

Лекція 14

Тема 6 Складання технологічного процесу виготовлення деталі типу «зубчасте колесо»

Особливості технологічного процесу виготовлення деталей типу «зубчасте колесо»

- 1) Базування заготовок зубчастих коліс при обробленні.
- 2) Технологічні завдання.
- 3) Структура технологічного процесу оброблення зубчастих коліс.
- 4) Токарна обробка заготовок циліндричних зубчастих коліс.
- 5) Оброблення посадкового (центрального) отвору

1 Базування заготовок зубчастих коліс при обробці

Завданням базування заготовок зубчастих коліс є забезпечення співвісності дільного кола колеса і посадкових поверхонь (центрального отвору колеса або шийок вала-шестерні). Від цього залежать такі параметри точності зубчастих коліс та зубчастої передачі, як коливання міжосьової відстані, бічний зазор і радіальне биття зубчастого вінця.

Базовими поверхнями заготовок зубчастих коліс на більшості операцій при механічній обробці (токарній, зубонарізній, зубовикінчувальній) є торцеві поверхні і посадковий (центральный) отвір, який може бути гладким з пазом під шпонку, шліцевим або з профільним контуром (рис. 1). Ці поверхні обробляються точно і в першу чергу.

Втомна міцність валів з профільним контуром в п'ять разів вища міцності шліцевих і шпонкових з'єднань за рахунок зниження концентрації напружень, в той час як витрати на виготовлення зменшуються в два рази.

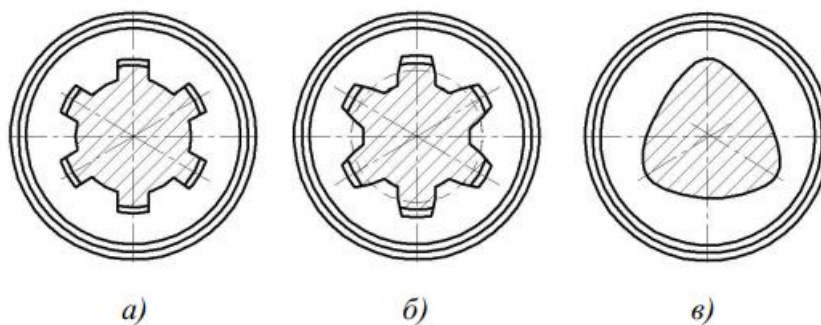


Рисунок 1 – Форми центрального отвору

а – шліцева прямобічна; б – шліцева евольвентна; в – профільна

Хвилястість і похибка форми технологічної бази може викликати похибку розміру, який необхідно досягнути при виготовленні. При обробці циліндричних поверхонь або одночасній обробці декількох поверхонь в одній наладці, похибка базування може не впливати на точність виконуваного розміру. В інших випадках похибка базування впливає на точність розміру і точність взаємного розташування поверхонь і не впливає на точність форми виконуваного розміру.

При виборі технологічних баз необхідно керуватися такими вимогами.

1 Дотримуватись принципу єдності баз – суміщати технологічну, вимірнувальну і конструкторську бази. В цьому випадку похибка базування дорівнює похибці форми технологічної бази.

2 Виконувати правило постійності баз, тобто протягом всього технологічного процесу використовувати в ролі баз одні і ті ж поверхні.

3 Необхідно враховувати похибку кута взаємного положення вимірнувальної і технологічної баз.

4 Базові поверхні слід наближати до зубчастого вінця тому, що при механічній обробці виникають пружні деформації.

5 Чорнову базову поверхню слід використовувати один раз на першій установці (для високоточних заготовок ця вимога не обов'язкова).

При обробці в центрах похибка базування дорівнює зміщенню осі центрових гнізд відносно осі заготовки.

Таким чином, похибка базування при обробці в центрах задається похибкою зацентрування. У точно оброблених оправок похибкою зацентрування, через незначну її величину, можна нехтувати. Похибкою закріплення в центрах, через незначну її величину, теж можна нехтувати.

В циліндричних зубчастих колесах-дисках в якості основних баз приймають отвір і торець. Тому опорний торець повинен бути виконаний строго перпендикулярно до базового отвору.

Значення базового отвору зростає з його довжиною і зменшується з її зменшенням, відповідно зменшується або зростає роль торця як бази. Однак, чим більша ширина колеса, чим більша довжина отвору, тим менший вплив торця при базуванні і відповідно більшим може бути допуск на величину його биття відносно осі отвору, і навпаки.

При обробленні зубів циліндричних зубчастих коліс в якості технологічних баз слід використовувати конструкторські бази. Технологічними і конструкторськими базами насадних зубчастих коліс є отвір і торець (рис. 2).

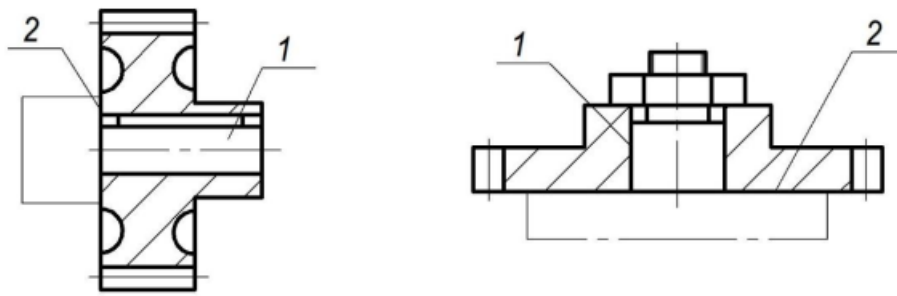


Рисунок 2 – Схема основних конструкторських (а) і технологічних (б) баз зубчастих коліс: 1 – базовий отвір колеса; 2 – базовий торець колеса

Залежно від форми заготовки застосовують такі види базування (рис. 3).

Колеса-вали з модулем до 4-5 мм при зубообробці базують по центрових отворах, з модулем більшим 4-5мм – по шийці валу і центральному отвору.

