

Рецензенти: І.Б. Гевко, д-т.н., професор, професор кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Р.Г. Редько, к.т.н., доц. завідувач кафедри прикладної механіки та мехатроніки Луцького національного технічного університету

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя
Протокол № 2 від 19 лютого 2025 року

ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ МАШИН

Частина 1:
технологічні основи машинобудування

Гагалою А. В

Г 12

Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник / А.В. Гагалою, Ю.Є. Паливода. – Тернопіль: Осадця Ю. В., 2025. – 308 с.

ISBN 978-617-8060-79-4

Навчальний посібник висвітлює основні етапи виробничого процесу в машинобудуванні, охоплюючи історію розвитку галузі, технологічні процеси обробки матеріалів, способи отримання заготовок, методи базування деталей та забезпечення їх точності.

Окрему увагу приділено сучасним підходам до організації виробництва, зокрема осягдливому виробництву, системі Toyota, управлінню технологічними процесами та контролю якості. Розглянуто також економічні аспекти виробництва та статистичні методи дослідження точності оброблення.

Посібник призначений для студентів технічних спеціальностей, викладачів, інженерів-технологів та фахівців у сфері машинобудування, які прагнуть поглибити свої знання з технологічних основ виробництва.

УДК (621.7+621.9):658.5:338.3(075.8)

ISBN 978-617-8060-79-4

© Гагалою А.В., 2025
© Паливода Ю.Є., 2025
© ФГОП Осадця Ю.В., 2025

Тернопіль 2025

Зміст

ВСТУП	6
1 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ	7
1.1 Історичний експурс.....	7
1.2 Розвиток технологічних процесів оброблення.....	9
1.3 Історичні передумови розвитку машинобудування.....	12
1.4 Тенденції розвитку сучасного машинобудування.....	22
1.4.1 Метод скінченних елементів.....	22
1.4.2 Топологічна оптимізація.....	25
1.4.3 Біонічний дизайн.....	27
2 ОЩАДЛИВЕ ВИРОБНИЦТВО АБО ВИРОБНИЧА СИСТЕМА TOYOTA	32
2.1 Передумови та історія виникнення ошадливого виробництва.....	32
2.2 Принципи ошадливого виробництва.....	35
2.2.1 Канбан.....	35
2.2.2 Дзідока.....	36
2.2.3 Just in time (якраз вчасно).....	37
2.2.4 Кайдзен.....	38
2.2.5 Система 5S.....	39
2.2.6 Гемба (робоче місце).....	40
2.2.7 Камінь «Конняку».....	41
2.2.8 Пока-йокє (захист від дурня).....	42
2.2.9 Хансей (самоаналіз).....	42
2.2.10 Андон (знак або сигнал).....	42
2.2.11 Хейдзюнка.....	43
2.2.12 Генчі генбуцу (підй і сам подивися).....	43
2.2.13 Немаваші.....	44
2.2.14 Муда. Мура. Мурі (марнотратово).....	44
3 СТРУКТУРА ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ	46
3.1 Виробнича структура.....	46
3.2 Машинобудівне виробництво.....	48
3.3 Виробничий процес.....	52
3.4 Технологічний процес і його структура.....	56
3.5 Характеристика технологічних процесів.....	60
3.6 Технологічна операція та її елементи.....	61
3.7 Засоби виконання технологічного процесу.....	73
4 ТИПИ ВИРОБНИЦТВ	75
4.1 Поняття про типи виробництв.....	75
4.2 Розрахунок партії деталей.....	78
4.3 Визначення типу виробництва.....	80
4.4 Визначення форми організації технологічного процесу.....	84

5 СПОСОБИ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВАНОК	90
5.1 Види заготовок сталевих, чавунних, апломінієвих деталей, деталей з неметалевих матеріалів.....	90
5.2 Отримання заготовок із прокату.....	92
5.3 Особливості отримання виливків.....	110
5.4 Отримання поковок.....	118
5.4.1 Технологія машинного кування.....	120
5.4.2 Штампування методом гарячого об'ємного штампування.....	125
5.4.3 Об'ємно-холодне штампування.....	131
6 ВИБІР БАЗ ПРИ ОБРОБЛЕННІ ЗАГОТОВАНОК	132
6.1 Загальні поняття про базування згідно ДСТУ 2232-93.....	132
6.2 Основні положення теорії базування.....	136
6.3 Види баз.....	140
6.4 Методи базування.....	145
6.5 Суміщення і єдність баз.....	146
6.6 Основні комбінації базувальних поверхонь, які застосовуються при механічному обробленні.....	148
7 ПОХИБКИ ПРИ БАЗУВАННІ ЗАГОТОВАНОК	150
7.1 Похибки базування заготовок в пристосуваннях.....	150
7.2 Похибка базування заготовки в призмі.....	151
7.3 Похибка базування заготовок на оправці з зазором і без зазору.....	153
7.4 Похибка базування заготовок в центрах.....	154
7.5 Похибка встановлення заготовок в пристосуваннях, вибір чорнових і чистових баз.....	157
8 ТОЧІСТЬ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	160
8.1 Поняття точності.....	160
8.2 Методи досягнення необхідної точності.....	162
8.3 Методи дослідження точності оброблення.....	164
8.4 Наближеність реального профілю різального інструменту до ідеального.....	166
8.5 Неточність верстата та пристосування.....	166
8.6 Неточність виконання розміру і розмірне зношування різального інструменту.....	169
8.7 Деформація в системі ВПД від дій сили різання і зусиль закріплення.....	171
8.8 Теплові деформації окремих елементів технологічної системи і їх вплив на точність оброблення.....	175
8.9 Похибки вимірювань.....	182
8.10 Досяжна та економічна точність на верстатах.....	182

