

УСТАНОВА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

*Кафедра
електричної інженерії*

**Методичні вказівки
до виконання практичних
завдань з дисципліни**

**ТЕХНОЛОГІЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО
ВИРОБНИЦТВА**

для студентів спеціальності
**141 – Електроенергетика, електротехніка та елект-
ромеханіка**

Тернопіль,
2023 р

Осадца Я.М. Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни “Технологія електротехнічного виробництва” (для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка). // Я.М. Осадца, Л.М. Костик – Тернопіль: ТНТУ, 2023 – 68 с.

Укладачі: Осадца Ярослав Михайлович
кандидат технічних наук,
доцент кафедри електричної інженерії

Костик Любов Миколаївна
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електричної інженерії

Рецензент: Андрійчук Володимир Андрійович
Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електричної інженерії

Відповідальний за випуск Осадца Ярослав Михайлович

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 10 від 25 травня 2023 р.

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 11 від «07» червня 2023 р.

ЗМІСТ

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1 «Визначення типу виробництва»	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2 «Розрахунок показників технологічності виробів»	6
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3 «Механічна обробка деталей за допомогою ріжучого інструменту»	10
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4 «Технологічний процес лиття у постійні форми»	25
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5 «Обробка деталей тиском»	32
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6 «Технологія виготовлення виробів із світлопропускних матеріалів»	44
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7 «Визначення виду заготовок та способів їх виготовлення»	52
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8 «Покриття виробів»	57
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9 «Показники якості продукції»	64
Рекомендована література	67

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

Тип виробництва, як найбільш загальна організаційно-технічна характеристика виробництва, визначається ступенем спеціалізації робочих місць, номенклатурою об'єктів виробництва, формою руху виробів по робочих місцях. Ступінь спеціалізації робочих місць характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{3.0}$, під яким розуміють кількість різних операцій, виконуваних на одному робочому місці в плинні місяця [1]. Відповідно до стандарту, якщо

$K_{3.0} \leq 1$, то виробництво масове;

$1 < K_{3.0} \leq 10$, то виробництво крупносерійне;

$10 < K_{3.0} \leq 20$, то виробництво середньосерійне;

$20 < K_{3.0} \leq 40$, то виробництво дрібносерійне;

В одиничному виробництві $K_{3.0}$ не регламентується.

При розрахунках для діючого цеху (дільниці)

$$K_{3.0} = \sum \frac{\Pi_o}{P_{я}} = K_{\epsilon} \cdot \Phi = \frac{\sum \Pi_o}{\sum N_i \cdot T_i}, \quad (1.1)$$

де $\sum \Pi_o$ – сумарна кількість різних операцій;

$P_{я}$ – явна кількість робочих підрозділів, що виконують різні операції;

$K_{\epsilon} = 1, 3$ – коефіцієнт виконання норм;

Φ – місячний фонд часу робітника при роботі в одну зміну, год;

$N_i \cdot T_i$ – сумарна трудомісткість програми випуску, год;

N_i – програма випуску кожної i -тої позиції номенклатури;

T_i – трудомісткість i -тої позиції, год.

У разі навчального технологічного проектування при заданій річній програмі випуску N_r , шт. та відомій трудомісткості основних операцій технологічного процесу $T_{ш.к}$, хв, явна кількість робочих $P_{я}$ може прийматись такою, що дорівнює кількості робочих місць $P_{р.м.}$. В той же час умовна кількість однотипних операцій Π_{oi} , котрі виконуються на одному робочому місці, можна визначити як

$$\Pi_{oi} = \frac{\eta_n}{\eta_{\phi}}, \quad (1.2)$$

де η_n – нормативний коефіцієнт завантаження робочого місця всіма закріпленими за ним операціями;

η_{ϕ} – фактичний коефіцієнт завантаження цією операцією:

$$\eta_{\phi} = \frac{T_{ш.к} \cdot N_r}{60 \cdot F_o \cdot K_{\epsilon}}, \quad (1.3)$$

де F_{∂} – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.

Якщо прийняти по довідникових даних $K_{\epsilon} = 1,3$, $\eta_n = 0,8$ та $F_{\partial} = 4015$ год, отримаємо:

$$P_{oi} = \frac{60 \cdot \eta_n \cdot F_{\partial} \cdot K_{\epsilon}}{T_{ш.к} \cdot N_r} = \frac{250536}{T_{ш.к} \cdot N_r}, \quad (1.4)$$

$$K_{3.0} = \frac{250536}{T_{р.м.} \cdot N_r} \cdot \sum_1^{P_{р.м.}} \frac{1}{T_{ш.кi}}, \quad (1.5)$$

Завдання 1.1. Визначити умовну кількість однотипних операцій P_{oi} , які виконуються на кожному робочому місці, коефіцієнт закріплення операцій $K_{3.0}$ та тип виробництва при реалізації технологічних процесів виготовлення деталі, використовуючи наступні вихідні дані: $N_r = 3000$ шт., $T_{ш.к1} = 3,6$, $T_{ш.к2} = 5,2$, $T_{ш.к3} = 2,8$, $T_{ш.к4} = 8,3$, $T_{ш.к5} = 4,2$.

Розв'язування. Підставляючи значення N_r та $T_{ш.к}$ у формулу (1.4), отримаємо:

$$P_{o1} = \frac{250536}{3,6 \cdot 3000} = 23,2;$$

$$P_{o2} = \frac{250536}{5,2 \cdot 3000} = 16,1;$$

$$P_{o3} = \frac{250536}{2,8 \cdot 3000} = 29,8;$$

$$P_{o4} = \frac{250536}{8,3 \cdot 3000} = 10,1;$$

$$P_{o5} = \frac{250536}{4,2 \cdot 3000} = 19,9.$$

Підставляючи дані у формулу (1.5), отримуємо:

$$K_{3.0} = \frac{250536}{5 \cdot 3000} \cdot \left(\frac{1}{3,6} + \frac{1}{5,2} + \frac{1}{2,8} + \frac{1}{8,3} + \frac{1}{4,2} \right) = 19,8.$$

Оскільки числове значення $K_{3.0}$ знаходиться в межах від 10 до 20, то це середньосерійне виробництво.

Завдання для самостійного виконання. Визначити умовну кількість однотипних операцій P_{oi} , які виконуються на кожному робочому місці, коефіцієнт закріплення операцій $K_{3.0}$ та тип виробництва при реалізації технологічних процесів виготовлення двох деталей, використовуючи дані, приведені в табл. 1.1. Варіант завдання отримати у викладача.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдання 1.1

№ варіанту	№ деталі	$T_{ш.к}$, хв. на операцію						N_r , шт
		1	2	3	4	5	6	
1	1	3,3	4,8	4,6	5,9	6,3	7,5	4500
	2	2,1	5,3	8,8	7,5	1,8	11,2	10000
2	3	4,7	7,8	5,4	10,3	15,2	-	2500
	4	5,2	4,3	12,4	4,8	1,2	3,8	7500
3	5	1,2	0,8	2,1	2,8	1,9	0,7	15000
	6	12,0	32,3	15,6	10,3	9,2	-	1500
4	7	15,0	42,0	11,3	7,4	-	-	1000
	8	0,9	1,2	7,1	3,4	5,3	-	10000
5	9	3,0	4,5	6,3	5,4	1,2	1,7	7500
	10	1,2	2,1	0,9	1,8	3,2	-	30000
6	11	5,4	5,0	6,2	4,2	7,8	8,3	1500
	12	3,8	4,3	12,0	6,3	-	-	3800
7	13	7,0	6,5	8,3	5,4	7,8	2,4	10000
	14	4,0	7,0	2,2	3,5	4,7	-	50000
8	15	2,7	1,8	3,9	4,6	6,6	-	1500
	16	7,0	8,0	9,0	10,0	7,5	8,5	5000
9	17	13,5	6,8	7,5	14,0	3,5	-	1500
	18	3,0	4,5	2,9	7,4	1,8	-	12000
10	19	9,5	36,0	14,0	22,0	-	-	4000
	20	1,8	6,7	3,8	12,0	6,1	5,3	25000

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ВИРОБІВ

Відповідно до ГОСТ 14.205-83 технологічність – це сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають його пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті при заданих показниках якості, обсягу випуску і умов виконання робіт [1].

Виробнича технологічність конструкції деталі – це ступінь її відповідності вимогам найбільш продуктивного і економічного виготовлення. Чим меншою є трудомісткість і собівартість виготовлення, тим більш технологічною є конструкція деталі.

Оцінка технологічності конструкції буває двох видів: якісна та кількісна. Якісна оцінка технологічності є попередньою, узагальненою і характеризується показниками: «краще – гірше», «рекомендується – не рекомендується», «технологічно – не технологічно» і т.п. Технологічною при якісній оцінці слід вважати таку геометричну конфігурацію деталі і окремих її елементів, при якій враховано можливості мінімальної витрати матеріалу і використання найбільш продуктивних і економічних для певного типу виробництва методів виготовлення. У зв'язку з цим слід проаналізувати креслення деталі, наприклад, з точки зору:

- ступеня уніфікації геометричних елементів (діаметрів, довжин, різьб, модулів, радіусів переходу і т.п.) в конструкції;
- наявності зручних базуючих поверхонь, що забезпечують можливість суміщення і сталості баз;
- умови можливості вільного підведення і виведення ріжучого інструменту при обробці;
- вигоди контролю параметрів точності деталі;
- можливості зменшення протяжності точних поверхонь обробки;
- відповідності форми dna отвору формі кінця стандартного інструменту для його обробки (свердла, зенкера, розгортки) і т.п.

Кількісна оцінка технологічності виражається показником, чисельне значення якого характеризує ступінь задоволення вимог до технологічності. Згідно стандарту номенклатура показників технологічності виробу містить 4 основних та 31 додаткових показників.

Стосовно виробництву кількісну оцінку технологічності здійснюють сумарною трудомісткістю $\sum T$ і технологічної собівартості C_T , а також технічних показників, визначення яких здійснюється згідно креслення деталі. До них відносяться коефіцієнти точності K_m і шорсткості K_u деталі.

Ці та інші показники визначаються за формулами:

$$K_m = 1 - \frac{1}{T_{cp}} \quad (2.1)$$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.2)$$

$$K_u = \frac{1}{Ra_{cp}}, \quad (2.3)$$

$$Ra_{cp} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.4)$$

де T_i , Ra_i – відповідно квалітети точності та значення шорсткості поверхонь, які обробляються;

T_{cp} , Ra_{cp} – середні значення точності та шорсткості оброблювальних поверхонь;

n_i – число розмірів або поверхонь для кожного квалітету і значення параметру шорсткості.

У загальному випадку технологічність деталі повинна оцінюватися шляхом порівняння її показників з відповідними показниками деталі-аналога. Під деталлю-аналогом розуміється базова деталь, що виконує у виробі ті ж функції, що і задана деталь, і яка має відомі базові показники.

Звідси трудомісткість деталі T_D може бути визначена як

$$T_D = T_A \cdot K_M \cdot K_{скл} \cdot K_N \quad (2.5)$$

де T_A – трудомісткість деталі-аналога;

K_M , $K_{скл}$, K_N – коефіцієнти, які враховують різницю між деталлю та деталлю-аналогом відповідно по масі, складності виготовлення та програмі випуску.

Коефіцієнт, який враховує різницю між деталлю та деталлю-аналогом по масі визначається за формулою:

$$K_M = \left(\frac{M_D}{M_A} \right)^{0,67} \quad (2.6)$$

де M_D , M_A – відповідно маса деталі та маса деталі-аналога.

Коефіцієнт, який враховує різницю у складності виготовлення:

$$K_{скл} = \frac{K_{тнмД} \cdot K_{шнмД}}{K_{тнмА} \cdot K_{шнмА}}, \quad (2.7)$$

де $K_{тнмД}$, $K_{шнмД}$, $K_{тнмА}$, $K_{шнмА}$ – відповідно коефіцієнти, які показують зміну трудомісткості залежно від зміни найменших значень квалітету точності і параметра шорсткості деталі і деталі-аналога, причому

$$K_{тнм} = 4 \cdot T_{нм}^{-0,63}, \quad (2.8)$$

$$K_{шнм} = 1,19 \cdot Ra_{нм}^{-0,071}, \quad (2.9)$$

де $T_{нм}$, $Ra_{нм}$ – відповідно найменші значення квалітету точності та параметру шорсткості поверхні.

Коефіцієнт, який враховує різницю по програмі випуску:

$$K_N = \left(\frac{N_A}{N_D} \right)^b \quad (2.10)$$

де N_A , N_D – відповідно річний випуск аналога та деталі;

b – показник степеня, який визначається за формулою

$$b = 0,2 \cdot M_D^{-0,045}. \quad (2.11)$$

Приклад 2.1. Визначити технологічність деталі (рис 2.1) по технічних показниках – коефіцієнтах точності K_m і шорсткості $K_{ш}$. Матеріал деталі сталь 45, маса деталі 4,5 кг, твердість після термообробки 42...46,5 HRC.

Розв’язання. Із креслення деталі (рис. 2.1) видно, що сумарна кількість вказаних на кресленні розмірів становить $\sum n_i = 13$, із яких 3 розміри виконуються по 6-му квалітету точності, 7 розмірів – по 14-му і по одному розмірі з квалітетами 12, 11 та 8. Також 4 поверхні мають середнє арифметичне відхилення профілю $Ra = 2,0$ мкм, 8 поверхонь – $Ra = 15$ мкм і по одній поверхні з жорсткостями $Ra = 0,25$, $Ra = 1,0$, $Ra = 6,3$ мкм.

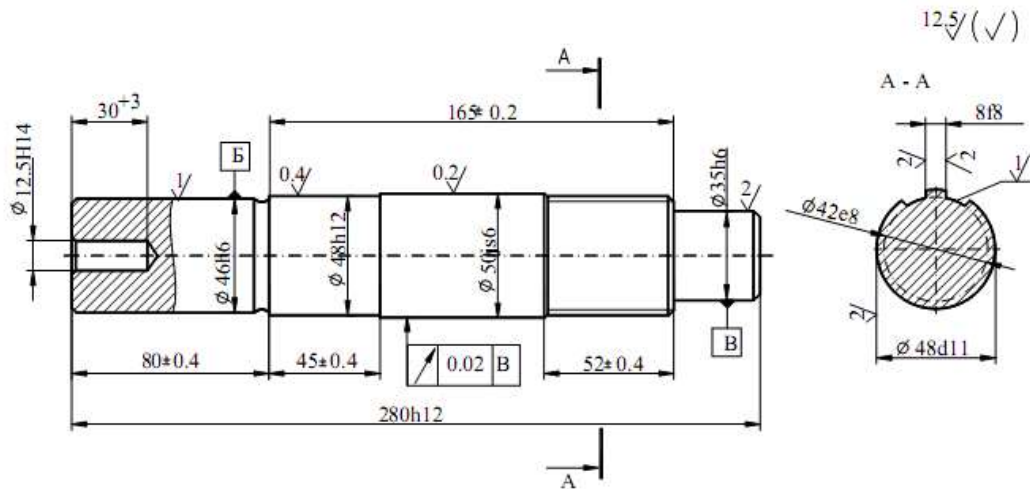


Рисунок 2.1 – Креслення деталі

Підставляючи значення у формули (2.1) – (2.4), отримаємо

$$T_{cp} = \frac{14 \cdot 7 + 12 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 6 \cdot 3}{13} = 11,3,$$

$$K_m = 1 - \frac{1}{11,3} = 0,91,$$

$$Ra_{cp} = \frac{15 \cdot 8 + 6,3 \cdot 1 + 2,0 \cdot 4 + 1,0 \cdot 1 + 0,25 \cdot 1}{15} = 9,03 \text{ мкм},$$

$$K_{ш} = \frac{1}{9,03} = 0,11.$$

Приклад 2.2. Визначити трудомісткість деталі при відпрацюванні її на технологічність, якщо відомо, що трудомісткість виготовлення деталі-аналога становить $T_A = 36,0$ хв при річному обсязі випуску $N_A = 1000$ шт. Відомо також, що маса деталі $M_D = 2,2$ кг, її аналога $M_A = 2,6$ кг, найменші квалітет і параметр шорсткості відповідно $T_{нмД} = 8$, $T_{нмА} = 10$, $Ra_{нмД} = 1,25$ мкм, $Ra_{нмА} = 2,5$ мкм. Річна програма випуску деталі передбачається $N_D = 1250$ шт.

Розв'язування. Підставляючи значення умови задачі у формули (2.1) – (2.11), отримаємо

$$K_M = \left(\frac{2,2}{2,6} \right)^{0,67} = 0,894;$$

$$K_{тнмД} = 4 \cdot 8^{-0,63} = 1,08; \quad K_{тнмА} = 4 \cdot 10^{-0,63} = 0,94;$$

$$K_{шнмД} = 1,19 \cdot 1,25^{-0,071} = 1,17; \quad K_{шнмА} = 1,19 \cdot 2,5^{-0,071} = 1,11$$

$$K_{скл} = \frac{1,08 \cdot 1,17}{0,94 \cdot 1,11} = 1,2;$$

$$b = 0,2 \cdot 2,2^{-0,045} = 0,193; \quad K_N = \left(\frac{1000}{1250} \right)^{0,193} = 0,96;$$

$$T_D = 36 \cdot 0,894 \cdot 1,2 \cdot 0,96 = 37,0 \text{ хв.}$$

Таким чином, незважаючи на істотне збільшення трудомісткості за рахунок складності обробки ($K_{скл} > 1$), технологічність деталі по трудомісткості в порівнянні з аналогом практично не змінюється, оскільки зменшена маса і збільшена річна програма випуску.

Завдання для самостійного виконання

Завдання 2.1. Визначити технологічність деталі по технічних показниках – коефіцієнтах точності K_m і шорсткості $K_{ш}$. Креслення деталі, а також параметри її точності та шорсткості отримати у викладача.

Завдання 2.2. Визначити трудомісткість деталі при відпрацюванні її на технологічність по умовах, наведених в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдання 2.2

№ вар.	Деталь				Деталь-аналог				
	M_D , кг	$T_{нмД}$, к-т	$Ra_{нмД}$, мкм	N_D , шт	M_A , кг	$T_{нмА}$, к-т	$Ra_{нмА}$, мкм	N_A , шт	T_A , хв
1	2,3	8	2,5	1500	2,8	7	1,25	1000	36,0
2	7,2	10	6,3	2500	6,9	9	2,5	3000	15,8
3	12,4	9	2,5	1000	13,7	10	5,3	1500	42,0
4	1,2	7	0,63	1500	1,5	6	0,32	1000	28,0
5	2,8	6	0,32	60000	2,3	7	0,63	40000	10,6
6	0,8	11	2,5	25000	1,1	10	1,25	30000	31,0
7	6,5	10	1,25	25000	6,1	9	0,63	15000	22,0
8	10,0	10	2,5	1000	9,2	11	6,3	1200	13,5
9	21,6	8	1,25	25000	22,8	9	2,5	2000	7,5
10	16,4	7	0,63	500	14,8	6	0,32	1000	26,0
11	8,6	7	1,25	800	10,0	8	2,5	600	18,0
12	2,6	12	6,3	3500	2,9	10	2,5	5000	34,0

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Механічна обробка представляє собою складний процес деформування та руйнування матеріалів, в результаті якого з поверхні вихідної заготовки видаляється стружка та утворюється деталь заданих форм, розмірів та шорсткості поверхні. За допомогою механічної обробки отримують різні деталі електричних апаратів: рами, каркаси, корпусні деталі, основи, кришки, шкафи, контактні деталі, пружини, кронштейни світильників, з'єднувальні елементи, тощо.

Механічну обробку застосовують також для отримання посадочних поверхонь у деталей, виготовлених литтям та штампуванням, наприклад здійснюють проточку корпусів вибухозахищених світильників для спряження їх з фланцями. Широке застосування механічна обробка знайшла для отримання посадочних поверхонь при складанні виробів.

Видалення шару матеріалу з поверхні заготовки здійснюють трьома способами:

1) за допомогою ріжучого інструменту, в якості якого використовуються різці клиновидної та іншої форм, свердла, фрези, протяжки і т. д.;

2) за допомогою абразивного інструменту, в якості якого застосовують шліфувальні круги;

3) шляхом випаровування або розплавлення частини металу під дією високих енергій: електронного імпульсу, лазера, променя, ультразвуку або під дією плазми.

Усі види руху при обробці різанням поділяються на три групи:

- робочий рух (або рух різання);
- установчий;
- допоміжний.

Складовими робочих рухів є головний рух і рух подачі. Головний рух здійснює процес зняття стружки, а рух подачі – процес різання. Наприклад, під час свердління головним рухом є обертання свердла, а його переміщення вздовж осі або вбік – є рух подачі, що дозволяє одержати наскрізний отвір або канавку певної глибини.

У металорізальних верстатах головний рух найчастіше буває обертальним (токарні, свердлильні, фрезерні, шліфувальні верстати) або прямолінійним (стругальні, довбальні верстати). Головний рух надається заготовкам (верстати токарної групи) або різальному інструменту (фрезерні, поперечно-стругальні тощо). У верстатах з головним обертальним рухом подача і різання безперервні, у верстатах з головним зворотно-поступальним – різання переривчасте.