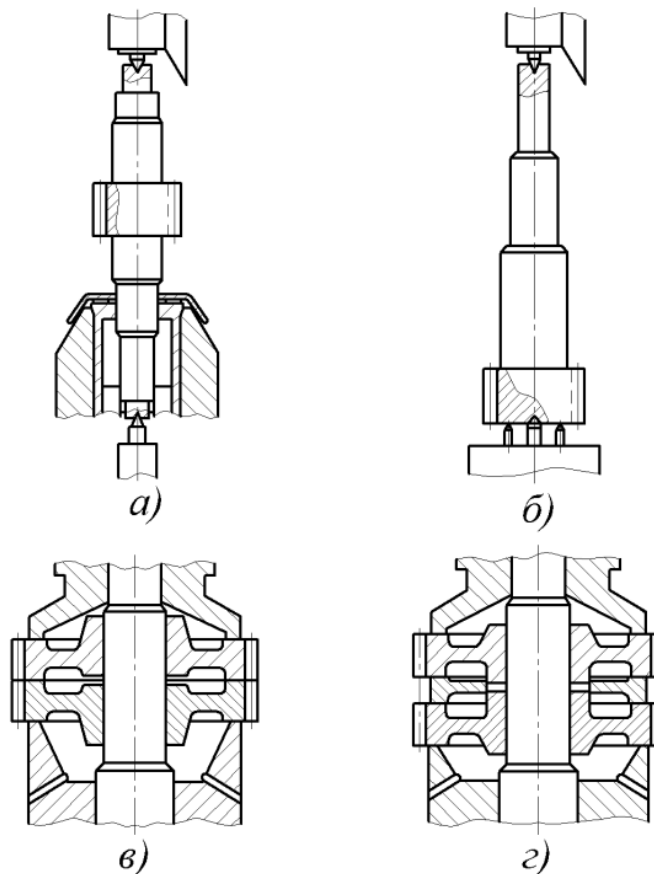


Рисунок 3 – Види базування заготовок зубчастих коліс

Крутний момент, передається заготовці колеса, що обробляється, через шийку валу (рис. 3, а), або за допомогою гострих пальців, які вминаються в торець заготовки (рис. 3, б).

В зубчастих колесах-дисках як базові поверхні застосовують отвір і торці зубчастого вінця (рис. 3, в, г). Зубчасті колеса класу «втулка» мають центральний отвір, концентричний до зовнішньої циліндричної, конічної або глобоїдної поверхні. В одних випадках центральний отвір є конструкторською базою колеса, в інших – технологічною.

В зубчастих колесах класу «вал» базою в більшості випадків є центрові отвори. Обробка таких деталей починається з фрезерування торців і свердління центрових отворів.

При малій жорсткості деталі або при її великій довжині за базу для зубонарізування приймають конструкторську базу у вигляді циліндричної шийки під підшипники, або спеціально створену для базування шийку.

Зубчасті колеса слід встановлювати на оправці без зазору, щоб виключити похибку базування. Похибка пристосування виникає в результаті неточності його виготовлення та встановлення на верстаті, дій сил затиску і різання.

Зубчасті колеса з маточиною і шліцевим отвором можуть базуватися (на операціях зубообробки) по маточині і торцю.

При базуванні по чисто обробленому зубчастому вінцю або отвору вплив радіального биття зубчастого колеса значно знижується. Робочі поверхні зубів є хорошою базою для обробки зубчастих коліс, але в базуванні повинно брати участь якомога більше западин між зубами.

При встановленні заготовки в пристосуванні необхідно забезпечувати мінімальний та рівномірний зазор між базовими поверхнями зубчастого колеса і пристосування, але не за рахунок жорстких допусків на отвір, а за рахунок беззазорного встановлення заготовок у пристосуванні.

Часто при обробці зубчастих коліс потрібна багатократна зміна баз.

Для коліс, в яких довжина базового отвору більша від діаметра, отвір є подвійною напрямною базою, а торець – опорною. Базовий отвір вінцевих зубчастих коліс завжди є подвійною опорною базою, а торець – установочною.

Для валу-шестерні подвійна напрямна і опорна бази реалізовані у вигляді центрових отворів.

Похибка базування може виникнути при неспівпаданні осі отвору і вінця колеса. Ексцентриситет і перекіс осі базового отвору відносно осі обертання колеса на верстаті через зазори в оправці або биття торця і оправки також можуть призвести до невизначеності базування.

Для забезпечення заданої точності готових зубчастих коліс у заготовках нормуються такі параметри:

- а) в насадних зубчастих коліс – розміри і форма отвору (у валів-шестерень – опорні шийки валу);
- б) зовнішній діаметр заготовки;
- в) радіальне биття зовнішньої поверхні заготовок;
- г) торцеве биття базового торця заготовки.

2 Технологічні завдання

До основних технологічних завдань, які необхідно вирішити в процесі виготовлення зубчастих коліс, можна віднести такі: забезпечення точності розмірів, точності взаємного розташування та твердості робочих поверхонь.

Точність розмірів. Найточнішим елементом зубчастого колеса є отвір, який виконується зазвичай за 6-8-м квалітетом (якщо немає особливих вимог) та шорсткістю поверхні $Ra\ 1,25-0,32\ \mu\text{м}$.

Точність взаємного розташування. Неспіввісність початкового кола зубчастого колеса відносно посадкових поверхонь допускається не більше 0,05-0,1 мм. Отримання паза шпонки, паралельного осі отвору. Досягнення концентричності отвору і ділильного кола; концентричності отвору і кола виступів (радіальне биття по ділильному колу 0,03-0,04 мм). Неперпендикулярність торців до осі отвору або валу (биття торців) зазвичай приймається не більше 0,01-0,015 мм на 100 мм діаметра. Залежно від умов роботи колеса ця величина може бути збільшена або дещо зменшена.

