

Лекція 5. Розробка ТП обробки заготовок на АЛ

5.1. Загальні відомості про АЛ

АЛ (автоматична лінія) – це система машин, комплекс основного та допоміжного технологічного обладнання, що автоматично виконує у визначеній технологічній послідовності і з заданим ритмом весь процес виготовлення та/або переробки продукту виробництва або його частини.

Суттєвим етапом у розвитку АЛ стало створення типових швидко переналагоджуваних багатомономенклатурних ліній для обробки циліндричних зубчастих коліс, ступінчастих і шліцьових валів. На таких лініях при незначних витратах часу на переналагодження оброблялось декілька однотипних заготовок різних розмірів. У той же час кожен верстат міг працювати і самостійно. Розробка типових АЛ на базі машин і устаткування широкого призначення створила необхідні умови для серійного виготовлення АЛ та їх впровадження у серійне виробництво.

АЛ для обробки строго визначених за формою та розмірами заготовок називаються спеціальними: при зміні об'єкта виробництва такі лінії замінюються або переробляються. Більш широкі експлуатаційні можливості мають спеціалізовані АЛ для обробки однотипної продукції у визначеному діапазоні параметрів. Спеціальні та спеціалізовані АЛ застосовуються головним чином у масовому виробництві.

У серійному виробництві АЛ повинні бути універсальними і забезпечувати можливість швидкого переналагодження для виготовлення різної однотипної продукції. Такі АЛ називають універсальними швидкопереналагоджуваними або груповими.

Структурне компонування АЛ (рис. 5.1) залежить від обсягу виробництва і характеру ТП. Існують лінії паралельної та послідовної дії, однопотокові, багатопотокові, змішані – з гілчастим потоком.

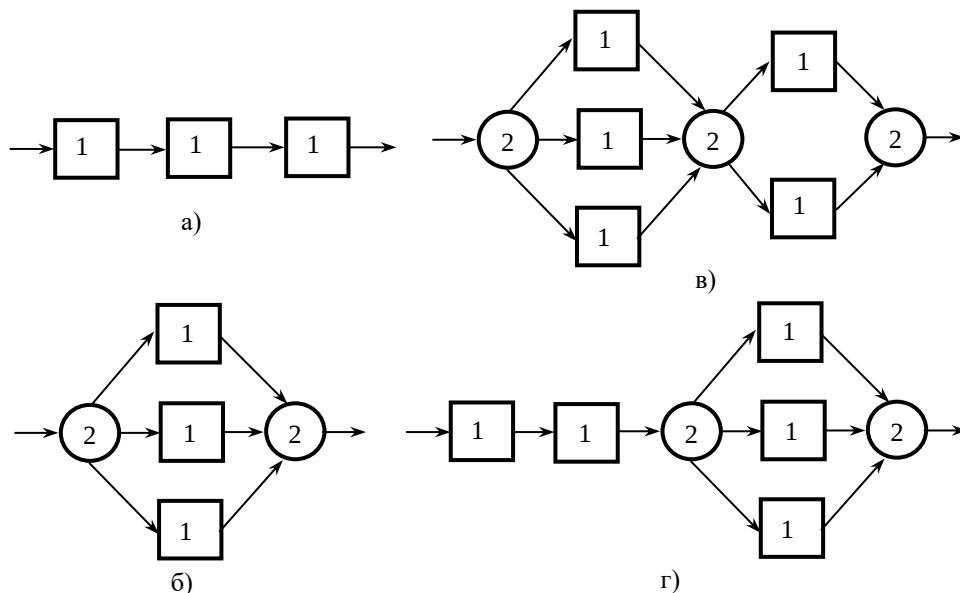


Рис. 5.1. Компонування АЛ:

- а – однопотокова послідовної дії;
- б – однопотокова паралельної дії;
- в – багатопотокова;
- г – змішана (з гілчастим потоком);
- 1 – робочі агрегати;
- 2 – розподільні пристрої

АЛ паралельної дії застосовуються для виконання однієї операції, коли тривалість її значно перевищує необхідний темп випуску.

Багатопотокові АЛ представляють собою систему з АЛ паралельної дії, призначену для виконання декількох операцій, кожна з яких за тривалістю більша заданого темпу випуску.

У єдину систему можуть бути об'єднані декілька АЛ послідовної або паралельної дії. Такі системи називаються автоматичними ділянками, цехами або виробництвами.

Найбільш поширеними є РАЛ для операцій, що виконуються за допомогою прямолінійного робочого руху (штампування, витяжка, пресування, складання, контроль).

5.2. Класифікація АЛ та особливості їх компонування

За ознаками введення заготовок і видачі готової продукції АЛ у машинобудуванні застосовуються наступні АЛ:

- 1) з поштучним введенням заготовок і поштучною видачею оброблених деталей (наприклад, лінії для обробки кілець карданних підшипників);
- 2) з безперервною подачею матеріалу (заготовок) і безперервною видачею готової продукції (наприклад, лінія для виробництва зварених труб);
- 3) з безперервною подачею вихідних матеріалів і поштучною видачею готових виробів (наприклад, лінія для виробництва металовиробів з бунта).

АЛ з поштучною подачею заготовок і поштучною видачею готових деталей умовно поділяються на два класи: синхронні (жорсткі) та несинхронні (гнучкі).