8.11	Похибки оброблення, що виникають на верстатах з ЧПК	185
8.12	Розрахунково-аналітичний метод визначення сумарної похибки оброблення	186
9	СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ	191
9.1	Випадкові похибки оброблення	191
9.2	Застосування методів теорії вибірок	207
9.3	Визначення закону розподілу показників якості	213
9.4	Індекси відтворюваності технологічного процесу	217
9.5	Статистичне керування точністю заготовок при механічному обробленні	219
9.6	Економічна точність оброблення	222
9.7	Шляхи підвищення точності механічного оброблення	224
10	ПРИПУСКИ НА МЕХАНІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ	225
10.1	Формування припусків на механічне оброблення. Загальні положення	225
10.2	Дослідно-статистичний метод визначення припусків	229
10.3	Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків	236
10.4	Методика обчислення припусків розрахунково-аналітичним методом	246
11	ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПІСЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	249
11.1	Поняття про якість поверхні	249
11.2	Геометричні характеристики поверхні	250
11.3	Вплив матеріалу та механічної обробки на шорсткість	257
11.4	Оцінювання і контроль геометричних параметрів якості поверхні	262
11.5	Стан поверхні	268
11.6	Методи дослідження поверхневого шару	278
11.7	Вплив якості поверхонь на експлуатаційні властивості деталей	281
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	285	
ДОДАТКИ	291	
Додаток А	292	
Додаток Б	294	
Додаток В	296	
Додаток Г	297	
Додаток Д	299	
Додаток Е	305	

ВСТУП

Виготовлення машин – це складний та багатогранний процес, який забезпечує створення різноманітних технічних пристроїв відповідно до визначених специфікацій та стандартів. Цей важливий етап промислового виробництва включає в себе ряд технологічних, інженерних та виробничих процесів, які спрямовані на створення ефективних та надійних машин для різноманітних галузей.

Промислові процеси виготовлення машин починаються з детального проектування, де інженери визначають вимоги, розробляють концепції та обчислюють параметри пристроїв. Після цього наступним етапом є вибір матеріалів, оптимізація конструкції та розробка прототипів для тестування. Слідуючи цьому, виробничий процес включає в себе фазу виготовлення компонентів, їх складання та інтеграцію в єдиний функціональний блок. Технології обробки матеріалів, як-то токарно-фрезерні операції, лазерна різка, зварювання та обробка поверхонь, використовуються для створення високоякісних та точних деталей.

Надійність та безпека є ключовими аспектами виробничого процесу, тому контроль якості відіграє важливу роль на всіх етапах виробництва. Тестування, вимірювання та аналіз забезпечують високу якість кінцевого продукту.

Завдяки поєднанню передових технологій, інноваційних рішень та інженерного майстерності, процеси виготовлення машин визначають нові стандарти в сфері технічного розвитку та виробничої ефективності.

1 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ

1.1 Історичний експурс

У природі, практично, не існує предметів, які можна було б використовувати у такому вигляді, як вони є. До них завжди необхідно прикладати працю і зусилля, щоб отримати те, що відповідає задуму. Навіть для виготовлення

примітивної сокири з каменю чи інших примітивних знарядь праці (рис.1.1), з якими неодноразово зображують неандертальців чи первісну людину (рис.1.2) у підручниках з історії (не будемо аж так заглиблюватися в антропологію), необхідно було, щонайменше знайти камінь, палицю та кору дерева. З кожним із знайдених предметів потрібно було виконати певні маніпуляції, а саме: загострити камінь, знайти палицю і розколоти її, але не повністю, і як би не здавалося дивним, але найскладніше – здерти кору, яка б слугувала мотузкою. І це все скласти у готовий виріб – знаряддя праці. Цей примітивний приклад здається навіть смішним, але насправді це був величезний еволюційний стрибок. Стрибок від палиці до сокири, списа і т.д.



Рис.1.1 Примітивні знаряддя праці:
(спік, сокира і лопата)

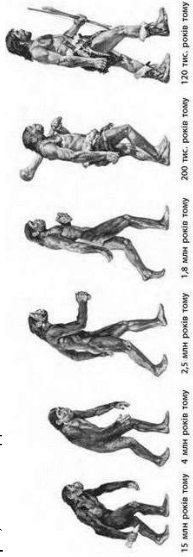


Рис.1.2 Еволюція людини, як зображена у підручнику із Всесвітньої історії

Ніхто не знає, коли і як індивідуум здогадався, що якусь каменю можна прив'язати до палиці, а не просто бігати з нею. Якщо подивитися (рис.1.1), що відірзано сокиру від списа, то це розташування каменю на палиці. Але як би там не було, людина несвідомо виконала підготування виробництва (підготувала камінь, палицю та кору), виконала над ними примітивний, але технологічний і виробничий процес і здійснила

складання.

Це зараз, через тисячі чи мільйони років еволюції ми можемо замислюватися, який мобільний телефон вибрати чи/або автомобіль купити (з ДВЗ чи з електроавтомобіль). А тоді, було 2 думки:

- 1) що робити, щоб поїсти?
- 2) і що робити, щоб у процесі виконання п.1 не з'їли тебе?

Сподіваюся, що на цьому примітивному і веселому прикладі ви побачили декілька нових термінів, як **підготування виробництва, технологічний процес, виробничий процес та складання**.

Як бачимо, для перетворення предметів природи в корисні для себе вироби і призначений виробничий процес. Він містить всі етапи, які приходять предмет природи або сировина на шляху перетворення у виріб. Якщо попередній приклад застосувати до металу, то це матиме наступний вигляд. Необхідно добути залізну руду, а потім транспортувати її на металургійний завод, де після переплавки вона перетвориться в метал, з якого зроблять заготовку (відливку, штампованку або сортового проката). Заготівлю привезуть в цех машинобудівного заводу і після різного роду оброблення (зі зняттям стружки і без зняття) з неї зроблять деталь. А із деталей, за допомогою складання отримаємо готовий виріб.

Згідно ДСТУ 2960-94 «Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення» та ДСТУ 2974-94 «Технологічне підготування виробництва. Основні терміни та визначення» дається пояснення наступним термінам:

Виробничий процес – це якісна зміна предметів природи, здійснювана людиною. При реалізації технологічного процесу, як частини виробничого процесу, людина (в подальшому будемо називати її інженер-технолог) має вирішити 2 завдання:

- 1) отримати виріб, який би задовольняв людські потреби;
- 2) максимально зменшити витрати праці на його виготовлення.