Основними елементами процесу різання відносять:

- поверхні заготовки;
- координатні площини;
- елементи різальної частини;
- геометрія різця (кути, режими різання і розміри заданого шару металу).

Оброблювана поверхня (рис. 3.1) – це поверхня заготовки, з якої знімають стружку; оброблена поверхня – це та, з якої знято стружку; поверхня різання утворюється головним різальним лезом різця.

Координатною площиною називають площину різання, дотичну до поверхні різання, що проходить через головне різальне лезо різця, і основну площину, паралельну напрямку поздовжньої ($S_{\text{поз}}$) і поперечної подач.

Конструктивно різець складається з робочої частини, що приймає участь в процесі різання, і тримача, який служить для закріплення його в різцетримачі. Робоча частина різця утворюється шляхом спеціальної заточки і складається з наступних елементів: передньої поверхні, задньої поверхні, різальних кромок та вершини (рис. 3.2). Кутів α, β, γ визначають ріжучі властивості та стійкість різця.

До основних параметрів процесу різання відносять глибину і швидкість різання, подачу, ширину і товщину шару металу, що зрізується, та номіналь-

ну площу його перерізу.

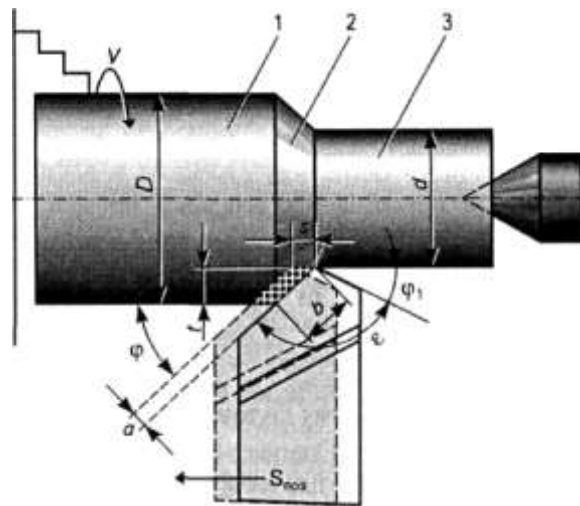


Рисунок 3.1 – Елементи різання і геометрія шару металу, що зрізується:
1 – оброблювана поверхня; 2 – поверхня різання; 3 – оброблена поверхня

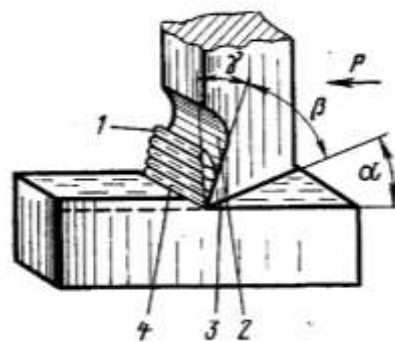


Рисунок 3.2 – Схема, що пояснює процес різання:
1 – стружка; 2 – передня поверхня різця, по якій сходить стружка;
3 – задня поверхня різця; 4 – ріжуча кромка; α – задній кут; β – кут за-
гострення; γ – передній кут.

Глибиною різання (t) називають товщину шару металу, який зрізається за один прохід різального інструмента. При повздовжньому точінні циліндричної поверхні глибина різання визначається як

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad (3.1)$$

де D – діаметр заготовки, мм;

d – діаметр обробленої поверхні, мм.

Швидкістю різання (V) називають швидкість головного руху. Вона визначається шляхом, що пройшла точка оброблюваної поверхні заготовки відносно різальної кромки інструмента за одиницю часу, і вимірюється у метрах за хвилину (м/хв), крім випадків, коли швидкість різання дуже велика (шліфування). Тоді її вимірюють у метрах за секунду (м/с). За умов головного обертального руху (фрезерування, точіння, свердлення) швидкість різання визначається як

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (3.2)$$

де D – діаметр заготовки (або інструмента), мм;

n – частота обертання заготовки (або інструмента), хв.

Подача (S) – це переміщення різальної кромки інструмента відносно заготовки в напрямку подачі за один оберт (мм/об) або подвійний хід заготовки (чи інструмента) (мм/под.хід). Залежно від напрямку руху подача може бути поздовжньою, поперечною, похилою, вертикальною, тангенціальною, круговою тощо.

Ширина шару різання (a) – це відстань між двома послідовними положеннями різальної кромки за час повного оберту заготовки, заміряна в напрямку, нормальному до товщини шару зрізаного металу b (рис. 3.1). Ширина шару різання визначається за формулою

$$a = S \cdot \sin \varphi. \quad (3.2)$$

Номінальна площа поперечного перерізу шару, що зрізується, (в квадратних міліметрах) визначається добутком подачі на глибину різання або товщини шару, що зрізується, на його ширину:

$$f = S \cdot t = a \cdot b. \quad (3.3)$$

Якість обробленої поверхні характеризують її шорсткість, хвилястість, наявність мікротріщин, надривів, подрібнення структури, нагартування і залишкові напруження. Шорсткість має визначальний вплив на експлуатаційні властивості виробів – стійкість проти спрацювання, втомну міцність, корозійну стійкість тощо.

Шорсткістю називають сукупність нерівностей поверхні деталі на певній (базовій) її довжині. Для кількісної оцінки шорсткості існують шість параметрів:

- середнє арифметичне відхилення профілю (R_a);
- висота нерівностей профілю за десятьма точками (R_e);
- найбільша висота нерівностей (R_{max});
- середній крок нерівностей;
- середній крок нерівностей за їх вершинами;
- відносна довжина профілю.

З чотирнадцяти існуючих класів шорсткості найбільш грубою і шорсткою є поверхня першого класу ($R_z = 160 \dots 320$ мкм), а найбільш гладкою – поверхня чотирнадцятого класу ($R_z < 0,1$ мкм).

Рівень шорсткості залежить від умов різання. Для зменшення шорсткості необхідно або збільшити радіус заокруглення вершини різця, або зменшити кути різця в плані.

Залежно від умов різання і властивостей оброблюваного матеріалу може формуватися стружка трьох основних видів (рис. 3.3).

Звивна стружка (рис. 3.3, а) має вигляд суцільної стрічки з гладкою внутрішньою (біля різця) і шорсткою зовнішньою поверхнями. Границі між елементами стружки не спостерігаються.

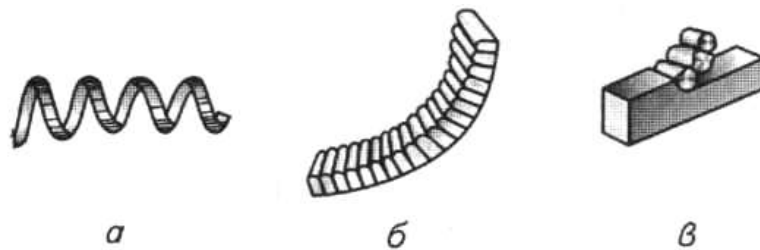


Рисунок 3.3 – Види стружки різання:

а – зливна стружка; б – стружка сколювання; в – стружка надлому

Стружка сколювання (рис. 3.3, б) утворюється при оброблюванні м'якших, твердих матеріалів. Поверхня стружки біля різця також гладка, а на зовнішній поверхні видно зазубринки. Стружка складається з елементів (що не втратили зв'язку між собою) з видимими границями.

Стружка надлому (рис. 3.3, в), або елементна, утворюється при оброблюванні крихких матеріалів і складається з окремих елементів випадкової форми, не пов'язаних між собою. Таку стружку іноді називають стружкою відриву, оскільки її утворення викликане дією напружень розтягування.

Вигляд стружки часто використовується як непряма характеристика роботи різання. Найбільших витрат енергії потребує утворення стружки сколювання (значний ступінь пластичної деформації), менших – утворення зливної, і найменших – утворення стружки надлому (незначна пластична деформація).

Спрацювання різальної частини інструмента характеризує його здатність протидіяти мікроскопічному руйнуванню на поверхнях контакту з заготовкою та стружкою. Розрізняють кілька видів спрацювання інструмента.

Абразивне спрацювання – це механічне зношування, дряпання інструмента твердими частинками оброблюваного матеріалу, твердість яких співрозмірна твердості матеріалу інструмента. Цей вид спрацювання переважає при відносно невеликих швидкостях різання і під час обробки крихких матеріалів (зазвичай по основній задній поверхні інструмента).

Адгезійне спрацювання – це наслідок процесу холодного зварювання матеріалу інструмента і стружки на виступаючих ділянках площі контакту між ними з наступним відривом дрібних частинок матеріалу інструмента і виносом їх зі стружкою із зони різання.

Дифузійне спрацювання відбувається внаслідок взаємної дифузії матеріалу інструмента і оброблюваної заготовки за умови підвищення температури контактних поверхонь до 900...1000 °С.

Окисне спрацювання має місце при температурах різання 700...800 °С, коли кисень повітря вступає в хімічну реакцію з матеріалом інструмента (карбідом вольфраму і титану).

Крихке спрацювання – це процес сколювання (викришування) макрочасток матеріалу інструмента.

У процесі різання спостерігається одночасна дія різних видів спрацювання, що визначає кінцеву стійкість інструмента за даних умов.

Стійкістю інструмента називають час його роботи за певних режимів різання між операціями його переточування. На стійкість впливають такі

фактори, як хімічний склад і властивості оброблюваного матеріалу, матеріал, з якого зроблений різальний інструмент, режим різання та умови обробки. Наприклад, стійкість токарних різців зі швидкорізальних сталей у середньому дорівнює 30...60 хв., твердосплавних різців – 45...90 хв., циліндричних фрез – 180...240 хв.

Однією з основних характеристик спрацювання і стійкості інструменту є критерій затуплення – гранично допустима величина зношування, за якої інструмент втрачає нормальну працездатність. Критерієм затуплення вважають певний рівень спрацювання головної задньої поверхні інструмента, оскільки це зумовлює збільшення сил різання, тертя, підвищення температури, шорсткості оброблюваної деталі.

Виходячи з умов експлуатації (високі напруження і температури), матеріал різального інструменту повинен відповідати високим вимогам щодо його властивостей. Основні з них: високі твердість, стійкість проти спрацювання, теплопровідність і достатня в'язкість. Важливою характеристикою різального інструменту є також червонотривкість – здатність зберігати високу твердість за високих температур (при нагріванні до темно-червоного світіння). Крім цього, матеріали для виготовлення інструменту повинні містити у своєму складі мінімальну кількість дефіцитних легуючих елементів.

Основними інструментальними матеріалами є вуглецеві та леговані інструментальні сталі, тверді металокерамічні сплави і мінералокерамічні матеріали.

Вуглецеві інструментальні сталі містять 0,9...1,3 % С (У 10, У11, У12, У13). З підвищенням вмісту вуглецю твердість сталей зростає і після гартування може дорівнювати 60...63 HRC. Проте у зв'язку з низькою теплостійкістю (200...250°C) застосування їх обмежене. З вуглецевих сталей виготовляють інструмент для невеликих (до 15...18 м/хв) швидкостей різання (плашки, розвертки, ножовочні полотна тощо).

Леговані інструментальні сталі забезпечують високу твердість і теплостійкість (250...300°C) інструменту. Легування сталі такими елементами, як Cr, V, Mo, W тощо, підвищує їхні міцність, прогартуваність, зносостійкість, теплостійкість. Інструменти з легової сталі мають кращі різальні властивості, менш схильні до деформації й тріщиноутворення під час гартування. Оскільки теплостійкість цих інструментів невисока, їх використовують при швидкостях різання, що не перевищують 25 м/хв (свердла, розвертки, мітчики, плашки, протяжки тощо).

Швидкорізальні сталі – це леговані сталі, що містять у своєму складі значну кількість вольфраму (близько 19 %), хрому (близько 4,5%), молібдену (близько 5 %), а також ванадій, кобальт, інші домішки. Після гартування і відпуску твердість швидкорізальної сталі дорівнює 62...65 HRC, теплостійкість 650°C, тобто червонотривкість цих сталей висока. Для економії дефіцитних і дорогих елементів інструменти з швидкорізальних сталей виготовляють з хвостовиком із конструкційної сталі. Такі інструменти можуть витримувати швидкості різання, що у 4 рази перевищують швидкість різання інструменту з вуглецевих сталей. Для виготовлення інструментів складної

форми і підвищеної стійкості використовують сталі типу P18, для інструментів інших форм – сталі типу P9. Число після літери «P» у марках швидкорізальних сталей означає вміст вольфраму (у відсотках). Кобальтові сталі P9K6, P9KF, PЦК5Ф2 використовують для виготовлення інструментів, що працюють за умов переривчастого різання, вібрації, а також для обробки важкооброблюваних неіржавіючих і жароміцних сталей. Для інструментів чистової обробки використовують ванадієві сталі (P9Ф5, P14Ф4), а для чорнової обробки – вольфрамомолібденові (P9M4, P6M3, P6M5).

Тверді металокерамічні сплави мають високу твердість, стійкість проти спрацювання, міцність, теплостійкість близько 900...1000°C. Використовують їх для високопродуктивної обробки зі швидкістю різання до 800 м/хв. Тверді сплави виготовляють спіканням при 1500...1900 °C з дисперсних порошків карбідів (WC, TiC, TaC) і порошку кобальту.

Тверді сплави поділяють на три групи: вольфрамові (ВК), титановольфрамові (ТК) і титанотанталовольфрамові (ТТК). Додаткові літери В і М у кінці марки сплаву вказують на дисперсність вихідного порошку відповідно 3...5 і 0,5 – 1,5 мкм. Зі сплавів групи ВК виготовляють інструменти для обробки чавунів, кольорових металів і пластмас; групи ТК – для обробки сталей та інших в'язких матеріалів, зі сплавів групи ТТК – для чорнової обробки сталей. Для цього використовують і значно дешевші безвольфрамові тверді сплави (БТТС) на основі карбідів і карбідо-нітридів титану з нікель-молібденовою зв'язуючою фазою.

Мінералокерамічні матеріали забезпечують інструменту ще більші різальні властивості, високу теплостійкість і швидкість різання. Основою мінералокерамічних матеріалів є порошок оксиду алюмінію Al_2O_3 , з якого шляхом пресування і наступного спікання виготовляють пластини потрібних розмірів і форми. Пластини ці закріплюють на держачах різального інструмента. Мінералокераміку використовують для чистової швидкісної обробки за умов відсутності ударних і згинаючих напружень. Добрі показники має мінералокераміка марки ЦМ-332.

За рівнем спеціалізації металорізальні верстати поділяють на:

- універсальні;
- спеціалізовані;
- спеціальні.

Універсальні призначені для виконання різноманітних операцій при виготовленні деталей, різних за розмірами і формою; спеціалізовані – для обробки однотипних деталей різних розмірів; спеціальні – для виготовлення деталей одного типорозміру.

За технологічними ознаками (залежно від характеру обробки) верстати поділяють на такі групи:

- токарні;
- свердлильні й розточувальні;
- шліфувальні, полірувальні, доводочні;
- для електрофізичної й електрохімічної обробки;
- зубо- і різьбообробні;

- фрезерні;
- стругальні, довбальні, протяжні;
- розрізні;
- різні.

Верстати кожної з цих груп поділяються на типи за такими основними ознаками:

- технологічне призначення (круглошліфувальні, плоскошліфувальні);
- конструктивні (універсально-фрезерні, поздовжньо-фрезерні);
- розташування робочих деталей у просторі (вертикально-свердлильні, горизонтально-свердлильні);
- кількість робочих деталей верстата (одношпindelьні, багатшпindelьні);
- ступінь автоматизації (з ручним керуванням, напівавтомати, автомати).

У промисловості найпоширеніші токарні, свердлильні, фрезерні та шліфувальні верстати.

Верстати токарної групи використовують для обробки циліндричних, конічних, фасонних (зовнішніх і внутрішніх) поверхонь обертання, а також для обробки площин, перпендикулярних до осі обертання заготовки. Для верстатів токарної групи основним інструментом є різець. На токарно-гвинторізальних верстатах різцем наносять нарізи на циліндричних і конічних поверхнях, а також спіральні канавки на торцевих поверхнях заготовок. Для нанесення нарізів застосовують також плашки і мітчики, а для оброблення отворів – свердла, зенкери, розгортки.

У верстатах токарної групи використовується два види руху: обертальний рух заготовки (рух різання) і поступальний рух інструмента (рух подачі), що забезпечують безперервність процесу різання. Токарні різці класифікують за різними ознаками. За матеріалом різальної частини розрізняють різці сталеві, твердосплавні і мінералокерамічні. За конструкцією різці поділяють на суцільні та складні. Залежно від розташування головної різальної кромки розрізняють різці правосторонні й лівосторонні. Залежно від призначення (виду обробки) різці поділяють на прохідні, підрізні, відрізні, розточувальні, нарізні, канавочні, фасонні.

До верстатів токарної групи відносяться також карусельні, револьверні, автомати та напівавтомати.

На верстатах свердління та розточування виконують свердлення, зенкерування, зенкування, розточування отворів різцями, розвертування, цекування, нанесення нарізу мітчиком.

Свердління – найпоширеніший спосіб виготовлення отворів у суцільному матеріалі з використанням свердла. Збільшення вже існуючих отворів свердлом називають розсвердлюванням. Оброблення ж циліндричних литих, штампованих або попередньо просвердлених отворів зенкером для надання їм необхідної геометричної форми, розмірів і шорсткості поверхні називають зенкеруванням. Зенкер, що використовується для цього, має конструктивні

елементи, подібні до свердла. Відміна лише в тому, що зенкер не має поперечного леза, а різальних лез у нього не два, а три або чотири. Отвори розточуються різцями при необхідності додержання точної співвісності отворів.

Оброблювання отворів з метою отримання точних розмірів і малої шорсткості називають розгорткою. Робоча частина інструменту розгортки, подібно до свердла, має заборний конус і калібруючу частину, далі за нею є ділянка зі зворотним конусом для зменшення тертя.

Зенкерування – це утворення циліндричних або конічних заглиблень у попередньо зроблених отворах під головки болтів, гвинтів тощо. Здійснюють зенкерування за допомогою циліндричних або конічних зенкерів (зенковок).

Цековка – це оброблення торцевих поверхонь під гайки, шайби й кільця з використанням ножів (пластин) або торцевих зенкерів.

При свердлінні **використовують** такі основні типи сверл: перові, спіральні, свердла для глибокого свердління та центровочні.

Швидкість різання (м/хв) під час свердління (зенкерування) отворів визначають з виразу

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (3.3)$$

де D – зовнішній діаметр свердла, мм;
 n – частота обертання, хв^{-1} .

Глибина різання при свердленні t дорівнює половині діаметра отвору:

$$t = \frac{D}{2}, \quad (3.4)$$

Подачу S визначають за формулою

$$S = C_s \cdot D^{X_s}, \quad (3.5)$$

де C_s , X_s – коефіцієнти, що залежать від оброблюваного матеріалу, точності обробки і шорсткості поверхні. Значення C_s , X_s наведені у довідниках.

Основні типи свердлильних верстатів: вертикально-свердлильні; радіально-свердлильні; багатошпindelні; горизонтально-свердлильні; агрегатні та інші.

Фрезерування – це процес обробки металу різанням, під час якого інструмент (фреза) здійснює головний обертальний рух, а заготовка – поступальний або обертальний рух подачі. Лише в окремих випадках фреза здійснює, окрім головного, і рух подачі. Фрезерування – один з найпродуктивніших і найпоширеніших методів обробки різанням. На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні й похилі площини, фасонні поверхні; фрезерують пази і шпоночні канавки, зубці прямозубчастих й гвинтових зубчастих коліс; набором фрез обробляють складні поверхні, виконують нарізи.

Фреза – це тіло обертання, на поверхні якого розміщені різальні зубці. Залежно від форми і призначення фрези поділяють на: циліндричні; торцеві; дискові; кінцеві; кутові; нарізні (різьбові); черв'ячні та інші.

За формою задньої поверхні зубців розрізняють фрези з гостро заточеними і затіланими зубцями (кут заточування відповідно до 6° і 25°). За конструктивними ознаками фрези поділяють на суцільні та зі вставними зубцями (ножами). Суцільні фрези виготовляють переважно зі швидкорізальної сталі. Корпус фрез зі вставними ножами виготовляють з конструкційної сталі, а ножі – з твердих сплавів.

Встановити оптимальний режим різання, що впливає на продуктивність обробки, точність та шорсткість оброблюваної поверхні, можливо тільки у разі правильного вибору елементів режиму різання. Такими елементами є: глибина різання, подача, швидкість різання, ширина фрезерування. Глибина різання t (мм) – товщина шару матеріалу, який знімає фреза за один прохід, виміряна перпендикулярно до оброблюваної поверхні (рис. 3.4).