Забезпечення норм точності поверхонь зубів (7-9-го ступеня точності за кінематикою, плавністю роботи і контактом зубів; забезпечення гарантованого бічного зазору).

Твердість робочих поверхонь. В результаті термічної обробки поверхнева твердість зубів цементованих зубчастих коліс повинна бути в межах 45-60 HRC при глибині шару цементації 1-2 мм. При ціануванні твердість 42-53 HRC, глибина шару повинна бути в межах 0,5-0,8 мм. Твердість не загартовуваних поверхонь зазвичай знаходиться в межах 180- 270 HB.

3 Структура технологічного процесу обробки зубчастих коліс

Технологічний процес виготовлення зубчастих коліс повинен забезпечувати одержання деталей, що відповідають умовам експлуатації і вимогам точності при найменших витратах.

Основними факторами, що впливають на структуру технологічного процесу є: конструкція і розміри зубчастого колеса; вид заготовки і її матеріал; вимоги до точності і якості виготовлення, термічна обробка колеса; обсяг виробництва.

Типовий технологічний процес виготовлення зубчастих коліс-втулок включає виготовлення заготовок, токарну обробку зовнішніх поверхонь і торців; обробку центрального отвору, зубонарізання, термічну обробку, викінчувальні та доводочні операції базових і зубчастих поверхонь.

Особливістю технологічного процесу виготовлення зубчатих коліс-валів є наявність в технологічному процесі операцій з обробки зубів, а в іншому він такий самий, як і при виготовленні ступінчастих валів.

Кожен вид зубчастих коліс має свої технологічні особливості виготовлення. Разом з тим різні зубчасті колеса, що належать до того чи іншого класу, можуть мати технологічні процеси, які відрізняються за змістом і послідовністю виконання операцій в залежності від спеціалізації виробництва.

Так, наприклад, методи виготовлення зубчастих коліс в авіаційній промисловості істотно відрізняються від методів, що застосовуються при виробництві зубчастих коліс аналогічних розмірів для вантажопідійомних машин. Технологія виробництва турбінних передач істотно відрізняється від технології виробництва таких самих за розмірами передач для прокатних станів тощо. Таким чином, умови роботи і вимоги конструкції даного механізму істотно впливають на технологічний процес виготовлення зубчастого колеса.

В автомобільній промисловості, тракторобудуванні і верстатобудуванні шліфування зубів проводять тільки для деяких зубчастих пар. Зате знаходять широке застосування такі процеси, як шевінгування і притирання.

Зубчасті колеса загального машинобудування і підйомно-транспортних машин мають іншу специфіку виробництва. Тут переважають колеса, виготовлені з покращених сталей, без наступної термообробки готової деталі. Технологічний процес при цьому спрощується, однак вимоги до точності зубообробних верстатів і інструменту не знижуються.

В цілому технологічний процес виготовлення зубчастих коліс можна розділити на два етапи:

- перший етап складається з комплексу операцій, пов'язаних з утворенням геометричної форми заготовок зубчастого колеса до нарізання зубів;
- другий етап включає власне зубонарізання і всі наступні процеси, які так чи інакше пов'язані з обробкою зубів.

На вибір схеми першого етапу технологічного процесу виготовлення зубчастого колеса впливає конструкція зубчастого колеса. Так, істотно відрізняються схеми технологічних процесів виготовлення зубчастих коліс, що належать до класів «втулка» і «вал». Це розходження поширюється як на перший, так і на другий етапи технологічного процесу і буде існувати незалежно від інших конструктивних особливостей зубчастого колеса, а також типів і видів виробництва.

При виготовленні зубчастих коліс на першому етапі до технологічного процесу висуваються певні вимоги, від яких залежить якість готових зубчастих коліс. До основних вимог належать:

- забезпечення концентричності циліндричної посадкової поверхні і зовнішніх поверхонь;

- забезпечення перпендикулярності посадкової поверхні і, принаймні, одного базового торця, а в зубчастих колесах, що нарізуються пакетом – двох базових торців; при цьому повинна бути забезпечена перпендикулярність посадкової поверхні і конструктивного опорного торця.

Основна специфіка виготовлення зубчастих коліс виявляється на другому етапі; у свою чергу, побудова другого етапу процесу впливає на структуру і зміст першого.

Циліндричні зубчасті колеса мають досить складну конструкцію, тому повна схема технологічного процесу обробки повинна розроблятися на підставі ретельного аналізу технічних вимог креслення і можливостей виробництва.

На особливому місці серед зубчастих коліс класу «втулка» знаходяться зубчасті вінці внутрішнього зачеплення великих розмірів, що базуються при роботі по зовнішньому діаметру деталі. Деталі такого типу мають трохи іншу схему технологічного процесу. Ця відмінність полягає в тому, що базову циліндричну поверхню, поверхню виступів зубів і торець обробляють зазвичай за один установочний базис, а базою при нарізанні зубів буде вже зовнішня поверхня, якою деталь встановлюється в пристосування або по якій вивіряється встановлення деталі на планшайбі зуборізного верстата.

Технологічні маршрути обробки циліндричних зубчастих коліс будують на основі таких принципів.

На перших операціях зазвичай призначають обробку поверхонь, які при подальшій обробці будуть використані як технологічні бази. Це такі операції:

- для зубчастих коліс I і II типів – обробка отвору (подвійна напрямна технологічна база) і базового торця (опорна технологічна база);
- для зубчастих коліс III і IV типів – обробка базового торця (установочна технологічна база) і отвору (технологічна база);
- для зубчастих коліс-валів (V тип) – обробка торцевих поверхонь і свердління центрових отворів.

Для зубчастих коліс 7-8-го ступеня точності нормалізацію і відпуск в більшості випадків можна проводити на самому початку технологічного процесу, до чорнової токарної обробки. Для коліс 5-6-го ступеня точності передбачають нормалізацію і стабілізуючий відпуск після чорнової токарної обробки, другий стабілізуючий відпуск – після цементації і гартування, а у ряді випадків навіть третій стабілізуючий відпуск – перед викінчувальними операціями шліфування.

