

ЛЕКЦІЯ 3-4 ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ДОРНУВАННЯМ

1. ПРОЦЕСИ ДОРНУВАННЯ

Дорнування є ефективним способом зміцнюючої обробки отворів, який широко застосовується у промисловості. Розширенню областей його використання сприяє висока надійність одержання заданих параметрів оброблюваних отворів, простота експлуатації й гарні експлуатаційні властивості оброблених цим способом поверхонь. Крім того, освоєння промисловістю технології виготовлення дорнів, що збирають із твердосплавних кілець, різко підвищило їхню стійкість і припустимі межі виконуваної ними пластичної деформації оброблюваних поверхонь.

Дорнування застосовується для обробки великих партій деталей. Найбільше часто ця операція виконується для одержання низької шорсткості поверхні. При вихідній шорсткості в межах $Rz = 40 \dots 6,3$ мкм дорнуванням можна знизити шорсткість до $Rz = 3,2 \dots 0,8$, а в окремих випадках до $Rz = 0,8 \dots 0,2$ мкм. Точність після дорнування зростає до 6-9 квалітету. Дорнуванню піддаються отвори в діапазоні діаметрів від 3 до 120 мм. Слід зазначити ефективність дорнування отворів малого діаметру, зменшення шорсткості поверхні яких іншими способами представляє велику складність. Дорнуванням обробляються отвори у звичайних і важкооброблюваних сталях і сплавах, у чавунах і кольорових сплавах.

При дорнуванні підвищується міцність пресових посадок і довговічність деталей, які мають концентратори напруг у вигляді поперечних отворів. Дорнування дозволяє в ряді випадків виключати з технологічного процесу розгортання, хонінгування й термічні операції.

Основним робочим елементом дорну є зуб. За характером роботи зубів (в умовах ковзання або в умовах кочення) дорни підрозділяють на дорни кочення (рис. 1. а) і дорни ковзання (рис. 1. б). Дорни можуть бути однозубі й багатозубі, цільні й набрані з окремих зубів. Іноді використовують цільні блоки по кілька зубів.

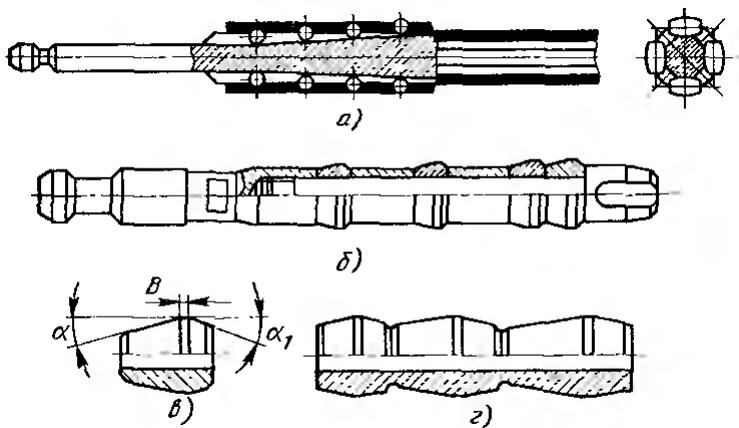


Рис.1. Види дорнів: а – дорн кочення; б – дорн ковзання;
в – форма зуба; г – блок зубів

Найбільш доцільною формою зуба є зуб із забірною й зворотною поверхнями у вигляді конусів і циліндричною поверхнею між ними (стрічечкою). Для різних умов обробки (оброблюваний матеріал, діаметр отвору, натяг тощо). Оптимальний кут конуса забірної поверхні $\alpha = 3...5^\circ$. При дорнуванні середньо- і високовуглецевих сталей $\alpha = 4...5^\circ$, високовуглецевих і легованих сталей – $\alpha = 3^\circ 30'...4^\circ$, чавунів – $\alpha = 2...4^\circ$. Кут конуса зворотної поверхні зуба при дорнуванні сталей і чавунів варто приймати $4-5^\circ$. Ширина стрічки B обчислюється по емпіричній формулі $B = 0,3d$, де d – діаметр дорна. Звичайно $B = 1...3$ мм. При обробці в'язких матеріалів варто застосовувати більші кути α й меншу ширину стрічки.

