50 - 200$ $\varnothing_2 = 50 - 250$ $L \leq 600$	Конструкційні сталі	Хрестовина, перехідники
	$a = 30 - 200$ $b \leq 400$ $H \leq 600$ $L_1 \leq 250$ $L_2 = 20-100$ $\varnothing_1 \leq 250$ $\varnothing_2 = 50 - 200$	Конструкційні та інструментальні сталі	Деталі перемінного перетину типу наковальні, тавра
	$\varnothing = 50 - 200$ $L \leq 600$ $L \leq 600$ $a = 40-200$	Конструкційні сталі	Деталі секції колінчатих валів, опорні вісі з фіксаторами

1	2	3	4
	$\varnothing_1 = 50 - 200$ $\varnothing_2 = 50 - 250$ $L \leq 600$	Конструкційні сталі	Опорні вісі
	$\varnothing = 50 - 250$ $L = 600$ $H = 500$ $a = 30 - 200$ $b = 1-100$	Конструкційні сталі	Деталі типу "серга"
	$\varnothing_1 \leq 250$ $\varnothing_2 \geq 50$ $H \leq 600$	Конструкційні сталі	Східчастий вал редукторів зубцюватих передач
	$\varnothing_1 \leq 250$ $\varnothing_2 \geq 50$ $H \leq 600$	Конструкційні сталі	Вал-шестірня зубцюватих передач
	$a = 70 - 200$ $b = 70 - 200$ $H \leq 600$	Конструкційні сталі	Деталі хомут замків

1	2	3	4
	$a = 70 - 200$ $b = 70 - 200$ $H \leq 400$	Інструментальні сталі	Кувальні вставки, штампи, прес-форм
	$A = 80 - 200$ $B = 80 - 200$ $H \leq 400$	Інструментальні сталі	Штампи пуансони
	$a = 20 - 400$ $b = 70 - 250$ $H = 70-250$	Мідь, хромиста бронза	Губки контактних машин, струмопроводів, струмознімачів
	$\varnothing = 250$ $a = 20 - 400$	Мідь, хромиста бронза	Електроди для шовних машин

1	2	3	4
17 		Зносостійкі матеріали	Відновлення зубів екскаваторів
18 		Зносостійкі матеріали	Відновлення біл дробарок
19 	$\Phi_1 = 50$ $\Phi_2 \geq 50$ $H \leq 600$	Конструкційні сталі	Заготівки фланців, маточин, полумуфт.
20 	$\Phi = 50 - 200$ $H = 70 - 200$ $a = 70 - 200$	Конструкційні сталі	Заготівки виделок
21 	$\Phi = 250$ $a = 20$	Конструкційні сталі	Заготівки зірочок ланцюгових механізмів

1	2	3	4
	$\varnothing = 50 - 250$ $H = 30-600$	Конструкційні сталі, інструментальні сталі	Заготівки роликів листопрокатних та трубопрокатних станів
	$\varnothing_1 = 250$ $\varnothing_2 = 50$ $H = 600$	Інструментальні сталі	Трубопрошивні оправки
	$\varnothing = 50 - 250$ $L = 600$	Конструкційні сталі	Секції колінчатих валів
	$a = 70 - 200$ $b = 70 - 200$ $c = 30$ $H = 600$	Конструкційні сталі	Заготівки корпусних деталей
	$a = 40 - 200$ $b = 100 - 300$ $c = 20-40$ $H = 100-300$ $L = 100-1000$	Конструкційні сталі	Заготівки кріпильних опорних вузлів