Токарну обробку зовнішніх поверхонь коліс з достатньою глибиною отвору виконують з базуванням по поверхні отвору (наприклад на гладких, шліцевих, цангових та інших оправках), плоских коліс – з базуванням по торцевій поверхні (наприклад в кулачкові патрони), коліс-валів – в центрах (повідкові патрони, рифлені центри, плаваючі центри тощо).

Для зубчастих коліс необхідно забезпечити високу точність взаємного розташування центруючих поверхонь посадкового отвору, базового торця і зубів.

Для цього в технологічних процесах до термічної обробки послідовно виконують ряд операцій: базуючись по центруючих поверхнях отвору, обробляють зовнішній діаметр під вінець і базовий торець; базуючись по зовнішньому діаметру вінця і базовому торцю, обробляють отвір по меншому діаметру шліців (центруюча поверхня); базуючись по меншому діаметру шліців і базовому торцю, виконують зубонарізування.

Після термічної обробки: базуючись по зовнішньому діаметру вінця і базовому торцю, обробляють отвір по центруючих поверхнях; базуючись по ділильному колу колеса, обробляють отвір по центруючій поверхні остаточно.

Для коліс 6-го ступеня точності виконують попереднє і чистове шліфування зубів.

Для коліс нижче 7-го ступеня точності не передбачають шліфування зубів після термообробки, а обмежуються зубошевінгуванням до термообробки.

При обробці коліс точніше за 6-го ступеня точності для проведення чистових і викінчувальних операцій необхідно використовувати устаткування високого або особливо високого класу точності.

Деякі конічні зубчасті колеса за формою близькі до циліндричних, тому до оброблення зубів технологічний маршрут їх оброблення майже аналогічний. Як технологічні бази використовують посадковий отвір і торець або центрові отвори (вал-шестерня), опорні шийки і торець. Як першу чорнову базу використовують конічну поверхню зубчастого вінця.

Нарізання зубів конічних коліс виконують в дві стадії – чорнову і чистову.

Для чорнового фрезерування прямих зубів використовують спеціальні зубофрезерні напівавтомати, для чистового оброблення – зубопротяжні верстати з круговою подачею і зубостругальні верстати, для фрезерування спіральних зубів – спеціальні зубофрезерні напівавтомати.

4 Токарна обробка заготовок циліндричних зубчастих коліс

В дрібносерійному виробництві зубчасті колеса до нарізування зубів обробляють на універсальних токарно-гвинторізних і токарно-револьверних верстатах. Схема технологічної наладки для обробки зубчастого колеса на токарно-револьверному верстаті зображена на рис. 4.

При обробці деталей затискають в трикулачковому патроні. В позиції 1 револьверної головки двома різцями обточують зовнішню поверхню заготовки.