Для виконання кожного технологічного процесу інженер-технолог виробництва відіграють вирішальну роль. Історія розвитку виробництва показує постійно зростаючі темпи розвитку знарядь виробництва від первісної кам'яної сокири до сучасних металізованих верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), машин, цехів і заводів.

Машинобудування називають головним технологом усіх галузей господарства. Чому? Бо воно повинно враховувати найновіші досягнення науки і техніки і розробляти раціональні технологічні процеси виготовлення деталей, створювати і випускати знаряддя виробництва у

предметним, технологічним або предметно-технологічним принципом спеціалізації (ДСТУ 2960).

Робоче місце (працівника) це елементарна одиниця виробничої структури, містить частину простору виробничого підрозділу, яка потрібна для здійснення трудової операції та оснащену матеріально-технічними засобами, використовуваними у процесі праці (див.п.2.2.6). Робоче місце може бути просте, комплексне, спеціалізоване, універсальне, стаціонарне, пересуване, одно- агрегатне, багатоагрегатне, автоматизоване (ДСТУ 2960).

Під спеціалізацією мають на увазі зосередження й випуску великого обсягу чітко визначених видів продукції на певному підприємстві, наприклад виготовлення колінчастих валів або двигунів автомобілів або іншої техніки для певної моделі якого-небудь бренду).

Кооперація передбачає забезпечення заготовками (вилівками, поковками, штампуванням), комплектувальними агрегатами, різними приладами і пристроями, що виготовляються на інших спеціалізованих підприємствах. Наприклад, завод з виготовлення колінчастих валів може не мати свого ливарного чи кувалного цеху, якщо матиме постачальника заготованок колінчастих валів (фактично це інший завод або окремий цех з виготовлення заготованок колінчастих валів).

Склад енергетичних і санітарно-технічних служб заводу також може бути різним у залежності від можливості кооперації з іншими промисловими і комунальними підприємствами щодо постачання електроенергії, газу та інших енергоресурсів. Наприклад, для транспортування наймаються інші логістичні компанії, що дозволяє економити на утриманні власного транспортного парку. Розвиток спеціалізації і широка кооперація підприємств значно відображаються на виробничій структурі заводів. У багатьох випадках у складі машинобудівних заводів не передбачаються ливарні і ковальсько-штампувальні цехи, цехи з виготовлення крипильних деталей і т. ін., оскільки заготовки, дрібні металічні вироби (болти, гайки тощо) та інші деталі постачаються спеціалізованими заводами. Зрештою, багато заводів масового виробництва завдяки кооперації із спеціалізованими заводами так і працюють.

Це дозволяє диверсифікувати (розподілити і зменшити) ризики, вибрати одного або декількох постачальників. Відповідно така співпраця створює здорову конкуренцію і боротьбу за клієнта і як наслідок змушує випускати продукцію відповідної або кращої якості, ніж конкурент.

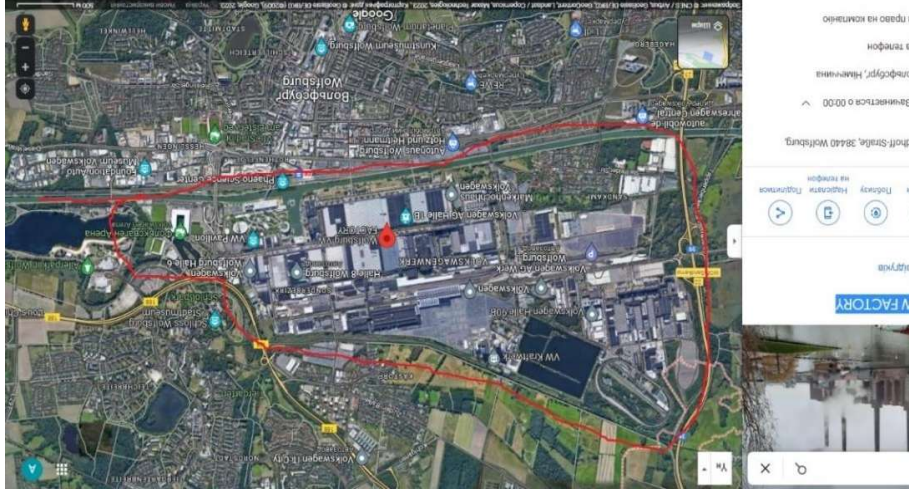


Рис.3.1 Завод Фольксваген у Вольфсбурзі (Wolfsburg VW FACTORY). Джерело: Google Maps



Рис.3.2 Фото заводу Фольксваген у Вольсбурзі, ФРН (Wolfsburg, VW FACTORY [20]).

Характерним прикладом є автоскладальні виробництва, коли один постачальник випускає двигуни, другий - фари, третій - скла, шини і т.д. У результаті постачальник, як окрема виробнича одиниця концентрується, наприклад на виготовленні фар, проте він може постачати фари для різних моделей, брендів і т.д. Наприклад, автозавод Фольксваген у Вольсбурзі (рис.3.1, рис.3.2). Склад машинобудівного заводу можна розділити на наступні групи:

- 1) заготовельні цехи (чавуноливарні, сталеливарні, ливарні кольорових металів, кувальні, куально-пресові, пресові, кувальні-штампувальні та ін.);
- 2) оброблювальні цехи (механічні, термічні, холодного штампування, деревообробні, металопокрить, складальні, фарбувальні та ін.);
- 3) допоміжні цехи (інструментальні, ремонтно-механічні, електроремонтні, модельні, експериментальні, випробувальні та ін.);
- 4) складські приміщення (для металу, інструменту, формувальних і шихтових матеріалів, приладдя і різних матеріалів для готових виробів, палива, моделей і ін.);
- 5) енергетичні відділення (електростанція, теплоелектроцентрально, компресорні і газогенераторні установки);
- 6) транспортні цехи;
- 7) санітарно-технічні відділення (опалювання, вентиляція, водопостачання, каналізація);
- 8) загальнозаводські відділення і служби (центральна заводська лабораторія, технологічна лабораторія, центральна вимірювальна лабораторія, головна контора, прохідна контора, медичний пункт, амбулаторія, відділення зв'язку, їдальня і ін.).

