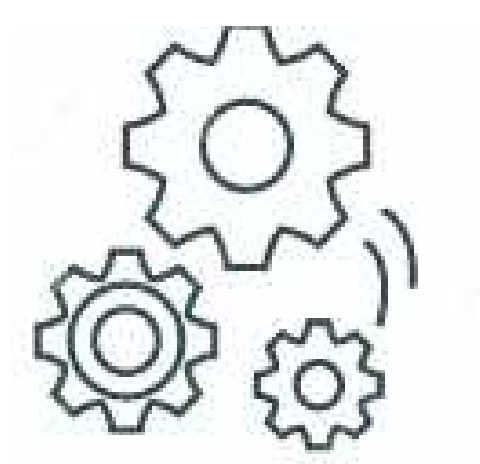


М. Є. Тараненко, С. І. Нестеренко, Т. Б. Богачьова

**ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
АВТОМОБІЛІВ І ДВИГУНІВ**



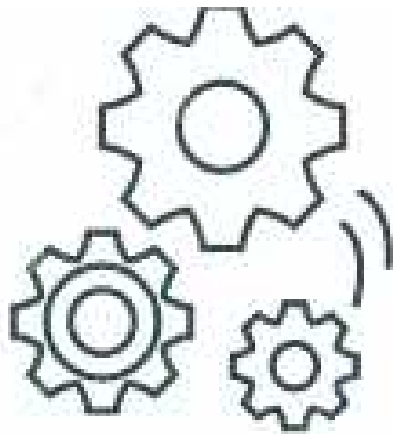
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

М. Є. Тараненко, С. І. Нестеренко, Т. Б. Богачьова

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АВТОМОБІЛІВ І ДВИГУНІВ

Навчальний посібник



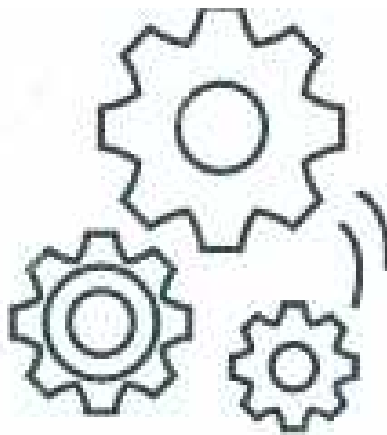
Харків «ХАІ» 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

М. Є. Тараненко, С. І. Нестеренко, Т. Б. Богачьова

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АВТОМОБІЛІВ І ДВИГУНІВ

Навчальний посібник



Харків «ХАІ» 2023

УДК 629.331.002(075.8)
Т19

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. В. В. Драгобецький,
канд. техн. наук, доц. Е. С. Клімов

Тараненко, М. Є.

Т19 Основи технології виробництва автомобілів і двигунів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / М. Є. Тараненко, С. І. Нестеренко, Т. Б. Богачьова. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023. – 178 с.

Розглянуто основні питання технологічної підготовки виробництва автомобілів та їх складових частин. Наведено відомості про технологію виготовлення автомобільних деталей і складання з них автомобілів. Описано методи оцінювання продуктивності праці при виробництві автомобільних деталей.

Для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю «Автомобільний транспорт».

Іл. 82. Табл. 20. Бібліогр.: 13 назв

УДК 629.331.002(075.8)

© Тараненко М. Є., Нестеренко С. І.,
Богачьова Т. Б., 2023

© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2023

ВСТУП

Технологія як область трудової діяльності людини виникла понад 100000 років тому, від початку використання кам'яних знарядь – скребків, загострених кусків каменю, їх кріплень до дерев'яних палиць. Ці знаряддя використовувалися для оброблення шкіри звірів, землі та інших дій, спрямованих на одержання предметів споживання. Значно пізніше, багато в чому випадково, людина почала плавити куски кам'яної породи й виливати з розплаву знаряддя більш складної форми. Тоді-то й виник процес лиття знарядь. Цей період можна називати кам'яним віком. Пізні майстри-ливарники звернули увагу на те, що знаряддя, вилиті з певного виду породи, виходять краще, міцніше, гостріше, надійніше. Вони стали вибирати відповідну породу (руду) і виготовляти з неї бронзові вироби. Настав період бронзового століття, і далі процес освоєння людиною природи пішов прискореними темпами в усе більш широким масштабах. Виникла сфера діяльності населення – виготовлення знарядь споживання людиною. Цей момент можна вважати зародженням технології виробництва. Прийнято формулювати, що технологія виробництва – це безперервна цілеспрямована послідовність процесів перетворення предметів природи в предмети споживання. Виробництво може бути різним – машин, літаків, кораблів, приладів тощо, тому розрізняють технологію машинобудування, автомобілебудування, приладобудування тощо.

Згідно з сучасною концепцією розвитку суспільства джерелом його розвитку є внутрішні суперечності, у цьому випадку матеріальні й соціальні.

Головною матеріальною технологічною суперечністю є суперечність між вихідним продуктом природи й предметами споживання (другої природи), що задовольняють потреби сучасної людини. Наші предки знімали цю суперечність достатньо просто – обтесавши камінь або зрубавши дерево. Щоб виготовити сучасний складний виріб (автомобіль, літак, комп'ютер), необхідно реалізувати десятки окремих перетворень предметів природи. При цьому використовується величезна кількість енергії, забруднюється навколишнє середовище, інтенсивно використовуються природні ресурси. Подолання цієї суперечності на сучасному етапі відбувається в напрямку більш глибоких перетворень на основі використання нових фізико-хімічних і технологічних ефектів.

Головною соціальною технологічною суперечністю є суперечність між потребою в предметі з комплексом властивостей, яких не існує в природі, і необхідністю витрат для його створення. Витрати живої праці – це витрати життєвих ресурсів людини, які вона не завжди бажає витрачати на участь у технологічних перетвореннях, тим більше використовувати власну фізичну працю. Ця суперечність привела до поділу праці на розумову й фізичну, промислову й селянську, управлінську й виконавчу. Із цих суперечностей розвилася класове суспільство.

Сучасна технологічна наука являє собою динамічну систему знань про перетворення одних об'єктів на інші, які мають більш високу якість, або інакше, здатність задовольняти якістю, усе більш високим вимогам людини. Умовно цю науку можна поділити на області застосування: технології різних галузей машинобудування, інформаційні технології, біологічні й медичні технології тощо, у яких можна продовжувати членування. Усі ці області технології взаємодіють одна з одною, обмінюються інформацією й досягненнями.

З огляду на сучасне уявлення про розвиток суспільства можна казати про технологічні хвилі розвитку різних країн у різні періоди часу. Зараз провідні розвинені країни широко використовують досягнення шостої технологічної хвилі, але багато країн перебувають у стані четвертої і п'ятої хвилі.

Повертаючись до технології машинобудування, слід розуміти, що перетворення продуктів природи в продукти споживання виробництва виявляються в досить строгій послідовності (рисунок В.1).

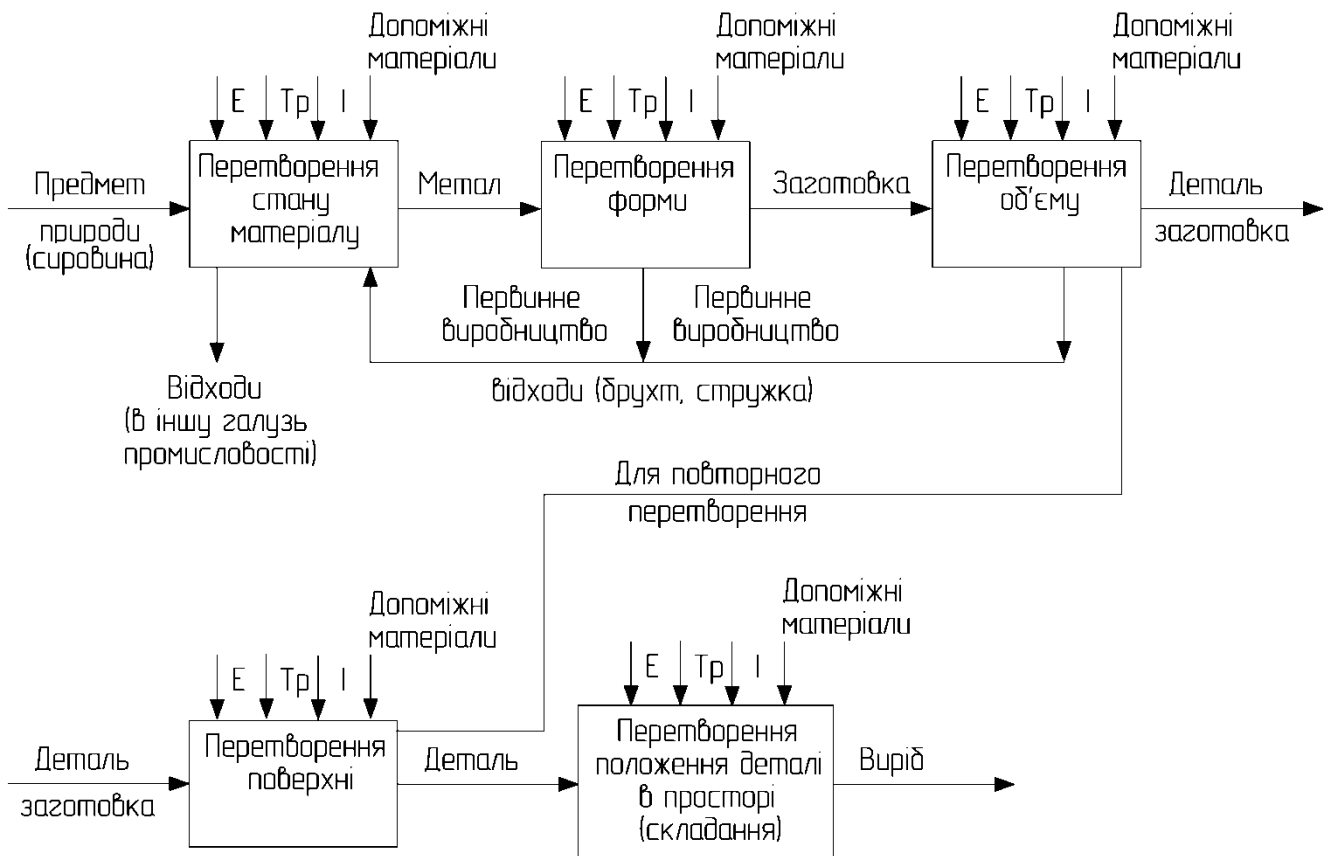


Рисунок В.1 – Основна схема технологічних перетворень у машинобудуванні

Така послідовність перетворень обумовлена техніко-економічними міркуваннями і є характерною для всього світового машинобудування. Ко-

жне із цих перетворень може реалізовуватися в декількох варіантах. Наприклад, процеси перетворення форми можна об'єднати в такі групи процесів: лиття, деформування, зварювання, синтез з вихідних матеріалів і поділ напівфабрикатів.

Своєю чергою, кожна із цих груп процесів може складатися з декількох підгруп. Наприклад, для лиття можна виокремити до 6–8 підгруп, для процесів листового деформування – 4–6 підгруп, процеси об'ємного штампування поділяються на 5–6 підгруп і т. д. Кожний процес у підгрупі відрізняється від інших своїми показниками якості процесів, традиціями використання та іншими особливостями.

Слід брати до уваги, що кожному процесу з підгрупи відповідає ще кілька допоміжних процесів, які сприяють його раціональному застосуванню. Так, для процесів лиття необхідною є організація процесів:

- виготовлення моделей;
- приготування формувальних сумішей;
- виготовлення форм і стрижнів;
- підготовка шихтових матеріалів;
- зачищення отриманих виливків;
- термооброблення виливків;
- контроль якості продукції;
- ремонт і відновлення браку (якщо необхідно).

Наведена далеко не повна інформація свідчить про складну систему виробництва машинобудівної продукції.

У цьому курсі буде розглянуто тільки загальні питання всього ланцюжка технологічних перетворень, що застосовуються при виробництві автомобілів, а також приділено увагу основним фізичним, хімічним та іншим ефектам, що сприяють одержанню якісної продукції з мінімальними технологічними втратами праці.

1 ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОРМИ ЗАГОТОВКИ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

Технологічні процеси перетворення форми заготовок можна умовно поділити на кілька груп:

- деформування;
- лиття;
- зварювання;
- поділ напівфабрикатів;
- синтез форми з вихідних матеріалів (3D-технології).

Кожну із цих груп можна подати початковими підгрупами процесів, що різняться своїми технологічними можливостями за якістю продукції, яка отримується для різних матеріалів заготовок, за техніко-економічними й екологічними показниками.

Вибираючи той або інший процес перетворення форми, насамперед орієнтуються на форму конкретної деталі та її макроструктуру, задану механічними умовами. Вибір цього критерію набору обумовлений тим, що практично кожним із техпроцесів (технологічних процесів) з перелічених груп можна одержати потрібну форму деталі.

Технологічні рекомендації й показники якості відповідних техпроцесів наведено в довідковій літературі.

1.1 Гаряче й холодне об'ємне деформування металів

На автомобілебудівні заводи метал надходить у вигляді прутків, плит, листів і труб, що піддаються подальшому перетворенню форми, що все більше наближає їх до форми готової деталі. До таких процесів належать об'ємне й листове штампування, кування та процеси формотворення трубчастих заготовок.

За ступенем термічного впливу можна виділити два види обробки металів тиском (ОМТ) :

1. **Гаряча обробка** при температурі вище порога рекристалізації. Нагрівання необхідне для зниження потрібних зусиль деформування й поліпшення пластичних властивостей. Недоліками є підвищені витрати енергії на нагрівання, ускладнення виробництва й погіршення якості поверхні деталей через окиснення або вигоряння легувальних елементів.

2. **Холодна обробка.** Цей вид обробки не має цих недоліків, але при цьому допустимий ступінь формозміни є обмеженим і потребуються більші зусилля або більші витрати енергії для одержання певного ступеня формозміни.

Завдання технологів полягає в правильному виборі виду обробки з урахуванням геометрії заготовки й деталі, матеріалу, умов виробництва, обсягів випуску деталей та ін. Деякою альтернативою може бути така послідовність виготовлення деталей: штампування в холодному стані; термо-

оброблення, що знижує або усуває наклеп; штампування в холодному стані до допустимого ступеня формозміни тощо, причому ці операції багаторазово повторюються. Ця схема зрідка використовується в одиничному виробництві при виготовленні листових деталей.

Нагрівання заготовок для гарячої обробки тиском. Показником, який характеризує здатність матеріалу зазнавати оброблення тиском, є ковкість – комбінація високої пластичності з низьким опором деформуванню.

Ковкість сталі безупинно збільшується в інтервалі температур 50...1300 °С залежно від умісту вуглецю. Нагрівання до зони встановлених температур знижує опір деформуванню приблизно в 10–15 разів порівняно з холодним станом. При ОМТ необхідно дотримуватись певного температурного інтервалу, що відповідає виду й хімічному складу сплаву.

Інтервал кувальних температур вуглецевої сталі – 900...1300 °С. Температурний інтервал оброблення тиском легованих сталей трохи звужений з невеликим зниженням граничних температур оброблення.

Інтервали температур нагрівання матеріалів при ОМТ:

Мідь	Латунь	Бронза	Алюмінієві сплави	Магнієві сплави
700...900 °С	600...760 °С	750...900 °С	380...470 °С	350...430 °С

Термічний режим нагрівання має забезпечити:

- одержання необхідної температури заготовки під час рівномірного прогрівання її по перерізу й довжині;
- збереження цілісності заготовки;
- мінімальне зневуглецевлення поверхневого шару;
- мінімальний відхід металу в окалину (вигар).

Контроль температури проводиться шляхом вимірювання температури печі або безпосередньо металу, що досить складно. **Методи контролю:** пірометрами, у т. ч. спектральними; термopарами (найбільш часто використовується хромель-алюмель); непрямі методи.

Методи нагрівання заготовок для ОМТ: грубий (у печах, нагрівальних колодязях або в розплавлених солях); електроконтактний; електролітичний; високочастотний (індукційний); електронно-променеве нагрівання в печах з контрольованою атмосферою.

Ці методи відрізняються один від одного швидкостями нагрівання, масою деталей, що нагріваються, ступенем окиснення поверхні, вартістю устаткування й витратами енергії на нагрівання одиниці маси деталі на 1 °С, а також іншими показниками (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння способів нагрівання

Метод нагрівання	Вартість 1 кВт установленної потужності, ум. од.	Витрата енергії на нагрівання 1 кг сталі, кВт/год	Швидкість нагрівання, град/с	Область кращого застосування
Грубний	20...35	Палива 6...12 % від маси деталі	До 1,0	Об'ємні й корпусні деталі зі сталі, алюмінію та сплавів міді великих розмірів
Електро-контактний	57	0,3...0,4	До 100	Відносно довгі прутки різного перерізу
Електролітичний	45		10...50 (до 200)	Висадження прутків до \varnothing 60 мм, листові деталі, локальні ділянки
Індукційний	150	0,5...4,0	100...250	Прутки \varnothing 15...50 мм, дрібні деталі
Електронно-променеве нагрівання в печах з контрольованою атмосферою	250...700	0,2...5,0	10...100	Al-, Ti-, Mg-, Ta-сплави. Об'ємні й листові деталі

Великі заготовки нагріваються в рекуперативних нагрівальних колодязях, полум'яних або електричних печах. Заготовки середніх і дрібних розмірів піддаються нагріванню іншими названими способами, що забезпечують менший вигар.

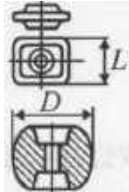
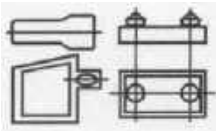
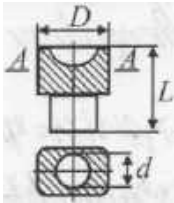
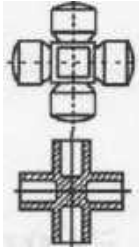
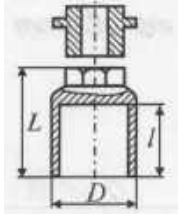
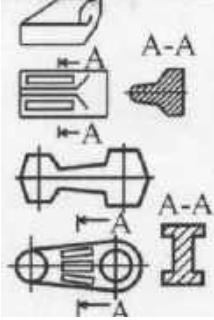

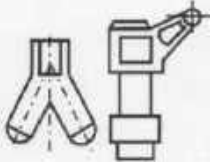
Способи деформування. У конструкціях сучасних автомобілів широко використовуються об'ємні деталі – різного роду корпусні деталі, фланці, втулки, маточини, важелі й валки (таблиця 1.2).

Ці деталі виготовляються в такій послідовності: різання довгомірних прутків, труб або плит великого розміру на мірні заготовки (іноді використовуються спеціальні виливки); нагрівання для гарячого штампування; штампування в гарячому або холодному стані.

У сучасному автомобільному виробництві застосовуються три види технологічних процесів об'ємної формозміни: вільне кування, гаряче й холодне об'ємне штампування.

Вільним куванням називають технологічний процес гарячої ОМТ, який здійснюється за допомогою удару або натискання бійка, найчастіше місцевого.

Таблиця 1.2 – Номенклатура гарячештамованих заготовок автомобільних деталей

Група	Типові деталі	Ескіз деталі	Група	Типові деталі	Ескіз деталі
Тіла обертання з короткою віссю	Фланці, кільця, шестерні, обойми, бобишки		Плоскі заготовки з бобишками	Накладки, рулі повороту, важелі, кронштейни	
Тіла обертання з тяжкою віссю	Вали, шестерні, болти		Заготовки арматури з відростками й порожнинами	Хрестовини, фітинги, трійники, корпусні деталі, перехідники	
Тіла обертання типу стакана	Фланці, втулки, стакани, циліндри		Заготовки складної конфігурації з оребренням	Стикові фітинги, важелі, качалки, траверси	
Тіла обертання	Крильчатки		Масивні заготовки вузлів	Вилки, корпуси, циліндри, шасі	

При цьому деформування металу відбувається в напрямку найменшого опору й не обмежується поверхнями інструмента. Комбінуючи послідовні удари (натискання) і кантування (поворот) заготовки, одержують деталь відповідної форми.

Заготовки – злитки (масою до 500 т), мірні заготовки з металопродукту, переріз яких має вигляд круга, квадрата або прямокутника.

Шляхом вільного кування одночасно вирішують два завдання: видалення зі зливка дефектних частин у вигляді неметалічних включень, пор,

раковин, тріщин і крихкостей, тобто поліпшення макро- й мікроструктури металу, і надання заготовці необхідної форми. Під час вільного кування намагаються обходитися мінімумом універсального інструмента (бойків), що є характерним для індивідуального й дрібносерійного виробництва.

Операціями вільного кування є осадка, витяжка (протягування), гнуття, закручування, рубання, прошивка, ковальське зварювання. Схеми операцій показано на рисунку 1.1.

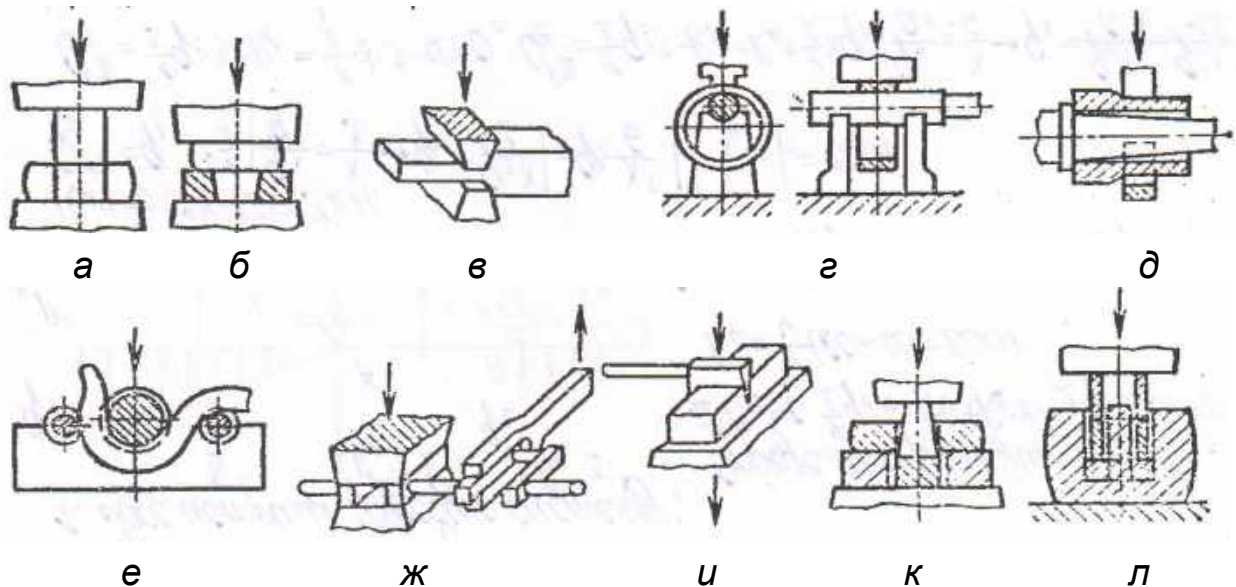


Рисунок 1.1 – Схеми операцій вільного кування: а – осадка; б – висадка; в – витяжка; г – розкочування кілець; д – витяжка трубної заготовки; е – гнуття; ж – закручування; и – рубання; к – вирубування; л – прошивка

Осадка – операція, при якій розміри поперечного перерізу заготовки збільшуються внаслідок зменшення її висоти (різновидом є висадка – збільшення поперечного перерізу частини заготовки) (рисунок 1.1, а, б);

Витяжка (протягування) – операція збільшення довжини заготовки внаслідок зменшення її поперечного перерізу. Це послідовні обтиснення заготовки поперек її осі з кантуванням навколо осі або подачею вздовж осі після кожного обтиснення (рисунок 1.1, в–д).

Довжина ділянки, що обтискається, визначається величиною подачі заготовки. При протягуванні на плоских бойках заготовку прямокутного перерізу кантують звичайно на 90° . Ці послідовні обтиснення із проміжним кантуванням називають переходом витяжки. При комбінації витяжки й осадки подрібнюється зерно й поліпшується мікроструктура злитків.

Гнуття – надання заготовці вигнутої за заданим контуром форми (рисунок 1.1, е).

Закручування – операція повороту однієї частини заготовки відносно іншої (рисунок 1.1, ж).

Рубання – поділ заготовки на частини (рисунок 1.1, и).

Обрізання – відділення по зовнішньому контуру.

Вирубуння – відділення по внутрішньому контуру (рисунок 1.1, к).

Прошивка – операція одержання отвору (глухого або наскрізного) у заготовці (рисунок 1.1, л).

Ковальське зварювання – з'єднання двох частин заготовки.

Вільним куванням виготовляють поковки масою від сотень грамів до 200...500 т відносно простої геометричної форми.

Операції вільного кування виконують на пневматичних, пароповітряних молотах з масою робочих частин 50...25 т. Важке кування виконують на гідравлічних кувальних пресах з зусиллям до 150 кН. Ці операції застосовуються для зниження швидкості деформування.

Переваги вільного кування: простота інструмента й устаткування; малі терміни й витрати на ТПВ (технологічну підготовку виробництва).

Недоліки вільного кування: невисока точність одержуваних деталей (поковок), необхідність у великих припусках й напусках; низька продуктивність; необхідність високої кваліфікації робітників.

Вільне кування застосовується для формозмінення малих партій деталей в індивідуальному й дрібносерійному виробництві.

При збільшенні партій деталей, що випускаються економічно, доцільним стає використання **гарячого об'ємного штампування**, при якому формотворення металу проводиться в гарячому стані за допомогою спеціального інструмента – штампа, порожнини якого відповідають формі деталі. При цьому заготовка навантажується по всій поверхні. Такі порожнини – струмки – розташовуються в штампі, який складається із двох і більше частин. Заготовку, яка обробляється, установлюють у струмок при розімкненому штампі, а потім за допомогою відповідної машини (молота або преса) частини штампа змикають (рисунок 1.2).

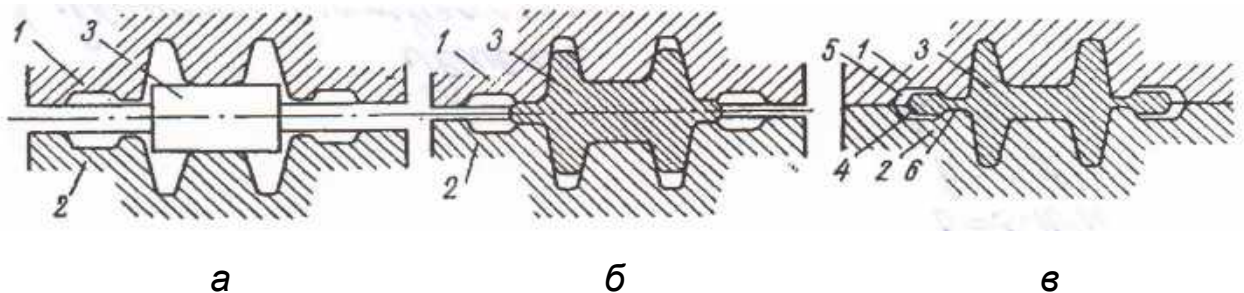


Рисунок 1.2 – Схема заповнення струмків штампа при гарячому об'ємному штампуванні: а – початкове положення; б – проміжне положення; в – положення зімкнутого штампа (1, 2 – верхній і нижній штампи; 3 – заготовка; 4 – облой; 5 – облойна канавка; 6 – місток)

При цьому метал заготовки деформується й заповнює струмки. Під час подальшого розмикання штампа відштамповку витягають із нього.

Для створення потрібного для деформування тиску й заповнення металом усіх порожнин штампа, а також для забезпечення можливості виті-

кання зайвого металу й повного змикання верхнього й нижнього штампів навколо струмків виготовляють так звану облойну канавку 5, яка має ділянку з відносно малим прохідним перерізом – місток 6, а також накопичувальну частину – магазин.

При такому штампуванні використовуються відкриті або закриті штампи, що різняться постійністю або непостійністю зазору між двома частинами інструмента.

Порожнини штампа повинні мати штампувальні ухили $3^\circ \dots 10^\circ$ і штампувальні радіуси (закруглення гострих кутів) $1,0 \dots 6,0$ мм для спрощення виймання деталі зі штампа, а також підвищення його міцності й надійності.

Переваги гарячого об'ємного штампування порівняно з вільним куванням: відносно висока точність деталей; висока продуктивність; мінімальні припуски й напуски; можливість використання праці робітників менш високої кваліфікації. Недоліки: більші терміни й витрати на ТПВ, пов'язані з необхідністю виготовлення штампів для кожної деталі; необхідність більш високої енергооснащеності устаткування, обумовлена тим, що зусилля прикладається по всій поверхні деталі.

Штампуванням виготовляють деталі масою від декількох сотень грамів до 1000 кг.

Штампування здійснюється на повітряних і пароповітряних молотах, у тому числі подвійної дії. Маса їх падаючих частин – $0,63 \dots 25,00$ т. Енергія удару – $16 \dots 630$ кДж. Для гарячого об'ємного штампування також використовуються фрикційні штампувальні молоти, механічні кувально-штампувальні преси, гідравлічні штампувальні преси (із зусиллям до 750 МН), горизонтально-кувальні машини (ГКМ).

Об'єм заготовок для об'ємного гарячого штампування й вільного кування визначається такою залежністю:

$$V_{заг} = V_{дет} + V_{прин} + V_{нан} + V_{виг},$$

де $V_{дет}$ – об'єм деталі; $V_{прин}$ – додатковий об'єм металу на бік деталі, необхідний для виконання подальших операцій механічної обробки (зняття припусків); $V_{нан}$ – додатковий об'єм металу, необхідний для спрощення конфігурації кування або знімання деталі з інструмента (ухили, радіуси, перемички-напуски); $V_{виг}$ – об'єм вигару – об'єм металу, що окислився, і металу, що втрачається при нагріванні.

Гаряче об'ємне штампування при дуже істотних перевагах має ще кілька серйозних недоліків: велика витрата енергії на нагрівання деталей; вигоряння легувальних елементів з поверхневих шарів відштампованої деталі; мала чистота поверхні деталі.

Тому для формотворення невеликих за розмірами деталей застосовується **холодне об'ємне штампування (ХОШ)**, аналогічне гарячому об'ємному штампуванню, але без нагрівання заготовки, у холодному стані. Після ХОШ хімічний склад поверхневих шарів є ідентичним хімічному

складу всієї деталі, шорсткість поверхні набуває значень $Ra = 1,25 \dots 2,5$ мкм, точність розмірів деталі відповідає точності виготовлення штампа. Особливо ефективним є застосування ХОШ при масовому виробництві деталей, коли одержують деталі складної просторової форми з високою чистотою оброблення, а також з підвищеною міцністю, твердістю або ударною в'язкістю (інструменти, кріпильні нормалі, деталі приладів тощо).

В автомобілебудуванні за допомогою ХОШ виготовляють деталі керування, наконечники тяг, кріпильні деталі, арматури трубопроводів, алюмінієві монолітні панелі, лонжерони тощо.

Основними операціями ХОШ є осадка, об'ємне формування, калібрування, висадка, холодне видавлювання, карбування, таврування.

Видавлювання – операція одержання порожнистих деталей (рисунок 1.3).

Залежно від напрямку дії сил і плину металу розрізняють пряме, зворотне й комбіноване видавлювання. Останнім часом цей процес використовують для одержання прес-форм, які застосовуються для формотворення деяких деталей із пластмас.

Холодна висадка – операція зі збільшення поперечного перерізу частини заготовки. Для висадки використовують калібрований матеріал переважно круглого перерізу таких марок: сталі 0,8...45, 20Х, 40Х, 30ХГСА, ШХ9, ШХ15, 1Х18Н9Т, У10А; дюралюміній Д1 й Д16; латунь ЛС59, Л62, Л68; мідь тощо.

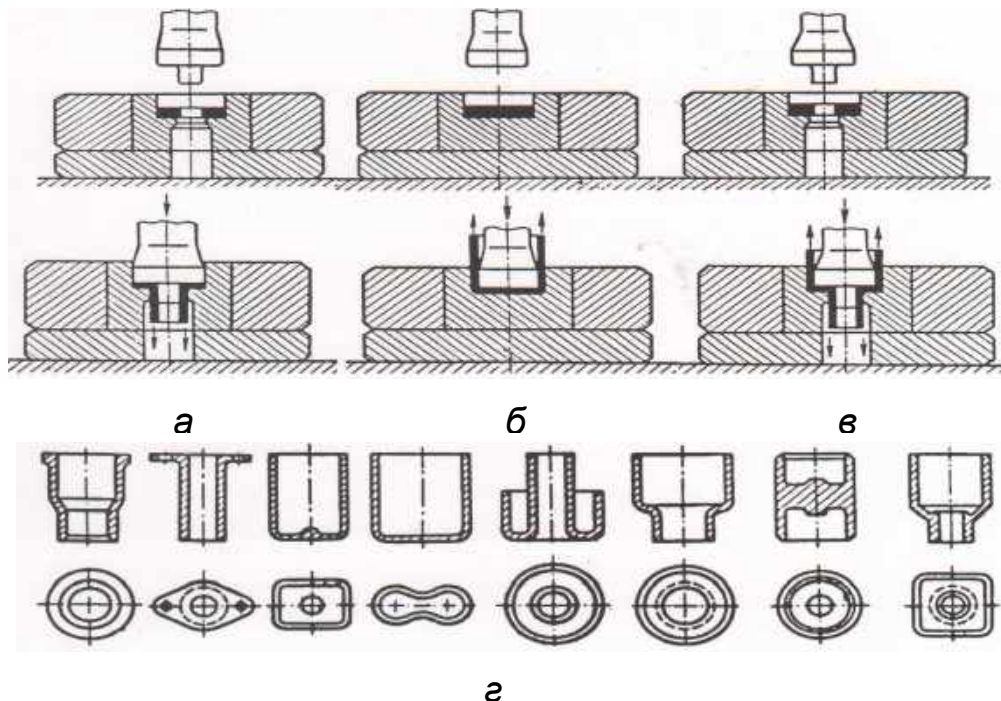


Рисунок 1.3 – Схеми холодного видавлювання: а – пряме; б – зворотне; в – комбіноване (г – форми перерізу деталей)

Висадку здійснюють на холодновисаджувальних пресах-автоматах і в штампах на звичайних кривошипних пресах.

Залежно від геометрії (висадка головки, внутрішньої порожнини й т. ін.) висадку здійснюють за один, два, три й більше переходів. Іноді разом з висадкою виконують й інші операції: висадку фасок, редукування, обрізання тощо. Схему висадки головки заклепки й гвинта показано на рисунку 1.4.

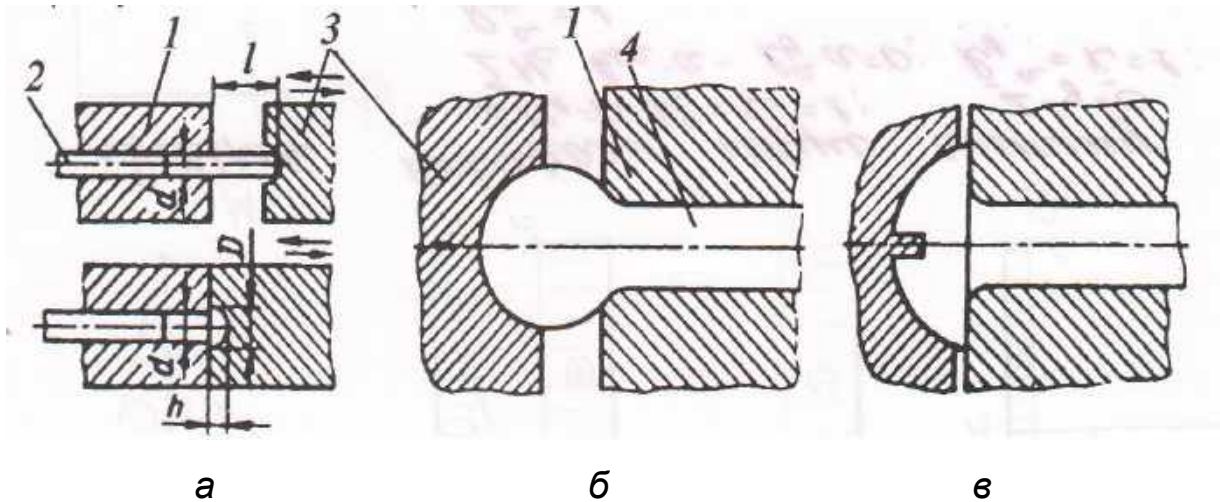


Рисунок 1.4 – Схема висадки: а – за один перехід (один удар); б, в – за два переходи (1 – матриця; 2 – упор; 3 – пуансон; 4 – заготовка)

Заготовка мірної довжини встановлюється по упору в матриці, на виступну частину заготовки діє пуансон, що має форму, наприклад, головки заклепки. При змиканні пуансона й матриці утворюється задана форма деталі.

Останнім часом більшість металовиробів (сполучних деталей) виготовляється методом намотування між двома плоскими плашками поверхні, що сполучаються і мають відповідну форму.

Штампи для ХОШ звичайно виготовляють із пристроєм для знімання готової деталі й швидкознімними робочими частинами (матрицею й пуансоном) через їх малу стійкість. Середня стійкість висаджувальних штамів для сталевих деталей становить 3000–5000 шт.

Для штампування в холодному стані використовують ексцентрикові й кривошипні преси підвищеної твердості. Це необхідно для спрощення оснащення й збільшення його стійкості. При виробництві болтів, гайок, гвинтів та інших металовиробів застосовують висаджувальні автомати із продуктивністю десятки тисяч деталей на годину.

1.2 Листові заготовки

Листове штампування – це спосіб формозміни, при якому заготовка є листовою (завтовшки менше 4 мм).

В автомобілебудуванні технологічні процеси листового штампування дуже широко застосовуються й мають тенденцію до ще більш широкого використання.

Усі технологічні процеси листового штампування можна поділити на дві групи:

- роз'єднувальні, що характеризуються відокремленням однієї частини заготовки від іншої шляхом руйнування металу по заданій межі (вирубка, пробивання, зачищення, просікання тощо);

- формозмінювальні, що характеризуються тим, що із плоскої заготовки виходять деталі просторової форми, причому це відбувається без руйнування металу й втрати ним стійкості форми (гнуття, витяжка, формування, відбортовка, обтиснення й роздача трубчастих заготовок тощо).

Заготовки при цьому можуть бути плоскими або трубчастими. Операції листового штампування виконуються як у твердих інструментальних штампах (оснащенні), що мають два формозадавальних елементи (пуансон й матрицю) або більше, так і в більш простому оснащенні, у якому один з елементів замінено еластичним або рідким середовищем (гумою, поліуретаном, водою) або електромагнітним полем. Кожний із цих способів (відповідно до оснащення) має свої переваги й недоліки.

Ці процеси різняться технологічними можливостями, характеристиками яких є:

- розміри заготовок і деталей, їх товщина, що визначає потрібні для деформування зусилля або енергію, а також необхідне устаткування;

- розподіл стоншень уздовж поверхні деталей, що визначає їх несну здатність.

Обмеженням технологічних можливостей є втрата стійкості:

- пластичного плину (розриви заготовок або надмірне стоншення);

- формотворення складок або гофрів (під час стиснення).

До *роз'єднувальних процесів* належать різання листового матеріалу на гільйотинних, вібраційних, дискових та інших типах ножиць, вирубка й пробивання в інструментальних штампах. Схему процесу зображено на рисунку 1.5.

Листовий метал 3, що розрізається, поміщають між двома різальними кромками, які належать або ножам 1, 2, або пуансону й матриці.

При натисканні верхньої різальної кромки лист вигинається, у контактних зонах утворюються тріщини, і при подальшому переміщенні метал руйнується в цих місцях. Зона металу, розташована на нижньому ножі, притискається до нього притискачем 4. Для поліпшення умов руйнування

між ножами передбачено зазор Δ , який залежить від товщини металу, що розрізається, його пластичних властивостей і необхідної якості різання.

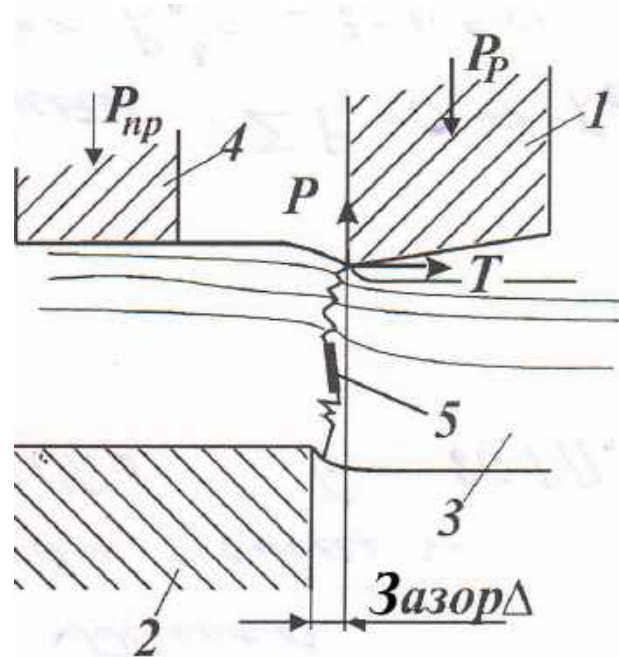


Рисунок 1.5 – Схема різання листового металу твердим інструментом:

- 1, 2 – верхній і нижній ножі; 3 – заготовка; 4 – притискач;
- 5 – тріщина; P – зусилля різання; T – сила бокового розпирання;
- $P_{пр}$ – зусилля притискування; $P_{р}$ – зусилля переміщення ножа

Якщо межу кромek ножів виконати замкненою в плані, то відбуваються вирубка деталі й пробивання отвору. Операції вирубкi й пробивання виконують у спеціальних вирубних штампах, що встановлюються на ексцентрикових, кривошипних або гiдрравлiчних пресах.

При схемі процесу, показаної на рисунку 1.5, для кожної деталі необхідно виготовляти два формозадавальних інструменти – пуансон і матрицю.

Через це процес стає дорожчим й подовжуються терміни ТПВ, але при цьому поліпшується якість одержуваних деталей і підвищується продуктивність процесу. Такі схеми поділу листового металу використовуються в серійному й масовому виробництві. Для індивідуального й дрібносерійного виробництва, а також для різання дуже тонких листів розроблено схеми різання, де як пуансон або матриця використовується еластичне (гума, поліуретан) або рідке (вода) середовище. Такі процеси є менш продуктивними, але на їх підготовку потрібно менше часу, працезатрат і матеріалів.

До *формотвірних* процесів належать (рисунок 1.6):

- **гнуття** – процес змінення кривизни поверхні заготовки;

– **ВИТЯЖКА** (чиста) (рисунок 1.7) – процес одержання просторової форми деталі із плоскої заготовки внаслідок втягування її фланцевих частин у порожнину матриці;

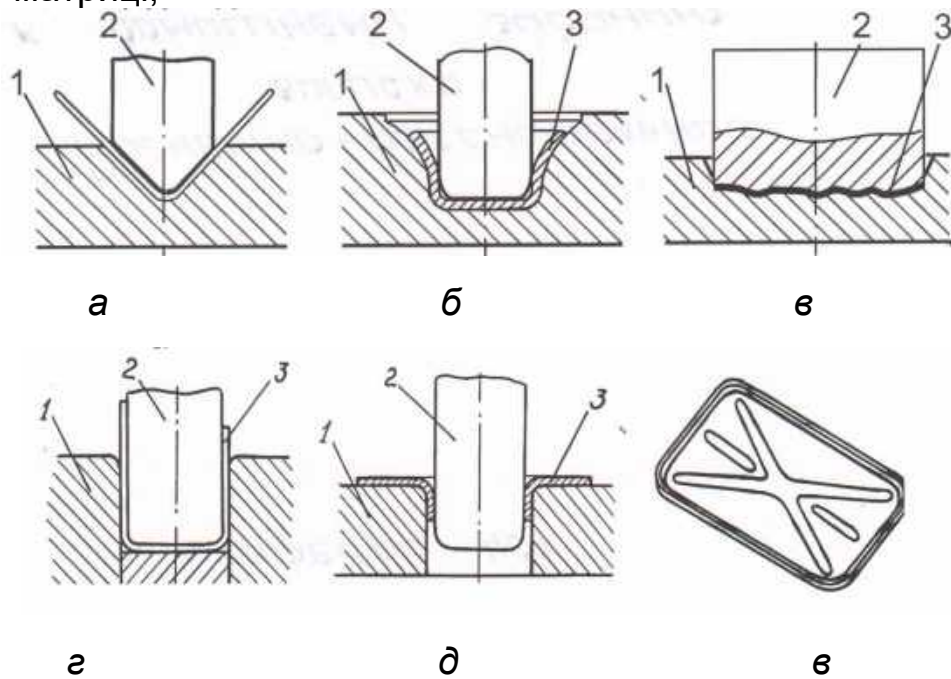


Рисунок 1.6 – Принципові схеми формотвірних процесів: а – однокутове гнуття; б – двокутове гнуття; в – безпритискна витяжка; г – отбортовка; д – формування; е – відформована деталь (1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – заготовка)

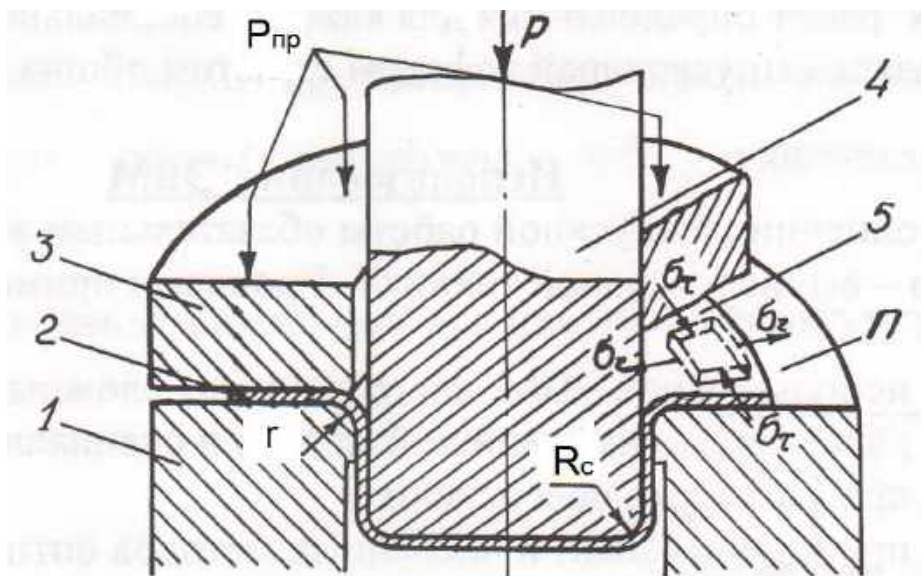


Рисунок 1.7 – Принципова схема витяжки: 1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – притискач; 4 – пуансон; 5 – фланець заготовки; П – протяжна поверхня матриці; r – радіус перетяжного ребра матриці; R_c – радіус скруглення пуансона; P – зусилля витяжки; $P_{пр}$ – зусилля притискання

– **формування** – процес одержання просторової форми деталі із плоскої заготовки внаслідок її розтягання;

– **відтбортовка** – процес одержання борта в зовнішній кромці заготовки або в кромці отвору в ній;

– **обтискання**, роздача і гнуття тонкостінних трубчастих заготовок.

Крім цих процесів, що часто використовуються, для формозміни листових заготовок застосовуються обтягування, розкочування, давильні роботи та інші процеси. Технологічні можливості й особливості інших процесів наведено в довідковій літературі [13]. При цьому основною умовою листового штампування є умова рівності площ деталі й заготовки.

Особливо складно одержувати витяжкою деталі конічної та сферичної форм і без плоского дна. Але в конструкціях більшості сучасних машин та апаратів використовуються саме такі деталі.

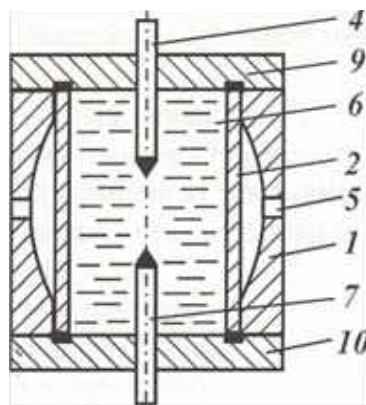
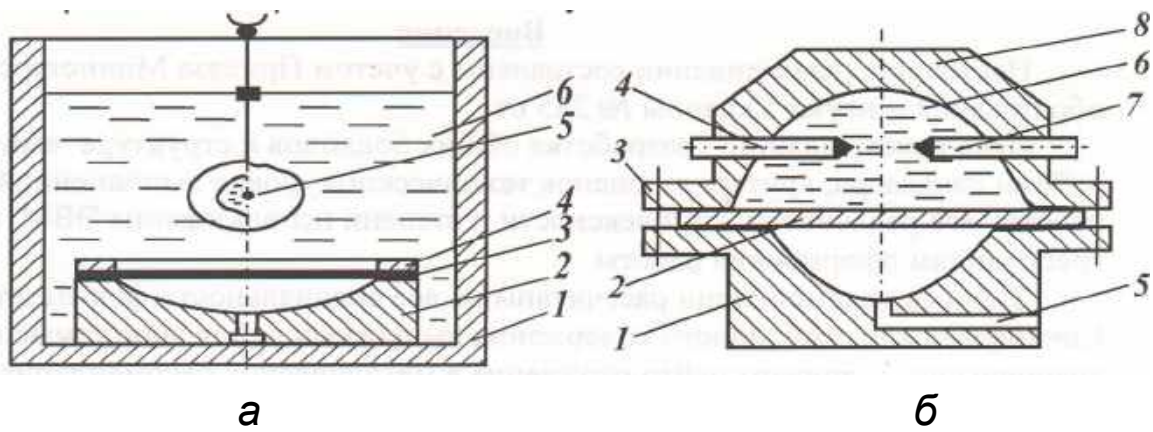
Складність процесу витяжки (див. рисунок 1.7) визначається тим, що фланцева частина заготовки під дією сил, прикладених до її центральної частини, утягується в порожнину матриці.

При цьому кільцеві шари фланця зазнають стиснення в коловому напрямку й розтягання в радіальному напрямку (напруження в якому σ_r й σ_τ показано стрілками). Стискальні колові напруження можуть спричинити складкоутворення на фланцевих частинах заготовки. Для виключення у такої форми втрати стійкості необхідно притискати фланець до протяжної поверхні матриці. А для цього необхідно прикласти додаткове зусилля притискання, що не залежить від формозмінного. Це, своєю чергою, обумовлює необхідність застосування штампів ускладненої конструкції і пресів подвійної кривизни.

Складність і висока вартість виготовлення великої кількості оснащення для штампування деталей таких форм і великих габаритних розмірів обумовили розроблення й застосування методів штампування, при реалізації яких деформувальне зусилля передається заготовці еластичним або рідким (водою) середовищем, а енергоджерелами є бризантні вибухові речовини (БВР), запасена в конденсаторах електрична енергія або горючі гази (метан, пропан). Принципові схеми технологічних пристроїв для реалізації таких процесів зображено на рисунку 1.8.

При штампуванні БВР (рисунок 1.8, а) заготовку 3 поміщають на матрицю 2 і притискають до неї притискачем 4. Порожнину матриці герметизують і вакуумують. Зібране оснащення опускають у басейн 1, заповнений передавальним середовищем 6. Над заготовкою розташовують заряд БВР 5, під час вибуху якого утворюються ударні хвилі, що деформують заготовку за допомогою передавального середовища – води, що відіграє роль пуансона.

Багато в чому схожий процес відбувається при електричному вибуху у воді.



в

Рисунок 1.8 – Схеми високоенергетичних методів штампування:
 а – штампування БВР (1 – басейн; 2 – матриця; 3 – заготовка;
 4 – притискач; 5 – заряд БВР; 6 – передавальне середовище);
 б і в – електрогідравлічне штампування плоских і трубчастих заготовок
 (1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – притискач; 4, 7 – позитивний (ізолю-
 ваний) і масовий електроди; 5 – канал для вакуумування; 6 – переда-
 вальне середовище (вода); 8 – розрядна камера; 9, 10 – кришка)

Процес безпосереднього перетворення електричної енергії на гідродинамічну називають **електрогідравлічним ефектом**, або ефектом Юткина. У пристроях електричний розряд (рисунок 1.8, б, в) здійснюється між двома електродами 4, 7, розташованими із зазорами в передавальному середовищі 6 – воді, що заповнює спеціальну розрядну камеру 8 або порожнину трубчастої заготовки 2. Заготовка при цьому деформується по матриці 1.

Енергія в цьому випадку запасється в генераторах імпульсних струмів (рисунок 1.9, з, д). Принцип роботи генераторів полягає в тому, що електрична енергія при високій напрузі (20...45 кВ) накопичується в батареї конденсаторів С і при замиканні формувального розрядника (ФР) по-

дається на робочий проміжок (РП), на якому відбувається перетворення електричної енергії на механічну.

При магнітно-імпульсному обробленні (штампуванні) запасена в батареї конденсаторів енергія подається на спеціальну котушку – індуктор. Імпульсне електромагнітне поле, що виникає навколо індуктора, індукує в металевій заготовці вихрові струми, при взаємодії яких з полем відбувається відкидання електромагнітними силами заготовки від індуктора.

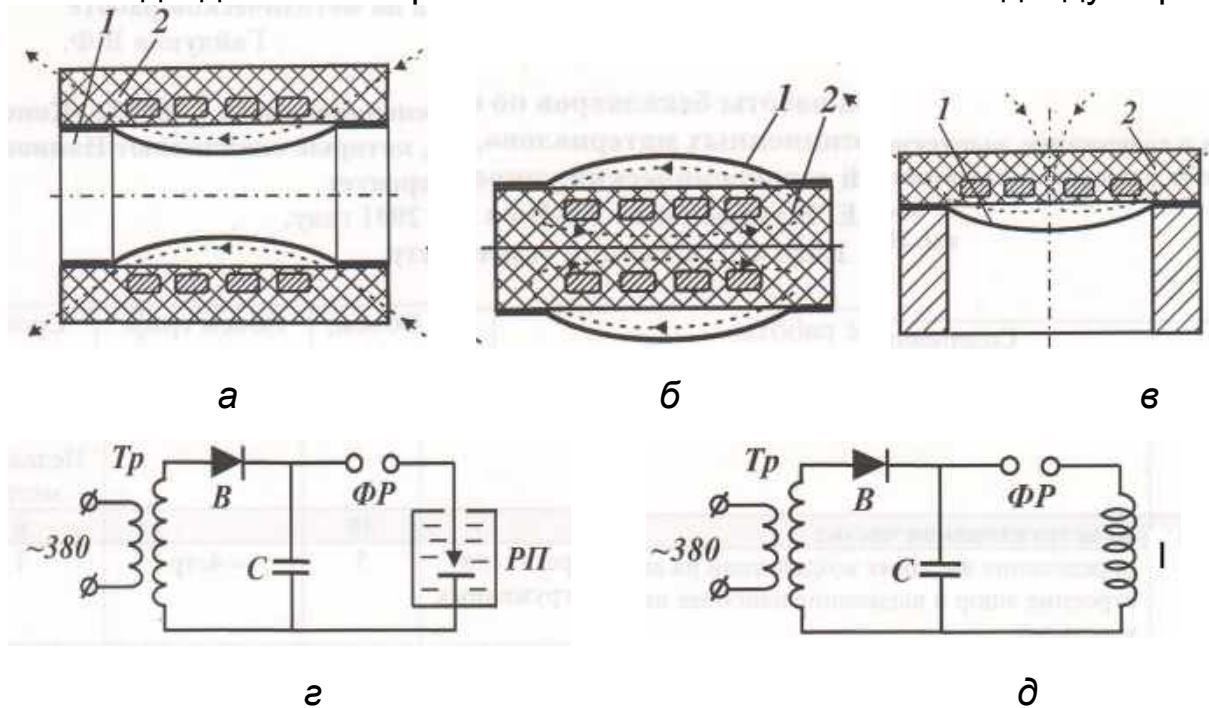


Рисунок 1.9 – Принципові схеми магнітно-імпульсного штампування обтисканням трубної заготовки (а), роздачею трубної (б) і плоскої (в) заготовок: 1 – заготовка, 2 – індуктор (стрілками показано напрямки магнітних силових ліній); схеми генераторів імпульсних струмів для ЕГШ (д) і МІШ (е): Тр – високовольтний трансформатор, В – випрямляч, С – батарея, ФР – формувальний розрядник, РП – робочий проміжок, І – індуктор

Якщо при цьому заготовка знаходиться всередині індуктора, то вона обтискається (схема обтиснення). Якщо індуктор знаходиться всередині заготовки, то вона розширюється (схема роздачі). З використанням спірального плоского індуктора деформують плоскі заготовки. Деформація заготовок обмежується оснащенням – матрицею або оправкою (при обтисненні).

Електрогідравлічне штампування (ЕГШ) використовується для формотворення листових деталей з вуглеродистих і легованих сталей, алюмінієвих, магнієвих і титанових сплавів з габаритними розмірами, що не перевищують 1,5...2,0 м, і завтовшки менше 2 мм. Застосовується в дрібносерійному й серійному виробництві автомобілів, літаків та іншої транспортної техніки, у хімічному й харчовому машинобудуванні. Електрогідравлічний ефект використовується для очищення литих деталей від формуваль-

них сумішей, вибивання стрижнів, зняття залишкових напружень, очищення поверхонь і багато чого іншого. Недоліками ЕГШ є:

- порівняно з обробкою вибухом – знижена енергооснащеність установок, більш висока метало- й наукомісткість устаткування;

- порівняно з магнітно-імпульсною обробкою – використання води як передавального середовища, що погіршує культуру виробництва.

Перевагами ЕГШ є можливість механізації робіт, керованість величини енергії, що виділяється, у просторі й часі.

Передавальним середовищем у магнітно-імпульсних установках є електромагнітне поле, що визначає їх переваги й недоліки. На цих установках добре штампуються метали з високою електропровідністю (алюміній, мідь, срібло тощо), їх можна обробляти у вакуумі. Інші матеріали деформують із використанням спеціальних технологічних прийомів. Такий вид обробки широко застосовується в автомобілебудуванні для штампування й складання деталей.

Формотворення листових деталей за допомогою еластичних середовищ (в основному поліуретану) здійснюють на великих гідравлічних пресах. Характерною рисою такої обробки є можливість використання дуже простого оснащення – формблока, що часто складається з однієї формоздавальної деталі. В автомобілебудуванні штампуванням поліуретаном або гумою виконують відбортовку великої кількості кузовів, їх елементів, стінок, перегородок, формування мембран невеликих діаметрів, вирубку й пробивання отворів у тонких листових деталях.

Заключними операціями штампування листових деталей є контрольні операції. За допомогою різних шаблонів або кошиків шаблонів контролюються форма деталі, товщина деталі в певних місцях, наявність пошкоджень поверхонь («апельсинова кірка», лінії ковзання, шейки тощо).

Для формотворення деталей із трубчастих заготовок застосовуються такі операції:

1. **Роздача** – збільшення діаметра заготовки по краях або на локальній ділянці в центрі. Виконується по матриці додаванням внутрішнього тиску розсувним пуансоном або еластичним середовищем. Технологічні можливості є обмеженими через втрату стійкості форми заготовки.

2. **Обтиснення** – зменшення діаметра заготовки по краях або на локальній ділянці в центрі. Виконується по оправці додаванням зусиль на зовнішню поверхню заготовки за допомогою ролика, конічної матриці або еластичного середовища. Технологічні можливості є обмеженими через втрату стійкості форми заготовки.

3. **Гнуття** – змінення кривизни осі заготовки у спеціальних штампах або згинальних пристроях. Для виключення порушення форми поперечного перерізу заготовки її порожнину заповнюють легкодеформівним середовищем. Обмеженням кута згину або його розміру є ступінь розтягання крайніх волокон заготовки.