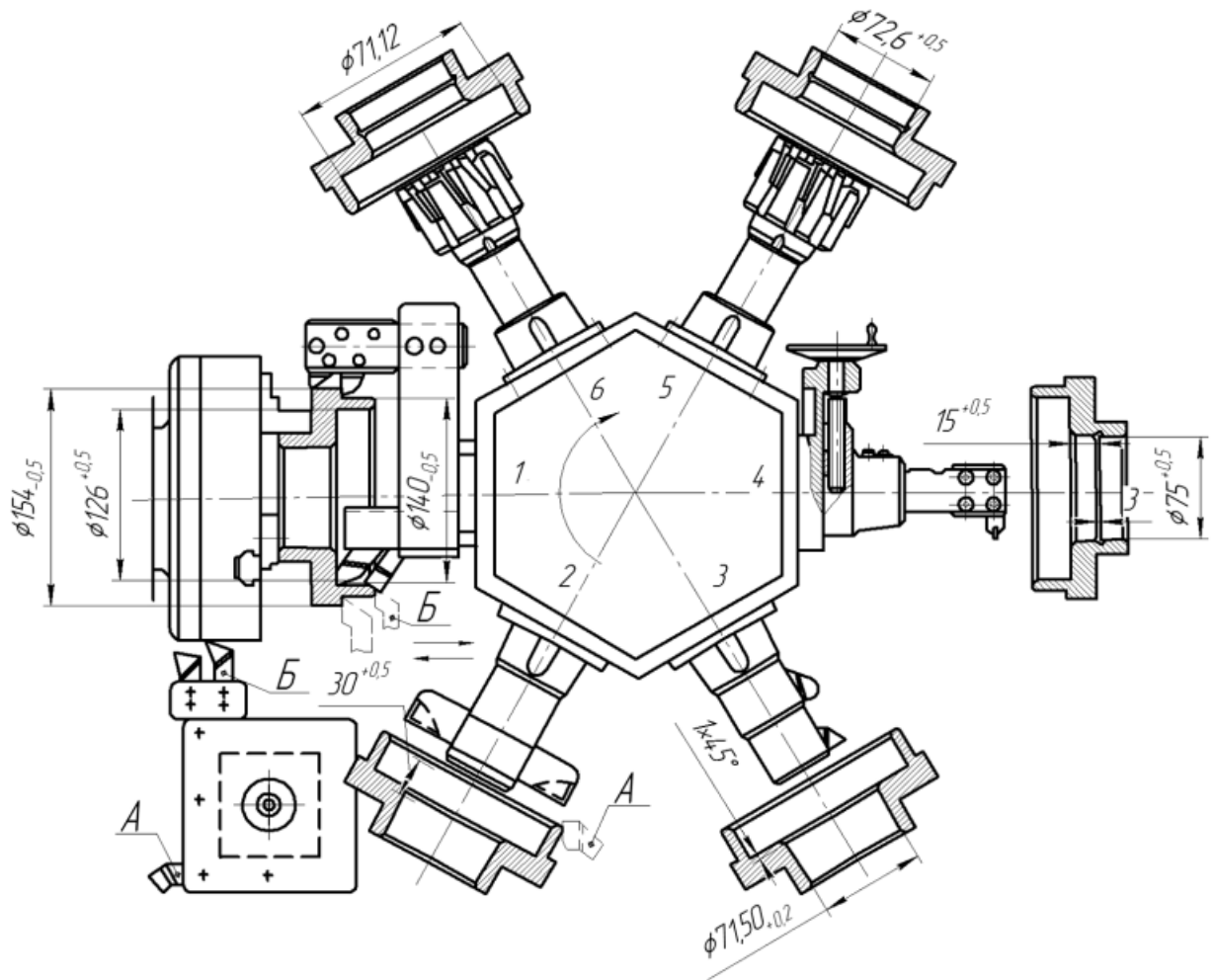


Рисунок 4 – Технологічна наладка оброблення зубчастого колеса на токарноревольверному верстаті

Одночасно одним різцем розточують внутрішню поверхню, іншим різцем знімають внутрішню фаску. Після відведення револьверного супорта двома різцями Б з поперечного супорта підрізують торці.

В позиції 2 револьверної головки широкими пластинами підрізують внутрішню торцеву поверхню. Різцем А поперечного супорта знімають фаску на зовнішній поверхні. В позиції 3 револьверної головки розточують центральний отвір. В позиції 4 за допомогою спеціального пристосування прорізають внутрішню канавку. В позиціях 5 і 6 револьверної головки центральний отвір розвертають чорною і чистовою розвертками.

В крупносерійному виробництві зубчасті колеса обробляють на токарних і токарно-револьверних верстатах з ЧПК мод. 16K20Ф3, 16K20Т1, 1В340Ф3 та ін.

Для підвищення продуктивності застосовуються двошпиндельні токарні верстати з ЧПК, у яких замість задньої бабки встановлена шпиндельна бабка з приводом (рис. 5). Це дає можливість одночасно обробляти зубчасті колеса з двох сторін.

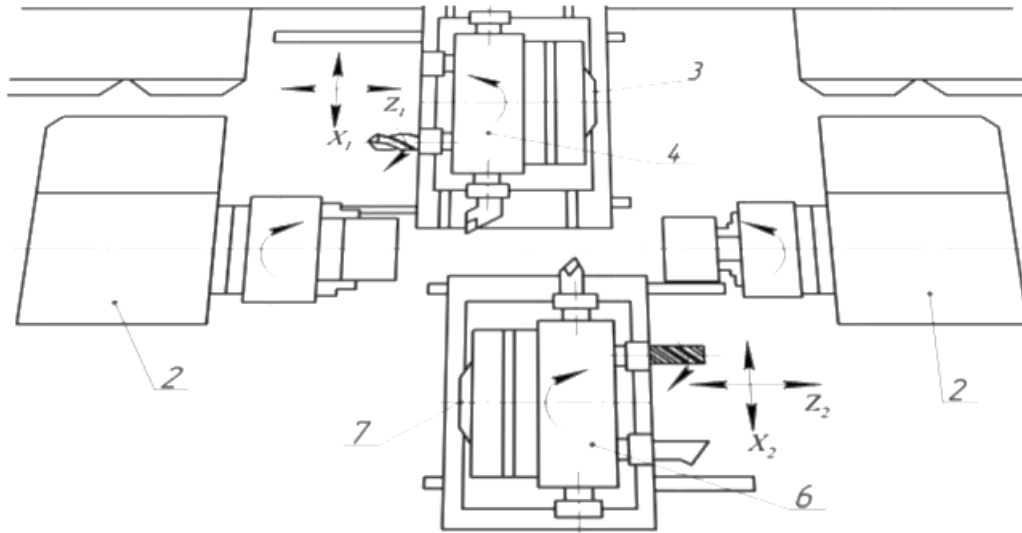


Рисунок 5 – Схема оброблення на 2-шпиндельному токарному верстаті з ЧПК

Ще більша продуктивність обробки досягається при застосуванні токарних багаторізцевих напівавтоматів моделей 1A720, 1A730 тощо. Схема налагодження для обробки блоку зубчастих коліс на одношпиндельному багаторізцевому напівавтоматі зображено на рис. 6. В даному випадку обробка циліндричних поверхонь проводиться з переднього поздовжнього супорта, а обробка торців, канавок і більшості фасок – з заднього поперечного супорта.

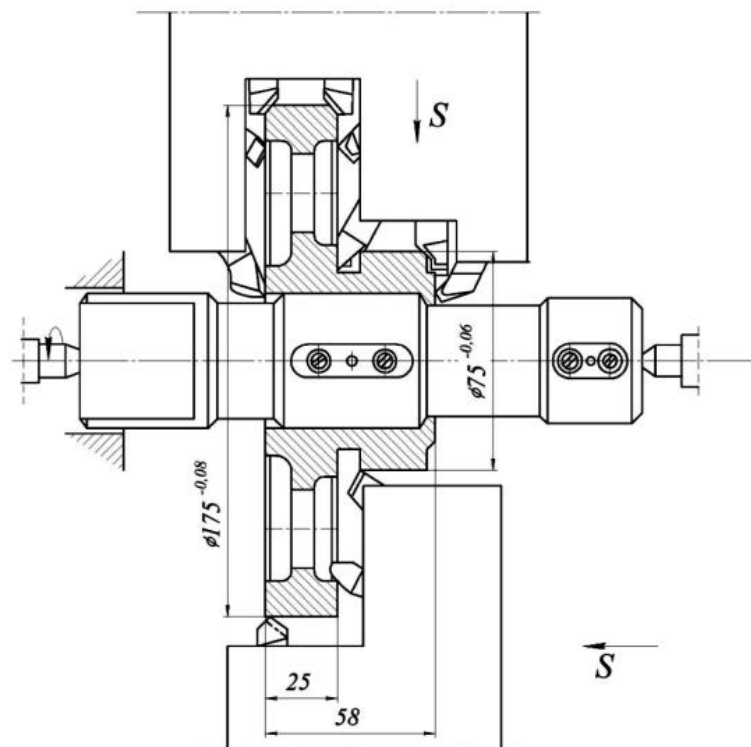


Рисунок 5 – Схема налагодження для оброблення блоку зубчастих коліс на одношпиндельному багато різцевому токарному напівавтоматі

У масовому виробництві застосовують багатошпindelні токарні напівавтомати моделей 1K282, 1283, 1B284, 1A286-6 тощо. Найбільший діаметр заготовки, яка обробляється на верстаті моделі становить 630 мм.