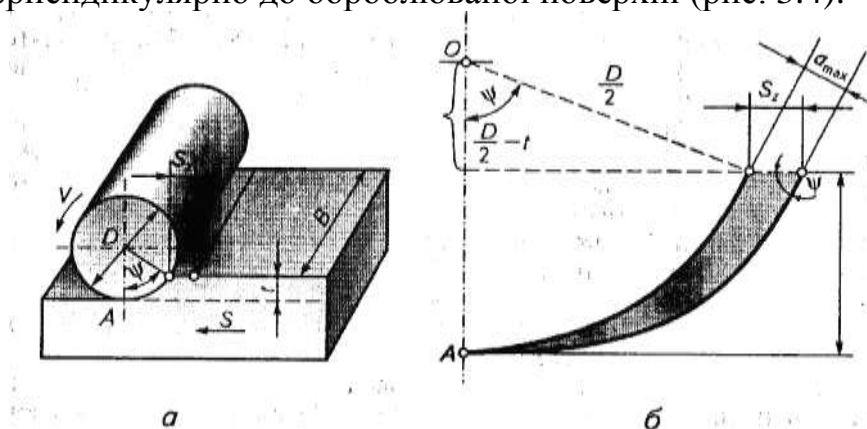


Рисунок 3.4 – Схема фрезерування

Подача – поступальне або обертаюче переміщення заготовки відносно осі фрези. При фрезеруванні розрізняють три розмірності подачі: подача на один зуб фрези S_z (мм/зуб) – переміщення заготовки відносно фрези за час її кутового повороту на один зуб; подача на один оберт фрези S_o – переміщення заготовки відносно фрези за один її оберт; подача за хвилину $S_{xв}$ – переміщення заготовки відносно фрези за хвилину. Ці величини зв'язані між собою за формулою:

$$S_{xв} = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n, \quad (3.6)$$

де z та n – відповідно кількість зубів фрези та частота її обертання.

Швидкість різання V (м/хв) – швидкість найбільш віддаленої від осі обертання точки ріжучої кромки фрези:

$$V = \frac{\pi \cdot D}{1000}, \quad (3.7)$$

де D – діаметр фрези, мм.

Ширина фрезерування B – довжина поверхні контакту фрези з оброблюваною заготовкою, виміряна в напрямку, перпендикулярному напрямку подачі. Товщина шару, зрізаного при фрезеруванні, — це товщина шару металу, яка знімається одним зубом фрези, виміряна в радіальному напрямку. Зуб фрези зрізає стружку змінної товщини, для якої

$$a_{\max} = S_z \cdot \sin \psi, \quad (3.8)$$

де ψ – кут контакту.

Фрезерні верстати є найбільш поширеними металоріжучими верстатами. Існує багато типів фрезерних верстатів: консольно-фрезерні, поздовжньо-фрезерні, фрезерні верстати безперервної дії, шпоночно-фрезерні, різьбо-фрезерні, копірувально-фрезерні, спеціальні та інші. Найпоширеніші консольно- та поздовжньо-фрезерні верстати.

Стругання – це обробка поверхонь, яка виконується за наявності двох рухів: прямолінійного зворотно-поступального головного руху різця або заготовки в горизонтальній площині та переривчастого поступального руху подачі різця чи заготовки, перпендикулярного напрямку головного руху. При струганні процес різання переривчастий і стружка зрізається тільки при прямому (робочому) русі.

Стругальні верстати підрозділяють на два основних типи: поздовжньо-стругальні, на яких обробляють переважно середні та великі за розміром заготовки, та поперечно-стругальні, призначені для обробки заготовок при довжині стругання до 1 м. У поздовжньо-стругальних верстатів головним рухом є зворотно-поступальне переміщення стола з закріпленою на ньому заготовкою, а рухом подачі – періодичне переміщення різця в напрямку, перпендикулярному головному рухові. У поперечно-стругальних верстатах головним рухом є зворотно-поступальне переміщення різця, а рухом подачі при обробці горизонтальних площин – періодичне переміщення стола з заготовкою в напрямку, перпендикулярному напрямку руху різця. При обробці вертикальних або нахилених поверхонь періодичний рух подачі виконує супорт із закріпленим на ньому різцем.

Довбання – це вид стругання, але відрізняється від нього тим, що головний рух – зворотно-поступальне переміщення повзуна з вставленим у ньому різцем – здійснюється у вертикальній площині. Стіл верстата з заготовкою рухає подачу в горизонтальній площині в поздовжньому, поперечному або круговому напрямку. При струганні та довбанні як інструмент використовують різці. За формою стругальні різці подібні до токарних, але працюють як і довбальні, в більш тяжких умовах, оскільки в момент візання відбувається удар.

Протягування – це високопродуктивний та високоточний метод обробки різанням наскрізних отворів та зовнішніх лінійних поверхонь, здійснюваний протяжками.

Протяжка – це багатолезові різальний інструмент, форма якого відповідає формі обробленого отвору або зовнішній поверхні. Висота кожного послідуєчого ріжучого зуба протяжки більша за висоту попереднього, і кожний зуб зрізає з оброблюваної поверхні стружку невеликої товщини. Розрізняють внутрішнє та зовнішнє протягання. При внутрішньому протяжку протягують через попередньо оброблений отвір заготовки. Залежно від форми поперечного перерізу протяжки одержують отвори різного профілю. Протяжки для зовнішнього протягання призначені для обробки зовнішніх плоских та лінійних фасонних поверхонь порівняно невеликої ширини.

Приклад 3.1. Визначити швидкість головного руху різання при обробці заготовки діаметром $D = 120$ мм на токарному верстаті з частотою обертання шпинделя $n = 500$ хв⁻¹.

Розв'язування. Швидкість головного руху різання при точінні розраховується за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}.$$

Підставляючи числові значення D та n у вищенаведену формулу, отримаємо

$$V = \frac{3,14 \cdot 120 \cdot 500}{1000} = 189 \text{ м / хв } (\approx 3,2 \text{ м / с}).$$

Приклад 3.2. Розрахувати частоту обертання шпинделя верстата при обточуванні заготовки діаметром $D = 80$ мм на токарному верстаті зі швидкістю головного руху різання $V = 215$ м / хв ($\approx 3,6$ м / с).

Розв'язування. Частота обертання шпинделя токарного верстата визначається за формулою

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}.$$

Підставляючи числові значення D та V у вищенаведену формулу, отримаємо

$$n = \frac{1000 \cdot 215}{3,14 \cdot 80} = 860 \text{ хв}^{-1}.$$

Приклад 3.3. Визначити швидкість руху подачі V_s при обточуванні заготовки на токарному верстаті з частотою обертання шпинделя $n = 1000$ хв⁻¹; подача різця за один оберт шпинделя становить $S_o = 0,26$ мм/об.

Розв'язування. Швидкість руху подачі різця визначимо за формулою

$$V_s = S_o \cdot n.$$

Підставляючи числові значення S_o та n у вищенаведену формулу, отримаємо

$$V_s = 0,26 \cdot 1000 = 260 \text{ мм / хв}.$$

Приклад 3.4. Розрахувати глибину різання t при обточуванні заготовки діаметром $D = 150$ мм на токарному верстаті у два переходи. При попередній обробці заготовка обточується до діаметра $D_o = 142$ мм, а при кінцевій – до $d = 140$ мм.

Розв'язування. При повздовжньому точінні циліндричної поверхні глибина різання визначається як

$$t = \frac{D_z - D_{o.n.}}{2},$$

де D_z – діаметр заготовки, мм;

$D_{o.n.}$ – діаметр обробленої поверхні, мм.

При попередній обробці діаметр заготовки становить $D_3 = D = 150$ мм, а діаметр оброблюваної поверхні – $D_{o.n.} = D_0 = 142$ мм. Підставляючи значення діаметрів заготовки та обробленої поверхні, отримаємо

$$t = \frac{150 - 142}{2} = 4 \text{ мм.}$$

При кінцевій обробці діаметр заготовки становить $D_3 = D_0 = 142$ мм, а діаметр оброблюваної поверхні – $D_{o.n.} = d = 140$ мм. Підставляючи значення діаметрів заготовки та обробленої поверхні, отримаємо

$$t = \frac{142 - 140}{2} = 1 \text{ мм.}$$

Приклад 3.5. Розрахувати потужність $N_{\text{різ}}$, яка витрачається на різання та момент опору різанню $M_{o.p.}$, якщо при повздовжньому точінні заготовки діаметром $D = 70$ мм зі швидкістю головного руху різання $V = 140$ м/хв ($\approx 2,3$ м/с) головна складова сили різання становить $P_z = 3100$ Н.

Розв'язування. Потужність, яку необхідно затратити на різання розраховуємо за формулою

$$N_{\text{різ}} = P_z \cdot V.$$

Підставляючи значення для P_z та V , отримаємо

$$N_{\text{різ}} = 3100 \cdot 2,3 = 7120 \text{ Вт} = 7,12 \text{ кВт.}$$

Момент опору різанню визначимо за формулою

$$M_{o.p.} = P_z \cdot \frac{D}{2}.$$

Підставляючи значення для P_z та D , отримаємо

$$M_{o.p.} = 3100 \cdot \frac{70}{2} \cdot 10^{-3} = 108,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Завдання для самостійного виконання

Завдання 3.1. Описати схему та технологію обробки заготовки на верстаті заданого типу. Тип верстата, відповідно до останньої цифри номера варіанту взяти із таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Остання цифра номеру варіанту	Тип верстата
0	Токарний карусельний
1	Токарний револьверний
2	Токарний автомат
3	Токарний напівавтомат
4	Вертикально свердлильний

5	Радіально свердлильний
6	Багатошпиндельний свердлильний
7	Горизонтально свердлильний
8	Консольно фрезерний
9	Фрезерний безперервної дії

Завдання 3.2. Визначити швидкість головного руху різання при обробці заготовки діаметром D на токарному верстаті з частотою обертання шпинделя n . Числові значення D та n отримати з таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Остання цифра номеру варіанту	D , мм	n , хв ⁻¹
0	80	860
1	150	315
2	45	1600
3	70	1250
4	220	250
5	180	315
6	30	2000
7	95	630
8	110	400
9	60	1000

Завдання 3.3. Розрахувати частоту обертання шпинделя верстата при обточуванні заготовки діаметром D на токарному верстаті зі швидкістю головного руху різання V . Числові значення D та V отримати з таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Остання цифра номеру варіанту	D , мм	V	
		м/хв	м/с
0	140	88	1,47
1	37	233	3,89
2	90	177	2,95
3	120	119	1,98
4	72	280	4,67
5	64	200	3,33
6	160	80	1,33
7	54	170	2,84
8	43	216	3,6
9	210	133	2,22

Завдання 3.4. Визначити швидкість руху подачі V_s при обточуванні заготовки на токарному верстаті з частотою обертання шпинделя n та подачею різця за один оберт шпинделя становить S_o . Числові значення n та S_o отримати з таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Остання цифра номеру варіанту	n , хв ⁻¹	S_o , мм/об
0	400	0,61
1	630	0,43
2	200	0,87
3	315	0,7

4	250	0,78
5	1600	0,17
6	860	2000
7	160	630
8	1250	400
9	500	1000

Завдання 3.5. Розрахувати глибину різання t при обточуванні заготовки діаметром D на токарному верстаті у два переходи. При попередній обробці заготовка обточується до діаметра D_0 , а при кінцевій – до d . Числові значення D , D_0 та d отримати з таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Остання цифра номеру варіанту	D , мм	D_0 , мм	d , мм
0	188	182	180
1	67	61,5	60
2	56	54	50
3	120	114	112
4	95	88,5	87
5	87	81,5	80
6	216	208	206
7	50	43,5	42
8	140	132	130
9	73	66,5	65

Завдання 3.6. Розрахувати потужність $N_{різ}$, яка витрачається на різання та момент опору різанню $M_{o.p.}$, якщо при повздовжньому точінні заготовки діаметром D зі швидкістю головного руху різання V головна складова сили різання становить P_z . Числові значення D , P_z та V отримати з таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Остання цифра номеру варіанту	D , мм	V , м/с	P_z , Н
0	140	1,25	2750
1	160	2,16	2200
2	65	3,00	3000
3	45	4,00	1050
4	90	1,06	3600
5	70	1,83	3200
6	220	0,00	4000
7	85	4,42	600
8	110	1,50	3250
9	30	2,50	500

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ЛИТТЯ У ПОСТІЙНІ ФОРМИ

Лиття – це технологічний процес отримання готових виробів або деталей шляхом заповнення ливарних форм розплавленим металом з наступним охолодженням металу в цих формах та вивільнення готових виробів з форми за допомогою різного виду виштовхувачів.

До деталей, отриманих способом лиття, висуваються певні вимоги щодо технологічності:

- 1) товщина стінки виливки повинна бути однаковою, без різких переходів тонкостінних частин у товстостінні;
- 2) конструкція заготовки повинна передбачати просте знімання форми;
- 3) поверхні виливка, розташовані перпендикулярно до площини роз'єму моделі, повинні мати конструктивні ливарні ухили;
- 4) для збільшення жорсткості слід не потовщувати стінки, а конструювати ребра жорсткості, товщина яких не повинна істотно відрізнятися від товщини стінок виливки;
- 5) наскрізні отвори повинні бути не менше 5 мм в діаметрі, глухих отворів бажано уникати, а при їх необхідності глибина глухит отворів не повинна перевищувати двох їх діаметрів;
- 6) при литті в землю слід уникати гострих кутів, оскільки вони зрізаються при доставанні деталі.

Технологічний процес лиття складається з наступних операцій:

- 1) Приготування рідкого металу;
- 2) Виготовлення ливарних форм (з попереднім виготовленням моделей майбутніх деталей);
- 3) Заповнення форм рідким металом (дозування розплавленого металу);
- 4) Витримка металу в формах до повного затвердіння;
- 5) Видалення готових виробів (вливок) за допомогою спеціальних виштовхувачів;
- 6) Відрізання та обрубка литників;
- 7) Ґрунтовка.

Сплави для вливок поряд з певними механічними, хімічними і фізичними властивостями повинні мати і хороші ливарні властивості. До них відносяться:

- 1) рідкотекучість – характеризує здатність сплаву заповнювати порожнину форми;
- 2) усадка – здатність сплавів зменшувати свій об'єм і розміри при твердненні;
- 3) ліквация – утворення неоднорідностей за хімічним складом у різних точках виливка;
- 4) газопоглинання – здатність матеріалів у розплавленому стані розчиняти кисень, водень, азот та інші гази;
- 5) схильність до утворення тріщин.

Класифікація методів лиття пояснює схема, показана на рис. 4.1.

Лиття в металеві форми (кокілі) набуло великого поширення. Цим способом отримують більше 40 % всіх вливок з алюмінієвих і магнієвих сплавів, відливання з чавуну і сталі. Лиття в кокіль – це виготовлення вливок з розплавленого металу в металевих формах-кокілях. На відміну від разової піщаної форми кокіль може бути використаний багаторазово. Таким чином, сутність лиття в кокілі складається в застосуванні металевих матеріалів для виготовлення багаторазового використання ливарних форм, металеві ча-

стини яких, складають їх основу і формують конфігурацію і властивості виливка.

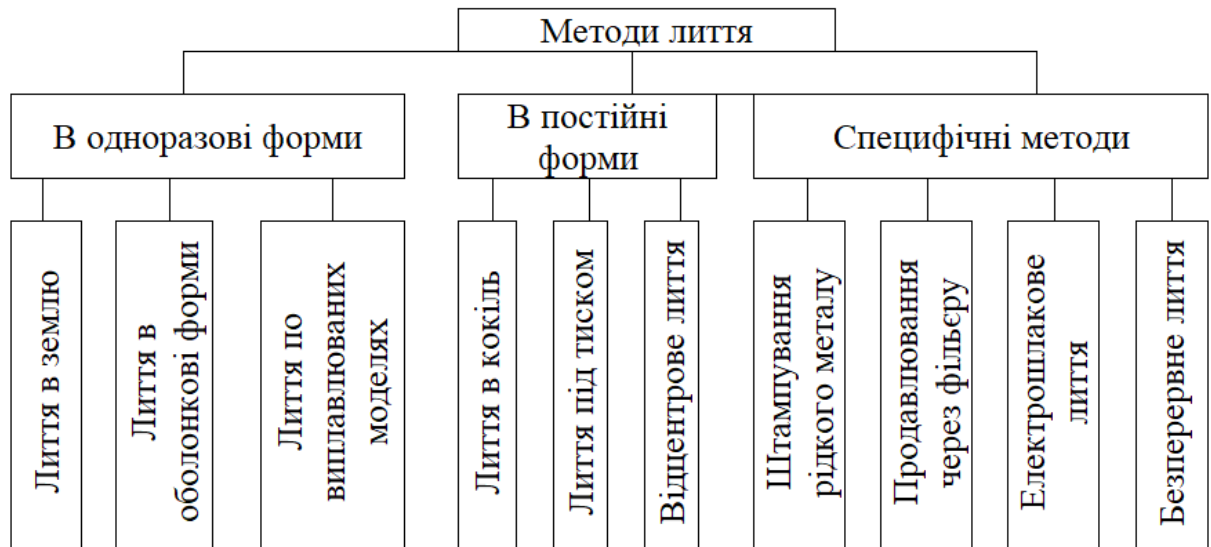


Рисунок 4.1 – Класифікація методів лиття

Формування виливок відбувається при інтенсивному відведенні теплоти від розплавленого металу, від виливка, що твердне і охолоджується, до масивного металевого кокілю, що забезпечує вищу щільність металу і механічні властивості, чим у виливок, отриманих в піщаних формах.

Схема отримання відливачів в кокілі представлена на рис.4.2. Робочу поверхню кокілю з вертикальною площиною роз'єму, що складається з піддону 1, двох симетричних півформ 2 і 3 і металевий стрижня 4, заздалегідь нагріту до 150...180 °С, покривають з пульверизатора 5 шаром вогнетривкого покриття (рис.4.2, а) товщиною 0,3-0,8 мм. Покриття захищає робочу поверхню кокілю від різкого нагріву і схоплювання з відливанням. Покриття готують з вогнетривких матеріалів (тальк, мів, графіт), зв'язуючого матеріалу (рідке скло) і води. Потім за допомогою маніпулятора встановлюють піщаний стрижень 6, за допомогою якого у відливанні виконується порожнина (рис.4.2, б). Половинки кокілю сполучають і заливають розплав. Після тверднення виливки 7 (рис.4.2, в) і охолодження її до температури вибивання кокіль розкривають (рис.4.2, г) і протягують вниз металевий стрижень 4. Виливок 7 видаляється з кокілю маніпулятором-виштовхувачем (рис.4.2, д).

Виливки простих конфігурацій виготовляють в нероз'ємних кокілях, нескладні виливки з невеликими виступами і впадинами на зовнішній поверхні – в кокілях з вертикальним роз'ємом. Крупні, прості по конфігурації виливки отримують в кокілях з горизонтальним роз'ємом. При виготовленні складних виливок застосовують кокілі з комбінованим роз'ємом.

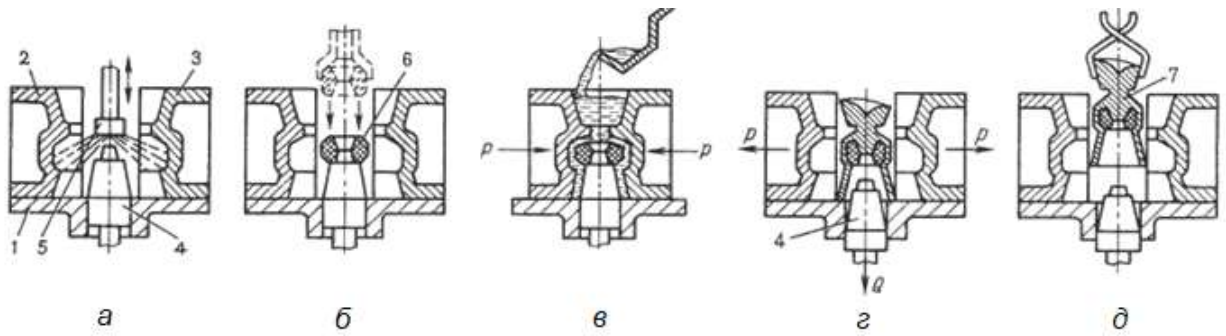


Рисунок 4.2 – Схема лиття в кокіль

Розплавлений метал у форму підводять зверху, знизу (сифоном), збоку. Для видалення повітря і газів по площині роз'єму прорізають вентиляційні канали.

Всі операції технологічного процесу лиття в кокіль механізовані і автоматизовані. Використовують однопозиційні і багатопозиційні автоматичні кокільні машини. Лиття в кокіль застосовують в масовому і серійному виробництвах для виготовлення виливків з чавуну, сталі і сплавів кольорових металів з товщиною стінки від 3 до 100 мм, масою від декількох грамів до декількох сотень кілограмів.

Кокіль (рис. 4.3) складається з двох напівформ 1, плити 2, вставок 10. Напівформи взаємно центруються штирями 8, і перед заливанням їх з'єднують замками 9. Розміри робочої порожнини 13 кокілю більше розмірів вилівка на величину усадки сплаву. Порожнини і отвори у вилівка можуть бути виконані металевими 11 або піщаними 6 стрижнями, що витягаються з вилівка після його твердіння і охолодження до заданої температури. Розплав заливають у кокіль через ливникову систему 7, виконану в його стінках, а живлення масивних вузлів вилівка здійснюється з надливків (живильних випоровши) 3. При заповненні кокілю розплавом повітря і гази видаляються з його робочої порожнини через вентиляційні випори 4, пробки 5, канали 12, що утворюють вентиляційну систему кокілю. Основні елементи кокілю, це напівформи, плити, вставки, стрижні звичайно виготовляють з чавуна або сталі.