3.3 Виробничий процес

Згідно визначень затверджених ДСТУ 2960-94 і ДСТУ 2974-95, виробничим процесом називають «...систематичне та цілеспрямоване змінювання в часі та просторі кількісних та якісних характеристик засобів виробництва і робочої сили для отримання готової продукції з вихідної сировини, згідно із заданою програмою» [13, 14]. Іншими словами, під виробничим процесом слід розуміти сукупність усіх дій людей (робітників задіяних безпосередньо на виробництві) і знарядь виробництва (металообробного та іншого обладнання, ручних інструментів тощо), необхідних для виготовлення або ремонту виробів. У ДСТУ зазначено, що виробничий процес можна класифікувати:

1) за відношенням до готової продукції та технологічним значенням виробничі процеси поділяються на основні, допоміжні, підсобні та побічні; виробництва на яких здійснюються виробничі процеси називаються у відповідності до них – основне, допоміжне, підсобне, побічне.

2) за характером проходження в часі виробничі процеси поділяються *циклічні та нециклічні*;

3) за характером руху предмета праці в часі виробничі процеси поділяються на *безперервні, напівбезперервні та дискретні*;

4) за ступенем можливості безпосереднього спостереження за ходом виробничих процесів вони поділяються на *закриті, відкриті та напівзакриті*

Виробничий процес будь-якого підприємства, майже завжди, є лише частиною усього процесу перетворення природної сировини в готовий виріб. Насправді, *виробничий процес* – це складний комплекс первинних процесів, які виконують за допомогою виробничих (основних, допоміжних і підсобних) підрозділів підприємства, що забезпечують своєчасний випуск заданої продукції (рис.3.3).

Виробничий підрозділ – це структурна одиниця підприємства, яка виконує конкретну функцію виробництва та відповідає за неї.

Основне виробництво – частина виробничої діяльності підприємства, яка полягає у безпосередньому перетворенні предмета праці на готову продукцію та провадиться у певних структурних підрозділах.

Допоміжне виробництво – частина виробничої діяльності підприємства, яка полягає в обслуговуванні основного виробництва, забезпеченні безперервного виготовлення і випуску продукції та провадиться у певних структурних підрозділах.

Підсобне виробництво – частина виробничої діяльності підприємства, яка полягає у добуванні або переробленні предметів праці для основного виробництва та провадиться у певних структурних підрозділах.

Побічне виробництво – частина виробничої діяльності підприємства, яка полягає у виготовленні продукції з відходів або побічних продуктів основного виробництва та провадиться у певних структурних підрозділах.

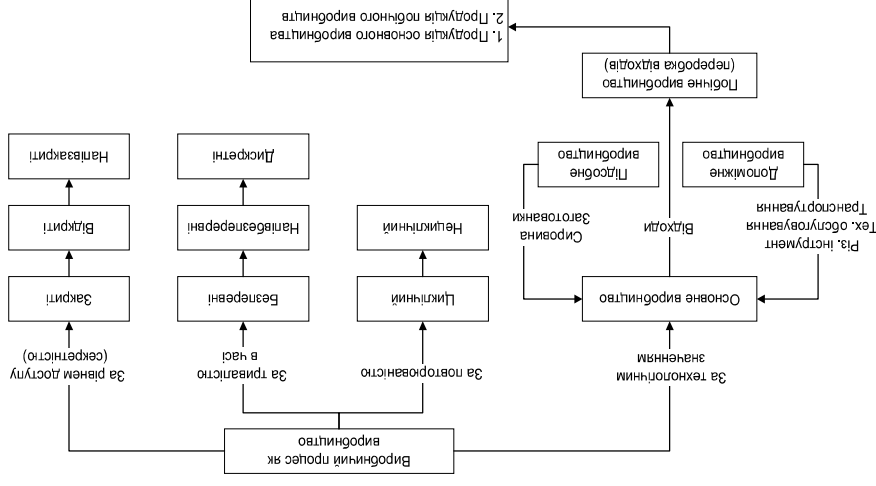


Рис.3.3 Структура виробничих процесів

Важливо!!! Не плутайте назви частин виробництва із назвами виробничих процесів, бо назви у них майже ідентичні. Наприклад, до підсобного виробництва, виходячи із визначення вище, може входити заготовлення, ливарне або кувалече виробництва, які по відношенню до основного виробництва не є головним, бо воно виробляє заготовки (розпильне прокат, робить відливи та поковки). Але у межах підсобного виробництва, тех є основні процеси та допоміжні. Потрібно розуміти, що ці всі поділи є дуже умовними. Знову ж таки, ливарне виробництво може бути окремим заводом, а не частиною більшого, основного виробництва.

Тому виробничі процеси тех є основні, допоміжні та обслуговуючі:

- **основні процеси** — це технологічні процеси, в ході яких відбувається зміни геометричних форм, розмірів і фізико-хімічних властивостей продукції. Вони безпосередньо пов'язані з механічним обробленням (виконанням технологічних операцій) і виготовленням основної продукції, що випускається підприємством. Результатом цих процесів у машинобудуванні є виготовлення деталей, складання машин, що складають виробничу програму підприємства;
- **допоміжні процеси** — це процеси, які забезпечують безперерйне виконання основних процесів (виготовлення і ремонт інструментів та допоміжного оснащення, ремонт устаткування, забезпечення всіма видами енергій (електроенергією, теплом, паром, водою, стисненим повітрям і т. д.).
- **обслуговуючі процеси** — це процеси, пов'язані з обслуговуванням основних і допоміжних процесів, котрі не створюють продукцію. До них відносяться процеси: зберігання, складування, транспортування, технічний контроль, підбору та комплектування деталей тощо).

Підсобні процеси стосуються заготівельного виробництва, а виробничий процес певного підприємства може бути поділений на окремі складові, наприклад, виробничі процеси ливарних, кувалечних, механічних і складальних робіт.