Схема налагодження восьмишпindelного напівавтомата для обробки зубчастого колеса показана на рис. 6. Верстат має поворотний стіл, в центрі якого розташована восьмигранна колона. На гранях колони встановлені супорти трьох типів: поздовжнього, поперечного і подовжньо-поперечного точіння.

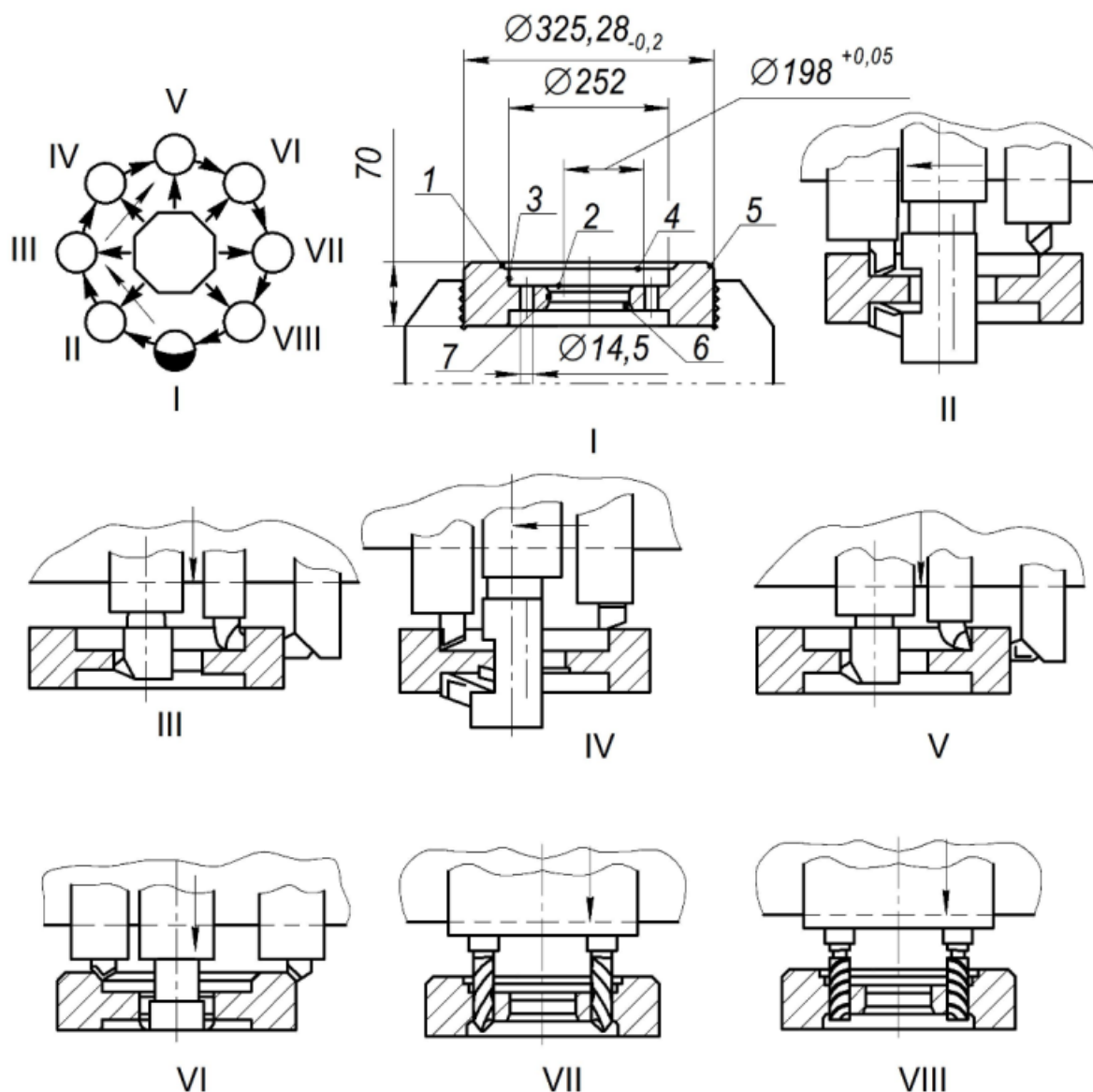


Рисунок 6 – Налагодження восьмишпindelного напівавтомата для оброблення зубчастих коліс

Останній супорт має полозки для поздовжнього і поперечного переміщення різців. Навпроти кожної грані колони розміщені шпindelі з патронами для закріплення заготовок.

Обробка на верстаті ведеться за такою схемою. На позиції I проводиться встановлення заготовки та знімається готова деталь. На позиціях II – IV заготовка обробляється з одного боку. На позиції V заготовка перевстановлюється і оброблюється з іншого боку. Для точної обробки отвору на позиції VI застосовують плаваючу розвертку. На позиціях VII і VIII для свердління та зенкування восьми отворів використовують спеціальні багатошпindelні головки.

Токарна обробка великих циліндричних коліс діаметром понад 500 мм для важкого машинобудування виконують на токарно-карусельних верстатах.