На рис. 5.2 представлена класифікаційна схема АЛ для виготовлення виробів у машинобудуванні.

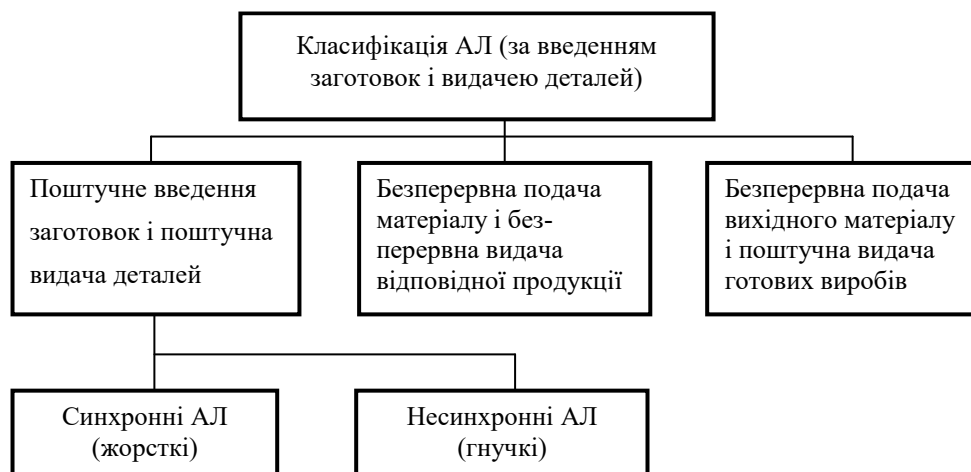


Рис. 5.2. Схема класифікації автоматичних ліній

В синхронних АЛ заготовки 1, що обробляються, передаються від одного верстата до іншого з використанням крокових транспортних пристроїв, що переміщують усі заготовки на крок 1. Відстань між верстатами повинна бути рівна або кратна кроку (рис. 5.3).

Недоліком жорстких АЛ є те, що при відмові одного верстата необхідно зупинити всю лінію. Лінії такого класу можуть складатись як з однопозиційних, так і багатопозиційних верстатів. Транспорт лінії може бути наскрізним або ненаскрізним. Лінії з наскрізним транспортером одержали найбільше поширення і застосовуються в основному для виготовлення корпусних деталей.

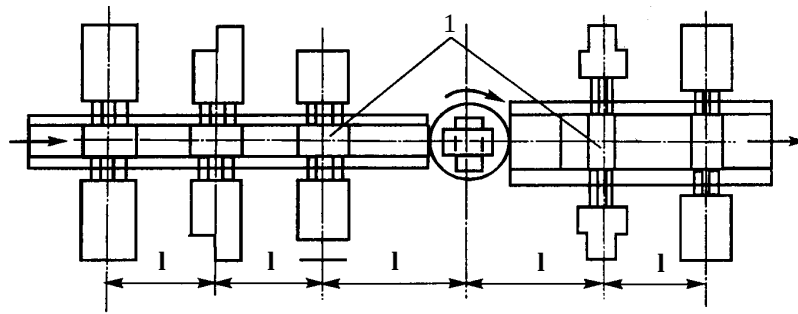


Рис. 5.3. Схема компоновання синхронної АЛ

Несинхронні лінії складаються з верстатів, кожен з яких або їх група забезпечені бункером 1 (рис. 5.4, а) або магазинами-накопичувачами 2, 3 (рис. 5.4, б) для збереження деталей і автоматичним завантажувально-розвантажувальним пристроєм. При зупинці однієї ділянки лінії заготовки надходять з бункера або магазина-накопичувача, що забезпечує продовження роботи лінії. Лінії з бункерами застосовуються для невеликих, простих, легко орієнтованих заготовок, а лінії з магазинами-накопичувачами – для більш складних заготовок.

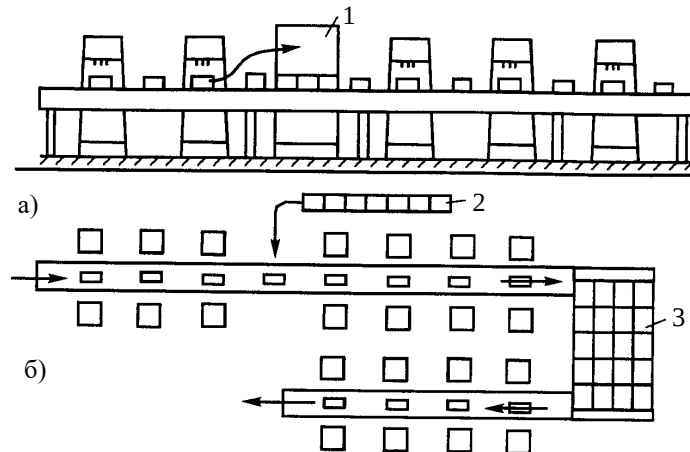


Рис. 5.4. Схема компоновань несинхронних АЛ:

а – з бункером 1;

б – із магазинами-накопичувачами 2, 3

Лінії з жорстким зв'язком виконуються за необхідності з пристосуваннями-супутниками (рис. 5.5). Заготовки 1 встановлюються у пристосуваннях-супутниках 2, що переміщаються на транспортуючому пристрої 3 від верстата до верстата. Деталь обробляється у даному випадку з одного встановлення, при одній схемі базування. Технологічними базами заготовки можуть бути як попередньо оброблені поверхні, так і чорнові. Незважаючи на порівняну складність, лінії із супутниками широко застосовуються для обробки складних за конструкцією заготовок.