У залежності від розташування поверхні рознімання кокілі бувають: нероз'ємні, з вертикальною площиною рознімання, з горизонтальною площиною рознімання, зі складною поверхнею рознімання. Нероз'ємні кокілі застосовують, коли конструкція вилівка дозволяє видалити з площини кокілю без його рознімання. Кокілі з вертикальною площиною рознімання складаються з двох і більше напівформ. Виливок може розташовуватися цілком в одній з половин кокілю, у двох половинах кокілю, одночасно в двох половинах кокілю і у нижній плиті. Кокілі з горизонтальною площиною роз'єму застосовують переважно для простих конфігурації, а також великогабаритних виливків. Кокілі зі складною (комбінованою) поверхнею рознімання використовують для виготовлення виливків складної конфігурації.

У залежності від способу охолодження розрізняють кокілі з повітряним, рідинним і з комбінованим охолодженням. Повітряне охолодження використовують для малотеплонагружених кокілів. Водяне охолодження використовують звичайно для високотеплонагружених кокілів, а також для підвищення швидкості охолодження вилівка або її окремих частин.

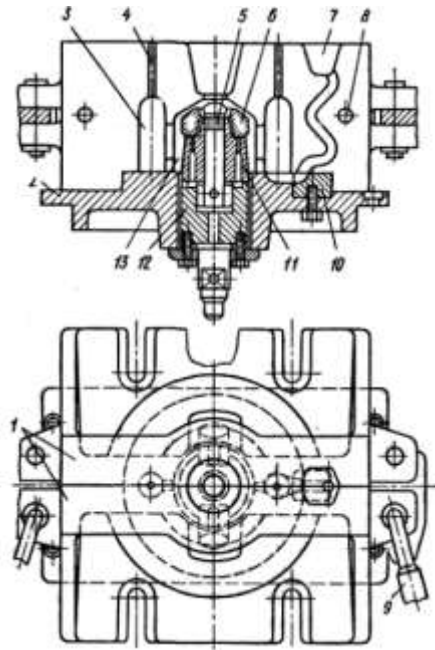


Рисунок 4.3 – Будова кокілю:

- 1 – напівформи;
- 2 – плити;
- 3 – надливок;
- 4 – випори;
- 5 – пробки;
- 6 – піщані стрижні;
- 7 – ливникова система;
- 8 – штирі;
- 9 – замки;
- 10 – вставка;
- 11 – металевий стрижень;
- 12 – вставка;
- 13 – робоча порожнина кокілю

Для одержання якісних виливків швидкість руху розплаву повинна уповільнюватись від перерізу стояка до живильника. Тому для виливків з алюмінієвих сплавів застосовують ливникові системи, що розширюються, зі співвідношенням: $f_c : f_k : f_j = 1 : 2 : 3$ або $1 : 2 : 4$, де f_c, f_k, f_j - відповідно площі поперечного перерізу стояка, колектора та живильника. Для великих (маса від 50 до 70 кг) і високих (висота від 750 мм) виливків відношення $f_c : f_k : f_j = 1 : 3 : 4$ або $1 : 3 : 5$.

Розрахунок ливникової системи при литті у кокілю зводиться до:

1. Визначення площі F поперечного перерізу стояка за формулою:

$$F = \frac{(3,0 \div 4,2) \cdot G}{\rho \cdot H_0 \cdot l_0 \cdot U_c}, \text{ см}^2, \quad (4.1)$$

де G – маса вилівка, гр;

ρ – густина сплаву, г/см³;

H_0 – розрахунковий напір, см;

l_0 – характерна товщина стінки вилівка, см;

U_c – швидкість підводу сплаву, см/с, яка визначається за формулою:

$$U_c = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}, \quad (4.2)$$

де μ – коефіцієнт, котрий залежить від способу підводу сплаву і становить 0,65 – 0,76 для нижнього підводу, 0,7 – 0,8 – для ярусного та 0,56 – 0,67 – для комбінованого підводу.

2. Розрахунку маси кокілю m на основі теплового балансу форми і вилівка за формулою:

$$m = \frac{m_1 (c_1 \cdot t_1^1 + c_2 \cdot t_2^1 + u)}{c_3 \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (4.3)$$

де m_1 – маса сплаву, який заливається в кокілю, кг;

c_1, c_2 – середня теплоємність металу виливка відповідно у твердому та рідкому станах, кДж/(кг °С);

c_3 – середня теплоємність металу форми, кДж/(кг °С);

t_1^1 – різниця між температурою плавлення металу и температурою виливка у момент вибивання, °С;

t_2^1 – різниця між температурою заливання метала и температурою твердіння, °С;

u – скрита теплота плавлення металу виливка, кДж/кг;

t_1, t_2 – температура форми відповідно в момент вибивання виливка та в момент перед повторним заливанням, °С.

3. Розрахунку зусилля P , необхідного для розкриття кокілю при відомому матеріалі та температурі вибиванні виливка:

$$P = \mu \cdot \alpha \cdot E \cdot (a + b + c) \cdot (620 - T_k), \quad (4.4)$$

де $\mu = 0,2 \div 0,4$ – коефіцієнт тертя;

α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу кокілю, $1/^\circ\text{C}$;

E – модуль пружності, кг/см²;

a, b, c – площа перетину відповідно стояка, літника і живильника, см²;

T_k – температура вибивання виливка, °С.

При відцентровому литті сплав заливається у форми, що обертаються. Формування виливків здійснюється під дією відцентрових сил, що забезпечує високу щільність і механічні властивості деталей.

Відцентровим литтям виготовляють виливки в металевих, піщаних, оболонкових формах і формах для литва по виплавлених моделях на відцентрових машинах з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Металеві форми виготовляють з чавуну і сталі, їх товщина в 1,5-2 рази більша від товщини виливки. В процесі лиття форми зовні охолоджують водою або повітрям.

На робочу поверхню виливниці наносять теплозахисні покриття для збільшення терміну їх служби. Перед роботою виливниці нагрівають до 200 °С. Схеми процесів виготовлення відливаних відцентровим литтям представлені на рис. 4.4.

При отриманні виливків на машинах з обертанням форми навколо вертикальної осі (рис. 4.4, а) метал з ковша 4 заливають у форму 2, що обертається, закріплену на шпінделі 1, який обертається від електродвигуна.

Під дією відцентрових сил метал притискається до бічної стінки виливниці. Форма обертається до повного тверднення відливання. Після зупинки форми виливка 3 витягується.

Виливки мають різностінність по висоті – товщий перетин в нижній частині. Застосовують для отримання відливок невеликої висоти – коротких втулок, кілець, фланців. При отриманні виливок типу тіл обертання великої довжини (труби, втулки) на машинах з горизонтальною віссю обертання (рис.4.9, б) виливницю 2 встановлюють на опорні ролики 7 і закривають кожухом 6. Виливниця приводиться в рух електродвигуном 1. Розплавлений

метал з ковша 4 заливають через жолоб 3, який в процесі заливки металу переміщається, що забезпечує отримання рівнощинної виливки 5. Для утворення розтруба труби використовують піщаний або оболонковий стрижень 8. Після тверднення металу готову деталь витягують спеціальним пристосуванням.

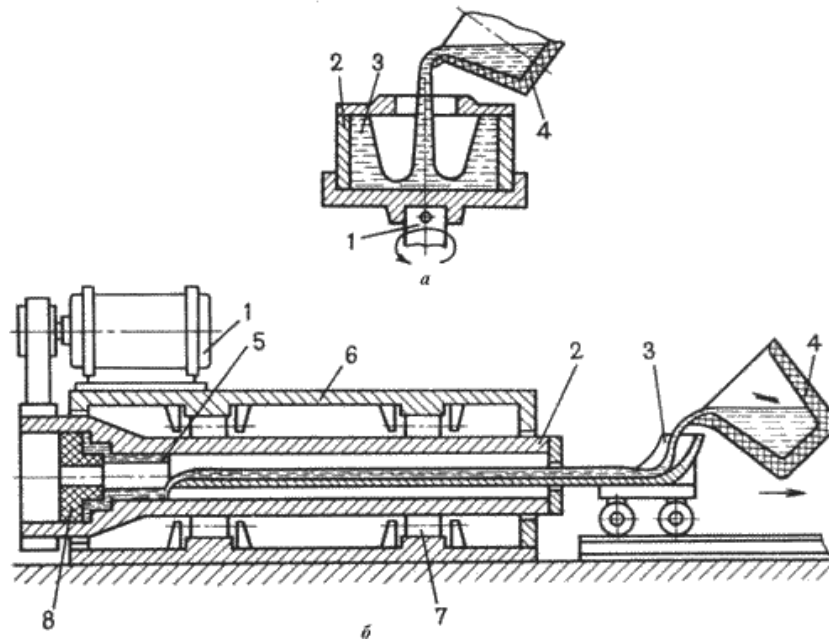


Рисунок 4.4 – Схеми процесів виготовлення виливків відцентровим литтям.

Швидкість обертання форми залежить від діаметру виливка. Розрахунок частоти n обертання форми можна виконати декількома способами:

1) із врахуванням коефіцієнта гравітації:

$$n = 0,705 \cdot \sqrt{\frac{K}{D}}; \quad (4.5)$$

2) за формулою Костантинова:

$$n = \frac{291}{\sqrt{\rho \cdot r}}; \quad (4.6)$$

3) за формулою Кеммена

$$n = \frac{c}{\sqrt{R}}, \quad (4.7)$$

де K – коефіцієнт гравітації, котрий для машин з горизонтальною віссю обертання с становить в межах від 75 до 100, а для машин із вертикальною віссю – від 100 до 200;

ρ – густина матеріалу виливка;

r – радіус внутрішньої поверхні виливка;

R – радіус зовнішньої поверхні виливка;

c – коефіцієнт, який для сплавів на основі алюмінію становить 3,75, для сірого чавуну – 2,79, для сталі – 2,25.

Приклад 4.1. Для матеріалу АЛ вилівка масою 5 кг розрахувати масу кокілю, матеріалом якого є СЧ.

Розв'язування. Із таблиці 4.1 вибираємо наступне:

- для матеріалу вилівка АЛ: $c_1 = 1,088$ кДж/(кг °С), $c_2 = 1,289$ кДж/(кг °С), $t_1^1 = 350$ °С, $t_2^1 = 50$ °С, $u = 389$ кДж/кг;

- для матеріалу кокіля СЧ: $c_3 = 0,837$ кДж/(кг °С), $t_1 = 600$ °С, $t_2 = 150$ °С.

Таблиця 4.1 – Теплофізичні характеристики деяких металів

Метал	c_1 , кДж/(кг °С)	c_2 , кДж/(кг °С)	t_1 , °С	t_2 , °С	t_1^1 , °С	t_2^1 , °С	u , кДж/кг
Al	1,088	1,289	300	100	350	50	389
Cu	0,439	0,544	500	150	520	25	204
Ni	0,569	0,669	600	200	610	100	309
Pb	0,121	0,113	100	50	80	35	27
Zn	0,418	0,531	250	80	100	40	101
Mg	1,046	1,256	280	100	80	45	293
Ст	0,690	0,837	700	200	250	40	268
Сч	0,669	0,837	600	150	200	120	270

Підставивши вибрані значення, а також масу $m_1 = 5$ кг у формулу (4.3), отримаємо:

$$m = \frac{5 \cdot (1,088 \cdot 350 + 1,289 \cdot 50 + 389)}{0,837 \cdot (600 - 150)} = 11,1 \text{ кг.}$$

Приклад 4.2. Розрахувати частоту обертання форми для машини відцентрового лиття з вертикальною віссю обертання для вилівоків матеріалу СЧ, зовнішній та внутрішній діаметри яких становлять відповідно 120 та 80 мм, а діаметр форми 140 мм. Розрахунки виконати трьома способами. Коефіцієнт гравітації прийняти таким, що дорівнює 100.

Розв'язування. Підставляючи значення для $K=100$ та $D=140$ мм у формулу (4.5), отримаємо:

$$n = 0,705 \cdot \sqrt{\frac{100}{140 \cdot 10^{-3}}} = 18,84 \text{ с}^{-1};$$

З довідникових даних вибираємо, що густина чавуну становить $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3 = 7200 \text{ кг/м}^3$. Підставивши це значення, а також значення $r = 80/2 = 40$ мм у формулу (4.6), отримаємо:

$$n = \frac{291}{\sqrt{7200 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}} = 17,15 \text{ с}^{-1};$$

Підставивши значення $s = 2,79$ та $R = 120/2 = 60$ мм у формулу (4.7), отримаємо:

$$n = \frac{2,79}{\sqrt{60 \cdot 10^{-3}}} = 11,39 \text{ с}^{-1}.$$

Таблиця 4.2

№ п/п	Матеріал вилівка	Матеріал кокілю	Маса вилівка, кг
1	2	3	4
1	АЛ	СЧ	5
2	Pb	АЛ	10
3	Zn	АЛ	15
4	Mg	СЧ	12,5
5	АЛ	СЧ	2
6	Mg	СЧ	3
7	Pb	СЧ	4
8	Zn	СЧ	5,5
9	Mg	СЧ	7
10	Zn	Cu	8
11	Pb	Cu	9
12	АЛ	Cu	10,5
13	Zn	Cu	3,5
14	Mg	Ni	2,5
15	АЛ	Ni	4,6
16	Pb	Cu	5,8
17	Mg	Cu	3,9
18	АЛ	Ni	11,2
19	Zn	Ni	7,8
20	Pb	Ni	12

Таблиця 4.3

№ п/п	Матеріал вилівка	$2R$, мм	$2r$, мм	D , мм
1	СЧ	120	80	140
2	СТ	250	190	270
3	АК5М	410	340	430
4	АМ5	560	475	580
5	СТ	200	120	230
6	СТ	210	130	220
7	СЧ	260	200	300
8	СЧ	500	400	550
9	КЧ	550	460	600
10	СТ	600	540	650
11	АМг10	300	270	340
12	АК12	280	190	340
13	АК5М7	270	220	290
14	СЧ	320	300	350
15	АК9	750	610	800
16	АМг11	210	130	240
17	АЦ4	260	240	280
18	АК7Ц9	315	285	350
19	АМг11	420	390	470
20	АК10	545	505	590

Завдання для самостійного виконання

Завдання 4.1. Розрахувати масу кокілю, у відповідності до свого варіанту, використовуючи дані, наведені в табл. 4.2.

Завдання 4.2. Розрахувати частоту обертання форми для машини відцентрового лиття з вертикальною віссю обертання, у відповідності до свого варіанту, використовуючи дані, наведені в табл. 4.3.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5 ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ТИСКОМ

Обробка деталей тиском ґрунтується на використанні пластичної деформації матеріалів, тому, в основному, обробці тиском підлягають пластичні матеріали. Операції обробки тиском відбуваються без знімання стружки, а зміна форми зумовлена дією на заготовку зовнішніх сил від інструменту і оснастки. Основними видами обробки деталей тиском є прокатування, пресування, волочіння, кування і штампування.

У сучасній електротехнічній промисловості значну частину виробів виготовляють методом штампування. До переваг листового штампування відносяться:

- висока продуктивність, що приводить до низької вартості деталей;
- можливість використання малокваліфікованих робітників;
- порівняно невеликі втрати матеріалу при правильній побудові технологічного процесу і розкрою матеріалу;
- взаємозамінність деталей внаслідок високої точності і одноманітності;

- можливість отримання досить міцних, жорстких, але легких конструкцій при малій матеріаломісткості;
- передумови для механізації та автоматизації технологічного процесу.

Всі операції листового штампування поділяють на чотири групи;

1) *роз'єднувальні* – відділення однієї частини матеріалу від іншої по замкнутому чи незамкнутому контурі;

2) *формозмінюючі* – зміна форми заготовки в процесі штампування, при якій плоска чи пустотіла заготовка перетворюється у просторову деталь заданої форми без зміни товщини заготовки або з її потоншенням;

3) *комбіновані* – суміщення кількох технологічних операцій штампування в одну (наприклад, пробивка+відрізання+згинання);

4) *збиральні* – операції для з'єднання кількох деталей в один вузол (наприклад, запресовка, клепання, закатування).

До роз'єднувальних операцій відносяться:

Відрізання – повне відділення частини матеріалу по незамкнутому контурі.

Вирубубвання – повне відділення матеріалу по замкнутому контурі, відокремлена частина заготовки є готовим виробом;

Пробивання – отримання отвору шляхом відокремлення частини матеріалу пі замкнутому контурі. На відміну від вирубубвання при пробиванні частина матеріалу, що проштовхується крізь матрицю, є відходом, а частина, що залишилась, – виробом;

Надрізання – часткове відділення матеріалу по незамкнутому контурі без видалення залишків;

Розрізання – розділення заготовок на кілька окремих деталей;

Обрізання (обрубубвання) – повне відділення лишнього матеріалу по зовнішньому контурі виробів. Від вирубубвання відрізняється конструкцією штампа.

Зачистка – невелике обрізання передбачених припусків на плоских заготовках з метою отримання точних розмірів і форми. Якщо зачистку проводять одночасно з вирубубванням (пробиванням) одними матрицею і пуансоном, то така обробка є чистовим вирубубванням (пробиванням).

Просічка – відокремлення листових неметалевих деталей по замкнутому контурі за допомогою просічних ножових штампів.

Операції розрізання широких заготовок на заготовки, з яких беспосередньо виготовляють деталі, називаються заготівельними. При цьому найчастіше використовують рулонний матеріал завтовшки 0,5 – 1,5 мм (шириною до 1,5 м), різання якого здійснюють за допомогою ножиць.

При роботі *ножиць з паралельними ножами* (рис. 5.1 а) матеріал, поміщений між ножами, піддається вертикальному тиску, що збільшується від 0 до значення, рівного опору металу зрізування, внаслідок чого відбувається відділення частини матеріалу. Кут різання $\delta = 90^\circ$. Зусилля різання визначається з формули

$$P = kbst_0, \text{ Н,}$$

де $k = 1 \div 3$ – коефіцієнт, що враховує затуплення ріжучих кромки, зміну величини зазору, якість матеріалу і т.д.;

b – ширина полоси (периметр відрізання), м;

s – товщина матеріалу, м;

τ_0 – опір різанню, Па.

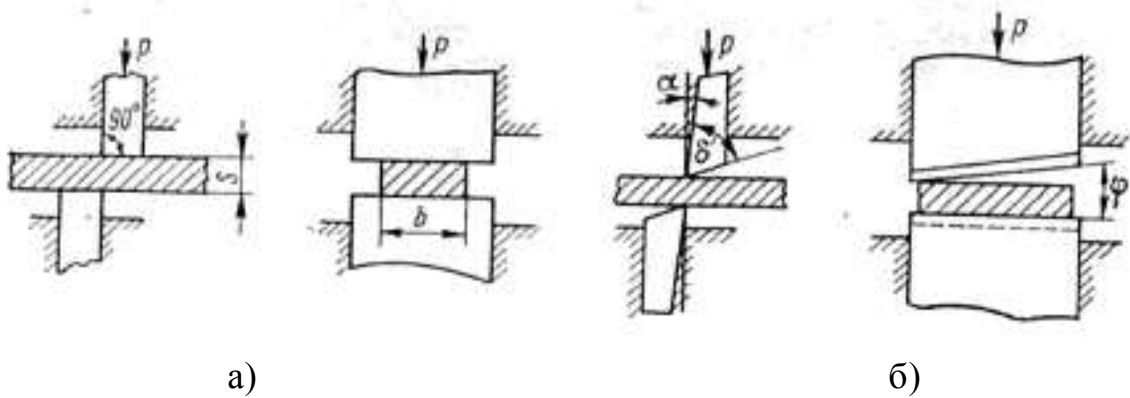


Рисунок 5.1 – Схема різання листового матеріалу ножицями:

а) – з паралельними ножами; б) – з нахиленими ножами.

Для зменшення зусилля різання застосовують *ножиці з нахиленими ножами (гільйотинні ножиці)* (рис. 5.1, б). При цьому відрізання відбувається не по всій ширині листа одночасно, а поступово від одного краю до іншого. Тому зусилля різання залишається постійним і не залежить від ширини листа. Для зменшення тертя задніх поверхонь ножа об метал задній кут $\alpha = 1,5 - 3^\circ$. Кут різання $\delta = 75 - 85^\circ$ для твердих матеріалів і $\delta = 67 - 70^\circ$ – для м'яких. Зусилля різання для гільйотинних ножиць:

$$P = k \frac{0,5s^2\tau_0}{\operatorname{tg}\varphi},$$

де φ – кут нахилу ріжучої кромки ножа.

При різанні нахиленими ножами виникають додаткові деформації від розсування частин листа і відгинання його вниз. Тому кут φ звичайно менший від 9° (на практиці $\varphi = 4 - 6^\circ$).

Різновидом гільйотинних ножиць є вібраційні ножиці, у яких нижній нахилений ніж закріплений у станині нерухомо, а верхній ніж здійснює зворотно-поступальний рух. Число подвійних ходів верхнього ножа складає 1200 – 2500 ходів за хвилину, $\varphi = 24 - 30^\circ$. Вібраційні ножиці застосовують для різання криволінійних контурів з радіусами заокруглення не менше 12 – 15 мм, наприклад, для отримання заготовок осесиметричних відбивачів. До недоліків вібраційних ножиць відносяться можливість розрізати матеріал малої товщини (до 3 мм), швидке зношування ножів, низька чистота обробки поверхні вирізаної заготовки.