1.3 Устаткування й оснащення для листового штампування деталей автомобілів

До найбільш поширених типів устаткування й оснащення для оброблення листових заготовок належать:

1. Кривошипні преси (рисунок 1.10), у яких енергія деформування накопичується в масивному обертовому маховику й передається до заготовки за допомогою кривошипного механізму. Основною їх особливістю є розвиток максимального зусилля наприкінці робочого ходу. Такі преси можуть оснащуватися одним, двома, трьома й більше кривошипними механізмами, зусилля яких може бути використане з різним призначенням – деформування, притискання фланців, виштовхування деталі з оснащення, пробивання отвору в деталі, яка формується, і т. д. Номінальні зусилля, що розвиваються на таких пресах, становлять до кількох сотень тонн. Близькі до них за функціональними можливостями ексцентрикові й фрикційні преси. Робоча зона таких пресів становить: малих – 200×300 мм, великих – декілька метрів.

2. Гідравлічні преси (рисунок 1.11), у яких робоче зусилля генерується шляхом подавання рідини (технічної рідини) під високим тиском у гідроциліндри (їх може бути кілька штук) і через шток до штампового оснащення. Ці преси характеризуються так званою замкненою силовою схемою для безперервного передавання потоку зусиль. Для цього в гідравлічних пресах передбачено потужну силову раму. Швидкість навантаження й деформування заготовок на гідропресах є меншою, ніж на кривошипних пресах. Зусилля, що розвиваються на заготовці, під час штампування на гідропресах не залежать від їх ходу. Гідропреси випускають із зусиллями від декількох тисяч ньютонів до декількох тисяч меганьютонів. Дуже важливим показником якості гідропресів є висока твердість їх станин.

3. Гідравлічні преси для штампування рідиною високого тиску (рисунок 1.12), у яких деформувальне зусилля передається від рідини через еластичну діафрагму на заготовку (без пуансона), розташовану на поверхні матриці. Преси розвивають тиск до 250 МПа й мають робочий контейнер, у якому розташовується технологічне оснащення розмірами до 2×6 м. Високої твердості станина набуває завдяки намотуванню високоміцної стрічки або дроту. Преси використовують для штампування деталей заглибшки не більше 400...500 мм.

Технологічне оснащення для листового штампування зазвичай складається з декількох елементів (рисунок 1.13): матриці, яка має поверхню деталі, що штампується, пуансона, який має поверхню, еквідистантну поверхні матриці, притискача (плити або кільця), додаткових пуансонів для формотворення особливих ділянок деталі та деяких інших елементів.

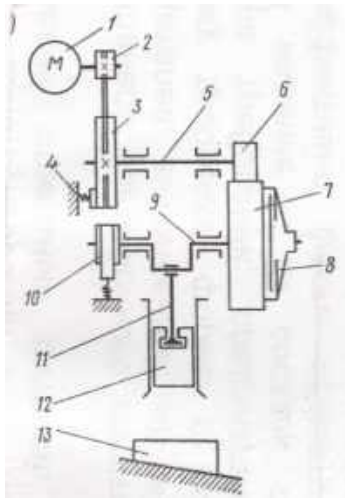


Рисунок 1.10 – Кінематична схема кривошипного преса:
 1 – електромотор; 2 – шків;
 3 – маховик; 3 – допоміжне гальмо; 5 – вал; 6, 7 – шестірня;
 8 – колінчаста муфта; 9 – колінчастий вал; 10 – стрічкове гальмо; 11 – шатун; 12 – повзун;
 13 – клиновий пристрій

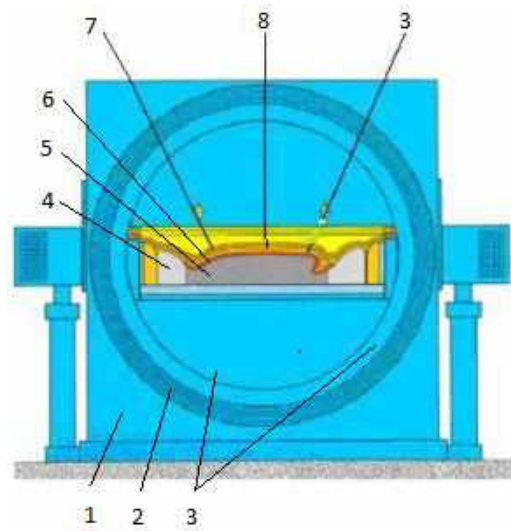


Рисунок 1.11 – Поперечний переріз станини преса штампування рідиною високого тиску:
 1 – основа; 2 – рама, виконана намотуванням високоміцною стрічкою або дроту; 3 – вставки станини; 5 – технологічне оснащення; 6 – деталь; 7 – діафрагма із захисним килимком; 8 – порожнина для подавання рідини

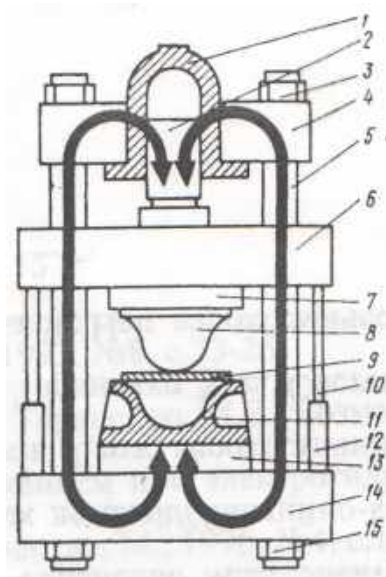


Рисунок 1.12 – Схема силового потоку у рамі гідравлічного преса:
 1 – головний циліндр; 2 – головний плунжер; 3 – верхня гайка; 4 – архитрав; 5 – колона преса; 6 – траверса; 7 – перехідна плита; 8 – пуансон штампа; 9 – заготовка для штампування; 10 – плунжер піднімання траверси; 11 – матриця; 12 – циліндр піднімання траверси; 13 – нижня плита; 14 – основа преса; 15 – нижня гайка

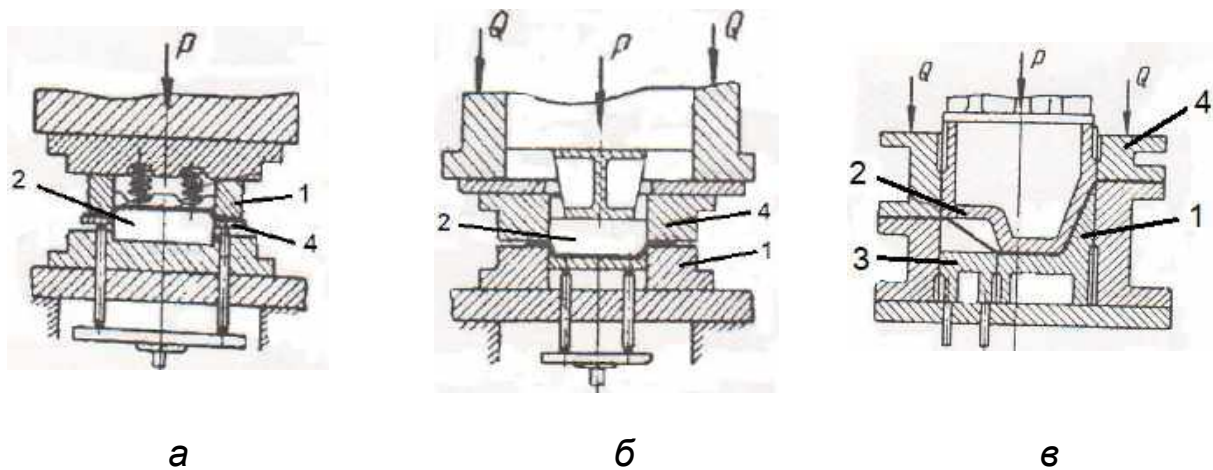


Рисунок 1.13 – Схеми штампового оснащення до пресів різних схем: а – до одноходових пресів простої дії; б – до пресів подвійної дії з робочим зусиллям P і притискним зусиллям Q ; в – до триходових пресів із третім додатковим приводом і зусиллям P_1 ; 1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – додатковий пуансон; 4 – притискний елемент

Силкові елементи оснащення виконуються з металу, а для виготовлення формозадавальних елементів можуть використовуватися металеві матеріали, пластмаси, армований бетон.

Зазвичай вважають, що вартість виготовлення оснащення складається з однакових вартостей виготовлення матриці, пуансона й підгонки пуансона за матрицею.

1.4 Технологічні методи з'єднання заготовок зварюванням і паянням

Зварюванням називають технологічний процес одержання нерознімних з'єднань із металів, сплавів та інших неоднорідних та однорідних матеріалів унаслідок утворення атомно-молекулярних зв'язків між частинками матеріалів, що з'єднуються.

Це один з найпоширеніших технологічних процесів, що складається з власне зварювання, наплавлення, паяння, напилювання та деяких інших операцій. За допомогою зварювання можна з'єднати між собою деталі з різних металів і сплавів, керамічних матеріалів, пластмас. Від рівня розвитку зварювання багато в чому залежить рівень розвитку технології в автомобілебудуванні. Зварювання дає змогу надійно з'єднувати деталі будь-яких товщин і конфігурацій.

Сучасна технологія зварювання немислима без широкого застосування автоматизованих систем, що забезпечують автоматизацію не тільки самого зварювання (спостереження за параметрами режиму та їх коригування, забезпечення руху звареної головки по заданій траєкторії), але й

складання зварюваних заготовок з дотриманням необхідних умов, чим визначається продуктивність.

Як вихідні заготовки для виготовлення зварних конструкцій застосовується продукція металургійного виробництва – листи, труби, об'ємні й листові штамповані деталі, виливки тощо. Унаслідок цього конструкція, що зварюється, може мати дуже складну форму при відносно простій і непрацездатній технології виготовлення.

Суть одержання нерознімного зварного з'єднання двох металевих заготовок у твердому стані полягає у зближенні ідеально чистих поверхонь, що з'єднуються, на відстань $(2...4) \times 10^{-7}$ мм, при якій виникають міжатомні сили притягання. При досягненні такої відстані можливим є утворення металевих зв'язків, тобто поява загальних електронів двох поверхонь, що з'єднуються, і їх взаємодія з позитивно зарядженими йонами кристалічних ґрат.

Будова і стан реальних поверхонь заготовок, що з'єднуються, характеризуються наявністю великої кількості дефектів, нерівностей і забруднень. Зовнішня поверхня металу характеризується наявністю некомпенсованих металевих зв'язків і великою кількістю дефектів кристалічної будови, що приводить до активної взаємодії із зовнішнім середовищем і швидкого окиснення.

Одержати міцне нерознімне з'єднання двох поверхонь у твердому стані можна, якщо видалити забруднювальні плівки й забезпечити повний контакт з'єднуваних поверхонь.

Іншим шляхом зближення атомів матеріалів, що зварюються, є розплавлення, унаслідок чого матеріали набувають рідкого стану, а їх частинки змішуються.

У сучасному виробництві використовуються різні способи зварювання (рисунок 1.14).

Зварювання тиском. Практично під час зварювання в твердому стані зближення поверхонь досягається шляхом прикладення до зварюваних заготовок тиску, який має бути достатнім для зминання всіх поверхонь у зоні з'єднання. У початковий момент зближення в точках торкання руйнується шар домішок на поверхні й виникають «острівці» металевих з'єднань. При зростанні тиску збільшується площа контакту поверхонь, що зближаються до відстані, при якій починають діяти міжатомні сили притягання. Унаслідок великої щільності контакту поверхні не сполучаються з атмосферою, тому нових оксидних і жиркових плівок не утворюється, а ті, що були до цього, частково видавлюються із зон з'єднання, частково дифундують углиб металу й не перешкоджають утворенню металевих зв'язків.

Таким чином, умовами одержання якісного з'єднання в твердому стані є необхідна якість підготовки поверхонь, що з'єднуються, і наявність зсувних деформацій у зоні з'єднання.

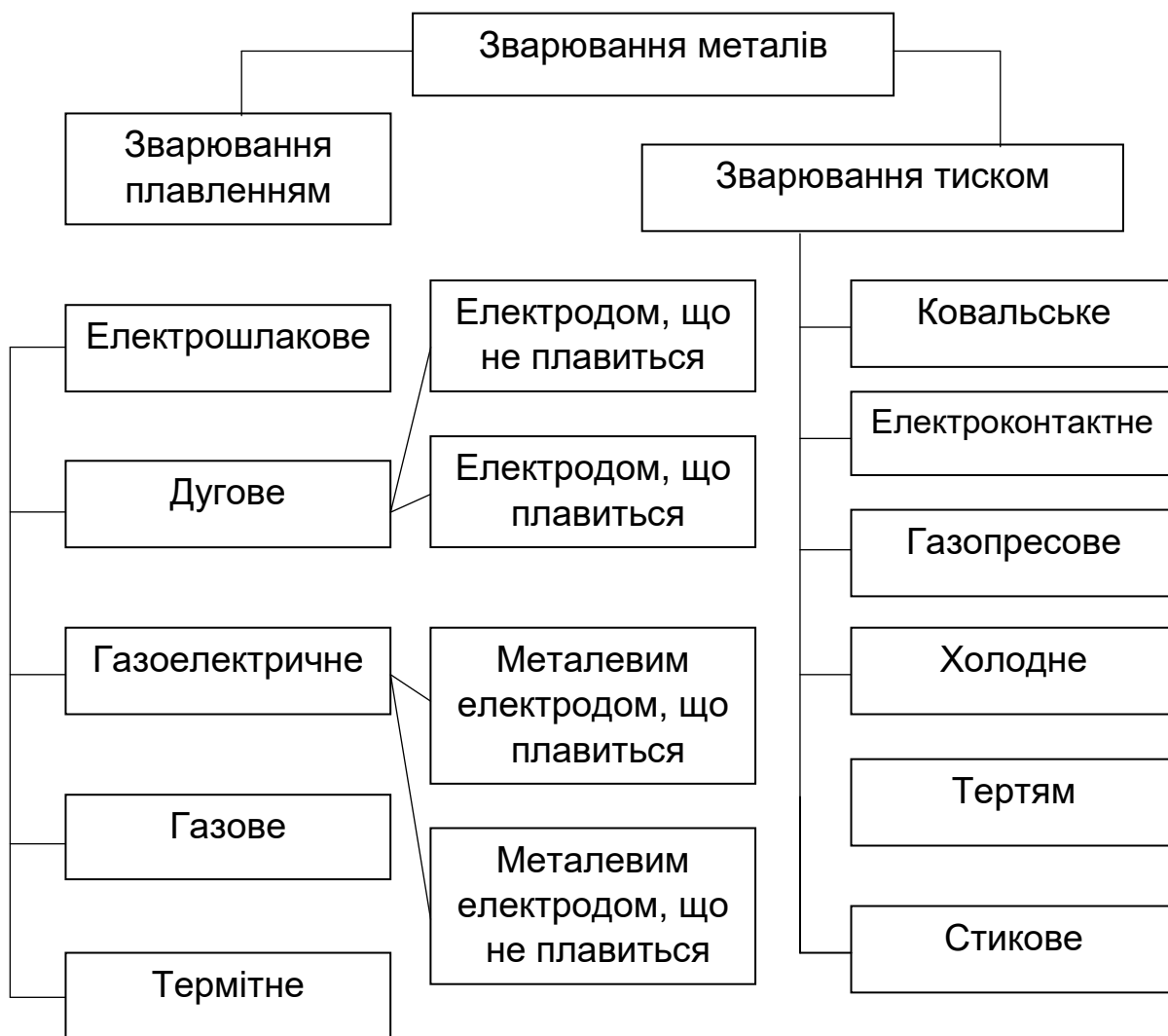


Рисунок 1.14 – Сучасні методи зварювання

Описаний спосіб можна застосовувати для з'єднання заготовок з металів і сплавів, що мають відносно невеликий опір пластичному деформуванню і є досить пластичними в холодному стані (Pb, Sn, Zn, AL, Cu). Для заготовок з малопластичних металів, що мають високу границю плинності, прикладенням тиску в холодному стані неможливо одержати необхідний ступінь деформації через швидкий наклеп. Для цього можна підвищити пластичні властивості таких матеріалів і знизити їх опір деформуванню шляхом попереднього підігрівання поверхонь, що з'єднуються, і зон, які до них прилягають. Завдяки цьому при відносно невеликих силах стиснення вдається видалити забруднювальний шар та активізувати утворення металевих зв'язків.

Контактне електричне зварювання. Типові схеми контактного електричного зварювання, які зображено на рисунку 1.15, принципово відрізняються від інших методів зварювання металів.

няються одна від одної схемами конструктивних елементів, що передають сили й забезпечують струмопідведення. При контактному зварюванні поверхні, що з'єднуються, підігрівають електричним струмом, потім їх здавлюють. Робочі режими: напруга 1,5...12,0 В, струм 10...500 кА. Керувальний параметр – час проходження струму 0,1...2,0 с.

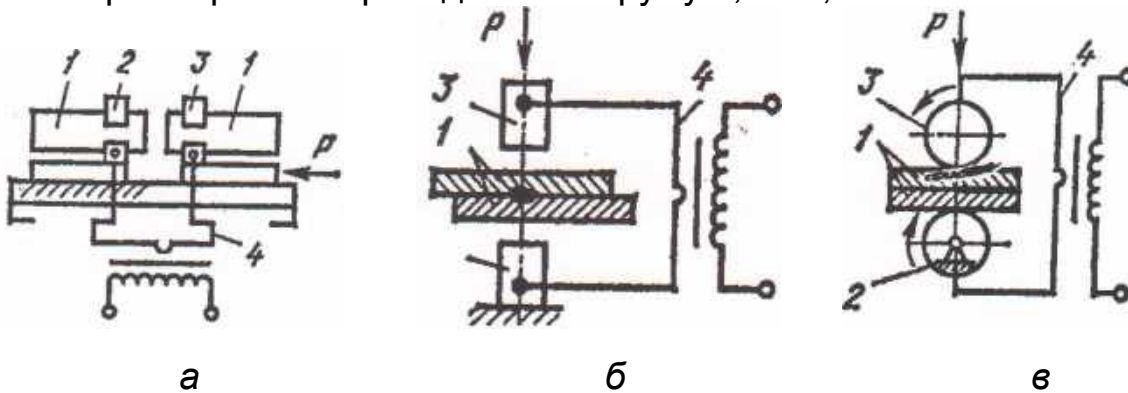


Рисунок 1.15 – Типові схеми контактеного електричного зварювання:
 а – стикове (1 – заготовки, що зварюються; 2, 3 – нерухомий і рухомий струмопідводи; 4 – зварювальний трансформатор); б – точкове (1 – заготовки, що зварюються; 2,3 – електроди); в – шовне (роликоне) (1 – заготовки, що зварюються; 2, 3 – ролики)

Дифузійне зварювання здійснюється у вакуумі при підвищеній температурі (до температури рекристалізації). Тривалість процесу може становити 10...30 хв. Перевага – можливість з'єднання різноманітних матеріалів. Застосовується в радіотехнічній, електротехнічній та інших галузях промисловості.

Зварювання тертям. З'єднання утворюється внаслідок пластичного деформування заготовок, попередньо нагрітих у місці контакту теплотою, що виділилася при їх терті. Основні переваги – висока продуктивність, мала енергоємність процесу, можливість зварювання матеріалів у різних комбінаціях, стабільність якості й відсутність таких шкідливих факторів, як ультрафіолетове випромінювання, газові виділення, бризки.

Холодне зварювання. Для його здійснення поверхні ретельно зачищають, знежирюють і здавлюють пуансонами до стану пластичного плину й видалення із зони з'єднання забрудненого шару. Застосовується для з'єднання заготовок з кольорових металів і сплавів, для заварювання оболонок, для зварювання проводів, шин, троллейбусних струмопроводів, а також в електромонтажному виробництві.

Зварювання плавленням. При зварюванні плавленням сили між-атомної взаємодії виникають між матеріалами двох зварюваних заготовок, що в місці з'єднання перебувають у рідкому стані. Для одержання нерознімного з'єднання кромки заготовок, що зварюються, розплавляють за допомогою потужного джерела тепла. Розплавлений метал утворює загаль-

ну зварювальну ванну, що змочує напівоплавлену поверхню елементів, що з'єднуються. У ній метал заготовок змішується, і утворюються міжмолекулярні зв'язки. У процесі розплавлення видаляються всі нерівності поверхонь, органічні плівки, адсорбовані гази, оксиди та інші забруднення, що заважають зближенню атомів. Після вимкнення джерела тепла рідкий метал остигає, відбувається кристалізація й утворюється зварний шов, що з'єднує заготовки в єдине ціле. Зварювання можна здійснювати, розплавляючи тільки кромку заготовок, що зварюються, або додатково до цього розплавляючи присадний метал (зазвичай метал електрода).

Залежно від вибраного джерела тепла зварювання плавленням можна поділити на електродугове, електронно-променеве, газове (ацетиленкисневе) плавлення.

Метал зварного шва, отриманий при зварюванні плавленням, за структурою й хімічним складом суттєво відрізняється від металу заготовок, що зварюються, тому що в процесі розплавлення у зварювальній ванні відбуваються випарювання й окиснення деяких елементів, поглинання газів, легування, дифузія та інші процеси. Зварний шов має литу структуру. Основний метал заготовок, що прилягає до зварного шва, у процесі зварювання нагрівається до значної температури, унаслідок чого в ньому відбуваються структурні зміни – укрупнення зерен, виділення нових фаз, поява нових структур типу гартівних.

Останнім часом значного поширення набуло лазерне зварювання, що забезпечує високу якість зварного шва.

Комбінацію зварного шва, зони термічного впливу (ЗТВ) та основного металу називають зварним з'єднанням. Механічні, антикорозійні, магнітні характеристики зварного з'єднання можуть суттєво відрізнитися від характеристик основного металу. При зварюванні прагнуть одержати рівномірне з'єднання.

До зварювання плавленням належить **наплавлення металів** – нанесення шару металу з особливими властивостями на нагріту до температури розплавлення поверхню заготовки. Застосовується під час ремонтних робіт для відновлення розмірів або одержання нових конструкцій.

Зварюваність металів і сплавів. Зварюваність – це сукупність технологічних властивостей металу, що визначають його здатність забезпечити при прийнятому технологічному процесі економічне й надійне в експлуатації зварне з'єднання. З'єднання вважають високоякісним і рівномірним, якщо його механічні властивості близькі до механічних властивостей основного металу і в ньому немає пор, жужільних включень і раковин. У деяких випадках з'єднання повинне мати ідентичні хімічні й фізичні властивості.

Якість зварного з'єднання багато в чому залежить від потужності джерела тепла. Чим вище теплова потужність, тим менші шов і його ЗТВ, тим менші викривлення й порушення структури основного металу.

Різні метали і сплави мають різну зварюваність. Звичайно висока теплопровідність, низький коефіцієнт лінійного розширення, нечутливість до термічної зміни циклу, мала усадка обумовлюють хорошу зварюваність.

Кращу зварюваність мають метали, здатні утворювати один з одним безперервний ряд твердих розчинів. Гірше зварюються метали з обмеженою розчинністю в твердому стані. Зовсім не можна зварювати методом плавлення ті метали, які взаємно не розчиняються в твердому стані або утворюють тверді з'єднання. Такі метали піддають зварюванню тиском або під час зварювання вводять проміжний метал, здатний розчинятися в обох основних.

Вуглець сильно впливає на якість зварного шва. Підвищення вмісту вуглецю позначається на міцності, твердості й в'язкості шва. Збільшення вмісту вуглецю в сталі понад 0,3 % підвищує самозагартованість ЗТВ, і сталь стає крихкою. Вуглецеві конструкційні сталі добре зварюються будь-якими способами при вмісті вуглецю до 0,25 % і задовільно – до 0,55 %.

Під час зварювання легованих сталей відбувається вигоряння легувальних елементів, виділення карбідів при нагріванні, самозагартованість і виникнення усадкового напруження. Низьколеговані конструкційні сталі зварюються добре при вмісті вуглецю до 0,2 %, якщо більше, то потребується нагрівання й подальше відпалювання. Хромонікелеві сплави типу 18-8 (18...20 % Cr, 8...10 % Ni) зварюються добре, але частіше тут застосовується аргонодугове зварювання.

Зварюваність чавуну є невисокою. Застосовується попереднє підігрівання, а також використовуються спеціальні електроди. Часто тріщини в чавунних деталях заварюють міддю, як флюс застосовують буру.

Алюміній та алюмінієві сплави. Складність зварювання алюмінію обумовлюється його легким окисненням та утворенням на його поверхні тугоплавкої плівки (Al_2O_3). Алюміній зварюють майже всіма видами зварювання, але захищають поверхню від окиснення. Алюмінієві сплави Амц і Амг добре зварюються дуговим зварюванням у середовищі захисних газів. Для електроконтактного точкового зварювання потребуються струми великої величини. Дюралюміні Д16 зварюються в основному електроконтактним зварюванням.

Магнієві сплави. Зварюваність середня. Застосовуються в основному електроконтактний та аргонодуговий способи зварювання.

Титанові сплави. Зварюваність залежить від складу α - і β -фаз. Застосовуються аргонодугове, автоматичне й електрошлакове зварювання.

Мідь і мідні сплави. Зварюваність хороша. Застосовуються такі види зварювання: газове, електродугове вугільним і металевим електродами зі спеціальними покриттями, у середовищі захисних газів і під флюсами. Потребується підвищена потужність джерел тепла.

Паяння металів і сплавів – з'єднання металевих деталей у твердому стані за допомогою присадного сплаву – припою. При паянні плавиться лише присадний метал, який має температуру плавлення нижче темпера-

тури плавлення основного металу. Цим паяння відрізняється від зварювання.

Для одержання міцного з'єднання необхідно, щоб припій добре змочував поверхні металів, що з'єднуються, мав хорошу взаємодію й утворював з ними розчини. Чим вище ступінь взаємної дифузії між розплавленим припоєм та основними металами, тим вище міцність з'єднання.

За допомогою паяння можна з'єднувати однорідні й різнорідні метали і сплави: сталь – латунь, мідь – мідь, алюміній – сталь.

Для паяння застосовуються припої двох видів:

- м'які з температурою плавлення до 400 °С і порівняно малою механічною міцністю (на основі олова, свинцю, вісмуту, кадмію, цинку);
- тверді з високою температурою плавлення (до 900 °С) і великою механічною міцністю (на основі міді, срібла, алюмінію, нікелю).

При паянні м'якими припоями як флюс використовують каніфоль або стеарин, твердими – буру ($\text{Na}_2\text{B}_{407}$), сіль борної кислоти (Na_2Bi_3), фтористий калій (CaF) тощо.

Для паяння алюмінієвих сплавів, а також лудіння кераміки застосовується ультразвуковий метод. У цьому випадку тепла енергія передається акустичним промінням.

1.5 Технологічні способи лиття

Суть ливарного виробництва полягає в одержанні заготовок або деталей шляхом заливання розплавленого металу заданого хімічного складу в ливарну форму, порожнина якої має конфігурацію заготовки або деталі. При охолодженні залитий метал твердіє й зберігає конфігурацію порожнини ливарної форми. Далі литі заготовки (виливки) відокремлюються від форми й піддаються обробленню тиском або механічному обробленню.

Литтям одержують вилівки як простої, так і складної конфігурації із внутрішніми порожнинами. Маса виливків становить від декількох грамів до декількох сотень тонн. Лиття широко використовується при одержанні первинних заготовок після металургійного виробництва вуглецевих і легированих сталей, сплавів на основі Al, Mg, Ti, Cu та інших металів. Ці заготовки мають найпростішу геометричну форму у вигляді прутків квадратного, прямокутного або круглого перерізу (блюми, сляби), злитків або чушок. В останні десятиліття продукція металургійного виробництва сталі випускається на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) у вигляді блюмів і слябів, які потім прокочуються.

Процеси лиття мають прадавню історію. Іще в епоху бронзи (I–IV тис. до н. е.) люди навчилися отримувати досить складні за формою вилівки. Основним завданням ливарного виробництва є одержання виливків, що за формою й розмірами максимально наближаються до готової деталі, мають однорідну мікро- й макроструктуру, задані хімічний склад і механічні властивості з мінімальними залишковими напруженнями. Хіміч-

ний склад, будова й механічні властивості металу в різних місцях виливків можуть суттєво різнитися. Це пояснюється різними умовами охолодження різних частин виливків.

Для одержання виливків традиційним способом – литтям у разові піщано-глинисті (піщано-смоляні) форми (у землю) – необхідно виконати таке:

1. Виготовити модель деталі, що виливається, за якою утворюється форма вилівка. При цьому слід враховувати термічну усадку металу й можливість витягування з сумішей, що формуються. Зазвичай модель, що задає зовнішню форму деталі, називають просто моделлю, а модель, що передає форму порожнини деталі, – моделлю стрижня. Моделі виготовляються з дерева, металу або пластмас.

2. Приготувати формувальні суміші (для виготовлення стрижнів звичайно іншого складу). Для цього використовують піски (часто кварцові), матеріали, що склеюють (глину, смоли), іноді додають пластифікатори.

3. Заформувати модель у форму з утворенням ливникової системи, по якій рідкий метал буде текти в порожнину форми. Витягти модель із форми без її руйнування. Для складних виливків зібрати загальну форму, установити стрижні.

4. Приготувати шихтові матеріали, розплавити й залити метал.

5. Після кристалізації й охолодження вибити вилівок з форми й витягти стрижні з вилівка. Зачистити вилівок.

6. Контролювати якість вилівка, якщо можливо, виправити дефекти.

7. Здійснити термооброблення вилівка для ліквідації залишкових напружень.

Структуру техпроцесів, з яких складається техпроцес лиття, показано на рисунку 1.16.

Основними дефектами є недозаповнення форми, усадкові раковини й крихкість, ліквідація, наявність газових пухирів, неметалічних включень і тріщин. Недоліки способу: низька конкурентоспроможність, мала економічність, неекологічність (пил, шкідливі газовиділення, токсичні відходи), соціальні проблеми (важкі умови праці).

Незважаючи на це спосіб є традиційним – до 70 % виливків одержують таким способом, особливо великогабаритні корпусні деталі (корпуси великих двигунів і верстатів, ковші екскаваторів).

Зазначені недоліки зумовили розроблення й використання інших спеціальних способів лиття, що характеризуються високою продуктивністю, низькою вартістю застосовуваного устаткування й оснащення (ливарних форм), високою якістю одержуваних деталей, екологічністю та іншими показниками.

Лиття в кокіль (КЛ) – процес одержання литих заготовок вільним (під дією сили ваги) заливанням розплавленого металу в багаторазові металеві форми-кокілі. Кокілі перед заливанням металу очищають, підігрівають до заданої температури й наносять захисне покриття. У порожнину ко-

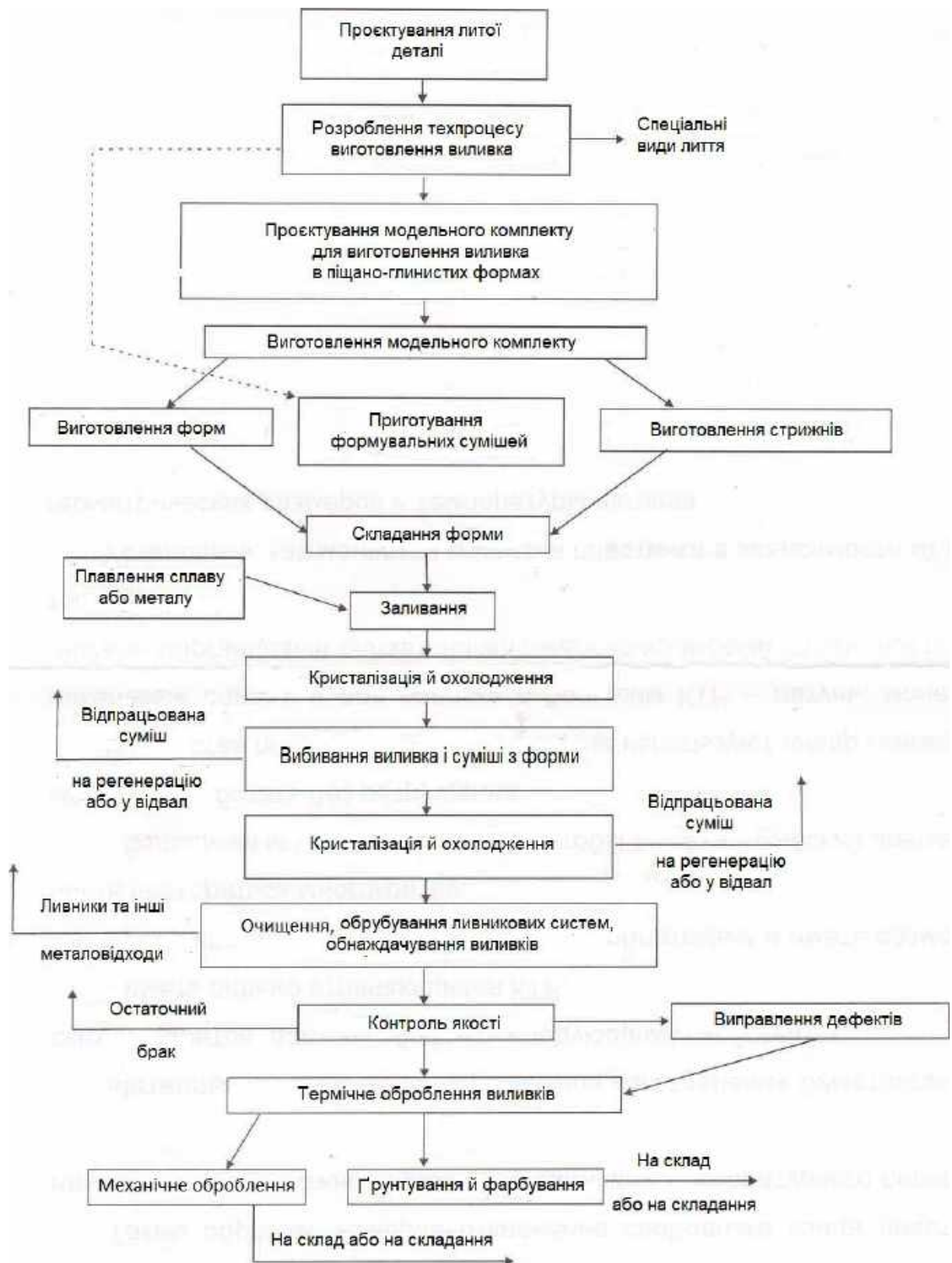


Рисунок 1.16 – Структурно-технологічна схема виробництва виливків

кілю встановлюють піщані стрижні, кокіль збирають, потім заливають розплавлений метал. Після затвердіння металу кокіль розкривають, витягають вилівок й відокремлюють від нього ливникову систему. Потім проводиться термооброблення для зняття залишкових напружень і виправлення макро- й мікроструктури.

Переваги способу: багаторазове використання форми; підвищення точності розмірів, мас і якості поверхні виливків; зниження витрат формувального матеріалу; підвищення механічних властивостей металу виливків; простота механізації й автоматизації процесу; зниження собівартості виливків.

Недоліки способу: складність одержання тонкостінних виливків і складних порожнин із застосуванням металевих стрижнів; наявність значних залишкових напружень у виливках, що призводить до їх деформації й появи тріщин; висока вартість кокілю й велика тривалість його виготовлення.

Стійкість кокілів визначається кількістю виливків:

- з алюмінієвих сплавів – 10000–100000;
- з чавуну – 1000–10000;
- з мідних сплавів – 1000–10000;
- зі сталі – 100–600.

Відцентрове лиття в металеву форму. Суть способу полягає в тому, що розплавлений метал заливається в обертову металеву форму, який під дією відцентрових сил заповнює її. Таким способом можна одержувати порожнисті циліндричні виливки без застосування стрижнів. Виливки мають велику густину, характеризуються дрібнозернистою структурою й високою міцністю, малими припусками на механічну обробку, відсутністю ливникових систем. Цим способом одержують труби, гільзи, колеса, заготовки шестерень і втулок.

Недоліки способу: порівняно висока вартість машин для відцентрового лиття, обмеженість номенклатури деталей, що випускаються, труднощі під час одержання великогабаритних деталей.

Лиття під тиском у металеву прес-форму. Суть способу полягає в заливанні й охолодженні металу під тиском у металевій формі на спеціальних машинах лиття під тиском. Застосовується у великосерійному й масовому виробництві, характеризується високою продуктивністю. Отримують виливки високої якості з точними геометричними формами. Таким способом одержують різноманітні складні за формою деталі, у тому числі шрифти, блоки циліндрів автомобілів. Спосіб використовується при виготовленні роторів асинхронних електродвигунів. Ливарні матеріали – в основному легкоплавкі сплави.

Недоліком є висока вартість устаткування й прес-форм, через що спосіб може бути конкурентоспроможним тільки в масовому виробництві.

Лиття за виплавними моделями. Суть способу полягає у своєрідності виготовлення моделей. У цьому випадку у відповідну прес-форму за пресовують у сметаноподібному стані модельний склад (суміш парафіну зі стеарином), після охолодження й виймання із прес-форми модель припадають до парафіно-стеаринового стояка. Збірну модель покривають кілька разів (3–4 рази) із проміжним сушінням суспензією з вогнетривких і рідких клейких матеріалів. Потім у гарячій ванні виплавляють модельний склад, сушать, прожарюють при $T = 900 \dots 1000 \text{ } ^\circ\text{C}$. Отриману форму декількох деталей наформовують в опоки (спеціальні ящики). Далі у форму заливають метал. Після охолодження формувальну суміш видаляють, залишки кераміки вилуговують, вилівок відокремлюють від ливникової системи, контролюють його й передають на склад.

Цей спосіб лиття дає змогу одержувати деталі практично з усіх металевих сплавів, включаючи важко механооброблювані (титанові сплави, жароміцні нікелеві сплави), складні за формою й точні за розмірами виливки з допусками на розмір $\pm 0,5 \text{ мм}$ і шорсткістю поверхні $R_z = 6,3 \dots 40,0 \text{ мкм}$. Цим способом виливають такі складні деталі, як щіткотримачі електродвигунів, компресорні й турбінні лопатки газотурбінних авіаційних двигунів.

Недоліки – складність процесу, значна тривалість циклу (не менше 10...12 год).

Лиття в оболонкові форми (кронінг-процес). Відмінність цього способу від попереднього полягає в методі виготовлення оболонки форми. Оболонку виготовляють за моделлю виливка (найчастіше металевого) з 90...94 % сухого кварцового піску й 6...10 % порошку терморезистивної фенолформальдегідної смоли. Під час попереднього нагрівання моделі й під модельної плити смола розплавляється й твердіє у прилеглому шарі. Товщина шару залежить від заданої міцності форми. Надлишок суміші зсипається для подальшого використання. Потім оболонку за 1...2 хв нагрівають до температури 280...350 $^\circ\text{C}$ для спікання. Унаслідок такого прожарювання оболонка необоротно зміцнюється. Тверду оболонку, що являє собою півформу, знімають з модельної плити і з'єднують з іншою половиною методом склеювання. Готову оболонку засипають опорним матеріалом (дробом) і заливають розплавленим металом. Після затвердіння металу форму знімають і вилівок зачищають. Останньою операцією є зняття форми й зачищення виливків.

Цим методом одержують деталі широкої номенклатури, що мають високі показники точності, чистоти поверхні й потребують мінімального подальшого оброблення.

Переваги процесу: високі показники точності виливків і якості поверхні; малі напуски та об'єми для подальшого механічного оброблення; невеликі об'єми використовуваних формувальних матеріалів.

Недоліки процесу: підвищена трудомісткість виготовлення оснащення; висока вартість стрижневих матеріалів; складність регенерації використаних сумішей.

Штампуння рідкого металу. Особливістю цього способу є кристалізація металу під тиском 40...200 МПа в спеціальних металевих формах, чим значно поліпшується якість виливків. Штампуння застосовується при виробництві компактних виливків зі сплавів кольорових металів. Недоліком способу є складність застосовуваного устаткування й велика трудомісткість виготовлення оснащення.

Лиття за газифікованими моделями. Суть способу полягає в тому, що моделі й елементи ливникових систем у зібраному вигляді при впливі на них рідкого металу газифікуються й видаляються з форми, а їх місце займає метал. Саму ливарну форму виготовляють відомим способом одноразового формування. Це дає можливість одержувати виливки без формувальних ухилів і не робити рознімання форми. Тим самим досягається більш висока точність деталі. Для газифікованих моделей використовують різні марки пінопластиролу.

Крім перелічених методів застосовується **лиття в керамічні форми** (шоу-процес) і його різновид – композайт-шоу-процес для одержання точнолитих заготовок деталей металооснастки: кокілів, штампів, прес-форм, різального інструмента тощо. Недоліком є висока витрата дорогих формувальних і сполучних матеріалів.

Лиття у форми, отримані вакуумуванням (V-процес), – це процес, при якому міцність форми забезпечується вакуумуванням порожнини опок і відокремленням поверхні моделей від формувальної суміші (піску) тонкою термопластичною полімерною плівкою.

Литозварні вироби одержують виливанням, куванням або штампунням окремих частин деталі, які потім з'єднуються зварюванням. Такий метод застосовується в одиничному виробництві й для виготовлення великогабаритних деталей.

В автомобілебудуванні широко застосовується лиття пластичних мас в основному методом лиття під тиском, а також кам'яне лиття з діабазу, базальту, світлого каменю й доменних шлаків. Литі кам'яні вироби застосовуються в будівництві (труби, блоки), хімічній промисловості (труби, посудини, футерувальні блоки). Такі виливки характеризуються незначним коефіцієнтом температурного розширення, вогнестійкістю, високими діелектричними й теплоізоляційними властивостями.

Порівняння технологічних можливостей деяких способів лиття наведено в таблиці 1.3.

На рисунку 1.17 зображено загальний вигляд ділянки ливарного цеху. У центрі цеху розташовані ливарні форми з заливними горловинами (світлого кольору). Розплавлений метал заливається в ці горловини з розливного ковша. Правий робітник керує випускним клапаном, а лівий – спрямовує струмінь металу в заливальний отвір. Слід звернути увагу на умови праці.

На рисунку 1.18, а показано нижню частину опоки, у якій розташована ливарна форма зі встановленими в ній стрижнями, призначеними для формування отворів у виливках. Стрижні (рисунку 1.18, б) виготовляються з керамічного матеріалу й можуть мати різноманітну форму. На рисунку 1.18, в показано приклад закінцівок вилитих деталей.

Таблиця 1.3 – Технічні можливості й показники різних способів лиття

Фактор	Спосіб лиття					
	П	Т	К	В	О	Ц
Максимальна маса виливка, кг	250000	50	2000	100	200	50000
Максимальний розмір виливка, м	20	1,2	2	1	1,5	10
Мінімальна товщина стінки виливка, мм	3	0,5	2,2	0,5	1,5	4
Клас розмірної точності виливка	5-16	3т-9	5т-13	3т-11	7т-15	6-15
Квалітет за ДСТУ 25346–89	13	11	12-13	И	14	13-14
Ступінь точності поверхні виливка	7-22	2-11	4-14	3-13	6-17	4-14
Шорсткість поверхні R_a , мкм	8...100 і більше	2,5...20	40	3,2...32	6,3...80	4...40
Мінімальний припуск на обробку (на сторону), мм	0,3...6	0,2...0,5	0,3...1	0,1...0,6	0,4...2	0,3...1
Ливарні ухили, град	0,5...3	0,5...1	0,5...1,2	1...2	1...2	3...6
Коефіцієнт використання металу, %	60...70	90...95	75...80	90...95	80...95	70...90
Вихід годного, %	30...50	50...65	40...60	30...60	50...60	90...100
Відносна собівартість 1 т виливків	1,0	1,8...2	1,2...1,5	2,5...3	1,5...2	0,6...0,7
Економічно виправдана серійність, шт.	Без обмеження	1000	400–800	1000	200–500	100–1000
Переважаючі типи серійності виробництва	Од, Дс, С, Б	Д, М	С, Д, М	Од, Д, С	С, Д, М	С, Д, М
Переважаючі різновиди (групи) виливків за масою	Д, Сер, В, Б	Д	Д, Сер	Д	Д, Сер	Д, Сер, В, Б

Примітки. Позначені способи лиття: П – у піщані форми; Т – під тиском; К – у кокіль; В – за виплавними моделями; О – в оболонкові форми; Ц – відцентрове лиття. Масштаб виробництва: Од – одиничне; Дс – дрібносерійне; С – серійне; Б – багатосерійне; М – масове; Д – дрібне; Сер – середнє; В – велике; Дв – дуже велике. Номер квалітету визначався за класом найбільшої розмірної точності виливка для кожного способу лиття шляхом порівняння значень допусків.



Рисунок 1.17 – Типова ливарна ділянка



а

б

в

Рисунок 1.18 – Елементи ливарного виробництва: а – нижня частина ливарної форми з установленими стрижнями; б – набір стрижнів; в – закінцівки вилитих деталей

Незважаючи на всі складнощі процесу лиття металевих деталей ці техпроцеси широко використовуються в сучасному автомобілебудуванні й особливо для виготовлення деталей складної форми.

1.6 Синтез форми деталі з вихідних матеріалів

Прагнення істотно скоротити терміни й зменшити витрати на конструкторську й технологічну підготовку виробництва, отримання дизайн-моделей і дослідних партій продукції, наприклад нових моделей автомобілів, обумовило створення інтегрованих робочих процесів прискореного формотворення виробу або його прототипу (моделі) Rapid Prototyping (RP). Це дає змогу скасувати деякі попередні роботи й скоротити час на виконання основної послідовності перетворень (рисунок 1.19).

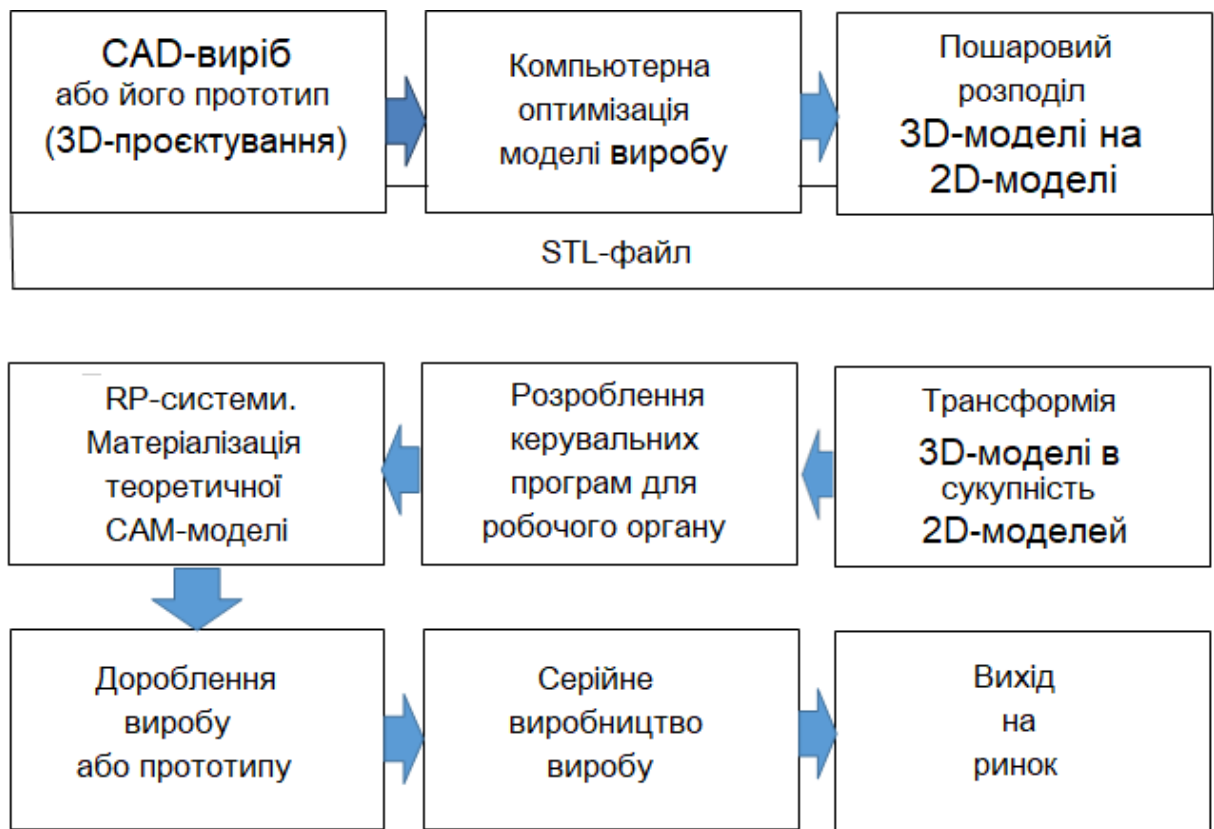


Рисунок 1.19 – Структура інтегрованого робочого процесу прискореного формотворення Rapid Prototyping

Суть способу. Інтегрований робочий процес прискореного виготовлення деталей або їх прототипів – це органічне поєднання можливостей комп'ютерних технологій оброблення інформації й трикоординатного моделювання (CAD) і сучасних способів виготовлення.

Спосіб дає змогу в часі й просторі суміщати або надзвичайно зближувати конструювання й виготовлення типової або одиничної моделі або безпосередньо деталі та зменшувати час на їх виготовлення залежно від ступеня складності на 30...70 %.

Цей генеративний процес, що отримав назву RP, виник близько 10 років тому. Але вже зараз, за даними дослідників, у світі існує приблизно 2000 установок, що працюють за ідеологією RP і в яких реалізуються різні принципи. Області найширшого застосування цього робочого процесу: машинобудування, авіабудування, космічні дослідження, автомобілебудування, електроніка тощо.

Ідеологія прискореного формотворення виробу (моделі, прототипу) базується на можливості комп'ютерного автоматизованого проектування виробу (за кресленням, аналітичними залежностями або результатами вимірювань) та комп'ютерної оптимізації його конструкції, виходячи з вимог дизайну, форми, функціональних властивостей (CAD); на трансформації трикоординатної моделі в сукупність пошарових двовимірних, двокоординатних моделей; на можливості відтворити цю сукупність пошарових мо-

делей, тобто матеріалізувати всю модель як єдине ціле, як твердотільний виріб або його прототип (CAM) (рисунок 1.20).

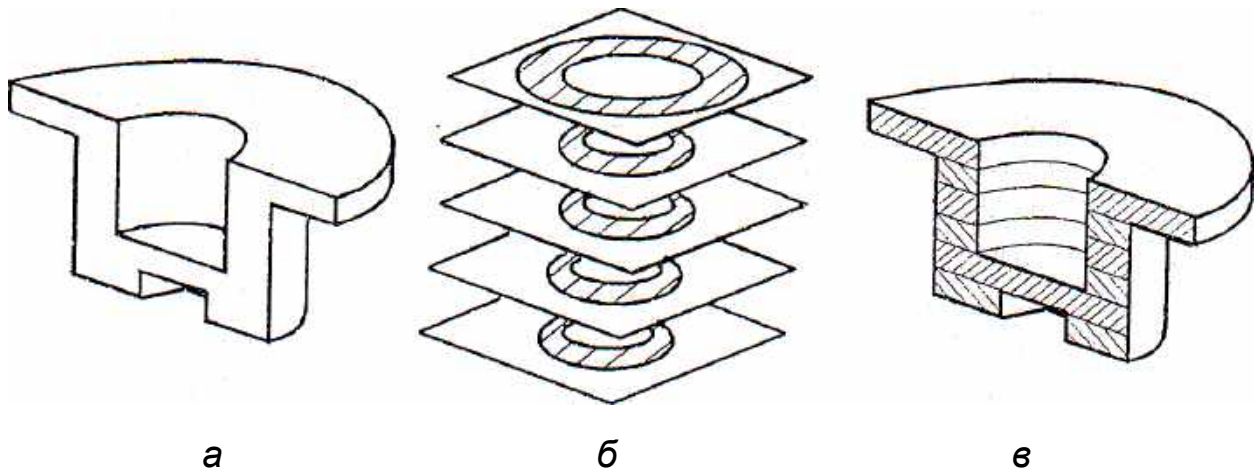


Рисунок 1.20 – Основні переходи способу RP:
а – 3D-CAD-модель; б – сукупність 2D-CAD-моделей; в – пошарово побудована твердотільна модель

Ці способи отримали умовне позначення, яке складається з початкових букв назв способів матеріалізації (RP):

- SL (SLA) – Stereolithography – спосіб стереолітографії;
- SLS (LS) – Selective Laser Sintering – вибіркоче лазерне спікання;
- LOM – Laminated Object Manufacturing – виготовлення пошарових об'єктів;
- FDM – Fused Deposition Modeling – моделювання оплавленням;
- SGC – Solid Ground Curing – основна термічна дія;
- BPM – Ballistic Particle Manufacturing – виготовлення з використанням балістики;
- DLF – Directed Light Fabrication – виготовлення спрямованим світлом;
- DSPC – Direct Shell Production Casting – пряме блокове виготовлення оболонки;

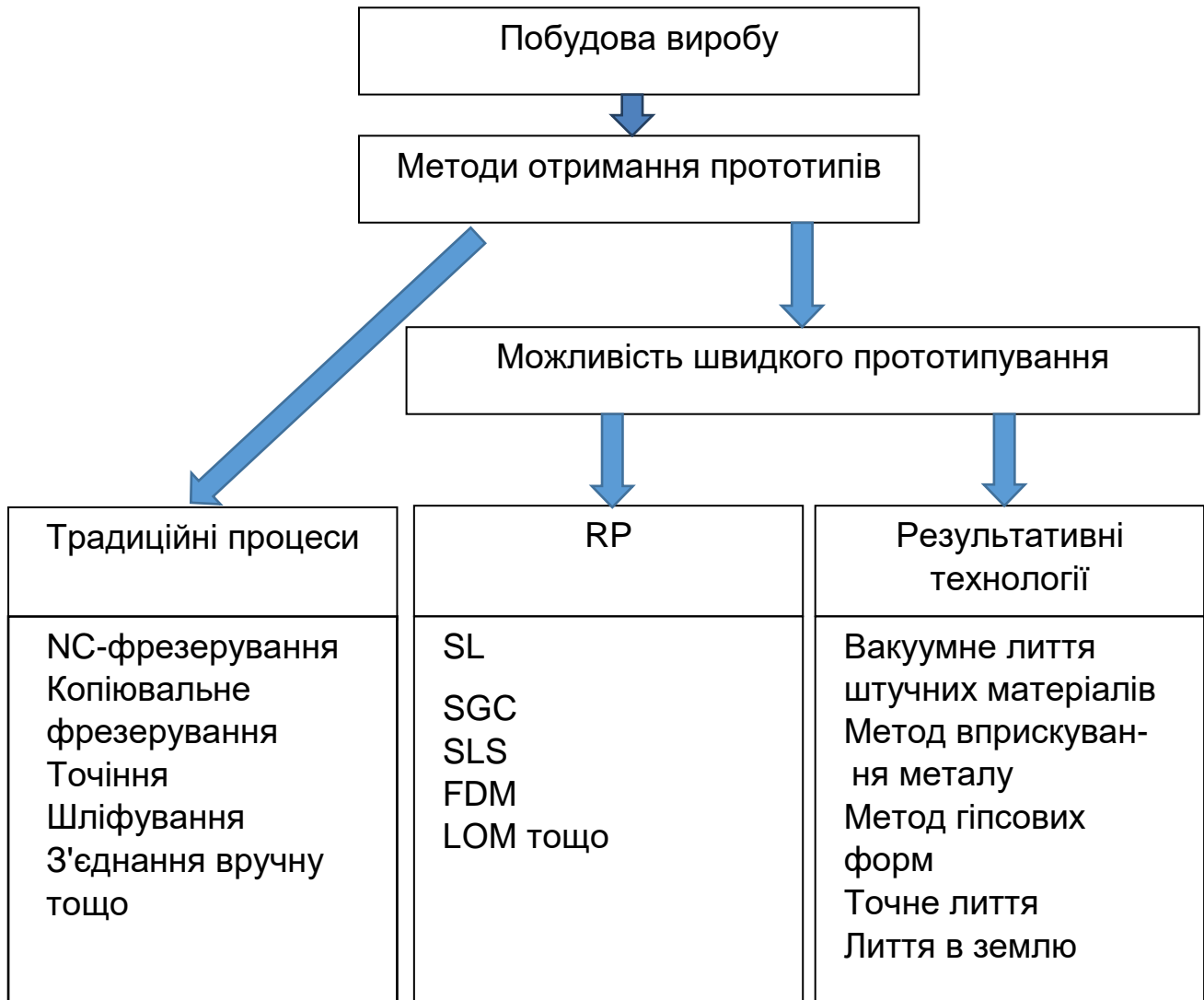


Рисунок 1.21 – Способи виготовлення моделей, деталей зразка і прототипів

- Mjs – Multiphase Jet Solidification – багатофазне затвердіння струменів;
- 3dprinting – TDP – Three Dimensional Printing – за принципом трикоординатного глибокого друку.

Ці способи можна систематизувати за такими ознаками, як стан початкового матеріалу, використання лазерної техніки й ін.

Крім названих постійно виникають нові способи матеріалізації віртуальних способів і дій.

Способи матеріалізації теоретичних 3D-моделей є найважливішою складовою інтегрованого робочого процесу прискореного формотворення, виготовлення виробів або їх прототипів, оскільки саме вони багато в чому визначають зменшення часу створення виробу, продукту довільної найскладнішої форми; ступінь підвищення якості виробу; зменшення сумарних

виробничих витрат. У сукупності ці фактори визначають конкурентоспроможність продукту на ринку.

Способи RP-технологій мають і недоліки. Нині через труднощі й неможливість створення необхідної макроструктури деталей не може витримувати високі функціональні навантаження. Через високу вартість необхідного устаткування такі технології не набули широкого застосування.

Опишемо результат поєднання ОМТ і зварювання для підвищення якості сучасних вантажних автомобілів на прикладі Mercedes-Benz Chassis OC 500 LE.

Рама вантажних автомобілів є високонавантаженими вузлами, до яких, зокрема, ставляться високі вимоги щодо точності, жорсткості й надійності. За традиційною технологією основні деталі цього вузла (поздовжні й поперечні) виготовляються методом гарячого штампування з товстого листа, а зрідка й методом лиття. Ці деталі мають значну масу, і для їх виробництва потребується велика кількість технологічного оснащення, витрачається багато енергії й живої праці.

Для скорочення ресурсоспоживання при такому виробництві запропоновано нові конструкції вузла й технології його виготовлення. На рисунку 1.22 зображено схеми сучасної вантажівки фірми Mercedes-Benz.



Рисунок 1.22 – Схема рами й шасі сучасного вантажного автомобіля

Поздовжні елементи рами коробчастого перерізу з'єднані між собою поперечними елементами. Між мостами автомобіля, у місці розширення рами, встановлено відносно тонку, але жорстку в поперечному напрямку пластину з виштамповками. У більш вузьких частинах рами поздовжні елементи з'єднуються переднім і заднім мостами й поперечними елементами коробчастого перерізу.

Схематично конструкцію блока показано на рисунку 1.23.

Конструкцію виконано з набору відносно тонких пластин: двох вертикальних, посилених усередині перерізу додатковими пластинами, і трьох горизонтальних, що мають однакові розміри. Це відповідає вимогам уніфікації конструкції.

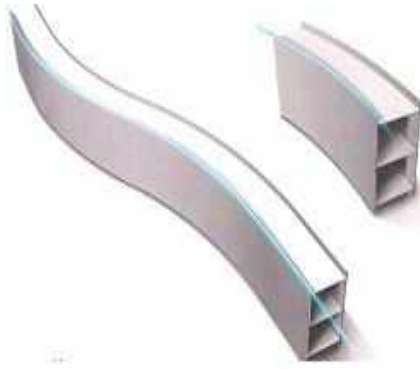


Рисунок 1.23 – Схема конструкції поздовжніх балок

З'єднання пластин між собою лазерним зварюванням забезпечує високу міцність зварного шва й мінімальну шкідливу термічну дію на навколишній метал. Геометрія шва є досить простою й легко здійснюється на зварювальних автоматах.