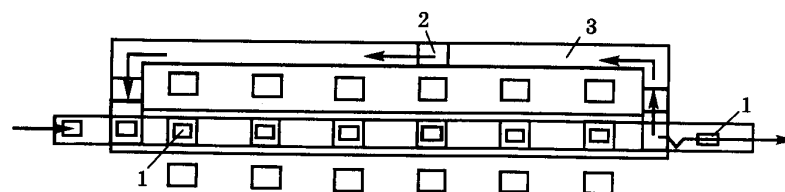


Рис. 5.5. Приклад компоновання АЛ з жорстким зв'язком та пристосуваннями-супутниками

У лініях безсупутникового типу (рис. 5.4, 5.5) заготовки повинні мати попередньо оброблені бази, наприклад, великі корпусні деталі – нижню поверхню з двома отворами для фіксуєчих пальців. Операції обробки баз в основному виконуються на окремому устаткуванні. Заготовки в безсупутникових лініях встановлюються у пристосуваннях, розміщених на кожному верстаті лінії, за допомогою автооператорів, механічних рук, лотків тощо.

Лінії з жорстко-гнучким зв'язком за розташуванням транспортуєчого пристрою можуть бути з наскрізним і ненаскрізним переміщенням заготовок. При ненаскрізному переміщенні заготовки 1 проходять поза зоною обробки. З транспортера вони подаються в робочу зону і назад за допомогою спеціальних завантажувальних пристроїв 2, що ускладнює лінію (рис. 5.6). Такі АЛ застосовуються для обробки валів, зубчастих коліс та інших деталей.

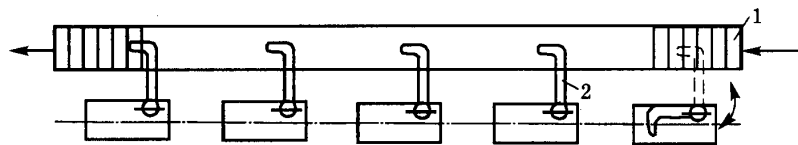


Рис. 5.6. Приклад компонування АЛ з жорстко-гнучким зв'язком

Якщо тривалість обробки на окремих ділянках неоднакова (менша такту випуску виробів), застосовуються лінії з потоком, що розгалужується (рис. 5.7).

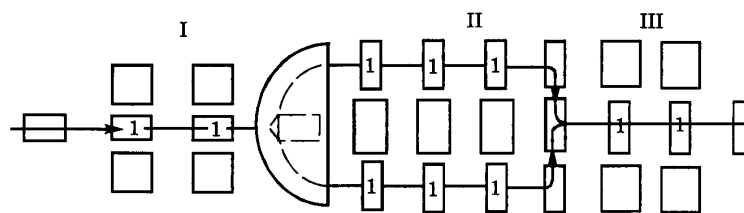


Рис. 5.7. Приклад компонування АЛ з потоком, що розгалужується

Більшість ліній, що використовуються у машинобудуванні, є лініями періодичної дії (заготовка під час обробки зупиняється). В АЛ безперервної дії (роторні та ланцюгові лінії) заготовки обробляються під час їх переміщення, що забезпечує високу продуктивність лінії. Однак технічні можливості їх (за розмірами та складністю оброблюваних заготовок) невеликі.

АЛ для механічної обробки можуть формуватись з наступних верстатів: агрегатних, спеціальних, універсальних, спеціалізованих напівавтоматів і автоматів, верстатів із програмним управлінням і роторних машин.

5.3. Вимоги до технологічності конструкції деталей, що обробляються на АЛ

При аналізі конструкції деталі для виготовлення її на АЛ особлива увага звертається на:

- можливість багатосторонньої багатоінструментної обробки;
- легкого відведення стружки;
- підведення та відведення МОР.

Вибір баз проводиться із врахуванням:

- можливості автоматичної фіксації кожної деталі в необхідному положенні у пристосуванні;
- надійного захисту баз від наявності стружки;
- раціонального способу транспортування деталей.

Для виконання даних вимог застосовуються пристосування-супутники, а для пристосувань використовуються штучні бази. При обробці корпусних деталей доцільно за бази використовувати площини і два точних отвори. Фіксатори і притискачі приводяться в дію гідроприводами.

При розробці ТП на АЛ необхідно передбачити мінімальне число перебазувань і перезакріплень оброблюваної деталі. Виконання даних умов сприяє:

- підвищенню точності;
- зменшенню циклу обробки і скороченню кількості автооператорів і кантувачів.

Як правило, необхідно прагнути до виконання суміщення технологічних і вимірjuвальних баз з метою усунення похибок при базуванні.

Для автоматизованого виробництва поняття операції як закінченої частини ТП, виконаної на одному робочому місці, втрачає зміст.