Колеса 8-го ступеня точності і менш точні оброблюються на токарно-карусельних верстатах остаточно. Колеса 7-го ступеня точності і точніші оброблюються на токарно-карусельних верстатах з припуском для остаточної обробки після складання з валом.

За своїм компонованням токарно-карусельні верстати поділяють на одностійкові (моделі 1508, 1510, 1512 та ін.) і двостійкові (моделі 1520, 1525, 1540 та ін.) Широко застосовується токарно-карусельні верстати з ЧПК моделей 1512Ф3, 1516Ф3, 1525Ф3 і ін. На токарно-карусельних верстатах при чистовому обробленні досягається точність за 7-8 квалітетами і шорсткість поверхні 3,2-6,3 мкм.

5 Оброблення посадкового (центрального) отвору

Центральний отвір є технологічною базою при обробці зубчастого колеса. Для передачі крутного моменту посадковий отвір має шпонковий паз або шліцьову поверхню. Точність отвору і перпендикулярність його осі торцю маточини у незагартованих коліс забезпечується чистовим точінням, розвертанням, шліфуванням або протяганням. Отвір після свердління або зенкування протягають круглими протяжками. Точність отвору після протягування відповідає 7-9 квалітету, шорсткість – 0,3-2,5 мкм. Продуктивність при протягуванні значно вища, ніж при шліфуванні. Схема протягування гладкого отвору зубчастого колеса на сферичній опорі показана на рис. 7.

У коліс, що піддаються загартуванню, отвір шліфують на внутрішньо-шліфувальних верстатах (рис. 8), а торець маточини – на плоскошліфувальних верстатах. Для підвищення точності шліфування отвору і торця рекомендується проводити обробку з одного установа. При цьому колесо закріплюють у спеціальному патроні (рис. 9). Базування колеса здійснюють роликами по бічній поверхні зубів, що забезпечує співвісність центрального отвору і дільного кола. Отвори оброблюють шліфувальним кругом 1, а шліфування торця – кругом 2, який встановлений на шпинделі додаткової шліфувальної бабки.

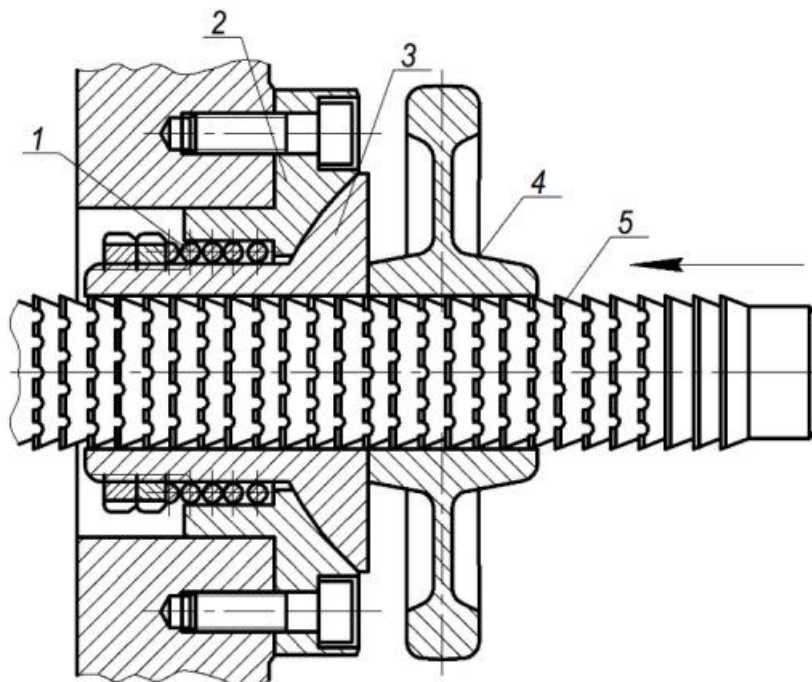


Рисунок 7 – Схема протягування отвору круглою протяжкою з встановленням зубчастого колеса на сферичній опорі