Поздовжня конфігурація вертикальних пластин забезпечується методом гнуття, який є малоенергозатратним і потребує простого технологічного оснащення.

Надання потрібної форми горизонтальним площинам здійснюється методом лазерного різання, що потребує додаткового зачищення розрізаних поверхонь.

Завдяки використанню сучасних методів перетворення форми простих заготовок можна отримувати якісні полегшені конструкції, що відповідають поставленим технологічним вимогам.

2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ОБ'ЄМУ ЗАГОТОВКИ

Після більшості методів ОМТ або лиття (перетворення форми) заготовки деталей потребують зняття напусків, поліпшення якості поверхні, підвищення точності розмірів. Це досягається обробленням різанням, при якому зайвий матеріал заготовки, що обробляється зрізується з її поверхні. При цьому відбувається певне змінення форми, але його ступінь є незначним порівняно з вищезгаданими процесами.

Для виконання перетворень об'єму необхідно застосовувати відповідні методи, устаткування й інструментальні матеріали високої твердості й зносостійкості. У промисловості для цього виділяються особливі виробництва – металообробне, верстатобудівне, інструментальне.

Сучасні деталі машин і механізмів потребують оброблення поверхонь різного виду: циліндричних, плоских і криволінійних, зовнішніх і внутрішніх, довгих і коротких, з різною шорсткістю й точністю розмірів. Тому використовуються різноманітні процеси й схеми оброблення (рисунок 2.1),

верстати й пристрої, на яких реалізуються точіння, свердління, стругання, фрезерування, протягання, шліфування та обробні методи.

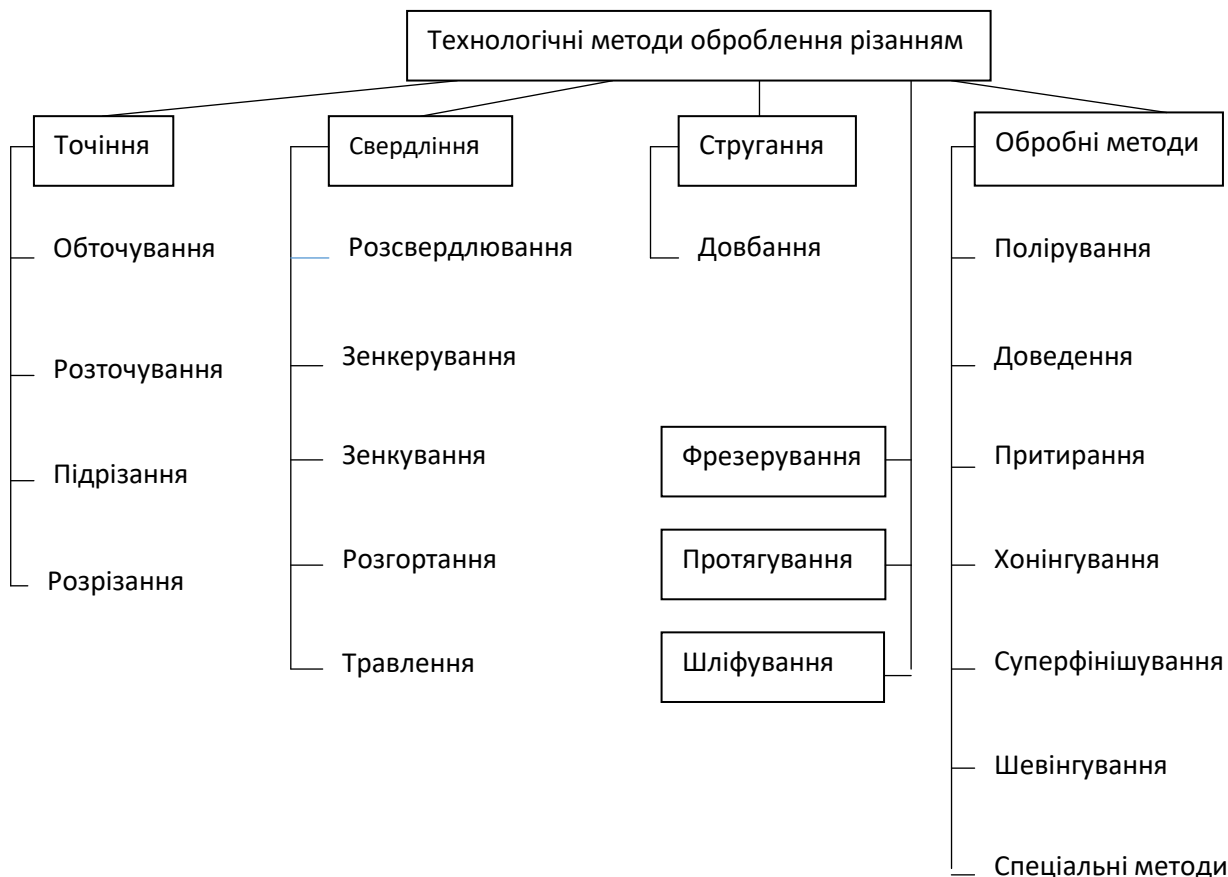


Рисунок 2.1 – Структурна схема процесів перетворення об'єму заготовки

2.1 Суть процесу різання

Оброблення металів різанням полягає у зрізанні різальним клином з поверхні заготовки частини матеріалу (стружки) для одержання необхідних показників геометричної форми, точності розмірів, взаєморозташування й шорсткості поверхні деталей.

Шар матеріалу, що зрізується із заготовки, називають **припуском** (рисунок 2.2).

Різальний клин – основа конструкції робочої частини інструмента, що характеризується різними гранями й кутами між ними. Грань різального клина, повернена до поверхні різання AD, називають задньою гранню AC, а грань, по якій сходить стружка, – передньою гранню AB. Залежно від типу інструмента ці грані можуть бути плоскими й криволінійними.

Звичайно клин характеризується кутом різання β . Але цим не можна обмежуватися, характеризуючи різальні якості клина. Необхідно розглядати задній α і передній γ кути. Змінюючи величини цих кутів, керують зу-

силлям різання, величиною шорсткості поверхні, що обробляється, стійкістю інструмента та іншими характеристиками обробки.

Рекомендовану геометрію різального клина для різних матеріалів, що обробляються, та умови оброблення наведено в технологічних довідниках.

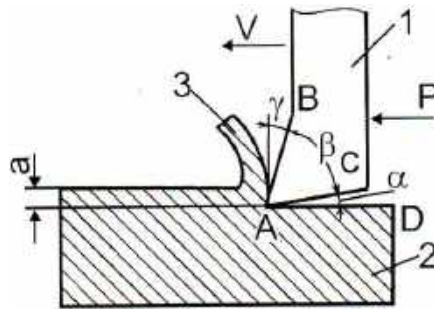


Рисунок 2.2 – Схема процесу різання: 1 – інструмент (різальний клин); 2 – деталь, що обробляється; 3 – стружка; а – припуск

Для того щоб відбувався процес різання, до інструмента необхідно прикласти силу P , основною складовою якої є сила, що діє нормально до передньої грані інструмента. Продуктивність процесу визначається швидкістю різання V , напрямленою вздовж поверхні різання.

Перетворення об'єму заготовки можна подати схемою оброблення (рисунок 2.3), на якій умовно зображують заготовку, що обробляється, її встановлення й закріплення на верстаті, закріплення й положення інструмента відносно заготовки, а також рух різання. Інструмент показують у положенні, що відповідає закінченню оброблення поверхні заготовки. Оброблювану поверхню виділяють іншим кольором або стовщеними лініями. На таких схемах показують характер руху різання, наприклад обертальний чи поступальний.

Закріплення заготовки зображують напівконструктивно або умовними знаками відповідно до ДСТУ 3.1107–83.

У процесі різання розрізняють оброблювану поверхню 1, з якої зрізується припуск, оброблену поверхню 3, з якої припуск зрізано, і поверхню різання 2, утворену в процесі оброблення головною різальною кромкою інструмента.

2.2 Методи формотворення поверхні

Просторову форму деталі визначає комбінація різних поверхонь. Для забезпечення оброблення заготовки конструктор прагне використовувати найбільш прості геометричні поверхні: плоскі, кругові, циліндричні, кульові, конічні, торові та ін. Будь-яка поверхня являє собою сукупність послідовних положень слідів лінії, яку називають **твірною**, що рухається по іншій лінії, яку називають **напрямною**. Наприклад, для утворення колової циліндри-

чної поверхні необхідно пряму лінію (твірну) переміщати по колу (по напрямній).

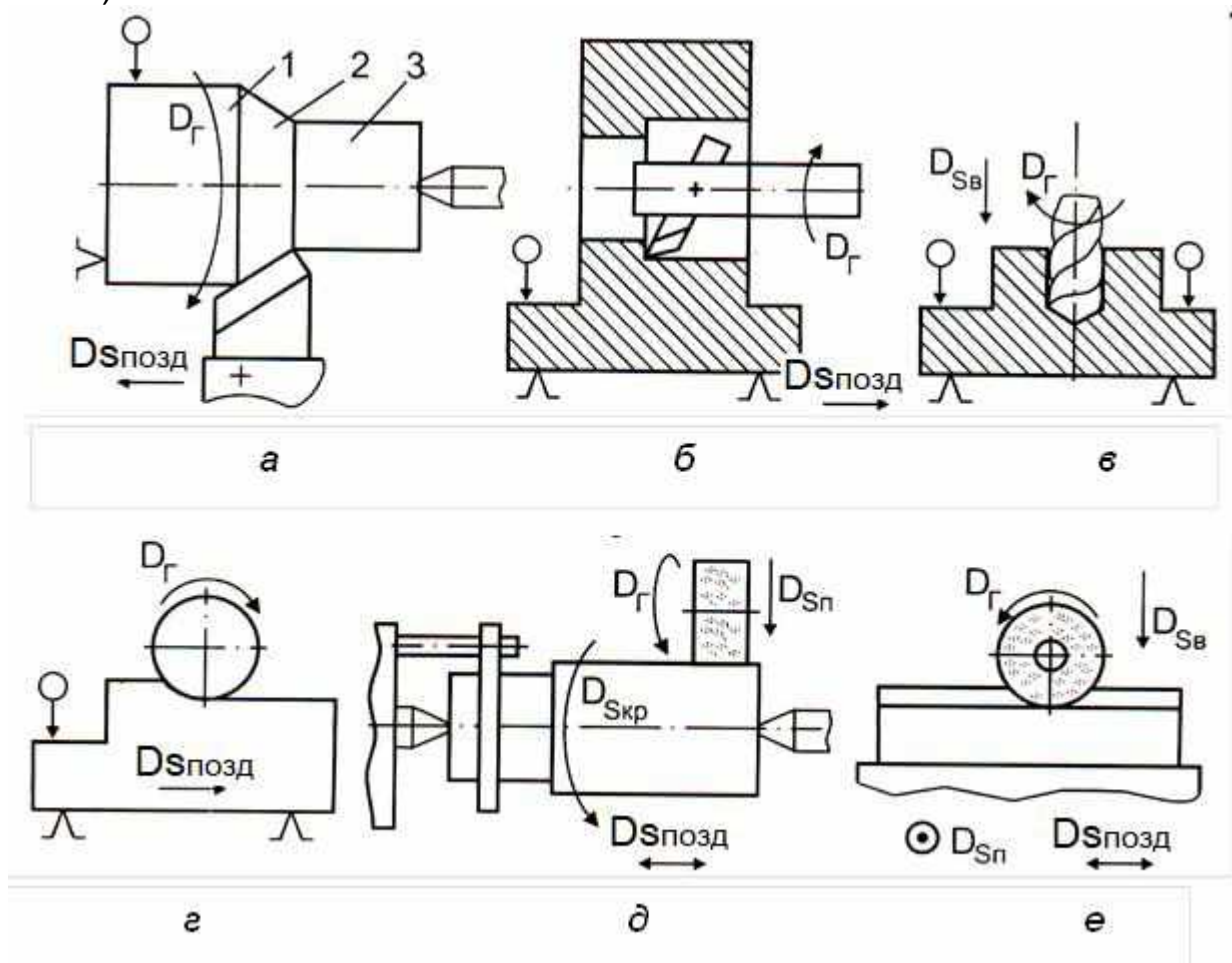


Рисунок 2.3 – Елементи схем оброблення й схеми оброблення заготовки точінням (а), розточуванням (б), свердлінням (в), фрезеруванням (г), шліфуванням на круглошліфувальному (д) і плоскошліфувальному (е) верстатах; D_r – головний рух різання; $D_{S_{позд}}$ – поздовжній рух подачі; $D_{S_{в}}$ – вертикальний рух подачі; $D_{S_{п}}$ – поперечний рух подачі; $D_{S_{кр}}$ – круговий рух подачі (значком \odot позначено губки токарного патрона, що затискає деталь, яка справа підперта центром, значком ∇ позначено нерухому опору, до якої притискається деталь)

При обробленні поверхонь на металорізальних верстатах твірні й напрямні лінії в більшості випадків є уявними й відтворюються в часі комбінацією рухів заготовки й інструмента, швидкості яких є строго узгодженими. Рухи різання є формотвірними. Під час механічного оброблення заготовок деталей машин реалізуються в основному чотири **методи формотворення** поверхонь: копіювання, слідів, дотикання й обкочування.

Утворення поверхонь методом **копіювання** полягає в тому, що різальна кромка інструмента є реальною твірною лінією 1 (рисунок 2.4, а). Напрямна лінія 2 відтворюється в часі обертанням заготовки. Тут формотвірним є плавний рух різання. Рух подачі необхідний для того, щоб одержати

геометричну поверхню певного розміру. Метод копіювання використовують під час оброблення фасонних поверхонь деталей на металорізальних верстатах: токарних, фрезерних, протяжних. Недоліком методу в більшості випадків є великі сили, що діють на оброблювану деталь та інструмент.

Утворення поверхонь за **методом слідів** полягає в тому, що твірна лінія 1 є траєкторією руху точки вершини головної різальної кромки інструмента, а напрямна лінія 2 – траєкторією руху заготовки (рисунок 2.4, б). Тут формотвірними є рухи різання. Цей метод формотворення поверхонь деталі набув найбільшого поширення.

Утворення поверхонь за **методом дотикання** полягає в тому, що твірною лінією 1 є різальна кромка інструмента (рисунок 2.4, в), а напрямною лінією 2 – дотична до кількох геометричних допоміжних ліній – траєкторія точок різальної кромки інструмента. У цьому випадку формотвірним є рух подачі.

Утворення поверхонь за **методом обкочування** полягає в тому, що напрямна лінія 2 відтворюється рухом заготовки. Твірна лінія 1 виходить, як обвідна кількох послідовних положень різальної кромки інструмента відносно заготовки (рисунок 2.4, г) унаслідок узгодження швидкості головного руху різання зі швидкістю руху подачі. Швидкості руху узгоджуються так, що за час проходження відстані L круглий різець здійснює один повний оберт навколо своєї осі обертання. Тут усі три рухи є формотвірними.

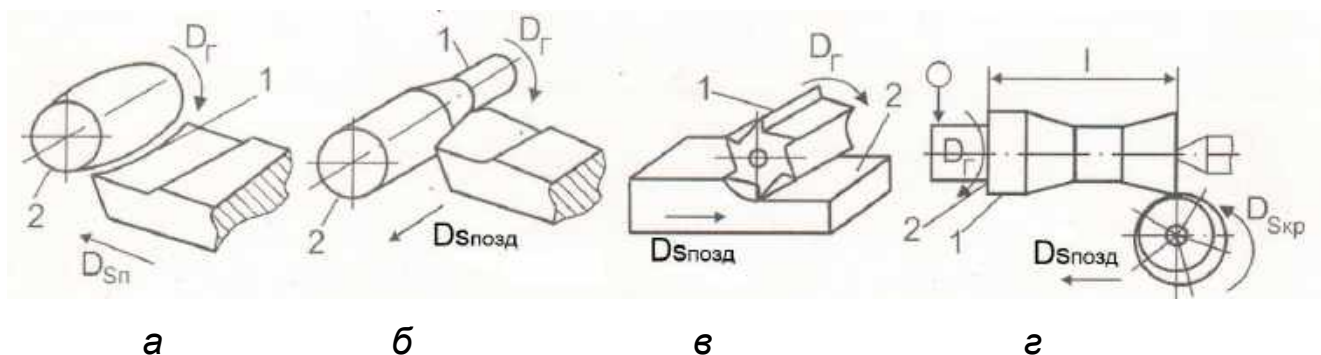


Рисунок 2.4 – Схеми формотворення поверхонь

Під *режимом різання* розуміють сукупність значень швидкості головного руху різання, швидкості руху подачі і глибини різання.

Швидкістю головного руху різання (V) називають відстань, пройдену точкою різальної кромки відносно заготовки в напрямку головного руху різання в одиницю часу.

Швидкістю руху подачі називають шлях точки різальної кромки інструмента відносно заготовки в напрямку руху подачі в одиницю часу або на один оберт інструмента.

Глибиною різання (t) називають відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями заготовки, виміряну перпендикулярно до останньої і пройдену за один робочий хід інструмента.

Фізичні процеси, що відбуваються під час різання. Різання металів – складний процес взаємодії різального інструмента й заготовки, що супроводжується певними фізичними явищами, наприклад деформуванням шару, що зрізується, нагріванням, виникненням залишкових напружень у деталі тощо.

Спрощено різання можна подати у вигляді такої схеми. У початковий момент різання, коли різець, що рухається під дією сили P (рисунок 2.5), удавлюється в метал, у шарі, що зрізується, спочатку виникають пружні деформації, які потім перетворюються на пластичні. Шар зрізуваного металу, що прилягає до різця, набуває складного напружено-деформованого стану. У площині, перпендикулярній до траєкторії руху різця, виникають нормальні напруження σ_y , а в площині, що збігається із траєкторією руху різця, – дотичні напруження τ_x . У точці A значення τ_x є найбільшим, а в міру віддалення від цієї точки зменшується.

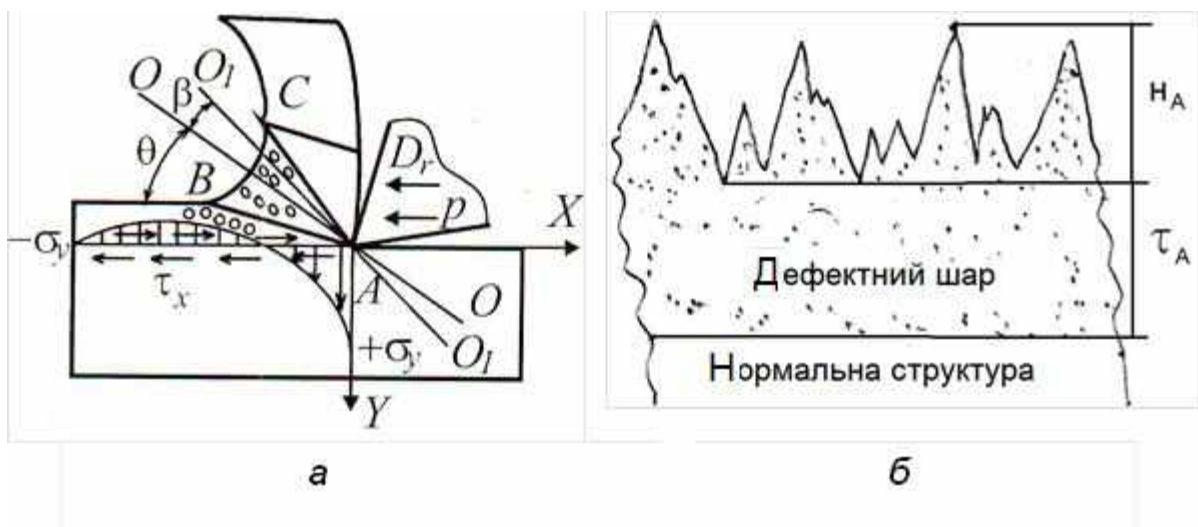


Рисунок 2.5 – Схема напружено-деформованого стану шару металу при обробленні різанням (а) і структура поверхні після механічного оброблення (б): H_A – висота мікронерівностей; τ_A – товщина деформування

Нормальні напруження σ_y спочатку діють як розтягувальні, а потім швидко зменшуються й перетворюються на стискальні. Шар зрізуваного металу зміцнюється в зоні утворення стружки ВАС відносно основного матеріалу й відокремлюється від нього, тобто утворюється стружка. Спочатку стружка рухається по передній грані різця, а потім відокремлюється від нього. У цій зоні стружка деформується й нагрівається через тертя.

Характер деформування зрізуваного шару залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, геометричних параметрів різального клина інструмента, режиму різання, умов оброблення. При різанні пластичних металів переважають пластичні деформації, при різанні крихких матеріалів переважає відколювання. Вид стружки, що утворилася,

свідчить про характер процесів у зоні різання й визначає стійкість різального інструмента, шорсткість обробленої поверхні, силу різання, складність її відведення із зони різання й видалення із цеху.

Поверхня, оброблена різцями, має виступи й западини, величина яких оцінюється висотою мікронерівностей. Для дефектного шару заготовки τ_a з відносними напруженнями й зміненою структурою до зменшення цих параметрів приводить зменшення швидкостей оброблення й товщини зрізаного шару та збільшення кількості тепла, відведеного із зони різання. Наприклад, після чорнового обточування зовнішньої циліндричної поверхні $H_A = 15 \dots 100$ мкм і $\tau_A = 40 \dots 60$ мкм, а після чистового обточування $H_A = 5 \dots 45$ мкм і $\tau_A = 30 \dots 40$ мкм.

Деформування і зрізання із заготовки шару металу відбувається під дією зовнішньої сили P , прикладеної з боку інструмента до заготовки, що обробляється. Робота деформування й руйнування матеріалу заготовки витрачається на пружне й пластичне деформування металу, його руйнування, подолання сил тертя задньої грані різця об заготовку й стружки об його передню грань.

Унаслідок опору металу різанню виникають реактивні сили, що діють на різальний інструмент. Уважають, що точка прикладення реактивної сили знаходиться на головній різальній кромці інструмента. Абсолютна величина, точка прикладення й напрямок у просторі рівнодійної сили в процесі різання змінюються. Це може спричинити вібрацію системи верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПД) і призвести до зниження точності оброблення й збільшення шорсткості поверхні, що обробляється.

Різання супроводжується утворенням теплоти. Кількість теплоти, Дж/с, є прямо пропорційною добутку швидкості різання й зусилля різання. Причинами утворення теплоти є пружні й пластичні деформації в зоні стружкоутворення, тертя стружки об передню грань клина, тертя його задньої грані об поверхню різання й поверхню, що обробляється.

Залежно від технологічного методу й способу оброблення стружка, що відходить, знімає 25...35 % усієї теплоти, що виділяється, заготовка поглинає 10...50 %, а інструмент – 2...8 %.

Теплоутворення негативно впливає на процес різання:

- нагрівання інструмента до високих температур (800...1000 °С) знижує його твердість і різальні властивості, потребується застосування спеціальних матеріалів для виготовлення різальних інструментів;

- нагрівання інструмента й деталі сприяє зміненню їх розмірів, деталь при нагріванні починає деформуватися, її температурне поле є неоднорідним, що призводить до появи залишкових напружень;

- теплота, що виділилася, негативно впливає на чистоту навколишнього середовища в цеху й на роботу систем верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК).

Результатом пружного й пластичного деформування матеріалу заготовки, що обробляється, є **зміцнення (наклеп)** поверхневого шару деталі. Це виявляється в підвищенні її поверхневої твердості (до двох разів), виникненні на поверхні залишкових розтягувальних напружень та інших шкідливих явищ. Для зниження впливу цих явищ необхідно застосовувати більш гострий інструмент, більш м'які режими оброблення, зменшувати сили, що діють на оброблювану деталь, і використовувати мастильно-охолодні рідини (МОР).

Унаслідок фізичної суті процесу різання і явищ, що виникають при цьому, технологічні процеси оброблення різанням заготовок мають таку структуру: чорнова обробка (обдирання) – термообробка, що знімає залишкові напруження (відпал) – чистова обробка – термообробка, що надає поверхні заданих властивостей (загартовування, азотування, цементування тощо) – обробний процес (шліфування, хонінгування).

2.3 Оброблення заготовок на токарних верстатах

Оброблення великих заготовок і внутрішніх поверхонь циліндричних заготовок здійснюється на токарних верстатах. Схеми основних видів обробки таких поверхонь показано на рисунку 2.6.

Ці схеми можна реалізувати на універсальних токарних верстатах, напівавтоматах, автоматах і верстатах з ЧПК. Оброблення поверхонь здійснюється з поздовжнім або поперечним рухом подачі. Формотворення поверхонь під час оброблення з поздовжнім рухом подачі здійснюється за методом слідів, під час оброблення з поперечним рухом подачі – в основному за методом копіювання. Переміщення інструментів у напрямку руху подачі залежать від типу верстата, і керування ними здійснюється вручну (на універсальних верстатах), від кулачків і копирів (на напівавтоматах та автоматах) або за керувальними командами програми системи верстата з ЧПК.

Зовнішні циліндричні поверхні обточують прямими або упорними прохідними різцями. Заготовки гладких валів обточують, установлюючи їх у центри, де вони й підтримуються за допомогою рухомих опор – люнетів.

На токарних верстатах, крім зображених на рисунку 2.6, можна нарізати зовнішню і внутрішню різі плашкою та мітчиком (після попереднього свердління отвору) і зенкувати їх, здійснювати розгортання отворів, які виконуються, накочування певних виступів на зовнішній поверхні, а також багато інших операцій.

Різальними інструментами, що використовуються під час оброблення, є різці різної форми, свердла, зенкери, розвертки, мітчики і плашки, деякі види фрез, різні накатки для деформування поверхні, а також абразивні матеріали у вигляді стрічок, шкурочок, брусків.

Для закріплення деталей застосовуються універсальні пристрої (дво-, три- й чотирикулачкові патрони), а також спеціальні пристрої, що сприяють

зменшенню витрат часу на затиснення-розкріплення деталі й підвищенню точності базування й кріплення деталі.

При токарному обробленні застосовується інтенсивне охолодження зони різання за допомогою мастильно-охолодних рідин.

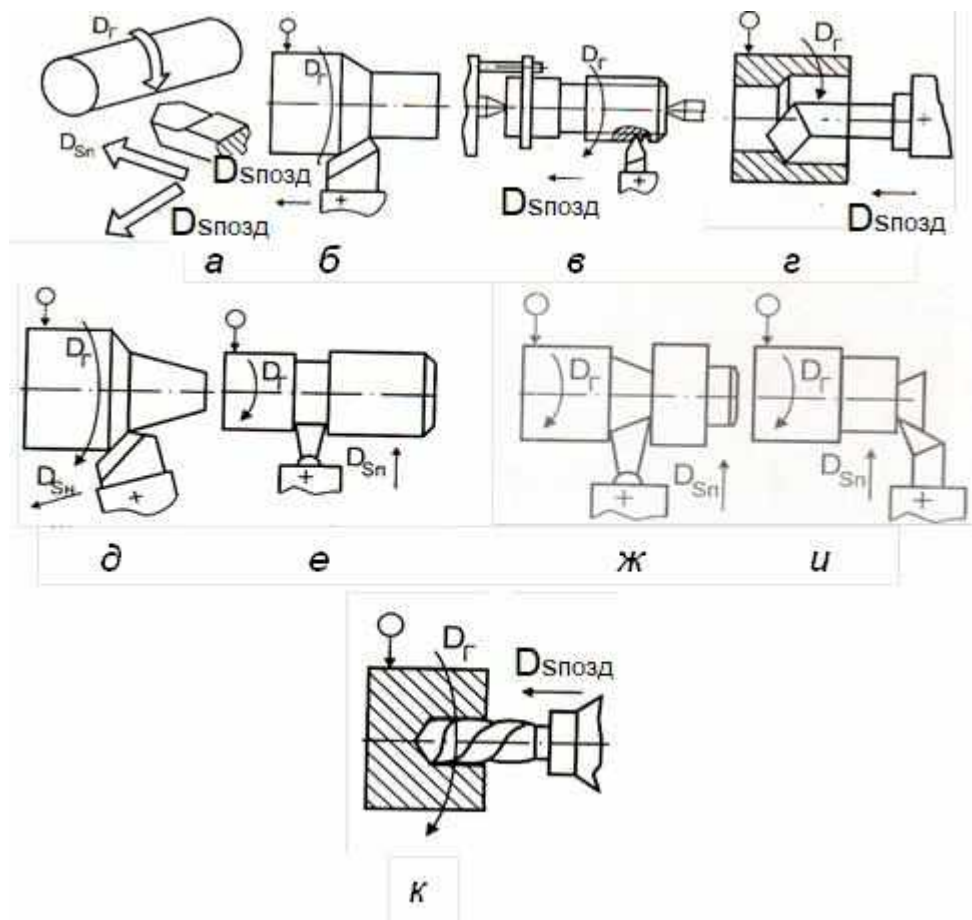
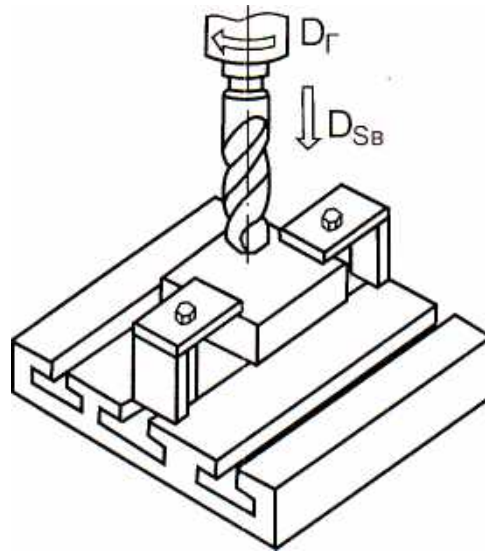


Рисунок 2.6 – Схеми оброблення поверхнь заготовок на токарно-гвинторізному верстаті: а – рух різання (D_r – головний; $D_{спл}$ – поперечної подачі; $D_{спозд}$ – поздовжньої подачі; D_n – похилої подачі); б – обточування зовнішньої циліндричної поверхні; в – нарізування різи різцем; г – розточування внутрішньої циліндричної поверхні; д – обточування зовнішньої конічної поверхні (прямий конус); е – формотворення прямої канавки; ж – обрізування деталі; и – торцювання поверхні; к – свердління отвору

2.4 Оброблення заготовок на свердлильних верстатах

Під час свердління отримують внутрішні циліндричні поверхні (рідше конічні) відносно малого розміру методом копіювання. Основним різальним інструментом є свердло, якому передаються рухи різання: головний – обертальний, подачі – поступальний.

Схеми виконання різних операцій на свердлильних верстатах зображено на рисунку 2.7.



а

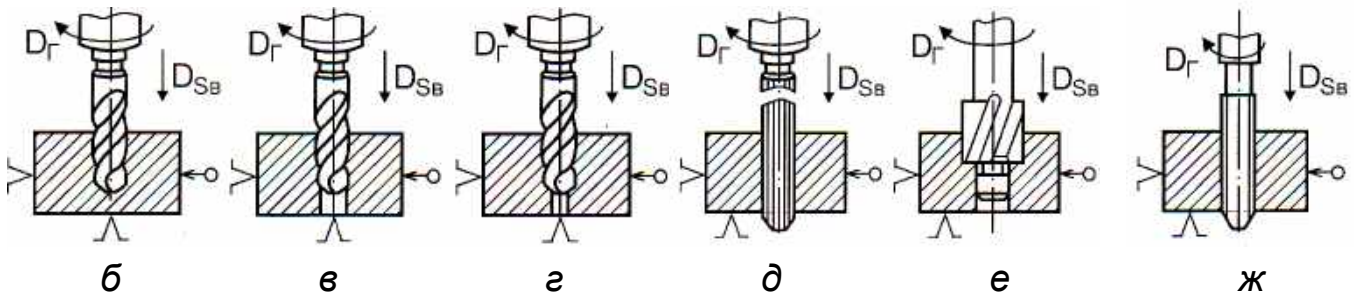


Рисунок 2.7 – Загальна схема рухів подач (а) і схеми оброблення поверхонь на свердлильних верстатах: б – свердління; в – розсвердлювання; г – зенкерування; д – розгортання; е – травлення; ж – нарізування різи мІтчиком

До параметрів режиму різання при свердлінні відносять швидкість різання V , подачу S і глибину різання t .

Швидкість різання, м/хв, визначається формулою

$$V = \pi D n / 1000,$$

де D – діаметр інструмента, мм; n – швидкість обертання інструмента, хв⁻¹.

Глибина різання при свердлінні $t = 0,5D$, а при розсвердлюванні, зенкеруванні й розгортанні отвору в заготовці (діаметром d) $t = 0,5(D - d)$.

Перед обробленням на свердлильних верстатах заготовку встановлюють за допомогою універсальних і спеціальних пристроїв – кондукторів. Спеціальні пристрої застосовують у багатосерійному й масовому виробництві для швидкого й точного встановлення заготовки відносно інструмента. Кожний такий пристрій зазвичай використовується тільки для однієї заго-

товки. Універсальні пристрої застосовуються в одиничному й дрібносерійному виробництві. До таких належать, наприклад, машинні лещата, поворотні столи, притискні планки, призми.

При обробленні на свердлильних верстатах з ЧПК великий ефект дає використання універсальнозбірних, збірно-розбірних, універсальних налагоджувальних та інших верстатних пристроїв багаторазового застосування.

На свердлильних верстатах здійснюють свердління, зенкерування, розгортання, зенкування, травлення, нарізування різі й оброблення складних комбінованих поверхонь. Свердлінням одержують наскрізні й глухі циліндричні отвори. Розсвердлювання спіральним свердлом застосовують для збільшення діаметра отвору. Діаметр отвору під розсвердлювання вибирають так, щоб поперечна різальна кромка в роботі не брала участі. Зенкерування (рисунок 2.7, *г*) також застосовують для збільшення діаметра отвору заготовки. На відміну від розсвердлювання зенкерування забезпечує більшу продуктивність і вищу точність оброблення.

Розгортанням одержують високу точність і малу шорсткість обробленої поверхні. Розгортають циліндричні й конічні отвори. Для розгортання конічних отворів циліндричні отвори в заготовці спочатку обробляють конічним східчастим зенкером, потім виконують конічне розгортання зі стружкорозподільними канавками й остаточно – конічне розгортання із гладкими різальними кромками.

Зенкуванням обробляють конічні поглиблення під головки болтів і гвинтів.

2.5 Оброблення заготовок на розточувальних верстатах

Круглі отвори у великих заготовках обробляють на розточувальних верстатах. Основні схеми такої обробки показано на рисунку 2.8.

На горизонтально-розточувальних верстатах, що не мають планшайби та радіального супорта, внутрішні циліндричні поверхні великого діаметра та зовнішні циліндричні поверхні обробляють фрезеруванням. У цьому випадку система ЧПК забезпечує одночасний поступальний рух подачі заготовки й обертальний рух подачі інструмента. Вертикальну площину можна фрезерувати торцевою насадною фрезою або спеціальним різцем.

При використанні спеціальних пристроїв і на горизонтально-розточувальному верстаті можна обробляти конічні й фасонні поверхні. Різи нарізують спеціальними різцями й мітчиками.

Поверхні зі складним контуром обробляють фрезеруванням. На горизонтально-розточувальних верстатах заготовки також обробляють свердлами, зенкерами та розвертками.

Основним видом робіт на координатно-розточувальних верстатах є розточування циліндричних отворів консольними оправками. На цих верс-

татах можна обробляти кожний отвір з дуже високою точністю й забезпечувати точну відстань між отворами.

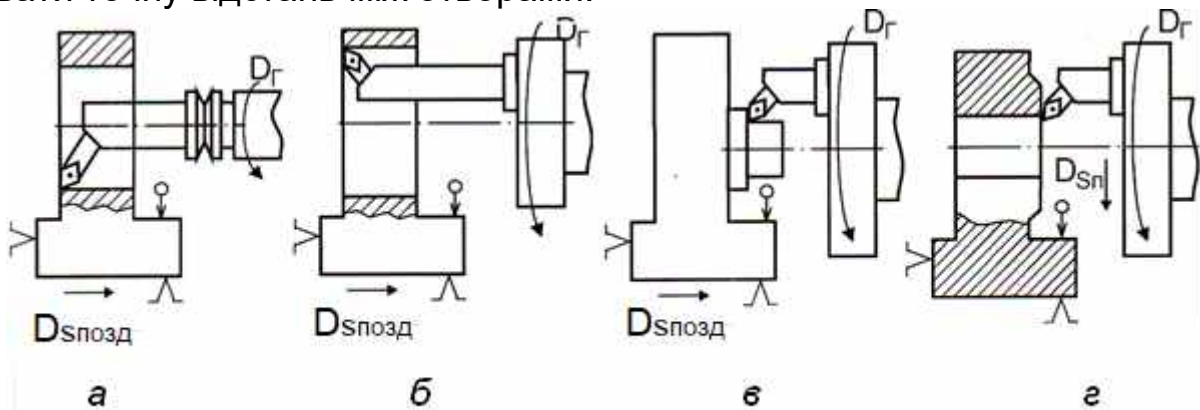


Рисунок 2.8 – Схеми оброблення поверхонь на розточувальних верстатах: а – розточування отворів відносно невеликого діаметра різцем, установленим на обертовій штанзі; б – розточування отворів великого діаметра різцем, установленим на радіальному супорті; в – оброблення зовнішніх циліндричних поверхонь; г – оброблення торцевих поверхонь різцем

Необхідний для цього точний відлік переміщень заготовки відносно інструмента здійснюють за допомогою спеціальних оптичних пристроїв, що дають змогу сполучити вісь отвору, що обробляється, з віссю шпинделя з похибкою не більше 0,001 мм. В інструментальному виробництві координатно-розточувальні верстати використовують також для контролю лінійних розмірів і розмічання високоточних заготовок.

Алмазно-розточувальні верстати мають високі точність і твердість, характеризуються високими швидкостями різання (100...1000 м/хв), малими подачами (0,01...0,15 мм/оберт) і невеликими глибинами різання (0,05...0,30 мм).

Як інструмент використовуються розточувальні різці, закріплені в консольних оправках. Різальну частину інструмента виготовляють із твердих сплавів, керамічних матеріалів та алмазу.

2.6 Оброблення заготовок на фрезерних верстатах

Фрезерування – це високопродуктивний і поширений спосіб формотворення поверхонь деталей багатолезовим різальним інструментом – фрезами. Фрезерування характеризується безперервним обертальним головним рухом інструмента й поступальним рухом подачі заготовки. У деяких випадках заготовка здійснює круговий або гвинтовий рух подачі.

Оброблення ведуть на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах (рисунок 2.9), а також на консольних верстатах з горизонтальним або вертикальним розташуванням осі обертання інструмента. Їх випускають як з ручним керуванням, так і з ЧПК. Верстати одного типорозміру ма-

ють багато уніфікованих частин, наприклад столи, полозків, консолей, коробки швидкостей тощо. Верстати використовують для виконання багатьох фрезерних робіт на заготовках різних габаритних розмірів і маси в одиничному й дрібносерійному виробництві. У станині 1 (рисунок 2.9, а) універсального горизонтально-фрезерного верстата з ЧПК змонтовано шпindel 2, у якому закріплюють інструменти. На напрямних хобота 3 установлюють підвіски 4, що є додатковими опорами для довгої оправки з інструментом. Фреза зі шпинделем здійснює обертальний головний рух D_r . Заготовку встановлюють на столі 5. Разом зі столом заготовка здійснює поздовжній $D_{\text{Спозд}}$ (переміщення стола по напрямних поперечного полозка 6), поперечний $D_{\text{Сп}}$ (переміщення поперечного полозка по напрямних консолях 7) і вертикальний $D_{\text{Св}}$ (переміщення консолей по вертикальних напрямних станини) рухи подачі.

Універсальний вертикально-фрезерний верстат з ЧПК відрізняється від горизонтально-фрезерного вертикальним розташуванням осі шпинделя 1 і тим, що його шпиндельна головка 2 (рисунок 2.9, б) може повертатися в площині поздовжнього руху подачі.

Поздовжньо-фрезерні верстати бувають одно- і двостоякові. Ці верстати призначено для оброблення заготовок великих корпусних деталей у середньосерійному виробництві.

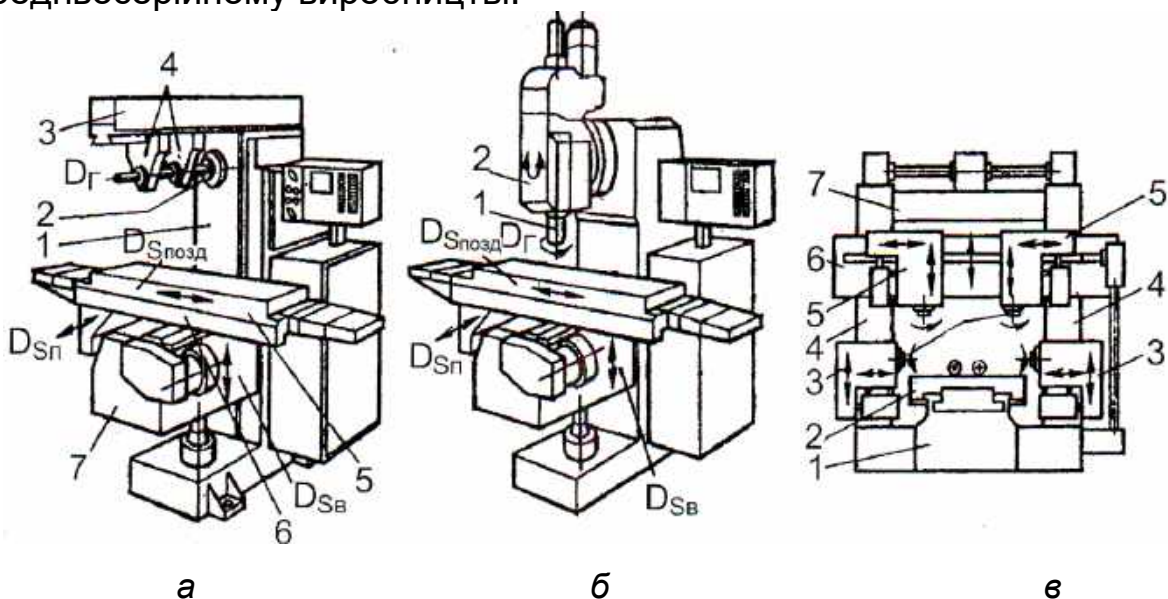


Рисунок 2.9 – Основні види фрезерних верстатів: а – горизонтальний (1 – станина; 2 – шпindel; 3 – хобот; 4 – підвіска; 5 – стіл; 6 – поперечний полозок; 7 – консоль); б – вертикальний (1 – шпindel; 2 – головка); в – поздовжньо-фрезерний (1 – шпindel; 2 – стіл; 3, 6 – шпиндельна бабка; 4 – стояки; 5 – траверса; 7 – портал)

Залежно від виду поверхні, яка обробляється, та устаткування, яке використовується при фрезеруванні, застосовують фрези різних типів (рисунок 2.10). Різальні кромки циліндричних і дискових однобічних фрез роз-

ташовані по зовнішній поверхні. Різальні зуби дискових двосторонніх, торцевих насадних, кінцевих і шпонкових фрез розташовані на зовнішній циліндричній поверхні й на одному з торців. Різальні зуби дискових тристоронніх фрез розташовані на двох торцях і на циліндричній поверхні.

Циліндричною фрезою можна обробляти тільки одну площину, дво-сторонньою дисковою можна одночасно обробляти дві, а дисковою три-сторонньою можна обробляти взаємно перпендикулярні площини.

Фрези кожного типу можуть мати різні конструктивні виконання. Наприклад, різальні зуби фрез виготовляють прямими (рисунок 2.10, в, д) або гвинтовими (рисунок 2.10, а). Гвинтові зуби забезпечують плавну безударну роботу фрези. Фрези бувають цільними або збірними. Цільні фрези виготовляють із інструментальної сталі типу P18, P12, P9. У збірних фрезах корпус виконується з більш дешевої інструментальної сталі типу В8, В7, а зуби – з твердого сплаву ВК6, ВК8, завдяки чому витримують ударне навантаження.

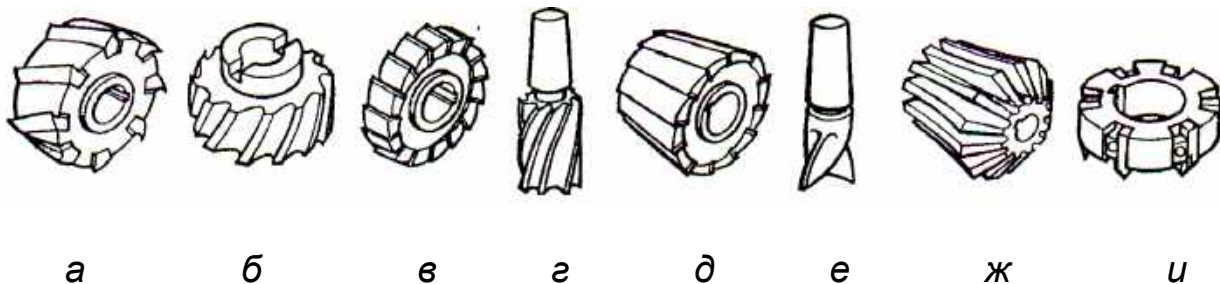


Рисунок 2.10 – Фрези для оброблення поверхонь: а – циліндричні; б – торцеві; в – дискові; г – кінцеві; д – однокутові; е – шпонкові; ж – фасонні; и – торцеві насадні зі вставними різцями

Оброблення заготовок на універсальних фрезерних верстатах

Швидкість різання при фрезеруванні – колова швидкість обертання фрези, м/мм,

$$V = \pi D_{\phi} n / 1000,$$

де D_{ϕ} – діаметр фрези, мм; n – швидкість обертання фрези, хв^{-1} .

Подача визначається як відстань, на яку переміщається оброблювана заготовка відносно фрези на один зуб (S_z , мм/зуб) або за час одного оберту фрези (S_o , мм/об). У загальному випадку глибина різання t визначається як відстань між обробленою й оброблюваною поверхнями заготовки, а ширина фрезерування – як ширина поверхні, що фрезерується за один робочий хід.

Для оброблення заготовку встановлюють і закріплюють на столі верстата (рисунок 2.11). При невеликому масштабі виробництва для цього за-

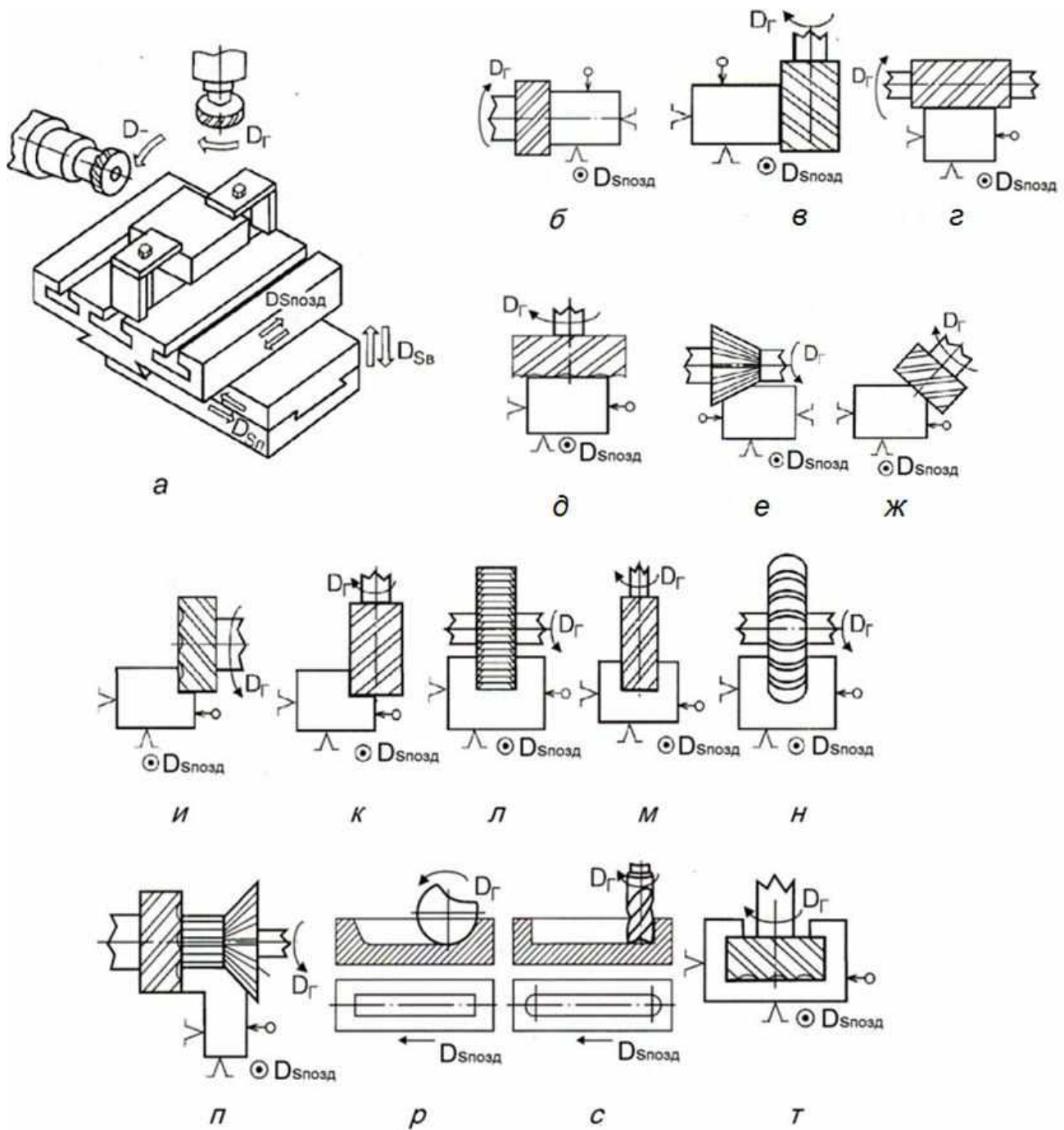


Рисунок 2.11 – Закріплення заготовки на столі (а) і схеми оброблення поверхонь на універсальних фрезерних верстатах: б, в – фрезерування вертикальної площини; г, д – фрезерування горизонтальної площини; е, ж – фрезерування похилої площини; и, к – фрезерування уступу по двох площинах; л, м – фрезерування прямокутного паза; н – фрезерування криволінійного паза; п – одночасне фрезерування трьох поверхонь; р, с – фрезерування шпонкового паза дисковою й пальцевою фрезами; т – фрезерування Т-подібного паза

стосовують універсальні пристрої (машинні лещата, притискні планки). При масовому виробництві заготовку закріплюють у спеціальних пристроях.

При обробленні заготовки на горизонтально-фрезерному верстаті зазвичай застосовується поздовжній рух подачі, поперечний і вертикальний рухи подачі використовуються рідше. На вертикально-фрезерному верстаті застосовують поздовжній і поперечний рухи подачі залежно від просторового розташування поверхні, що обробляється. Вертикальний рух подачі при обробленні заготовок на цьому верстаті звичайно використовують як установлювальний.

Розглянемо схеми оброблення поверхонь на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах (див. рисунок 2.11). Вертикальні площини на горизонтально-фрезерному верстаті (рисунок 2.11, а) фрезерують торцевими насадними фрезами або фрезерними головками, а на вертикально-фрезерних – циліндричними й дисковими фрезами.

У більшості робіт, що виконуються для підвищення стійкості фрезерування, використовують таку комбінацію головного руху й руху подачі, коли заготовка насувається на інструмент (зустрічне фрезерування), а не навпаки (попутне фрезерування).

На багатоцільових верстатах із програмним керуванням, наприклад обробних центрах, виконують кілька операцій, наприклад фрезерування, розточування, свердління, зенкування, розгортання при одній установці заготовки і зміні інструмента.

2.7 Оброблення заготовок на протяжних верстатах

Протягання – це високопродуктивний спосіб формотворення зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей багатолезовим інструментом – протяжкою.

Формування поверхонь проводиться копіюванням з великою точністю форми і розмірів різальних кромek інструмента на заготовці, що обробляється (рисунок 2.12).

Передня замкова частина I_1 круглої протяжки (рисунок 2.12, а) призначена для закріплення протяжки в робочому патроні верстата. Шийка I_2 полегшує подачу протягання до робочого патрона через отвір у заготовці. Передня напрямна частина I_3 призначена для центрування заготовки відносно осі протяжки. Її діаметр відповідає розміру отвору в заготовці. На різальній частині I_4 розташовані різальні зуби, які зрізують припуск. Висота кожного наступного зуба робочої частини більше висоти попереднього на величину s_z (рисунок 2.12, б) – подачу на зуб. При обробленні деталі з різних матеріалів цю величину беруть такою: 0,005...0,3 мм. Кількість різальних зубів робочої частини визначають за формулою

$$z_p = h / S_z ,$$

де h – припуск на обробку поверхні протягання.

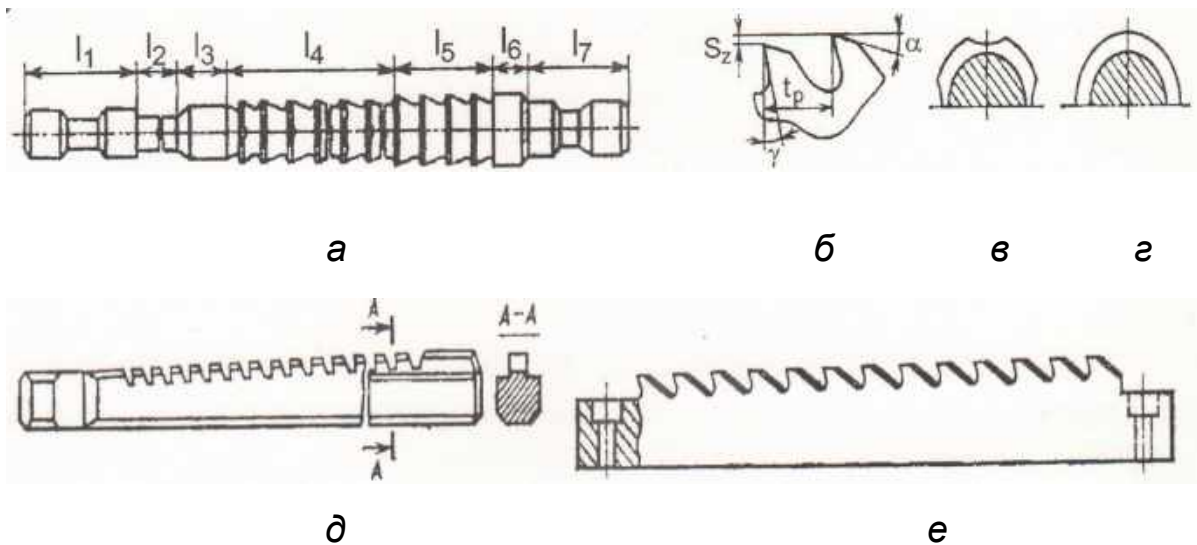


Рисунок 2.12 – Інструменти для оброблення поверхонь заготовок на протяжних верстатах: а – круга протяжка; б – поздовжній переріз двох зубів; в – поперечний переріз робочої частини протяжки; г – поперечний переріз калібрувальної ділянки; д – протяжка для формотворення паза в отворі; е – протяжка для виготовлення зовнішньої площини

Крок зубів різальної частини протяжки вибирають так, щоб у западині кожного зуба розміщлася вся стружка, що зрізується, і в роботі одночасно брало участь не менше трьох зубів. На робочій частині чергуються зуби з западинами (рисунок 2.12, в) і без них (рисунок 2.12, г). Це полегшує стружкотворення й розміщення стружки в западинах зубів, а також збільшує стійкість інструмента.

Калібрувальна частина l_6 надає оброблюваній поверхні остаточних розмірів і шорсткості. На цій частині розташовується 5–6 зубів одного розміру без стружковідвідних канавок (див. рисунок 2.12, г). Крок зубів калібрувальної частини беруть таким, що дорівнює $(0,6...0,7) t_V$. Іноді калібрування здійснюється вирівнювальними елементами, які пружно й пластично деформують поверхневий шар обробленої поверхні.

Задня напрямна частина l_h призначена для центрування заготовки відносно протяжки до виходу з отвору останнього калібрувального зуба. Діаметр задньої напрямної частини відповідає розміру обробленої поверхні. Передня й задня напрямні запобігають перекосу протяжки відносно заготовки й неминучій у таких випадках поломці різальних і калібрувальних зубів. Задню замкову частину l_7 роблять у тих випадках, коли передбачається закріплення протяжки в патроні допоміжної каретки.

Розрізняють вільне й координатне протягання. При вільному протяганні забезпечуються тільки розмір, форма й шорсткість обробленої пове-

рхні. При координатному протяганні додатково витримують розміри, що визначаються положенням обробленої поверхні відносно інших поверхонь деталі. Для цього застосовують пристрої, що фіксують положення заготовки відносно протяжки. При вільному протяганні заготовка самовідновлюється відносно протяжки.

Під час оброблення циліндричних отворів на горизонтально-протяжному верстаті (рисунок 2.13) кругла протяжка 1, здійснюючи поступальний головний рух різання, обробляє заготовку 2, установлену на вертикальній площині упорної втулки 3.

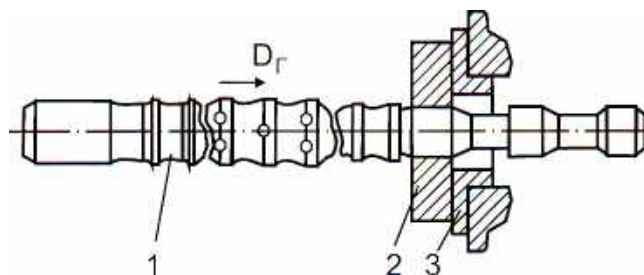


Рисунок 2.13 – Схема оброблення поверхні на протяжних верстатах

Для заготовок, опорна поверхня яких може бути неперпендикулярною до осі отвору, що обробляється, замість твердої опори застосовують самоустановлювальну, наприклад сферичного типу. За такою самою схемою обробляють внутрішні поверхні інших профілів (квадратного, зі шліцями).

Під час оброблення гвинтових шліців і внутрішніх гвинтових зубів одночасно з поступальним головним рухом протяжки D_r заготовка або інструмент здійснює коловий рух подачі D_{s_k} відповідно до кроку гвинтової поверхні.

Для оброблення отвору використовується також короткий інструмент – прошивка. Прошивка працює на стиск, а для її переміщення застосовується прес.

Зовнішнє протягання плоских і фасонних лінійчатих поверхонь здійснюють на вертикально-протяжних або горизонтально-протяжних верстатах, причому головний рух виконує інструмент або заготовка. При протяганні зовнішніх поверхонь обертання крім головного руху плоского протягання необхідним є коловий рух подачі заготовки.

Продуктивність процесу протягання дуже висока, можливе одержання складних за формою отворів, але потребується складний спеціальний інструмент.

2.8 Оброблення заготовок на зубообробних верстатах

Для ефективної роботи більшості зубчастих коліс необхідно, щоб кожен зуб був утворений евольвентними циліндричними, конічними або іншими поверхнями. При виготовленні будь-яких зубчастих коліс видаляють матеріал заготовки в западинах між зубами. Для профілювання евольвентних зубчастих коліс застосовуються методи копіювання й обкочування (огинання) (рисунок 2.14).