Процес різання металу дисковими ножицями (рис. 5.2) здійснюється круглими ножами, що обертаються в різні сторони з однаковою кутовою швидкістю. Матеріал переміщується завдяки тертю металу об ножі. За

кількістю ножів дискові ножиці ділять на одно дискові, парно дискові і багатодискові з прямими і нахиленими (одним чи двома в парі) ножами.

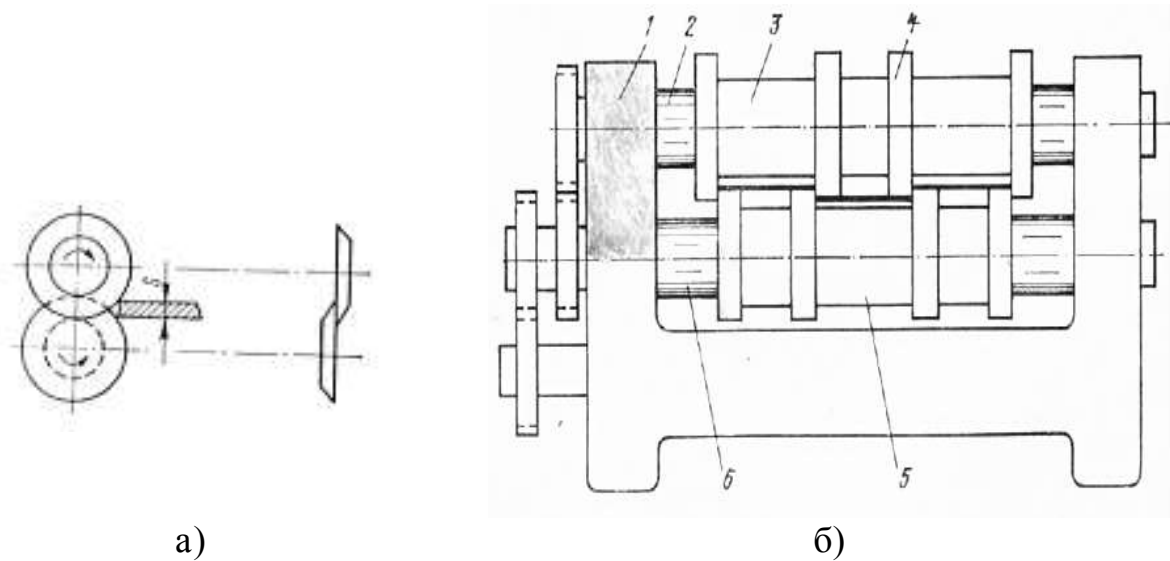


Рисунок 5.2 – Різання листового матеріалу дисковими ножицями:
а) – схема різання; б) – вигляд установки.

У верстаті до станини 1 вмонтовано рухомі вали 2. Між дисковими ножами 4 закріплено розпірні втулки 3, довжина яких визначає розмір заготовки. Кутова швидкість дискових ножиць досягає 1,5 м/с, завдяки чому продуктивність їх роботи є високою. Верстат з ножицями нерідко оснащений спеціальним пристроєм, що перемотує вже розрізаний матеріал на секційні котушки і запускає у подальше виробництво.

Зусилля різання дисковими ножицями:

$$P = k \frac{0,5s^2 \tau_0}{2 \operatorname{tg} \varphi}.$$

Кут захвату $\varphi = 10 - 14^\circ$.

Потужність приводу дискових ножиць:

$$N = \frac{0,064s^2 \tau_0 v}{\eta},$$

де v – швидкість різання, м/с;

$\eta = 0,7 - 0,8$ – ККД ножиць.

Вирубвання деталей та пробивання в них отворів здійснюється за допомогою вирубних штампів, що представляють собою інструмент, у якого контур різальних частин – пуансон і матриця – відповідає контуру вирубної деталі або пробивного отвору (рис. 5.3).

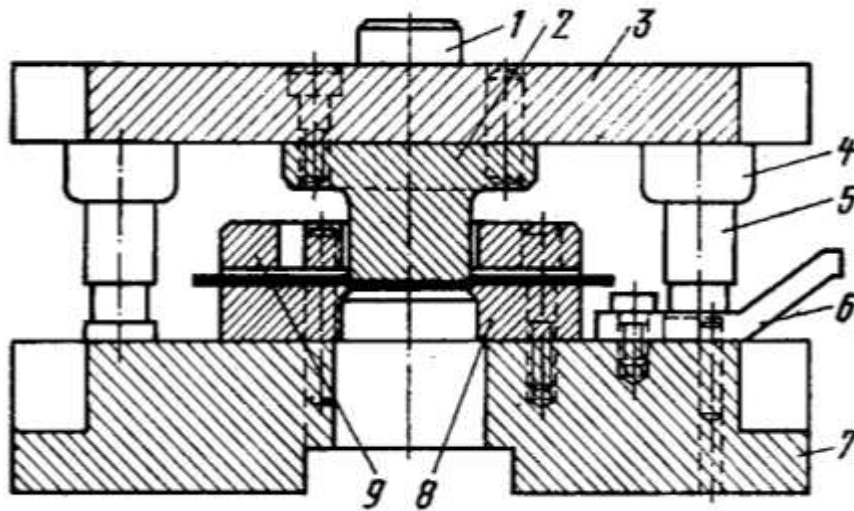


Рисунок 5.3 – Вирубний штамп.

Деформуюче зусилля штампу здійснюється пуансоном 2, який кріпиться гвинтами до рухомої плити 3, що утримується на повзуні преса фіксатором 1. На нижній плиті 7 розміщена матриця 8. Заготовка притискається до матриці притискачем 9. Для обмеження ступенів свободи ходу пуансона у верхню плиту запресовано втулки 4, що вільно переміщуються вздовж спрямовуючих колонок 5. При ході повзуна преса вниз матеріал протискується пуансоном у матрицю. Процеси вирубання та пробивання складаються з чотирьох основних моментів: пружне стискання, стискання з вигинанням і видовженням, поява сколів та відокремлення деталі від оброблюваного матеріалу.

Для нормальної роботи вирубного штампу між його робочими частинами пуансоном і матрицею необхідні зазори. При роботі штампу кромки робочих частин на пуансоні та на матриці з часом затупляються, і на них утворюються заокруглення, що викликає поступове збільшення зусиль вирубання чи пробивання. При затупленні робочих частин збільшуються також загусениці на кромках деталей. Зазори встановлюють залежно від товщини і механічних характеристик штампованого матеріалу. Від величини зазору залежать якість поверхні зрізу вирубної деталі та стійкість штампів. Малий зазор утворює у верхній частині деталі за гусениці через розривання металу, великий – рвані краї через затягування в нього металу.

Для зменшення зусилля різання використовують нестандартні ріжучі інструменти: при вирубванні деталей скіс роблять на матриці, а торець пуансона виготовляють плоским; при пробиванні отворів торець матриці виготовляють плоским, а скіс роблять на пуансоні.

Вирубання деталей здійснюють на вирубних штампах, які класифікуються за трьома основними ознаками: конструктивною, технологічною, експлуатаційною.

За технологічною ознакою штампи поділяють на прості (виконується лише одна операція) і комбіновані (декілька операцій). Комбіновані штампи розділяють на сумісні (або компаундні) і послідовні. Сумісними штампами називають такі, в яких на одній робочій позиції об'єднані різні техно-

логічні операції і за один хід преса виробляється готова деталь чи напівфабрикат.

Розміри деталі визначаються розмірами робочих інструментів штампу і не залежать від точності подання стрічки. Послідовні штампи являють собою сукупність різних операційних штамів, об'єднаних у спільному блоці, в межах якого заготовка пересувається з позиції на позицію разом із стрічкою. Відокремлення виробу здійснюється на останній операції. Розміри деталі, виробленій на послідовному штампі, визначаються не тільки станом інструмента, але й точністю подання матеріалу до робочої зони. Тому при послідовній штамповці деталей рекомендується передбачати у штампах додаткову фіксацію стрічки. Послідовна штамповка дозволяє застосовувати високошвидкісні преси (250-400 ходів за хвилину), що забезпечує їй високу продуктивність. Такої переваги позбавлена компаундна штамповка (швидкість руху преса не перевищує 70 ходів за хвилину). У серійному світлотехнічному виробництві впроваджено УЗШ (універсальні збірні штампи), що при необхідності можуть модернізуватись у штамп будь-якого типу.

За конструктивною ознакою штампи бувають відкритого або закритого типу. Відкриті штампи використовують тільки в дослідному виробництві. Вони найпростіші за конструкцією, але це їх єдина перевага в порівнянні з іншими. Хід пуансона в таких штампах ніщо не спрямовує, отже точність виробки деталей у них мала, крім того робочі елементи швидко псуються, ці штампи небезпечні для робочого персоналу. У закритих штампах рухома плита не має зайвих ступенів свободи. Вони забезпечують високу точність і мале спрацювання обладнання. Ці штампи розрізняють на блочні (рух пуансона обмежується спрямовуючими колонками) і пакетні (обмеження площиною, поперечною до матриці).

За експлуатаційною ознакою штампи є з ручним і автоматичним поданням матеріалу в робочу зону. Серед автоматизованих штамів найбільшого розповсюдження набули штампи з валковим поданням матеріалу (згорнутим у рулон). При робочому ході пуансона (вниз) валки (дві пари зверху листа заготовки і дві пари знизу) не обертаються і працюють на фіксацію заготовки. При зворотному ході спрацьовує система передач, і валки починають обертатися. Їх рух просуває рулонний матеріал на певну (відрегульовану) відстань. Ця схема набула широкого застосування при штампуванні деталей з металевої стрічки. Валкова штамповка також зручна для нанесення мастила на робочі елементи преса, що зменшує їх спрацювання. Для цього достатньо пропускати стрічку через посудину з мастилом (нижні валки мають бути занурені в мастило, а верхні – ні). При перемотуванні рулону мастило постійно наноситься на матрицю з пуансоном.

Зусилля, необхідне для вирубування чи пробивання деталі будь якої конфігурації, визначають за формулою:

$$P = k u s \tau_0, \text{ Н,}$$

де $k = 1 \div 3$ – коефіцієнт, що враховує затушення ріжучих кромek, зміну величини зазору, якість матеріалу і т.т.;

u – довжина контуру (периметр) деталі, що відрізається, м;

s – товщина матеріалу, м;

τ_0 – опір різанню, Па.

Приклад 3.1. Для деталі, креслення якої зображено на рис. 5.4, виконати наступне:

- 1) аналіз конструктивних особливостей деталі;
- 2) вибір листового прокату та розробка схеми розкрою матеріалу;
- 3) розрахунок коефіцієнта використання матеріалу;
- 4) визначення зусилля формоутворення та затраченої роботи;
- 5) розрахунок центру тиску штампа
- 6) вибір зазорів та розмірів пуансона та матриці.

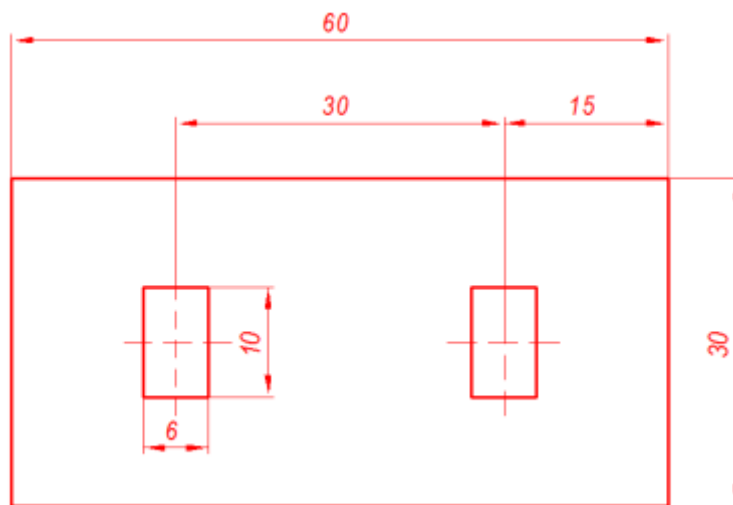


Рисунок 5.5 – Креслення деталі

Розв'язування.

1. Аналіз конструктивних особливостей деталі

Деталь „Планка-фіксатор” призначена для закріплення відбивача, розсіювача, скляного ковпака або інших складових елементів габаритного світлотехнічного обладнання загального призначення (прожектор, ліхтар).

Технічні вимоги на виготовлення даної деталі регламентують марку матеріалу, шорсткість оброблюваних поверхонь, квалітет точності та припуски на розміри і товщину листа прокату.

Загальна шорсткість оброблюваних поверхонь повинна відповідати 6-му класу $Ra=2,5$. Усі розміри оброблюваних поверхонь, крім центрального й кріпильного отворів, виконуються за 14-м квалітетом точності. Товщина листового матеріалу – 2 мм.

Для виготовлення деталі використовують сталь ВСтЗкп. Даний матеріал відноситься до вуглецевих конструкційних сталей звичайної якості, механічні властивості й хімічний склад яких регламентуються стандартизованою документацією. Степінь розкислення – кипляча (кп). Порядковий номер маркування сталі (3) вказує порядок зростання вмісту вуглецю і підвищення ха-

ракетристик міцності. В сталях даного класу допускається порівняно високий вміст різних домішок .

Сталь СтЗ буває групи А (постачання за механічними властивостями), групи Б (постачання за хімічним складом) і групи В (постачання за механічними властивостями і додатковими вимогами до хімічного складу).

Сталь ВСтЗкп є найпоширенішою у промисловості завдяки своїм задовільним механічним і хімічним властивостям та одночасній відносній дешевизні.

Хімічні і механічні властивості матеріалу ВСтЗкп наведено у табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Хімічний склад вуглецевої сталі звичайної якості

Марка матеріалу	Вміст хімічних елементів						
	C, %	Mn,%	Si, %	S, %	P, %	Cт, %	Ni, %
	не більше						
ВСтЗкп	0,14÷0,22	0,30÷0,65	0,07	0,05	0,04	0,3	0,3

Аналізуючи конструктивні особливості деталі можна зробити висновок, що конфігурація зовнішнього контуру є простою й не викликає ніяких труднощів при обробці.

Таблиця 5.2 – Механічні властивості вуглецевої сталі звичайної якості

Марка матеріалу	Параметри		
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
ВСтЗкп	360÷460	235	27

Точність розмірів і шорсткість поверхонь даної деталі забезпечується вирубуванням і не потребують подальшої механічної обробки. Деталь „Планка-фіксатор" завдяки своїм габаритним розмірам можна обробляти з середньою точністю штампування (5-7-й класи) як на роздільних, так і на послідовно діючих штампах.

Отже, даний вибір є високотехнологічним і простим за конструкцією й допускає високопродуктивні методи обробки.

2. Вибір листового прокату та розробка схеми розкрою матеріалу.

Для виготовлення деталі із асортименту листового матеріалу вибираємо лист розмірами 1000×2000 мм.

Перед штампуванням доцільно провести розкрій листового матеріалу. При штампуванні невеликих деталей, якою є даний виріб, найбільш раціональним є багаторядний розкрій. Попереднє розрізання листа на смугу здійснюється на гільйотинних ножицях.

Зусилля, яке необхідно прикласти для різання матеріалу визначаємо за формулою

$$P = k \frac{0,5s^2\tau_0}{\operatorname{tg}\varphi}, \quad (5.1)$$

де $k = 1 \div 3$ – коефіцієнт, що враховує затуплення ріжучих кромки, зміну величини зазору, якість матеріалу і т.д.;

s – товщина матеріалу, м;

τ_0 – опір різанню, Па.

φ – кут нахилу ріжучої кромки ножа.

Для нашого випадку приймаємо $k = 1,5$, $\varphi = 4^\circ$, $s = 2$ мм, $\tau_0 = 320$

МПа. Підставляючи числові значення у формулу (5.1), отримуємо

$$P = 1,5 \cdot \frac{0,5 \cdot 2^2 \cdot 320}{\operatorname{tg}4^\circ} = 10,97 \text{ кН.}$$

При розробці розкрою листового матеріалу використовуємо безвідходну схему розкрою, яка не потребує перемичок.

З метою зменшення кількості відходів розкрій доцільно проводити в поперечному напрямі. Кількість деталей n_o , що отримується з однієї смуги, можна визначити за формулою

$$n_o = \frac{B_1 - a}{A} = \frac{B - (a + c_1)}{D + a},$$

де B_1 – ширина листа без відходів по ширині, мм;

a – ширина перемички (в нашому випадку $a = 0$);

A – крок подачі при вирубуванні, мм;

B – повна ширина листа, мм;

c_1 – відходи по ширині листа, мм;

D – діаметр або ширина деталі, що штампується, мм.

З [5] вибираємо $c_1 = 20$, $A = 60$, отримуємо

$$n_o = \frac{2000 - 20}{60} = 33 \text{ шт.}$$

Кількість смуг, отриманих з листа визначаємо за формулою

$$n_i = \frac{L - m_1}{B_0},$$

де L – довжина листа без відходів, мм; $L = 1000$;

m_1 – відходи по довжині листа, мм; $m_1 = 10$;

B_0 – ширина смуги, мм; $B = 30$;

Підставляючи дані в формулу (2), отримаємо

$$n_n = \frac{1000 - 10}{30} = 33 \text{ шт.}$$

Загальна кількість деталей визначається за формулою

$$N_{\partial} = n_n \cdot n_{\partial}$$

Для нашого випадку

$$N_{\partial} = 33 \cdot 33 = 1089, \text{ шт.}$$

3. Розрахунок коефіцієнта використання матеріалу.

Коефіцієнт використання матеріалу при поперечному розкроїли ста визначимо за формулою

$$\eta_{\text{л}} = \frac{N_{\partial} \cdot F_{\partial}}{F_{\text{л}}} \quad (5.2)$$

де F_{∂} – корисна площа деталі, мм²;

$F_{\text{л}}$ – площа листа, мм².

Загальна площа листа дорівнює

$$F_{\text{л}} = 1000 \cdot 2000 = 2000000 \text{ мм}^2.$$

Корисна площа деталі

$$F_{\partial} = 60 \cdot 30 - 6 \cdot 10 \cdot 2 = 1680 \text{ мм}^2.$$

Підставляючи дані у формулу (3.2), отримаємо

$$\eta_{\text{л}} = \frac{1089 \cdot 1680}{2000000} \cdot 100\% = 91,47\%.$$

4. Визначення зусилля формоутворення та затрачуваної роботи

Технологічне зусилля різання при штампуванні визначимо за формулою

$$P_p = k \cdot u \cdot s \cdot \tau_0,$$

де k – поправочний коефіцієнт опору зрізу, $k = 1 \dots 1,3$;

u – довжина контуру (периметр) деталі, що вирубується, мм;

s – товщина матеріалу листа (стрічки), мм;

τ_0 – опір зрізу (вирубубвання) при лабораторних (ідеальних) умовах, МПа.

Обробку даної деталі проводять на штампі послідовної дії, на якому попередньо пробивають два отвори, а потім відрізають пластини. Відповідно зусилля штампування на першому етапі обробки:

$$P_{p1} = 1,2 \cdot u_1 \cdot s \cdot \tau_0.$$

$$u_1 = 2 \cdot 2 \cdot (a_1 + b_1) = 2 \cdot 2 \cdot (6 + 10) = 64 \text{ мм.}$$

$$\tau_0 = 320 \text{ МПа.}$$

Звідси зусилля пробивання

$$P_{p1} = 1,2 \cdot 64 \cdot 2 \cdot 320 = 49152 \text{ Н.}$$

Зусилля штампування на другому етапі обробки

$$P_{p2} = 1,2 \cdot u_2 \cdot s \cdot \tau_0.$$

$$u_2 = 30 \text{ мм.}$$

Зусилля вирубування

$$P_{p2} = 1,2 \cdot 180 \cdot 2 \cdot 320 = 23040 \text{ Н.}$$

Сумарне (максимальне) зусилля штампування

$$P = P_{p1} + P_{p2},$$

$$P = 49152 + 23040 = 72,2 \text{ кН.}$$

Затрачувану роботу різання при штампуванні можна визначити згідно формули

$$A_n = \frac{\lambda \cdot P \cdot s}{1000}$$

де λ – відношення середнього зусилля до максимального, $\lambda = 0,5$.