Багатозубий дорн складається з передньої напрямної частини і робочої частини (рис. 2). Робоча частина багатозубого дорна складається з деформуючих, калібруючих та кінцевих зубів. Деформуючі зуби виконують основну роботу деформування металу, виглажуючи оброблювану поверхню й забезпечуючи необхідний розмір отвору. Для кращого центрування дорна в отворі ширину першого зуба виконують рівною діаметру попередньо підготовленого отвору під дорнування.

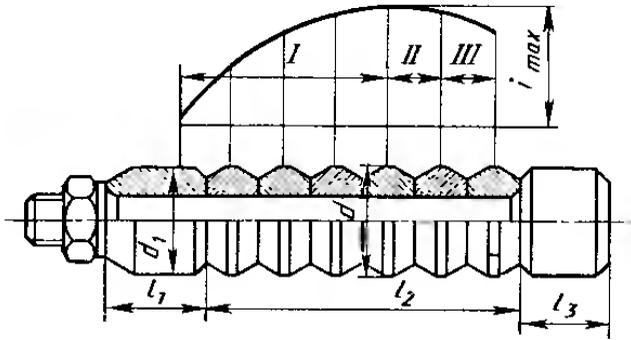


Рис.2.Розподіл натягу між зубами дорна

Зуби, що калібрують, є запасом на повторне шліфування дорна. Їхній діаметр дорівнює діаметру деформуючого зуба з максимальним натягом. Кінцеві зуби забезпечують плавність виходу дорна з отвору. Розміри їх поступово зменшуються до розміру остаточно обробленого отвору.

Для обробки шлицьових і інших фасонних поверхонь використовують однозубі й багатозубі дорни відповідного профілю (рис. 3), які мають наступні геометричні параметри: α , α_a – кути конуса забірної поверхні відповідно по зовнішньої утворюючої й по бічній поверхні зуба; α_1 , α_{1a} – кути конуса зворотної поверхні відповідно по зовнішньої утворюючої й по бічній поверхні зуба; b – ширина циліндричної стрічечки; b_1 – ширина зуба (шліца).

Профільні отвори найчастіше обробляють багатозубими дорнами, у яких у напрямку від першого до останнього зуба змінюються діаметр зуба по циліндричній стрічечці шириною b і ширина шліца b_1 .

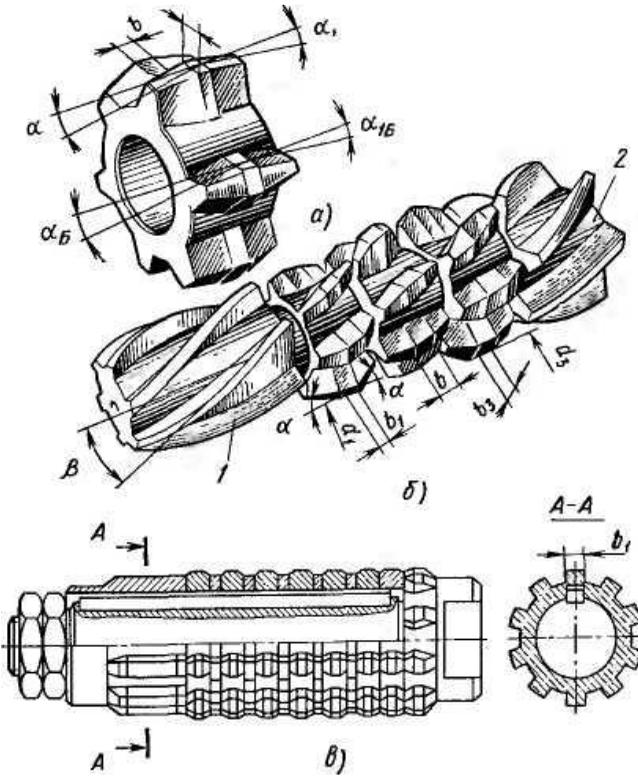


Рис. 3. Дорни для обробки шліцевих валів: а – однозубий дорн; б – багатозубий гвинтовий дорн; в – багатозубий прямий дорн;