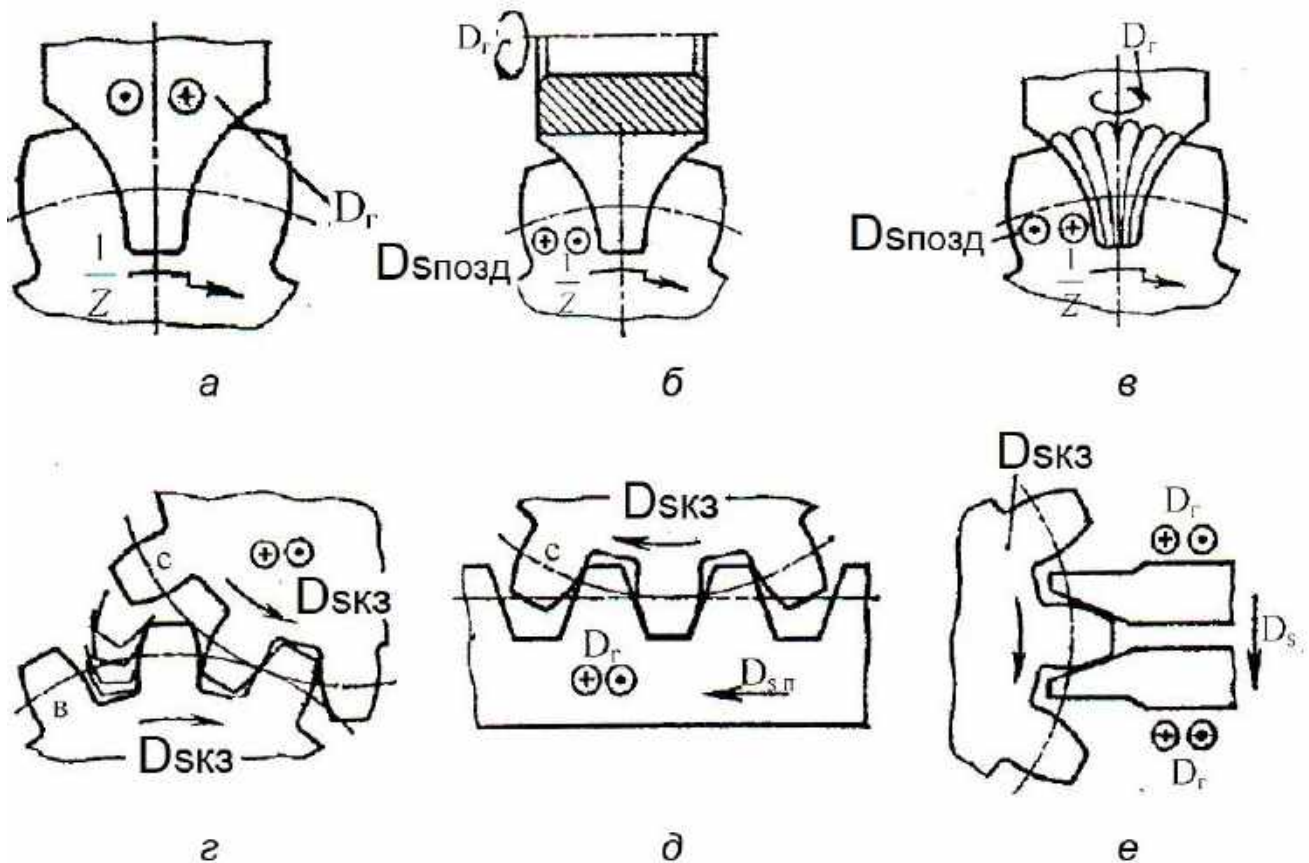


Рисунок 2.14 – Схема профілювання зубчастих евольвентних поверхонь

При одержанні западин методом копіювання необхідно використовувати такий профіль різальної частини фасонного інструмента, що відповідає профілю западин. Різальним інструментом, наприклад фасонним різцем (рисунок 2.14, а), обробляють канавку (западину) так, що утворюються дві бічні сторони двох сусідніх зубів. Потім заготовку повертають на $1/Z$ частину кола (Z – кількість зубів заготовки) й різцем обробляють сусідню канавку і т. д.

Ті ж геометричні параметри зубчастого колеса можна одержати, якщо використовувати фасонну дискову фрезу (рисунок 2.14, б) або фасонну пальцеву фрезу (рисунок 2.14, в). Профіль западини буде однаковим по всій товщині колеса, якщо заготовці надати рух подачі $D_{спозд}$.

Метод копіювання характеризується порівняно низькою продуктивністю. Цей метод не забезпечує високої точності коліс, крім того, для його застосування потребується великий запас інструментів з різними профілями. Цей метод може бути реалізований на універсальних металорізальних верстатах, оснащених ділильними пристроями.

Найбільшого поширення набув метод обкочування, який базується на зачепленні й погоджених рухах зубчастої пари, що складається із заготовки й інструмента. Таку пару можна подати як заготовку, яка здійснює коловий рух подачі $Ds_{кз}$, та інструмент у вигляді зубчастого колеса, що здійснює рух $Ds_{кз}$ (рисунок 2.14, з). Обертний рух елементів пари є строго узгодженим. Для того щоб інструмент не видавлював, а вирізав западину, він має здійснювати зворотно-поступальне переміщення для забезпечення головного руху різання D_f . При здійсненні всіх зазначених рухів в один елемент пари обкочуються по-іншому, евольвентний профіль зуба виходить як обвідна дуже великої кількості положень зубів інструмента відносно заготовки. Узгодженість колових рухів заготовки й інструмента, тобто їх обертальних рухів, полягає в тому, щоб кола В і С у точці дотику не ковзали.

Евольвентний профіль зуба буде отриманий і в тому випадку, якщо зубчасту пару утворюють заготовка й інструмент у вигляді зубчастої рейки (рисунок 2.14, д). Узгодженість руху елементів пари полягає в коченні кола С по прямій D без ковзання, що має забезпечувати металорізальний верстат.

2.9. Оброблення заготовок на шліфувальних верстатах

За допомогою шліфування можна здійснювати чистове оброблення й обробну операцію заготовок з високою точністю. **Шліфуванням** називають оброблення різанням за допомогою інструмента, який складається з безлічі абразивних зерен і здійснює з високою швидкістю головний рух різання. Абразивні зерна розташовані в шліфувальному колі безладно, утримуються сполучним шаром. Рух подачі, що може бути обертальним або зворотно-поступальним і поступальним, надається заготовці.

На круглошліфувальних верстатах найбільшого поширення набуло шліфування в центрах. Кругле шліфування (рисунок 2.15) проводиться при обертальному головному русі різання D_f і коловому русі подачі $Ds_{кол}$ заготовки.

При шліфуванні з позовжнім рухом подачі (рисунок 2.15, а) заготовка обертається рівномірно й здійснює зворотно-поступальний рух. Наприкінці ходу заготовки шліфувальний круг переміщується на відстань $8p$, і на наступному ході зрізується шар металу певної глибини. Шліфування триває доки, доки не буде отримано необхідний розмір. Якщо необхідно шліфувати іншу ділянку заготовки (східчастий вал), то положення шліфуваль-

ної бабки й стола змінюють з допомогою системи керування. Наступний східець вала шліфується аналогічно попередньому.

Для підвищення продуктивності процесу шліфування верстати оснащують спеціальними швидкодійними повідковими пристроями, а також автоматичними вимірювальними пристроями, які призупиняють шліфування в разі отримання необхідного розміру. Наконечники вимірювальних пристроїв контактують із поверхнею, що обробляється, подають сигнал на вимкнення руху подачі, що виключає появу браку.

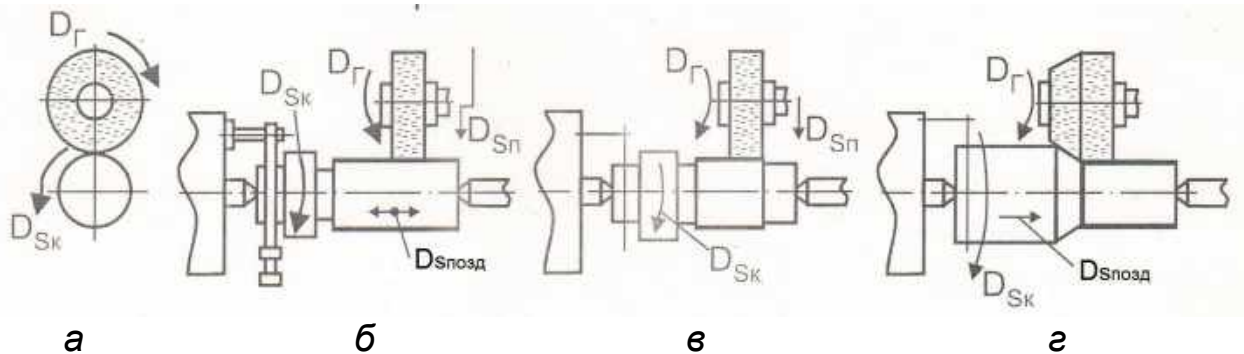


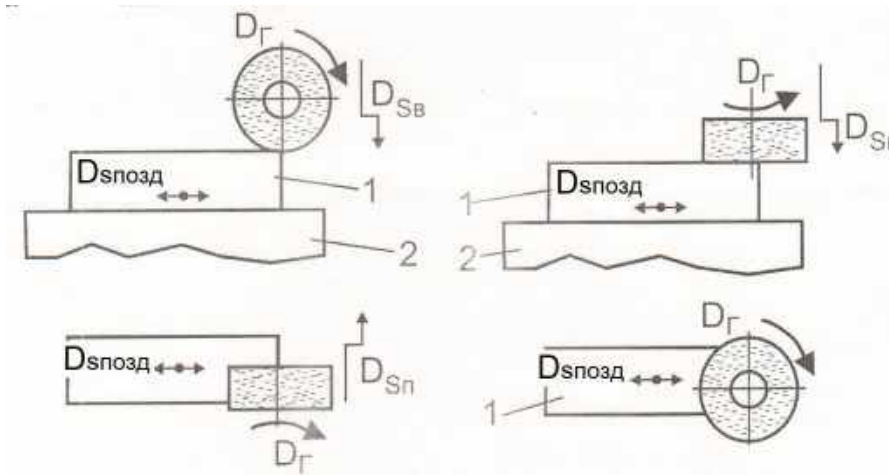
Рисунок 2.15 – Схема круглого шліфування

Основні методи плоского шліфування (рисунок 2.16, а) можна поділити на чотири види. Заготовки 1 закріплюють на прямокутних або круглих столах 2. Прямокутні столи здійснюють зворотно-поступальні рухи, що забезпечує поздовжній рух подачі. Рух подачі на глибину різання здійснюється в крайніх положеннях столів. Поперечний рух подачі є необхідним у тих випадках, коли ширина круга менше ширини заготовки. На таких верстатах виконують також профільне шліфування. Програмне керування дає змогу використовувати шліфувальні круги з алмазовмісним шаром для оброблення складних профілів деталей із твердих сплавів. Круглі столи (рисунок 2.16, б) здійснюють обертальних рух, забезпечуючи коловий рух подачі. Інші рухи здійснюються так само, як рух при шліфуванні на прямокутних столах.

Високопродуктивним є шліфування торцем круга, тому що одночасно в роботі бере участь велика кількість абразивних зерен (рисунок 2.16, в, г). Шліфування периферією круга з використанням прямокутних столів дає змогу виконати велику кількість різноманітних робіт, наприклад шліфування дна паза, профільне шліфування з попереднім заправленням за відповідною формою шліфувального кола, а також виконують інші роботи.

Невелике тепловиділення в цьому випадку приводить до меншого жолоблення заготовок, що шліфуються.

Суттєво підвищити продуктивність оброблення внаслідок жорсткості режиму різання й автоматизації верстатів дає змогу безцентрове шліфування. Під час оброблення заготовку не закріплюють. Для шліфування заготовок типу валів не потребуються центрові отвори. На безцентрово-

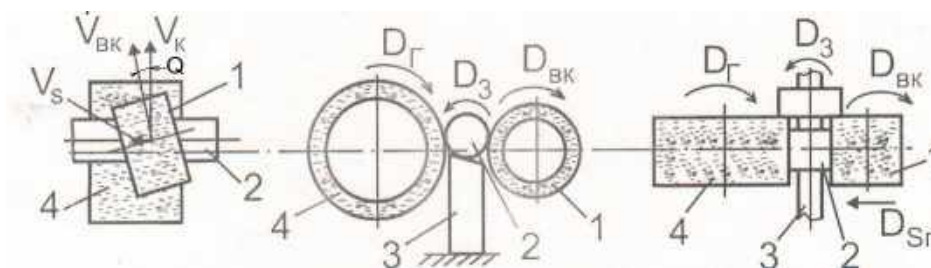


а

б

Рисунок 2.16 – Схема плоского шліфування

шліфувальному верстаті одночасно працюють шліфувальний і ведучий круги. Заготовку кладуть на ніж, і він одночасно контактує з обома кругами. Кожний з кругів періодично піддають виправленню за допомогою спеціальних механізмів.



а

б

Рисунок 2.17 – Схема безцентрового шліфування

При шліфуванні за схемою, показаною на рисунку 2.17, а, заготовку 2 установлюють на ніж 3 між робочим 4 і ведучим 1 кругами, які обертаються в одному напрямку, але з різними швидкостями – відповідно V_k і V_{BK} . Тертя між ведучим кругом і заготовкою є більшим, ніж між заготовкою й робочим кругом унаслідок чого заготовка обертається зі швидкістю, близькою до колової швидкості ведучого круга. Перед шліфуванням ведучий круг установлюють похило під кутом $Q = 1...7^\circ$ до осі обертання заготовки. Вектор швидкості V_{BK} при русі D_{BK} до цього круга можна розкласти на складові. При цьому відбувається рух поздовжньої передачі. Зі швидкістю V_s заготовка переміщається вздовж ножа і може бути відшліфована по всій довжині. Чим більше кут Q , тим більше подача. Після остаточного шліфування

першої заготовки можна покласти на ніж для шліфування по черзі всі заготовки, що залишилися. Такі верстати легко автоматизувати, установивши похилий лоток, по якому заготовки будуть сповзати на ніж, зазнавати шліфування й падати в тару.

Якщо шліфують заготовку з уступами (рисунок 2.17, б), то бабку ведучого круга не повертають; вона переміщається по напрямній станині з рухом подачі D_{sn} до певного положення (упору). При цьому застосовується метод врізання. Перед шліфуванням ведучий круг відводять убік, а заготовку кладуть на ніж і потім підтискають її ведучим кругом. Оброблення проводять з поперечним рухом подачі доти, доки не буде отримано необхідний розмір деталі. Для шліфування поверхні методом врізання шліфувальний круг правлять відповідно до профілю деталі.

Аналогічний принцип роботи використовується при шліфуванні на безцентрових внутрішньошліфувальних верстатах для оброблення циліндричних і конічних отворів у заготовках, що мають зовнішню циліндричну поверхню. Заготовку встановлюють по зовнішній поверхні між трьома обертовими елементами: опорним роликком, притискним роликком і ведучим барабаном. Шліфувальний круг розташовують в отворі консольно, він рухається поступально вздовж осі отвору.

На різешліфувальних верстатах шліфувальний круг правлять за формою западин різі, яку зазвичай попередньо нарізають на інших верстатах. Заготовка, установлена в центрах різешліфувального верстата, за один свій оберт переміщається в осьовому напрямку на крок різі.

Профілі деяких автомобільних деталей є досить складними, і при їх шліфуванні необхідно використовувати декілька копірувальних пристроїв. Оброблення може бути спрощеним, якщо абразивний інструмент у процесі різання може огинати складну форму поверхні, що шліфується. Таким інструментом є нескінченна абразивна стрічка. На спеціалізованих стрічкошліфувальних верстатах використовують стрічку, виготовлену з паперу або тканини з нанесеним на неї шаром абразиву. Швидкість руху стрічки й тиски в процесі різання вибирають залежно від властивостей матеріалу заготовки, яка обробляється. Відповідні спеціалізовані шліфувальні верстати використовують для оброблення шліцевих валів, профілів зубів зубчастих коліс, складних фасонних поверхонь деталей, штампів, прес-форм тощо.

Широко використовують заточувальні верстати для оброблення різних різальних інструментів. При заточенні на точильно-шліфувальних верстатах різці встановлюють на поворотний столик або підручник, а потім вони переміщаються до шліфувального круга.

При заточенні спіральних свердел шліфувальні круги здійснюють відносні формотвірні рухи. При найпоширенішому методі заточення передбачено обертання свердла навколо осі й одночасно зворотно-поступальний його рух. Усі ці рухи кінематично зв'язані між собою. Для заточення інструментів деяких видів застосовують спеціалізовані верстати.

2.10 Обробні операції як види обробки

Полірування. Полірування заготовок застосовують для зменшення шорсткості поверхні. Поверхні обробляють полірувальними пастами або абразивними зернами, змішаними з мастилом. Ці матеріали наносять на швидкообертові еластичні круги або коливні щоки.

Притирання. Поверхні деталей, оброблені на металорізальних верстатах, завжди мають відхилення від правильних геометричних форм і заданих розмірів. Хвилястість, відхилення від площини, циліндричності та інші відхилення можна усунути за допомогою притирання (доведення). Процес здійснюється за допомогою притирів, які мають відповідну геометричну форму. На притир наносять притиральну пасту або дрібний абразивний порошок зі сполучною рідиною. Притир і заготовка здійснюють відносні рухи.

Оброблення заготовок хонінгуванням і суперфінішуванням. Хонінгування застосовують для того, щоб одержати отвори з малим відхиленням розмірів і параметрів шорсткості, а також для створення мікропрофілю поверхні, що обробляється, у вигляді сітки. Такий профіль є необхідним для втримання на стінках отвору мастильного матеріалу під час роботи машини, наприклад двигуна внутрішнього згоряння. Найчастіше обробляють наскрізні отвори і рідше – східчасті, зазвичай нерухомо закріплених заготовок (рисунок 2.18).

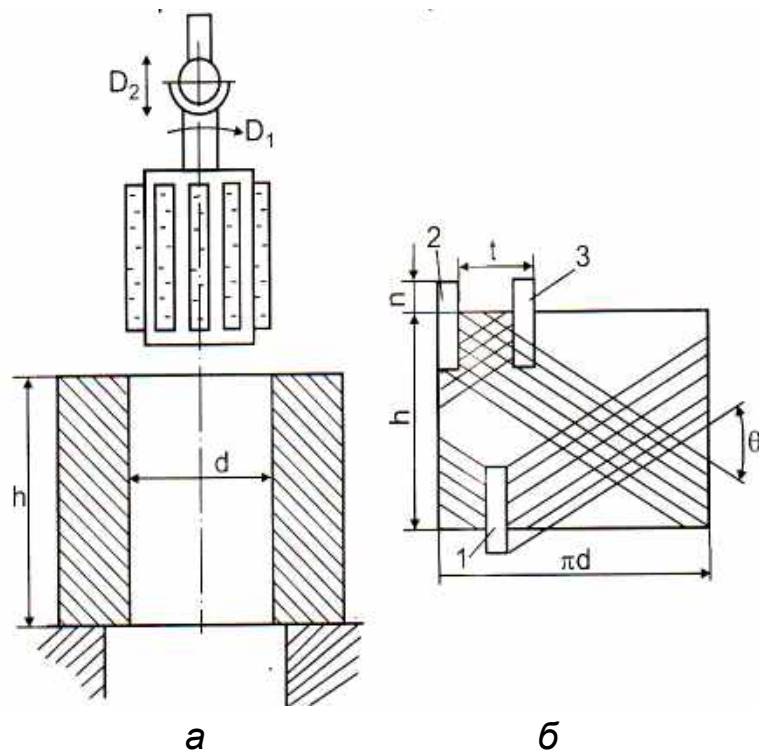


Рисунок 2.18 – Схема хонінгування

Поверхню заготовки обробляють дрібнозернистими абразивними брусками, закріпленими в хонінгувальній головці – хонінгу, що є різальним інструментом. Інструмент обертається (D_1) та одночасно здійснює зворотно-поступальний рух (D_2) уздовж осі отвору, що обробляється (рисунок 2.18, а). Співвідношення швидкостей зазначених рухів становить 1 : 10 і визначає умови різання.

Унаслідок комбінації рухів інструмента на поверхні, що обробляється, виникає сітка мікроскопічних гвинтових подряпин – слідів переміщення абразивних зерен. Кут θ перетинання цих слідів залежить від співвідношення швидкостей, тому необхідний вигляд сітки на поверхні отвору можна одержувати в процесі хонінгування. На рисунок 2.18, б зображено розгортання внутрішньої циліндричної поверхні заготовки й схему утворення сітки.

Абразивні бруски завжди контактують з оброблюваною поверхнею, тому що вони розсовуються в радіальних напрямках механічними, пневматичними й гідравлічними пристроями, що забезпечують тиск брусків.

Хонінгуванням виправляють такі відхилення форми попередньої обробки, як овальність, конусність, відхилення від циліндричності тощо, якщо загальна товщина шару, що знімається, не перебільшує 0,01...0,20 мм. Відхилення розташування осей отвору цим методом зазвичай не виправляють. Розрізняють попереднє й чистове хонінгування. Попереднє хонінгування застосовується для виправлення похибок попереднього оброблення, а чистове – для одержання малої шорсткості поверхні.

Суперфінішування. Зовнішні поверхні обробляють суперфінішуванням в основному для того, щоб зменшити шорсткість, що залишилася від попереднього оброблення. При цьому змінюється висота й вид мікрориступів. Оброблена поверхня має сітчастий рельєф, а кожний мікрориступ скруглюється. Фактична поверхня контакту з іншими деталями збільшується, унаслідок чого забезпечуються більш сприятливі умови взаємодії тертьових поверхонь. Суперфінішуванням обробляють плоскі, циліндричні (зовнішні й внутрішні), конічні й сферичні поверхні заготовок із загартованої сталі, рідше – із чавуну і бронзи.

2.11 Металорізальні верстати

Металорізальні верстати призначено для виконання операцій різних технологічних методів оброблення різанням. Ці верстати різняться призначенням, ступенем автоматизації, кількістю головних робочих органів, габаритними розмірами, ступенем точності тощо.

Для кожного технологічного методу оброблення металорізальні верстати класифікують залежно від виду різального інструмента, характеру оброблення поверхонь і схеми оброблення. Відповідно до цього всі верстати поділяють на токарні, свердлильні, шліфувальні, полірувальні, довідні, зубообробні, фрезерні, стругальні, розрізні, різьобробні тощо.

Класифікація за призначенням характеризує ступінь універсальності верстата. Розрізняють верстати універсальні, широкого застосування, спеціалізовані й спеціальні.

За ступенем автоматизації розрізняють верстати з ручним керуванням, напівавтомати, автомати й верстати із програмним керуванням.

За кількістю головних робочих органів верстати поділяються на одношпиндельні, багатшпиндельні, односупортні, багатосупортні тощо.

За конструктивними ознаками виділяють верстати з істотними конструктивними особливостями – вертикальні, горизонтальні, радіальні тощо.

Залежно від точності розрізняють верстати нормальної, підвищеної, високої й особливо високої точності.

Існують спеціальні класифікатори металорізальних верстатів, за якими можна визначити шифр марки верстата і за цим шифром вибрати певний верстат.

Привід металорізальних верстатів – це сукупність механізмів, що забезпечують заданий закон руху виконавчих органів (наприклад, супорта з інструментом). Механізми привода розрізняють за принципом дії: електричні, механічні й гідравлічні.

Передавальні механізми (передачі) передають рух від одного елемента до іншого. Застосовуються ремінні, ланцюгові, зубчасті й черв'ячні передачі.

Для підвищення продуктивності праці застосовуються автоматичні лінії – системи автоматично діючих верстатів, зв'язаних традиційними механізмами, що мають єдиний керувальний пристрій.

Залежно від системи керування робочими органами розрізняють верстати з цикловим (ЦПК) і числовим (ЧПК) програмним керуванням.

У машинобудуванні більшість металорізальних верстатів використовується в умовах одиничного й дрібносерійного виробництва. Тому все більшого поширення набувають верстати, оснащені системами, що забезпечують швидкий перехід на будь-яку програму роботи. Такі верстати, продуктивність і точність спеціалізованого устаткування яких поєднується зі швидкістю переналагодження універсального устаткування, одержали назву **верстатів із програмним керування (ПК)**.

Найбільш розвиненими є верстати із **числовим програмним керуванням (ЧПК)**. Інформація про заданий рух робочих органів тут подається сукупністю певних чисел, записаних у закодованому вигляді на програмно-носії. Носіями програми можуть бути перфоровані карти і стрічки, магнітні стрічки й диски, фотоплівки. Вітчизняна промисловість випускає токарні, свердлильні, розточувальні, фрезерні, шліфувальні, електроерозійні та інші верстати з ЧПК.

Системи ЧПК за технологічною ознакою поділяються на **позиційні** (координатні) і **контурні** (безперервні). Позиційне керування забезпечує чітку фіксацію інструмента відносно заготовки з координатами, заданими програмою. При цьому швидкість переміщення рухомих частин верстата з

точністю оброблення безпосередньо не пов'язана. Позиційні системи застосовують, наприклад, у розточувальних верстатах для встановлення осі шпинделя по осях отворів, що розточуються; у токарних верстатах – для переміщення різця під час оброблення східчастих валів. При контурному керуванні в будь-який момент часу забезпечується необхідне відносне положення інструмента й заготовки. Контурними системами, які називають також функціональними, оснащуються, наприклад, фрезерні й токарні верстати, призначені для оброблення складних криволінійних поверхонь. Точність оброблення тут залежить від узгодженості переміщень інструмента й заготовки по двох і більше координатних осях.

2.12 Інструментальні матеріали

Для реалізації економічно доцільних технологічних процесів оброблення різанням необхідно використовувати спеціальні матеріали для виготовлення лез різального інструмента.

Різальні інструменти працюють в умовах тертя великих навантажень і високих температур, тертя, тому ці матеріали повинні мати особливо високі фізико-механічні властивості – твердість, міцність, ударну в'язкість, теплостійкість, зносостійкість тощо.

Для виготовлення різальних інструментів застосовуються:

1. Вуглецеві інструментальні сталі – В10А, В12А (містять 1,3 % С), HRC_3 60–62. Робочі температури до 200 °С. Допустимі швидкості різання 15...18 м/хв. Використовуються для виготовлення мітчиків, плашок, ножівкових полотен, свердел і зенкерів малих діаметрів.

2. Леговані інструментальні сталі (леговані W, Cr, V, Si). Теплостійкість 220...260 °С, HRC_3 62–64. Допустимі швидкості різання 15...25 м/хв. Це матеріали 9ХВГ, ХВГ, ХГ, 6ХС та ін., застосовуються для виготовлення протяжок, свердел, мітчиків, плашок, розверток.

3. Швидкорізальні сталі, які містять, 5,5...19,0 % W, 3,8...4,4 % Cr, 2...10 % Со і V. Це сталі Р9, Р12, Р18, Р6М3, Р6М5, Р18Ф2 тощо. Теплостійкість 600...640 °С, HRC_3 62–65. Допустима швидкість різання – до 100 м/хв.

4. Тверді сплави. Це тверді розчини карбідів (WC, TiC, TaC) у металевому кобальті. Їх застосовують у вигляді пластинок певної форми, які виготовляються методом порошкової металургії. Тверді сплави поділяються на групи:

– вольфрамкові (ВК2, ВК3...ВК20, ВК25); титановольфрамкові (Т30 ДО4, Т15 ДО6) і титановольфрамотанталові (ТТ7 ДО12, ТТ10 ДО8Б і т. д.), HRC_3 86–92. Теплостійкість 800...1250 °С. Допустимі швидкості різання – до 800 м/хв. Пластинки твердого сплаву припаюють до державок або корпусів інструментів (мідними твердими припоями). Недолік – низька пластичність. Використовують для виготовлення різців, фрез, свердел, зенкерів;

- синтетичні надтверді й керамічні інструментальні матеріали – композиційні матеріали на основі нітриду бору й окису алюмінію;
 - композит 01 – ельбор, композит 02 – белбор і т. д.;
 - оксидна кераміка: ЦМ332, В-13, ВОК-60. Мають високу міцність, зносостійкість, але є крихкими й дорого коштують;
 - абразивні матеріали – дрібнозернисті порошкові речовини, що використовуються для виготовлення абразивних інструментів: електрокорунд, карбід кремнію, синтетичні алмази тощо. Теплостійкість 1200...1800 °С. Допустима швидкість різання 15...100 м/с. Застосовуються для виготовлення шліфувальних і заточувальних кругів і пластинок;
 - алмази (природні й синтетичні), що застосовуються для виготовлення кругів, пилок, стрічок, брусків та окремих інструментів, призначених насамперед для профілювання шліфувальних кругів.
- Інструмент випускають спеціальні інструментальні виробництва.

3 ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТА ЇХ СТАНУ

Руйнування деталей машин і механізмів частіше починається з поверхні, тому якості її оброблення приділяється особлива увага. Для підвищення несної здатності високонавантажених деталей необхідно враховувати залишкові напруження в них і вживати технологічних заходів для їх змінення (створення) у позитивному напрямку. Це можна здійснити тільки після виконання попередніх технологічних перетворень, термічної, термохімічної, поверхнево-пластичної та інших видів обробки поверхонь.

Технологічний вплив на заготовку при перетворенні форми й об'єму буває настільки значним (утворення наклепу й накопичення залишкових напружень), що може призвести до руйнування деталі або неможливості проводити відповідні перетворення. Для відновлення властивостей матеріалу і стану його структури між операціями попередніх перетворень проводиться відновне оброблення структури матеріалу: міжопераційний відпал, гартування алюмінієвих сплавів, гартування сталі перед шліфуванням тощо.

На цей час розроблено й використовується досить багато процесів перетворення поверхонь деталей. Результати перетворень такими процесами часто забезпечують досягнення мети, але мають різні показники технологічної спадковості. Для загального уявлення про безліч таких процесів їх треба класифікувати, наприклад, у такому вигляді.

Можна виокремити групу процесів термічної й технологічної обробки (таблиця 3.1), яку, своєю чергою, можна умовно поділити на такі групи: пом'якшувальні, зміцнювальні й зміцнювальні з дифузним насиченням.

Таблиця 3.1 – Процеси термічної і технологічної обробки

Пом'якшувальні процеси	Зміцнювальні процеси	Зміцнювальні з дифузним насиченням
Відпал Відпуск Нормалізація Ізотермічний відпал Нормалізація з високим відпуском Інші	Загартування Загартування з відпуском Ізотермічне загартування Старіння Термофіксація Комбінація термообробки й обробки тиском Інші	Цементация з загартуванням і відпуском Цементация з загартуванням і відпуском Фосфатування Ціанування Інші

У групі процесів створення прокатки (таблиця 3.2) можна виділити такі групи: електрохімічні, хімічні, механічні.

Таблиця 3.2 – Процеси прокатки

Електрохімічні	Хімічні	Механічні
Цинкування Кадміювання Медніння Нікелювання Хромування (декоративне й тверде) Сріблення Лудіння Анодування Інші	Оксидування Фосфатування Азотування Інші	Плакування Протектування Фарбування Змащення Інші

Усі процеси цих двох груп можуть поєднуватися з процесами перетворення розмірів і між собою.

3.1 Термічна й термохімічна обробка сталі і сплавів

Нагріваючи й потім охолоджуючи металеві деталі, можна змінити структуру металу й отримати необхідну міцність. Такий процес називається термічним обробленням. Термічне оброблення має дуже велике значення, оскільки, не змінюючи складу сталі, можна отримати необхідні властивості для забезпечення надійності й довговічності роботи деталей, а також підготувати структуру металу для подальшого механічного оброблення. Термічне оброблення здійснюють при відповідній температурі й певній витримці в тому чи іншому середовищі (повітрі, воді, маслі, розплав-

леній солі). Графік термічного оброблення можна подати у вигляді діаграми «температура – час».

Термічне оброблення поділяється на попереднє й остаточне. Попереднє оброблення застосовується для підготовки структури сталі до операцій механічного оброблення, остаточне – для надання сталі певних механічних властивостей.

До попередніх (пом'якшувальних) видів обробки належать відпал, нормалізація, поліпшення. Твердість деталей після такого оброблення є невеликою.

Як остаточне термічне оброблення застосовуються гартування з відпуском, цементація, нітроцементація та інші процеси, які приводять до підвищення твердості й міцності.

Відпал. Після штампування або кування деталі мають сильно деформовану перенапружену (наклепану) структуру й погано обробляються на металорізальних верстатах. Для отримання рівноважної перлітоферитної структури, яка добре обробляється, деталі піддають повному відпалу. Процес ведеться при нагріванні вище температури перетворення фериту на аустеніт з витримкою для рівномірного прогрівання. Охолодження – повільне разом з піччю.

Виливки піддають повному **гомогенізованому** або **ізотермічному** відпалу.

Нормалізація. Це операція нагрівання сталі на 30...50 °С вище температури перетворення фериту на аустеніт з витримкою й подальшим охолодженням на повітрі. Нормалізацію застосовують для усунення внутрішніх напружень і підготовки структури до механічного оброблення.

Загартування. Послідовність виконання цієї операції полягає в такому: нагрівання на 50 °С вище A_{c3} точки переходу фериту в аустеніт, витримка для прогрівання й швидке охолодження у воді, маслі, розплавленій солі або на повітрі. Ці гартівні середовища наведено в порядку зменшення швидкості охолодження. Після загартування здійснюють відпуск – нагрівання до 400...700 °С, а потім повільне охолодження для змінення структури мартенситу, що утворився.

Відпуск. Процес базується на розпаді структури, зафіксованої загартуванням, і полягає в нагріванні до певної температури, витримці й повільному охолодженні.

Час нагрівання складається з часу поступового нагрівання для запобігання утворенню тріщин і часу витримки для закінчення структурних перетворень. Застосовуються різні методи нагрівання: пічний, у газових або електричних печах, у розплавлених солях (частіше для деталей з алюмінієвих і магнієвих сплавів); електроконтактний; індукційний; електролітичний; електронно-променевий.

Ці методи відрізняються один від одного швидкістю нагрівання, вартістю нагрівання одиниці маси (поверхні) деталі, вартостями витраченої енергії та обладнання.

Для захисту поверхні деталі в нагрівальних пристроях передбачають захисну або контрольовану атмосферу (вакуум, аргон, гелій, CO₂ тощо).

Хіміко-термічна обробка. Це операція насичення поверхні деталі вуглецем (цементация), азотом (азотування) або тим й іншим одночасно (нітроцементация), а також хромом, кремнієм, бором та іншими елементами з подальшим гартуванням.

Суть процесу полягає в тому, що внаслідок дифузії елементів, якими насичується сталь певного складу, утворюється багат шаровий матеріал, що має високу міцність, твердість або інші властивості на поверхні деталі, а всередині є в'язким або м'яким. Товщина насиченого шару становить 0,3...1,0 мм.

Для здійснення таких процесів деталей поміщають у відповідне середовище, нагрівають й витримують у ньому, а потім гартують.

Насичувальне середовище може бути газовим, рідким або твердим. Економічно більш вигідними, менш трудомісткими й більш керованими є газова цементация й нітроцементация. Ціанування проводять у розплавлених солях (NaCN, Na₂CO₂). Температура нагрівання – 700...950 °С, тривалість витримки – 0,5...4,0 год. Сульфідуювання й сульфитування застосовуються для підвищення довговічності роботи інструмента.

Термомеханічна обробка. Ця операція полягає в деформуванні металу в нагрітому стані й безпосередньому охолодженні його. Це спричиняє наклеп і дроблення не тільки макро-, але й мікроструктури внаслідок утворення блоків. При деформуванні виникає рівномірний розподіл дислокаційних бар'єрів, а це значно підвищує міцність, особливо втомну.

Існує два види термомеханічної обробки: високотемпературна (ВТМО); низькотемпературна (НТМО) – аусформінг.

До зміцнювальних видів обробки відносять термомагнітну обробку, зміцнення старінням.

3.2 Поверхнева зміцнювальна обробка

Практично при всіх видах обробки різанням на поверхні створюються залишкові напруження розтягування, що погано позначається на несній здатності деталей і довговічності їх роботи. Для підвищення цих характеристик використовуються методи поверхневої зміцнювальної обробки.

Ці методи ґрунтуються на явищі виникнення на поверхні деталі стискальних напружень при проникненні в неї сферичного індентора (пуансона). При такій пластичній деформації поверхні відбувається наклеп і збільшення її площі, чому перешкоджають недеформовані шари металу під поверхнею, які створюють на поверхні залишкові стискальні напруження, а всередині – розтяжні.

Характерну картину змінення залишкових напружень після обкочування поверхні роликками й змінення її твердості показано на рисунку 3.1.

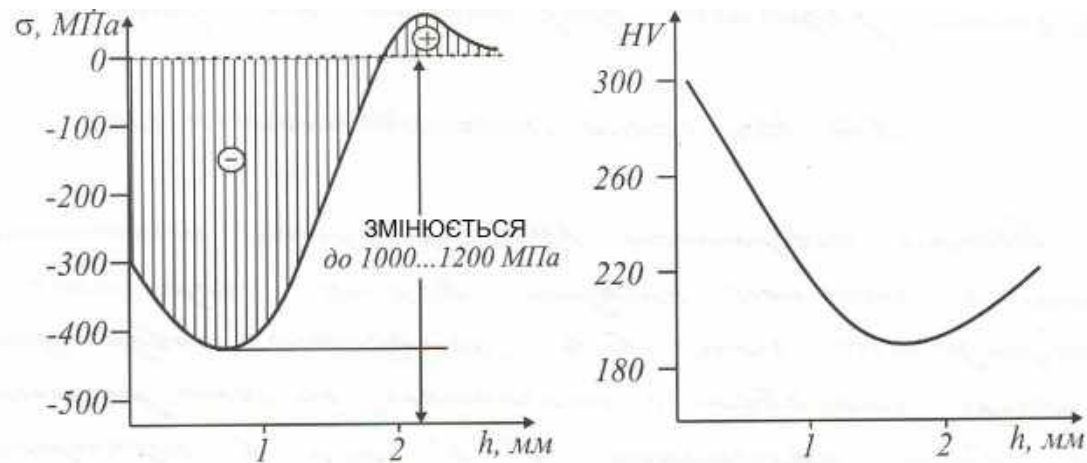


Рисунок 3.1 – Залежність залишкових напружень і твердості від відстані відносно поверхні деталі ($P_{роб} = 2250$ МПа; $\sigma_B = 1000...1100$ МПа)

Методи поверхневого зміцнення:

- дробоструминний наклеп з урахуванням кінетичної енергії потоку чавунного, фарфорового або сталевого дробу, який спрямовується на оброблювану поверхню, швидкісним потоком повітря або роторним дробометом;

- відцентрово-кульковий наклеп;

- накочування поверхні сталеву кулькою або роликком високої твердості (до 60HRC) або алмазне вигладжування оправкою з упаяним у робочу частину алмазом;

- дорнування отворів спеціальним інструментом – дорном з поперечним розміром, більшим за розмір отвору, який під дією зовнішніх сил проштовхується через отвір;

- вплив на поверхню ударними хвилями, що утворюються під час вибуху бризантних вибухових речовин;

- вібрація поверхні з укладеними на ній керамічними кульками.

Вибір того чи іншого способу впливу визначається геометричною формою поверхні, що обробляється, матеріалом заготовки й умовами виробництва.

Товщина деформованого шару x залежить від прикладеної сили Q і границі плинності:

$$\sigma_{0,2} = Q^{0,5} / (2\sigma_{0,2})^{-0,5}.$$

Середні контактні навантаження для низьковуглецевих сталей становлять 1600...1800 МПа, середньовуглецевих – 1800...1900 МПа, високовуглецевих – 2700...3000 МПа. При обкочуванні кульками діаметром 10...20 мм подача становить 0,1...0,2 мм/об при швидкості обкочування 50...1000 м/хв. При алмазному вигладжуванні ці параметри є більшими.

Під час обкочування й вигладжування в зоні контакту підвищується температура (до 350...400 °С). Температура нагрівання не має перевищу-

вати температуру рекристалізації, вище якої знімається ефект зміцнення. Тому операції проводяться із застосуванням мастильно-охолодних рідин.

Поверхнева зміцнювальна обробка є ефективним методом локального зміцнення місць концентрації напружень, унаслідок чого підвищується опір зношенню, корозійній і контактній втомі.

Приклад. Для титанового сплаву ВТ-22 кількість циклів до руйнування становить: після шліфування – 16800; після полірування – 37700; після шліфування й поверхневого зміцнення – 125000.

В автомобілебудуванні для оброблення складних за формою й великих за габаритами деталей найбільш часто застосовуються зміцнювально-обробні процеси.

Віброзміцнення відрізняється від інших методів поверхневого зміцнення економічною доцільністю, простотою, високою продуктивністю й великими технологічними можливостями – можуть оброблятися деталі практично будь-яких розмірів і форм незалежно від матеріалу.

Віброзміцнення можна поєднувати з операціями віброшліфування або віброполірування при одночасному заокругленні гострих країв і видаленні задирок.

Суть процесу можна стисло охарактеризувати так. Робоче середовище, що складається з абразивних або металевих частинок (гранул, кульок), і деталі, що обробляються, поміщені в контейнер (резервуар) віброустановки, зазнають дії механічних коливань з прискореннями (10...15) g (віброшвидкості 1,0...1,2 м/с). Під дією таких прискорень частинки робочого середовища набувають енергії, достатньої для здійснення пластичної деформації поверхневого шару деталі. Маючи високу відносну рухливість, частинки робочого середовища добре «вписуються» у фасонну поверхню деталей, завдяки чому можна зміцнювати складні зовнішні й внутрішні поверхні різних розмірів.

Основними керованими параметрами віброзміцнення, які визначають максимальний наклеп, залишкові напруження й високий клас шорсткості поверхні, є:

- робоче середовище (матеріал і діаметр кульок, матеріал, зернистість і форма абразивного наповнювача);
- амплітуда й частота коливань, що визначають прискорення частинок;
- траєкторія робочого середовища й зміна її кутового положення в часі;
- хімічно активні присадки, що додаються в середовище;
- склад і кількість масла при «мокрому» віброзміцненні.

Віброшліфування деталей з високоміцних сталей абразивними гранулами з зерном більше 50 мкм забезпечує значення шорсткості в межах 1,25, рівень залишкових напружень – до $0,8 \sigma_B$, але до незначної глибини (близько 80 мкм).

Віброполірування забезпечує відповідно шорсткість 0,63, рівень залишкових напружень (0,2...0,4) $\sigma_{\text{г}}$ до глибини менше 50 мкм, а при поліруванні сталевими кульками – до глибини менше 200 мкм.

Напрямок руху робочого середовища істотно впливає на ці параметри. При нормальному куті ударів ($\varphi = 90^\circ$) дія середовища є максимальною, при $\varphi = 0^\circ$ – мінімальною.

Нині час для поверхневого зміцнення використовуються установки з лінійною, площинною й об'ємною траєкторіями коливань (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Установки для віброзміцнення

Установка	Маса завантаження, кг	Об'єм контейнера	Розміри контейнера в плані, мм
ВУД-125	125	50 л – 2 шт.	400×400
ВУД-2000	2000	800 л – 1 шт.	100×2400
ВСУ-2	9000	Змінні контейнери	1400×9000

Вібропривід контейнера – ексцентриковий або за допомогою динамічно незрівноважених маховиків.

Контроль якості й ступеня оброблення здійснюється за допомогою «супутників» або «зразків-свідків» або за режимами оброблення. Робочі середовища – спеціальні рідини (до 5 % об'єму).

Віброабразивна обробка базується на використанні обробної здатності рухливих частинок робочого середовища. Робочі середовища – абразивні частинки й робоча рідина.

Робочий рух – в основному відносний тангенціальний (місцевий і загальний).

Основне призначення оброблення: зняття задирок, облою, скругління гострих країв та очищення поверхні; розмірне віброшліфування для зняття дефектного шару; віброполірування.

Матеріали, що обробляються: алюмінієві й титанові сплави, вуглецеві й леговані сталі.

Пневмодинамічний спосіб зміцнення – використання кінетичної енергії сталевих кульок, набутої під дією струменя стисненого повітря. Оброблення локальних ділянок деталі дає змогу використовувати невелику кількість кульок, але отримувати значний ефект. Спосіб за ефективністю зміцнення перевершує віброзміцнення, але поступається йому за продуктивністю. Застосовуються установки типу ПДН-1, ПДН-2, ручні переносні пневмоголовки ППД-50. Цей спосіб призначено для місцевого зміцнення складних поверхонь: колодязів профілів розніму деталей з алюмінієвих

сплавів; силових сталевих кронштейнів; полок лонжеронів; різних галтелей.

Алмазне вигладжування – процес, при якому відбувається поверхнева пластична деформація (ППД) робочої поверхні. При цьому поліпшується мікрорельєф поверхні (на 2-3 класи), підвищується твердість і збільшуються стискальні напруження в шарі завтовшки 0,3...0,5 мм.

Різновид – накочування роликками.

На заводах фірм «Боїнг», «Макдонел-Дуглас» і «Локхід» широко використовується дробоструминне зміцнення лонжеронів, різних довгомірних профілів, а також панелей крила. Установки різною мірою автоматизовані й випускаються спеціалізованими фірмами.

Панелі крила обробляються як з одного, так і з двох боків. Для оброблення дрібних деталей використовуються віброгалтувальні установки.

3.3 Процеси утворення металевих покриттів

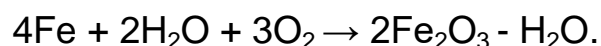
Основними завданнями, які вирішуються за допомогою процесів перетворення поверхні деталі, є: надання поверхні деталі певних фізико-механічних властивостей, що підвищують її роботоздатність; підвищення зносо- та ерозійної стійкості, утомної міцності; надання фрикційних або антифрикційних, декоративних та інших властивостей; підвищення корозійної стійкості поверхонь деталей.

Корозія – це фізико-хімічний процес взаємодії металу з навколишнім середовищем, що призводить до його руйнування. В одній із систем оцінювання швидкості корозії передбачаються певні глибини кородованого шару металу в одиницю часу. Стійкі до корозії метали руйнуються зі швидкістю 0,01...0,10 мм/рік, малостійкі – 0,1...1,0 мм/рік. Якщо метал експлуатується в атмосферних умовах протягом тривалого часу й при цьому має виконувати різноманітні функції (наприклад, рейки, кузов автомобіля), то доводиться враховувати не тільки діючі на нього навантаження, а й можливість руйнування від корозії, а також передбачати необхідні припуски.

За характером середовища, у якому експлуатується виріб, розрізняють основні види корозії: газову, атмосферну й рідинну. Газова корозія відбувається під час експлуатації металу при підвищених температурах і відсутності вологи (наприклад, деталі камер згорання й турбінні лопатки ГТД).

Залежно від хімічного складу середовища розрізняють кислотну, лужну, сольову, морську й річкову атмосферну корозію.

Спрощено взаємодію заліза з водою й киснем можна подати формулою



Продуктом реакції є іржа – пухкий малорозчинний продукт. За наявності електролітів процес прискорюється. Корозія – процес електрохімічний, тому навіть незначні відмінності у складі і структурі поверхні металу за наявності електроліту можуть зумовити утворення електричних потенціалів на ділянках поверхні й появу електричного струму, який називають корозійним струмом. Ділянка поверхні з більш низьким потенціалом (анод) розчиняється, та електрони, що звільняються, переміщуються до ділянки з більш високим потенціалом – до катода. З поверхні анода йони металу переходять у розчин у вигляді катіонів:



Катіони гідратуються, і утворюється нерозчинна сполука Fe_2O_3 , тобто основний корозійний процес полягає в тому, що метал анода переходить у розчин, а катод при цьому залишається захищеним.

У разі нанесення на залізо металу з більш високим електрохімічним потенціалом (нікелю, хрому, свинцю, міді, цинку) захисне покриття створює дифузійний бар'єр на шляху йонів електроліту до поверхні заліза й ізолює поверхню від газів під час хімічної корозії.

Таким чином, для захисту металевої поверхні від корозії необхідно покривати її ізолювальними матеріалами – металевими з певними електрохімічними властивостями, смолами, лаками або фарбами.

Ерозія – фізико-механічний процес поступового руйнування поверхні металевих виробів у потоці газу або рідини, а також під дією механічних впливів або електричних розрядів. Типовими видами ерозії є кавітаційна, газова, пилова.

Завдання підвищення опору металів ерозії вирішується підбором високотвердих, тугоплавких або досить пластичних металів і матеріалів на поверхні деталей.

Нанесення покриттів на поверхні деталей (металевих і неметалевих), або металізація, здійснюється декількома методами:

1. Металізація розпиленням розплавленого металу стиснутим повітрям у спеціальних апаратах з утворенням тонкого шару покриття.

2. Металізація дифузійна – нанесення поверхневих шарів деталей різними металами (Al, Cr, Zn, Be, B, Si та ін.) шляхом дифузії їх із зовнішнього середовища при високій температурі.

3. Металізація запиленням – насичення поверхні деталі йонами різних матеріалів унаслідок високих швидкостей зіткнень, що забезпечують різного роду фізичні ефекти (детонаційного й електромагнітного прискорення, лазерного, плазмового й електронно-променевого впливу). Найчастіше цей процес здійснюється у вакуумі. Застосовується для металізації поверхонь скла, кераміки, кварцу та інших матеріалів або створення на поверхні деталей шару нітриду, карбідів та інших сполук.

4. Гальваностегія (stegö – покриваю) – нанесення захисних або декоративних покриттів на вироби електролітичною осадкою. Це один з найпоширеніших способів.

Усі ці методи мають свої переваги й недоліки в різних умовах виробництва деталей різного призначення.

Одному з найстаріших способів – гальванічному нанесенню покриття – передують знежирення поверхні, її травлення, шліфування й полірування. Гальванічну обробку проводять у гальванічних ваннах, де анодом є метали, що розчиняються в електроліті для компенсації металу, що осідає, а катодом – виріб, на якому кристалізується метал з водних розчинів їх солей. Якість гальванічного покриття і швидкість процесу визначаються густиною електричного струму (A/dm^2), складом і температурою електроліту.

Такий метод використовується для цинкування, кадмування, міднення, нікелювання, хромування (декоративного й міцнісного), сріблення, лудіння та нанесення інших металів.

У гальванічних ваннах проводять анодування – утворення захисного покриття на поверхні металевих виробів, які в процесі електролізу є анодом. Анодування застосовують в основному для алюмінію та його сплавів. Окиснювальна плівка, що утворюється (зазвичай завтовшки 5...25 мкм), захищає метал від корозії, є хорошою основою для лакофарбових покриттів і має високі електроізоляційні властивості.

З інших процесів утворення металевих покриттів найчастіше застосовуються:

– цинкування – покриття сталевих або чавунних деталей шаром цинку гарячим способом (зануренням виробів у ванну з розплавленим цинком) або електролітичним розпиленням розплаву цинку;

– оксидування – окиснення поверхневих шарів металевих виробів шляхом хімічного або електрохімічного оброблення для утворення оксидних плівок, що захищають від корозії;

– вороніння – отримання на поверхні виробів з вуглецевих і низьколегованих сталей шару оксидів заліза завтовшки 1...10 мкм (при цьому поверхня набуває коричневого, чорного або темно-синього кольору зі збереженням металевого блиску);

– плакування – нанесення на поверхню металевих листів, труб, плит, дроту тонкого шару іншого металу або сплаву термомеханічним способом: гарячою прокаткою (листи, плити), пресуванням (труби, дріт) або вибухом. Застосовується для отримання біметалів і триметалів: найчастіше алюміній-сталь, латунь-сталь, алюміній-сталь-титан та ін. Процес є більш продуктивним, ніж гальванічне покриття, і дає змогу отримувати товщі покриття (10...20 мм).

Інші способи поверхневої обробки

У сучасному автомобілебудуванні крім названих часто використовуються хімічні й механічні процеси нанесення покриттів. До хімічних процесів належать:

– **фосфатування** – процес утворення на поверхні сталевих, алюмінієвих, цинкових деталей тонкого шару фосфату, який при подальшому нанесенні на нього шару фарби, лаку або масла стає хорошим захистом від атмосферної корозії;

– **азотування** (азотація, нітрування) – дифузне насичення поверхні сталевих і титанових виробів азотом (товщина шару 0,2...0,8 мм), яке здійснюється в середовищі аміаку або в розплаві солей при температурі 500...650 °С, унаслідок чого підвищуються фізична твердість, зносо- й корозійна стійкість, утомний опір. Застосовується для деталей, що працюють при підвищених температурах (гільз циліндрів, колінвалів, деталей паливної апаратури).

До механічних процесів нанесення покриттів належать:

– **протектування** – нанесення на металеві поверхні деталей гуми та інших еластичних матеріалів, а також пластмас (алюмопластів);

– **фарбування** – нанесення на металеві поверхні фарб, лаків або емалей з попереднім обробленням поверхонь спеціальними речовинами – грунтовками, що забезпечують хорошу адгезію до металу, що фарбується;

– **змащення** – нанесення на поверхню жирового шару, що добре зчіплюється з металевою поверхнею й запобігає змочуванню її атмосферною вологою або іншими рідкими середовищами, агресивними до оброблюваної поверхні.

Зачищення поверхні деталей – у сучасних умовах дуже важливий процес. Проблема підвищення надійності й ресурсу машин тісно пов'язана із забезпеченням чистоти поверхонь і кромek деталей, а також робочих порожнин вузлів. За статистичними даними, до 50 % усіх відмов гідравлічних і паливних систем автомобілів, пов'язаних з виходом з ладу насосів, заклинюванням розподільних і регулювальних пристроїв, підвищеним зношенням відповідальних деталей, відбувається через технологічні забруднення. При забезпеченні чистоти цих поверхонь ресурс може бути збільшений у 2–3 рази. Інтерес до обробно-зачисних технологій (ОЗТ) у країнах із високорозвиненою промисловістю не слабшає протягом останніх 30 років.

Під час визначення джерел технологічного забруднення поверхонь деталей виявлено, що при всіх видах механічної обробки з використанням різального інструмента на поверхнях і кромках крім макрозадирок утворюються ще й мікрочастинки і мікрозадирки з оброблюваного матеріалу й матеріалу інструмента, що мають велику проникну здатність. Такі забруднення необхідно видаляти. Для цього розроблено кілька десятків методів

зачищення. До найпоширеніших методів, що дають змогу зачищати багато деталей, належать:

- механічні (слюсарні, оброблення лезом, абразивні, ударні, галтувальні, турбулентні тощо), при яких видалення задирок здійснюється шляхом механічного впливу на деталі твердих тіл, що обробляються;

- хіміко-механічні, при яких одночасно мають місце механічний вплив інструмента й хімічний вплив зовнішнього середовища (рідини);

- хімічні, електрохімічні, фізичні, коли передбачається різний за фізичною природою вплив на поверхню, що обробляється.

Під час застосування цих методів можливим є утворення вторинних задирок, що знижує їх надійність.

З фізичних методів найбільш інтенсивно розробляються термохімічні методи зачищення. Ці методи базуються на нагріванні задирок і поверхні різними джерелами тепла (згорянням хлор-кисневих, киснево-водневих і киснево-метанових сумішей). Завдяки цим методам можна окиснювати й руйнувати задирки, мікронерівності й мікрочастинки без порушення поверхні деталей.

У різних галузях процент трудомісткості операцій зачищення від загальної трудомісткості виготовлення становить: виготовлення окремих видів боєприпасів – 70...80 %; двигунобудування – 30...40 %; агрегатобудування – 30...50 %; верстатобудування – 4...12 %; автомобілебудування – 2...8 %. Цим показником визначається рівень якості продукції названих галузей.

3.4 Методи очищення поверхонь деталей. Забезпечення промислової чистоти

Забруднення впливають на експлуатаційні властивості й роботоздатність автомобілів, якими визначаються їх якість і конкурентоспроможність. Останніми роками, коли автомобілі почали оснащуватися прецизійними пристроями, особливо чутливими до забруднень, дотримання промислової чистоти поверхонь стає нормою.

На поверхні деталі можуть бути забруднення декількох видів: залишки матеріалу оброблюваних деталей і відламки лез різального інструмента. Частинки оброблюваного металу вминаються (закарбовуються) у западини (рисунк 3.2) і найчастіше за висотою не виходять за межі лінії місцевих виступів профілю.

Розміри таких частинок можуть бути 0,5 мкм і більше. Зазвичай частинки інструментальних матеріалів, що відкололися, є меншими за розмірами від частинок основного матеріалу, є твердими й намагніченими. Їх розклинює в місцевих западинах профілю. Утримання частинок у межах западин пояснюється ефектом типового розширення деталей під час оброблення й зменшенням розміру западин під час охолодження. Для вида-

лення застряглих частинок необхідно прикласти значні виштовхувальні зусилля.

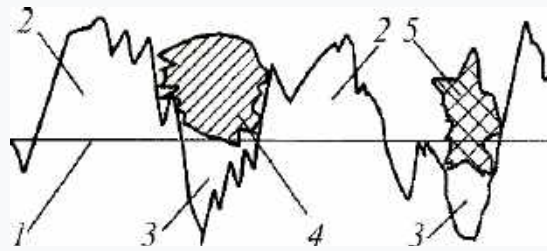


Рисунок 3.2 – Мікроструктура поверхні після механічного оброблення:

1 – середня лінія профілю; 2 – місцеві виступи профілю; 3 – місцеві западини профілю; 4 – частинка оброблюваного матеріалу, ум'ята в западини профілю; 5 – частинка інструментального матеріалу

Існують норми промислової чистоти в автомобілебудуванні. Необхідний ступінь чистоти порожнин і робочих середовищ для конкретних агрегатів і систем машин визначають на основі вивчення впливу розмірів, матеріалу й кількості частинок забруднювальних домішок на показники надійності й довговічності найбільш відповідальних деталей і вузлів машин. Деталі циліндропоршневої групи двигунів внутрішнього згоряння найбільше спрацьовуються при забрудненні моторних масел твердими частинками розміром 10...25 мкм. Під впливом великих частинок домішок спрацювання деталей знижується.

Збільшення кількості частинок забруднень в одиниці об'єму масла спричиняє більш інтенсивне спрацювання. Спрацювання посадкових місць колінчастого вала, підшипників та інших важконавантажених деталей двигуна відбувається внаслідок впливу в основному абразивно-активних частинок забруднень, порівнянних за розміром з величиною зазорів у з'єднаннях і товщиною масляної плівки, яка становить 5...20 мкм.

У приводах і коробках передач радіальні зазори підшипників роторів автомобільних двигунів становлять 14...93 мкм, а товщина масляної плівки на деталях, що контактують, дорівнює 10...20 мкм.

Зубчасті колеса редукторів найбільше спрацьовуються при розмірі абразивних частинок забруднень 15...25 мкм, при цьому зношуються також й шліцьові з'єднання.

Під забрудненнями (забруднювальними домішками) в автомобілях розуміють тверді, рідкі й газоподібні речовини, що втримуються в робочих порожнинах машин і які негативно впливають на їх технічні характеристики, функціональні можливості, надійність і ресурс роботи.

Забруднення в автомобілях можуть бути через погане очищення деталей, вузлів та агрегатів під час їх виготовлення і складання. Залежно від того, як забруднення потрапляють у робочі порожнини машин, розрізняють:

– первинні (вихідні) забруднення, наявні в робочих порожнинах машин до початку роботи; ці забруднення зазвичай є наслідком недостатнього очищення деталей і вузлів машин під час їх виготовлення, а також неякісного складання; деталі, вузли, агрегати машин, баки й резервуари для палива й масла, трубопроводи, фільтри перед монтажем мають піддаватися ретельному очищенню;

– забруднення, що генеруються у вузлах та агрегатах автомобілів унаслідок їх нормального спрацювання в процесі експлуатації, а також забруднення, що потрапляють у робочі порожнини автомобілів під час обслуговування (разом з маслом, паливом і робочими рідинами, разом з вузлами, які було замінено під час ремонту агрегатів машин, у вигляді пилу й піску, вологи й повітря з навколишнього середовища).