Операція в умовах обробки деталей на АЛ – це елемент ТП, який не потребує участі людини і виконаний одним цільовим механізмом, що забезпечує необхідну взаємодію інструмента і заготовки для здійснення процесу обробки.

Технологічний маршрут обробки окремих поверхонь встановлюється на підставі вихідних даних (креслення деталі, обсягу випуску тощо) і принципово не відрізняється від маршрутів у звичайному виробництві.

З метою забезпечення заданого розміру деталі і зменшення кількості відмов рекомендується вводити між попередньою та остаточною обробкою напівчистову.

Необхідно підвищувати ступінь концентрації технологічних переходів, а також виключати із загального маршруту операції, які важко автоматизуються.

Для попередження можливості завищення і заниження припусків бажано встановлювати їх розрахунково-аналітичним методом, а не вибирати за таблицями.

5.4. Вибір типу і структури АЛ

Вважається економічно ефективним об'єднання окремих верстатів у малі і великі ділянки АЛ. При виборі оптимальної структури АЛ визначається кількість верстатів, які можна заблокувати в АЛ з жорстким зв'язком. Оптимізація проводиться за надійністю машин, об'єднаних у лінію, і витратами на засоби автоматизації.

Число верстатів, що входять в автоматичну лінію, виходячи з ТП обробки і конструктивних факторів, вибирається від 2 до 30. При визначенні структури лінії співставляються параметри потокової лінії з верстатів з автоматичним циклом і параметри АЛ з тих же жорстко заблокованих верстатів.

Через недостатню надійність устаткування і засобів автоматизації в даний час такі лінії поділяють на окремі ділянки. Витрати на засоби автоматизації та втрати продуктивності повинні бути компенсовані за рахунок скорочення чисельності обслуговуючого персоналу.

Визначення оперативного часу, що відводиться на окремі позиції, проводиться виходячи з:

- фонду часу роботи АЛ F ;
- програмного завдання N (випуск деталей у штуках за період часу F);
- коефіцієнта використання лінії η .

Такт роботи АЛ, x_v , визначається за формулою (див. лекцію 1):

$$\tau = 60 \cdot \Phi_d / N.$$

Має місце:

- номінальний (календарний) річний фонд часу роботи лінії Φ_n
- ефективний річний фонд Φ_d , що враховує втрати часу на плановий ремонт устаткування: $\Phi_n \approx 0,9 \Phi_d$.

Такти також поділяються на номінальний τ_n і дійсний τ_d .

Максимальний допустимий оперативний час (або час робочого циклу верстатів АЛ), x_v , дорівнює:

$$T_{оп} = \tau_d \cdot \eta,$$

де

η – коефіцієнт використання АЛ, що враховує втрати часу на усунення можливих відмов у роботі механізмів, витрати часу на налаштування та налагодження різальних інструментів.

При більш точних розрахунках враховуються показники надійності кожної позиції АЛ:

$$T_{оп} = \tau_d - (1 - P) \cdot t_{y.v},$$

$t_{y.v}$ – час усунення відмов, що припадають на один робочий цикл роботи АЛ;

$t_{y.v}$ визначається розподілом середнього часу відновлення працездатності t на середню кількість циклів між відмовами n :

$$t_{y.v} = t / n;$$

P – надійність лінії: $P = (P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n) \cdot P' \cdot P''$;

$P_1, P_2, \dots, P_n$ – надійність верстатів (позицій);

P' – надійність транспортуючого пристрою;

P'' – надійність системи управління АЛ: $P'' = 0,95 \dots 0,99$.

Складові часу по кожній позиції АЛ визначаються за знайденим максимальним допустимим значенням $T_{оп}$:

$$T_{оп} = t_d + t_m,$$

- t_m – машинний час, хв, що включає:
- e = час прискореного підведення;
 - = відведення різальних інструментів (PI);
 - = час їх (PI) роботи при робочій подачі (див. практичну роботу № 1);
- t_m визначається на основі характеристик силових головок, наведених у паспортних даних верстатів;
- t_d – допоміжний час, хв, що включає час:
- = транспортування;
 - = фіксації;
 - = розтискання;
 - = закріплення та розкріплення деталей або супутників.
- Після визначення допустимих норм часу на кожній позиції:
- уточнюється ТП;
 - розраховуються режими різання;
 - виконується нормування.

5.5. Вибір пристосувань та інструментів для АЛ

На АЛ використовуються:

- стаціонарні одно- і багатопозиційні;
- одно- і багатомісні пристосування;
- у певних випадках застосовуються пристосування-супутники.

До *стаціонарних пристосувань АЛ* висуваються специфічні вимоги. Подача та встановлення заготовок у пристосування виконується за рахунок переміщення визначеного транспортуючого пристрою. Встановлювальні елементи транспортуючого пристрою повинні бути на одному рівні зі встановлювальними елементами пристосувань. Як встановлювальні елементи часто використовуються опорні планки і два висувних пальці з конічними фасками, які називаються *фіксаторами*.

При розрахунку похибки встановлення необхідно враховувати, що наявність висувних встановлювальних елементів і фіксаторів викликає збільшення похибки встановлення обробленої деталі. Для визначення правильності положення заготовки у пристосуванні часто використовуються датчики. Тому при проектуванні АЛ функціонування пристосування і транспортуючого пристрою узгоджується з роботою верстата. Конструкція пристосування повинна забезпечувати надійне відведення стружки із зони обробки.