Виробничий процес можна поділити на наступні етапи:

- 1) виготовлення заготовок деталей — Лиття, кування, штампування або первинне оброблення з прокатного матеріалу;
- 2) оброблення заготовок на металорізальних верстатах для отримання деталей з остаточними розмірами і формами;
- 3) складання вузлів і агрегатів (або механізмів), тобто з'єднання окремих деталей в складальні одиниці і агрегати;
- 4) остаточне складання всієї машини із агрегатів або

машинокомплектів:

- 5) регулювання і випробування машини;
- 6) фарбування.

На кожному етапі виробничого процесу, по окремих операціях технологічного процесу, здійснюється контроль за виготовленням деталей відповідно до технічних умов, що пред'являються до деталей для забезпечення належної якості готової машини (виробу).

При аналізі виробничих процесів розрізняють наступні поняття.

Виробничий цикл — інтервал часу від початку до закінчення виробничого процесу виготовлення або ремонту виробу.

Виробнича потужність — розрахунковий максимально можливий в певних умовах обсяг випуску виробів в одиницю часу.

3.4 Технологічний процес і його структура

Усі терміни та визначення наведено згідно ДСТУ [47]. Технологічний процес є частиною виробничого процесу, яка складається з дій, спрямованих на зміну та (чи) визначення стану предмета праці. Відповідно технологічний процес може бути базовим, якщо його використовують як зразок для створення іншого технологічного процесу.

Базовий технологічний процес — технологічний процес вищої категорії, який береться, як основа в розробленні конкретного технологічного процесу. До вищої категорії належать технологічні процеси, які за своїми показникам відповідають кращим світовим та вітчизняним досягненням або перевищу їх.

Технологічна операція — закінчена частина технологічного процесу яку виконують на одному робочому місці (ДСТУ 2391).

Технологічний маршрут — послідовність проходження предметом праці виробничих підрозділів підприємства під час здійснення певного виробничого процесу. Розрізняють міжцеховий та цеховий технологічні маршрути (ДСТУ 2960)

Розрахування — розроблення міжцехових технологічних маршрутів для всіх складових частин виробу.

Технологічна дисципліна — дотримування точної відповідності між технологічним процесом виготовлення продукції і вимогами конструкторської та технологічної документації (ДСТУ 2960).

Є також універсальне визначення будь-яких технологічних процесів виготовлення заготовок, механічного оброблення, складання та інших питань виробництва виробів машинобудування і приладобудування, згідно якого **технологічним процесом** (ТП) називають послідовну зміну форми, розмірів, властивостей матеріалу або напівфабрикату в цілях

майстерень для кування невеликих поковок (до 25 кг). Їх використовують для вільного кування з вагою падаючих частин 1 т (9,8 кН) до 3 т (29,5 кН). Джерелом енергії для пневматичних молотів є стиснуте атмосферне повітря. Процес його стиснення виконує поршень, котрий рухається в пневмоциліндрі і через шатун з'єднаний з коліналом (кривошипом), який обертається від електродвигуна. Все це вбудовано в станину молота. Пневматичні молоти здібнішого також використовують для здебільшого рубання, гнуття металу, зварювання, прошивання отворів. Переїшовши за qf- кодом ви зможете побачити процес роботи пневматичного молота.

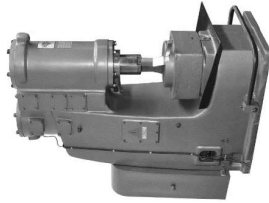


Рис.5.32 Пневматичний молот

Пароповітряні кувальні молоти приводяться в дію стиснутою парою або повітрям (рис.5.32). За конструкцією їх розділяють на одностійкові з масою падаючих частин 500 кг, 750 кг і 1000 кг, а також двостійкові молоти аркового типу з масою падаючих частин від 1 т до 5 т, крім того використовуються двостійкові молоти мостового типу (рис.5.34) з падаючими частинами масою (2 – 5) т. На таких молотах, в залежності, від маси падаючих частин (1 – 5) т, кулять поковки вагою від 100 кг до 1,5 т. Для кування середніх і великих заготовок використовують гідравлічні і парогідравлічні преси. Пароповітряні молоти аркового типу використовують для гарячого об'ємного штампування з кольорових, чорних металів і сплавів.

На заводі НКМЗ у м. Краматорськ, до повномасштабного вторгнення 2022 р., випускали пароповітряні шаботні ¹⁷ (рис.5.33) та безшаботні молоти (виготовлення поковок в однімісних і багатомісних штампах), а також кувальні пароповітряні молоти мостового типу (виготовлення

поковок методом вільного кування).

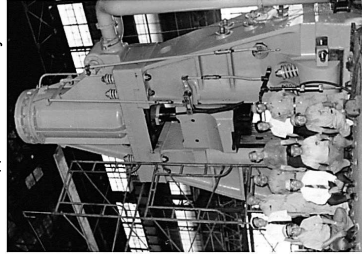


Рис.5.11 Молот штампувальний шаботний з падаючою масою 16 т виробництва НКМЗ

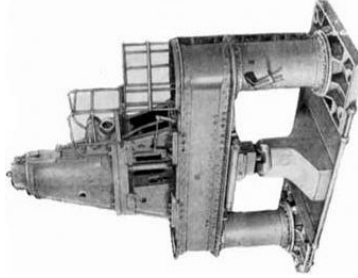


Рис.5.34 Молот мостового типу

Молоти з маркою НКМЗ вирізняються високою продуктивністю (табл.5.2), простотою конструкції та обслуговування, широкими технологічними можливостями. Штампувальні молоти оснащуються:

- підшаботною віброізоляцією;
- пневматичним сервоприводом;
- системою безступінчастого регулювання енергії удару.

Таблиця 5.2 Технічні характеристики молотів

Параметр	Тип молота		
	штампувальний шаботний	штампувальний безшаботний	кувальний мостового типу
енергія удару, кДж	400 ... 800	1500 ... 1600	80 ... 240
маса падаючих частин, т	16 ... 25	150 ... 160	3,15 ... 8

Гідравлічні кувальні преси використовують для кування заготовок великих розмірів, працюють зі значно меншою швидкістю (0,3 м/с), ніж молоти. Їх основною характеристикою є створення зусилля стиску, яке може досягати від 2 до 750 МН.