Існує багато причин утворення забруднень: окиснення поверхні металів (окиси, продукти корозії), термічне розкладання масел (нагари, асфальтосмолисті відкладання), емульсійні й масляні плівки, механічні частинки (абразив, стружка тощо), залишки після оброблення різанням (стружка, абразив, задирки, залишки шліфувальних і полірувальних паст, емульсій) та тиском і литтям (графітові й жирові мастила, пригари, формувальна земля), після процесів зварювання й паяння (залишки флюсу, окалина), зберігання й транспортування (консистентні й консерваційні мастила), а також потрапляння забруднень із навколишнього середовища тощо.

Під час формотворення деталей різними методами (штампуванням, пресуванням, литтям, куванням тощо) на поверхні й кромках деталей залишаються надлишки матеріалів, що призводить до порушення форми й точності оброблених поверхонь деталей. Ці надлишки матеріалів під час остаточного оброблення деталей мають бути ліквідовані, тому їх називають ліквідами (грат, облой, задирки, окалини, пригари, шаржовані частинки).

Грат, облой – це надлишки матеріалів на деталях у вигляді наростів у місцях рознімання форм, прес-форм, штампів.

Задирки – це надлишки матеріалу на кромках і в кутах поверхні деталі у вигляді виступів із рваними краями.

Пригари – це залишки земляних ливарних форм, що пригоріли до поверхні деталі під впливом високої температури.

Окалини – це оксиди металу у вигляді кірки, що утворюється під впливом високої температури. Під час термооброблення окалина просочується й покривається плівкою пригорілого масла.

Шаржовані частинки – це абразивні частинки, що потрапляють у матеріал оброблюваної поверхні під час обробних і чистових операцій.

Розрізняють три ступені забруднення поверхні: слабе, середнє й сильне. При слабкому забрудненні поверхня деталей покрита легкими нерівномірними забрудненнями (масло, пил). При середньому забрудненні поверхня деталей покрита невеликим панно (в основному у стадії механічного оброблення). Цей ступінь характеризується питомим умістом забруд-

нень до 5 г/м². При сильному забрудненні (більше 5 г/м²) поверхня деталей покрита товстим шаром консерваційного мастила або масла після термообробки.

Таким чином, характер і кількість забруднень, наявних в автомобілях, можуть змінюватися залежно від конкретних умов їх виготовлення й застосування.

У сучасному виробництві автомобілів і під час ремонту найчастіше використовуються методи, наведені в таблиці 3.4. Це невелика частина відомих методів, що використовуються в спеціальних умовах.

Для розрахунку мийно-очисних процесів і мийних машин необхідно знати функціональну залежність швидкості очищення від часу. Ця залежність є складною, і аналітичних методів її визначення поки не знайдено. Швидкість очищення визначають експериментально при певних умовах процесу очищення.

На швидкість очищення впливають такі основні фактори:

- природа забруднення (хімічний склад, міцність і реологічні властивості);
- кількість забруднень (первинне забруднення поверхні, допустима кількість забруднень на поверхні після очищення, вимоги до рівномірності розподілу по поверхні залишкового забруднення);
- вид поверхні (матеріал, шорсткість, розміри й конфігурація);
- середовище, що очищає (склад, концентрація, температура);
- характер і параметри взаємодії середовища, що очищає, з поверхнею (швидкість і розмірні параметри потоку, які обумовлені шаржовною мийною машиною).

Таблиця 3.4 – Методи очищення поверхні й способи їх інтенсифікації

Метод очищення	Механізм очищення (спосіб руйнування забруднень)	Способи інтенсифікації процесу очищення	Переваги й недоліки
Механічний	Механічне руйнування забруднень протиранням, соскоблюванням, фрезеруванням; під впливом струменів води, повітря, твердих частинок (склосфери, чавунний дріб, кісточкове кришиво)	1. Механізація шляхом застосування інструмента (щітки, голкофрези) з електро- або пневмоприводом 2. Підвищення тиску струменів до 5...63 МПа	Переваги: 1. Мала енергоємність процесу очищення 2. Універсальність, можливість видалення різних забруднень 3. Простота утилізації відходів (висока безвідходність) Недоліки: Застосування ручної праці

Продовження таблиці 3.4

Метод очищення	Механізм очищення (спосіб руйнування забруднень)	Способи інтенсифікації процесу очищення	Переваги й недоліки
Фізичний	Розчинення забруднень	<ol style="list-style-type: none"> 1. Застосування ультразвуку 2. Застосування струминного обливання й парів розчинників 	<p>Переваги:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Висока швидкість очищення 2. Висока якість очищення 3. Висока безвідходність виробництва 4. Можливість механізації та автоматизації процесу очищення під час виробництва <p>Недоліки:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Шкідливість виробництва 2. Складність видалення відходів 3. Застосування для малої групи забруднень
Хімічний	Хімічне травлення забруднень і поверхні, що очищається	Підвищення температури проведення процесу	<p>Переваги:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Висока швидкість очищення 2. Мала енергоємність процесу очищення 3. Можливість механізації процесу <p>Недоліки:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Застосування для малої групи забруднень 2. Руйнування поверхні, що очищається 3. Низька безвідходність виробництва

Продовження таблиці 3.4

Метод очищення	Механізм очищення (спосіб руйнування забруднень)	Способи інтенсифікації процесу очищення	Переваги й недоліки
Фізико-хімічний	Розчинення, емульгування й хімічне руйнування забруднень (застосування розчинно-емульгуювальних засобів з ополіскуванням у розчинах синтетичних мийних речовин)	Переміщення (коливання, обертання) об'єкта, що очищається	<p>Переваги:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Висока швидкість очищення 2. Висока якість очищення 3. Мала енергоємність процесу очищення 4. Помірна температура проведення процесу очищення (20...50 °С) 5. Можливість механізації та автоматизації процесу <p>Недоліки:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Застосування для малої групи забруднень 2. Шкідливість виробництва 3. Низька безвідходність виробництва
Хіміко-термічний	Хімічне руйнування (згоряння) забруднень у полум'ї або в лужному розплаві при високій температурі (400...450 °С); об'ємні й структурні змінення забруднень	Оптимізація складу лужного розплаву й автоматизація процесу очищення	<p>Переваги:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Більша швидкість очищення 2. Висока якість очищення 3. Можливість механізації й автоматизації процесу очищення <p>Недоліки:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Застосування для малої групи забруднень 2. Висока енергоємність процесу очищення 3. Можливе деформування й руйнування деталей

3.5 Ступені очищення поверхонь

Розрізняють три ступені (рівні) очищення, що різняться кількістю залишкових забруднень: макроочищення, мікроочищення й активаційне очищення.

Макроочищення – це процес видалення з поверхні найбільш великих забруднень, що перешкоджають монтажно-складальним операціям, механічному й холодному обробленню тиском тощо. При макроочищенні поверхні очищують до рівня, обумовленого шорсткістю поверхні.

Мікроочищення – це видалення забруднень із мікронерівностей поверхні. Рівня мікроочищення можна досягнути на фінішних операціях складання, наприклад, арматури. Основні забруднення на цьому рівні очищення: притиральна суміш, абразивні частинки, залишки після механічного оброблення тощо, що видаляються шляхом мийно-очисного оброблення.

Активаційне очищення – це травлення металу до шаржованого стану. Після ретельного мікроочищення на поверхні можуть бути залишки забруднення поверхнево-активними речовинами, шаржованими абразивними частинками, плівками та ін. Очищення поверхонь від подібних забруднень при нанесенні гальванічних покриттів називають активаційним очищенням. В останні роки створено й серійно випускаються прогресивні технічні мийні очищувальні композиції (ТМОК-6П та ін.), використовувати які перед гальванічними операціями активаційного очищення не потрібно.

Для прискорення процесів очищення застосовуються різні способи інтенсифікації: підвищення температури й тиску очищувального середовища, його вібраційна активація тощо.

Як приклад розглянемо способи **віброабразивного очищення**.

Вібраційний процес ґрунтується на принципі передавання коливальних рухів деталям у контейнері з наповнювачем.

Широковідомим є метод віброабразивного очищення, який відносять до найбільш продуктивних обробно-очисних процесів вібраційної обробки поряд з такими, як віброхімічний, віброелектрохімічний, віброобкочувальний, віброкордний і вібротермомеханічний.

Висока продуктивність методів обумовлюється такими факторами:

- схема розташування й кріплення деталей – навалом або закріпленням їх на рухомих елементах конструкцій із примусовим або вільним обертанням;

- траєкторія переміщення завантаження – колова з обертанням по гвинтовій лінії в горизонтальній площині або підйомом її усередині хвилі на один виток;

- режими оброблення – дорезонансні, резонансні й зарезонансні;

- цикли роботи – періодичної або безперервної дії.

Процес віброабразивного очищення є результатом впливу на тверді забруднення, що видаляються, механічної енергії взаємодії забруднень і фізико-механічних властивостей мийного розчину (рисунок 3.3).

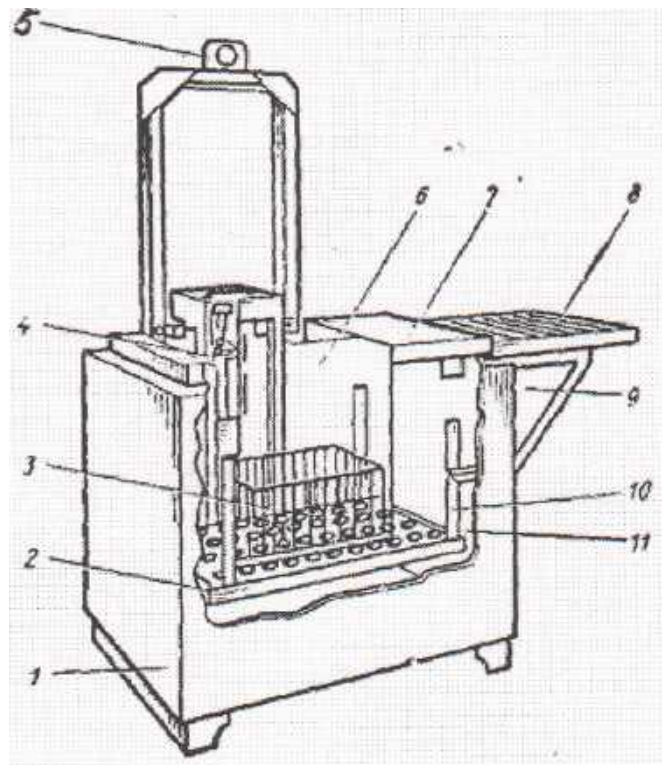


Рисунок 3.3 – Ванна з платформою, що коливається: 1 – корпус;
2 – віброплатформа; 3 – касета; 4 – пневмоциліндр; 5 – термометр;
6 – нагрівальні елементи; 7 – кришка; 8 – рольганг; 9 – кран керування;
10 – упори віброплатформи; 11 – люк для чищення ванни

На ефективність процесу очищення впливають властивості матеріалу заготовки й забруднень, амплітуда й частота коливань, ступінь завантаження контейнера, співвідношення заготовок (деталей), що очищаються, та абразиву, вид і фізико-механічні властивості розчинів, що застосовуються, природа й зернистість абразивного наповнювача робочого середовища.

Правильний вибір мийних розчинів для віброабразивного очищення дає змогу не тільки суттєво підвищити продуктивність очищення та якість оброблення, але й знежирити поверхню, що очищається. Що стосується природи абразивного наповнювача та його зернистості, їх зазвичай підбирають дослідним шляхом.

Більш простим є спосіб очищення деталей зануренням. Занурення широко застосовується для видалення забруднень з деталей складної конфігурації, коли струминний спосіб не забезпечує очищення поверхні без прямого влучення струменів, коли потрібно очищати поверхні мийними

рідинами, які не можна або недоцільно з якихось причин використовувати в струминних машинах, а також на операціях, що передують струминним.

Способом занурення видаляють лакофарбові покриття, асфальто-смолисті відкладення, полірувальні пасти, залишки формувальних сумішей з поверхні виливків, знежирюють деталі перед гальванічним покриттям.

Переваги способу занурення порівняно зі струминним:

- можливість використання ефективних мийних засобів з високим вмістом поверхнево-активних речовин;

- можливість використання високоефективних розчинно-емульгувальних мийних засобів на основі вуглеводневих і галогенвмісних органічних розчинників, інших агресивних шкідливих і легкокипарних агентів, що очищають;

- широкий вибір способів інтенсифікації очищення;

- простота конструкції устаткування, зручність та економічність його експлуатації.

При очищенні зануренням можна використовувати мийні рідини при будь-яких високих температурах, аж до температури кипіння, тоді як при струминному способі очищення робоча температура обмежується навігаційними явищами в перекачувальних і напірних насосах.

При цьому способі забруднення, що переводяться в мийний розчин, менше диспергуються, тому не створюються умови для одержання стабільних розчинів і суспензій, що знижує витрати на їх регенерацію.

Очищення зануренням дає змогу зменшити енергетичні витрати завдяки застосуванню ефективних мийних засобів і дієвих методів збудження розчину на очищуваній поверхні, а також зменшити тепловтрати. Широковідомими є такі способи інтенсифікації очищення зануренням: коливання платформи з об'єктами очищення відносно мийної рідини й навпаки; ультразвукове опромінення; гальванічні способи очищення; використання електрогідролічного ефекту; очищення гвинтами, стисненим повітрям тощо.

4 ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ Й МОНТАЖУ АВТОМОБІЛІВ

4.1 Складання виробів в автомобілебудуванні

Після перетворення форми, об'єму і стану поверхонь деталей для одержання виробу необхідно взаємно зорієнтувати їх у просторі й закріпити між собою в певному положенні. У цьому полягає суть складання й монтажу виробів.

Складання – технологічний процес, що полягає в установленні деталей у складальне положення й з'єднанні їх у вузли та агрегати в певній послідовності, унаслідок чого одержують готовий виріб, який повністю відповідає заданим технічним вимогам. Чіткої відмінності між поняттями «скла-

дання» і «монтаж» немає. Умовно монтаж – це складання й установлення споруд, конструкцій, технологічного устаткування, агрегатів, машин, приладів та їх вузлів з готових деталей (великих). Але існує й монтаж радіоелектронної апаратури.

При виготовленні виробу з великою кількістю деталей (автомобіль – 15–25 тис. деталей) складання ведуть паралельно-послідовним складанням його структурних складових. Для автомобіля такими складовими є деталі, вузли, агрегати.

Агрегат – конструктивно й технологічно закінчена частина виробу, агрегати – двигун, шасі, кузов тощо, відсік – частина кузова.

Існує кілька методів складання, що різняться способом базування деталей, видами інструментів, які застосовуються при складанні, складальних пристроїв та устаткування. Найбільшого поширення набули такі методи складання: за базовою деталлю, за розміткою, за складальними отворами і складання із застосуванням спеціальних складальних пристроїв.

Складання за базовою деталлю – процес, коли одну з деталей беруть за базову й до неї в певній послідовності приєднують інші деталі, що входять до складу вузла, який складається. Цей метод застосовується для складання виробу із твердих деталей, що зберігають під дією власної ваги форму й розміри. При цьому деталі, що входять до складу виробу, поділяють на кілька складальних груп, кожен з яких складають за базовою деталлю, що належить до цієї групи.

Для пояснення процесу складання за базовою деталлю розглянемо складання силового циліндра керування підніманням кузова самоскида.

На рисунку 4.1 зображено креслення циліндра та схему його складання. Як видно зі схеми, у процесі складання циліндра базовими є різні деталі. При складанні 1-ї групи за базову деталь беруть шток 1 і встановлюють на нього в зазначеній на схемі послідовності кришку циліндра 2, поршень 3, шайбу 4, гайку 5. Потім складають 2-гу групу: штуцер 7 встановлюють на деталь 6 (у 2-й та інших групах може бути дві, п'ять й більше деталей залежно від конструкції виробу, що складається). 2-гу групу з'єднують із 1-ю, при цьому базовою є деталь 3, потім 3-тю групу деталей 8 і 9 з'єднують із 1-ю групою за базовою деталлю 2.

При високій якості виготовлення деталей (дотриманні заданих величин зазорів і натягів) циліндр складається швидко, тому що не потребуються підгонка й доробка деталей.

За базовою деталлю виробу зазвичай складають на верстатах, іноді застосовують і пристрої, які втримують виріб, що складається, і повертають його в зручне для складальника положення.

Складання за розміткою – процес, коли взаємне положення деталей, що входять до складу вузла, визначають безпосередньо вимірюванням відстаней між ними й за розмічальними рисками.

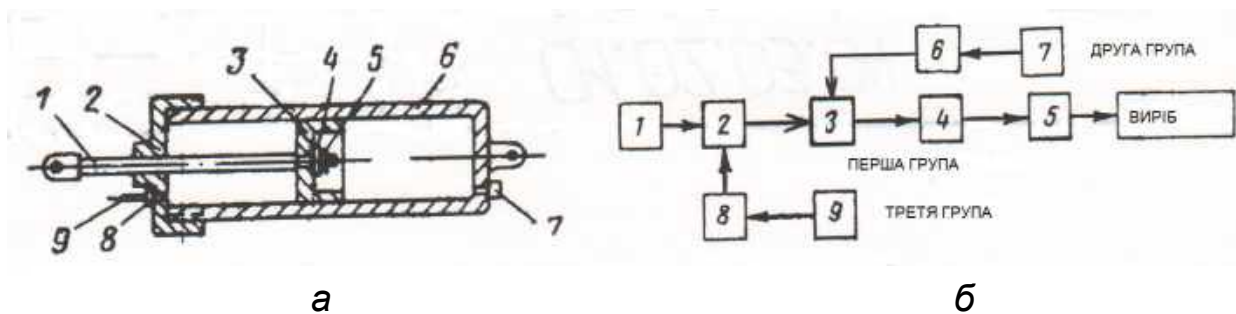


Рисунок 4.1 – Силовий циліндр (а) і схема його складання за базовою деталлю (б): 1 – шток, 2 – кришка; 3 – поршень; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – циліндр; 7, 8 – штуцери; 9 – шланг

Складання за розміткою здійснюється за допомогою універсальних слюсарних інструментів і пристроїв (струбцин, рисувалок, керна, метра, циркуля, ручних і настільних лещат тощо). Деталі, що потрапили на складання, розмічають вручну або фотоконтактним методом (за спеціальними шаблонами з вініпрозу).

Так, наприклад, лючок, що складається з петлі, диска й замка (рисунок 4.2, а), можна скласти двома способами. Перший спосіб – це послідовність таких операцій:

- розмічання центрів отворів під заклепки в петлі 1 за розмірами (див. рисунок 4.2, а);
- керніння центрів отворів (рисунок 4.2, б);
- установлення петлі 1 на диск 2 за розмірами 1/2 і закріплення петлі й диска струбцинами 4 (рисунок 4.2, в);
- свердління отворів під заклепки в петлі і в диску за накерненими центрами;
- вставлення заклепок в отвір, розклепування заклепок, зняття струбцин;
- розмічання отворів під заклепки в замку, керніння центрів, установлення замка на диск, свердління отворів, постановка заклепок, що з'єднують замок з диском.

Процес складання за розміткою містить багато переходів, пов'язаних з розмічанням центрів отворів у кожній деталі, кернінням положення центрів, зміненням відстаней між деталями, установленням і зняттям струбцин тощо.

Другим способом складання виконують у такій послідовності:

- на місці вініпрозу (рисунок 4.2, д) у натуральну величину наносять контури диска, лючка, петлі й замка до диска;
- на заготовку диска наносять фотоемульсію й просушують її;
- на диск накладають аркуш вініпрозу так, щоб зовнішній контур диска, нанесений на вініпрозі, збігався з контуром металевого диска, фотографують і проявляють відбиток на заготовці диска (рисунок 4.2, е);

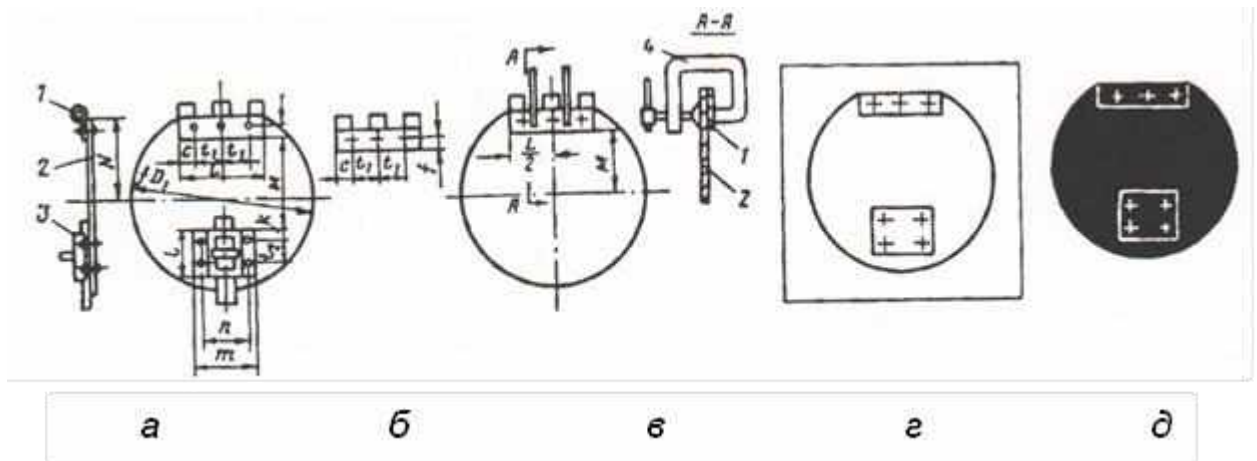


Рисунок 4.2 – Лючок і складання його за розміткою: 1 – петля; 2 – диск; 3 – замок; 4 – струбцина

- за відбитком у диску свердлять отвори під заклепки (попередньо меншого діаметра);
- на диск установлюють петлю, сполучаючи її контур з розміткою на диску, закріплюють петлю струбцинами (рисунок 4.2, в) і свердлять отвори в диску, вставляють заклепки й розклепують їх;
- у такому ж порядку встановлюють замок.

Складання за розміткою на вініпрозі застосовують у малосерійному виробництві.

Складання за складальними отворами (СО) – процес, при якому взаємне розташування деталей, що складаються, визначається положенням наявних на них складальних отворів. При базуванні за СО деталі, що складаються, з'єднують одна з одною й на період їх з'єднання у складальні отвори вставляють фіксатори.

Базування за СО можливе при утворенні обводів агрегата (наприклад, крила) і встановленні в складальне положення елементів поздовжнього й поперечного набору (каркаса).

Місця розташування СО вказують на кресленнях і схемах. Відповідно до технологічного процесу там же наносять місця розташування напрямних отворів (НО) і встановлювально-базових отворів (ВБО).

Складальні пристрої забезпечують необхідне взаємне положення деталей, що складаються, певне положення обробного інструмента відносно деталі, надання потрібної форми недостатньо твердим деталям і вузлам у процесі складання. При цьому слід зазначити переваги порівняно зі складанням за розміткою: виключаються розмітка й підгонка деталей; прискорюється й полегшується процес складання; досягається взаємозамінність вузлів, що складаються, панелей та агрегатів; можливою є механізація процесів складання.

В автомобілебудуванні під час складання в пристроях (стапелях) застосовують специфічні способи базування, які багато в чому залежать від

місця розташування й призначення деталей, що збираються у виріб. Так, при базуванні деталей, що визначають зовнішні обводи агрегата, як бази використовують поверхні деталей каркаса й обшивки, координатно-фіксувальні отвори (КФО), а при базуванні стикових вузлів – отвори під стикові болти (ОСБ).

Під час складання за базою «зовнішня поверхня кузова» остання встановлюється на базову поверхню каркаса й притискається зовнішнім обводом до опорних поверхонь пристрою на період з'єднання її з каркасом (відповідно – при базуванні по інших поверхнях).

Результати техніко-економічного оцінювання методів базування наведено в таблиці 4.1.

До деталей, що надходять на складання, ставляться такі вимоги:

- щодо взаємозамінності;
- за міцностними й експлуатаційними характеристиками;
- спеціальні вимоги, зазначені на кресленнях, у технічних і технологічних умовах.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники, %, при складанні виробів із застосуванням різних методів базування

Метод базування	Точність зовнішнього обводу АН, мм	У сфері підготовки виробництва				У сфері усталеного виробництва		
		$M_{\text{осн}}$	$T_{\text{осн}}$	$Cб_{\text{осн}}$	$H_{\text{осн}}$	Ст	Е	Ц
За зовнішньою поверхнею обшивки	$\pm 0,7$	100	100	100	100	100	100	100
За поверхнею каркаса	$\pm 1,5$	95	95	90	90	115	95	120
За внутрішньою поверхнею обшивки (при замкненій макетній нервюрі)	$\pm 2,0$	50	55	40	70	65	70	90
За складальними отворами	$\pm 3,0$	50	45	40	60	70	65	80
За координатно-фіксувальними отворами	$\pm 2,5$	50	70	60	65	60	80	85

Примітка. Витрата матеріалу на складальне оснащення; $T_{\text{осн}}$ – трудомісткість виготовлення оснащення; $Cб_{\text{осн}}$ – собівартість виготовлення оснащення; $H_{\text{осн}}$ – кількість складального оснащення; Ст – технологічна собівартість складання розглянутого в прикладі виробу; Е – площа, яку займає складальне оснащення; Ц – тривалість циклу складання виробу.

4.2 Методи з'єднання деталей автомобіля

В автомобілебудівній практиці з'єднаннями називають з'єднання деталей або вузлів в одне ціле. Типи з'єднань: нерухомі нерознімні (клепані, зварні, паяні, клейові), нерухомі рознімні (болтові й гвинтові) і рухомі рознімні (шарнірні, болтові й підшипники) (рисунк 4.3).

Нерухомі з'єднання забезпечують незмінне положення деталей, що складаються, рухомі – допускають їх взаємні переміщення.

У разі нерознімного з'єднання неможливо розібрати конструкцію без руйнування з'єднаних деталей.

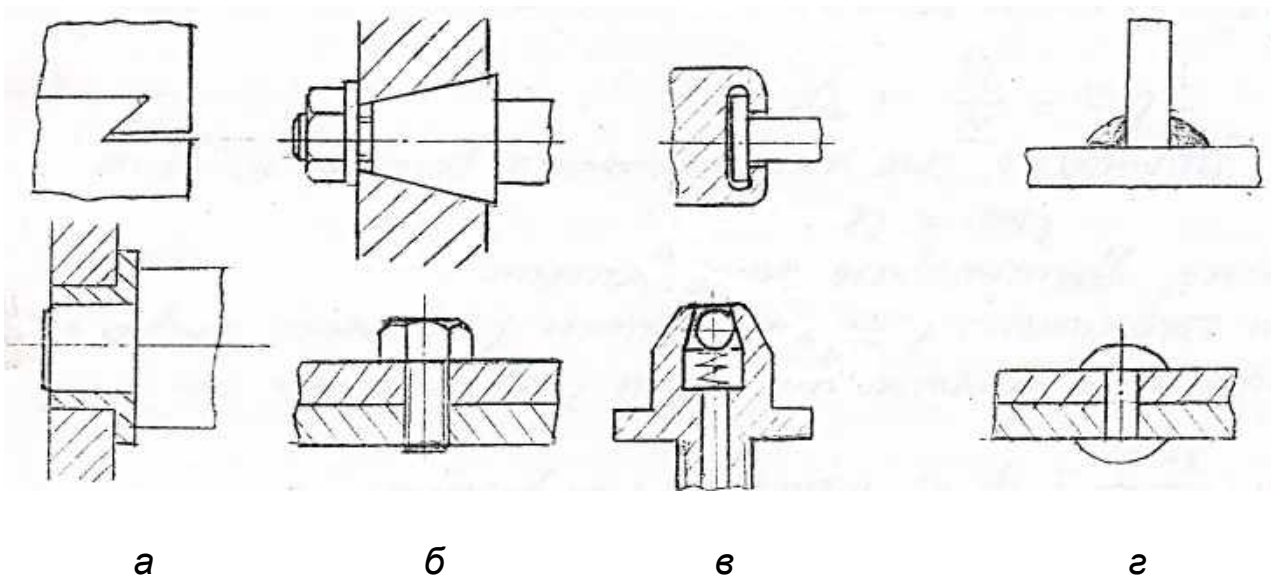


Рисунок 4.3 – Приклади конструкцій рознімних і нерознімних з'єднань:
а – рознімні рухомі; б – рознімні нерухомі; в – нерознімні рухомі;
г – нерознімні нерухомі

Вибираючи тип з'єднання, необхідно враховувати:

- міцність з'єднання, яка оцінюється допустимим граничним навантаженням (головне завдання полягає в тому, щоб, якщо можливо, наблизити міцність з'єднання до міцності елементів, що з'єднуються);

- щільність з'єднання (герметичність).

За конструктивно-технологічними ознаками з'єднання поділяють так:

- з'єднання, виконані силовими точками;

- з'єднання безперервним швом;

- комбіновані (наприклад, точкове зварювання + склеювання).

Результати оцінювання різних з'єднань за двома основними показниками наведено в таблиці 4.2. Видно, що завдяки механізації техпроцесів і більш прогресивному їх втіленню знижується трудомісткість складання.

Таблиця 4.2 – Показники оцінювання при виготовленні обтічної поверхні для різних з'єднань

Показник	Вид з'єднання						
	Клепане на пресах	Клепане вручну	Зварне	Клеєзварне	Панель монолітна	Склопластик	Панель із стільниковим заповнювачем
Час виготовлення 1 м, хв	64	120	81	85	52	80	72
Коефіцієнт складності	1,0	2,0	1,51	1,59	0,82	1,5	1,25

Заклепкове з'єднання – найпоширеніший вид нерознімного з'єднання. Такі з'єднання надійно працюють при вібраціях. Заклепки з алюмінієвих сплавів мають границю міцності на зріз 180...280 МПа, сталеві – 350...500 МПа.

Заклепки зі сплавів В65 і Д18П термічно обробляють один раз при виготовленні й ставлять у конструкцію після природного старіння. Заклепки з термічно стійкого сплаву Д19П ставлять у конструкцію у свіжозагартваному стані не пізніше двох годин після загартування й застосовують тільки в тих конструкціях, які нагріваються в процесі роботи.

Технологічний процес клепаання, склад операцій та їх послідовність багато в чому визначаються вимогами забезпечення ресурсу й герметичності, типом заклепок, методом складання. Розглянемо цей процес на прикладі виконання потайного негерметичного шва (рисунок 4.4):

1. Операція I – створення отвору діаметром d_0 під заклепку, який можна одержати свердлінням або пробиванням.

2. Операція II – створення гнізда під головку потайної заклепки під розмір h_{zn} зенкуванням (при $\sigma_1 > h_{np}$) або штампуванням листів (при $\sigma_1 < h_{np}$).

3. Операція III – вставляння заклепки в отвір. Після вставляння стрижень заклепки має виступати на розмір $h_{п.г.}$. З частини стрижня, що виступає, утворюється замикальна головка заклепки.

4. Операція IV – створення замикальної головки заклепки розміром $h_{зг}$ пресуванням або ударом. Під час пресування спочатку пакет стискається силою Q , а потім зусиллям P осаджується стрижень й утворюється замикальна головка розміром $h_{з.г.}$. Коли головка набуває $h_{з.г.}$, спрацьовує система мікрореле і пресування припиняється. У випадку клепаання ударом за допомогою пневматичного клепального молотка висоту замикаль-

ної головки $h_{з.г}$ визначає робітник-клепальник за інтуїцією, виробленою тривалим тренуванням.

5. Операція V – зняття шляхом механічного оброблення зайвого матеріалу для одержання необхідної величини Δh (операція виконується для швів, до точності яких ставляться високі вимоги).

6. Операція VI – контроль виступання потайних головок і розмірів замикальних головок заклепок.

Кожна з перелічених операцій процесу клепання виконується на спеціальному робочому місці – верстаті, пресі; при автоматичному клепанні операції I–V здійснюються на одному свердлильно-клепальному автоматі.

При виконанні кожної операції окремо якість роботи значною мірою залежить від стану устаткування й кваліфікації виконавців. При такому методі роботи після кожної операції контролюють якість її виконання.

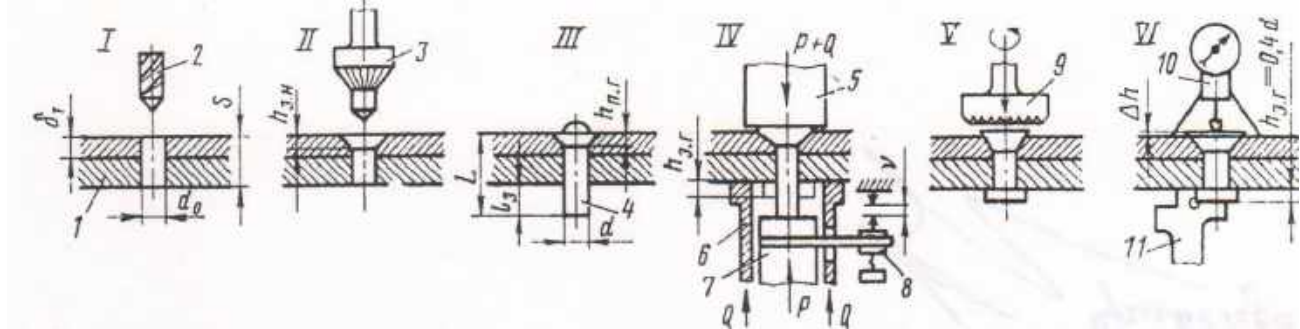


Рисунок 4.4 – Елементи клепання: 1 – пакет, що склепується; 2 – свердло; 3 – зенкер; 4 – заклепка заглиблена з компенсатором (ЗУК); 5 – верхній пуансон; 6 – притискач; 7 – нижній пуансон; 8 – система мікро-вимикачів; 9 – торцева фреза; 10 – індикатор з підставкою; 11 – шаблон

У разі автоматичного клепання виконання окремих операцій і переходів контролюється під час налагодження автомата. Незалежно від того, як проводиться процес клепання – на окремих видах устаткування чи в комплексі на одному автоматі, з'єднання контролюють у закінченому вигляді на вузлі панелі або агрегаті (див. рисунок 4.4, поз. VI).

Технологічний процес клепання конструкцій із композитних матеріалів (КМ) складається зі відомої послідовності операцій: створення отворів і гнізд, вставляння заклепок, створення замикальних головок, контроль. Однак специфічні властивості КМ – гетерогенність структури, мале відносне подовження при руйнуваннях, значний абразивний вплив армувальних волокон – суттєво змінюють процес різання й формотворення заклепок при виконанні клепаних з'єднань. Тому для забезпечення необхідної якості клепаних з'єднань конструкцій із КМ технологічний процес, устаткування, інструмент, заклепки проектують із урахуванням особливостей механічних властивостей КМ.

Для герметизації клепаних швів перед з'єднанням деталі в зоні швів покривають герметизувальними матеріалами, а потім склепують. Для на-

дійності іноді шви покривають герметиком. Приклади заклепкових з'єднань показано на рисунку 4.5.

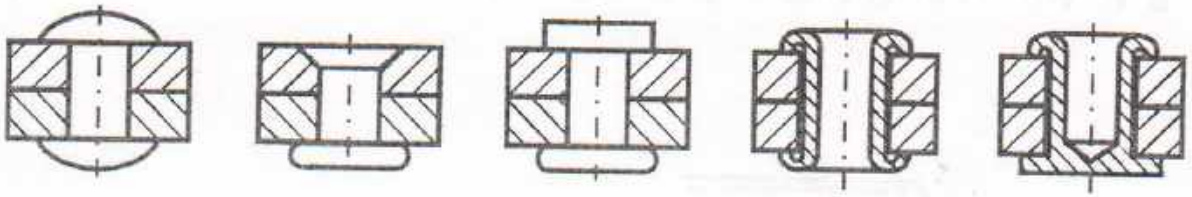


Рисунок 4.5 – Приклади заклепкових з'єднань

4.3 Зварні й паяні з'єднання

Зварювання й паяння дають змогу створювати нові високоекономічні конструкції, найбільш раціональні за формою й розмірами. За характеристиками зварні конструкції мало відрізняються від монолітних, однак мають більш високу вагову віддачу й максимальний коефіцієнт використання металу.

У конструкціях автомобілів зварюванням з'єднують деталі з товщиною стінок 0,3...35,0 мм. Зварними виготовляються мотори, кузови автомобіля, баки, балони та інші конструкції. Особливо широко ці процеси застосовуються для виготовлення конструкцій зі сталі й алюмінієвих сплавів.

У машинобудуванні і, зокрема, в автомобілебудуванні застосовується багато відомих способів зварювання: дугове зварювання, точкове роликове зварювання, плазмове зварювання, лазерне зварювання, зварювання тиском й паяння.

4.4 Клейові з'єднання

В останні роки клейові з'єднання почали широко використовуватися при складанні автомобілів. В основному це зумовлено розробленням нових клеїв і широким застосуванням неметалевих і композитних КМ.

Застосування клеїв дає змогу підвищити втомну міцність і корозійну стійкість конструкцій, зменшити їх масу й трудомісткість виготовлення, поліпшити якість обтічних поверхонь.

До недоліків клейових з'єднань можна віднести обмежену теплостійкість, відносно низьку міцність (особливо при обдиранні), схильність до старіння, необхідність нагрівання виробів при склеюванні більшістю клеїв і відсутність достатньо надійних об'єктивних неруйнівних методів контролю якості клейових з'єднань.

Для склеювання металів і неметалів застосовуються фенолкаучукові, фенолполівенілацетатні із кремнійорганічними та іншими стабілізувальними домішками, поліуретанові, епоксидні, кремнійорганічні клеї

на основі неорганічних сполук. Клей вибирають з огляду на максимально можливу адгезію клею до поверхонь, що склеюються.

Укрупнений техпроцес склеювання складається з таких операцій: попереднє складання й розбирання вузла (панелі); підготовка поверхонь деталей для склеювання; нанесення підшару клею (ґрунтовки) та його термічне оброблення (за необхідністю); нанесення клею; відкрита витримка; складання; отвердження; контроль якості склеювання.

Склеюються листові матеріали між собою і з профілями, стільникові конструкції при складанні, вузли панелей і відсіків із заповнювачем у вигляді пінопласту та багато інших характерних вузлів.

Широко застосовуються клеєзварні й клеєклепані з'єднання.

4.5 Болтові з'єднання

Болтові з'єднання належать до рознімних з'єднань (рисунки 4.6, 4.7). Болтові з'єднання використовуються для передавання великих навантажень і з'єднання пакетів великої товщини.

Болти й гайки виготовляють зі сталі або титанового сплаву.

У більшості випадків болти розраховуються на розрив, тобто вважається, що болт при затягуванні має забезпечити такі зусилля тертя між поверхнями, що стягаються, які б повністю сприймали зовнішнє зсувне навантаження. Тільки так звані «чисті» болти розраховуються на зріз.

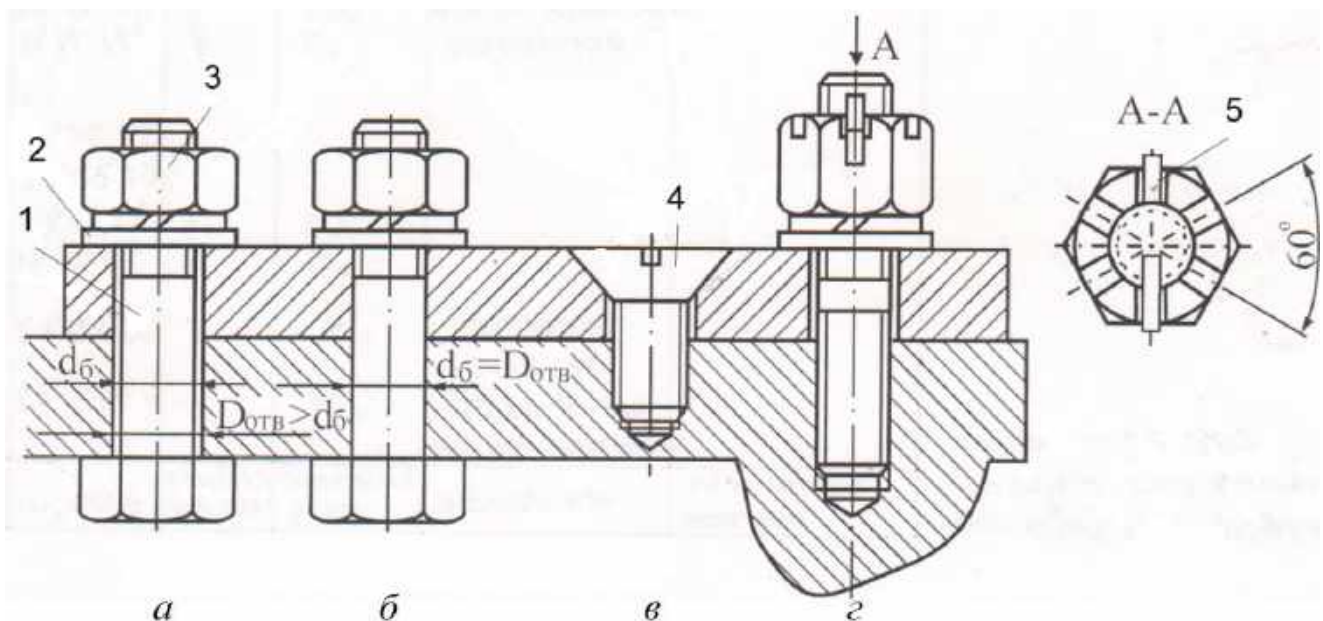


Рисунок 4.6 – Приклади болтових з'єднань: а – з'єднання болтом із зазором; б – з'єднання із призонним болтом; в – з'єднання гвинтом з потайною головкою; г – шпилькове з'єднання (1 – болт; 2 – підпружинена контрувальна шайба; 3 – гайка; 4 – гвинт; 5 – шплінт для контрування корончастою гайкою)

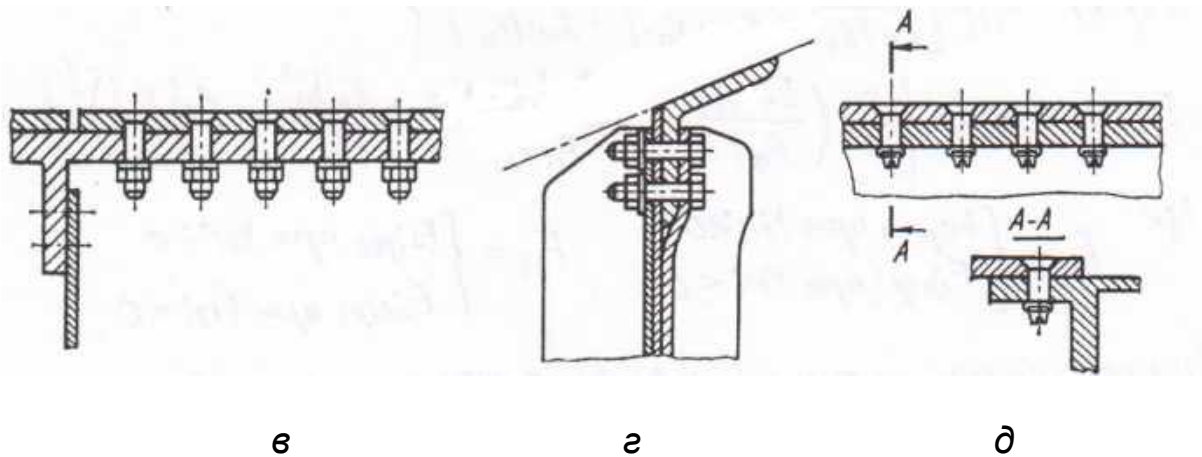
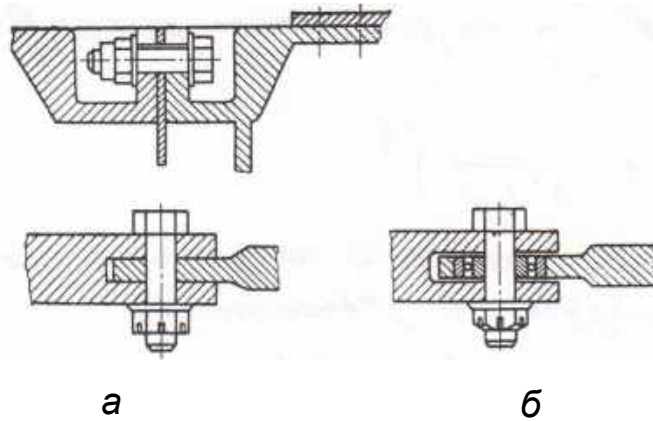


Рисунок 4.7 – Типові конструкції болтових з'єднань; а – закладний болт; б – «вухо – вилка»; в – потайними болтами; г – болтове з головою; д – потайними болтами з анкерними гайками

Факторами, що суттєво впливають на ресурс, є:

- матеріал елементів конструкції й кріплення;
- геометричні параметри швів болтових з'єднань (відстані від краю листів і між болтами, кількість болтів у ряді тощо);
- режими й способи утворення й оброблення отворів під болти (швидкість, величина подачі й глибина різання при свердлінні, розгортанні або протяганні отворів);
- характер посадки болтів, в отвори (із зазором або натягом);
- величина затягування болтів;
- інтенсивність та умови експлуатації, погодні й кліматичні умови.

Технологічний процес виконання болтового з'єднання складається з таких операцій: створення й оброблення отвору під болт, установлення болта в отвір, установлення шайби, нагвинчування й контрування гайки.

4.6 Інші з'єднання

До деяких з'єднань становляться спеціальні вимоги – тверде точно (за координатами) у певний період часу й швидке розбирання з'єднання. Прикладом є кріплення різального інструмента на верстатах (рисунок 4.8).

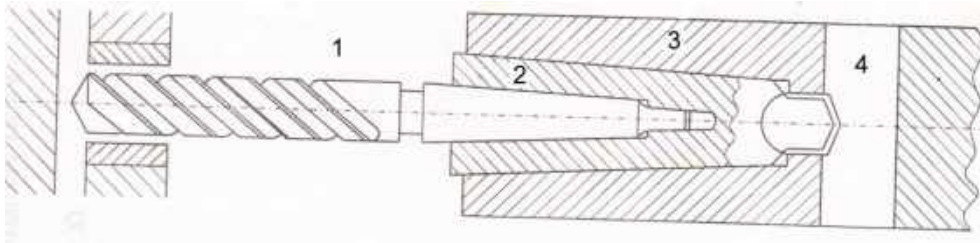


Рисунок 4.8 – Приклад з'єднання свердла в шпинделі верстата за допомогою конуса Морзе: 1 – свердло; 2 – конус Морзе з хвостовиком; 3 – шпиндель верстата; 4 – овальний отвір у шпинделі для вибивання конуса за допомогою металевго клина, який вставляється в цей отвір

Подібні верстатні з'єднання допускають точне позиціонування й швидке розбирання, але потребують високої точності конусних поверхонь.

Крім названого вище в конструкціях автомобілів застосовуються такі з'єднання: клинові, шліцьові, шомпольні, штифтові, шпонкові, з'єднання з гарантованим натягом та ін. Приклади типових з'єднань, які використовуються у транспортних конструкціях, показано на рисунку 4.9.

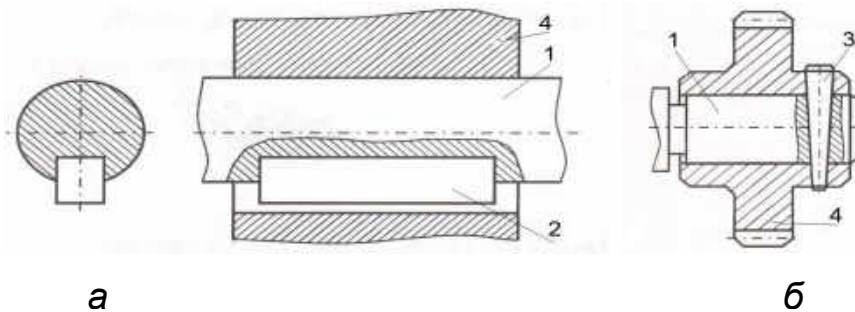


Рисунок 4.9 – Приклади типових з'єднань зубчастих коліс із приводним валом: а – шпонкове, що допускає осьове переміщення; б – штифтове нерухоме (1 – вал; 2 – шпонка; 3 – конічний штифт; 4 – зубчасте колесо)

У коробках передач автомобілів широко застосовуються рухомі й нерухомі з'єднання зубчастих коліс з валом. У точках з'єднання не допускаються люфти в коловому напрямку, а рух в осьовому напрямку має бути вільним.

У більшості автомобілів використовуються трубопровідні ложементи, надійний монтаж яких потребує високої старанності. Їх умовно можна поділити на дві групи: високого (понад 0,63 МПа) і низького (найчастіше повітряні) тиску. Приклади конструкцій з'єднань трубопроводів, що працюють під високим тиском, зображено на рисунку 4.10.

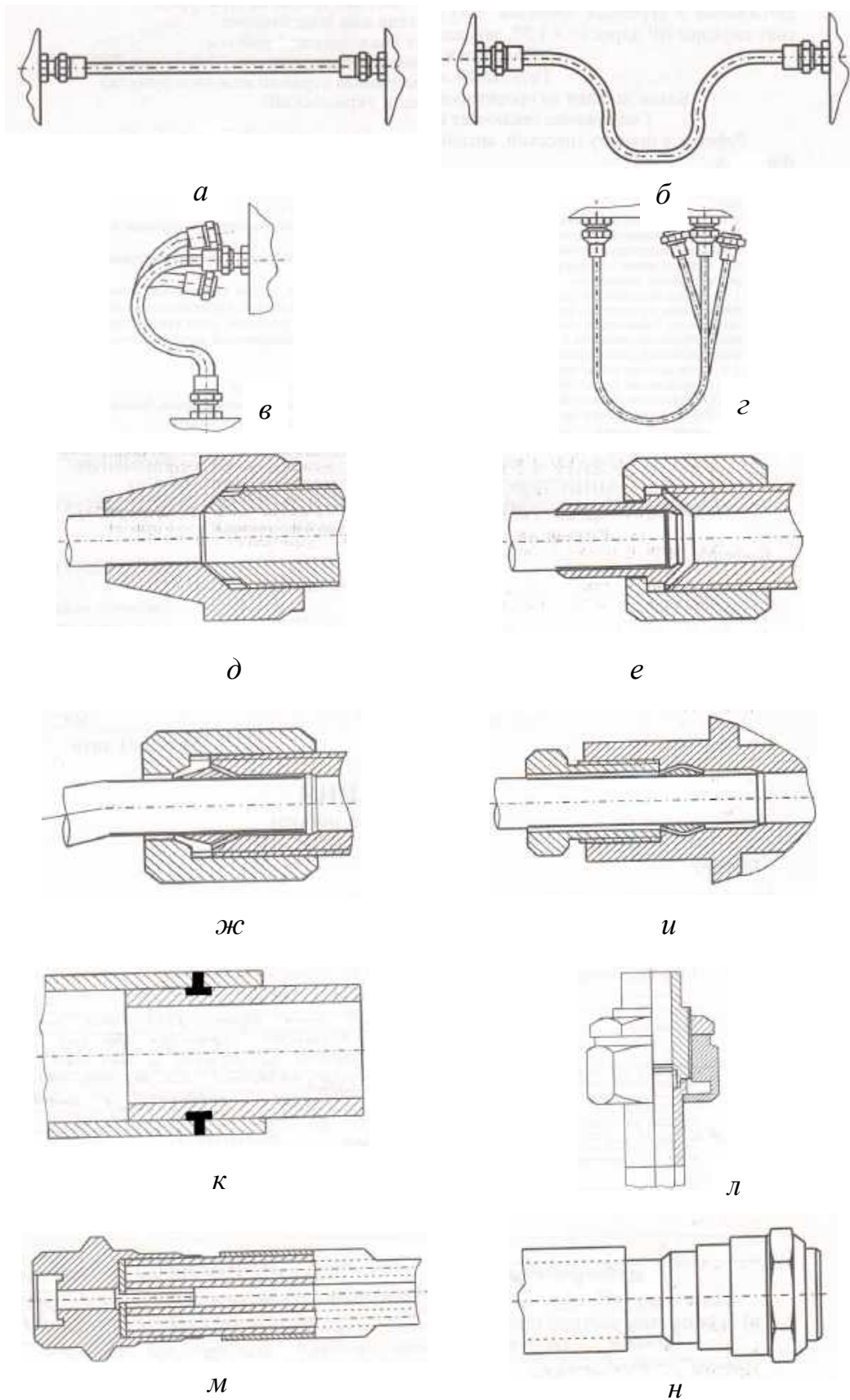


Рисунок 4.10 – Приклади з'єднання елементів трубопроводів, що працюють під високим тиском

На рисунку 4.10, а зображено з'єднання двох взаєморухомих точок трубопроводу під час експлуатації й рухомих під час монтажу. Для з'єднання точок трубопроводу, взаємний зсув яких можливий при експлуатації, використовуються конструкції з вигнутими трубними ділянками (рисунок 4.10, б–г). Під час їх монтажу не рекомендується використовувати трубчасті елементи неточної геометрії (крайні положення на рисунку 4.10, в, г). Варіанти внутрішньої геометрії з'єднань зображено на рисунку 4.10, д–н. Ці варіанти мають різні властивості, існують певні труднощі під час виготовлення й монтажу, потребується відповідне устаткування згідно з традиціями виготовлення.

Внутрішню геометрію з'єднуваних поверхонь у великих деталях, до яких приєднуються трубчасті елементи, показано на рисунку 4.11.

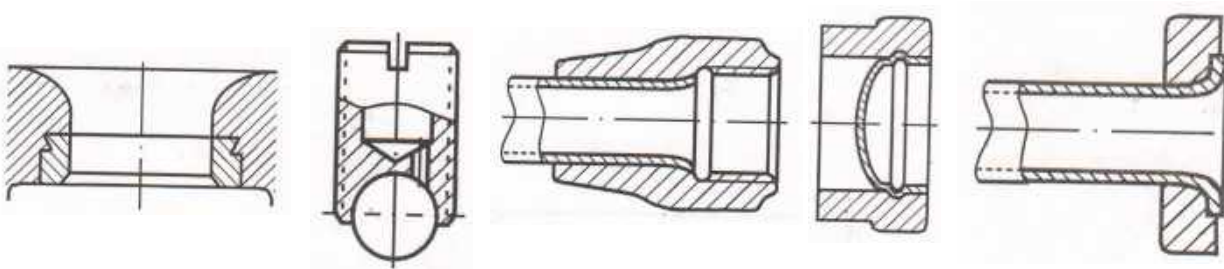


Рисунок 4.11 – Приклади виконання з'єднуваних поверхонь у великих деталях для приєднання трубопроводів

Загальна характеристика монтажних-випробних робіт

Технологічним процесом монтажу називають установлення й кріплення елементів устаткування й комунікацій на автомобілі, а також з'єднання їх між собою з подальшим контролем роботи. Відсоток обсягу цих робіт на різних типах автомобілів залежить від призначення, розмірів автомобіля й складу устаткування (рисунок 4.12).

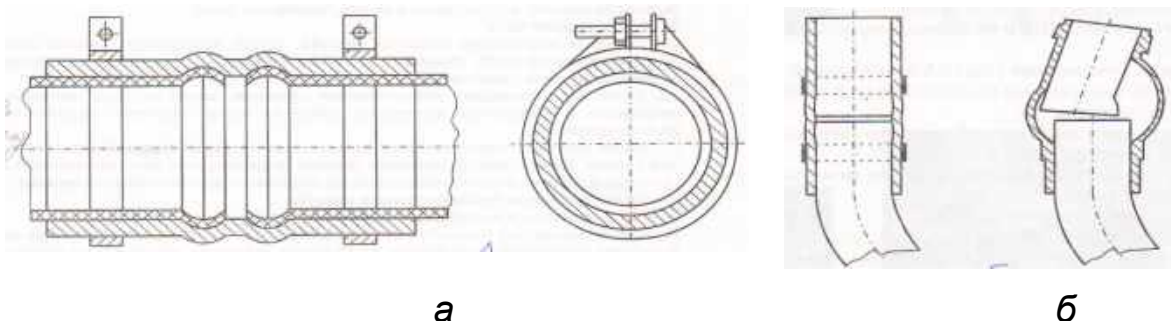


Рисунок 4.12 – Рознімні з'єднання трубопроводів: а – з'єднання, що не допускає взаємного переміщення точок, що з'єднуються; б – правильне й неправильне з'єднання частин трубопроводу

Для з'єднання трубопроводів низького тиску використовують більш прості з'єднання. Прикладом може бути з'єднання двох труб за допомогою еластичного елемента (гуми, інших еластомерів), що притискаються до них за допомогою хомутів.

З'єднання великих трубопроводів у системах транспортного конструювання є більш складними. До них ставляться високі вимоги щодо міцності під час деформації конструкції.

Монтажні роботи підрозділяються на верстатні (зі складання й монтажу панелей), агрегатні (зі складання й монтажу систем агрегатів), а також загальний монтаж систем.

Через складність конструкцій виробів для сучасних автомобілів монтажні роботи намагаються завершити на панелях, відсіках та агрегатах до загального складання. Після монтажу ці структурні одиниці виробів зазнають таких видів випробувань: на міцність і герметичність; на довговічність і надійність; на правильність роботи кінематичних механізмів; на час спрацювання механізмів; перевірка тертя в ущільненнях поршня й верхньої букси; функціонування повітряних кранів у системі, агрегатів тощо; контроль витрати палива; обкатування механізмів.

Після монтажу й випробувань окремих структурних одиниць автомобіля виконують загальне складання, монтаж і випробування.

5 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ. ОДЕРЖАННЯ ВИРОБІВ ІЗ НЕМЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

5.1 Виготовлення деталей з пластмас

Загальна характеристика пластмас. Більшість пластмас являють собою складну суміш різних компонентів, серед яких основними є полімери. Пластмаси, одержані на основі синтетичних смол або їх композицій з різними наповнювачами, легко переробляються в деталі й вироби і задовольняють найрізноманітнішим вимогам техніки. Пластмаси широко використовуються не тільки як замітники металів, але й як основні конструкційні матеріали для виготовлення відповідальних деталей і вузлів.

Пластмаси мають властивості, що вигідно відрізняють їх від інших матеріалів: простота виготовлення складних деталей і виробів з мінімальним подальшим доробленнями; мала густина, що не перевищує 2500 кг/м^3 (здебільшого $1000 \dots 1300 \text{ кг/м}^3$); високі питома міцність, вібростійкість, фрикційні або антифрикційні властивості; висока стійкість до атмосферних впливів та агресивних середовищ; високі діелектричні, звуко- й теплоізоляційні властивості; світло- й радіопрозорість. Деталі із пластмас характеризуються високим коефіцієнтом використання матеріалу ($90 \dots 95 \%$).

До недоліків пластмас слід віднести невисоку тривалу теплостійкість (до $250 \dots 300 \text{ }^\circ\text{C}$), відносно низькі значення модуля пружності й ударної

в'язкості, старіння, що призводить до змінення фізико-механічних властивостей виробів у процесі тривалого зберігання й експлуатації.

У вітчизняному й зарубіжному автомобілебудуванні пластмаси застосовуються для виготовлення деталей салону, трубопроводів системи кондиціонування, легких меблів для пасажирських кабін, теплоізоляції й декоративних панелей та ін.

Вибір матеріалу залежить від призначення й технічних вимог до виробів (міцність, герметичність, теплостійкість тощо).

Вироби із пластмас виготовляються на основі термопластичних і термореактивних полімерів. До термопластичних полімерів належать поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол, поліметилметакрилат, поліформальдегід, полікарбонат, поліаміди, фторопласти, лінійні полієфіри. Серед термореактивних полімерів найбільш часто використовуються фенолформальдегідні, мочевиноформальдегідні, поліакрилати, які отверджуються, і поліепоксида, неограничні полієфіри, полісилоксани.