Пристосування-супутники застосовуються для встановлення та закріплення заготовок складної форми. При цьому весь процес обробки виконується при незмінному положенні заготовки. Пристосування-супутник із закріпленою на ньому заготовкою послідовно переміщається відносно верстатів АЛ по спеціальних напрямних за допомогою крокового транспортера. Закріплення заготовок на супутнику здійснюється вручну або автоматично гайковертами, змонтованими на початку і в кінці лінії.

Застосування пристосувань-супутників на АЛ забезпечує:

- 1) необхідну орієнтацію заготовок при транспортуванні;
- 2) доступність робочої зони для спостережень та очищення;
- 3) надійність фіксування заготовок разом із пристосуваннями-супутниками;
- 4) автоматичне очищення і миття елементів базуючих пристосувань поза зоною обробки.

До *недоліків пристосувань-супутників* відносяться:

- 1) збільшення довжини та ускладнення транспортних пристроїв лінії внаслідок неможливості повернення пристосувань-супутників з останньої на першу позицію лінії та наявності допоміжних пристроїв для закріплення заготовок;
- 2) зменшення точності обробки через наявність додаткових поверхонь стикування, фіксування та базування.

Для стабільної роботи АЛ необхідно *вибирати різальні інструменти*, що мають найбільшу розмірну і різальну стійкість. Для АЛ підбирають інструменти на клас вище стандартних або виготовляють за спеціальними галузевими нормами. Приблизно 80 % інструментів зазвичай оснащуються твердосплавними пластинками з їх механічним кріпленням.

Інструменти для АЛ, як правило, повинні забезпечувати:

- швидке налагодження та підналагодження верстатів;
- взаємозамінність при граничному зношуванні;
- подрібнення стружки;
- високий ступінь концентрації технологічних переходів.

Багато застосовувати:

- збірні багатолезові інструменти з пластинами, що непереточуються;
- фрези з твердосплавними різальними і зачисними пластинами.

Допоміжні інструменти (оправки, подовжувачі тощо) повинні забезпечувати зручне настроювання різальних інструментів поза верстатом і регулювання положення їх за довжиною після заточування.

Таким чином, різальні інструменти, що застосовуються на АЛ, повинні відрізнятися:

- підвищеною жорсткістю та точністю по діаметральних розмірах і положенню різальних кромek відносно осі обертання внаслідок ретельного заточування та доведення;
- підвищеною та стабільною стійкістю;
- взаємозамінністю та швидкознімністю;
- бути максимально пристосованим для настроювання на розмір поза верстатом;
- мати пристрої для подрібнення стружки.

Інструменти для АЛ повинні виготовлятися за спеціальними технічними умовами. При цьому необхідно передбачати:

- тару для перевезення інструментів;
- чохли, що оберігають інструменти від забоїв і полумок;
- місця збереження (інструментні шафи, тумбочки, стелажі тощо);
- верстати для заточування та доведення;
- контрольно-вимірювальні прилади та пристосування для настроювання з

необхідними еталонами;

– стенди для випробовувань, балансування, перевірки твердості абразивів тощо.

5.6. Особливості визначення режимів різання та нормування технологічних операцій на АЛ

Методика розрахунку режимів різання для АЛ та ж, що і для універсальних та агрегатних верстатів. Додатково необхідно врахувати наступне:

1) при використанні існуючих нормативних елементів режимів різання:

- глибину різання t , мм;
- ширину обробки B , мм;
- подачі S_z , мм/зуб; S_0 , мм/об; S_m , мм/хв;
- частоти обертання шпинделя n , хв⁻¹;
- швидкості різання V , м/хв, м/с;
- стійкість кожного інструмента T , хв;
- зусилля різання P , Н;
- подвійний крутний момент $2M_{кр}$, Н/м;
- ефективну потужність N_e , кВт;
- вплив складності технологічного настроювання, жорсткості системи

ВПД кожної з позицій лінії. За певних умов елементи режимів різання можуть бути знижені на 10...30 %;

2) при виборі режимів різання на АЛ, наприклад, швидкості різання V , необхідно розглядати:

- швидкість різання V_{min} , при якій собівартість обробки заготовки є мінімальною;
- граничну швидкість різання V_{max} , при якій собівартість обробки на одному верстаті стає рівною собівартості обробки на двох верстатах з більш низькими режимами різання.

При $V > V_{max}$ доцільно встановити додатковий верстат, при $V < V_{min}$ необхідно прийняти V_{min} .

Якщо $V_{min} < V < V_{max}$, то розрахунок режимів різання ведеться за заданою продуктивністю;

3) допустиме зношування різальних інструментів повинно бути приблизно в 1,5–2 рази меншим рекомендованого для різальних інструментів універсального устаткування;

4) розраховані режими різання коректуються відповідно до рекомендованих періодів примусової заміни інструментів (1/2 заміни, 1 або 2 заміни з розбиттям інструментів на групи). При цьому може виявитись, що період заміни інструментів окремих груп буде меншим за період можливих стійкостей інструментів. Але це окупається за рахунок зменшення кількості відмов АЛ.