¹⁷ Шабот – це нерухоме ковадло, на якому знаходиться поковання. Пароповітряні молоти класифікують за наявністю або відсутністю шабота, від якого залежить схема удару робочих мас молота: шаботні; з нижнім ударом або верхнім ударом; з рухомих шаботом (із зустрічним рухом різних за величиною ударних мас); безшаботні (із зустрічним рухом однакових мас).



Рис.5.12 Автоматизовані кувальні комплекси

Таблиця 5.3 Технічні характеристики ковальських комплексів					
Найменування параметру	30МН	60МН	80МН	100МН	
Номинальне зусилля, МН	30	60	80	105	
Допустимий ексцентриситет при найбільшому зусиллі, мм	200	300	350	250	
Відкрита висота, мм	3950	6000	6500	7100	
Відстані між ходобіжечувачами в світлі, мм	1520÷3500	1880÷4580	2100÷4500	1800÷4800	
Хід, мм	2080	2600	3200	3000	
Частота ходів при зусиллі в ході, хв ⁻¹ :					
■ 75% ном. зусилля і ході 200 мм	14	-	-	10	
■ 25% ном. зусилля і ході 30 мм	70	-	-	40	
Розмір столу, мм	2800×6000	3200×6000	2500×9000	4000×10000	
Хід столу в кожну сторону, мм	4500	3000	4500	5000	
Габаритні розміри преса, мм:					
■ ширина	5700	8580	8610	8620	
■ довжина	36800	22180	41360	45110	
■ висота	13170	18580	19425	22535	

Призначення пресів НКМЗ — штампування великогабаритних деталей з різних сплавів (алюмінієвих, титанових сплавів і сталі). Завдяки високому питомому тиску в штампах прес може використовуватися для отримання заготовок складної форми і великих розмірів з мінімальними допусками. НКМЗ випускає преси гідравлічні штампувальні зусиллям до 750 МН.

Переваги:

- висока точність штамповок забезпечується синхронізаційною системою, яка гарантує паралельність між столом і рухомих

траверсою;

- максимальний тиск рідини в робочих циліндрах забезпечується мультиплікаторами;
- автоматична система технологічного контролю за переміщенням і швидкістю траверси, тиском рідини в циліндрах, ексцентриситетом технологічного навантаження, напругою в базових деталях;
- наявність виштовхувачів для видалення відштампованих деталей.

На рис.5.36 показано 3D модель конструкції гідравлічного преса. принцип роботи наступний: станину преса 5 виставляють на бетонному фундаменті. До неї кріпиться чотири колони 4, зверху яких закріплена верхня поперечина 3. Діаметр колон у потужних пресів може досягати до 1000 мм, а їх висота до 25 метрів. Таким чином забезпечують жорсткість станини преса. У верхній поперечині 3 закріплено 3 робочий циліндр 1 з плунжером 2, який знизу з'єднаний з рухомою траверсою 6 і з верхнім бойком. Нижній боек (шабот) 8 розташований на підшаботній підкладці 9 у нижній поперечині 5.

Для здійснення робочого ходу плунжера 2 з траверсою 6 в робочій циліндр преса під тиском 20- 50 МПа подається рідина, створюючи відповідне зусилля через верхній бойок траверси на заготовку, яка розміщена на нижньому бойку нижньої поперечини.

Після деформації заготовки здійснюється підйом траверси 6, за допомогою двох зворотних циліндрів 7, які закріплені у верхній нерухомій поперечині 3. При зворотному ході плунжера рідина під тиском поступає в нижню частину зворотних циліндрів і тисне на підйомні плунжери піднімає траверсу 6.

У зв'язку з тим, що швидкість робочого ходу плунжера з рухомою

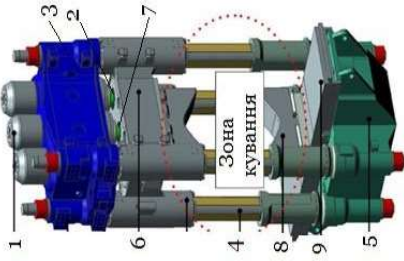


Рис.5.36 Схема гідравлічного преса:
1-робочий циліндр; 2-плунжер; 3-верхня поперечка; 4-колона; 5-станина; 6-рухома траверса; 7-зворотний циліндр; 8-шабот; 9-підкладка. [74]

траверсою невисока (до 0,5 м/с), при деформації заготовки не відбувається ударного зусилля, а всі навантаження сприймаються колонами і не передаються на фундамент. Виходячи з цього, на відміну від молотів, пресам не потрібний масивний фундамент. Преси такої конструкції призначені для масивних поковок і створюють зусилля в десятки тисяч тон.

5.5.2 Штампування методом гарячого об'ємного штампування

Отримані в штампах заготовки характеризуються високою точністю розмірів і складністю форми. Об'ємне штампування забезпечує суттєву економію металу, спрощує складність робіт в ковальських цехах і при подальшому механічному обробленні, що забезпечує високу продуктивність праці і знижує вартість продукції.

До переваг штампування відносять швидкість отримання заготовки та низьку вартість при масовому виробництві. Загалом штампування дозволяє отримати однорідну структуру зерен, що робить кінцевий шматок міцнішим. На рис.5.37 [67] порівнюється структура і розташування волокон металу при литті, механічному обробленні та куванні. При литті немає ліній волокон (зерен), тоді, як лінія волокон при механічній обробці залишається прямою. При куванні потік зерна повторює контур деталі.



Рис.5.13 Порівняння структури заготовки при різних типах оброблення

У процесі кування зерниста структура деталі стискається, що створює менші залишкові напруги на кутах і галтелях, що підвищує міцність деталі. Кування зменшує металургійні дефекти, такі як пористість і поділ сплаву, що скорочує час на механічну обробку готової деталі та позитивну реакцію на термічну обробку. Завдяки відсутності пористості, деталі можуть бути оброблені після кування без втрати точності розмірів або якості. Допуски знаходяться в межах від 0,25 мм до 0,5 мм.