При виготовленні виробів у полімерні матеріали вводять різні домішки: пластифікатори, стабілізатори, протіокиснювачі або протистарителі, отверджувачі, прискорювачі отвердження, барвники, замутнювачі тощо.

Поряд з окремими полімерами все більшого застосування набувають сплави термореактивних і термопластичних полімерів, у яких поєднуються позитивні властивості тих та інших. До найпоширеніших сполук зв'язувальних речовин слід віднести комбінацію фенолформальдегідної смоли з поліамідами, синтетичним каучуком, бутваром, аніліноформальдегідною й полісилоксановою смолами. Така комбінація дає змогу знизити крихкість та усадку фенолформальдегідної смоли. Отвердження термореактивних полімерів супроводжується усадкою від 0,15 до 18 %.

В автомобілебудуванні широко застосовуються армовані пластмаси, у яких поєднуються смола й наповнювач. Як наповнювачі застосовуються: порошкоподібні речовини (деревина, азбестове, кварцове, слюдяне борошно, окис кремнію, крейда тощо); волокнисті матеріали (азбестове волокно, скловолокно тощо); листові матеріали (папір, бавовняна, азбестова й скляна тканини, шпон тощо).

Армовані пластмаси виготовляються на основі термореактивних полімерів, переважно неограничних полієфірів, епоксидних, фенольних і кремнійорганічних смол.

Наявність наповнювача дає змогу зменшити витрату смоли до 50 %, суттєво підвищити міцність і регулювати електричні характеристики, зменшити величину усадки виробів, однак застосування наповнювача утруднює формування деталей складного контуру і впресування тонкої металеві арматури.

Під час виготовлення виробів з термопластичних полімерів значної усадки немає (0,2...4,0 %), тому термопластичні полімери порівняно рідко сполучають з наповнювачами.

Способи виготовлення деталей із пластмас. Пластмаси переробляються у виробі одним із таких методів: прямим і ливарним пресуванням, литтям під тиском, екструзією, штампуванням, формуванням при низькому тиску.

Пресування пряме й ливарне – найпоширеніші методи, які характеризуються простотою, дешевизною й забезпечують масовий випуск виробів без подальшого дороблення.

Пряме пресування здійснюється в сталевих прес-формах на пресах, переважно гідравлічних, під тиском 20...40 МПа залежно від фізичних властивостей матеріалу.

За конструктивними ознаками прес-форми для прямого пресування поділяються на відкриті, закриті й напівзакриті (рисунок 5.1).

Прес-форми відкритого типу, призначені для пресування виробів нескладного профілю, є дешевими й мало зношуються завдяки відсутності тертьових частин, але характеризуються підвищеною витратою прес-матеріалу й не потребують високої точності його дозування. Надлишок матеріалу видавлюється через зазор між пуансоном і матрицею, утворюючи облой.

Прес-форми закритого типу дають змогу пресувати вироби значної висоти й складного профілю, забезпечують більшу економію матеріалу, але потребують точного його дозування.

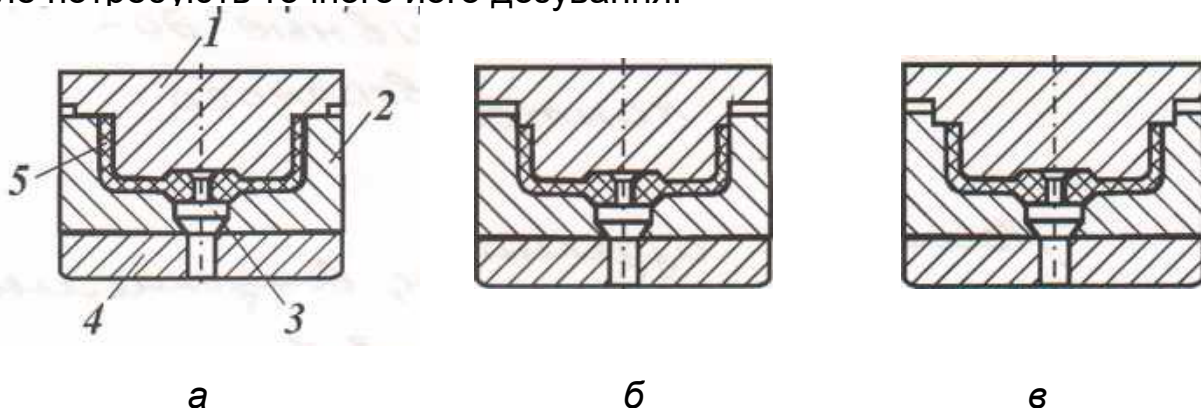


Рисунок 5.1 – Схеми прес-форм: *а* – відкритого типу; *б* – закритого типу; *в* – напівзакритого типу (1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – виштовхувач; 4 – підставка; 5 – виріб)

Прес-форми напівзакритого типу є найбільш поширеними, тому що поєднують у собі переваги прес-форм перших двох типів і забезпечують можливість пресування виробів різної конфігурації з високою точністю.

Прес-форми всіх типів можуть бути одногніздовими або багатогніздовими, стаціонарними або знімними. Розміри їх робочої порожнини підібрано з урахуванням усадки пластмаси. Підігріваються прес-форми парою або електрикою.

Спосіб прямого пресування застосовується головним чином для деталей з термореактивних пластмас. Для одержання виробів підігріта прес-

форма завантажується напівфабрикатом у вигляді порошку або таблеток, підігрітим на 10...15 °С вище температури прес-форми. Після цього проводяться дво- або трикратне підпресування й витримка для отвердження. Готова деталь виймається з прес-форми, яка очищається для наступного завантаження напівфабрикатом.

Попереднє (перед пресуванням) нагрівання термореактивної маси значно прискорює процес пресування. Особливо підвищується продуктивність при нагріванні таблеток струмами високої частоти. Якість виробів при цьому підвищується. Виникає можливість одержання виробів з тонкими стінками, оскільки таблетки нагріваються рівномірно по товщині, тоді як при нагріванні в самій прес-формі внаслідок поганої теплопровідності таблеток матеріал, що стикається зі стінками прес-форми, починає отверджуватись, а всередині таблетка не встигає нагрітись до стану пластичності.

Ливарне пресування застосовується головним чином для формотворення тонкостінних деталей складної конфігурації й деталей з тонкою арматурою.

Порошок, який пресується, завантажується в камеру 7 (рисунок 5.2), у якій унаслідок нагрівання набуває в'язкоплинного стану, після чого пуансоном 1 видавлюється через ливник 6 у вкладиш 4 та порожнину 5 між матрицею 2 і пуансоном 3, що має форму деталі. Порівняно зі звичайним пресуванням продуктивність є нижчою, однак при цьому точність розмірів і чистота поверхні є високими.

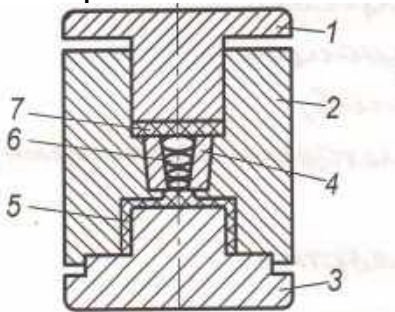


Рисунок 5.2 – Прес-форма для ливарного пресування:
1, 3 – пуансони;
2 – матриця; 4 – вкладка;
5 – порожнина, що має форму деталі; 6 – ливник; 7 – завантажувальна камера

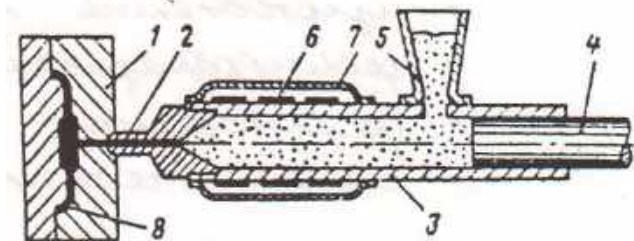


Рисунок 5.3 – Схема лиття під тиском: 1 – прес-форма; 2 – сопло; 3 – приймальна камера; 4 – плунжер; 5 – бункер; 6 – нагрівач; 7 – кожух; 8 – готова деталь

Ливарним пресуванням звичайно виготовляють вироби з порошкоподібних пластмас. Пластмаси з волокнистим наповнювачем цим способом переробляються з труднощами й при цьому втрачають до 50 % міцності.

Лиття під тиском здійснюється на спеціальних ливарних машинах (рисунок 5.3). З бункера 5 у нагрівальний циліндр безупинно подається по-

рошкоподібна маса, формується, потім ця маса за допомогою плунжера 4 надходить у приймальну камеру 3, що підігрівається. У зоні розташування нагрівачів 6 під кожухом 7 маса набуває пластичного стану і під тиском плунжера через отвір у соплі 2 надходить у порожнину прес-форми 1. Після охолодження прес-форми (звичайно водою, що надходить у пуансон і матрицю по окремих каналах) готова деталь 8 виймається.

Технологічні режими лиття залежать від типу полімеру, типу ливарної машини, конструкції форми й виробу, що виготовляється. Так, робочий тиск становить 50...150 МПа, температура – 150...300 °С.

Способом лиття під тиском виготовляються головним чином деталі з термопластів (полістиролу, поліамідів, етролів тощо).

Застосування цього способу для виготовлення деталей з термореактивних матеріалів є важким, оскільки деталі при нагріванні набувають пластичного стану на дуже малий проміжок часу.

Точність розмірів деталі залежить від точності прес-форми, її зношування й змінення робочого простору при нагріванні, точності дозування прес-порошку й усадки полімеру.

Лиття під тиском характеризується високою продуктивністю. Його недоліком є наявність у готових виробах внутрішніх напружень унаслідок нерівномірного охолодження полімеру, що позначається на механічних властивостях виробів та їх поведженні під час експлуатації.

Для того щоб деталь легко витягати із прес-форми, її стінки необхідно робити з ухилом. Для зовнішніх поверхонь ці ухили мають бути не менше 5 °, для внутрішніх – не менше 2 °. Максимальна величина ухилу – до 2 °.

Товщина деталей має бути, якщо можливо, однаковою у всіх перерізах для запобігання внутрішнім напруженням через нерівномірне нагрівання й охолодження. Різновтовщинність при пресуванні береться не більше 1 : 3, а при литті під тиском – 1 : 5. При цьому від більшого перерізу до меншого має бути плавний перехід. Допустима товщина стінок для термореактивних матеріалів має становити не більше 8...10 мм, а для термопластичних – 3...4 мм. Гострі кути й грані скруглюють, тому що зовнішні незатуплені кути легко сколюються, а внутрішні спричиняють утворення тріщин.

Отвори у виробах формують знаками (стрижнями), закріпленими в прес-формі (діаметр не менше 0,25 мм).

Різь з кроком більше 0,5 мм легко отримати в прес-матеріалі. Більш дрібну різь одержують запресовуванням нарізних або гладких металевих втулок з подальшим нарізуванням різи на верстаті. Крім нарізних втулок у деталі із пластмас можуть бути впресовані армувальні елементи з інших матеріалів (металів, скла, фарфору тощо) для місцевого зміцнення, створення електропровідних ланцюгів, кріплення до інших конструктивних елементів тощо.

Для міцного втримання в деталях на арматурах передбачаються рифлі, накатки, проточки, виступи, отвори.

Екструзія – процес, багато в чому подібний до лиття під тиском. Здійснюється на спеціальних машинах – екструдерах. Методом екструзійного формування одержують різні профілі, труби, а також плівки й листи з термопластичних полімерів.

Як екструдери найчастіше застосовуються черв'ячні преси (шнек-машини) безперервної дії, що мають високу продуктивність. Схему робочої частини екструдера зображено на рисунку 5.4. Напівфабрикат у вигляді порошку, гранул або стрічки подається через завантажувальний бункер 1 у циліндр 3, що підігрівається, і захвачується шнеком 2, що обертається зі швидкістю 20...100 об/хв. Переміщаючись уздовж осі циліндра, напівфабрикат поступово розігрівається до в'язкоплинного стану (температура 120...200 °С) і продавлюється через решітку 5 і мундштук 6.

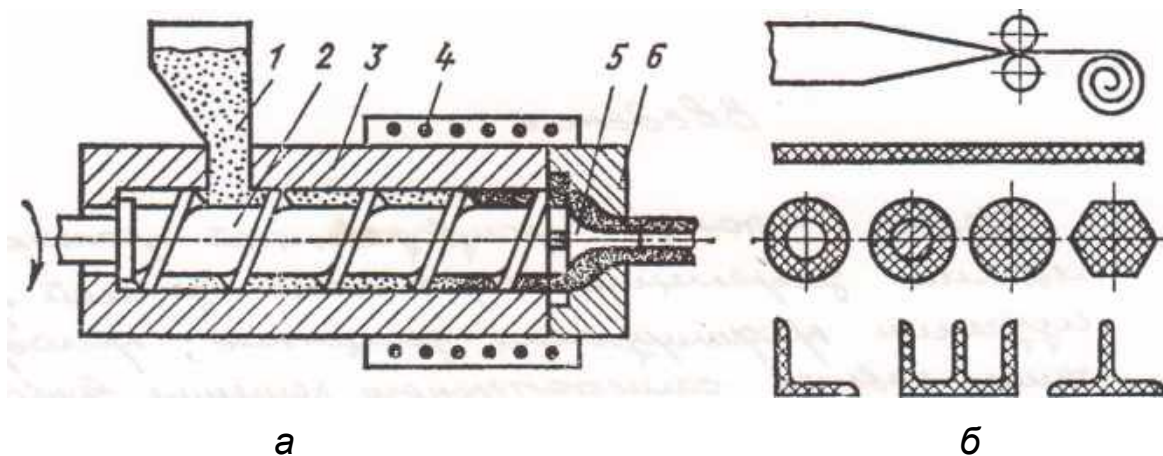


Рисунок 5.4 – Безперервне видавлювання: а – схема установки (1 – бункер; 2 – шнек; 3 – циліндр; 4 – нагрівач; 5 – решітка; 6 – мундштук); б – профілі одержаних деталей

Температура циліндра в різних зонах є неоднаковою: найбільш низька – у завантажувальній зоні, яка охолоджується водою, щоб матеріал не розм'якшувався й краще захоплювався першими витками шнека, а в міру наближення до головки екструдера температура підвищується, набуваючи максимуму.

При цьому опір тертю металу об стінки циліндра зменшується, що запобігає зворотному руху матеріалу. Решітка створює опір, необхідний для ущільнення розплаву, затримує великі непрогріті частини матеріалу й нейтралізує шкідливу дію шнека на матеріал. Потрапляючи в приймальний пристрій, виріб охолоджується повітрям або водою.

Екструзію можна здійснювати й без нагрівання зовнішніми джерелами при так званому адіабатичному процесі видавлювання. Матеріал при цьому нагрівається внаслідок тертя об стінки циліндра й поверхню шнека, а також тертя між частками матеріалу. При швидкості обертання шнека

близько 1000 об/хв виділяється достатня кількість теплоти для розм'якшення полімеру (термопласту) до стадії плинності. Адіабатичний процес видавлювання забезпечує більш рівномірне прогрівання матеріалу й більш інтенсивне перемішування, що підвищує якість виробів. Отримані тверді труби розрізаються на частини необхідної довжини, м'які труби намотуються на катушки. Для одержання різних профілів використовують відповідні конструкції головок екструдера й формувальних пристроїв.

Штампуння застосовується для формотворення листових термопластів (органічного скла, полістиролу, вініпласту, целулоїду, поліетилену, поліпропілену) і деяких матеріалів на основі термореактивних смол. Метод штампуння є простим, характеризується коротким циклом підготовки й дає змогу формувати великогабаритні деталі складної об'ємної форми без спеціального потужного устаткування. Найчастіше штампуння використовується при виготовленні деталей скління літаків з органічного скла.

5.2 Виготовлення деталей з органічного скла

Органічне скло завдяки високій променепрозорості, низькій теплопровідності, невеликій питомій вазі, задовільній міцності, високій термопластичності та іншим властивостям широко застосовується для виготовлення деталей автомобілів. Деталі скління являють собою прозорі панелі, які застосовують як блістери й вікна, стекла кабін і ліхтарів. Блістери – це об'ємні деталі різноманітної геометричної форми, близької до тіл обертання, що мають високі оптичні властивості. Вікна – об'ємні деталі подвійної або одинарної кривизни з незначною стрілою прогину.

Суть методу перероблення органічного скла в деталі полягає в наданні плоскому розігрітому листу необхідної форми з подальшою фіксацією її охолодженням.

Формування деталей скління з неорієнтованого органічного скла. Способи формування деталей скління з неорієнтованого органічного скла поділяються на контактні й безконтактні. При контактних способах формування заготовка з органічного скла укладається на робочу поверхню пристрою, що задає форму деталі, і розігрівається до температури формування (на 15...20 °С вище температури розм'якшення органічного скла). Для зменшення тепловіддачі пристрою перед формуванням підігрівається до 70...80 °С. Відформована деталь разом із пристроєм охолоджується під термоізоляційним чохлом до 40...45 °С. З метою зняття внутрішніх напружень і забезпечення точності форми деталі скління, відформовані контактними способами, піддають термічному обробленню (відпалу).

Контактне формування застосовується для виготовлення деталей скління складної форми і в комбінації з відпалом забезпечує одержання обводів відформованої деталі з мінімальним відхиленням від теоретичного контуру.

До контактних способів формування належать: вакуумний; пневматичний; за болванкою контурною; у закритих штампах; пневматичний через протяжне кільце.

Безконтактне формування застосовується для виготовлення деталей скління з поверхнями типу тіл обертання, що мають високі оптичні властивості. Існують два способи безконтактного формування – вакуумний і пневматичний. Вибір способу залежить від товщини вихідної заготовки органічного скла й глибини витяжки деталі. Для формування товстостінних великогабаритних деталей зі значною глибиною витяжки застосовується пневматичний спосіб, причому зі збільшенням глибини витяжки підвищується різнотовщинність відформованої деталі.

Форма деталі, що виготовляється, задається конфігурацією протяжного кільця пристрою. Суть вакуумного формування полягає в тому, що заготовка з органічного скла, розігріта до температури формування, затискається між камерою, у якій створюється розрядження або надлишковий тиск повітря, і притискним кільцем. Правильність обводів деталі, що формується, забезпечується рівномірним розігрівом заготовки й точним регулюванням вакууму або надлишкового тиску повітря. Величина вакууму або надлишкового тиску повітря підтримується постійною доти, доки деталь не охолоне до 40...45 °С. Потім вакуум або надлишковий тиск вимикають, і деталь виймають із пристрою.

5.3 Виготовлення деталей з кераміки й металокераміки

Загальна характеристика керамічних і металокерамічних матеріалів. В автомобілебудуванні деякі деталі й вироби виготовляють із порошків різних металів і спеціальних керамічних матеріалів методами порошкової металургії й керамічної технології.

Вироби за методом порошкової металургії одержують із тонкодисперсних металевих порошків шляхом формування, спікання, а в необхідних випадках і подальшого механічного оброблення. До матеріалів, що переробляються тільки цим методом, належать тверді сплави, композиції з металів і неорганічних неметалічних матеріалів тощо. У металокерамічних матеріалах (керметях) реалізується ідея поліпшення властивостей одного матеріалу комбінацією його з іншим. Добором сумішей можна одержати вироби із заздалегідь заданими властивостями.

Якщо необхідно, у деталі можна вводити арматуру з різних матеріалів. Їх можна піддавати механічному обробленню, зварюванню, паянню, термічному обробленню, і на них можна наносити різні покриття.

Металокерамічні й керамічні вироби характеризуються пористістю і, отже, меншою густиною (40...90 % від густини основного матеріалу). Особливостями цих виробів є порівняно невелика деформація в момент руйнування керметів і дуже мала – керамічних матеріалів. Крихкість у комбінації з пористістю приводить до великого розкиду величин міцності мате-

ріалу однієї й тієї ж марки, що, своєю чергою, потребує збільшення коефіцієнта безпеки під час розрахунків на міцність.

Для виготовлення металокерамічних виробів застосовуються порошки заліза, міді, олова, свинцю, алюмінію, нікелю, хрому, а також порошки оксидів, карбідів, боридів, нітридів та ін.

Металокераміка використовується при виготовленні підшипників і фрикційних виробів, фільтрів для очищення різних рідин, газів і рідких металів від твердих частин, а також контактний і магнітний матеріалі. Вироби з керметів і керамічних матеріалів можуть працювати без додаткового змащення при високих температурах.

Підшипники з металокераміки характеризуються високою зносостійкістю й здатністю довгостроково експлуатуватися без змащення, оскільки їх пори в процесі виготовлення заповнюються мастилом. Пористі підшипники випускаються двох видів: залізграфітові (1...3 % графіту) і бронзографітові (80...86 % міді, 9...10 % олова, 2...3 % графіту). Середній термін експлуатації металокерамічних підшипників у 10–15 разів більше, ніж бронзових.

Фрикційні вироби з металокерамічних матеріалів мають коефіцієнт тертя 0,3...0,5 при роботі насухо і 0,1...0,2 при роботі в маслі. Для підвищення теплостійкості й збільшення коефіцієнта тертя фрикційних виробів на основі міді або заліза до них додається кремній, азбест та інші компоненти. Додавання свинцю, графіту та деяких інших компонентів створює змащення на поверхні третьових частин.

Сьогодні намітилися два напрями застосування матеріалів, що працюють в умовах тривалого нагрівання в кислому середовищі:

- безпосереднє виготовлення необхідних деталей з кераміки відповідної питомої міцності й жаростійкості;
- захист від окиснення та інших термохімічних процесів досить жароміцних тугоплавких металів, графіту, металокераміки або кераміки шляхом нанесення на їх поверхню покриття на основі окисної або іншого типу кераміки.

Для першого напрямку найбільш перспективними є окиси, що переробляються методами керамічної технології. Для другого напрямку у випадку керамічної або металокерамічної основи також застосовується керамічна або металокерамічна технологія, а для нанесення захисного покриття ÷ найрізноманітніші технологічні процеси.

Металеві й керамічні порошки характеризуються різнозернистістю, насипною вагою, відносними обсягом і густиною. Ці та інші властивості визначають їх поведінку під час перероблення, виявляючи вплив на плинність, формованість, ущільненість і спікливість (випал). Міцність виробів з порошкових матеріалів є тим вищою, чим вищим є ступінь дисперсного вихідного порошку.

Методи виготовлення. Технологічні процеси виготовлення виробів з порошкових матеріалів є різноманітними й залежать від вихідних матеріа-

лів, форм і розмірів деталей. Можна виокремити основні етапи одержання деталей:

- підготовка вихідної композиції;
- формотворення й спікання (для металокераміки) або випалення (для кераміки);
- доробка (зачищення, механічне оброблення, покриття);
- контроль.

Порошок для пресування має відповідати таким вимогам: плинність, достатня для певного методу формування; стабільна насипна вага; у необхідних випадках (кераміка, тугоплавкі метали) належна кількість технологічного сполучного (пластифікатора) певного типу. Як сполучне застосовуються клеї, парафін, стеарин тощо. Вихідні компоненти у вигляді порошків просіваються через механічне сито й ретельно перемішуються в певному ваговому співвідношенні в механічних змішувачах. Підготовлені порошки зберігаються в сухому приміщенні в герметичній тарі.

Залежно від якості матеріалів і методів формування вихідна композиція готується у вигляді порошку або суміші порошків – **шихти**, або суміші порошків, змішаної з технологічним сполучним (пластифікатором) – **шлікером**. На першому етапі значною мірою визначаються основні характеристики майбутньої деталі або виробу.

На другому етапі відбувається формування деталей і виробів, після чого кермети спікаються, а кераміка обпікається.

Операції першого й другого етапів виконуються окремо, але в деяких випадках вони можуть бути об'єднані.

Для одержання точних розмірів деталей або їх заготовок необхідно точно дозувати шихту за допомогою спеціальних пристроїв – дозаторів.

Підготовлена й дозована шихта (шлікер) завантажується у форму для подальшого формотворення одним із методів: пресування холодне або при порівняно невеликому нагріванні (гідростатичне, гаряче, мундштучне або шприцювання); лиття (шлікерне або суспензійне, відцентрове, гаряче); прокатка.

Пресування холодне при порівняно невеликому нагріванні використовується для деталей порівняно простих форм (пластинок, циліндрів, труб тощо) при невеликій їх висоті (у напрямку пресування) відносно площини перерізу. Суть способу полягає в тому, що порошок або суміш порошків завантажується в сталеву прес-форму й пресується з певним тиском, який створюється звичайно гідравлічним пресом. Тиск пресування залежить від матеріалу й необхідної густини виробу і становлять 150...400 МПа.

Пресування гаряче застосовується для деталей і виробів з тугоплавких металів і кераміки. Порошок або суміш порошків завантажується у форму з тугоплавких матеріалів (часто з графіту) і піддається одночасному впливу тиску й тепла. Таким чином, деталі тут одержують за одну опера-

цію. Пресування ведеться при температурі спікання. Нагрівання здійснюється в печах або електричним струмом індукційним методом або методом опору з використанням як нагрівального елемента графітової форми. Гаряче пресування забезпечує кращу густину, більшу рівномірність структури й різке зменшення часу випалення (спікання).

При **гідростатичному пресуванні** одержують складні заготовки або деталі (у тому числі великогабаритні, симетричної форми), причому забезпечується краща густина і, отже, менша усадка при спіканні або випаленні. Порошок, суміш порошків або шлікер при цьому способі вводять у гумову посудину, що має форму майбутньої деталі, або в простір між гумовою посудиною і стрижнем, що відтворює внутрішню форму деталі, і поміщають у гідростатичну установку для всебічного стискання (рисунок 5.5). Порошок пресується більш рівномірно і виходить більш рівна структура матеріалу. Отриманий виріб піддають спіканню (випаленню). У гідростатичних установках може створюватися тиск до 300 МПа.

Пресування мундштукове (або **екструзія**) застосовується для виготовлення стрижнів, труб і профілів, зокрема, тонких керамічних стрижнів (наприклад, для напилювання).

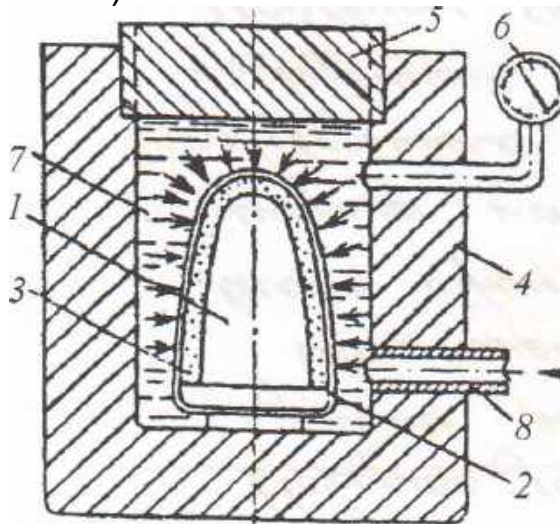


Рисунок 5.5 – Схема гідростатичного пресування: 1 – стрижень; 2 – гумовий мішок; 3 – заготовка; 4 – корпус; 5 – кришка; 6 – манометр; 7 – рідина; 8 – мундштук

Суміш порошків, змішана з пластифікатором, продавлюється штоком через профільований отвір матриці – мундштук. Отримані вироби піддають попередньому спіканню для видалення пластифікатора й остаточному спіканню (випаленню). Метод характеризується порівняно невеликим і нерівномірним по перерізу ущільненням, що призводить до усадок під час випалювання. Методи лиття забезпечують більш рівномірне ущільнення маси, хоча ступінь ущільнення в більшості випадків є меншим, ніж при пресуванні.

Лиття шлікерне (суспензійне) є основним видом ливарного формування для деталей складних форм середніх і великих розмірів. Вихідна композиція змішується із пластифікатором (зазвичай водою) і заливається у форму з гігроскопічного матеріалу, найчастіше гіпсу.

Вода частково всмоктується гіпсом, частково випаровується, а порошок під дією власної ваги ущільнюється. Після сушіння деталь, витягнута з форми, спікається. Усадки при цьому є значними, тому для деталей точних розмірів здійснюються попереднє (низькотемпературне) спікання, механічне оброблення й остаточне спікання.

Лиття відцентрове є різновидом шлікерного. Частинки тут ущільнюються під дією відцентрових сил, ступінь ущільнення вище й усадка менше. Рівномірність ущільнення залежить від форми виробу. Цим способом виготовляють деталі, що мають форму тіл обертання.

Лиття гаряче здійснюється із застосуванням пластифікатора. Суть методу полягає в тому, що порошок змішується із пластифікатором (парафіном, воском тощо), і отриманий шлікер у розплавленому стані заливається у форми. Після видалення пластифікатора виплавленням здійснюється спікання. Розрізняють лиття під тиском і в кокіль. Велике ущільнення, природно, досягається при литті під тиском. Усадки при литті є досить значними, що необхідно враховувати під час проєктування оснащення.

Крім цих загальновідомих методів, придатних і для лиття металів, порошкові вироби можна одержувати і методами **наморожування та зливального лиття**.

У першому випадку в гарячий шлікер занурюється холодний пуансон, що відтворює внутрішню поверхню деталі. Гаряча маса застигає на поверхні пуансона, утворюючи кірку-заготовку. Повторюючи багаторазово цю операцію, можна одержати заготовку необхідної товщини. Обмеженням застосування методу є низька теплопровідність шлікера.

У другому випадку гарячий шлікер заливається в холодну матрицю, що відтворює зовнішню поверхню деталі (виробу). Залишок незатверділої маси шлікера зливається. Оскільки одна з поверхонь виходить завжди неточною, після ущільнення, видалення сполучного здійснюються попереднє (неповне) спікання, механічне оброблення й остаточне спікання.

Метод напилювання дає змогу одержувати керамічні деталі (вироби) шляхом нанесення порошків на обертову оправку, що відтворює внутрішню поверхню виробу.

При холодному напилюванні порошкоподібна суміш керамічних матеріалів змішується з фенолформальдегідними або кремнійорганічними сполучними й напилюється на нагріту поверхню оправки. Після напилювання, у процесі якого частинки оплавляються і зчіплюються між собою, утворюється заготовка, міцність якої можна збільшити полімеризацією смоли. Оправка видаляється хімічним травленням або яким-небудь іншим способом.

У випадку гарячого напилювання суміш керамічних матеріалів під дією полум'я сильно розігрівається (аж до оплавлення) і з великою швидкістю викидається на поверхню оправки, утворюючи заготовку. При цьому залежно від температури полум'я можна одержувати не тільки заготовки, що потребують подальшого спікання, але й готові керамічні деталі. Розігрівання здійснюється за допомогою газополуменового, дугового або плазмового пальника. Оправка видаляється тим же способом, що й при холодному напилюванні.

Методи напилювання можуть використовуватися також для нанесення захисних керамічних покриттів на металеві й керамічні деталі. Щоб виключити термохімічну взаємодію матеріалів основної деталі й покриття внаслідок відмінності їх коефіцієнтів лінійного розширення, на поверхню деталі наноситься металевий підшар гарячим напилюванням або іншим методом.

Доробка відповідно до технологічного процесу полягає в зачищенні заготовок і виробів, калібруванні, гострінні, фрезеруванні, свердлінні, обробленні ультразвуком за допомогою спеціального інструмента. Ультразвуком обробляються зазвичай деталі з найбільш крихких матеріалів.

На всіх етапах виготовлення деталей і виробів контролюються вихідні металеві порошки й суміші порошків, брикети й готові деталі (вироби). Зовнішнім оглядом можна виявити тріщини, раковини, розшаровування, оплавлення. Внутрішні дефекти виявляються рентгеноскопією. Крім того, окремі деталі з партії піддаються механічним і хімічним випробуванням і металографічному контролю з метою визначення плинності, рівномірності розподілу компонентів у шихті, пористості, твердості тощо.

Під час розроблення технологічних процесів виготовлення деталей і виробів з порошкових матеріалів необхідно дотримуватись таких правил:

- виконувати отвір, якщо можливо, круглого перерізу;
- забезпечувати рівномірність товщини стінок деталей;
- уникати різких переходів від товстих перерізів до тонких.

Визначаючи доцільність застосування методів порошкової металургії для виготовлення деталей, які можна отримати іншими способами, слід приділяти увагу насамперед масштабу виробництва і складності деталей.

5.4 Виготовлення деталей і конструкцій з полімерних композиційних матеріалів

До складу полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) входять високміцні волокна й полімерні сполучні. Характеристики застосовуваних наповнювачів наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики застосовуваних наповнювачів

Тип наповнювача	Найменування, марка наповнювача	Радіус перегину*, мм	Товщина моношару**, мм
Вуглецеві	Джгут ВНМ-424	5	
	З додаванням рівниці: ВНМ-РК; ЛУ-3; ЕЛУР-1	5	0,35...0,42
		5	0,25...0,30
		5	0,1
	Волокно	50	0,15
Борні	Комплексна нитка КБСН	50	0,3
Скляні	Нитка кручена: ТС-68*1×2; ВМС-6-7,2*1*2-80; ВМПС-6-7,2*1*2*270	2	0,11...0,14
	Джгут: РВМПН-10-400-80; РВНМ-10-400-80	2	
Органічні	Нитки кручені СВМ № 17–34	2	0,20...0,25

Примітка: * – радіус перегину для попередньо просочених напівфабрикатів;

** – товщина моношару, наведена для композиційного матеріалу, відформованого в автоклаві.

Розроблення конструкції деталей із ПКМ має кілька особливостей: композиційні матеріали – анізотропні; орієнтація волокон і конструкцію виробу задає конструктор відповідно до діючих навантажень; виготовлення матеріалу і формотворення деталі відбуваються одночасно, тому розкид фізико-механічних характеристик матеріалу для деталі є більшим, ніж для металевих сплавів.

Для стабілізації режимів технологічного процесу і фізико-механічних характеристик матеріалів рекомендується ширше застосовувати попередньо просочені матеріали («сухий» спосіб виготовлення), що дає змогу механізувати й автоматизувати технологічні процеси намотування й викладення з подальшим автоклавним і пресовим формуванням, а також вести поопераційний контроль технологічних процесів.

При виготовленні деталей та агрегатів із ПКМ застосовують спеціалізоване устаткування для розрахунків фабрикатів, для виготовлення деталей методом викладення, для виготовлення деталей методом намотування, для формування деталей.

Технологічні характеристики полімерних композиційних матеріалів, що застосовуються для виготовлення деталей, наведено в таблиці 5.2.

Фізично армувальні матеріали являють собою некручені (рівниці) нитки, стрічки й тканини.

Первинну некручену склонитку (рівницю) одержують із розплаву скла, рівниця складається з 200–220 волокон. Технічна некручена нитка (пальть/джгут) складається з 60–72 рівниць. Кручену нитку отримують крученням рівниці з 2–16-разовим складенням (на 1 м припадає 50–200 круток). Із цих ниток методами ткацтва виготовляють тканини різного переплетення: полотняного, саржевого, сатинового тощо.

Таблиця 5.2 – Технологічні характеристики ПКМ

Марка сполучного	Марка матеріалу	Умови отвердження		
		Максимальна температура, °С	Тиск, МПа	Цикл, год
ЕТФ	КМУ-1Л КМУ-1В КМУ-1В	200	1,2	9
Е-341А (5-211 Б)	КМУ-3 КМУ-3Л	125	1,0	6
ЕНФБ	КМУ-4Л КМУ-4Е	165 175	0,6	6
СП-95	КМБ-2М	235	1,0	6
УП-1230С	КМБ-3М	140	0,4	6
ЕНФБ	КМБ-4М	160	0,6	6
ЕДТ-ЮП	ЕДТ-ЮВОВ (ВПС-9)	180	0,1...0,5	3
Е-341А (5-211БМ)	7Н	160	0,5	8

Примітка. Зберігання препрегів при температурі не вище 25 °С не має перевищувати 20–180 діб.

Виготовляються гібридні тканини з різних комбінацій скляних, вуглецевих та органічних волокон.

Шляхом металізації волокон одержують електропровідні тканини й тканини з особливими радіотехнічними властивостями.

Односпрямовану вуглецеву стрічку одержують на установках типу УЛК-2, УЛС-2М і УЛС-3 методом формування пасм зі джгутів з подальшим просоченням, сушінням і намотуванням стрічки на котушку приймального пристрою. Керування установкою здійснюється з пульта керування. На установках УЛК-2 і УЛК-3 можна одержувати стрічку на паперовій підкладці. Паперова підкладка, що є необхідною для забезпечення точності викладення стрічок з композиційних матеріалів, є транспортером, за допомо-

гою якого стрічка з композиційного матеріалу спрямовується в зону викладення.

Просочення тканих стрічок і тканин з вуглецевих і борних волокон здійснюється на установках типу УПСТ-1000 і УПСТ-300 з подальшим сушінням і намотуванням на котушку вузла приймання тканини. Керування установками ведеться з пульта керування.

Верстати для викладення типу ВКЛ-1*2,5ПУ, ВКЛ-2*8ПУ, ВКЛ-2*12ПУ, ВКЛ-4*12ПУ призначено для виготовлення деталей одинарної кривизни й плоских панелей. Верстати для викладення оснащено пристроєм програмного керування НЗЗ-2М або Н-55 і вакуумним столом для кріплення деталей.

Робота верстатів для викладення базується на принципі машинного викладення, який полягає в тому, що стрічка з композиційного матеріалу, що знаходиться на паперовій перфорованій підкладці, укладається на виріб і накручується рухом розкладальної головки по необхідній траєкторії відносно виробу, а паперова підкладка намотується на спеціальну котушку.

Намотувальні верстати являють собою двошпindelьні верстати з горизонтальним розташуванням осей шпindelів. Передня й задня бабки мають по два шпindelі для намотування деталей малого і великого діаметрів на обертову оправку.

Автоклави призначено для формування й отвердження деталей з композиційних матеріалів, склеювання відформованих деталей і стільникових конструкцій (рисунок 5.6).



Рисунок 5.6 – Автоклав для виготовлення деталей з композиційних матеріалів

Автоклав являє собою горизонтальну циліндричну посудину, установлену на опорах, із привареним еліпсоїдальним днищем і поворотною кришкою. Усередині автоклава на опорному візку встановлено трубчастий

холодильник та електричний нагрівач, у якому як нагрівальний елемент застосовується ніхромова стрічка. Нагрівач забезпечує необхідну потужність теплового потоку. Охолодження установки – водяне. Вакуумування деталі, що формується, здійснюється вакуум-насосом.

Виготовлення напівфабрикатів – препрегів. Якість деталей із ПКМ пов'язане з технологічними процесами одержання напівфабрикату (препрегу) і формування з нього виробу. Найпоширенішим є метод виготовлення деталей з односпрямованих і тканих стрічок, попередньо просочених сполучним.

Односпрямовані стрічки виготовляють на установках типу УЛК (рисунок 5.7).

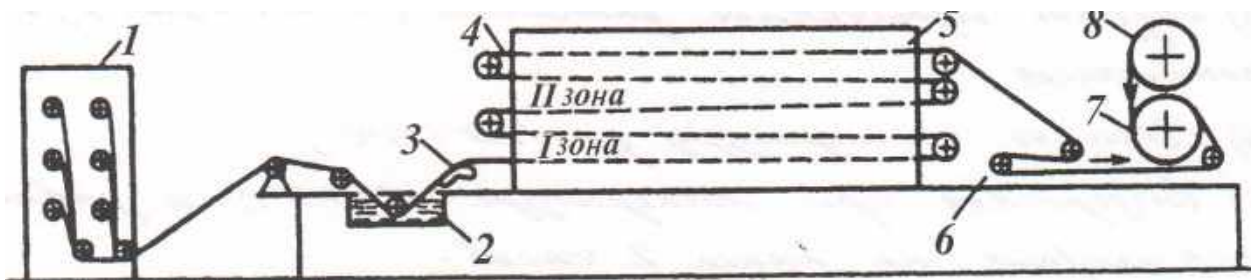


Рисунок 5.7 – Схема установки типу УЛК: 1 – шпулярник; 2 – просочувальна ванна; 3 – віджимний пристрій; 4 – вуглецева стрічка; 5 – сушильна камера; 6 – механізм протягування; 7 – механізм намотування; 8 – фторопластова підкладка

Типовий технологічний процес просочення складається з таких операцій:

- установлення необхідної кількості шпуль у шпулярник;
- установлення необхідного натягу джгутів і температурного режиму сушильної камери;
- заливання сполучного в просочувальну ванну;
- протягання стрічки відповідно до заданих режимів;
- намотування просоченої стрічки на приймальну катушку.

У процесі виготовлення стрічок контролюються:

- обрив волокон (візуально);
- температура сушіння (за потенціометром);
- рівень сполучного (за рівноміром);
- зазор у віджимному пристрої (за допомогою щупа);
- швидкість процесу протягання (за мікроамперметром);
- метраж стрічки (за лічильником метражу).

Ширина й товщина стрічки виміряються за допомогою стандартного вимірювального інструмента. Контроль умісту сполучного в стрічці здійснюється в зразках, відрізаних на початку й кінці формованого препрегу.

Виготовлення деталей методом намотування. Методом намотування створюють найбільш міцні конструкції при мінімальній масі, що забезпечується орієнтацією армувального наповнювача в напрямку дії головних навантажень.

Методом намотування виготовляють деталі, що являють собою тіла обертання (типу секцій трансмісійного вала, балонів високого тиску, корпусів двигунів, повітроводів) (рисунок 5.8, а, б), і деталі складної форми (типу лопат, закрилків) (рисунок 5.8, в, г).

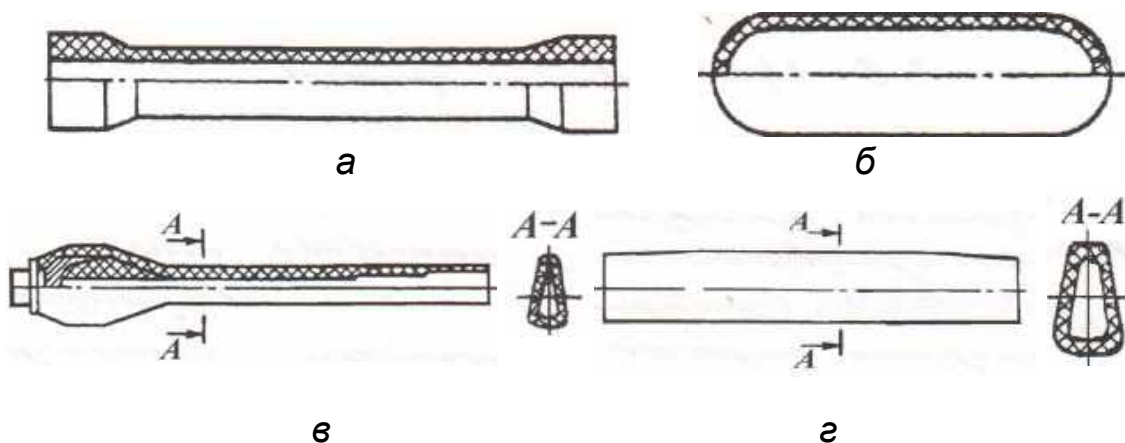


Рисунок 5.8 – Деталі, виготовлені методом намотування на верстатах із програмним керуванням: а – секція трансмісійного вала; б – балон високого тиску; в, г – лонжерони

На рисунку 5.9 зображено одну з можливих схем намотувального верстата – так званого токарного типу.

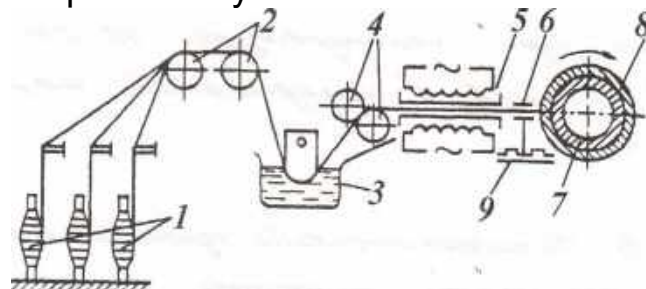


Рисунок 5.9 – Схема намотувального верстата: 1 – шпулі; 2 – напрямні ролики; 3 – ванна зі сполучним; 4 – віджимні валики; 5 – нагрівальна камера; 6 – укладальний пристрій; 7 – оправка; 8 – виріб; 9 – напрямні

Привід верстата обертає оправку й переміщає укладальний пристрій. Укладальний пристрій має кільце і здійснює зворотно-поступальний рух по напрямній. Через кільце укладального пристрою проходить нитка зі шпулі, просочена сполучним у ванні й нагріта до необхідної температури в камері. Армувальний матеріал укладається на оправку з натягом, що регулює

ється за допомогою напрямних роликів і віджимних валиків. Швидкість намотування залежить від швидкості обертання оправки. Своєю чергою, обертання оправки й переміщення укладального пристрою синхронізуються. Залежно від довжини виробу, розрахункового кута намотування встановлюються кількість обертів оправки й кількість ходів укладального пристрою. Найбільш раціональним є програмування зв'язку між рухом укладального пристрою й обертанням оправки.

Звичайно для одержання матеріалу задовільної якості достатньо тиску від натягу стрічки або нитки. У деяких випадках для одержання більш щільного матеріалу рекомендується додаткове опресування при термічному обробленні сполучного під тиском 0,2...0,5 МПа.

Сьогодні набули значного поширення такі різновиди намотування: тканинне, поздовжньо-поперечне, спіральне (геодезичне).

Тканинне намотування характеризується тим, що на циліндричну або конічну оправку в певній послідовності намотуються шари попередньо просоченої тканини. Процес характеризується високою продуктивністю й хорошою герметичністю отриманого виробу, що зберігається аж до його руйнування під час випробування внутрішнім тиском.

Поздовжньо-поперечне намотування характеризується орієнтацією просочених стрічок, джгутів по твірних (поздовжнє укладання) і в коловому напрямку під кутом 90° до осі оправки (поперечне укладання). Міцність конструкції підвищується порівняно із тканинним намотуванням і становить 700...800 МПа і більше.

Спіральне (геодезичне) намотування здійснюється шляхом укладання армувального матеріалу, просоченого сполучним, по траєкторіях геодезичних ліній. Геодезичне намотування використовується для виготовлення конічних відсіків, посудин високого тиску сферичної, а також циліндричної форми із закритими торцями або полярними отворами. В останньому випадку для одержання рівномірної конструкції проводиться додаткове намотування в коловому напрямку.

Найбільш перспективним напрямком є механізоване намотування на верстатах із програмним керуванням. Як напівфабрикат використовуються просочені термореактивним сполучним стрічки, джгути, нитки, тканини.

Намотування деталей, що являють собою тіла обертання, і деталей некруглого профілю здійснюється на верстатах із програмним керуванням типу НК-9ПУ, НК-10ПУ, НК-11ПУ, НЛ-ЗПУ.

Підготовчий процес полягає у складанні програми для верстата з ЧПК з урахуванням довжини оправки, діаметра полярних отворів і форми технологічних днищ на основі вимог технічного завдання, у якому вказуються такі параметри: кут укладання армувального наповнювача на оправку, ширина стрічки, що використовується, заходність рисунка намотування, допустима величина зазору між стрічками наповнювача, допустиме відхилення від кута армування.

Програма має забезпечувати укладання напівфабрикату без нахлестів, із зазором до 1 мм і швидкістю не більше 10 м/хв. Для деталей з товщиною стінки більше 3 мм програма розраховується з урахуванням зміни діаметра (периметра) при намотуванні через кожні 3 мм.

Для виготовлення деталей, що являють собою тіла обертання, застосовують оправки зі сферичними закінцівками, а для деталей складної геометрії – оправки, для яких форма технологічних закінцівок визначається експериментально. Це забезпечує намотування на поверхні оправки по лініях, близьких до геодезичних. Для виготовлення деталей методом намотування застосовуються оправки таких типів:

- металеві нерозбірні й розбірні багаторазового застосування з конусністю зовнішньої поверхні 0,25 мм на довжину оправлення 1000 мм;
- нерозбірні багаторазового застосування без конусності, виготовлені з матеріалів з коефіцієнтом лінійного температурного розширення $\alpha \leq 13 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ для перероблення композиційних матеріалів з відносним подовженням при розриві $\varepsilon \leq 1$;
- одноразового застосування (надувні, що вимиваються, що виплавляються, що руйнуються, що залишаються у виробі).

Поверхні металевих оправок виготовляють із шорсткістю не більше $Ra = 2,5$ мкм, при цьому точність на два квалітети вище точності виготовлення деталі.

Оформлення зовнішніх поверхонь намотаних заготовок подовжується під тиском в автоклавах, де застосовують цулаги зі стиками, розташованими вздовж твірної деталі (рисунок 5.10).

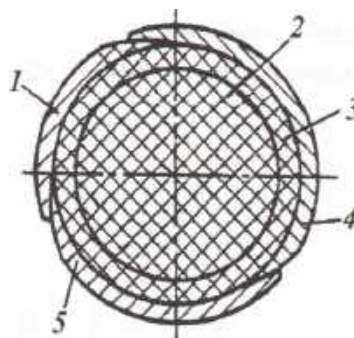


Рисунок 5.10 – Схема розташування цулаг на поверхні заготовки:

- 1 – перша секція цулаги; 2 – оправка; 3 – намотана заготовка;
- 4 – третя секція цулаги; 5 – друга секція цулаги

Для деталей, що являють собою тіла обертання діаметром не більше 60 мм, застосовують цулаги, які складаються з трьох секцій. Якщо діаметр більше 60 мм, то застосовують цулаги, що складаються не менш ніж з п'яти секцій. Края секцій, цулаги розташовують внапуск назустріч обертанню

оправки при виклеюванні. Для деталей зі змінним східчастим перерізом цулаги виготовляють окремо для кожного перерізу. Розташовують їх за схемою, зображеною на рисунку 5.11.

Для знімання заготовок з оправок застосовують кабестани й знімачі. Проєктуючи кабестани й знімачі, виходять з умови, що зусилля знімання для вуглепластиків по сталевій поверхні, обробленій антиадгезійним маслом К-21, становить не менше 10 МПа.

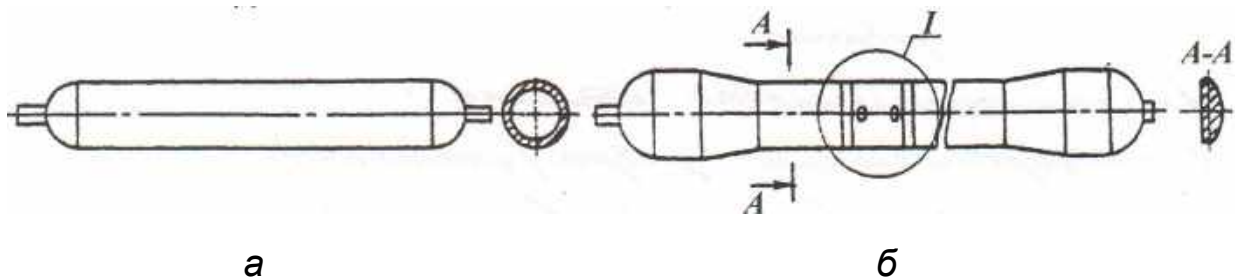


Рисунок 5.11 – Схеми оправок для намотування деталей: а – нерозбірна металева з конусністю зовнішньої поверхні; б – розбірна металева (l – технологічний припуск)

Зусилля контактного тиску N стрічки при намотуванні залежить від величини зусилля натягу, який коригується зі зміною діаметра заготовки, що намотується:

$$N = T/R\sin^2\alpha,$$

де T – зусилля натягу стрічки при намотуванні; R – поточний радіус; α – кут намотування.

Виготовлення деталей методом викладання. Метод викладання застосовується для виготовлення деталей з полімерних композиційних матеріалів плоскої форми, одинарної й подвійної кривизни. Викладання проводиться з попередньо просоченого напівфабрикату («сухий» метод).

Типовими деталями для викладання є обшивки, панелі, рівно- й різнотовщинні накладки з різною орієнтацією армувального наповнювача, що задається залежно від характеру, величини й напрямку діючих навантажень.

Залежно від геометрії деталей і можливостей виробництва викладання за способом виконання поділяється на ручне, автоматизоване й механізоване.

Ручне викладання застосовується для малогабаритних деталей і полягає в пошаровому складанні пакета із заздалегідь розкромлених заготовок відповідно до схеми викладання. Розкрій заготовок виконується за шаблонами з використанням засобів малої механізації із попередньо просочених стрічок і тканин після витримки їх при температурі цеху протягом 2,0...2,5 год (у випадку зберігання матеріалів у холодильнику). Заготовки

викладають вручну на форму або лист з обробленою поверхнею або прокладеною розділовою плівкою впритул. Для складних за конфігурацією деталей допускаються напустки або зазори 1,5...2,2 мм, причому в схемі викладання передбачається зсув напусток у шарах.

Після викладання кожного шару проводиться ущільнення пакета, що обігривається роликком через розділову плівку, для видалення повітряних включень і посилення зчеплення шару.

Автоматизоване викладання застосовується для виготовлення деталей плоскої форми й одинарної кривизни з кутом нахилу до 5° на верстатах із числовим програмним керуванням і полягає в набиранні за програмою пакета із просочених стрічок і викладання на оброблену форму. Режими викладання залежать від марки й характеристик застосовуваного препрегу, а також характеристик деталі й змінюються в таких межах: швидкість протягання – від 1 до 10 м/хв, температура – від 20 до 120 °С, тиск накочування – від 5 до 15 Н на 1 мм ширини.

Механізоване викладання, що застосовується для виготовлення деталей подвійної й одинарної кривизни з кутом нахилу більше 5°, полягає в автоматизованому виготовленні окремих заготовок (шарів), перенесенні й викладанні вручну та накочуванні на форму.

У зонах з'єднання деталей, що виготовляються методом викладання, найчастіше проводиться посилення їх склотканиною за схемою, зазначеною на кресленні деталі. У деяких випадках у зоні з'єднань допускається застосування фольги для підвищення міцності під час зрізування.

Перелік оснащення для викладання наведено в таблиці 5.3. Розміри й геометрію форм оснащення беруть із плазу. Базовою поверхнею форм для деталей з аеродинамічним контуром є зовнішня поверхня, для всіх інших – внутрішня або зовнішня залежно від вимог креслення.

Таблиця 5.3 – Основні види оснащення для викладання

Найменування	Призначення	Спосіб викладання
Форма	Викладання й автоклавне формування	Викладання ручне; механізоване
Пристрій (інструмент для різання препрегу)	Розкрюювання препрегу на заготовці	Викладання ручне
Ролик прикотувальний з обігрівом	Пошарове накочування при викладанні	Викладання ручне; механізоване
Пристрій-знімач	Знімання викладеного шару й перенесення на форму	Те саме
Шаблони для розкрюювання	Розкрюювання препрегу на заготовці	Викладання ручне
Стелажі	Зберігання оснащення	Викладання ручне; механізоване

Форми для викладання виготовляються з матеріалів, що тривалий час працюють при температурі 250 °С і тиску 1 МПа: титану, дюралюмінію, сталі. Поверхні металевих форм виготовляються із шорсткістю R_z від 0,53 до 0,32 мкм залежно від вимог до деталей.

Під час проєктування форм крім припуску на обрізання передбачають технологічні припуски для виготовлення зразків-свідків з односпрямованого матеріалу для контролю на відповідність паспорту.

Для полегшення викладання, розмічання й механічного оброблення на формі звичайно наносять риски за габаритними розмірами заготовки, що отверджується.

Шаблони для розкроювання виготовляються з металевих і неметалевих матеріалів (текстоліту, склотекстоліту) завтовшки 1,5...2,0 мм. Їх кількість має відповідати кількості заготовок, різних за конфігурацією, які зазначено на схемі викладання або в технічних вимогах креслення. Прикотувальний ролик, що обігривається, виготовляється з металу із шорсткістю поверхні $R_z = 0,32$ мкм. Габаритні розміри ролика: діаметр 75...150 мм, довжина 50...270 мм, маса 205 кг. Температура ролика підтримується в межах 40...120 °С з точністю ± 5 °С. Пристрій-знімач являє собою поворотні захоплювачі з дюралюмінію.

Перед початком роботи форми, очищені від напливів сполучного, знежирюють і покривають мастилом, наприклад К-21 (10%-вим розчином у бензині), і піддають термообробленню при відповідній температурі. Для К-21, наприклад, термооброблення ведеться при 200...220 °С протягом двох годин.

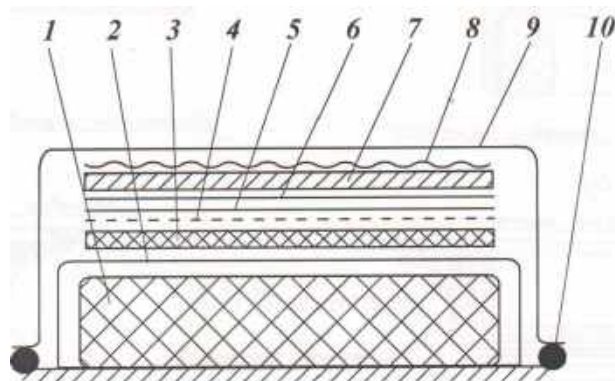


Рисунок 5.12 – Схема виготовлення виробів методом викладання:

- 1 – формотвірна поверхня; 2 – антиадгезійний розділовий шар; 3 – пакет заготовок; 4 – перфорований розділовий шар; 5 – поглинальний шар;
- 6 – розділовий шар; 7 – цулага; 8 – дренажний шар; 9 – вакуумний мішок;
- 10 – герметик

При формуванні деталей завтовшки більше 2 мм для регулювання рівномірного вироблення сполучного й легких компонентів застосовуються поглинальні дренажні шари (рисунок 5.12). Як антиадгезійний шар між фо-

рмою й пакетом заготовки прокладається поліпропіленова плівка. Складання технологічного пакета здійснюється в такій послідовності: форма – пропіленова плівка – пакет заготовки – поліпропіленова плівка – цулага – два-три дренажні шари склотканини (поглинальні шари) – вакуумний мішок (діафрагма).

Перед початком автоклавного формування складений технологічний пакет розміщується на автоклавному візку, з'єднується за допомогою вакуумних трубок з вакуумною системою установки, далі перевіряється його герметичність за зниженням вакууму. Потім автоклавний візок з пакетом розміщується в автоклаві, де проводиться формування в середовищі стисненого повітря й інертного газу (азоту) відповідно до технологічного режиму автоклавного формування на конкретний матеріал. Так, наприклад, технологічний процес автоклавного формування вуглепластику КМУ-4 і сполучного марки ЕНФБ полягає в такому:

- у вакуумному середовищі створюється вакуум 0,075...0,085 МПа, починається нагрівання й збільшення тиску;
- температура піднімається до 80 °С протягом 20...30 хв, тиск – до (0,3±0,05) МПа;
- при температурі 80...100 °С вакуумний насос вимикається, а система вакуумування мішків (діафрагм) сполучається з атмосферою;
- нагрівання відбувається до температури 110 °С протягом 10...15 хв; при досягненні температурі (110±7) °С забезпечується тиск формування 0,6 МПа;
- температура піднімається до 165 °С протягом 20...30 хв, матеріал, що формується, витримується при тиску 0,6 МПа й температурі 165 °С протягом шести годин;
- деталь, що формується, охолоджується до температури 40...50 °С зі швидкістю 0,5...1,0 °С за хвилину під тиском не менше 0,25 МПа;
- відформована деталь розташовується на стелажі, столі з м'яким покриттям або спеціально виготовленому ложементі.

При автоклавному формуванні деталей контролюються: стан препрегу й складеного технологічного пакета на герметичність; швидкість підвищення температури в автоклаві (за реєструвальним потенціометром); час вакуумування й час початку підвищення тиску в автоклаві; величина й стабільність температури формування (за реєструвальним потенціометром); величина й стабільність тиску; час витримки при температурі формування й тиску (за записом на діаграмах); швидкість охолодження сформованого виробу. Відформована деталь піддається:

- візуальному контролю для виявлення наявності раковин, відшарувань, сторонніх включень тощо;
- контролю геометричних розмірів виробу за допомогою шаблонів, калібрів, штангенциркуля, товщиномірів тощо;
- контролю суцільності матеріалу деталі неруйнівними методами;
- контролю фізико-механічних характеристик матеріалу.