Інші геометричні параметри всіх зубів багатозубого дорна звичайно залишаються постійними. Для кращого центрування й більшої точності обробки отворів деталей однозубі й багатозубі дорни найчастіше мають передню і задню напрямні.

Процес дорнування може бути виконаний за різними схемами (рис. 4).

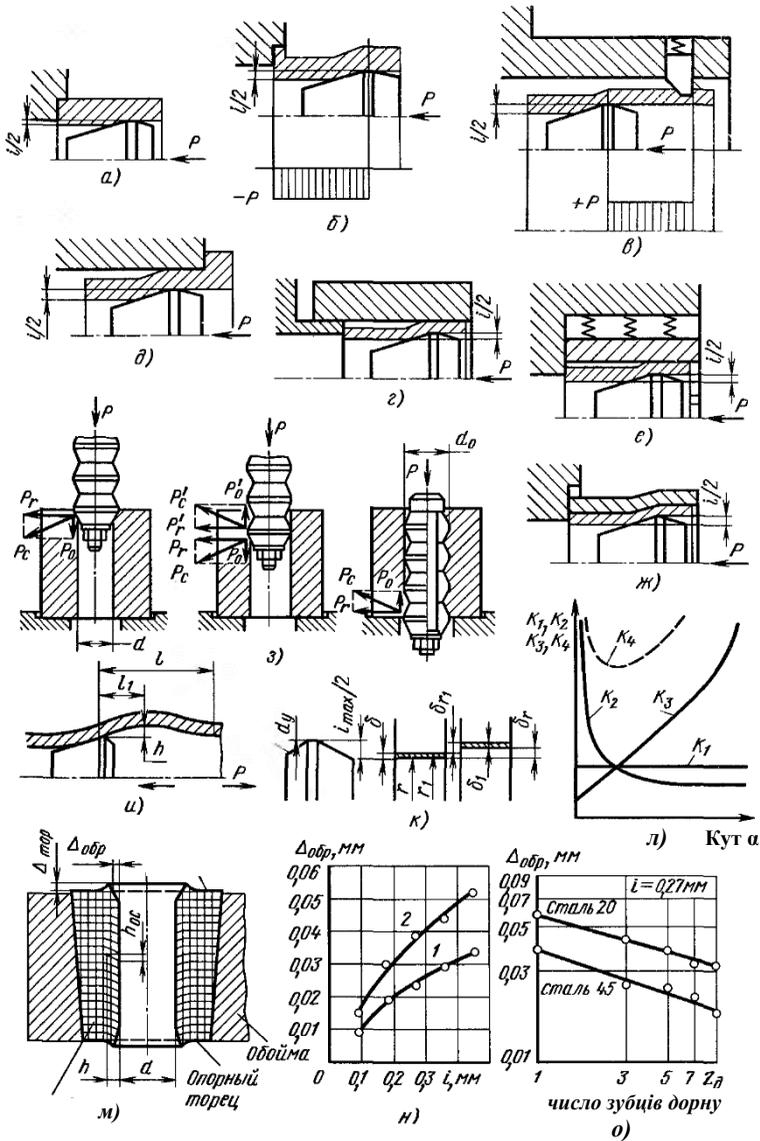


Рис. 4. Схема процесу (а-к, м) і характер діючих сил і деформацій при дорнуванні (н-о)

Дорнування підрозділяють на поверхнєве й об'ємне. При поверхневому дорнуванні пластично деформується поверхневий шар, при об'ємному – пластичне деформування відбувається по всьому поперечному перерізу оброблюваної деталі. Пружне деформування в обох випадках може поширюватися на весь обсяг

За характером розташування оброблюваної деталі розрізняють вільне дорнування, тобто дорнування без обмеження деформації по зовнішній поверхні деталі (рис. 4, а, б) і дорнування в обіймах (*г-ж*). Залежно від закріплення деталі дорнування може бути за схемою стиску (рис. 4, б) або за схемою розтягу (рис. 4, в).