Звідси робота різання

$$A_n = \frac{0,5 \cdot 72192 \cdot 2}{1000} = 72,192 \text{ Дж.}$$

Зусилля проштовхування орієнтовно можна визначити за формулою

$$Q_{np} = (0,6 \div 0,7) \cdot u \cdot s \cdot \sigma_T \cdot \mu_{np},$$

де σ_T – межа текучості матеріалу, Мпа;

μ_{np} – коефіцієнт тертя при проштовхуванні, $\mu_{np} = 0,2 \dots 0,3$.

$$Q_{np} = 0,65 \cdot 64 \cdot 2 \cdot 235 \cdot 0,25 \approx 4,9 \text{ кН.}$$

Зусилля зняття деталі з пуансона

$$Q_{zn} = k_{zn} \cdot P,$$

де k_{zn} – поправочний коефіцієнт, $k_{zn} = 0,07$;

$$P = P_{p1} = 49152 \text{ Н.}$$

Відповідно

$$Q_{zn} = 0,07 \cdot 49152 = 3440,64 \text{ Н.}$$

5. Розрахунок центру тиску штампа

Координати центру тиску штампа визначаються за формулами

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n u_i}, \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n u_i},$$

де u_i – довжина i -го контура, що пробивається або вирубується;

x_i, y_i – координати i -го контура, що пробивається або вирубується;

n – кількість контурів, що пробиваються або вирубуються

При штампуванні деталі з симетричним контуром центр тиску буде знаходитися в центрі контуру. В даному випадку отвори, що пробиваються є однаковими за розмірами, відповідно центр тиску штампа знаходиться на осі між отворами (рис. 5.6)

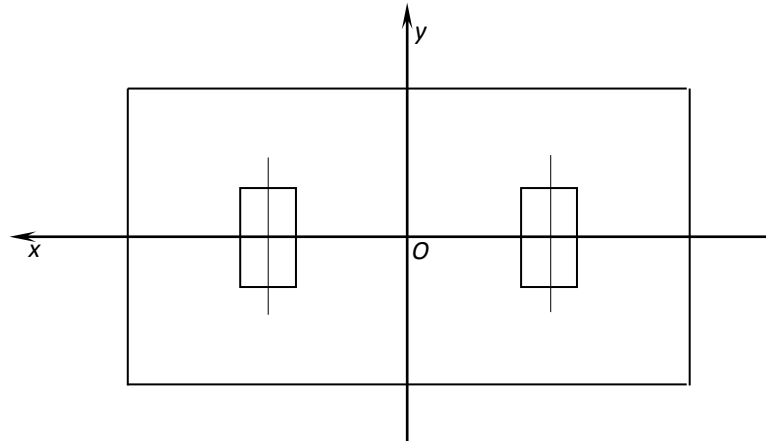


Рисунок 5.6 – Визначення центру тиску штампа

6. Вибір зазорів пуансона та матриці

Під час визначення робочих розмірів пуансонів та матриць для розділюючих операцій потрібно виходити з розмірів виробу, його точності та характеру спрацювання штампа. Визначимо розміри пуансона та матриці. Розмір пуансона

$$d_n = (d_n + \Delta')_{-\delta_{II}},$$

а розмір матриці

$$d_m = (d_n + \Delta' + z_{\min})^{+\delta_M},$$

де d_m , d_n – розміри матриці і пуансона відповідно, мм;

Δ' – припуск на зношування інструменту, мм;

δ_M , δ_{II} – допуски на виготовлення пуансона і матриці, мм.

Допуски та припуски на розміри пуансона та матриці визначаємо згідно рекомендацій. Припуск на зношування інструменту $\Delta' = \Delta$, де Δ – допуск на розмір отвору, $\Delta = 0,015$ мм.

Прийmemo $z_{\min} = 0,18$ мм, $\delta_M = 0,022$ мм, $\delta_{II} = 0,022$ мм;

Довжина матриці

$$a_m = (10 + 0,015 + 0,18)^{+0,022} = 10,165^{+0,022} \text{ мм.}$$

Ширина матриці

$$b_m = (6 + 0,015 + 0,18)^{+0,022} = 6,165^{+0,022} \text{ мм.}$$

Довжина пуансона

$$a_n = (10 + 0,015)_{-0,022} = 10,015_{-0,022} \text{ мм.}$$

Ширина пуансона

$$b_n = (6 + 0,015)_{-0,022} = 6,015_{-0,022} \text{ мм.}$$

Завдання для самостійного виконання

Завдання 5.1. Для конкретної деталі виконати наступне:

- 1) аналіз конструктивних особливостей деталі;
- 2) вибір листового прокату та розробка схеми розкрою матеріалу при розмірі листа 1000 мм на 2000 мм;
- 3) розрахунок коефіцієнта використання матеріалу;
- 4) визначення зусилля формоутворення та затраченої роботи;
- 5) розрахунок центру тиску штампа;
- 6) вибір зазорів та розмірів пуансона та матриці.

Креслення та розміри деталі, а також параметри точності та шорсткості отримати індивідуально у викладача.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ СВІТЛОПРОПУСКНИХ МАТЕРІАЛІВ

За своїм походженням світло пропускні матеріали поділяються на два класи: органічні та неорганічні. Одним із найбільш застосовуваних світло пропускних матеріалів є скло.

Скло являє собою переохолоджений розплав склоутворюючих окислів, що мають високу в'язкість. З погляду фізичних властивостей скло являє собою переохолоджену рідину, при затвердінні якої у процесі охолодження не відбувається утворення кристалів, тому що цьому перешкоджає швидке зростання в'язкості розплавленого скла при зниженні температури. При затвердінні розплаву утвориться гомогенна аморфна маса. Молекули немов “заморожуються” і зберігають у твердому стані таке ж положення, яке займали в розплаві. У чистому кварцовому склі, наприклад, присутні також групи SiO_4 , як і у кристалах кварцу. При охолодженні, однак, утворюють не впорядковану кристалічну структуру, а нерегулярну й асиметричну кремнійкисневу сітку (рис. 6.1) [9].

Хоча склу може бути приписана певна структура, відсутність регулярності в повторенні її елементів на порівняно великому просторі не дозволяє вважати її кристалічною. Тому скло перебуває в термодинамічно нестійкому стані й має схильність до розкловування, тобто до утворення стабільних кристалів.

Цей процес можливий при досить тривалому нагріванні скла до високих температур, які не перевищують точку плавлення кристалів, що утворюються, при цьому в'язкість падає, та утворюються кристали. Скло стає зовсім непрозорим.

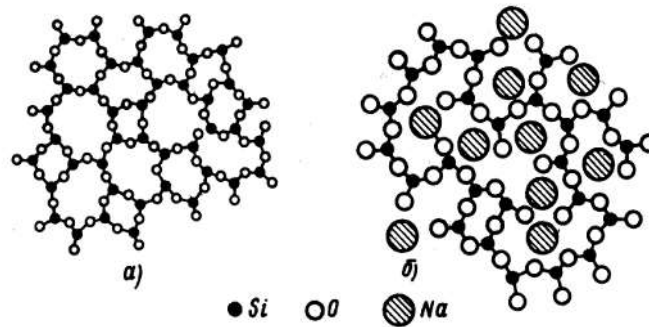


Рисунок 6.1 – Структура скла
а) – кварцового; б) – натрій силікатного

З технічної точки зору, скло являє собою неорганічний досить хімічно стійкий продукт плавлення окислів, який після охолодження твердий, крихкий, переважно прозорий, практично газонепроникний, він утворює при руйнуванні безформні ріжучі уламки. При частковому заміщенні кремнію в тетраедрах, наприклад на алюміній або бор, утвориться сітка алюмосилікатного або боросилікатного скла.

Іони лужних і лужноземельних металів (Ca, Ba, Li, Na, K) є модифікаторами. У структурній сітці скла вони розташовуються у проміжках тетраедричних групах SiO_4 . Введення Na_2O або інших модифікаторів розриває міцні Si-O-Si зв'язки й знижує міцність, термостійкість, хімічну стійкість скла, але одночасно поліпшує технологічність, тобто полегшує виробництво стекол, має відносно пухку структуру, із внутрішніми неоднорідностями і поверхневими дефектами.

До складу неорганічних стекол входять склоутворюючі оксиди кремнію, бору, фосфору, германію, миш'яку, які утворюють структурну сітку скла, та оксиди, що модифікують структуру скла, – натрію, калію, літію, кальцію, барію, які змінюють фізико-хімічні властивості скломаси. Крім цих оксидів, до складу скла вводять оксиди алюмінію, заліза, титану, берилію, цирконію та інші, які самостійно не утворюють структурний каркас, але можуть частково замінювати склоутворюючі оксиди і цим змінювати властивості скла.

Таким чином, промислові стекла є складними багатокомпонентними системами.

Основними властивостями скла є:

- термічні (термічний коефіцієнт лінійного розширення, температура розм'якшення, питома теплоємність, коефіцієнт теплопровідності, в'язкість);
- механічні (міцність);
- електричні (питомий опір, діелектричні характеристики);
- оптичні (коефіцієнт пропускання, показник заломлення);
- хімічні та вакуумні (стійкість до впливу кислот, лугів, парів води, металів, газопроникність).

Класифікують стекла за низкою ознак: за склоутворюючою речовиною, за вмістом модифікаторів, за призначенням, за температурним коефіцієнтом лінійного розширення.

Залежно від хімічного складу й основного склаутворюючого оксиду стекла поділяють на:

I. Легкоплавкі:

- 1) малолужні свинцевосилікатні (SiO_2 ; PbO складає 40-50%), де лугу менше 10%;
- 2) лужні свинцевосилікатні, де лугу більше 10%; PbO складає 20 – 35%;
- 3) лужні кальційсилікатні (SiO_2 ; CaO складає 5 – 12 %), де лугу 13–20%.

II. Середньої температури плавлення:

- 1) кальційалюмосилікатні (SiO_2 ; Al_2O_3 складає 3,5 – 10%; CaO – 6–12%), де лугу до 23%;
- 2) алюмоборокальційсилікатні (SiO_2 ; B_2O_3 складає 3–8%; Al_2O_3 складає 3,5–10%; CaO складає 6–12%), де лугу 8–23%;
- 3) алюмоборокальційцинксилікатні (SiO_2 ; B_2O_3 складає 3–8%; Al_2O_3 складає 3,5 – 10%; CaO складає 3 – 12%; ZnO складає 3 – 7%), де лугу 8–14%.

III. Тугоплавкі стекла:

- 1) боросилікатні (SiO_2 ; $\text{B}_2\text{O}_3 \geq 10\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 3\%$);
- 2) алюмоборосилікатні (SiO_2 ; B_2O_3 – 5 – 21%; Al_2O_3 – 3–20%), де лугу $\leq 6\%$;
- 3) свинцевоборосилікатні (SiO_2 ; B_2O_3 – 15–17%; PbO – 6%).

IV. Спеціальні стекла :

- 1) стекла зі слабкою опалесценцією фторкальційцинксилікатні;
- 2) боратні;
- 3) фосфатні;
- 4) алюмоборатні , алюмофосфатні й т.д.

Залежно від кількості лужних окислів стекла можуть бути легкоплавкі (з високим вмістом лужних оксидів, до 20 – 30%, які мають високий ТКРЛ) та тугоплавкі (обов'язково мають у своєму складі оксид бору та високий вміст SiO_2 , за умови низького вмісту лужних оксидів).

За вмістом модифікаторів стекла поділяються на лужні, безлужні й кварцові. За призначенням: технічні, будівельні, побутові. За технічним призначенням можна підрозділити на: вакуумні, світлотехнічні, хімічні та ін. За ТКРЛ на групи: вольфрамову, молібденову, платинову, перехідну, кварцову, титанову, залізну.

Скло одержують спільним сплавленням низки сировинних матеріалів, узятих у певних вагових пропорціях. Процес виготовлення скла поділяється на дві частини:

- 1) підготовка сировинних матеріалів;
- 2) скловаріння.

Однорідну механічну суміш сировинних, підготовлену для завантаження в скловарну піч, називають скляною шихтою. У якості основної вихідної сировини можуть використовувати кварцовий пісок, соду, доломіт, барит, глинозем або каолін, мармурову крихту, польовий шпат, вапняк, поташ, свинцевий сурик. Крім цих компонентів використають багато інших сполук для знебарвлення, фарбування, глушіння.

Для одержання однорідної за гранулометричним складом шихти необхідно підготувати всі сировинні матеріали. Характер підготовки залежить від природи й призначення матеріалу. Зазвичай підготовка сировинних матеріалів складається з наступних етапів:

- подрібнення;
- розпушування;
- сушіння;
- сортування та збагачення;
- готування шихти;
- гранулювання шихти;
- контроль якості;
- транспортування шихти.

Матеріал, що надходить на скляний завод у вигляді порошку переважно тільки просівають. Кускові матеріали (доломіт, вапняк) піддають дробленню, сушінню, тонкому мливу, просіюванню. Особливо складну підготовку проходить пісок, тому що він найбільш забруднений. Його очищують і збагачують за допомогою промивання, флотації, магнітної сепарації й хімічного очищення. Сушать і просівають.

Ретельно перемішану суміш шихти зі склобоек завантажують у скловарну піч і нагрівають до температури плавлення.

Скловарні печі бувають горшкові й у вигляді конверторних ван.

У технологічному процесі варіння виділяють 5 стадій:

- 1) силікатоутворення;
- 2) склоутворення;
- 3) просвітління;
- 4) гомогенізація;
- 5) охолодження.

Силікатоутворення починається при невисоких температурах близько 670 К. У результаті хімічних реакцій між складовими шихти утворюються силікати. При подальшому підвищенні температури відбувається розплавлення й взаємне розчинення силікатів – склоутворення. Стадія склоутворення закінчується перетворенням пінистого й непрозорого розплаву силікатів на прозору скломасу з безліччю газових бульбашок. Склomasу ще нагрівають до 1700К, в'язкість скла знижується, газові бульбашки виходять на поверхню. Склomasа переміщується та відбувається просвітління (звільнення від газових бульбашок) й гомогенізація (усереднення хімічного складу). Останньою стадією підготовки скломаси до вироблення є охолодження до температури 1200 – 1400 К, що забезпечує потрібну в'язкість скла.

Для виготовлення заготовок і деталей зі скла застосовуються різноманітні технологічні процеси: видування, витягування, пресування і відцентрове лиття. Майже всі методи обробки скла базуються на зміні його в'язкості при зміні температури.

У склі при нагріванні, охолодженні, механічному впливі виникають внутрішні напруження, які можуть бути тимчасовими і постійними (залишковими). Тимчасові напруження зникають при охолодженні скла. Залишкові

напруження залишаються у склі й значно знижують їх характеристики: різко знижується міцність скляного виробу, скло робиться неізотропним, тобто властивості в різних напрямках скляної маси є різними.

Для ліквідації залишкових напружень застосовують відпал скла. Відпал – це спеціальна термічна обробка всього скляного виробу, яка полягає в нагріванні до такої температури, при якій частки скла стають рухливими, але скло ще не розм'якшується, і повільному охолодженні. Напруження зникають тим швидше, чим менша в'язкість скла.

Температуру, яка відповідає в'язкості 10^{12} Па·с, називають найвищою температурою відпалу. Температуру, яка відповідає в'язкості близько 10^{14} Па·с, називають найнижчою температурою відпалу. Весь процес відпалу ділиться на чотири стадії (рис. 6.2) та характеризується кривою відпалу.

Перша стадія – нагрівання або охолодження до температури відпалу. Якщо виріб має кімнатну температуру, то його поступово нагрівають, якщо ж він розігрітий вище температури відпалу даного скла, то його охолоджують до найвищої температури відпалу. При цьому швидкість V_1 нагрівання або охолодження визначається за формулою [9]

$$V_1 = (20 \div 30) \cdot \frac{1}{a_{\max}}, \quad (6.1)$$

де a_{\max} – максимальна товщина стінки виробу.

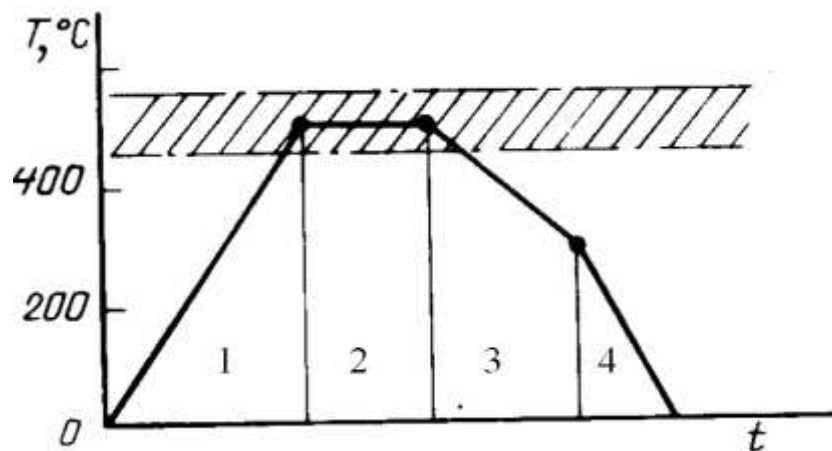


Рисунок 6.2 – Крива відпалу скла

Час нагріву або охолодження τ_1 визначається за формулами:
при нагріві

$$\tau_1 = \frac{t_{\max} - t_{e1}}{V_1}, \quad (6.2)$$

при охолодженні

$$\tau_1 = \frac{t_{e1} - t_{\max}}{V_1}, \quad (6.3)$$

де t_{e1} – температура виробу перед відпалом;

t_{\max} – найвища температура відпалу.

Друга стадія – витримка при найвищій температурі відпалу до зникнення напружень. Чим більшими є розміри виробу і товщина стінок, тим довшою є витримка при найвищій температурі відпалу.

Час витримки τ_2 визначається за формулою

$$\tau_2 = (70 \div 120) \frac{a_{\max}^2}{2}. \quad (6.4)$$

Зазвичай формула (4.4) має вигляд

$$\tau_2 = 102 \cdot \frac{a_{\max}^2}{2}. \quad (6.5)$$

Третя стадія – повільне охолодження до нижньої температури відпалу. Найголовніше – охолоджувати з досить малою швидкістю, щоб не виникли нові постійні напруження. Верхня температура відпалу молібденового скла знаходиться при 535 – 540 °С, до цієї температури його нагрівають на першій стадії відпалу і витримують; на третій стадії це скло повільно охолоджують до 410 °С – нижньої температури відпалу.

Швидкість охолодження V_3 на третій стадії

$$V_3 = 1,33 \cdot a_{\max}^2. \quad (6.6)$$

Час охолодження:

$$\tau_3 = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{V_3}, \quad (6.7)$$

де t_{\min} – найнижча температура відпалу.

Четверта стадія – охолодження до кімнатної температури. При падінні температури нижче нижньої температури відпалу напружень у виробі не виникає, тому охолодження на даній стадії може проходити з досить великою швидкістю, практично із швидкістю остигання печі.

Швидкість охолодження на четвертій стадії

$$V_4 = (10 \div 15) \cdot \frac{1}{a_{\max}^2}. \quad (6.8)$$

Час швидкого охолодження

$$\tau_4 = \frac{t_{\min} - t_{e2}}{V_4}, \quad (6.9)$$

де t_{e2} – температура виробу після відпалу. Зазвичай приймається, що $t_{e2} = 40$ °С.

Швидкість нагрівання на першій стадії і охолодження на четвертій визначається розміром і товщиною стінок виробів.

Формули (6.1) – (6.6) є справедливими при розрахунку параметрів відпалу тарного скла. При розрахунку листового скла замість a_{\max} використо-

вують середню товщину листа $a = \frac{a_{\max}}{2}$.

Швидкість швидкого нагріву (охолодження) на першому етапі та повільного охолодження на третьому етапі можна розраховувати відповідно за формулами

$$V_1 = (20 \div 30) \cdot \frac{1}{a^2}, V_3 = 0,33 \cdot a^2. \quad (4.9)$$

Для визначення залишкових напружень у склі застосовують спеціальні прилади – полярископи, що випускаються промисловістю.

Відпал скляних виробів проводять в спеціальних печах; в заводських умовах – це камерні, вагонетні, муфельні, роликові, циркуляційні і вертикальні печі. В умовах складувних майстерень для відпалу скла застосовують електричні муфельні печі. Контроль і витримку скла в обумовленому інтервалі температур здійснюють за допомогою регулюючих приладів.

Приклад 6.1. Розрахувати найвищу та найнижчу температуру, а також режим відпалу тарного скла зі складом: SiO_2 – 72,7%; Al_2O_3 – 2,5%; Fe_2O_3 – 0,3%; CaO – 6,0%; MgO – 4,0%; Na_2O – 14,5%. По результатам розрахунків побудувати криву відпалу. Прийняти:

температура виробу перед відпалом становить $t_{e1} = 450$ °С;

температура виробу після відпалу $t_{e2} = 40$ °С;

найнижча температура відпалу $t_{\min} = 450$ °С;

максимальна товщина стінки $a_{\max} = 0,5$ см.

Розв'язування. По довідникових даних знайдемо склад скла, який є найближчий до заданого. Це скло із складом: SiO_2 – 73%; Al_2O_3 – 3%; Fe_2O_3 – 0,3%; CaO – 7,0%; MgO – 2,5%; Na_2O – 14,5%. Найвища температура відпалу для даного скла дорівнює $t_{\max1} = 560$ °С.

1% Al_2O_3 при його вмісті в склі 0 – 5% підвищує температуру відпалу на 3 °С. В заданому складі скла міститься 2,5% Al_2O_3 . Отже, найвища температура відпалу буде знижена на $\Delta t_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 3(2,5 - 3) = -1,5$ °С.

1% CaO при його вмісті в склі 5 – 10% підвищує температуру відпалу на 6,6 °С. В заданому складі скла міститься 6% CaO . Отже, найвища температура відпалу буде знижена на $\Delta t_{\text{CaO}} = 6,6(6 - 7) = -6,6$ °С.

1% MgO при його вмісті в склі 0 – 5% підвищує температуру відпалу на 3,5 °С. В заданому складі скла міститься 2% MgO . Отже, найвища температура відпалу буде підвищена на $\Delta t_{\text{MgO}} = 3,5(4 - 2,5) = 5,25$ °С.