Пресування. Методом прямого пресування виготовляються деталі нескладної форми (обшивки, панелі, накладки люків тощо) із заготовок, отриманих викладанням односпрямованого або тканого матеріалу. Цим методом можна виготовляти також деталі складної форми (кришки, кронштейни, проставки тощо), якщо заготовки отримано з вуглепресматеріалу типу ВПМУ-1. При конструюванні деталей, виготовлених методом пресування, слід уникати підсікань, різких змін товщини деталі, різнотовщинності, отворів. Наявність піднутрень і виступів на поверхні деталей ускладнює проектування й виготовлення оснащення для пресування. Наявність же отворів, різких змін товщини деталі спричиняє зниження міцності деталі через концентрацію напружень у матеріалі.

Пресування деталей проводиться в прес-формах на гідравлічних пресах із плитами, що обігріваються. Контроль й регулювання температури й тиску здійснюються при цьому автоматично.

Технологічний процес пресування починається з того, що пакет заготовок з односпрямованого або тканого матеріалу викладається у форму. Форма з пакетом заготовок установлюється на прес. Плити преса замикаються, умикається обігрівання й здійснюється формування, режими якого залежать від конструкції деталі й уточнюються після перших запресовувань.

Під час пресування вуглепресматеріалу ВПМУ-1 спочатку здійснюється попереднє підігрівання матеріалу, унаслідок чого збільшується в'язкість сполучного, зменшується його віджимання й поліпшується пресованість матеріалу. Попереднє підігрівання напівфабрикату застосовується також під час прямого пресування й проводиться в повітряному термостаті при температурі $(115 \pm 5)^\circ\text{C}$. Напівфабрикат матеріалу при цьому викладається на фторопластовий або металевий лист, під час пресування деталей невеликих розмірів і нескладної конфігурації попереднє підігрівання матеріалу виконується в прес-формі при температурі пресування.

Під час ливарного пресування напівфабрикату ВПМУ-1 замість попереднього підігрівання використовується затримка подачі тиску на 2...3 хв.

Час попереднього підігрівання при прямому пресуванні може становити від 5 до 20 хв, і його встановлюють досвідчені запресовники, тому що час залежить від характеристик вихідного сполучного, величини навіски матеріалу напівфабрикату, що підігрівається, умісту в ньому вологи, а також від конструкції деталі й прес-форми. При недостатньому підігріванні спостерігається недопресування, що супроводжується віджиманням сполучного. При перегріванні матеріалу також спостерігається недопресування, але без віджимання сполучного.

Для вуглепресматеріалу ВПМУ-1 температура пресування становить $(160 \pm 5)^\circ\text{C}$, час витримки в прес-формі – 1,5...2,0 хв на 1 мм товщини деталі (але не більше 20 хв), питомий тиск пресування – (35 ± 5) МПа для прямого пресування й 120 МПа для ливарного. Підпресування проводиться 3-5 разів після подавання тиску. Додаткове термічне оброблення вико-

нується при температурі 120 °С протягом двох годин поза прес-формою, завантаження деталей у термошафу та їх вивантаження проводяться при температурі 20 °С. Швидкість нагрівання становить не більше 5 °С за хвилину.

Пултрузія (ролтрузія) – техпроцес протягання просоченого волокнистого матеріалу через формувальний пристрій (фільєри, ролики, стрічкові преси) (рисунок 5.13).

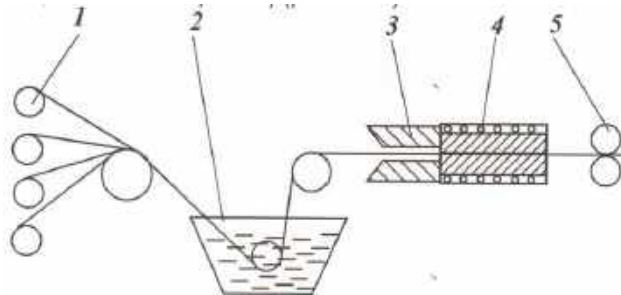


Рисунок 5.13 – Принципова схема процесу пултрузії: 1 – арматура; 2 – ванна зі сполучним; 3 – фільєра віджимна; 4 – формувальна фільєра-термокамера; 5 – тягові ролики

Швидкість протягання матеріалу – 0,05...0,25 м/хв. Такий техпроцес застосовується для одержання довгомірних профільних виробів різних за формою перерізів і необмеженої довжини з односпрямованим розташуванням армувального волокна. Пултрузійні вироби часто застосовують в інтегральних конструкціях, остаточне отвердження яких відбувається разом з основною конструкцією.

Напилювання. Суть техпроцесу напилювання композиційних матеріалів полягає в одночасному напилюванні на поверхню форми дробленого волокна й сполучного (рисунок 5.14). Застосовується для невідповідальних великогабаритних деталей: несилкових обтічників, посудин, технологічного оснащення, у суднобудуванні – для шлюпок, в автомобілебудуванні – для кузовних деталей.

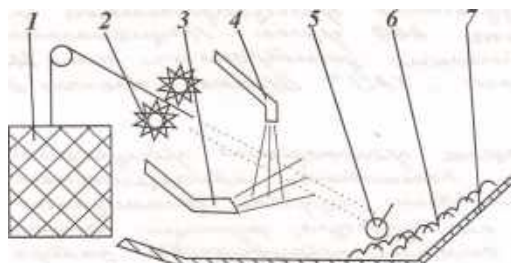


Рисунок 5.14 – Принципова схема процесу напилювання: 1 – ролинг; 2 – різальний пристрій; 3 – смола із прискорювачем; 4 – смола з каталізатором; 5 – валик; 6 – наповнений шар композиції; 7 – форма

Структура виробів, отриманих цим методом, є відносно пухкою. Для її ущільнення вироби в процесі напилювання й отвердження накочують валиком. Цей метод часто застосовують разом з викладанням, що сприяє підвищенню твердості й міцності виробів.

Результат порівняння методів одержання виробів із КМ наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Відносні техніко-економічні показники різних методів одержання КМ (у відносних одиницях)

Метод	Вартість обладнання	Продуктивність	Кваліфікація робітників	Складність виробу	Міцність виробу
Викладання	1	2	10	9...10	3
Намотування	6	6	2	4	10
Пресування	7	5	3	3	8...10
Пултрузія	8	10	3	6...8	8...10
Напилювання	4	4	10	9	2

Механічна обробка КМ. Після формотворення виробів із КМ кожним із перелічених вище способів необхідно проводити деяке механічне оброблення для одержання посадкових місць, отворів, пазів тощо: точіння, свердління, фрезерування, різання.

Такими особливостями КМ, як низька теплопровідність, висока абразивна стійкість волокна, анізотропія властивостей, визначається їх погана механооброблюваність, що виявляється в розшаровуванні, викришуванні або розлохмачуванні оброблюваних поверхонь. Для виключення цього необхідно використовувати дуже гострий інструмент.

Через швидке спрацювання різальних кромek унаслідок абразивної дії армувальних волокон необхідно застосовувати інструмент зі спеціальних матеріалів. Специфічні вимоги ставляться й до механічного устаткування.

5.5 Способи виготовлення гумових технічних деталей в автомобілебудуванні

Технологічний процес виготовлення гумових технічних деталей складається з окремих послідовних операцій – готування гумової суміші, формування й вулканізації. Підготовка гумової суміші полягає у змішуванні компонентів, що входять до її складу. Для того щоб каучук став пластичним, перед змішуванням його багаторазово пропускають через спеціальні вальці, попередньо підігріті до 40...50 °С. У пластичному стані каучук має

здатність добре змішуватися з іншими компонентами. Змішування проводять у черв'ячних або валкових змішувачах. Готуючи суміші, першим з компонентів обов'язково вводять протистаритель, останнім – вулканізатор або прискорювач вулканізації.

Формотворення **гумових** технічних деталей залежить від вимог, поставлених до них, і здійснюється каландруванням, безперервним удавленням, пресуванням, литтям під тиском, намотуванням тощо. Технологічні процеси перероблення сирової гуми в деталі є подібними до тих, які було розглянуто при формотворенні деталей із пластмас. Специфічним є лише одержання листових заготовок (каландрування).

Каландрування застосовується для одержання листів з гуми й прогумованих стрічок, а також для їх з'єднання (дублювання). Операцію виконують на багатовалкових машинах – каландрах. Валки каландрів забезпечено системою внутрішнього обігрівання або охолодження, що дає змогу регулювати температуру. Листи гуми, отримані прокочуванням на каландрах, змотують у рулони й використовують потім як напівфабрикати для інших процесів формотворення гумових деталей. Щоб запобігти злипанню гуми в рулонах, її посипають тальком або крейдою при виході з каландра.

У процесі одержання прогумованої тканини (рисунок 5.15) у зазор між валками каландра одночасно пропускають пластифіковану гумову суміш і тканину.

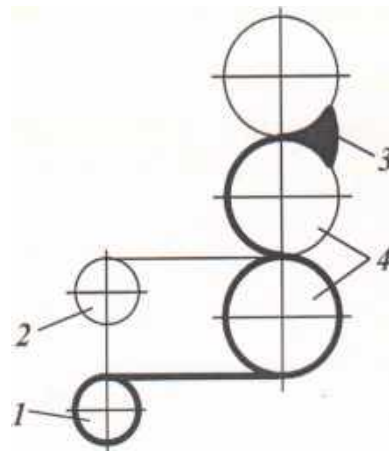


Рисунок 5.15 – Схема одержання прогумованої тканини: 1 – барабан; 2 – тканина, 3 – гумова суміш; 4 – валки каландра

Гумова суміш надходить у зазор між верхнім і середнім валками, обволікає середній валок і потрапляє в зазор між середнім і нижнім валками, через який проходить тканина. Середній валок обертається з більшою швидкістю, ніж нижній. Різниця швидкостей забезпечує втирання гумової суміші в тканину. Товщину гумової плівки на тканині регулюють, змінюючи зазор між валками каландра. Багатошарову прогумовану тканину одержують шляхом пропущення певної кількості листів одношарової прогумованої

тканини через валки каландра. Отримана тканина намотується на барабан, а потім вулканізується.

Безперервне видавлювання застосовується для одержання профільованих гумових деталей (труб, прутків, профілів для скління тощо). Безперервним видавлюванням деталі виготовляють на машинах черв'ячного типу. Таким способом покривають гумою металевий дріт.

Пресування є одним з основних способів одержання фасонних деталей (манжет, ущільнювальних кілець, клинових ременів тощо). Пресування здійснюється в металевих формах. Може бути гаряче й холодне пресування. При гарячому пресуванні гумова суміш закладається в гарячу прес-форму й пресується на гідравлічних пресах із плитами, що обігріваються. Температура пресування – 140...155 °С. Під час пресування одночасно відбуваються формотворення й вулканізація деталей. Високоміцні деталі (наприклад, клинові ремені) після формування піддають додатковій вулканізації в спеціальних пристроях – пакетах. Холодним пресуванням одержують деталі з ебонітових сумішей (корпуси акумуляторних батарей, деталі для хімічної промисловості тощо). Після пресування заготовку піддають вулканізації. До складу ебонітової суміші входять каучук і значна кількість сірки (до 30 % від маси каучуку). Як наповнювачі застосовуються подрібнені відходи ебонітового виробництва.

Литтям під тиском одержують деталі складної форми. Гумова суміш надходить під тиском при температурі 80...120 °С через ливниковий отвір у ливарну форму, що значно скорочує цикл вулканізації.

Вулканізація є завершальною операцією при виготовленні гумових деталей. Вулканізацію проводять у спеціальних камерах – вулканізаторах – при температурі 120...150 °С в атмосфері, насиченій водяною парою, і при невеликих тисках. У процесі вулканізації відбувається хімічна реакція взаємодії сірки й каучуку, унаслідок якої лінійна структура молекул каучуку перетворюється на сітчасту, що знижує пластичність, підвищує стійкість до дії органічних розчинників і механічну міцність.

При масовому виробництві гумових деталей використовується високоефективне й автоматизоване устаткування.

Дуже часто для одержання виробів або їх моделей використовують різні марки пінопластів.

Існують такі основні способи одержання пінопластів:

- спінювання полімерних композицій, насичених інертним газом, під тиском (фізичний метод спінювання);
- спінювання полімерів під дією газів або парів, що виділяються при розкладанні газоутворювачів (агентів, що спінюються), уведених до складу вихідної композиції (хімічний метод спінювання);
- одержання повітряно-механічних пін з розчинів смол і поверхнево-активних речовин з подальшим отвердженням полімеру в стінках гнізд.

Практично з будь-яких термопластів можна одержувати пінопласти, однак нині промислове значення мають головним чином пінопласти на ос-

нові полістиролу, полівінілхлориду й поліолефінів. Пінопласти на основі фенолформальдегідних, фенолкаучукових, мочевиноформальдегідних та епоксидних смол належать до терморектопластів.

Крім перелічених вище пінопластів випускаються також пінопласти на основі кремнійорганічної смоли, а також пінополіуретан і пінополіепоксид, що самоспініються.

5.6 Методи одержання технічних газів, що використовуються в технологічних процесах виготовлення автомобілів

У багатьох технологічних процесах автомобілебудування використовуються технічні гази: кисень – у металургії при різанні металів; азот, аргон, водень і вуглекислий газ – для створення захисної атмосфери при зварюванні, плавленні, термічному обробленні; горючі гази на основі вуглеводнів (метан, пропан, бутан та ін.) – для нагрівання заготовок. Рідше використовуються благородні й активні гази: гелій, криптон, ксенон, хлор, фтор тощо.

Основним джерелом одержання газів N_2 , O_2 , Ar є земна атмосфера, у якій ці гази знаходяться у відносно великих кількостях (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Властивості деяких технічних газів

Властивість	Азот (N_2)	Аргон (Ar)	Водень (H_2)	Кисень (O_2)	Вуглекислий газ (CO_2)	Ацетилен ($\text{CH}\equiv\text{CH}$)
Маса, г/моль	28,2	39,94	2,016	32,0	44,0	-
Густина, кг/м^3 , при $0\text{ }^\circ\text{C}$ і $0,1\text{ Па}$	1,27	1,82	0,09	1,45	2,01	-
Уміст в атмосфері, %	$\approx 78,09$	$\approx 0,93$	$5 \cdot 10^{-5}$	-20,05	0,03	-
Температура кипіння, $^\circ\text{C}$	-196	-186	-252,6	-182,9	-75	-83,6

Основним методом їх одержання є **ректифікація** – спосіб поділу рідких сумішей, які складаються з декількох компонентів. Ректифікація полягає в багаторазовому випарюванні рідини й конденсації її парів або в одноразовому випарюванні суміші з подальшою багатоступеневою конденсацією компонентів. Здійснюється в спеціальних ректифікаційних колонах.

У випадку поділу газів атмосферне повітря шляхом охолодження переводять у рідкий стан. Це здійснюється за допомогою спеціальних апаратів – турбодетандорів, у яких повітря стискається і при різкому розширенні набуває рідкого стану. Потім рідке повітря зазнає ректифікації зі ступеневим випарюванням: спочатку випарюється азот ($t_{\text{кип}} = -196\text{ }^\circ\text{C}$), потім аргон ($t_{\text{кип}} = -186\text{ }^\circ\text{C}$) і далі кисень ($t_{\text{кип}} = -182,9\text{ }^\circ\text{C}$).

Водень одержують електролізом води в електролізерах. Процес характеризується великим споживанням електричної енергії, чим визначається висока вартість газу.

Ацетилен одержують розкладанням карбїду кальцію (CaC) у воді. Для цього використовуються спеціальні ацетиленові генератори високого надлишкового тиску (понад 0,15 МПа) стаціонарного типу, які дають змогу одержувати великі об'єми ацетилену (сотні й тисячі літрів). Для газового зварювання й місцевого нагрівання заготовок застосовуються ацетиленові генератори середнього надлишкового тиску (до 0,15 МПа), які виготовляються переносними.

Вуглекислий газ (CO₂) одержують випалюванням вапняку при температурі 900...1250 °С у спеціальних печах. Потім його охолоджують і використовують у вигляді «сухого» льоду, температура сублімації якого становить близько -75 °С.

Горючі гази (метан, пропан, бутан) отримують шляхом ректифікації природних газів.

Основним засобом зберігання й транспортування газів є балони високого тиску (до 30 МПа), пофарбовані у відповідний колір. Рідкі гази зберігають і транспортують у спеціальних багат шарових посудинах – посудинах Дьюара.

6 ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

6.1 Фізико-хімічне оброблення твердих, крихких і в'язких матеріалів

Під загальними поняттями «фізико-хімічне оброблення» і «електротехнологія» розуміють різноманітні процеси, характерною рисою яких є використання фізико-хімічних ефектів, які виявляються під дією електричної енергії, безпосередньо для необхідних технологічних перетворень.

До методів такого виду обробки належать різні за схемним та апаратним оформленням або призначенням методи оброблення, що застосовуються для змінення форми заготовки, яка обробляється, і (або) змінення її об'єму, а також для надання поверхням заготовок особливих властивостей.

Поява й розвиток цих методів були зумовлені такими факторами:

- необхідність оброблення нових матеріалів, що мають високу твердість, крихкість або в'язкість, є схильними до налипання на різальний інструмент і малотеплопроводними тощо;

- необхідність в одержанні особливих властивостей поверхні деталі;

- прогрес електротехнічної науки й технології, фізики, хімії та інших природничих наук;

– потреба в зменшенні обсягів використання дорогих матеріалів – інструментальних і тих, що обробляються.

Дуже часто в технічній літературі методи й способи, що відповідають цим вимогам, називають електрофізико-хімічною й комбінованою обробкою (ЕФХКО). Їх класифікацію показано на рисунку 6.1.

Принципові особливості цих методів полягають у такому:

– можливість оброблення будь-яких матеріалів незалежно від їх механічних властивостей (твердості, крихкості, в'язкості тощо) без прикладення значних механічних зусиль і навіть без механічного контакту інструмента з заготовкою;

– немає необхідності в застосуванні традиційних інструментів для оброблення, виготовлених зі спеціальних матеріалів. Найчастіше використовується відповідним чином сформований потік електронів, іонів або фотонів;

– можливість виконання технологічних операцій, які неможливо здійснювати методами оброблення різанням або ОМД, що дає змогу створювати нові конструкції машин;

– питома продуктивність і швидкість оброблення звичайно не залежать від твердості й крихкості, тому трудомісткість і ТПП оброблення таких матеріалів є меншими, ніж при механічному обробленні;



Рисунок 6.1 – Структурна схема методів електротехнології

– методи ЕФХКО характеризуються широкими технологічними можливостями, легко піддаються механізації й автоматизації, керуванню й контролю. При їх використанні поліпшуються умови праці, ергономічні й естетичні характеристики робочих місць.

Поряд з великим комплексом позитивних технічних, технологічних та економічних показників кожний метод ЕФХКО має й недоліки або обмеження:

1. Підвищена енергоємність порівняно з обробленням різанням деталей простих форм і звичайних конструкційних матеріалів.

2. Необхідність у застосуванні спеціального (частини стандартного) технологічного устаткування.

3. Відставання масового випуску дешевого устаткування від удосконалювання технології багатьох методів ЕФХКО.

4. Необхідність у збиранні й утилізації відходів, що накопичуються на великих ділянках ЕФХКО.

Разом з тим загальним положенням, яке тією чи іншою мірою стосується всіх різновидів ЕФХКО, є те, що порівняно з обробленням різанням ці методи тим вигідніше застосовувати, чим складніше форма деталі, що обробляється, чим твердіше або трудніше піддається обробленню різанням її матеріал, чим специфічнішими є технічні вимоги, що становляться до деталі.

Деякі загальні механічні показники різних процесів ЕФХКО наведено в таблиця 6.1–6.3.

Таблиця 6.1 – Порівняння питомої продуктивності традиційних процесів і деяких відповідних методів ЕФХКО

Найменування процесу	Об'єм металу		Особливості практичного застосування
	питомий, мм ³ /с	перетворюваний, мм ³ / Дж	
1. Фрезерування на механічних верстатах Електроерозійне оброблення	2...10 ³ 0,25...2,00	(1,3...2,0)·10 ⁻¹ 0,63...10	Можливість оброблення твердих і крихких матеріалів
2. Пічне нагрівання для ГОШ Електролітичне нагрівання	(1...350)·10 ³ (5...600)·10 ⁴	0,03...0,10 1...5	Можливість локалізації зони нагрівання

Таблиця 6.2 – Порівняння технологічності деяких процесів ЕФХКО

Найменування процесу	Технологічність		Середній промисловий рівень
	принципово припустима	практично реальна	
Анодно-механічне різання	3–4	2–3	1–3
Ультразвукове різання	3–4	3–4	2–3
Механічне різання з введенням УЗ-коливачів	3–5	3–4	3–4

Примітка. Оцінювання технологічності здійснюється за п'ятибальною шкалою: 5 – висока в будь-яких умовах; 4 – хороша; 3 – задовільна; 2 – можливі окремі технологічні рішення або за певних умов; 1 – незадовільна.

Таблиця 6.3 – Ефективність ЕФХКО порівняно з обробленням різанням залежно від складності форми й твердості матеріалу деталі

Найменування операцій	Геометрична форма виробу							
	Особливо складна		Складна		Середньої складності		Проста	
	Твердість матеріалу (В – висока, Н – низька)							
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
Анодно-механічне різання	3–5	2–3	3–4	2–3	3–4	2–3	3	2–3
Електроерозійне оброблення	4–5	2–3	3–4	2–3	2–4	2–3	3	2–3
Електрохімічне розмірне оброблення	4–5	3–4	3–4	3	3–4	3	3–4	2–3

Примітка. Оцінювання ефективності ЕФХКО здійснюється за п'ятибальною шкалою: 5 – інакше зробити неможливо; 4 – безумовно вигідно; 3 – трохи вигідніше; 2 – недостатньо вигідно.

6.2 Методи оброблення, що базуються на електрохімічному впливі

Існують методи оброблення, що ґрунтуються на явищах, спричинених проходженням електричного струму через електроліти. При проходженні постійного електричного струму можуть виникати різноманітні фізи-

чні й хімічні змінення в електроліті й на поверхні електродів:

- осадження металів, що знаходяться в електроліті, і виділення газоподібного водню на катоді (катодні процеси);
- розчинення поверхні металевого електрода (анода) з утворенням нерозчинних сполук, що залишаються на поверхні, або розчинних, що переходять у розчин (анодні процеси).

Катодні процеси використовуються в гальваностегії й гальванопластиці (у тому числі застосовуються для електролітичного нагрівання). Анодні процеси широко застосовуються під час ЕФХО.

До електрохімічних методів ЕФХО належать: електрохімічне видалення задирок, скруглення гострих кромок; об'ємне електрохімічне профілювання, прошивання, протягання, гостріння тощо; анодно-механічне різання.

Керованими параметрами є: напруга й величина постійного електричного струму; склад електроліту й електродів; швидкість видалення шламу з поверхні анода й геометричність форми електродів.

Розглянемо як приклад процес анодного розчинення заліза в розчині електроліту хлористого натрію (рисунок 6.2).

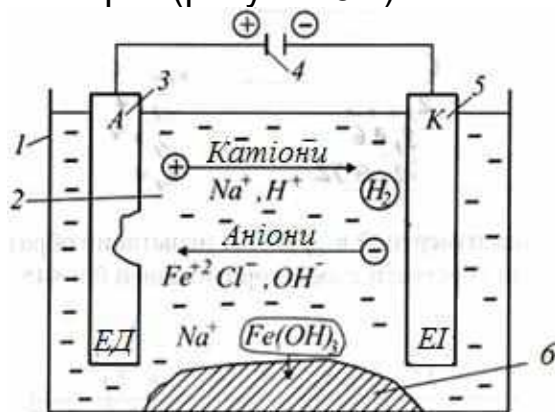
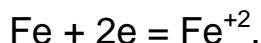


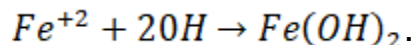
Рисунок 6.2 – Принципова схема анодного розчинення заліза в розчині хлористого натрію: 1 – ванна; 2 – електроліт; 3 – анод; 4 – джерело постійного струму; 5 – катод; 6 – шлам

Молекула хлористого натрію, розчиняючись у воді, розпадається на катіон натрію Na^+ та аніон хлору Cl^- . Крім того, сама вода містить іони водню H^+ і OH^- . Якщо до електродів, занурених у цей розчин, прикласти різницю потенціалів, то аніони гідроксиду OH^- і Cl^- будуть рухатися до анода, а катіони водню H^+ і Na^+ – у бік катода. Електричне коло «джерело живлення – електрод – електроліт – електрод – джерело живлення» при цьому замкнеться, і джерело живлення почне переміщати електрони по зовнішньому колу. Іони металу Me^{+n} будуть переходити в розчин. Для заліза це записується так:

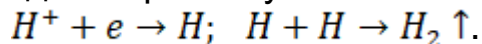


Іон заліза зв'язується з іоном гідроксиду OH^- , унаслідок чого утворюється гідрат оксиду заліза, який погано розчиняється у воді й випадає в

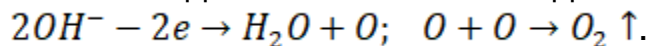
осад:



Іони водню H^+ розряджаються на катоді, утворюючи атоми водню, які у вигляді пухирців газу виходять з розчину:



Крім зазначених основних електродних реакцій можливі й інші – побічні, наприклад виділення газоподібного кисню на аноді:



Іони хлору й натрію, що втримуються в розчині, переносять електричні заряди. Їх наявність може привести або до утворення лугу NaOH і хлоридного заліза $FeCl_2$, або до виділення газоподібного хлору на аноді.

У наведеній вище реакції, щоб розчинити 1000 мм^3 заліза протягом однієї хвилини, потрібно пропустити через електроліт струм близько 450 А. При цьому утворюється 12,8 г гідроксиду двовалентного заліза $Fe(OH)_2$, який, окиснюючись, перетворюється на 15 г гідрату оксиду $Fe(OH)_3$. З розчину виділяється 0,28 г водню. Для зв'язування цієї кількості продуктів розчинення заліза витрачається 5,23 г води.

Найпоширенішим електролітом для анодно-гідролічного оброблення вуглеродистих і легованих сталей, жароміцних сплавів, а також сплавів на основі титану, кобальту, марганцю тощо є водяний розчин NaCl. Оброблення в цьому електроліті характеризується високою стабільністю й низькою енергоємністю.

Останнім часом при анодно-гідролічному обробленні застосовуються водяні розчини азотнокислого натрію (2...15 %). Розчини $NaNO_3$ успішно використовуються під час оброблення нікелевих жароміцних сплавів, деталей з алюмінієвих і мідних сплавів.

Зарубіжні фірми рекомендують більш складні електроліти. Наприклад, для оброблення штампів рекомендується електроліт, до складу якого входять: NaCl – 18 %, борна кислота – 2 %, сірчана кислота – 0,9 %.

Продуктивність електрохімічних процесів визначається законом Фарадея

$$M = K_e I t ,$$

де K_e – масовий електрохімічний еквівалент (характеристика металу);
 I – сила струму; t – час проходження струму.

Сила струму за законом Ома визначається відношенням прикладеної напруги до опору, який для цих процесів знаходять як

$$R_3 = \rho L / S ,$$

де ρ – питомий опір електроліту; L – довжина стовпа електроліту між еле-

катодами; S – площа поперечного перерізу стовпа електроліту.

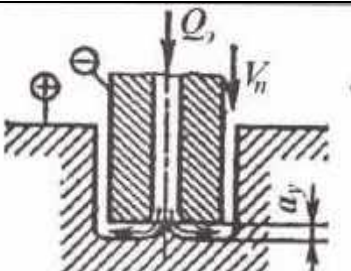
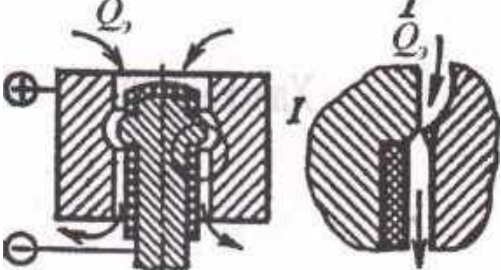
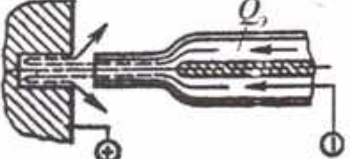
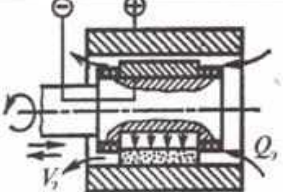
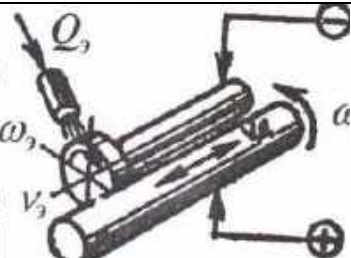
У такий спосіб визначаються всі технологічні параметри. Питомий опір залежить від температури (зменшується з її підвищенням), тому при проведенні таких процесів температуру теж використовують як керувальний фактор. Швидкість зняття металу при електрохімічному обробленні становить 1 мм/хв.

Деякі види операцій електрохімічної розмірної обробки (ЕХРО) і режими їх проведення наведено в таблиці 6.4, де введено такі позначення: I – необхідна густина струму; U – робоча напруга; $V_{\text{ел}}$ – швидкість прокачування електроліту в робочому проміжку; V_3 – швидкість подавання заготовки; V_n – напрямок її подавання; a_y – робочий проміжок; Q_e – напрямок подачі електроліту.

Таблиця 6.4 – Операції ЕХРО й режими їх проведення

Операції	Схема	Режими
Калібрування фасонних отворів й складних поверхонь. Калібрування й контурне оброблення нерухомим електродом		$I = 20 \dots 100 \text{ A/cm}^2$; $U = 6 \dots 18 \text{ В}$; $V_{\text{ел}} = 6 \dots 4 \text{ м/с}$; $V_3 = 0 \dots 2,5 \text{ мм/хв}$; $R_a = 0,32 \dots 2,50 \text{ мкм}$
Оброблення тіл обертання (гостріння, токарне оброблення). Оброблення обертаним катодом		$I = 5 \dots 200 \text{ A/cm}^2$; $U = 6 \dots 30 \text{ В}$; швидкість обертання катода $20 \dots 50 \text{ м/с}$; $V_3 = 0,1 \dots 8,0 \text{ мм/с}$; $R_a = 0,2 \dots 2,5 \text{ мкм}$
Об'ємне копіювання складних поверхонь (формотворення гравюр штампів і пресформ). Профілювання пера лопаток		$I = 15 \dots 100 \text{ A/cm}^2$; $U = 6 \dots 24 \text{ В}$; $V_{\text{ел}} = 10 \dots 60 \text{ м/с}$; $V_3 = 0,01 \dots 5 \text{ мм/хв}$; $R_a = 0,2 \dots 2,5 \text{ мкм}$

Продовження таблиці 6.4

Операції	Схема	Режими
Прошивання отворів лопаток		$V_3 = 0,5 \dots 15,0 \text{ мм/хв}$
Видалення задирок і скруглення кромки		Час оброблення 4...100 с
Струминне прошивання отворів і вирізання по контуру		$I = 30 \dots 70 \text{ А/см}^2$; $U = 100 \dots 800 \text{ В}$; $V_3 = 2,5 \dots 5 \text{ мм/хв}$
Хонінгування отворів		—
Шліфування струмопровідним абразивним колом поверхонь різної геометрії		$I = 20 \dots 200 \text{ А/см}^2$; $U = 3 \dots 10 \text{ В}$; $V_{\text{ел}} = 12 \dots 50 \text{ м/с}$; $V_3 = 3 \dots 400 \text{ мм/хв}$

6.3 Методи оброблення, що базуються на тепловому впливі

Основна відмінність методів, що ґрунтуються на явищах руйнування й видалення металу з обробленої поверхні шляхом його розплавлення й випаровування, полягає у формі підведення й виді енергії, яка перетворюється в зоні оброблення на технологічно необхідну теплову енергію (рисунок 6.3).

На відміну від попередніх методів при обробленні цими методами матеріал електродів необов'язково має бути металевим, а робоче середовище – рідким, і тим більше електролітом.

Основними характеристиками матеріалів, якими визначаються можливості й технологічні параметри їх оброблення, є теплофізичні властивості: теплопровідність, температуропровідність, теплоємність, теплота плавлення, температура плавлення тощо.



Рисунок 6.3 – Структурна схема методів ЕФХКО, що базується на тепловому впливі електричного струму

Електроерозійна обробка (ЕЕО). Методи ЕЕО характеризуються тим, що змінення форми, розмірів, якості поверхні заготовки відбувається під дією електричних розрядів унаслідок електричної ерозії – руйнування поверхні електродів при проходженні між ними електричних розрядів. У процесах ЕЕО матеріал заготовки плавиться і (або) випаровується, при цьому видаляється в рідкому або пароподібному стані. Видалення зазвичай має вибуховий (імпульсний) характер, відбувається в короткий проміжок часу ($10^{-5} \dots 10^{-7}$ с) на невеликій ділянці поверхні, у місці локалізації каналу розряду. Інтенсивність руйнування кожного з електродів є різною й залежить від полярності, форми й тривалості імпульсів розрядного струму.

Заготовка, що обробляється, під'єднується до джерела живлення та-

ким чином, щоб інтенсивність її руйнування завжди була більше інтенсивності руйнування (спрацювання) електрода-інструмента.

Для подальшого видалення шламів використовуються спеціальні рідини: гас, дизельне паливо, індустриальне масло тощо.

Принципову схему електроерозійної обробки матеріалів показано на рисунку 6.4.



Рисунок 6.4 – Принципова схема руйнування металу під час електроерозійного оброблення: 1 – анод (електрод-заготовка); 2 – передавальне (переміщувальне) середовище; 3 – катод (електрод-інструмент)

За тривалістю й характером імпульсів струму розрізняють такі види обробки:

- електроіскрова (EIC) (тривалість імпульсів струму $10^{-5} \dots 10^{-7}$ с; невелика енергія; пряма полярність (заготовка – «+», електрод – «-»); відсутність механічного контакту між електродами);
- електроімпульсна (EIM) (тривалість імпульсів струму $10^{-4} \dots 10^{-1}$ с; підвищена енергія розрядів; зворотна полярність; відсутність механічного контакту між електродами);
- електроконтактна (ЕОК) (наявність механічного контакту між електродами).

Для EIC- і EIM-оброблення застосовується те саме устаткування, що дає змогу змінювати робочу напругу, форму й тривалість імпульсів струму. Діапазони: $U_{роб} = 45 \dots 300$ В; $I_{роб} = 2 \dots 60$ А.

Принципові схеми електроерозійного формотворення зображено на рисунках 6.5, 6.6.

Типовими операціями ЕЕО є (у дужках зазначено кращі варіанти):

- вирізання шаблонів, масок, трафаретів, сіток електровакуумних приладів (EIC);
- виймання зламаного інструмента (EIM);
- виготовлення матриць і знімачів для вирубних штампів (EIC);
- виготовлення роторів турбін із суцільними лопатками й дисками (EIM);

- прошивання твердосплавних волок, фільтр, волочильних дошок (EIC, EIM);
- профілювання струмків ковальських штампів (EIM);
- прошивання глибоких отворів, у т. ч. із криволінійною віссю (EIC; EIM).

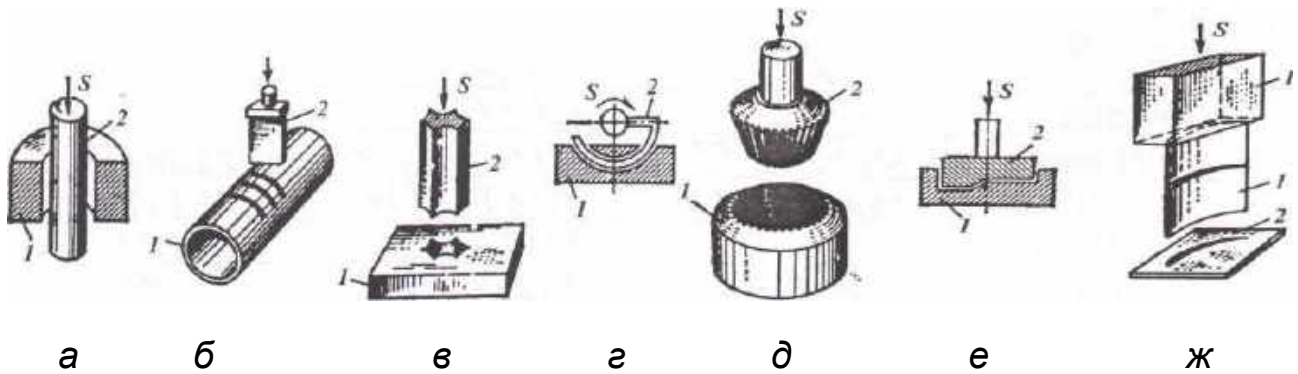


Рисунок 6.5 – Схеми електроерозійного формотворення методами прямого (а–е) і зворотного (ж) копіювання: а–в – прошивання отворів із прямолінійними осями; г – теж саме із криволінійною віссю; д, е – об'ємне формотворення поверхонь (1 – заготовка; 2 – електрод-інструмент; S – напрямок подачі)

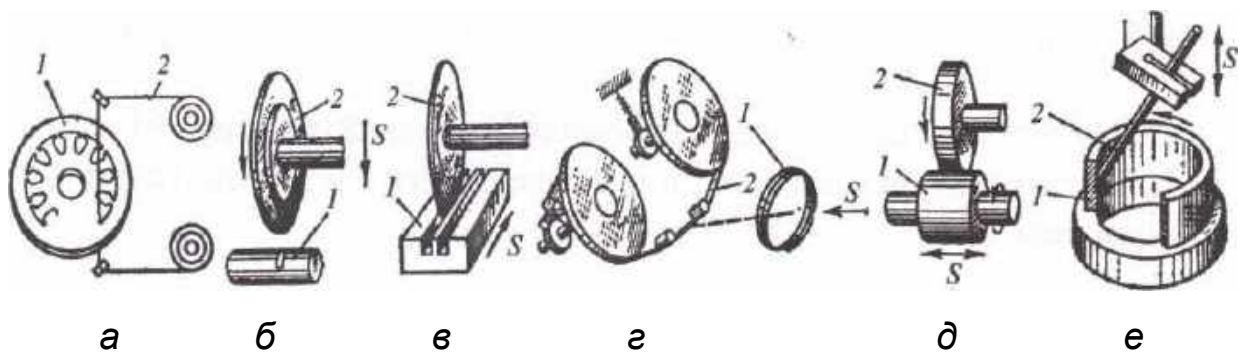


Рисунок 6.6 – Схеми різних операцій електроерозійного формотворення при взаємному переміщенні електродів: а–г – вирізання складнопрофільованих деталей і розрізування заготовки 1 непрофільованим електродом-інструментом 2; д, е – шліфування й розточення стрижневими й дисковими електродами

При такому обробленні підвищується продуктивність і можна виконувати операції, які неможливо здійснити механічно. Точність розмірів становить 0,02...0,05 мм, а глибина структурних перетворень – 0...90 мкм залежно від режиму.

В останнє десятиліття у світовій практиці набули значного поширення електроерозійні верстати (ЕЕ-верстати): копіювальньо-прошивні (електрод – об'ємно-профільований елемент) і дротяно-вирізні (електрод – дріт). Характеризуються відносною простотою, точністю оброблюваного контуру завдяки застосуванню лінійних електродвигунів (ЛД) і низькими експлуатаційними витратами. Для прикладу розглянемо типовий дротяно-вирізний ЕЕ-верстат (рисунок 6.7). Насамперед слід зазначити його високу продуктивність – до 3000 м²/хв.

Дротяно-вирізні ЕЕ-верстати із ЛД, як і координатно-прошивні, мають підвищені характеристики з точності й рівномірності ходу приводів (див. рисунок 6.7). Дріт змотується з котушки, проходить систему натягу й контролю, струмоприймач, напрямні й системою відведення скидається в бак. Нижня напрямна у більшості верстатів є нерухомою – базовою; верхня напрямна, розміщена в каретці, може бути переміщена по висоті (настроювання на товщину деталі – вісь Z) і лінійними приводами U і V по відповідних осях, що дає змогу працювати із дротом під нахилом для утворення на деталі конусних поверхонь. Лінійні приводи забезпечують та узгоджують переміщення заготовки по осях X і Y.

Між напрямними під час оброблення розміщують заготовку, яку кріплять на стояку, розміщеному на столі. У кращому варіанті стояк і стіл верстата виготовляють із мінеральної кераміки, що має мінімальні (у два рази менші, ніж граніту) температурні деформації. У заготовці заздалегідь (якщо оброблюваний контур закритий) виконують стартовий отвір. У цей отвір перед початком роботи заправляється дріт вручну або автоматичною системою заправлення, яка звичайно є на всіх сучасних верстатах. Ця ж система заправляє дріт після його обриву, якщо таке відбувається. Під час роботи з дротом і заготовкою по силових кабелях від ГІ (генератора імпульсів) підводяться електричні імпульси, які й забезпечують оброблення заготовки електричними розрядами між заготовкою і дротом, який протягається з певною швидкістю.

Згідно з керувальною програмою на верстаті задається рух усіх приводів: приводи X, Y переміщують заготовки зі столом; привід Z (на рисунку 6.7 не показаний) забезпечує певне положення верхнього сопла відносно верхньої площини заготовки; приводи U і V відхиляють дріт від вертикалі на певний кут за програмою. Одночасна робота всіх приводів дає змогу здійснювати вирізання по найскладніших траєкторіях з одержанням поверхонь найскладніших форм.

На дротяно-вирізних ЕЕ-верстатах оброблення здійснюється в середовищі робочої рідини (РР), якою перед обробленням заповнюється

бак.

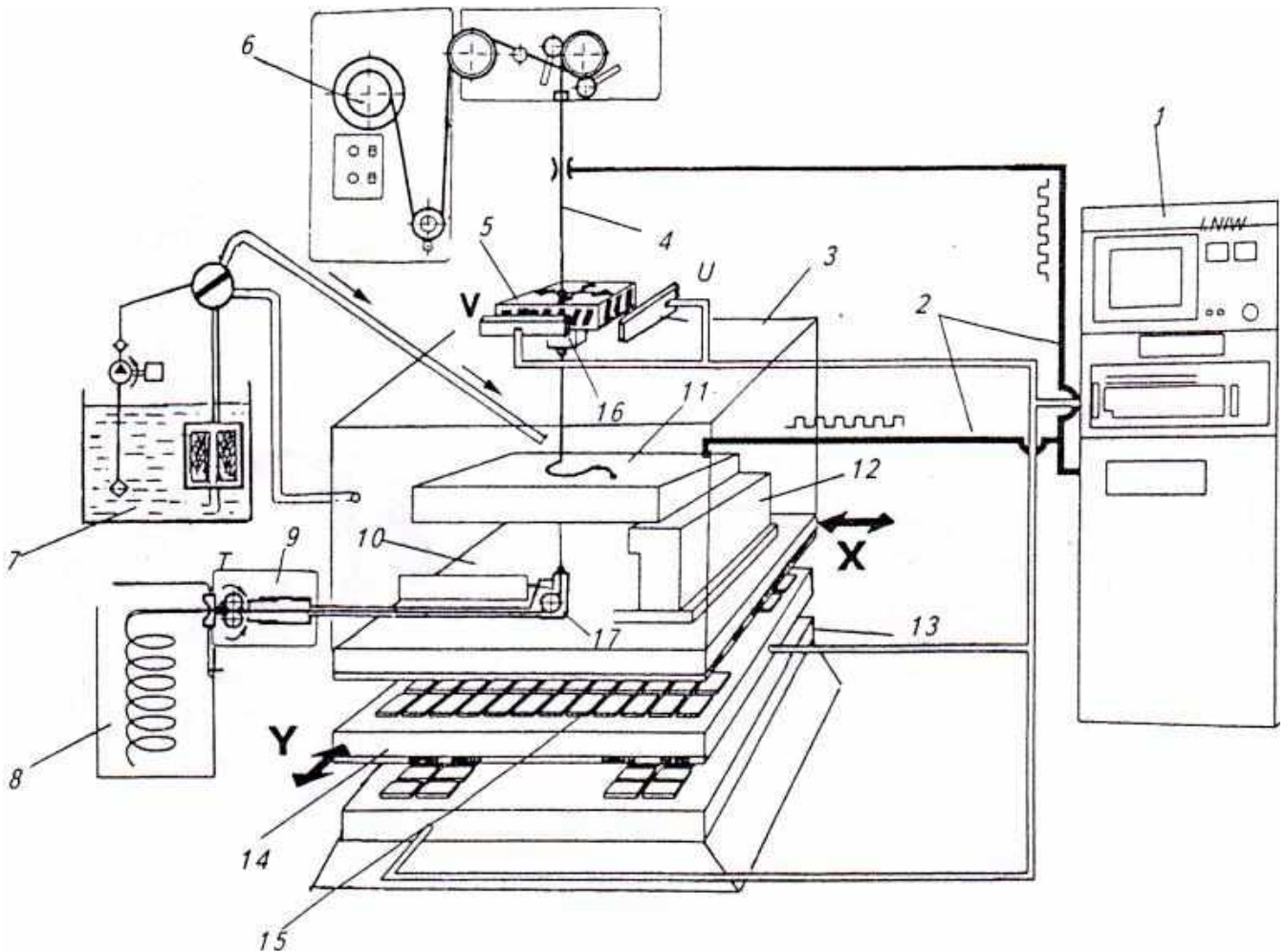


Рисунок 6.7 – Схема дротяно-вирізного ЕЕ-верстата з лінійними двигунами (фірма SODICK 3. Ltd., Японія): 1 – ПІ; 2 – силові кабелі;

3 – бак; 4 – дріт-електрод; 5 – верхня каретка із ЛД по осях з лінійками зворотного зв'язку; 6 – котушка із дротом; 7 – система подавання, очищення й охолодження РР; 8 – бак приймання відпрацьованого дроту; 9 – система відведення дроту керамічними роликami; 10 – стіл з мінеральної кераміки; 11 – електрод-деталь; 12 – стояк з мінеральної кераміки; 13 – лінійка зворотного зв'язку по осі X; 14 – ЛД (переміщення по осі Y) з лінійкою зворотного зв'язку; 15 – ЛД (переміщення по осі X); 16 – верхня напрямна дроту; 17 – нижня напрямна дроту

У більшості верстатів як РР застосовується вода, але ЕЕ-верстати, що працюють із вуглеводневими РР, і верстати, що працюють у двох середовищах: чорнове оброблення – у воді, чистове – у вуглеводневій РР. Це забезпечує певні технологічні переваги, оскільки вуглеводневі РР (масла) як середовище ЕЕ-мікрорізання є значно привабливішими від води. Крім менших зазорів у маслі повністю відсутні електролітична

ерозія й корозія поверхні, декарбідизація, випадання кобальту під час оброблення твердих сплавів. Якість і стійкість поверхні інструмента після різання в маслі – суттєво вищі порівняно з ЕЕ-вирізанням у воді. У маслі швидкість ЕЕ-вирізання є стабільною навіть при роботі дротом найменших діаметрів – 0,025...0,030 мм. Масло – незамінне середовище для ЕЕ-вирізання прецизійного інструмента й деталей малих розмірів.

Обробку при повному зануренні заготовки у воду (РР) називають занурювальною. Цей вид обробки забезпечує найкраще тепловідведення із зони оброблення, а отже, і менші температурні деформації елементів системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь» (ВПІД). Але є моделі ЕЕ-верстатів, які не мають бака, і прокачування зони оброблення здійснюється струминним поливанням зони контакту дроту й заготовки. Ці верстати простіші за конструкцією, але їх точнісні характеристики є гіршими, ніж верстатів, що працюють за схемою із зануренням заготовки.

Плазмова обробка. Це група операцій, у яких для технологічних цілей використовують певним чином сформований струмінь іонізованого газу (плазми), що забезпечує в місцях контакту з матеріалом, що обробляється, високі температури (2 000...20 000 К). Для створення плазми застосовуються спеціальні пальники – плазмотрони, у яких електрична дуга взаємодіє з газовим середовищем. Розрізняють плазмотрони з перенесенням дуги на матеріал, що обробляється, і без перенесення.

Процес використовується в основному для різання й зняття з поверхні шару матеріалу, а також для напилювання відповідних шарів матеріалу.

Лазерна обробка. Такий вид обробки ґрунтується на використанні тепла, генерованого спеціально сформованим світловим променем, який характеризується когерентністю й високою концентрацією енергії, яка переноситься.

Області ефективного застосування: оброблення мікроотворів у заготовках технічних каменів; оброблення робочих отворів в алмазних волоках; прошивання дрібних сіток; зварювання деталей з різних сплавів.

Електронно-променева обробка. Цей вид обробки застосовується для вирізання елементів з напівпровідникових матеріалів, прошивання мікроотворів; розмірного й розподільного оброблення матеріалів у контрольованій атмосфері.

6.4 Методи оброблення, що базуються на імпульсному впливі

Методи, що ґрунтуються на імпульсному впливі, є різними за фізичною природою явищ, що обумовлюють їх застосування. Суттєво різні й напрями їх використання.

Загальною характерною ознакою, якою визначається їх технологічна прогресивність, є імпульсний характер силових впливів на об'єкт оброблення, завдяки чому підвищується ККД процесів.

Більшість цих методів не є універсальними й мають переважні області оптимального використання.

Ультразвукова обробка (УЗО). Ультразвукові механічні коливання (УЗК) (частота вище звукової) впливають на перебіг багатьох технологічних процесів. Процеси й операції, які проводяться з використанням УЗК:

- очищення поверхонь від забруднення, покриттів, продуктів корозії, сушіння;
- інтенсифікація нанесення покриттів;
- інтенсифікація процесів тепло- й масообміну;
- фільтрування, піногасіння, кристалізація;
- озвучування технологічної води.

При цьому використовуються різні фізичні ефекти, які інтенсифікуються УЗК: кавітація, акустичні течії, тиск звукового випромінювання, звукокапілярний ефект.

Оброблення твердих і крихких матеріалів за допомогою УЗК. Під час дії на заготовку інструмента, що коливається з оптимальною для певної операції амплітудою й УЗ-частотою, у середовищі, що складається з водної суспензії твердих абразивних частинок, і прикладення до інструмента деякого статичного зусилля відбувається копіювання форми перерізу інструмента в заготовці і здійснюється відповідна операція – вирізання, прошивання, свердління, фрезерування. Основним фактором, яким визначається процес, що відбувається, є відколювання мікрочастинок з поверхні обробленої заготовки ударами абразивних зерен, які набувають значного прискорення від ударів торця інструмента, що коливається з УЗ-частотою. Цей процес широко використовується в промисловості, і для його реалізації випускаються різні верстати (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5 – Верстати для ультразвукового розмірного оброблення

Тип	Основні характеристики	Призначення
4770 У	Універсальний настільний малої потужності (0,05...0,01 кВт)	Оброблення неточних отворів у твердих і крихких матеріалах
4770	Універсальний настільний середньої потужності	Вирізання деталей із заготовок напівпровідникової техніки
40772	Універсальний з подаванням суспензії під тиском і примусовим подаванням коливальної системи з інструментом	Вирізання заготовок складної форми, оброблення порожнин та отворів діаметром 1...40 мм і завглибшки до 40 мм і заготовок із твердих сплавів
ОФ-90	Координатно-шліфувальний	Шліфування деталей з особливо твердих і крихких матеріалів

Для одержання УЗ-коливань використовуються різні ефекти:

– магніострикція – деформування тіл при змінненні їх магнітного стану (використовуються магніострикційні перетворювачі, за допомогою яких досить легко керувати амплітудою й частотою УЗК);

– зворотний п'єзо ефект – зміннення лінійних розмірів деяких сегнето-електриків під дією прикладеного електричного поля (використовуються п'єзоелектричні перетворювачі).

Продуктивність УЗ-прошивання (свердління) можна оцінити так:

$$Q = K(A^2 P_{\text{ПП}})^q f^p F,$$

де K – коефіцієнт, що залежить від концентрації суспензії, твердості оброблюваного матеріалу й абразиву; A – амплітуда коливання торця інструмента, $A = 10 \dots 60$ мкм; $P_{\text{ПП}}$ – тиск статичного притискання; f – частота коливань (18...44 кГц); F – площа торця інструмента; q і p – емпіричні коефіцієнти (0,5...1,0).

З'єднання матеріалів за допомогою акустичної енергії УЗК. Енергія УЗК, уведена в межу поділу різних тіл, приводить до утворення нерознімного з'єднання дотичних поверхонь. Їх з'єднання відбувається без розплавлювання внаслідок дифузійного зрощення. Використовуються ультразвукові (УЗ-) зварювання, паяння, металізація, плакування, спікання, складання. Інструменти: УЗ-паяльники, УЗ-ванна.

Приклади металізації: титановий сплав BT5-1 + Sn-Zn; кераміка ЦТС-19 + Sn-Zn; полімер МСН + сплав Bs-Pa = Cd (сплав вісмуту).

6.5 Комбіновані методи оброблення

Комбіновані методи оброблення (КМО) – це такі методи ЕФХКО, у яких процес перетворення або видалення матеріалу, що обробляється, відбувається внаслідок одночасного протікання двох і більше впливів, кожний з яких здійснюється за своїм механізмом.

Приклади комбінації впливів: електрохімічний + механічний; електроерозійний + електрохімічний; ультразвуковий + механічний. Ці впливи можуть бути розділені в просторі й часі. Продуктивність КМО зазвичай значно перевищує суму продуктивності кожного з методів, наприклад, при поєднанні ЕЕО й ЕХО продуктивність підвищується в кілька десятків разів порівняно з ЕЕО.

Поєднання методів оброблення здійснюється з метою підвищення продуктивності, поліпшення якості обробленої поверхні, зменшення спрацювання інструмента тощо.

У цілому методи електрофізичного й електрохімічного оброблення з кожним роком усе більш широко використовуються в промисловості й дають великий економічний ефект.

7 ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРАЦІ Й ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СОБІВАРТОСТІ У ВИРОБНИЦТВІ АВТОМОБІЛІВ

7.1 Основні методи оцінювання продуктивності праці в простих за структурою технологічних процесах

Продуктивність праці визначається кількістю споживчих вартостей, створених одним робітником в одиницю часу. Через загальність і некоректність означення поняття вартостей продуктивність праці в основному вимірюється у відносних одиницях (збільшення на ... % або зменшення на ... %). Але таке оцінювання використовується в загальному випадку аналізу функціонування підприємства. У конкретних умовах діючого виробництва для простих за структурою технологічних процесів продуктивність праці визначається часом, який витрачається на виготовлення одиниці того або іншого продукту (деталі). Такий показник є зручним ще й тому, що дає змогу нормувати технологічні процеси.

У загальному випадку час, затрачений на виготовлення деталі, витрачається з різними цілями. Для прикладу на рисунку 7.1 зображено структуру витрат робочого часу.

Співвідношення цих витрат для різних технологічних процесів різне – на важких фізичних роботах (гаряче штампування, ливарні роботи тощо) час, необхідний для відпочинку, значно більше, ніж аналогічний параметр у легких умовах праці.

Характерні витрати робочого часу можна визначити таким чином.



Рисунок 7.1 – Структура витрат робочого часу

Штучно-калькуляційний час та його складові. Загальний час, який необхідно затратити на технологічний процес виготовлення деталі або виробу, складається з окремих складових, які затрачуються на безпосереднє виконання операцій техпроцесу на допоміжні й підготовчо-заклучні операції та деякі інші дії робітника.

Основний час t_0 – час, що затрачується на безпосереднє оброблення предмета праці, тобто на змінення його форми, розмірів, фізико-хімічних властивостей тощо.

Для більшості технологічних процесів різання основний час визначається формулою

$$t_0 = i \frac{L}{S_M} = i \frac{L}{nS}, \quad (7.1)$$

де i – кількість проходів для зняття припуску; L – довжина робочого ходу в напрямку подачі, мм; S_M – подача, мм/хв; S – подача на оберт або подвійний хід (деталі або інструмента), мм; n – кількість обертів або подвійних ходів, хв^{-1} .

Підставляючи у формулу значення геометричних і кінематичних параметрів оброблення, ураховують, що

$$L = l + y, \quad (7.2)$$

де l – довжина поверхні, що обробляється; y – довжина врізання й проходження інструмента.

Допоміжний час t_{don} – час, протягом якого відбуваються дії, спрямовані на створення умов, необхідних для виконання основної роботи й роботи, що повторюється з кожним предметом праці або через певну їх кількість.

Допоміжний час затрачується на таке:

- установлення і зняття деталі;
- змінення режиму роботи устаткування;
- підведення й відведення інструмента;
- заміна інструмента в процесі оброблення;
- вимірювання деталі в процесі оброблення;
- змащення, охолодження й очищення інструмента й пристроїв, а також інші дії.

Суму основного й допоміжного часу називають **оперативним часом**:

$$t_{on} = t_o + t_{don}. \quad (7.3)$$

Для інших процесів перетворення процесів праці ці залежності можуть мати трохи інший вигляд.

Протягом робочої зміни робітник витрачає час на виконання та інших дій, необхідних для обслуговування робочого місця, на відпочинок і особисті потреби тощо. Цей час оцінюється у відсотках до оперативного часу.

Штучний час t_{um} – час, необхідний для виготовлення однієї деталі протягом зміни або якого-небудь певного часу:

$$t_{um} = (t_o + t_{don}) \left(1 + \frac{\alpha}{100} + \frac{\beta}{100} + \frac{\gamma}{100} \right), \quad (7.4)$$

де α – відношення часу, необхідного на технічне обслуговування робочого місця, до оперативного часу, %; β – те саме для організаційного часу; γ – те саме для відносного часу, що витрачається на відпочинок та особисті потреби.

Значення цих коефіцієнтів, визначені статистичними методами, наводяться в довідниках з нормування праці.

Підготовчо-заключний час $T_{n.-з}$ – час, що витрачається на ознайомлення з роботою, налагодження устаткування й інструмента, установлення технологічного оснащення та на інші роботи. Цей час витрачається на виготовлення партії деталей.

Середній час, необхідний для виготовлення однієї деталі з партії протягом зміни або іншого певного часу, називають **штучно-калькуляційним часом**

$$T_{um.-к} = t_{um} + \frac{T_{n.-з}}{n}, \quad (7.5)$$

де n – кількість деталей у партії, шт.

Розділивши тривалість робочої зміни або інший певний час на штучно-калькуляційний час, визначають, яку кількість деталей можна виготовити протягом цього часу. Цю операцію називають **нормуванням**. Точність нормування суттєво залежить від кількості статистичного матеріалу.

Для більш точного нормування в конкретних умовах виробництва використовується «метод світлин». Для цього в конкретних виробничих умовах при виконанні роботи робітником відповідної кваліфікації визначається час, що фактично витрачається на виконання операцій, переходів і прийомів, установлених технологічним процесом. Наприклад, при виконанні операції підрізування торця деталі на токарному верстаті час, який витрачається на виконання переходу «установити деталь у патроні», визначається як сума часу таких переходів: «узяти заготовку, піднести і вставити в патрон», «затиснути деталь у патроні», «запустити верстат», «підвести різець».

Після підсумовування часу всіх прийомів, які виконує робітник протягом зміни, що відповідає статистичній обробці результатів і розподілу на кі-

лькість деталей, виготовлених за цей період часу, визначається час, що фактично затрачується на виконання відповідної роботи. Цей час називають **фактичною нормою часу**. Після порівняння зі значенням розрахункової норми часу й аналізу цих величин встановлюється технічно обґрунтована норма часу. Це значення реально відображає витрати часу й надалі використовується для планування виробництва, розрахунку зарплат, складання звітів та аналізу економічної діяльності.