Для безперебійної експлуатації АЛ велике значення має правильно налагоджена система забезпечення інструментами, у тому числі:

- примусова зміна інструментів за графіком;
- централізована доставка на заточування;

–своєчасне поповнення запасів інструментів.

Нормування часу полягає у знаходженні дійсного оперативного часу $T_{оп}$ на кожній з позицій лінії і порівняння його з допустимим оперативним часом (часом циклу) роботи АЛ:

$$T_{шт} = T_{оп} = t_o + t_d.$$

Для позицій з одномірним налагодженням і одномісним пристосуванням:

$$T_{оп} = \frac{l_{вр} + l_o + l_n}{S_{хв}} + t_d.$$

Для багатомісних пристосувань, багатоінструментних налагоджень при використанні багатопозиційних верстатів, паралельної багатобічної обробки:

$$T_{оп} = \frac{l_{вр} + l_o + l_n}{S_{хв} \cdot n} + t_d,$$

де n – число одночасно оброблюваних сторін деталей або інструментів, що беруть участь в обробці.

5.7. Диференціація та концентрація операцій на АЛ (на прикладі обробки валів)

Обробку заготовок в залежності від їх конструкції, технологічності, умов виробництва можна виконати на одному верстаті. У цьому випадку досягається найбільший ступінь концентрації та суміщення елементів обробки заготовки за одну операцію. Прикладом служить формування заготовки або деталі однопозиційним штампуванням. При механічній обробці із зняттям стружки, як правило, виконується поділ процесу обробки з розподілом загального припуску під обробку, коли кожен інструмент буде знімати відповідну частину припуску.

При диференційованому процесі обробки можливі три схеми підпроцесів обробки:

А – обробка, послідовна у часі;

Б – одночасна обробка з повним об'єднанням підпроцесів за найбільшим (лімітуючим) часом протікання одного з них;

В – послідовно-сумісна обробка.

Суміщене (накладене) креслення контурів заготовки і деталі ведучої шестерні заднього моста після токарної обробки представлено на рис. 5.8.

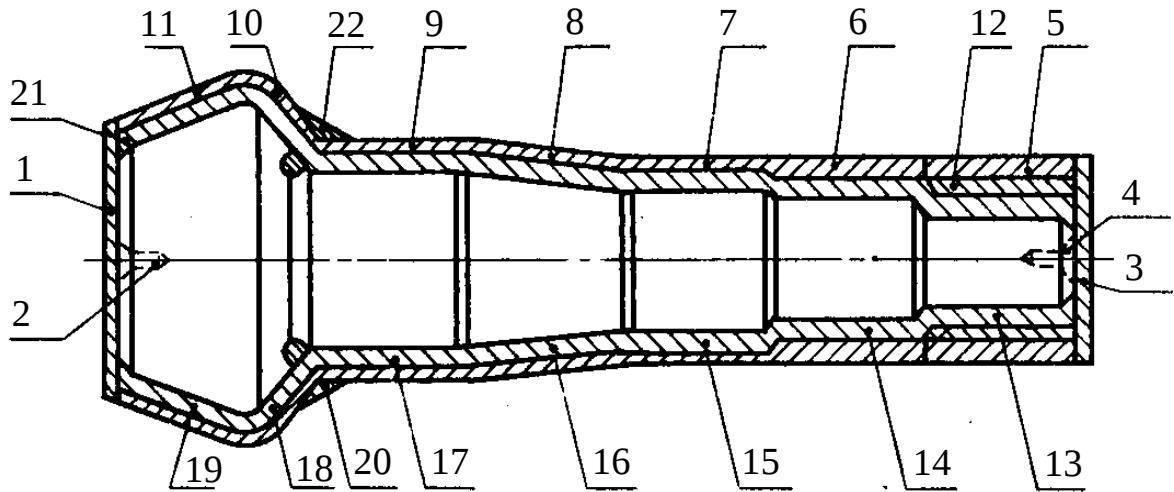


Рис. 5.8. Суміщене креслення заготовки і обробленої деталі з поелементним поділом припуску під обробку (номери елементів припуску подані у відповідності до послідовності обробки)

Нехай повний j -процес обробки цієї заготовки є упорядкованою N -множиною i -підпроцесів. Кожен i -підпроцес можна співвіднести зняттю i_v -го елемента припуску під обробку. Весь припуск під обробку розділений у цілому на 22 елементи. З даної N -множини підпроцесів утвориться область можливих варіантів процесу обробки на АЛ з різним ступенем диференціації та концентрації.

Задача вибору варіанта процесу обробки на АЛ є невід'ємною частиною оптимального вибору структури технологічної операції та структурно-компонувального рішення лінії за наступними критеріями:

- продуктивність;
- надійність устаткування;
- якість поверхні, що обробляється;
- економічна ефективність.

Прикладом можливих варіантів диференціації та концентрації операції може бути варіант обробки заготовки на центрувально-підрізній і токарній позиціях АЛ. Першими операціями процесу обробки є обробка торців і центрування заготовки з двох сторін. Для виконання даних операцій можливе застосування типового фрезерно-центрувального напівавтомата. При цьому виконується диференційований процес з послідовною черговістю обробки по двох позиціях:

- перша – фрезерування торців з двох сторін;
- друга – центрування деталі з двох сторін.