За призначенням поверхнєве дорнування може бути згладжуючим та зміцнюючим. Різновидом дорнування є гідродорнування, при якому відбувається постійне й стійке витікання рідких мастильних речовин між робочими поверхнями зубів дорна й оброблюваного отвору.

Поверхнєве дорнування характеризується наступними параметрами: натягом, силою дорнування, швидкістю дорнування V і геометричними характеристиками дорна.

При дорнуванні прикладається сила, за схемою стиску або розтягу.

Найбільш ефективним і довговічним є дорн, що складається з п'яти твердосплавних кілець, зібраних на сталевому загартованому стрижні й закріплених гайкою. За допомогою різьової частини стрижня дорн з'єднується із хвостовиком трубчастою тягою, через яку в радіальні пази подається МОТС. У дорна деформуюче кільце симетричної форми. Його забірня частина виконана у вигляді зрізаного конуса, що дозволяє легко деформувати метал і плавно входити в отвір. Циліндрична частина кільця, довжина якої дорівнює 1,5-2 мм, призначена для підвищення зносостійкості дорна й поліпшення якості обробки. Затилована частина деформуючого кільця у вигляді конуса необхідна для зменшення сили тертя й, тим самим, для зменшення тягового зусилля й шорсткості. Шорсткість при натягах 0,25-0,4 мм становить $Ra = 0,63...0,16$ мкм. При менших натягах вона трохи вище.

Зі збільшенням величини відносного натягу зростає зусилля дорнування P (рис. 5.а), збільшується глибина деформованого шару й зменшується шорсткість обробленої поверхні (рис. 5. б).

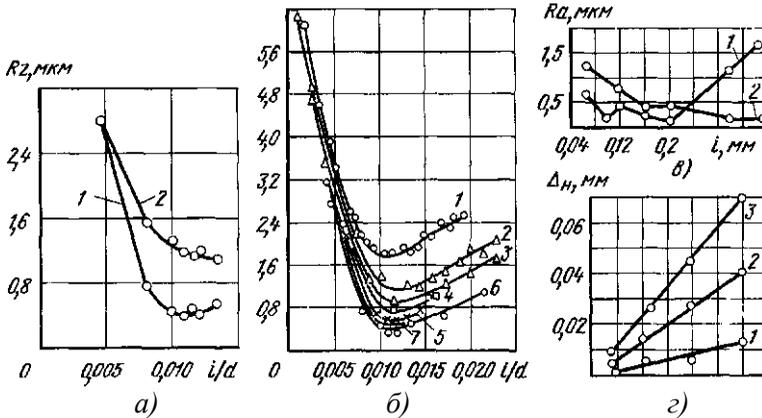


Рис. 5. Вплив відносного натягу на характеристики оброблюваних поверхонь

а, б, в – на шорсткість оброблених поверхонь; 1– багатозубий дорн; 2 – однозубий дорн; 3 – на збільшення зовнішнього діаметра деталі

При збільшенні натягу більше 0,35 мм шорсткість зростає, що пояснюється деформуванням металу не тільки в радіальному напрямку, але й у напрямку руху інструмента, що під впливом сил тертя утворює на обробленій поверхні дефекти та нерівності.

Твердосплавними деформуючими кільцями дорна можна обробляти отвори діаметром від 10 до 45 мм. При дорнуванні високопластичних сталей можна досягти пластичної деформації до 10 % від діаметра оброблюваного отвору. Сталеві кільця піддаються двом видам зношування, що спостерігається по перехідній зоні між конусом і стрічкою: механічному стиранню.