Одним з основних завдань організаторів виробництва, менеджерів і технологів є постійне підвищення продуктивності праці. Шляхи підвищення продуктивності праці:

- вибір найбільш прогресивного процесу оброблення й складання, наприклад штампування й карбування замість механічної обробки;
- застосування високопродуктивного устаткування й оснащення, наприклад зварювальних автоматів, зварювальних машин або верстатів з ЧПК та обробних центрів замість металорізальних верстатів з ручним керуванням;
- максимальне використання технологічних можливостей вибраного устаткування й оснащення;
- найбільш раціональне використання кваліфікації й часу робітників.

Наявні технологічні процеси необхідно періодично переглядати й удосконалювати, а також відповідно нормувати.

Розроблено загальні технологічні заходи щодо підвищення продуктивності праці. Їх можна визначити, аналізуючи формули (7.1)–(7.5).

Технологічні методи скорочення основного часу:

- зменшення кількості проходів унаслідок застосування більш досконалих інструментів або пристроїв;
- збільшення швидкості оброблення (збільшення кількості обертів);
- збільшення подачі;
- зменшення довжини робочого ходу інструмента (зменшення довжини врізання й проходження);
- одночасне оброблення декількох поверхонь;
- паралельне оброблення декількох деталей;
- багатOVERстатне обслуговування.

Методи скорочення допоміжного часу:

- зменшення часу на встановлення й зняття деталі;
- зменшення часу на керування устаткуванням;
- зменшення часу на заміну інструмента;
- зменшення часу на вимірювання;
- паралельне виконання декількох допоміжних робіт;
- поєднання допоміжного часу з основним.

Для різкого скорочення допоміжного часу при масовому виробництві застосовуються автоматичні або роторні лінії. Такі лінії є ефективними лише в умовах масового виробництва при тривалих термінах випуску однієї й тієї ж продукції. Перебудова їх на інший вид продукції є економічно недоцільною.

льною.

Сьогодні в промислово розвинених країнах близько 50...70 % продукції випускається в умовах дрібносерійного виробництва. Автоматизувати таке виробництво надзвичайно складно, тому що характерною його рисою є часте змінення продукції, що випускається, і невелика кількість виробів у кожній окремій партії. Тому кажуть, що таке виробництво, щоб бути доцільним, має бути гнучким.

Для виробництв з частим зміненням продукції, що випускається, або з замовленнями, що періодично повторюються, які використовують кооперативні поставки комплектувальних виробів, застосовується більш комплексний підхід до оцінювання трудомісткості виготовлення продукції, що ґрунтується на таких міркуваннях. Витрати праці при здійсненні того або іншого технологічного процесу $T_{техн}$ складаються з витрат праці, пов'язаних з безпосереднім перетворенням напівфабрикату на виріб ($T_{виг}$); зміни витрат праці в наступних або попередніх технологічних процесах при перетворенні напівфабрикатів на закінчену деталь у межах заданого технологічного процесу ($T'_{виг}$); витрат праці на виріб від оснащення до допоміжних матеріалів, необхідних для здійснення заданого технологічного процесу ($T_{осн}$); витрат праці, пов'язаних з нераціональним використанням основних матеріалів ($T_{мат}$); витрат праці, пов'язаних зі створенням засобів виробництва (устаткування та іншої техніки) для виконання заданого технологічного процесу ($T_{обл}$); витрат, пов'язаних із транспортуванням виробу в процесі виробництва, витрат енергії та інших витрат на здійснення заданого технологічного процесу ($T_{ін}$). Очевидно, що той технологічний процес серед тих, що порівнюються, буде найвигіднішим, найбільш задовільним у певних умовах виробництва, який потребує найменшої суми зазначених вище елементів витрат суспільно необхідної праці:

$$T_{техн} = T_{виг} \pm T'_{виг} + T_{осн} + T_{мат} + T_{обл} + T_{ін}. \quad (7.6)$$

Витрати праці на перетворення напівфабрикату на виріб при здійсненні заданого технологічного процесу можна подати у вигляді такої залежності:

$$T_{виг} = t_o + t_{дон} + \frac{t_{n.-3}}{n}, \quad (7.7)$$

де n – кількість деталей в партії; t_o – основний час; $t_{дон}$ – допоміжний час; $t_{n.-3}$ – підготовчо-заклучний час.

Змінення трудомісткості заданого технологічного процесу при наступ-

ному або попередньому обробленні напівфабрикату в процесі перетворення його на закінчену деталь може бути як позитивним, так і негативним.

Витрати праці, що належать одній деталі від оснащення, яке створено для здійснення заданого технологічного процесу, можна визначити за формулою

$$T_{осн} = \frac{1-K_1}{m} \left(t_{осн} + \frac{1}{K_2 \gamma_2} G_{осн} \Pi \right), \quad (7.8)$$

де m – кількість деталей, що знімаються з оснащення до морального або повного механічного його спрацювання; K_1 – коефіцієнт універсальності оснащення, що змінюється залежно від кількості універсальних елементів в оснащенні, $K_1=0$ – суто спеціальне оснащення, $K_1=1$ – суто універсальне оснащення; $t_{осн}$ – трудомісткість виготовлення оснащення за годину; K_2 – коефіцієнт використання матеріалу оснащення; γ_2 – вартість однієї години праці робітника (середньої кваліфікації), зайнятого на виготовленні оснащення, грн; $G_{осн}$ – маса оснащення, кг; Π – середня ціна 1 кг матеріалу оснащення, грн.

Зменшення витрат праці на вибір оснащення й допоміжних матеріалів складається зі зменшення витрат праці на виготовлення оснащення й витрат, спричинених витратою матеріалів на його виготовлення.

Одним з ефективних шляхів зменшення цих витрат є застосування універсального й нормалізованого оснащення, що зберігається до повного фізичного або морального його спрацювання, а також спрощеного оснащення в окремих областях застосування (для одиничного й дрібносерійного виробництва).

З аналізу величин, що виражають $T_{осн}$, випливає, що за всіх інших рівних умов ця величина буде найменшою, якщо універсальне оснащення використовується із широким застосуванням нормалізованих елементів.

Процеси штампування гумою, рідиною або газами є прогресивними, оскільки передбачається застосування універсального деформувального інструмента – гумової, рідинної або газової матриці або пуансона.

Витрати праці, пов'язані з нераціональним використанням основних матеріалів, визначаються формулою

$$T_{mat} = \frac{(1-K_B) \Pi_2 G_{дет}}{K_2 \gamma_2}, \quad (7.9)$$

де $G_{дет}$ – маса деталі, кг; K_B – коефіцієнт використання матеріалу; Π_2 – ціна 1 кг матеріалу, грн; γ_2 – вартість 1 год праці робітника, зайнятого у виробництві вихідних напівфабрикатів для виготовлення деталі.

Витрати праці на створення обладнання, необхідного для здійснення заданого технологічного процесу, можна розраховувати за формулою

$$N_{обл} = (1 - K_3) \frac{Ц_{обл}}{\gamma_3 N}, \quad (7.10)$$

де $Ц_{обл}$ – обладнання, що замовляється, грн; K_3 – коефіцієнт універсальності устаткування ($K_3 = 0$ у випадку застосування спеціального преса для виготовлення деталей заданої конструкції; $K_3 = 1$ у випадку застосування універсального преса для виготовлення заданої й наступних конструкцій деталей); N – кількість деталей, вузлів, агрегатів, що знімаються з устаткування, що замовляється; γ_3 – середня вартість 1 год праці робітника, зайнятого у виробництві обладнання.

Зменшення витрат праці, пов'язаних зі створенням засобів виробництва (машин, приладів, устаткування) для здійснення заданого технологічного процесу, визначається насамперед ступенем універсальності обладнання, його трудомісткістю й металоємністю. Надання універсальності обладнанню шляхом нормалізації його вузлів та агрегатів (створення агрегатного устаткування) є тим прогресивним напрямом, який сприяє зменшенню витрат і надає найбільшій спадковості засобам виробництва при зміні продукції основного виробництва. Витрати праці на устаткування визначаються значною мірою також витратами матеріалів на його виготовлення. Тому зрозумілою є актуальність боротьби за найменшу металоємність устаткування, що створюється.

Преси й установки для штампування гумою, рідиною або газами становлять великий інтерес, будучи одним із характерних видів спеціалізованого устаткування, що має велику універсальність.

Найменші інші витрати праці, що містять витрати на транспортування виробів у процесі виконання заданого технологічного процесу, та енергетичні витрати є також елементами, що входять до складу показника досконалості технологічного процесу й рівня виробництва. Ці витрати мають ураховуватися залежно від їх питомої ваги при оцінюванні якості технологічного процесу, що проектується.

Кількісний критерій оцінювання досконалості й вибору оптимального варіанта технологічного процесу або методу виготовлення деталі визначається формулою

$$T_{техн} = \pm \left(t_o + t_{дон} + \frac{t_{n.-3}}{n} \right) \pm T'_{виз} + \frac{1 - K_1}{m} \left(t_{осн} + \frac{1}{K_2 \gamma_2} G_{осн} u_1 \right) + \frac{(1 - K_B) Ц_2 G_{дем}}{K_2 \gamma_2} + (1 - K_3) \frac{Ц_{обл}}{\gamma_3 N} + T_{ин}. \quad (7.11)$$

У різних галузях виробництва (залежно від їх характеру й виду) питома вага окремих видів витрат праці може змінюватися в загальному обсязі витрат суспільно необхідної праці, але метод оцінювання досконалості технологічного процесу при цьому є незмінним для всіх галузей машинобудування.

Завдяки оцінюванню досконалості технологічного процесу, що проектується або береться за найменшими витратами суспільно необхідної праці, технолог має можливість комплексно враховувати всі сторони виробництва.

Якщо ж два або декілька серед технологічних процесів, що порівнюються, є рівноцінними за витратами суспільно необхідної праці, то перевагу, мабуть, слід віддавати тому процесу, який більшою мірою забезпечує поліпшення умов праці робітника. Цей критерій у цьому випадку є вирішальним.

Найбільш значним внеском в автоматизацію дрібносерійного виробництва стало створення устаткування із програмним керуванням (ЦПК і ЧПК) – металорізальних верстатів, промислових роботів, координатно-вимірювальних машин (вимірювальних роботів) та інших пристроїв. Це обладнання легко піддається швидкому переналагодженню на новий тип деталей шляхом заміни однієї керувальної програми на іншу.

Оскільки верстати з ЧПК характеризуються більш високою продуктивністю й вартістю, ніж універсальні верстати того самого призначення, гостро постали питання оптимізації їх завантаження. Перший досвід їх застосування показав, що завантаження становить у середньому 30...35 % загального часу роботи. Це пов'язано з недостатнім рівнем організації традиційного виробництва. Підвищити завантаження верстатів з ЧПК без корінної перебудови виробничого процесу й використання ЕОМ не вдається.

Наступним етапом на шляху автоматизації дрібносерійного виробництва стали гнучкі автоматизовані системи (ГАС), до складу яких крім верстатів з ЧПК входять пристрої для завантаження й транспортування заготовок, а також системи автоматизованого контролю деталей, діагностики стану інструмента й устаткування. ГАС керується від ЕОМ, яка координує роботу систем ЧПК верстатів, транспортної системи, роботів та інших елементів ГАС.

Металорізальне обладнання, призначене для ГАС, має систему адаптивного контролю. Адаптивне керування значно знижує трудомісткість ТПП і підвищує продуктивність праці при обробленні.

Для підвищення продуктивності інженерно-технічної праці застосовуються інтегровані виробничі системи (ІВС), у яких на базі широкого використання ЕОМ автоматизуються процеси ТПП, використовуються САПР ТП оснащення, інструментального господарства та інших частин допоміжного виробництва.

Найближчим часом розвиток технології в цій області буде спрямова-

ний на підвищення ступеня автоматизації всіх рівнів виробничого процесу й розширення сфер застосування ІВС в усіх видах обробки в машинобудуванні.

7.2 Оцінювання технологічної собівартості в автомобілебудуванні

Процес виробництва автомобілів пов'язаний з витратами живої й упреждженої праці (у матеріалах, засобах виробництва). Величина цих витрат не може характеризуватися просто робочим часом. Порівняння витрат праці різного виду є можливим лише на основі використання закону вартості. Грошовим виразом вартості є ціна продукції.

Основним завданням будь-якого суспільства, що розвивається, будь-якого підприємства є постійне зниження собівартості продукції.

При економічному аналізі виробничого процесу основним показником є собівартість продукції, що являє собою грошове або яке-небудь (наприклад, у людино-годинах або нормо-годинах) вираження витрат підприємства на виробництво одиниці продукції. Собівартість продукції складається з матеріальних витрат виробництва, зарплати, накладних, витрат, податків і прибутку підприємства.

Окремі складові собівартості продукції по-різному змінюються при переході від одного технологічного процесу оброблення до іншого. При виборі того чи іншого процесу її складові є різними. Наприклад, при штампуванні питома вартість технологічного оснащення є значно більшою, ніж при механічній обробці різанням. Деякі зі складових зовсім не залежать від зміни технологічного процесу, інші залежать досить сильно.

Аналізуючи економічність технологічних процесів, розглядають не всю собівартість, а так звану технологічну.

Технологічна собівартість – частина собівартості продукції, що складається з окремих витрат, які суттєво змінюються зі зміненням технологічного процесу.

У практичних розрахунках використовують формулу

$$C_{mex} = \sum_{s=1}^m (M + Z + E + A + \Pi + I + H + M_B + \dots), \quad (7.12)$$

де m – кількість технологічних процесів, за допомогою яких виготовляється деталь; M – витрати на матеріал заготовки; Z – витрати на зарплату робітників; E – витрати на споживання енергії; A – амортизаційні відрахування; Π – витрати на пристрої; I – витрати на інструмент; H – витрати на налагодження; M_B – витрати на матеріали.

Узагалі це не повний перелік статей технологічних витрат. У різних виробництвах до нього можуть включатися додаткові статті, наприклад витрати на використання ресурсів, витрати на ТПП або програмні продукти.

В автомобілебудуванні в технологічну собівартість включають досить великі витрати на утримання виробничих приміщень складальних виробництв. Потрібна площа складальних цехів (загального й агрегатного складання) істотно залежить від вибраної технології складання великогабаритних деталей (літаків, вертольотів та їх агрегатів).

Точні розрахунки цих витрат є досить трудомісткими. Для серійного виробництва використовують спрощені методи, що дають досить точні для практики результати.

Проаналізуємо типові витрати і склад технологічної собівартості залежно від параметрів техпроцесів.

Витрати на основні матеріали й напівфабрикати M . Основними називають такі матеріали й напівфабрикати, з яких виготовляється продукція:

$$M = B_M \cdot C_M - B_B \cdot C_B, \quad (7.13)$$

де B_M – маса матеріалу заготовки (напівфабрикату); C_M – ціна цього матеріалу; B_B – маса відходів; C_B – ціна відходів.

Якщо вартість напівфабрикатів, наприклад поковок, визначають поштучно, то витрати на напівфабрикати визначають множенням ціни на їх кількість.

Зарплата робітників

$$Z = \sum_{i=1}^m t_{шт.-к} \cdot Z_{C_i} \cdot K_i, \quad (7.14)$$

де $t_{шт.-к}$ – штучно-калькуляційний час i -ї операції; Z_{C_i} – годинна тарифна ставка робітника відповідного розряду на i -й операції; K_i – кількість робітників, які виконують операцію.

До витрат на зарплату робітників звичайно додаються витрати на соціальне страхування, оплату відпусток, пенсій і податків. Ці витрати розраховують у відсотках від зарплати. Так само визначають витрати на зарплату допоміжних робітників та обслугового персоналу.

Витрати на експлуатацію устаткування. Витрати, безпосередньо пов'язані з експлуатацією устаткування, складаються з витрат на його ремонт P і на використану енергію E_i :

$$E = P + E_i. \quad (7.15)$$

Витрати на ремонт складаються з витрат на зарплату робітників, що виконують ремонтні роботи, витрат з експлуатації устаткування й різального інструмента в ремонтному цеху, а також витрат на ремонтний матеріал комплектувальних запчастин. Для рівномірного розподілу витрат на ремонт за часом роботи виробничого обладнання підсумовують витрати на

всі види ремонту за період ремонтного циклу, тобто за час між двома капітальними ремонтами, і відносять їх до одиниці часу роботи устаткування:

$$P'_C = \frac{\Gamma_{P.C}}{\Upsilon_{P.O}}, \quad (7.16)$$

де P'_C – витрати на ремонт, що припадають на 1 хв роботи устаткування;
 $\Gamma_{P.C}$ – група ремонтної складності устаткування; $\Upsilon_{P.O}$ – ремонтний цикл, хв.

Значення $\Gamma_{P.C}$ беруть з нормативів системи планового попереднього ремонту (ППР).

Витрати на ремонт, що припадають на один виріб, визначають за формулою

$$P = \sum_{m=1} P' t_{um.i}, \quad (7.17)$$

де m – кількість операцій технологічного процесу, що аналізується. Слід зазначити, що витрати на ремонт устаткування прямо залежать від штучного часу i -ї операції.

Витрати на енергію визначаються видом спожитої енергії. Для металорізальних верстатів витрата електроенергії складається з двох частин: витрати енергії холостого ходу й витрати енергії безпосередньо на процес оброблення, наприклад на процес різання або штампування.

Загальна потужність, яка затрачується при обробленні, визначається так:

$$N_{ел} = 0,25N_y + N_P, \quad (7.18)$$

де N_y – закладена вартість устаткування; 0,25 – коефіцієнт, що враховує потужність холостого ходу; N_P – потужність, необхідна для здійснення процесу оброблення, яка при обробленні різанням визначається як добуток зусилля різання й швидкості різання.

Тут необхідно підкреслити, що загальна затрачена потужність залежить у тому числі й від установленної потужності обладнання.

Витрати на електроенергію

$$E_H = \sum (0,25N_{y_i} + N_{P_i}) C_{ЕЛ} t_{M_i}, \quad (7.19)$$

де $C_{ЕЛ}$ – ціна одиниці електроенергії, грн/кВт·год; t_{M_i} – машинний час роботи устаткування на i -й операції, год (за величиною близький до оперативного часу t_o).

У загальному випадку до цієї величини додають вартість витраченої енергії іншого виду, наприклад, стисненого повітря, пари, тепла тощо, що розраховується на одну деталь відповідно до нормативів.

Амортизаційні витрати A . У процесі експлуатації устаткування спрацьовується й поступово втрачає свої виробничі якості. Крім того, відбувається моральне зношення, що характеризує відставання устаткування за технічною досконалістю від останніх моделей. Економічне відшкодування спрацювання устаткування шляхом поступового переміщення його вартості на кожну одиницю продукції, що виробляється, називають амортизацією устаткування.

Відповідно до всіх видів зношення визначаються річні амортизаційні відрахування, причому в них ураховуються й витрати на ремонт устаткування. Ця величина залежить від типу устаткування.

Для універсального устаткування машинобудівних виробництв керуються річною нормою амортизації

$$a' = \frac{C_{\phi} + P_c - L}{D \cdot C_{\phi}}, \quad (7.20)$$

де C_{ϕ} – повна початкова вартість устаткування; P_c – вартість ремонту за час функціонування устаткування; L – залишкова вартість устаткування (вартість брухту); D – термін експлуатації устаткування, роки.

Ураховуючи, що вартість ремонту розраховується за іншою статтею, а вартість брухту є невеликою, умовно щорічні амортизаційні відрахування можна визначити за формулою

$$a' = \frac{C_{\phi}}{D}. \quad (7.21)$$

Якщо на обладнанні протягом року виконуються роботи з виготовлення різних деталей, то суму річних амортизаційних відрахувань розносять по деталях пропорційно тривалості операцій оброблення кожної з них за формулою

$$P' = \frac{\alpha \cdot t_{\text{ум.-к}}}{K_B \cdot \Phi}, \quad (7.22)$$

де Φ – річний фонд часу роботи устаткування; K_B – коефіцієнт використання устаткування.

Витрати на пристрої P' . До складу витрат на пристрої включаються ціна покупних пристроїв або собівартість пристроїв власного виготовлення й витрати на їх ремонт. Ці витрати розподіляються на всю виготовлену у пристрої продукцію.

Витрати на пристрої визначають так:

$$P' = C_{П.В} + C_{В.В} + C_{К.Р} \cdot n + C_{С.Р} \cdot C_{Н.Р} \cdot n , \quad (7.23)$$

де $C_{П.В}$, $C_{В.В}$ – ціна і собівартість усіх покупних і власного виготовлення пристроїв відповідно; $C_{К.Р}$, $C_{С.Р}$, $C_{Н.Р}$ – витрати на капітальний, середній і невеликий ремонтів відповідно; n – кількість відповідних ремонтів.

Витрати на універсальні пристрої, що припадають на один виріб, визначаються формулою

$$P_y = \frac{P' t_{шт.-к}}{T} , \quad (7.24)$$

де T – термін експлуатації пристрою до повного спрацювання; $t_{шт.-к}$ – штучно-калькуляційний час оброблення деталі в пристрої.

Загальні витрати на пристрої визначаються формулою

$$P = \sum P_y P_C , \quad (7.25)$$

де P_C – витрати на спеціальні пристрої, віднесені до однієї деталі.

Витрати на інструмент I . Витрати на інструмент складаються з витрат на виготовлення (купівлю), переточування, ремонт та його перевірку.

Розрізняють універсальний обробний інструмент, металообробний, абразивний і вимірювальний. Для кожного виду за відповідними формулами розраховують вартість інструмента на одну деталь. Наприклад, при штампуванні вибухом великогабаритних деталей, для виготовлення яких потребується дуже дорогий інструмент, вартість оснащення відносять до кількості виготовлених деталей:

$$I = \frac{C_{осн}}{m} , \quad (7.26)$$

де $C_{осн}$ – вартість оснащення (іноді до неї додають вартість ремонту); m – кількість деталей, виготовлених на оснащенні або запланованих до випуску (береться за статистичним даними).

Витрати на налагодження устаткування H . Цей вид витрат ураховується в технологічній собівартості лише в тих випадках, коли на робочому місці виконуються послідовно кілька операцій або виготовляються кілька різнотипних деталей, що потребують переналагодження устаткування.

Витрати на налагодження, що припадають на одну деталь, визначаються формулою

$$H = \frac{T_H Z_H}{n}, \quad (7.27)$$

де T_H – тривалість налагодження; Z_H – зарплата наладників за одиницю часу; n – кількість деталей у партії, що обробляються за час одного налагодження.

Витрати на матеріали M_B . При виготовленні деталей різними технологічними процесами витрачаються різноманітні матеріали: при штампуванні вибухом – бризантні вибухові речовини; при листовому штампуванні на пресах – електричні діафрагми, машинне масло, спеціальні електроди тощо, при механічному обробленні на верстатах з ЧПК – магнітні носії, матеріали для моделювання процесу, реєструвальні матеріали та інше.

Ці витрати, якщо вони є постійними й порівнянними з іншими статтями витрат, розраховуються на одну деталь тим або іншим способом.

Інші витрати. У певних випадках до складу технологічної собівартості входять:

- накладні витрати у відсотках від зарплати основних робітників;
- плата за ресурси (воду, землю, шляхи, транспорт тощо);
- штрафи за забруднення навколишнього середовища;
- інші витрати, обумовлені технологічним процесом обробки.

7.3 Технологічні методи зниження собівартості виготовлення

Зниження собівартості виготовлення необхідно вести за всіма складовими елементами. Проаналізувавши наведені формули, бачимо, що найбільше значення має продуктивність праці, тому що вона визначається витратами часу t_O , t_M , t_{OP} , $t_{шт.-к}$, t_i , що є співмножниками у формулах відповідних витрат.

Використання нового високопродуктивного обладнання, інструмента й спеціальних пристроїв у технологічному процесі, що проектується, завжди сприяє підвищенню продуктивності праці. Разом з тим застосування більш досконалих технологічних засобів пов'язане зі збільшенням витрат на експлуатацію устаткування, на інструмент і пристрої.

Проведемо якісний аналіз сумарного впливу устаткування нової техніки та деяких інших факторів на собівартість продукції. Окремі складові собівартості можна розбити на групи: витрати, що не залежать від часу оброблення й обсягу виробництва – M , M_P ; витрати, що залежать тільки від часу оброблення – A_C^* , P_C^* , I_C^* , H^* , M_P' .

Усі формули витрат, що залежать від часу оброблення, містять спів-

множники t_O , t_M або $t_{ум.-к}$.

З певним ступенем умовності, допустимим для якісного аналізу, суму цих витрат можна записати в такому вигляді:

$$(Z^* + P^* + A_Y^* + E + \Pi_Y^* + M_Y^*)t. \quad (7.28)$$

Ту саму операцію проведемо для іншої групи витрат:

$$\frac{1}{N} = (A_C^*, \Pi_C^*, I_C^*, H^*, M_P) \cdot \quad (7.29)$$

Тоді технологічну собівартість однієї деталі можна визначити так:

$$C_{техн} = M + At + B/N, \quad (7.30)$$

де M , A , B – умовні групи витрат.

З формули видно, що в умовах великих обсягів випуску продукції (більших від N) цілком доцільним є застосування спеціального устаткування, спеціальних пристроїв та інструментів, а також верстатів спеціального налагодження. Завдяки цьому різко зменшується час t , отже, продуктивність підвищується. Але збільшення витрат групи B компенсується більшим обсягом випуску.

На автомобілебудівних підприємствах (і в деяких галузях) обсяги випуску є обмеженими. Тому існують два напрями зниження технологічної собівартості: штучне збільшення обсягів випуску (N) – «кооперування виробництва»; створення таких конструкцій устаткування, пристроїв, інструментів і засобів налагодження верстатів, які за продуктивністю наближалися б до спеціальних, а за характером перенесення вартості на продукцію – до універсальних. Цей метод називають комплексною нормалізацією елементів технологічного процесу.

Приклад: універсальні збірні пристрої (УЗП), агрегатні верстати та ін.

На думку конструктора, необхідно прагнути до типізації форми деталі. Тут уводяться терміни «спадковість конструкції» і «технологічність конструкції».

Зниження витрат на матеріали й напівфабрикати. У літакобудуванні вартість матеріалів і напівфабрикатів становить 25...30 % вартості літака, в автомобілебудуванні – 25...40 %, тому економія матеріалів має велике значення.

Технолог може впливати на величину всіх складових, які визначають витрати на матеріали. Основним напрямом зниження витрат є зменшення маси заготовки B_M , тобто максимальне наближення маси заготовки до маси готової деталі. Ступінь наближення цих величин характеризується кое-

фіцієнтом використання матеріалу

$$K_{BM} = (m_D / m_3) \cdot 100 \% . \quad (7.31)$$

Зменшити масу заготовки можна шляхом застосування прогресивних технологічних процесів пресування, точної висадки й штампування або спеціальних видів лиття (таблиця 7.1).

Інший спосіб зниження витрат – застосування спеціального сортаменту матеріалів, що випускаються в металургійному виробництві.

Ціну одиниці маси заготовки $Ц_M$ можна зменшити шляхом використання більш дешевих матеріалів, надавши їм заданої якості відповідним обробленням. Ціну листового матеріалу можна зменшити, підбираючи лист меншого розміру.

Ціну відходів $Ц_0$ можна збільшити шляхом змінення виду відходів. Наприклад, застосовуючи замість спіральних свердел великого діаметра спеціальні трубчасті свердла, можна одержати відходи у вигляді прутка, який використовуватиметься надалі. Іншим прикладом може бути пресування спіральної стружки в монолітні таблетки, що підвищує ціну відходів.

Таблиця 7.1 – Характеристичні значення K_{BM}

Вид заготовки, технологічні процеси	K_{BM}
Прутки, товстостінні труби, плити	40...55
Холодна висадка	85...95
Поковки габаритні	3...10
Поковки фасонні	8...17
Точні гарячі відштамповки	55...80
Лиття в «землю»	60...80
Лиття за виплавлюваними моделями	75...95
Пресування панелі	75...90
Листове штампування	80...95

Зниження витрат на ремонт. Статистично встановлено, що величина витрат на ремонт за весь період роботи устаткування в кілька разів перевищує його початкову вартість. Технолог, проєктуючи техпроцес, вибирає більш просте устаткування для ремонту. На витрати ремонтних служб значно впливає штучно-калькуляційний час.

Зниження витрат на енергію E_H . Основні шляхи зниження витрат за цією статтею:

- підвищення ККД устаткування;
- більш повне завантаження устаткування за потужністю (див. формулу (7.8));
- використання енергії, яку отримала заготовка на попередніх операціях техпроцесу;
- при листовому штампуванні прикладення енергії тільки в потрібних місцях;
- зменшення часу на холостому ході;
- зменшення часу t_M завдяки паралельному обробленню декількох поверхонь;
- зменшення витрат стисненого повітря, тепла, пари тощо;
- перехід на більш дешеві види енергії.

Зниження витрат на амортизацію устаткування A . За статистичними даними, для металообробного устаткування

$A = (0,05 \dots 0,20)C_{техн}$. Для устаткування, у якому використовуються блоки автоматики й комп'ютерної техніки, ці витрати у два-три рази більше.

Практичне зниження цих витрат відбувається внаслідок більш повного використання устаткування (збільшення K_i у формулі (7.22) і звуження номенклатури деталей, що обробляються на цьому устаткуванні, та більш повного використання його технологічних можливостей.

Зниженню витрат на пристрої Π сприяють такі заходи:

- поліпшення використання спеціальних пристроїв;
- зменшення кількості спеціальних пристроїв;
- при складанні – розширення фронту робіт (паралельна робота декількох робітників), зниження спрацювання пристроїв;
- застосування універсальних складальних (УСП) та універсальних налагоджувальних (УНП) пристроїв, які складаються за принципом дитячої іграшки «Конструктор». Їх використання є економічно вигідним уже при виготовленні в них трьох-чотирьох типорозмірів деталей.

Зниження витрат на інструмент I . Універсальний інструмент вибирається з урахуванням впливу цих витрат на собівартість. У цьому випадку частіше доводиться вирішувати таке завдання: більш дорогий інструмент – вища швидкість оброблення.

Спеціальний інструмент слід вибирати більш простої конфігурації. Уніфікація приводів інструмента (електричний, пневматичний) дає позитивні результати.

Хороші результати дає одержання спеціального інструмента шляхом переточування універсального.

Зниження витрат на налагодження устаткування H . Основними напрямками зниження цих витрат є:

- зменшення часу налагодження;
- зменшення кількості точок налагодження;
- застосування спеціального інструмента при налагодженні.

7.4 Вибір варіанта технологічного процесу, що забезпечує мінімальну собівартість

Сумарні витрати на виготовлення заданої кількості деталей (виробів), що входять у технологічну собівартість, можна розділити на дві групи:

- витрати, що рівномірно зростають у міру випуску продукції: M , Z , E , Π_y , I_y , які змінюються пропорційно обсягу продукції, що випускається;
- витрати, що змінюються стрибкоподібно через певну кількість виготовлених деталей (виробів): Π_C , I_C , H , M_P . Таке змінення пояснюється тим, що певну кількість деталей неможливо виготовити за допомогою одного комплекту штампового оснащення, спеціальних пристроїв тощо у заданий проміжок часу. Тому доводиться збільшувати кількість комплектів пристроїв, інструментів, кількість налагоджень тощо.

Графічно зростання різних витрат залежно від обсягу випуску деталей N і часу показано на рисунку 7.2.

Змінення технологічних витрат першої групи залежно від обсягу випуску деталей і часу – це прямі лінії, що починаються в нульовій точці (рисунок 7.2, а). Витрати другої групи змінюються східчасто, тому що, скажімо, через кожні 500 деталей потребується одне налагодження верстата, але між ними налагоджень немає і, отже, немає витрат. Тому лінії, що з'єднують ці точки, – горизонтальні (рисунок 7.2, б).

Змінення сумарних витрат, тобто технологічної собівартості, зображено на рисунку 7.2, в. У першому варіанті техпроцесу наявними є мінімальні початкові витрати P_0^1 , але відносно швидко зростає технологічна собівартість зі збільшенням обсягу випуску деталей.

Для третього варіанта техпроцесу є характерними відносно великі початкові витрати P_0^3 і повільне їх зростання надалі.

У точках N_{KP}^{1-2} , N_{KP}^{1-3} , N_{KP}^{2-3} ці графіки перетинаються. Обсяги випуску деталей, при яких технологічна собівартість за відповідними техпроцесами є однаковою, називають критичними. Якщо необхідний обсяг менше критичного, то варіант технологічного процесу є економічно доцільним. У конкретному випадку, зображеному на рисунку 7.2, в, перший варіант техноло-

гічного процесу є економічно виправданим тільки при $N < N_{KP}^{1-2}$, другий – при $N_{KP}^{1-2} < N < N_{KP}^{2-3}$. При більших обсягах випуску переважає третій варіант техпроцесу.

Порівнюючи варіанти техпроцесів, не завжди порівнюють усі витрати за складовими технологічної собівартості. Слід урахувувати тільки ті витрати, які змінюються в різних варіантах техпроцесів.

Під час вибору технологічного процесу слід урахувувати, що економічність нових прогресивних процесів виготовлення в міру їх освоєння підвищується, і процеси, нерентабельні в цей час, можуть бути рентабельними надалі.

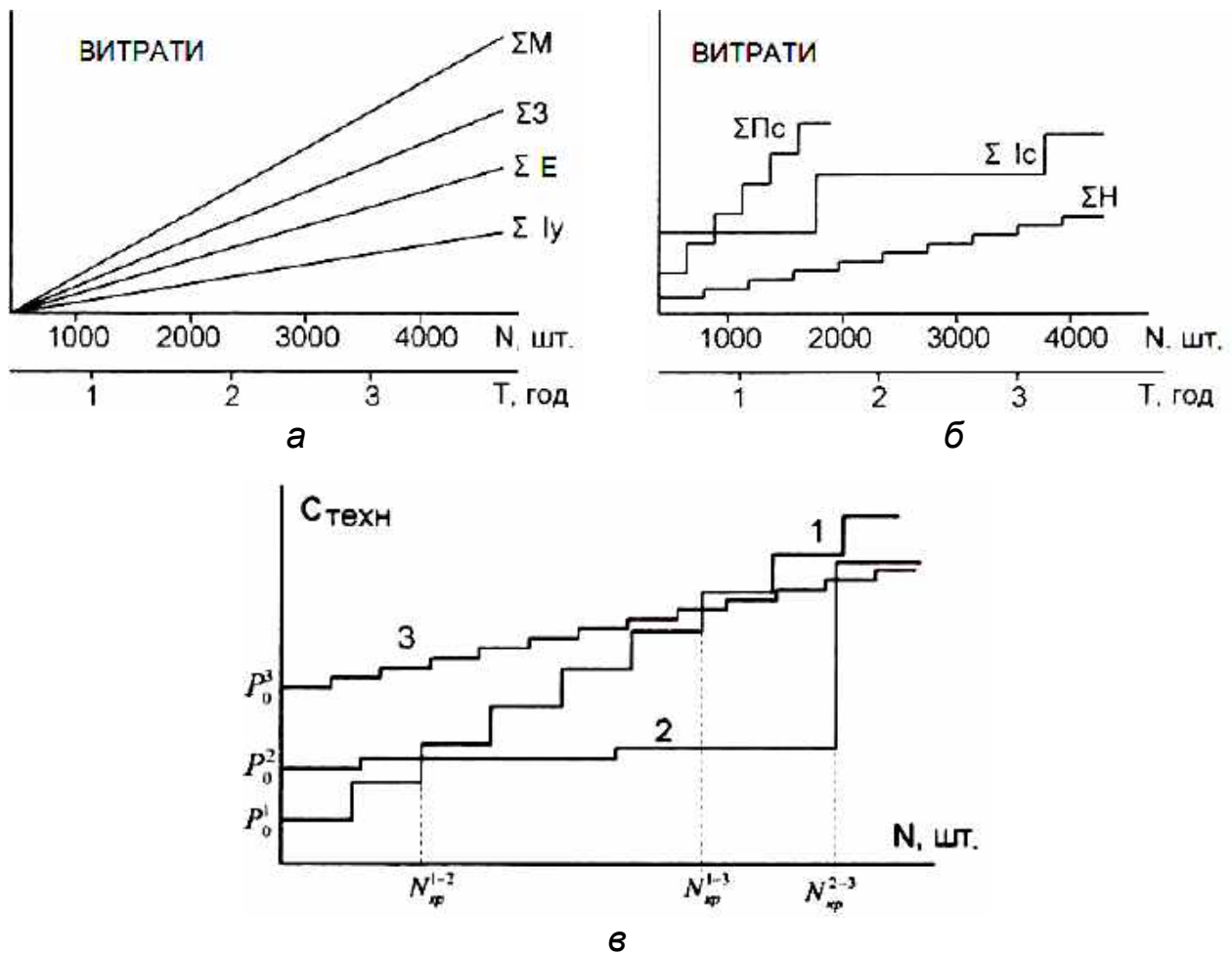


Рисунок 7.2 – Графіки змінення технологічних витрат залежно від обсягу випуску деталей: а – змінення витрат першої групи у формулі (7.29); б – змінення витрат другої групи у формулі (7.29); в – змінення технологічної собівартості виготовлення деталі за трьома варіантами техпроцесів

(P_0^1, P_0^2, P_0^3 – початкові витрати за певним техпроцесом)

Мінімальна собівартість виготовлення – не єдиний економічний критерій вибору технологічного процесу. Крім цього слід урахувати й інші показники:

- для складальних процесів великогабаритних виробів велике значення має показник використання виробничих площ;
- якість і надійність одержаних деталей найчастіше визначають вибір технологічного процесу, у цьому випадку в поняттях «якість» і «надійність» ураховуються маса листових деталей, їх утомна міцність, наявність або відсутність залишкових напружень тощо;
- питання екології виробництва;
- витрати природних ресурсів (води, повітря тощо).

7.4 Технологічні шляхи забезпечення якості: точність і взаємозамінність

Під якістю автомобіля розуміють сукупність властивостей і показників, що визначають його придатність для задоволення потреб відповідно до призначення. Для оцінювання якості автомобіля використовуються такі групи показників:

- показники надійності;
- показники технологічності;
- показники точності і взаємозамінності;
- ергономічні показники (гігієнічні, антропологічні, фізіологічні, психологічні тощо);
- показники технічної естетики;
- показники уніфікації і стандартизації;
- показники патентної чистоти тощо.

Показники якості можуть бути окремими, комплексними й інтегральними, наприклад:

- окремий показник надійності – наробок на відмову;
- окремий показник технологічності – питома трудомісткість;
- комплексний показник – рівень технологічності конструкції;
- рівень якості – показник, що впливає на економіку: висока якість – менше споживання товару; низька якість – ніхто не купує, тому гостро постає проблема оптимальної якості.

Наука про методи кількісного оцінювання якості – кваліметрія. Нині розроблено єдину систему керування якістю, основним завданням якої є розроблення наукових основ планування параметрів якості. Для оцінювання якості автомобілів застосовують такі показники:

- відповідність дійсної характеристики автомобіля тактико-технічним вимогам;
- відповідність сукупності заданих показників якості;
- базові показники (за трудомісткістю, за собівартістю, за відмовами тощо);
- відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації автомобіля до сумарних витрат на виготовлення й експлуатацію (вартість перевезення 1 кг вантажу) та інші показники.

Розглянемо деякі технологічні шляхи досягнення якості машин.

Забезпечення точності розмірів. Під точністю геометричних розмірів автомобіля в цілому або окремих його вузлів і деталей розуміють ступінь відповідності їх дійсних значень значенням, заданим у проєкті.

Відомо, що ні з технічної, ні з економічної точки зору виготовляти абсолютно однакові деталі неможливо. Деталь вважається придатною, якщо її розміри знаходяться в певних межах.

Наприклад, задано діаметр деталі $\varnothing 40_{-0,1}^{+0,25}$ мм. Допуски задаються на всі розміри: лінійні, кутові, форми, розташування поверхонь. Виходить, що всі деталі з діаметром від 39,9 до 40,25 мм будуть придатними.

Похибки геометричних параметрів можна класифікувати за різними ознаками (рисунок 7.3):

- за джерелами й причинами їх виникнення;
- за фізичними явищами, якими обумовлюється їх поява (пружні деформації від сил різання, теплові деформації, зношення тощо), та за іншими ознаками.

Похибки необхідно враховувати під час розроблення технологічних процесів. Найважливішою ознакою якості є якість поверхневого шару деталі.

Забезпечення точності складання. Завдання, пов'язані із забезпеченням необхідної точності автомобілів та їх механізмів на всіх етапах їх створення (проєктування, виготовлення, складання), вирішуються за допомогою розмірних і кінематичних ланцюгів.

Залежно від типу виробництва розрізняють п'ять методів досягнення точності замикальної ланки під час складання: повної взаємозамінності; неповної (часткової) взаємозамінності; групової взаємозамінності; регулювання; пригонки.

В основному застосовуються перші два методи, що забезпечують взаємозамінність під час складання з найменшими витратами праці.

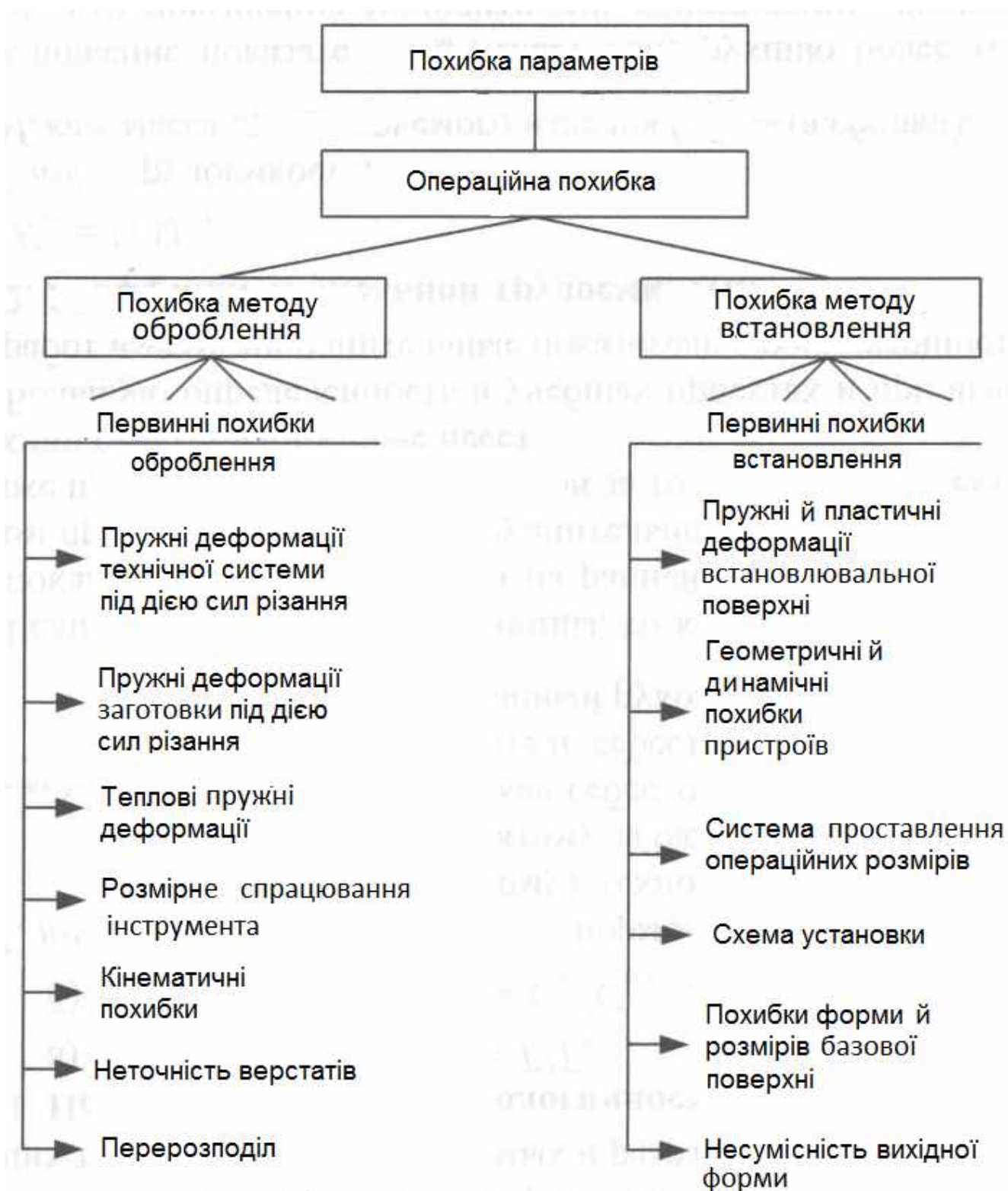


Рисунок 7.3 – Класифікації помилок

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ З КУРСУ

Модуль 1

1. Дайте означення поняття «технологія». Поясніть зв'язок між поняттями «конструювання» і «технологія».
2. Запишіть основну послідовність технологічних перетворень. Обґрунтуйте логіку записаної послідовності.
3. У якому вигляді металеві заготовки надходять на машинобудівні підприємства?
4. Назвіть варіанти перетворення форми заготовок. Поясніть загальні відмінності між цими варіантами.
5. Дайте означення гарячої й холодної обробки металів тиском. Назвіть їх основні переваги й недоліки, області застосування.
6. Назвіть методи нагрівання металевих заготовок та області їх застосування.
7. Перелічіть методи гарячого об'ємного штампування. Назвіть їх переваги й недоліки.
8. Поясніть суть операції кування. Назвіть основні операції кування, устаткування й інструмент, що використовуються при куванні.
9. Поясніть суть холодного об'ємного штампування. Назвіть його переваги й недоліки порівняно з гарячим об'ємним штампуванням.
10. Визначте суть операції всадки. Для одержання яких деталей використовується ця операція?
11. Визначте суть операції різання. Яке устаткування при цьому використовується?
12. Назвіть основні операції листового штампування. Перелічіть типи устаткування для листового штампування. Стисло поясніть принципи дії такого устаткування.
13. Дайте означення операціям зварювання й паяння. Перелічіть сучасні операції зварювання.
14. Охарактеризуйте методи одержання литих заготовок. Назвіть їх переваги й недоліки.
15. Для одержання яких типів деталей і для яких умов виробництва застосовуються ті або інші способи лиття?
16. Якими технологічними процесами зазвичай супроводжується процес лиття?
17. Опишіть можливі варіанти комбінації процесів ОМД і зварювання для одержання автомобільних деталей.
18. Визначте суть процесів синтезу форми заготовок з вихідних матеріалів (умовно 3D-технологій). Назвіть їх переваги й недоліки порівняно з традиційними.
19. Охарактеризуйте можливі варіанти 3D-технологій. Назвіть їх переваги й недоліки.

20. Визначте відмінності в поняттях «заготовка» і «деталь». Яким чином ця відмінність пов'язана з послідовністю технологічних перетворень?

Модуль 2

1. Перелічіть групи й підгрупи процесів перетворення об'єму (розмірів) заготовки. Які геометричні форми поверхонь можна отримати за допомогою цих процесів?

2. Яким є призначення (мета) процесів перетворення об'єму?

3. Накресліть загальну схему процесу різання металів різальним клином. Які фактори визначають результативність процесу різання? Опишіть сили та їх дію під час різання.

4. Перелічіть фізичні фактори, якими супроводжується процес різання. Якими є негативні наслідки прояву цих факторів? Назвіть методи зниження наслідків дії негативних факторів.

5. Накресліть схеми процесів точіння, розточування, свердління, фрезерування, шліфування. Укажіть головні напрямки руху заготовки й інструмента в цих процесах.

6. Назвіть методи формотворення поверхонь, що обробляються. У яких процесах вони використовуються? Опишіть їх переваги й недоліки.

7. Які технологічні прийоми забезпечують допуски співвісності шийок валів відносно їх загальної осі?

8. Чим характеризується твердість конструкції вала? У чому полягає особливість виготовлення валів нежорсткої конструкції?

9. Які технологічні бази застосовуються при виготовленні важелів шатунів?

10. Чи є необхідним термооброблення при виготовленні точінням валів нормальної точності та прецизійних валів?

11. У якій послідовності встановлюють режими різання для складних конструктивних налагоджень?

12. Назвіть основні поверхні, що обробляються на верстатах фрезерної групи.

13. Схематично накресліть головні рухи та їх напрямки при фрезеруванні поверхонь.

14. Які різальні інструменти застосовують при виготовленні плоских поверхонь? При якій архітектурі фрезерних верстатів застосовують ті або інші різальні інструменти?

15. Які схеми формотворення поверхонь використовують при фрезеруванні плоских і фігурних поверхонь?

16. Якими є схеми налагодження і які поверхні можна виготовляти на протяжних верстатах?

17. Опишіть схеми оброблення зубчастих смуг і шліців на валах. Назвіть їх переваги й недоліки.

18. Накресліть схеми, які застосовуються при шліфуванні плоских циліндричних і фасонних поверхонь. Які верстати використовують при шліфуванні таких поверхонь?

19. Якими параметрами характеризуються абразивні інструменти?

20. Накресліть схеми обробних операцій. Які інструменти при такому обробленні використовують? Яким є призначення обробних операцій?

21. Перелічіть групи інструментальних матеріалів. Назвіть види обробки різанням, для яких ці групи використовуються.

22. У чому полягає суть обробки різанням на верстатах з ЧПК або обробних центрах? У чому полягають техніко-економічні переваги такого устаткування?

23. Охарактеризуйте процес свердління. Які головні рухи при цьому здійснюються? Опишіть суть процесів зенкування, зенкерування й нарізування різі. Який інструмент застосовується для виконання таких операцій?

24. Які допоміжні матеріали й речовини використовують під час оброблення різанням? Опишіть їх призначення.

25. Охарактеризуйте суть процесів перетворення поверхонь деталей та їх стану.

26. Охарактеризуйте суть термічної обробки. Які параметри процесів є керованими?

27. Охарактеризуйте процеси хіміко-термічної обробки. Поясніть загальне призначення таких процесів.

28. Охарактеризуйте суть процесів нанесення покриттів. Дайте означення поняттям «корозія» та «ерозія».

29. Поясніть призначення й відмінність процесів холодного й гарячого оцинкування автомобільних деталей і складальних одиниць.

30. Охарактеризуйте суть процесів хімічного й механічного нанесення покриттів. Які хімічні й механічні ефекти використовуються при виконанні таких процесів?

31. Опишіть послідовність операцій фарбування кузова автомобілів. Назвіть методи контролю якості фарбування.

32. Дайте означення технологічного процесу складання. Поясніть відмінність процесів складання твердих і нетвердих деталей.

33. Опишіть технічне призначення з'єднувальних елементів: шпильок, шпонок, штифтів, шплінтів, шліців.

34. Які технологічні процеси використовуються при виготовленні вигнутих труб? Які співвідношення геометричних параметрів у таких процесах є критичними для одержання якісних деталей?

35. Опишіть кілька схем з'єднання елементів трубопроводів низького й високого тиску.

36. Які експлуатаційні особливості треба враховувати при виборі варіантів з'єднань елементів трубопроводів?

37. Яким чином забезпечується герметичність при складанні трубопроводів?

Модуль 3

1. Що таке зразкові й композиційні матеріали? У чому полягає їх відмінність? У чому полягають техніко-експлуатаційні переваги й недоліки цих матеріалів порівняно з металевими матеріалами?

2. Методи виготовлення деталей з полімерних матеріалів. Устаткування, що застосовується, і технологічне оснащення.

3. Методи одержання деталей з композиційних матеріалів хаотично спрямованої будови.

4. Опишіть схеми процесу пултрузії, намотування й викладання для одержання деталей різної геометрії.

5. Чи залежать і яким чином механічні властивості композиційних матеріалів від їх будови?

6. Опишіть технологічні процеси виготовлення гумотехнічних виробів автомобіля.

7. Яким чином виготовляють прогумовані тканини, об'ємні гумові вироби (кільця, манжети), гумові шнури?

8. Охарактеризуйте методи виготовлення пористих полімерних і гумових деталей.

9. Опишіть методи одержання промислових газів. Поясніть, чому ціни різних промислових газів різко різняться.

10. Чим спричинена необхідність застосування методів електрофізичної, хімічної й комплексної обробки (ЕФХКО)? Опишіть основні методи ЕФХКО й поясніть якість цих методів.

11. Опишіть суть методів електрохімічної обробки. Назвіть області їх застосування, а також їх переваги й недоліки.

12. Опишіть суть методів електроерозійної обробки (ЕЕО). Назвіть основні схеми ЕЕО при виготовленні деталей різної геометрії, їх переваги й недоліки.

13. Поясніть суть методів електрофізичної обробки, що базуються на тепловому впливі. Назвіть їх переваги й недоліки порівняно з іншими методами ЕФХКО.

14. Опишіть методи, що ґрунтуються на імпульсному механічному впливі на предмет оброблення. Укажіть область їх застосування, назвіть їх переваги й недоліки.

15. Дайте означення поняття «продуктивність праці». Яким параметром вона оцінюється? Наведіть схему витрат робочого часу при виготовленні деталі.

16. Запишіть залежності для вивчення основного й оперативного часу виготовлення деталі. Які витрати праці містить допоміжний час?

17. Дайте означення поняття «штучно-калькуляційний час». Укажіть основні технологічні методи його покращання.

18. Що таке технологічна собівартість виготовлення деталі (виробу). Запишіть формулу залежності технологічної собівартості від основних її складових.

19. Запишіть формулу залежності основних складових технологічної собівартості від часу й кількості деталей.

20. Як визначити економічно вигідний варіант технології? Як визначити точки беззбитковості при виготовленні продукції? Як визначити екологічно виправдані діапазони обсягу випуску продукції при вибраній технології виготовлення?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Божидарнік, В. В. Основи технології виробництва й ремонту автомобілів : навч. посіб. / В. В. Божидарнік, А. П. Гусев. – Луцьк : Надстир'я, 2007. – 320 с.
- Вильжер, И. Технология ремонта кузовов легковых автомобилей / И. Вильжер, Ж.-П. Николя ; пер. с фр. В. Г. Полякова. – М. : Машиностроение, 1988. – 472 с.
- Гурин, Ф. В. Технология автотракторостроения : учеб. для вузов / Ф. В. Гурин, В. Д. Клепиков, В. В. Рейн. – М. : Машиностроение, 1981. – 295 с.
- Зварювання в автомобілебудуванні: металознавство та технології : навч. посіб. / В. А. Косенко, О. Г. Добровольський, А. П. Красовський [та ін.]. – Київ : Ун-т «Україна», 2018. – 239 с.
- Інженерне матеріалознавство. Метали, полімери, кераміка, композити : підручник : пер. з рос. / Я. С. Карпов, В. В. Остапчук, О. Г. Попова, І. М. Тараненко ; за ред. Я. С. Карпова. – Харків : ХАІ, 2020. – 383 с.
- Кудрявцев, С. М. Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля : монография / С. М. Кудрявцев [и др.] ; под общ. ред. С. М. Кудрявцева. – Н. Новгород : НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2010. – 236 с.
- Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение, 1979. – 520 с.
- Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1972. – 694 с. Т. 2 / под ред. А. Н. Малова. – М. : Машиностроение, 1972. – 568 с.
- Справочник [Электронный ресурс] : Инж. журнал (с приложением). – Режим доступа : <http://www.handbook-j.ru/> DOI: 10.14489/issn.0203-347X.
- Тараненко, М. Е. Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы : монография / М. Е. Тараненко. – Харків : ХАІ, 2011. – 272 с.
- Технология автомобилестроения : учеб. для вузов / А. А. Карунин, Е. Н. Бузник, О. А. Дащенко и др. ; под ред. А. И. Дащенко. – М. : Трикста, 2005. – 624 с.
- Технология изготовления автомобильных кузовов : учеб. пособие / Д. В. Горячий, Г. И. Захаров и др. ; под общ. ред. Д. В. Горячего. – М. : Машиностроение, 1990. – 368 с.
- Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. – Львів : Новий Світ-2000, 2019. – 358 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОРМИ ЗАГОТОВКИ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ.....	6
1.1 Гаряче й холодне об'ємне деформування металів.....	6
1.2 Листові заготовки.....	15
1.3 Устаткування й оснащення для листового штампування деталей автомобілів.....	22
1.4 Технологічні методи з'єднання заготовок зварюванням і паянням	24
1.5 Технологічні способи лиття.....	30
1.6 Синтез форми деталі з вихідних матеріалів.....	37
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ОБ'ЄМУ ЗАГОТОВКИ...	42
2.1 Суть процесу різання.....	43
2.2 Методи формотворення поверхні.....	44
2.3 Оброблення заготовок на токарних верстатах.....	49
2.4 Оброблення заготовок на свердлильних верстатах.....	50
2.5 Оброблення заготовок на розточувальних верстатах.....	52
2.6 Оброблення заготовок на фрезерних верстатах.....	53
2.7 Оброблення заготовок на протяжних верстатах.....	57
2.8 Оброблення заготовок на зубообробних верстатах.....	60
2.9 Оброблення заготовок на шліфувальних верстатах.....	61
2.10 Обробні операції як види обробки.....	65
2.11 Металорізальні верстати.....	66
2.12 Інструментальні матеріали.....	68
3 ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПОВЕР- ХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТА ЇХ СТАНУ	69
3.1 Термічна й термомеханічна обробка сталі і сплавів.....	70
3.2 Поверхнева зміцнювальна обробка.....	72
3.3 Процеси утворення металевих покриттів.....	76
3.4 Методи очищення поверхонь деталей. Забезпечення промисло- вої чистоти.....	80
3.5 Ступені очищення поверхонь.....	86
4 ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ Й МОНТАЖУ АВТОМОБІЛІВ	88
4.1 Складання виробів в автомобілебудуванні.....	88
4.2 Методи з'єднання деталей автомобіля.....	93
4.3 Зварні й паяні з'єднання.....	96
4.4 Клейові з'єднання.....	96
4.5 Болтові з'єднання.....	97
4.6 Інші з'єднання.....	99
5 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ. ОДЕРЖАННЯ ВИРОБІВ ІЗ НЕМЕТАЛЕ- ВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	102
5.1 Виготовлення деталей з пластмас.....	102
5.2 Виготовлення деталей з органічного скла.....	108

5.3	Виготовлення деталей з кераміки й металокераміки.....	109
5.4	Виготовлення деталей і конструкцій з полімерних композитних матеріалів.....	114
5.5	Способи виготовлення гумових технічних деталей в автомобілебудуванні.....	128
5.6	Методи одержання технічних газів, що використовуються в технологічних процесах виготовлення автомобілів.....	131
6	ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....	132
6.1	Фізико-хімічне оброблення твердих, крихких і в'язких матеріалів	132
6.2	Методи оброблення, що базуються на електрохімічному впливі..	135
6.3	Методи оброблення, що базуються на тепловому впливі.....	139
6.4	Методи оброблення, що базуються на імпульсному впливі.....	145
6.5	Комбіновані методи оброблення.....	147
7	ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРАЦІ Й ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СОБІВАРТОСТІ У ВИРОБНИЦТВІ АВТОМОБІЛІВ.....	148
7.1	Основні методи оцінювання продуктивності праці в простих за структурою технологічних процесах.....	148
7.2	Оцінювання технологічної собівартості в автомобілебудуванні...	156
7.3	Технологічні методи зниження собівартості виготовлення.....	161
7.4	Вибір варіанта технологічного процесу, що забезпечує мінімальну собівартість.....	165
7.5	Технологічні шляхи забезпечення якості: точність і взаємозамінність.....	167
	КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ З КУРСУ	170
	Модуль 1.....	170
	Модуль 2.....	171
	Модуль 3.....	173
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	175

Навчальне видання

**Тараненко Михайло Євгенович
Нестеренко Сергій Іванович
Богачьова Тетяна Борисівна**

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АВТОМОБІЛІВ І ДВИГУНІВ

Редактор Т. О. Іващенко

Зв. план, 2023

Підписано до видання 24.11.2023

Ум. друк. арк. 9,9. Обл.-вид. арк. 11,13. Електронний ресурс

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001