Вміст Na_2O в обох видах скла є однаковим, а вплив 0,3% Fe_2O_3 не враховується. Тому найвищу температуру відпалу заданого складу скла можна розрахувати як

$$t_{\max} = t_{\max1} + \Delta t_{\text{Al}_2\text{O}_3} + \Delta t_{\text{CaO}} + \Delta t_{\text{MgO}}.$$

Підставляючи числові дані у формулу, отримаємо

$$t_{\max} = t_{\max 1} - 1,5 - 6,6 + 5,25 \approx 557 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Використовуючи формули (6.1) – (6.8) розраховуємо режими відпалу. Швидкість та час нагріву на першому етапі:

$$V_1 = \frac{25}{0,5} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C/хв}; \tau_1 = \frac{557 - 450}{50} = 2,1 \text{ хв}.$$

Час витримки на другому етапі

$$\tau_2 = 102 \cdot \frac{0,5^2}{2} = 6,4 \text{ хв}.$$

Швидкість та час охолодження на третьому етапі:

$$V_3 = \frac{1,33}{0,5^2} = 5,3 \text{ }^{\circ}\text{C/хв}; \tau_3 = \frac{557 - 450}{5,3} = 20 \text{ хв}.$$

Швидкість та час охолодження на четвертому етапі:

$$V_4 = \frac{10}{0,5^2} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C/хв}; \tau_4 = \frac{450 - 40}{40} = 10,25 \text{ хв}.$$

По результатах розрахунків побудуємо криву відпалу (рис. 6.3).

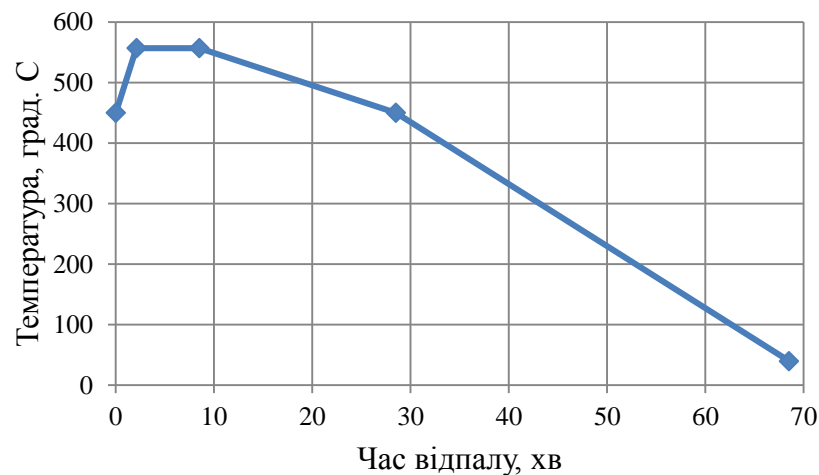


Рисунок 6.3 – Крива відпалу скла заданого складу

Завдання для самостійного виконання

Завдання 6.1. Розрахувати найвищу та найнижчу температуру, а також режим відпалу тарного та листового скла. Склад скла вибрати відповідно з таблицею 6.1. По результатам розрахунків побудувати криву відпалу. Прийняти:

температура виробу перед відпалом становить $t_{e1} = 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

температура виробу після відпалу $t_{e2} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

найнижча температура відпалу $t_{\min} = t_{\max} - (100 \div 150)$;

максимальна товщина стінки $a_{\max} = 0,5$ см.

Таблиця 6.1

№ варіанту	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaO	MgO	PbO	BaO	ZnO	ZnO	Na ₂ O	R ₂ O	Fe ₂ O ₃
1	68,74	3-4		6,2-8	-	-	-	-	-	12-18	0-8,5	-
2	68,9	3,9	-	5,5	2,9	-	-	-	-	17,8	1,3	-
3	70,7	4,2	2,3	7,0	-	-	-	-	-	13,9	1,9	-
4	69,2	3,5	1,2	5,8	3,6	-	-	-	-	16,0	0,9	-
5	67,0	6,7	3,0	4,3	-	-	-	-	-	19,0	-	-
6	71,0	0,85	-	7,7	3,8	-	0,5	-	-		15,5	-
7	75,0	6	7	1,7	-	-	4,3	-	-		6,5	-
8	79,0	3	11,9	-	-	-	-	-	-		5,5	-
9	70,84	4,48	6,31	4,17	2,02	-	-	-	2,62	8,37	0,99	0,36
10	69,0	4,90	4,3	4,50	-	-	3,5	-	5,5	8,6	-	-
11	69,25	5,96	8,56	0,99	0,45	-	3,63	-	-	8,57	2,25	0,33
12	64,2	4	12,0	0,1	-	-	-	-	10	9,7	-	-
13	77,7	4,3	7,0	1	-	-	3,5	-	-	6,2	-	0,3
14	76,6	3	6	-	-	-	3	3	-	8	-	-
15	80,0	2,71	11,31	0,76	-	-	-	-	-	4,74	0,35	-
16	80,0	2,25	13,0	-	-	-	-	-	-	3,50	1,15	0,05
17	78,25	2,74	12,18	0,85	-	-	-	-	-	5,39	0,41	-
18	79,69	3,10	10,29	0,77	0,87	-	-	-	-	5,20	-	-
19	80,6	2,70	12,20	0,12	-	-	-	-	-	4,15	-	-
20	74,66	3,89	13,44	0,75	0,49	-	-	-	-	5,89	0,79	-

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7 ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ЗАГОТОВОК ТА СПОСОБІВ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

Вибір оптимального методу одержання заготовлі визначається на основі аналізу ряду факторів: матеріалу деталі, технічних вимог на її виготовлення, обсягу та серійності випуску, форми поверхонь та розмірів деталей. Метод отримання заготовлі, що забезпечує технологічність і мінімальну собівартість, вважається оптимальним.

Розв'язання задачі максимального наближення геометричних форм та розмірів заготовлі до розмірів та форми готової деталі – одна з головних тенденцій у заготовельному виробництві. Оптимізація вибору методу і способу отримання заготовки дозволяє не тільки знизити витрати на її виготовлення, а й значно скоротити трудомісткість механічної обробки.

У машинобудуванні для отримання заготовок найбільш широко застосовуються такі методи: лиття, обробка металів тиском, зварювання, а також комбінації цих методів. Однак кожен із них містить велику кількість способів одержання заготовок. Визначення видів заготовок та способів їх виготовлення для конкретної деталі визначається низкою основних показників.

Матеріал є однією з важливих ознак, що визначають метод одержання заготовок. Найбільш широко використовувані матеріали об'єднані у 7 груп. Код групи визначається за табл. 7.1 на основі даних креслень деталі.

Конструктивні форми деталей загального машинобудування поділяються на 14 видів. Відповідний код вибирається на основі порівняння реаль-

ної деталі з описом типових деталей, представлених у табл. 7.2.

Таблиця 7.1 – Класифікація матеріалів по групах

Матеріал	Код групи
Стали вуглецеві	1
Чавуни	2
Ливарні сплави	3
Високолеговані сталі та сплави	4
Низьковуглецеві сталі	5
Леговані сталі	6
Прокатані матеріали	7

Таблиця 7.2 – Конструктивна форма деталі

Код	Основні ознаки деталі
1	Вали гладкі круглого або квадратного перерізу
2	Круглого перерізу з одним уступом або фланцем, з буртом або виїмкою без центрального отвору
3	Деталі з циліндричною, конічною, криволінійною та комбінованими формами поверхонь довжиною $L \leq 0,5D$ без центрального отвору та з отвором
4	Те ж саме $0,5D < L < 2D$
5	Те ж саме $2D < L$
6	Циліндрична, конусна, криволінійна поверхні, гладка або ступінчаста зовнішня поверхня деталей з наскрізним або глухим гладким або ступінчастим отвором
7	Круглі в плані або близькі до цієї форми, що мають гладку або ступінчасту зовнішню циліндричну поверхню з одно- або двосторонніми уступами і маточинами, з центральним отвором або без нього $0,5D_0 < L < 2D_0$
8	Деталі складної просторової форми
9	Конфігурації деталі з подовженою, прямолінійною, вигнутою і головними їх осями, що переміщуються.
10	Корпусні деталі, що мають поєднання призматичної, циліндричної та інших форм зовнішньої поверхні з наявністю базових отворів і установчих площин, з порожниною і без неї, що мають на поверхні ребра, поглиблення, виступи, і отвори
11	Призматична, циліндрична або поєднання криволінійної або призматичної форм зовнішніх поверхонь, відкритих порожнистих нероз'ємних корпусів поверхнею у вигляді прямокутних круглих фланців, що мають ребра, поглиблення, виступи
12	Коробчасті роз'ємні корпуси з установочною поверхнею. Паралельною і перпендикулярною відносно площі роз'єму, що мають одну і більше базових поверхонь, а також ребра, поглиблення, виступи
13	Деталі простої конфігурації, обмежені гладкими та ступінчастими плоскими циліндричними та комбінованими поверхнями з наявністю ребер, буртів, фланців та отворів
14	Тонкостінні порожнисті деталі з циліндричною, конічною та комбінованими формами зовнішньої поверхні та деталі типу дисків та кришок

Для визначення серійності виробництва необхідно знати масу деталі (відповідно до креслення) і задатися конкретною програмою випуску. Код серійності визначається за табл. 7.3. За масою заготовки згруповані в 8 діапазонів, які вибираються за табл. 7.4 та 7.5. Для зручності використання в роботі на вибір можливих варіантів найбільш часто застосовувані способи отримання заготовок в машинобудуванні закодовані в інтервалі від 1 до 11 і представлені в табл. 7.6.

Таблиця 7.3 – Визначення серійності виробництва заготовок

	Маса, кг	Коди серійності заготовок			
		1	2	3	4
Штампування, ковка	10	500	1000	2500	3500
	100	250	400	1000	1000
	1000	60	300	600	600
Прокат	10	500	1000	3500	3500
	100	250	400	1000	1000
	1000	60	300	600	600
Лиття	10	2000	12000	30000	30000
	100	600	4000	8000	8000
	1000	300	3500	7000	7000

Таблиця 7.4 – Діапазони виливків, поковок та штампувань по масі

№ діапазону	1	2	3	4	5	6	7	8
Маса, кг	До 0,63	Від 0,63 до 1,6	Від 1,6 до 4,0	Від 4,0 до 10,0	Від 10,0 до 63	Від 63 до 100	Від 100 до 400	Понад 400

Таблиця 7.5 – Діапазони діаметрів прокату

№ діапазону	1	2	3	4	5	6	7	8
Діаметр, мм	До 5	Від 5 до 30	Від 30 до 50	Від 50 до 100	Від 100 до 140	Від 140 до 210	Від 210 до 250	Понад 250

Таблиця 7.6 – Види заготовок та способи їх виготовлення

Код	Способи виготовлення заготовок	K_{em}
1	Лиття в піщано-глиняні форми	0,7
2	Відцентрове лиття	0,85
3	Лиття під тиском	0,91
4	Лиття в кокіль	0,8
5	Лиття в оболонкові форми	0,9
6	Лиття по виплавлювальних моделях	0,91
7	Штампування на молотах та пресах	0,8
8	Штампування на горизонтально-кувальних машинах	0,85
9	Вільне кування	0,6
10	Прокат	0,4
11	Зварні заготовки	0,95

Таким чином, визначивши коди кожного з чотирьох факторів, позначимо перелік можливих видів і способів отримання заготовок для даної деталі згідно з табл. 7.7 наступним чином:

1. За кодом матеріалу деталі знаходимо відповідний стовпець таблиці.
2. За кодом серійності виробництва уточнюємо місце стовпця всередині відповідного матеріалу.
3. Код конструктивної форми деталі визначає остаточне місце стовпця даних у відповідному кодів серійності.
4. Код маси деталі уточнює вертикаль у стовпці необхідного коду форми деталі, що вказує список кодів виду заготовок.

Коди виду заготовок із зазначенням конкретних способів виготовлення розшифровуються згідно з табл. 7.5. Це рекомендаційна операція для цієї

деталі першому етапі рішення поставленої задачі.

Приклад 7.1. Визначити можливі види та способи отримання заготовок для деталі «вал-шестірня» – рис. 7.1. Річна програма випуску – 10000 шт.

При цьому врахувати наступне:

Степінь точності: 8 – 9;

Число зубів: 20;

Висота зуба: 2,53 мм;

Діаметр основної окружності: 68,931 мм.

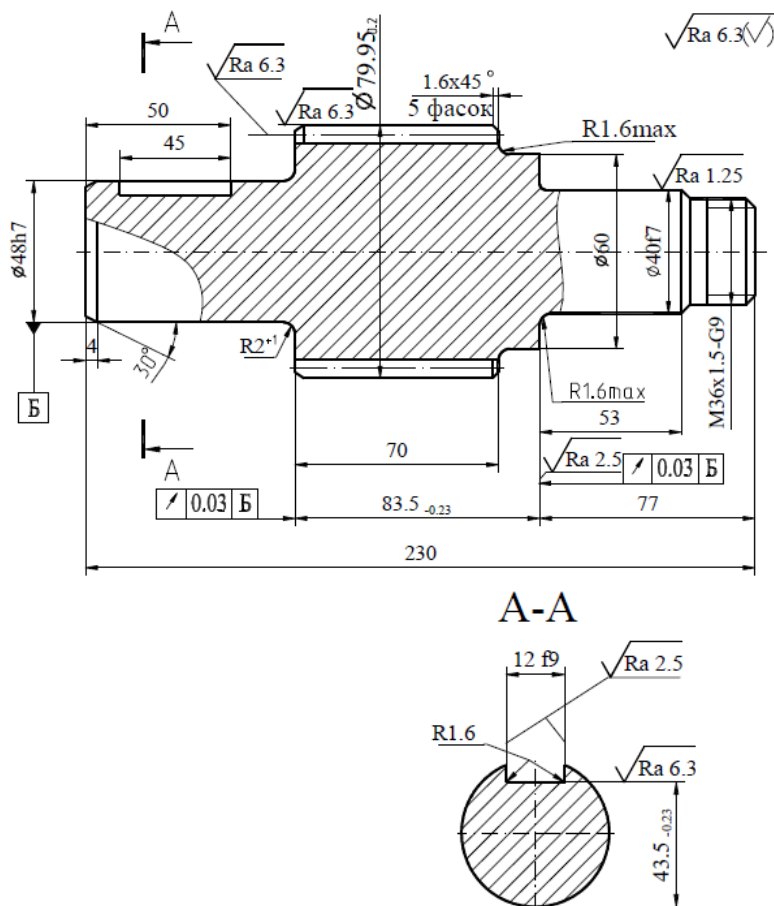


Рисунок 7.1 – Креслення деталі «вал-шестерня»

Розв'язування.

1. Визначаємо чотири основні показники деталі:

- матеріал – сталь 25 ХГНМТ; за табл. 3.1 для цієї марки стали визначаємо код – 5;

- Серійність виробництва - за табл. 3.2; вид заготовок – штампування, ковкування, прокат, маса – 6,3 кг, програма випуску – 10 000; визначаємо код – 4;

- Конструктивна форма - за табл. 7.3; основні ознаки деталі – відповідно до креслення; визначаємо код – 2;

- Маса заготовки - по табл. 3.4 визначаємо на 6,3 кг відповідний код – 4.

2. Вибираємо можливі види та способи отримання заготовок для даної деталі, враховуючи визначені вище коди чотирьох основних показників деталі:

- код матеріалу – 6;
- код серійності – 4;
- конструктивної форми – 2;
- Код маси - 4.

З табл. 7.7 за визначеними раніше кодами 6 – 4 – 2 – 4 із рядка таблиці «Вид заготовки» виписуємо коди видів, що рекомендуються: 7, 8, 9, 10.

Використовуючи табл. 3.6, розшифровуємо коди видів заготовок:

- 7 – штампування на молотах та пресах;
- 8 – штампування на горизонтальних кувальних машинах;
- 9 – вільне кування;
- 10 – прокат.

Визначивши можливі види одержання заготівлі для деталі «вал-шестерня», завершуємо цей етап.

Завдання для самостійного виконання

Завдання 7.1. Визначити можливі види та способи отримання заготовок для деталі, заданої індивідуально викладачем.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8 ПОКРИТТЯ ВИРОБІВ

У електротехнічному виробництві широко застосовуються різноманітні покриття окремих деталей та виробів в цілому.

За призначенням покриття поділяють на:

- спеціальні (наприклад світлотехнічні – для створення певних світлотехнічних характеристик);
- захисні – для захисту металів від корозії;
- декоративні – для надання арматурі заданих декоративних параметрів.

За хімічним складом покриття поділяють на:

- металеві;
- неметалеві.

Неметалеві покриття поділяють на органічні (лаки, фарби, мінеральні масла, смоли, гума) та неорганічні (фосфати, оксиди, силікатні емалі).

Для напилення покриття визначеного функціонального призначення можуть бути використані матеріали різних груп (метали, сполуки, сплави, оксиди, карбіди, нітриди, полімерні матеріали, механічні суміші матеріалів та ін.). Використання при формуванні покриття матеріалу, що складається з кількох компонентів дозволяє отримувати складні за хімічним та фазовим складом структури, які переводять покриття до розряду композиційних.

При виборі складу покриття, поряд із експлуатаційними вимогами потрібно враховувати сумісність його з матеріалом основи та економічні показники застосування матеріалу: його собівартість, коефіцієнт використання тощо.

Таблиця 7.7 – Вибір можливих способів виготовлення заготовок

Найменування ознаки	Код ознаки																					
Матеріал	1, 2, 3																					
Серійність	1	2, 3, 4																				
Конструктивна форма	1			2			3, 4			5			6			7			8,9			
Маса деталі	1...6	7	8	1...6	7	8	1...6	7	8	1...6	7	8	1...6	7	8	1...6	7	8	1...6	7	8	
Вид заготовки (спосіб виготовлення)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		4	4	4	4	4	4	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4
		5	5	5	5	5	-	4	5	4	3	-	-	4	4	4	3	-	5	5	5	-
		6	-	-	6	-	-	5	-	-	4	4	4	5	5	-	4	4	6	6	-	-
		-	-	-	-	-	-	6	-	-	5	5	-	6	-	-	5	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	
Найменування ознаки	Код ознаки																					
Матеріал	1, 2, 3									4, 5, 6, 7												
Серійність	2, 3, 4									1						2, 3, 4						
Конструктивна форма	10			11, 12			13			14	1...7	8	9	10...12	13, 14	1	2...7	8	9	10...12	13,4	
Маса деталі	1...6	7	8	1...6	7	8	1...6	7	8	1...8	1...8	1...8	1...8	1...8	1...8	1...8	1...8	1...8	1...8	1...8	1...8	
Вид заготовки (спосіб виготовлення)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9	9	11	9	9	7	7	7	11	7	
	3	-	-	3	-	-	2	2	2	2	10	-	10	-	11	10	8	9	8	-	11	
	4	4	4	4	4	4	3	-	-	11	-	-	-	-	-	-	9	-	9	-	-	
	5	5	-	5	5	-	4	4	4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	
	6	-	-	6	-	-	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	11	11	11	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Під сумісністю розуміється принципова можливість адгезійної взаємодії матеріалів покриття і матеріалу виробу. Крім того, у сумісних покриттів фізико-хімічні процеси на межі розділу з основою в процесі експлуатації не ведуть до порушення стабільності вихідного стану композиції. Наприклад, виключається утворення гальванічних пар, крихких фаз та ін. Питання сумісності особливо важливі при створенні захисних покриттів і мають меншу значущість при створенні інших типів покриттів, наприклад, декоративних.

При виборі матеріалу покриття, стійкого до спрацьовування, необхідно враховувати характер взаємодії пари тертя. При всіх сполученнях матеріалів необхідно прагнути до вибору матеріалу покриття з мінімальним коефіцієнтом тертя.

Для напилення покриттів, стійких до спрацьовування, придатні матеріали всіх згаданих вище груп. Покриття повинні мати високу міцність зчеплення з основою і міцність матеріалу покриття (до 100...250 МПа).

Вимоги до пористості неоднозначні – покриття на інструменті, наприклад, повинні мати мінімальну пористість, а покриття, які працюють в умовах змащування (поршневі кільця, гільзи циліндрів та ін.), можуть мати значну пористість, що сягає 10...15 %.

На зношування добре працюють покриття, які містять тверді частинки та пластичну матрицю. Слабкі міцнісні зв'язки між окремими частинками покриття ведуть до їх викрошування. Тому створення розвиненого металевго каркасу в покритті за рахунок введення пластичного металевго компонента, підвищує опір зношуванню. Вміст пластичної фази може сягати 30...40 % (об'ємних).

Із матеріалів всіх груп формуються також корозієстійкі та жаростійкі покриття. Основним принципом вибору в цьому випадку є мінімізація негативного впливу взаємодії з агресивним середовищем, що досягається підбиранням відповідного матеріалу покриття з урахуванням фізико-хімічних властивостей матеріалу основи та складу та параметрів навколишнього агресивного середовища.

Покриття повинні мати мінімальну пористість, особливо скрізну та відкрити, тобто створювати ефективний бар'єр на шляху дифузії атомів газового середовища до основи і дифузії атомів основи через покриття у зворотньому напрямку. Матеріал покриття повинен мати низьку пружність пари при робочих температурах, слабо взаємодіяти з основою і навколишнім середовищем.