Найкращі результати дорнування досягаються при вихідній шорсткості $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм і нижче. Дорнування отворів у товстостінних циліндрах великої довжини зі сталей 38Х2МЮА та 45 забезпечує необхідну точність і шорсткість, однак на

початку отвору вона трохи вище й становить $Ra = 0,08...0,012$, а наприкінці – $Ra = 0,012...0,022$ мкм.

Однією з основних умов, від яких залежить успішне проведення дорнування, є встановлення правильних співвідношень натягу й параметрів вихідного стану отвору. Деформація металу при дорнуванні завжди більше залишкової деформації на величину пружної деформації.

$$D_H = 0,69D_K + 9,31D_o,$$

де D_o – діаметр отвору заготовки; D_K – діаметр останнього кільця дорна; D_H – діаметр першого напрямного кільця.

Для переміщення дорна в отворі деталі необхідне значне тягове зусилля, що залежить не тільки від величини деформації металу, але й від форми деформуєчих кілець, швидкості їхнього руху, а також застосовуваного при дорнуванні змащення.

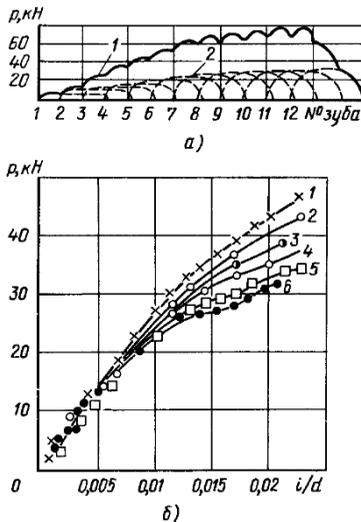


Рис. 6. Вплив відносного натягу на сили дорнування

Від величини натягу багато в чому залежить не тільки тягове зусилля, параметри обробленої поверхні, але й деформація всього тіла циліндра.

Так, при дорнуванні циліндрів з товщиною стінки 32,5 мм і при натягах 0,78; 0,46; 0,29 і 0,22 збільшення зовнішнього

діаметра відповідно становить 0,19; 0,05; 0,02 і 0,01 мм. Натяг на кожне деформуюче кільце повинен бути нерівномірний. На першому він має найбільшу величину, на наступних меншу, а наприкінці робочої частини дорна встановлюється два кінцевих кільця з діаметрами, рівними діаметру останнього кільця робочої частини. Перенесення 0,5-0,8 загального натягу на перше деформуюче кільце дозволяє робити процес дорнування за один прохід.

Дорнуванням можуть виконуватися не тільки оздоблювально-зміцнюючі, але й попередні операції обробки отворів у трубних заготовках перед подальшою їхньою обробкою. При цьому пластичні деформації охоплюють всю товщину стінки оброблюваної деталі, діаметр отвору заготовок змінюється до потрібних розмірів, поліпшуються фізико-механічні властивості й оброблюваність металу.

Якщо дорнування коротких отворів широко освітлено в літературі, то застосування дорнування для глибоких точних отворів вивчено недостатньо. Звичайно застосовуваний у машинобудуванні технологічний процес виготовлення отворів 7-9 квалітету із шорсткістю поверхні $Ra = 0,63 \dots 0,08$ мкм і довжиною більше 25 діаметрів містить досить трудомісткі операції: глибоке свердління, зенкерування, чорнове й чистове розточування, попереднє й остаточне розкатування або хонінгування. З метою зменшення трудомісткості й поліпшення якості виробництва подібних деталей запропонований технологічний процес обробки отворів, що складається зі свердління однокромочним свердлом із внутрішнім відводом стружки й наступного поверхневого дорнування.