До недоліків штампування відносять високу вартість штампів, обмежену вагу поковок (до 200 – 300) кг через що використання процесу штампування економічно вигідно при серійному і масовому виробництві. Виходячи з цього, гаряче об'ємне штампування використовують в

машинобудуванні для виготовлення дуже складних за формою поковок відповідальних деталей машин (колінчасті вали, шатуни та ін).

Температура нагрівання заготовок для гарячого штампування залежить від ступеня деформації. Зрозуміло, що чим м'якший метал, тим легше його деформувати. При штампуванні в діапазоні високих температур ступінь деформації (25 – 30) %, а при штампуванні при мінімально-допустимих температурах, ступінь деформації буде біля 15 %. В той же час, завершення штампування повинне відбуватися при більш низьких температурах (для сталі при температурі близько точки Ас3), щоб запобігти росту зерна. А для сталі із збільшенням швидкості нагрівання заготовок зменшується вигорання сталі (за рахунок високої температури печі (1400–1500) °С або використовують електропечі з нейтральною атмосферою).

Для масового виробництва невеликих і середніх поковок (гайки, болти, гвинти, хрестовини, колінчасті вали (рис.5.38), шатуни (рис.5.39) і т.п.) використовується об'ємне гаряче штампування у спеціально-виготовлених штампах, із жароміцних сталей (5ХНМ, 5ХНВ, 4Х8В2, 5ХГМ, 7Х3, 5ХНСВ). Гаряче об'ємне штампування виконують на молотах, пресах і горизонтально-кувальних машинах (ГКМ).



Рис.5.38 Етапи кування колінчастого вала

Штампування на молотах відбувається на підкладних (рис.5.40, а) і молотових штампах (рис.5.40, б). Штампування здійснюється під дією удару бойка молота по верхній частині штампа. В поковках, при штампуванні на молотах, замість наскрізних отворів виштамповують зустрічні поглиблення – мітки, між якими залишається перегородка, яку на обрізному штампі видаляють прошиванням. На відміну від вільного

кування, штампувальні форми і їх розміри визначаються конфігурацією і розмірами річкових штамів.



Рис.5.39 Етапи кування шатуна

Штамп за конфігурацією діляться на однорічкові (рис.5.40, а) для деталей простої геометричної форми і багаторічкові (рис.5.40, б) для отримання складних деталей.

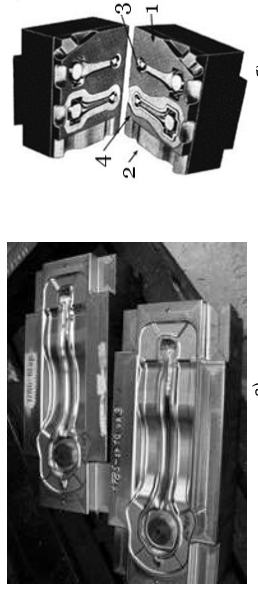


Рис.5.40 Штамп. а) – підкладний – однорічковий; б) молотовий – багаторічковий; 1, 2, 3, 4 – річкові штампа

У багаторічкових штампах передбачені загострені річки (протязні, підкладні, пережимні, згинальні та ін.), в яких відбувається підготовка заготовки до кінцевої операції штампування. Кінцеве штампування заготовки в таких штампах відбувається у штампувальних (чорнових і чистових) річках, з отриманням готової поковки (рис.5.40, б). Бокові поверхні річкових штамів впливають з нахилом 3° з метою поліпшення знімання поковки після штампування.

Для об'ємного штампування використовують штампи відкритого і

закритого типів (рис.5.41, а і рис.5.41, б відповідно). При відкритому штампуванні по периметру поковки утворюється облой (заусенець), а при закритому штампуванні облой немає. Штамп складається із двох роз'ємних частин, внутрішні порожнини яких збіраються утворюючи відповідні річки, форма і розміри яких визначають деформацію заготовки. Відповідно, відкритим штампом називається такий, у якого по периметру річка розміщена облойна канавка 2 (рис.5.41, а), в яку під час штампування видавлюється зайвий метал, який складає (5–10) % від маси поковки. Такі штампи отримали найбільше використання із-за спрощення розрахунку поковки для штампування на цих штампах.

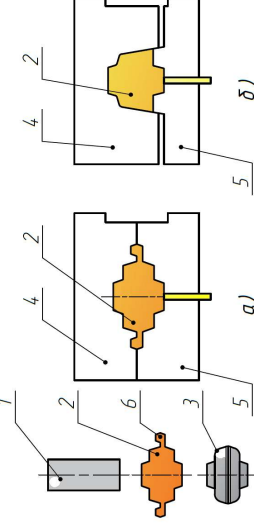


Рис.5.41 Схеми штамів: а) відкритий б) закритий (1 – заготовка; 2 – виштамповка з облоєм; 3 – виштамповка; 4 – верхня частина штампа; 5 – нижня частина штампа, 6 – облой)

Закритим або безоблойним називають штамп (рис.5.41, б) порожнина якого не має виходу для надлишкового металу. Виходячи з цього, при використанні таких штамів забезпечується зниження витрат металу на облой і витрат на обрізання облоєм. У той же час, закриті штампи конструктивно складні, дорогі у виготовленні й швидко виходять з ладу. Ускладнені розрахунок поковки для штампування на цих штампах у зв'язку з необхідністю досягнення рівності об'єму заготовки і об'єму порожнини штампа. Якщо при розрахунку поковки буде отримано надлишок сплаву, то в процесі штампування штамп повністю не закриється з утворенням неповної сформованої поковки, що фактично не відрізнятиме цей штамп від відкритого. Навпаки, при недостатній масі заготовки порожнина штампа неповністю заповниться заготовкою з утворенням браку.

Для штампування використовують пароповітряні молоти, кривошипні, кувалдно-штампувальні преси, які використовують для

штампування невеликих поковок (болти, хрестовини, шайби, гайки, заклепки та ін.)

Технологічний процес отримання штампованих виробів дозволяє отримувати заготовки більш складної форми (рис.5.42, а – г) порівняно із кованими. Прийнятна якість поверхні поковок і висока точність дозволяють використовувати їх, майже не обробляючи.