На центрувально-підрізному напівавтоматі процес обробки сконцентрований на одній позиції (рис. 5.9). Операції підрізання торців і центрування суміщені в часі.

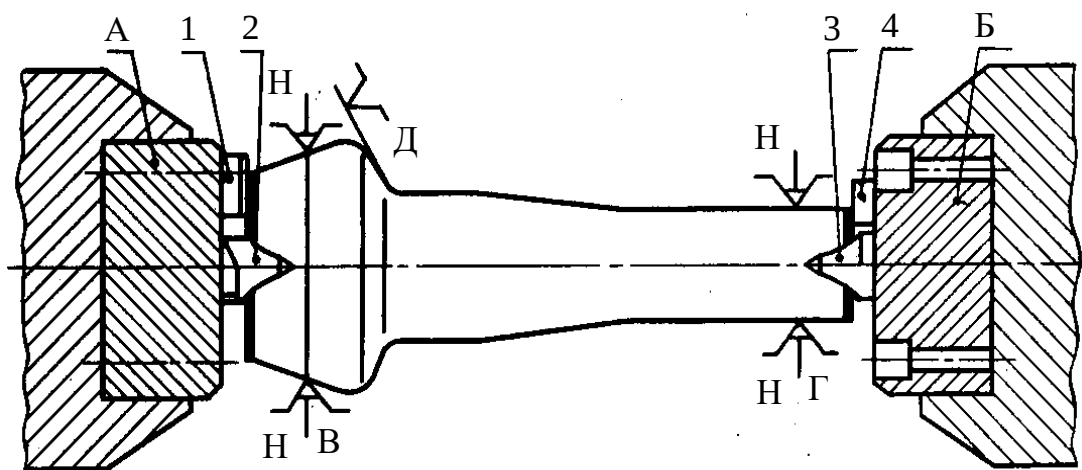


Рис. 5.9. Схема обробки торців деталі на центрувально-підрізному напівавтоматі АЛ:

- А, Б – блок інструментний;
- В, Г – затискач гідравлічний;
- Д – базування поздовжнє;
- 1, 4 – пластини твердого сплаву швидкознімні;
- 2, 3 – свердла центрувальні

Крім механічної обробки торців, на напівавтоматах передбачається позиція автоматичного контролю обробки торців і центрових отворів.

Схема токарної обробки деталі наведена на рис. 5.10. При відповідній диференціації процесу обробки інструментами, встановленими на супортах А–Г, процес обробки концентрується на одній позиції АЛ.

Найбільша концентрація підпроцесів припадає на позиції токарної обробки. Для досягнення високого ступеня концентрації процесу обробки на одному верстаті використовується до 4–5 супортів. Верхні супортні групи (як правило, гідрокопіювальні) несуть найбільше силове навантаження, здійснюють основне знімання металу із заготовки і формоутворення поверхні деталі, що обробляється. Хрестові та підрізні супорти звичайно встановлюють на нижніх напрямних.

Для чорнової та чистової обробки з використанням одного супорта на спеціальних верстатах передбачене розміщення поворотної інструментної головки. За необхідності встановлюються поворотні револьверні блоки з чотирма і більше інструментами, що при багатопрхідній обробці розширює технологічні можливості устаткування.