Покриття повинне бути механічно сумісним з основою і мати добре зчеплення з нею, тривало працювати без відшарування і руйнування.

Додаткові вимоги до матеріалу жаростійкого покриття і особливо його конструкції висувуються при необхідності їх роботи в умовах багатократних різких змін температури. У цьому випадку необхідне узгодження коефіцієнтів термічного розширення матеріалів основи та покриття.

Механічні способи обробки поверхонь перед нанесенням покриттів. Призначення та області застосування різних гальванопокриттів. Одержання дифузно відбиваючої поверхні. Печі для сушіння лакофарбових покриттів. Розрахунок товщини просвітлюючих плівок. Розрахунок товщини плівок для збільшення коефіцієнта відбивання скла.

Процес конструювання покриття містить у собі вибір складу матеріалу покриття, визначення структури системи “покриття-основа” та товщини шару (шарів) матеріалу, який створює робочу поверхню.

Досить поширеним є одношарове покриття (рис. 8.1, а). Його використання є доцільним у випадку створення конструкції “покриття-основа” із матеріалів з близькими значеннями коефіцієнтів термічного розширення. Необхідною умовою є також забезпечення міцності зчеплення покриття з основою. Як правило, такі умови витримуються при нанесенні металевих покриттів на металеву основу.

Більш поширеним є покриття з підшарком (рис. 8.1, б). Підшарок покриття – частина покриття, яка безпосередньо прилягає до основи і виконує функції зв’язку між основною частиною покриття і основою.

Основна частина покриття – частина покриття, яка розміщена над підшарком і виконує робочу функцію покриття. Основа – поверхня основного матеріалу, на яку наноситься покриття.

Підшарок має меншу, ніж основна частина покриття, товщину, яка лежить у межах 0,025...0,1 мм. Призначення прошарку – забезпечення міцного зв’язку покриття з основою, а також узгодження коефіцієнтів термічного розширення матеріалів основної частини покриття і основи.

Найчастіше, як прошарок, використовуються нікель-алюмінієві матеріали у вигляді композиційних порошоків або сплавів. При нанесенні оксидних покриттів добрі результати, як матеріал прошарку, показують нікель-титанові сплави.

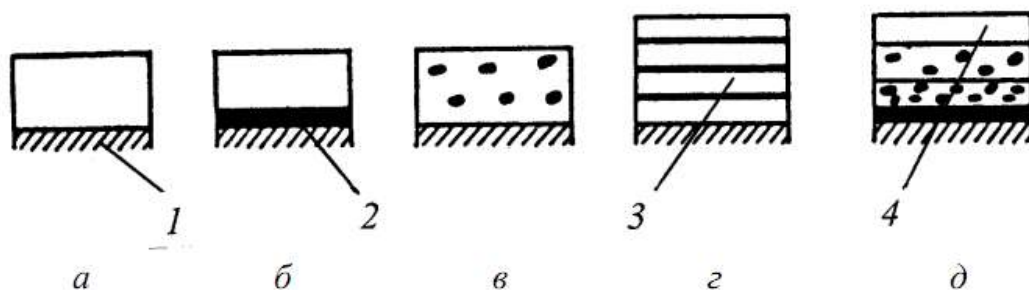


Рисунок 8.1 – Конструкції покриття:

- а – одношарове покриття; б – покриття з прошарком;
- в – багатокомпонентне покриття; г – багатошарове покриття;
- д – градієнтне покриття (з поступовим переходом від матеріалу основи до матеріалу верхнього шару покриття);
- 1 – основа; 2 – прошарок; 3 – шар покриття; 4 – верхній шар покриття

При конструюванні теплозахисних покриттів та покриттів, стійких до спрацьовування, перспективними можуть бути багатокомпонентні покриття (рис. 8.1, в). Покриття такого типу можуть бути отримані при нанесенні механічних сумішей або композиційних порошоків. Композиційний порошок – порошок, кожна частинка якого складається із макрооб’ємів декількох компонентів, які відрізняються за хімічним складом, та ідентична за якісним складом всім іншим частинкам.

Обов'язковими складовими багатокomпонентних покриттів є наявність твердих та пластичних компонент. Пластична компонента покращує експлуатаційні властивості покриття, підвищує міцність зчеплення покриття з основою і міцність покриття, знижує його пористість. Як пластична фаза використовуються чисті метали (нікель, алюміній, кобальт, мідь, хром та ін.) або термореагуючі порошки алюмінідів, ніхром.

Тверда фаза (оксиди, карбіди, нітриди, бориди, силіциди тощо) підвищує зносостійкість або покращує захисні властивості матеріалу покриття.

У випадку експлуатації покриття в умовах механічних ударних навантажень і тепловмін, а також при необхідності сполучення багатьох різних функціональних властивостей (наприклад, високої зносостійкості і корозієстійкості), використовуються багат шарові покриття (рис. 8.1 г).

Під багат шаровим покриттям розуміють покриття, що складається із двох або більше шарів, які відрізняються за складом.

Зовнішній шар – шар багат шарового покриття, поверхня якого стикається із зовнішнім середовищем. Проміжний шар газотермічного покриття – будь-який шар багат шарового покриття, що розміщується між основою або під шарком і зовнішнім шаром.

Товщина шарів залежить від методу нанесення покриття та його функціонального призначення і визначається розрахунково-експериментально із урахуванням технічно мінімально можливої товщини шару покриття.

Покриття із плавним переходом від одного матеріалу до іншого в межах товщини покриття називають градієнтним покриттям. Градієнтне покриття – це багат шарове покриття, в якому кожний проміжний шар містить кілька компонентів із градієнтом концентрації, що напрямлений від основи до зовнішнього шару (рис. 8.1, д).

Незважаючи на деяку технічну складність нанесення, градієнтне покриття може бути дуже перспективним при необхідності ретельного узгодження коефіцієнтів термічного розширення матеріалів основи і покриття та при нанесенні покриттів, матеріал яких не сумісний із матеріалом основи.

Важливим етапом процесу конструювання покриття є визначення його товщини. Товщина напиленого покриття на деталях, у яких зміцнюється поверхня або відновлюються втрачені розміри, повинна передбачати припуск на наступну обробку (токарну, фрезерну, шліфувальну).

Методика розрахунку товщини покриття з урахуванням припусків на обробку ілюструється на рис. 8.2.

Товщина покриття, що нарощується на зовнішній поверхні, розраховується за формулою:

$$h = \frac{D - d}{2} + b \quad (8.1)$$

де D – номінальний діаметр деталі;

d – діаметр деталі після підготовки до напилення;

b – припуск на обробку після напилення.

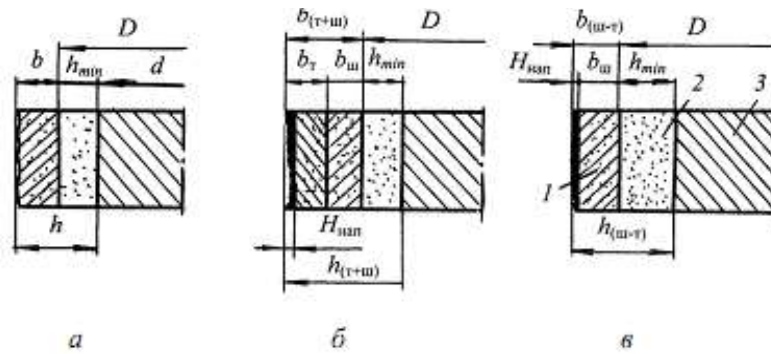


Рисунок 8.2 – Схеми до розрахунку товщини покриття з урахуванням припусків на обробку:

а – припуск на обробку (загальний випадок); б – токарна (фрезерна) і шліфувальна обробка; в – шліфування без попередньої токарної (фрезерної) обробки;

1 – припуск на обробку; 2 – напилений шар покриття, який залишився після обробки; 3 – основний метал деталі

Для забезпечення нормального функціонування виробу і необхідної міцності покриття, а також виключення деформації основи з покриттям, що перевищує допустиму, товщина покриття після кінцевої обробки не повинна бути менше деякої визначеної величини.

Мінімальна товщина покриття, що працює в умовах спрацьовування, збільшується на деяку величину h_{TC} , пропорційну потрібному ресурсу роботи виробу.

В більшості випадків залежність між шляхом тертя L і величиною спрацьовування є лінійною, тому в умовах спрацьовування:

$$h_{TC} = i_{cn} \cdot L \quad (8.2)$$

де i_{cn} – інтенсивність спрацьовування.

В умовах корозійного впливу зовнішнього середовища мінімальну товщину покриття збільшують на величину, пропорційну питомому зменшенню товщини покриття внаслідок корозійного руйнування протягом його експлуатації.

У згаданому випадку потрібно також враховувати висоту нерівностей, яка буде отримана при кінцевій обробці покриття, бо процес руйнування залежить від самої поверхні.

Аналогічно враховуються й інші фізичні величини, що залежать від товщини покриття, наприклад, діелектрична міцність.

У загальному випадку мінімальна робоча товщина покриття h_{min} визначається за виразом:

$$h_{min} = h_{TH} + h_{TC} + Rz_{TH} + W_{TH} \quad (8.3)$$

де h_{TH} – товщина покриття, що забезпечує необхідну покриття і нормальне функціонування виробу;

$R_{z\Pi}$ – висота нерівностей, триманих при кінцевому переході обробки покриття;

W_{Π} – хвилястість поверхні виробу.

Розрахунок значення h_{\min} за формулою (8.3) ускладнений, внаслідок деякої попередньої невизначеності складових правої частини формули. Тому, враховуючи загальні міркування, попередні розрахунки та накопичений промисловістю досвід, в літературі для випадку відновлення деталей рекомендується емпірична мінімальна товщина покриття, яка залежить від діаметра деталі i , зазвичай знаходиться в межах від 0,6 до 1,0 мм [12].

Для токарної обробки деталей покриття наноситься з припуском b_T , який залежить від діаметра деталі i , крім того, обумовлений ступенем рівномірності покриття за товщиною. Припуск b_T заходиться у прямій залежності від висоти нерівностей напиленого покриття. Нерівності покриття визначаються методом, який був застосований, і кваліфікацією оператора. Величина припуску b_T також залежить від кваліфікації токара, що обробляє деталь після нанесення покриття. Величина припуску b_T практично може знаходитися в межах 0,5...1,0 мм.

Припуск на шліфування у розмір після обточування $b_{\text{Ш}}$ залежить від якості абразивних кругів і точності верстата. Ця величина приймається в межах 0,15...0,20 мм.

Таким чином, загальний припуск на токарну (фрезерну) і шліфувальну обробку $b_{(T+\text{Ш})}$ розраховується як сума припусків b_T й $b_{\text{Ш}}$:

$$b_{(T+\text{Ш})} = b_T + b_{\text{Ш}} \quad (8.4)$$

Мінімальну товщину покриття для наступної токарної (фрезерної) і шліфувальної обробки $h_{(T+\text{Ш})}$ можна розраховувати за формулою:

$$h_{(T+\text{Ш})} = h_{\min} + b_{(T+\text{Ш})}, \quad (8.5)$$

а для подальшого шліфування без попередньої токарної або фрезерної обробки

$$h_{(T-\text{Ш})} = h_{\min} + b_{(T-\text{Ш})}. \quad (8.6)$$

При виготовленні виробів з покриттям важливою умовою отримання якісного покриття в процесі його формування, а також ефективної експлуатації виробів з покриттям (особливо в умовах циклічної зміни температури експлуатації виробів) є узгодження коефіцієнтів термічного розширення (КТР) матеріалів покриття і основи.

Розрізняють лінійне та об'ємне розширення в деякому діапазоні температур. Коефіцієнт лінійного розширення характеризує відносне подовження тіла при нагріванні його на один градус:

Значення КТР у загальному випадку залежить від температури матеріалу. В ідеальному варіанті значення КТР матеріалу покриття повинно дорівнювати значенню КТР матеріалу основи у всьому робочому діапазоні температури експлуатації виробу.

При невиконанні цієї умови, наприклад, КТР покриття є більшим за КТР основи, у процесі охолодження покриття може руйнуватися, а при КТР покриття меншому за КТР основи доволіно відокремлюватися від основи.

Основним способом узгодження КТР матеріалів покриття і основи є нанесення підшарків із іншого матеріалу, які підвищують міцність зчеплення покриття з основою і одночасно, в деякій мірі, узгоджують КТР їх матеріалів.

Покриття, отримані методами вакуумно-конденсаційного напилення, як правило, не потребують подальшої обробки. Їх товщина визначається, як мінімально необхідна для забезпечення функціональних властивостей і складає від кількох мікрометрів до кількох десятків мікрометрів. Рациональна товщина реального покриття є результатом компромісу між технічними і економічними показниками деталі з вакуумно-конденсаційним покриттям.

У випадках застосування відносно тонких вакуумних покриттів важливим показником є різнотовщинність покриття. Різнотовщинність покриття – різниця між максимальною і мінімальною локальними товщинами покриття.

Характер розподілу речовини, що випаровується, у просторі над випарувачем визначається двома основними параметрами: робочим тиском у вакуумній камері і густиною потоку атомів і молекул, які випаровуються.

У практиці вакуумного нанесення покриттів прийнята наступна умовна класифікація за ступенем вакууму залишкових газів у вакуумній камері: високий вакуум ($\lambda \gg d$), середній вакуум ($\lambda \approx d$) і низький вакуум ($\lambda \ll d$), де λ – довжина вільного пробігу молекул; d – лінійний розмір вакуумної камери.

Якщо тиск пари речовини, що випаровується, при температурі T_v не перевищує 1,33 Па, то при робочому тиску у вакуумній камері порядку 10^{-2} Па і менше молекули і атоми речовини, яка випаровується, досягають поверхні основи без стикання між собою і з молекулами залишкових газів. У цьому випадку реалізується молекулярний режим випаровування і конденсації, для якого справедливі закони Ламберта-Кнудсена:

- розподіл у просторі потоку речовини, який отриманий випаровуванням з плоскої поверхні, пропорційний $\cos\phi$ (ϕ – кут між напрямком розповсюдження пари і нормаллю до поверхні);

- кількість частинок, які потрапили на поверхню основи, зворотно пропорційна квадрату відстані між випарувачем і основою.

Ці закони є базовими при аналізі закономірностей формування покриття на поверхнях будь-якої конфігурації.

Зазвичай допустима нерівномірність плівок за товщиною не перевищує 3...5 %. Товщина плівки d у довільній точці на поверхні нерухомої основи, що віддалена від точкового випарувача на відстань h , визначається за формулою:

$$d = m_p \cdot \left[4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot h^2 \cdot \left(1 + \frac{l}{h} \right)^{1,5} \right]^{-1} \quad (8.7)$$

де m_p – маса речовини, яка перейшла у пар;

ρ – густина речовини;

l – відстань від центру основи до точки, яка досліджується.

Завдання для самостійного виконання

Завдання 8.1. Описати технологію нанесення покриттів. Спосіб нанесення та вид покриття отримати у викладача.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9

ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Кожний виріб є носієм конкретних властивостей, що відображає його корисність та відповідність певним потребам. Корисність будь-яких речей відображає їх споживчу вартість. Споживча вартість товару має бути оцінена, тобто визначена його якість. Якість як економічна категорія відображає сукупність властивостей продукції, що зумовлює ступінь її придатності задовольняти потреби споживачів відповідно до свого призначення. Поряд із якістю існує поняття технічного рівня продукції. Технічний рівень за своїм змістом вужчий за якість, оскільки охоплює техніко-експлуатаційні характеристики. Показники його встановлюються при проектуванні нових знарядь праці і знаходять своє відображення у спеціальних картках технічного рівня, які використовуються при визначенні ринку та попиту. Рівень якості – кількісна характеристика міри придатності того чи іншого виробу для задоволення конкретного попиту на нього у порівнянні з базовими показниками, зафіксованими у момент споживання. У тісному взаємозв'язку з якістю продукції знаходиться конкурентоспроможність продукції, котрий відображається поєднанням ціни, якості та рівнем обслуговування. Регулюючи та управляючи кожним із цих елементів, можна керувати рівнем конкурентоспроможності. Оцінка якості продукції передбачає визначення таких рівнів якості:

1) абсолютний рівень якості – знаходять шляхом обчислення вибраних показників без їх порівняння з аналогічними виробами;

2) відносний рівень якості – полягає у зіставленні абсолютних показників якості з відповідними виробами;

3) перспективний рівень якості – враховує пріоритетні напрями і темпи розвитку науки та техніки;

4) оптимальний – за нього загальна величина суспільних витрат надвиробництва і використання продукції у певних умовах її споживання буде мінімальною.

Залежно від призначення певні види продукції мають свої специфічні показники якості. Вони можуть бути:

а) диференційовані: – одиничні – характеризують окремі властивості виробу; – комплексні – група властивостей виробу;

б) загальні – характеризують якість усієї сукупності виробів підприємства.

Одиничні показники:

- призначення – характеризують пристосованість виробів до використання та сферу використання;
- надійності – властивість виробу виконувати свої функції протягом певного часу;
- довговічності – властивість виробу тривалий час зберігати свою працездатність у певних умовах експлуатації;
- технологічності – характеризують ефективність конструкції машин та технологій їх виготовлення;
- ергономічні показники – характеризують і враховують комплекс гігієнічних та фізіологічних властивостей людини й вимог техніки безпеки;
- естетичні показники – характеризують виразність, оригінальність, відповідність моді та стилю;
- показники стандартизації та уніфікації – відображають ступінь використання у виробі стандартизованих та уніфікованих деталей;
- економічні показники – відображають затрати на розробку, вироблення та експлуатацію виробу.

Комплексні характеризують кілька властивостей продукції, на основі чого її поділяють на сорти, класи, марки.

Методи оцінки якості поділяються на:

I. Залежно від способу отримання інформації:

- об'єктивний:
 - а) вимірювальний – передбачає при оцінці використання технічних засобів контролю;
 - б) реєстраційний – ґрунтується на спостереженні та підрахунку кількості предметів або випадків;
 - органолептичний – передбачає аналіз сприйняття органами чуття людини споживчих властивостей товару;
 - розрахунковий – використовується при визначенні показника якості новостворених виробів;
 - диференційований – передбачає порівняння одиничних виробів із відповідними показниками виробів еталонів або з базовими показниками стандартів;
 - комплексний – визначення узагальнюючого показника рівня якості оцінюваного виробу.
- II. Залежно від джерел отримання інформації:
 - традиційний – оцінка якості здійснюється у спеціалізованих органах;
 - експертний – для оцінки естетичності показників якості;
 - соціальний – ґрунтується на визначенні якості на основі думки споживачів продукції.
 - статистичний – ґрунтується на використанні методів статистики та носить вибіркового характер.

Завдання для самостійного виконання

Описати технологічний процес контролю якості продукції для виробу у відповідності до свого варіанту (див. табл. 9.1).

Таблиця 9.1

№ варіанту	Тип виробу
1	Трансформатор
2	Електродвигун
3	Електрогенератор
4	Сонячна панель
5	Блок живлення
6	Реле
7	Світлодіод
8	Світловий прилад
9	Контактор
10	Акумулятор
11	Резистор
12	Котушка індуктивності
13	Конденсатор
14	Запобіжник
15	Автоматичний вимикач

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня очної та заочної форми навчання зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньо-професійною програмою «Технології та устаткування зварювання» /Укл.: Носов Д.Г. – Кам'янське, ДДТУ, 2017. – 156 с.

2. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «спецвиди лиття» для студентів напряму 6.050402 - „Ливарне виробництво”, Укл. Сігарьов М.К, Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. – 52 с.

3. Бухарін С. Л. Конспект лекцій з курсу “Світлотехнічні матеріали” (для студентів 2 курсу денної і 3 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050702 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності “Світлотехніка і джерела світла”). / С. Л. Бухарін, Харк. нац. акад. міськ. госп-ва – Х.; ХНАМГ, 2009 – 83 с.

4. Методичні вказівки для опрацювання курсу і виконання курсової роботи „Технологія світлотехнічного виробництва” (Розділ „Світло пропускні матеріали. Технологія виготовлення виробів із світло пропускних матеріалів”) для студентів спеціальності „Світлотехніка та джерела світла”. Укл.: Андрійчук В.А., Гевко Б.М., Костик Л.М. – Тернопіль: ТДТУ, 2004.

5. Технологія нанесення покриття: Метод. вказівки до виконання курсової роботи та практичних занять для студ. спец. “Технологія та устаткування відновлення і підвищення зносостійкості машин і конструкцій”/ Уклад.: Пащенко В.М. – К.: ІВЦ ”Політехніка”, 2003. – 52 с.

6. Методичні вказівки до виконання курсової (контрольної) роботи з курсу „Технологія світлотехнічного виробництва”, „Технологія обробки тиском” для студентів усіх форм навчання за напрямками підготовки 6.09025 „Інженерна механіка”, 6.0906 „Електротехніка” з орієнтацією на спеціальності 7.090202 „Технологія машинобудування”, 7.090605 „Світлотехніка та джерела світла”. / Укл.: Гевко Б.М., Лупенко А.М., Комар Р.В. – Тернопіль: ТДТУ, 2004.