Рис.5.42 Деталі отримані методом гарячого штампування [75].

Основні відмінності між відкритим і закритим штампуванням наведено у табл. 5.4.

Фінішні операції гарячо-штампованих виробів. У процесі штампування на отриманих виробах залишаються облої, перемички, напуски, ухили, окалина та ін., що вимагає їх усунення з використанням фінішних операцій. З цієї метою для видалення облою використовують

більше схожі на музейні експонати.

Передовиками в галузі точного приладобудування є Японія, зокрема компанія ACCRETECH. Більш детально з ними можна ознайомитися на сайті офіційного представника, перейшовши за посиланням [37] або QR-кодом, а також відео.



Рис.11.10 Профілометр-профілограф HANDYSURF 35/40/45 (Дискретність вимірювання 0,0007 мм)



Рис.11.11 Профілометр-профілограф HANDYSURF 35/40/45 (Дискретність вимірювання 0,0007 мм)



Рис.11.12 Профілометр-профілограф HANDYSURF 550 (Дискретність вимірювання 0,0007/0,0001 мм)



Рис.11.13 Профілометр-профілограф HANDYSURF 50 (дискретність вимірювання 0,0007/0,0001 мм)



Одним із найсучасніших методів дослідження шорсткості є оптична 3D профілометрія [87] (метрологія поверхні). 3D оптичні профілометри – найбільш відомі прилади, котрі дозволяють отримувати точні виміри шорсткості поверхні. За принципом роботи такі профілометри є:

- інтерференційними мікроскопами;
 - та / або конфокальними мікроскопами.
- Їх використовують для вимірювання змін висоти поверхні з великою точністю. Профілометрія застосовує хвильові властивості світла для порівняння оптичної різниці шляху між тестовою та еталонною поверхнею. Світло проходить через ділильну призму, частина пучка попадає на зразок, шорсткість якого вимірюється, а інша – на опорне дзеркало (рис.11.14). Коли відстань від ділильної призми до дзеркала така ж, як від

випробувальної поверхні, і промені, відбиті від цих поверхонь, зустрічаються та інтерферують, то виникають конструктивні та руйнівні переходи – світлі та темні смуги, відомі як інтерференційні смуги.

Якщо довжина хвилі відома, можна розрахувати різницю висот поверхні в частках хвилі. З цих відмінностей у висоті виходить вимір поверхні – своєрідна тривимірна карта поверхні.

Особливостями такої методики є:

- метрологія поверхні орієнтована на чистоту поверхні ліна та дзеркал, шорсткість, коефіцієнт кривизни та іноді текстуру поверхні;
- оптичний профілометр вимірює шорсткість поверхні з точністю до нанометрів (10^{-9} мм) та мікродюймів – набагато нижче за рівень виявлення людським оком або тактильних відчуттів;
- можливість аналізу даних верхньої поверхні та товщини півки забезпечують точне вимірювання різних поверхонь у багатоплощових процесах, а також аналіз топографії поверхні підкладки.

Фазозсувні інтерферометри (PSI) всюди застосовують для аналізу рельєфу поверхонь без різких перепадів по висоті з роздільною здатністю до 1 нм. Метод передбачає використання монохроматичного світла. PSI був розроблений для вимірювання висоти поверхні дуже гладких і безперервних поверхонь із субангстремною роздільною здатністю для всіх числових апертур. Для вимірювання великих полів зору з однаковою роздільною здатністю по висоті можна використовувати дуже низькі збільшення (2,5 X).

Цей метод дозволяє отримати великі кути огляду з нанометровим системним шумом (0,01 нм) незалежно від об'єкта, вимірювання товщини від 1,5 мкм до 100 мкм.

VSI інтерферометри

(використовують біле світло) похибка і роздільна здатність вимірювань значно нижча, ніж у фазозсувних інтерферометрів. Методика ґрунтується на фіксації інтерференційних картин у білому світлі в процесі

руху зразка по вертикалі.

Когерентна скануюча інтерферометрія (CSI) використовує когерентність для розширення спектра можливостей інтерференційної мікроскопії. У своїй простій формі CSI забезпечує менш точні виміри, ніж PSI, але може використовуватися на нерівних поверхнях. CSI використовує біле світло для сканування висоти гладких або помірно шорстких поверхонь, досягаючи роздільної здатності 1 нм за висотою при будь-якому збільшенні [88].

Розширена фазова інтерферометрія (EPSI) поєднує дві інтерферометричні технології CSI та PSI, доповнюючи одна одну, вони нівеликують недоліки кожної, досягають 0,1 нм вимірювального шуму в більшому діапазоні кількох сотень мікрон.

Технологія варіації фокусу (Active Illumination Focus Variation) (рис.11.15) використовує переваги обмеженої глибини фокусування на зображеннях зі світлим полем, де у фокусі лише певний z-діапазон зразка. Це значення змінюється залежно від числової апертури об'єктива або довжини хвилі джерела світла.

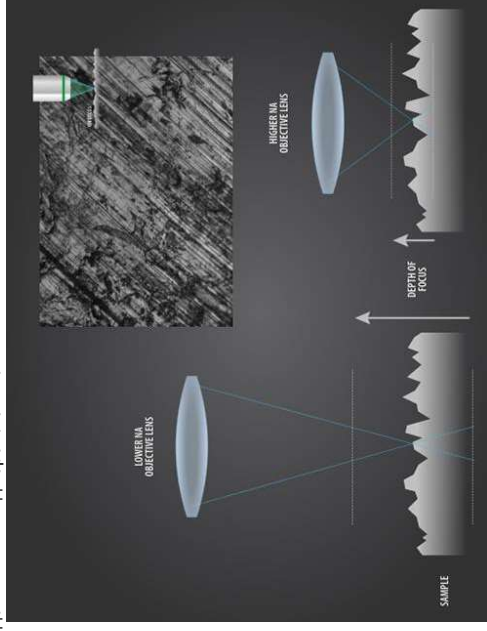


Рис.11.15 Принцип варіації фокусу [90].