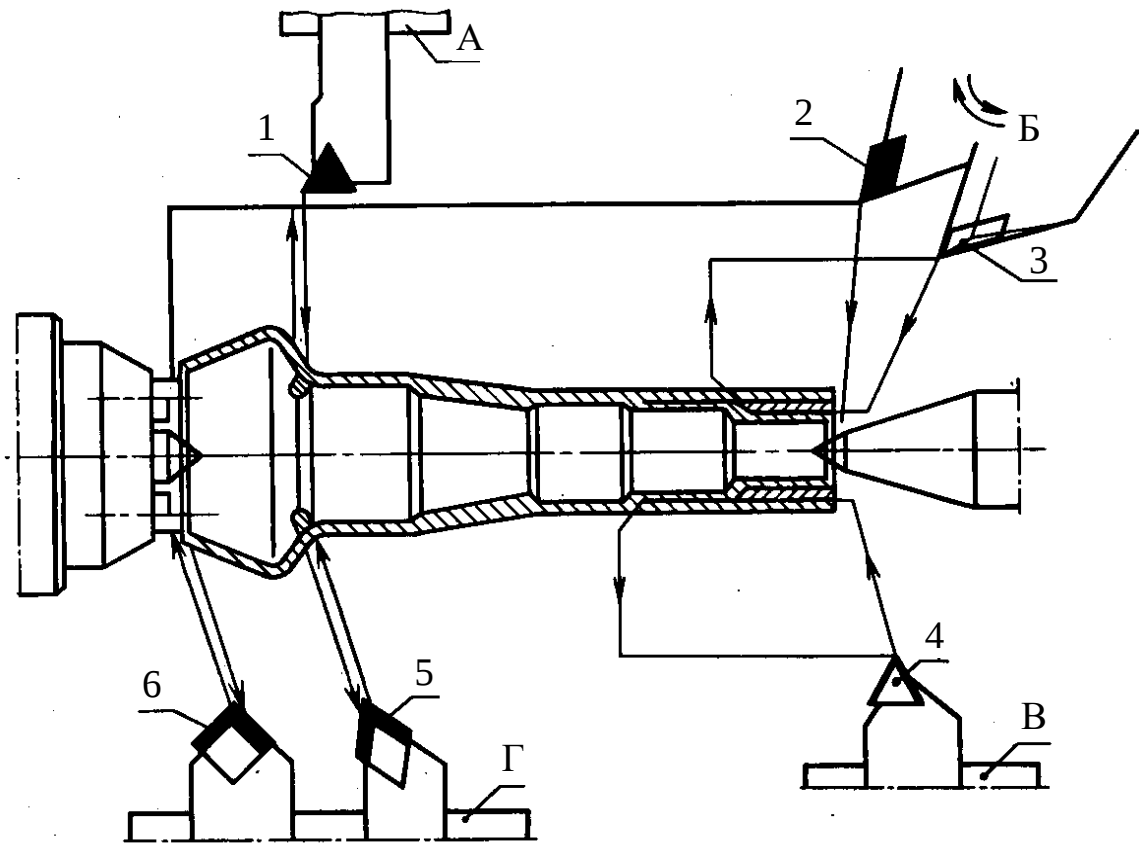


Рис. 5.10. Схема обточування на токарно-гідрокопіювальному напівавтоматі АЛ:
 А, Г – супорт підрізний з інструментним блоком;
 Б – супорт гідрокопіювальний з поворотним інструментним блоком;
 В – супорт хрестовий з інструментним блоком;
 1–6 – пластини різальні твердосплавні швидкознімні

5.8. Управління та ефективність АЛ

Управління АЛ здійснюється автоматичними системами, що поділяються на внутрішні та зовнішні.

Внутрішні автоматичні системи забезпечують виконання окремим агрегатом або механізмом лінії усіх відведених йому основних і допоміжних операцій ТП.

Зовнішня автоматична система шляхового контролю, організованого за принципом зворотного зв'язку, забезпечує погоджену роботу агрегатів і ділянок ліній. Системи управління АЛ будуються на:

- електричних;
- механічних;
- гідравлічних;
- пневматичних;
- або комбінованих зв'язках.

Для автоматичного регулювання параметрів ТП і переналагодження устаткування АЛ (переважно групових), застосовуються системи електронного програмного управління.

Переміщення заготовок, що обробляються, з однієї робочої позиції на іншу здійснюється жорсткою або гнучкою системою транспортування.

Жорстка система транспортування може перетинати робочий простір агрегатів АЛ або розташовуватись паралельно і мати перпендикулярно змонтовані пристрої для завантаження та розвантаження робочих позицій. Після обробки на одній позиції заготовка транспортується на наступну позицію. При цьому на першій позиції встановлюється нова заготовка, а на останній – знімається готова деталь.

В залежності від конструкції, розмірів і форми заготовок, що обробляються, використовуються конвеєри:

- крокові;
- штангового типу;
- грейферні;
- пластинчасті;
- ланцюгові тощо.

Жорсткі системи транспортування застосовуються переважно на однопотокових лініях послідовної дії при виготовленні великих деталей.

При гнучкій системі транспортування встановлення заготовок і зняття оброблених деталей виконується незалежно на кожному агрегаті, передача заготовок з однієї позиції на іншу може бути поєднана з робочим процесом. Звичайно на кожній робочій позиції встановлюються магазини або бункери-накопичувачі. Їх призначення – забезпечити заготовками АЛ при зупинках окремих агрегатів.

Для забезпечення незалежної роботи окремих ділянок магазини та бункери-накопичувачі застосовуються і на АЛ із жорстким транспортуванням.

Стабільність процесу та усунення впливу похибок ТС під час обробки на АЛ досягаються застосуванням систематичного контролю заданих параметрів та активним впливом на ТП. Безпосередня ефективність АЛ виявляється у зменшенні кількості робітників на відповідній ділянці. Однак для АЛ потрібна більш висока кваліфікація зайнятого персоналу.

Продуктивність АЛ залежить від:

- часу, що витрачається на здійснення безпосередньо робочого процесу;
- часу на допоміжні переміщення (несуміщені з роботою ОТО транспортні операції, затискання заготовки, що обробляється, і розтискання готової деталі, відведення та підведення робочих органів);
- часу на налагодження та відновлення працездатності лінії.

Для оцінки продуктивності АЛ важливим показником є циклова безперервність роботи – відношення часу виконання робочого процесу до загального часу циклу.

Скорочення часу робочого процесу, підвищення ефективності АЛ досягається комплексним впровадженням досконалих ТП, застосуванням високопродуктивних технологій.

Ступінь автоматизації виробництва сучасних машинобудівних підприємств поділяється на загальний та комплексний.

Загальний ступінь автоматизації виражається формулою:

$$K_{\text{заг}} = \frac{N_{\text{авт}}}{N},$$

де

$N_{\text{авт}}$ – кількість одиниць автоматизованого устаткування на ділянці, у цеху, на заводі, у галузі;

N – загальна кількість одиниць устаткування.

Комплексний ступінь автоматизації визначається за формулою:

$$K_{\text{ком}} = \frac{N_{\text{авт}} \cdot n}{N},$$

де

$N_{\text{авт}}$ – кількість машин, що входять в АЛ;

n – кількість АЛ.