1 – пружина; 2 – опорна шайба; 3 – сферична опора; 4 – заготовка; 5 – протяжка

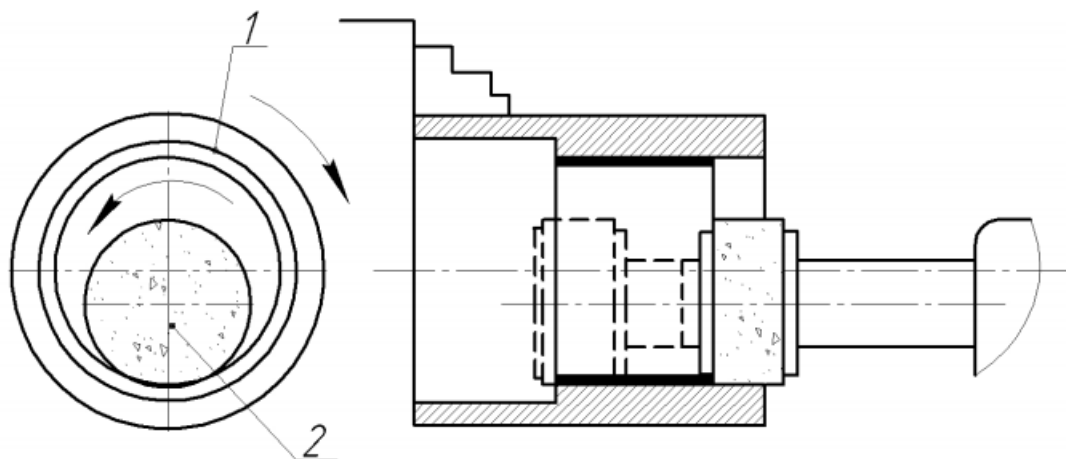


Рисунок 8 – Схема обробки отвору на внутрішньо-шліфувальному верстаті

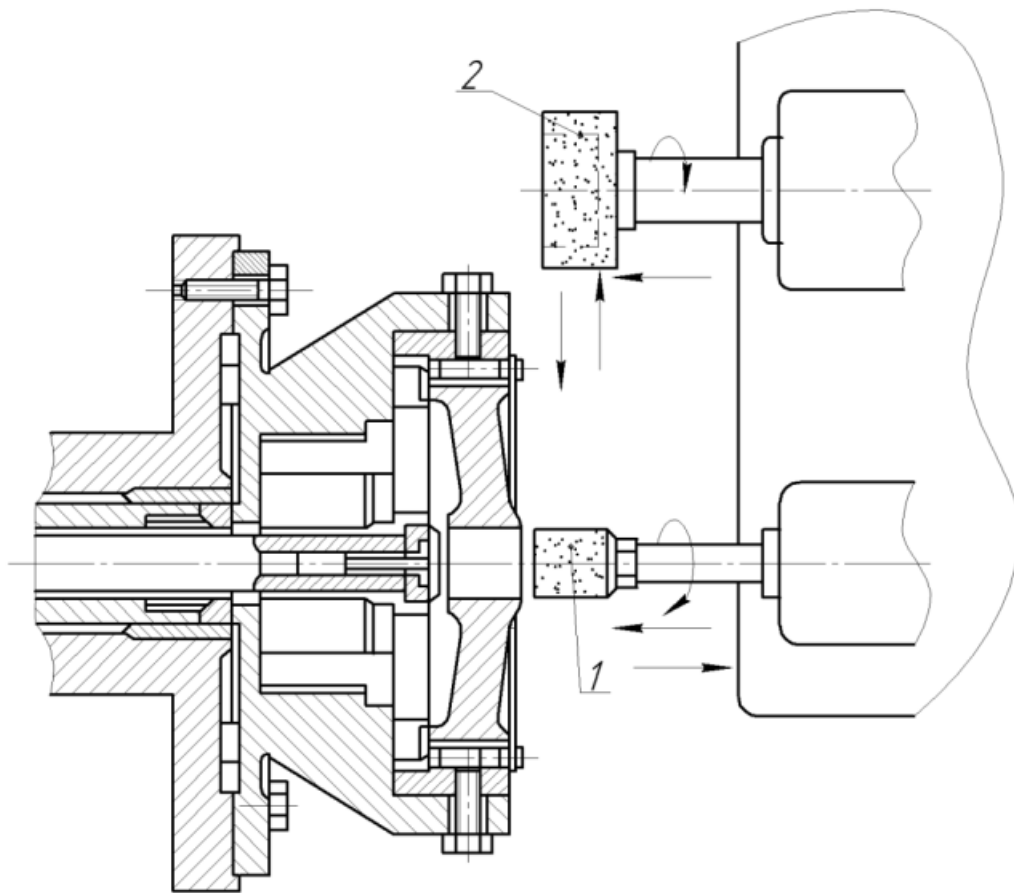


Рисунок 9 – Схема шліфування отвору і торця зубчастого колеса за одним установ

Шпонкові канавки і шліци в отворах зубчастих коліс прорізають до гартування. В одиничному і дрібносерійному виробництві шпонкові канавки оброблюють на довбальних верстатах, в крупносерійному і масовому виробництвах їх канавки отримують протягуванням. На рис. 10 зображено протягування шпонкової канавки в заготовці зубчастого колеса на горизонтально-протяжливому верстаті. Заготовка 1 насаджується на направляючий палець 4, всередині якого є паз, для направлення протяжки 2. Коли канавка протягується за 2 робочих ходи однією і тією ж протяжкою, то під протяжку поміщають підкладку 3.

Шліцьові отвори в зубчастих колесах обробляють протягуванням. Якщо зубчасте колесо після протягування піддається гартуванню, то центрування шліцьового з'єднання здійснюється переважно по внутрішньому діаметру валу. У цьому випадку після гартування отвір шліфують на круглошліфувальному верстаті, а у валу шліфують впадини шліців. Якщо все ж в загартованому зубчастому колесі потрібно здійснити центрування шліцьового з'єднання по зовнішньому діаметру валу, то шліци в отворі піддають хонінгування по впадинах. З цією метою створено спеціальний верстат моделі 3А856Ф1.

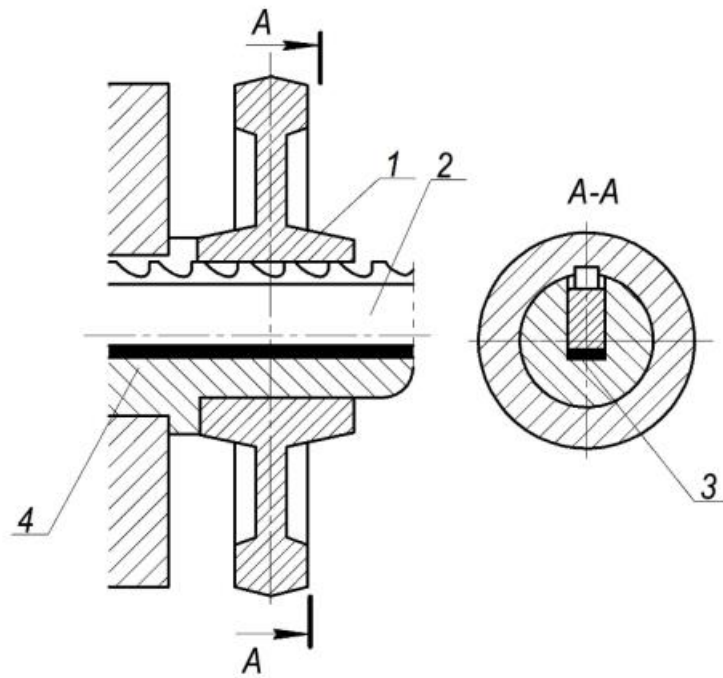


Рисунок 10 – Схема протягування шпонкового паза в отворі зубчастого колеса