Для поліпшення обробки й відводу стружки ріжуча частина однокромочного свердла має не менш двох стружкоділильних уступів. Величина зсуву вершини свердла від осі не менш $0,1 D$, а діаметр нульового стрижня не перевищує 0,3-0,5 мм. Стружколомаючий уступ на передній грані розташовується під кутом $2-3^\circ$ до різальної кромки, що визначається величиною подачі.

Великий вплив на величину уводу свердла, точність діаметра отвору й шорсткість обробленої поверхні мають опорні напрямні свердла. Вони виготовляються зі сплаву ВК6М.

Довжина кожної напрямної становить не менш $0,5D$, а зворотна конусність – не більше 0,02 мм на 100 мм довжини. Діаметр цих напрямних звичайно береться рівним діаметру фаски, що калібрує, причому опорна напрямна розташовується в площині, перпендикулярної до передньої грані свердла.

Дотримання зазначених вимог при свердленні отворів діаметром $D_0 = 30...45$ мм і довжиною більше $25D$ у товстостінних циліндрах зі сталі 38ХШЮА дає можливість одержати точність у межах 9-11 квалітету при шорсткості поверхні $Ra = 2,5...1,25$ мкм. При цьому відхилення осі від прямолінійності не виходить за межі половини допусків на розмір отвору.

Наступне дорнування забезпечує досягнення високої якості й продуктивності, при цьому досяжна точність перебуває в межах 7-8 квалітету, шорсткість $Ra = 0,63...0,08$ мкм, а поверхневий шар зміцнюється у 1,5-2 рази. Дорнування здійснюється на протяжному верстаті, модель якого вибирається залежно від зусилля протягання, обумовленого діаметром оброблюваного отвору й натягом. Натяги дорнування, залежно від діаметра отвору, приймаються від 0,15 до 0,4 мм, при вихідній шорсткості $Rz = 40...6,3$ мкм.

Найпоширеніші й зручні багатозубі дорни, що складаються з набору твердосплавних кілець або цільних багатозубих блоків, зібраних на оправці. При дорнуванні отворів невеликих діаметрів, коли конструктивно не можна виготовити дорн збірним, його виконують цільним. Цільні дорни виготовляють зі сталей ХВГ, ШХ15, 9ХС або зі швидкорізальних сталей. Для дорнування отворів у кольорових сплавах як інструмент можуть застосовуватися загартовані кульки.

Сталеві дорни гартуються до максимальної твердості 62...64HRC. Для підвищення зносостійкості на їхні робочі поверхні напилюють тверді покриття, азотують або хромують. Хромовані дорни в більшості випадків піддають електролітичному сульфидуванню, що підвищує зносостійкість і за рахунок цього помітно знижується собівартість дорнування.

Кільця збірних дорнів виготовляються із твердих сплавів ВК6, ВК8, ВК15 тощо. Розмірна стійкість їх значно вища в порівнянні зі стійкістю дорнів, виготовлених зі швидкорізальної

сталі. Для забезпечення мінімального сумарного зусилля й досягнення заданої прямолінійності отвору заготовки число зубців повинне бути непарним, крок між ними – нерівномірним.

Робоча довжина дорна L – відстань між крайніми деформуючими зубами по їхніх стрічках – визначається залежно від довжини L_3 заготовки: $L = L_3 - (1,5 - 2) \delta$, де δ – номінальна товщина стінки заготовки. На початку робочої частини встановлюється блок із трьох зубів: прямого, деформуючого й підтримуючого. Довжина прямого зуба в 1,2-1,5 рази більше довжини будь-якого іншого; кут забірнього конуса $6-8^\circ$, діаметр по стрічечці $D = D_0 + (D_{0max} - D_{0min})$, де D_{0max} , D_{0min} – найбільший і найменший діаметри отворів заготовок. Наприкінці робочої частини встановлюється один-два кінцевих кільця, діаметр D_K яких дорівнює діаметру останнього деформуючого кільця, а кут забірнього конуса $1-1^\circ30'$. Довжина проміжних кілець між кінцевими зубами не повинна перевищувати величини $(0,1-0,2)D_K$.

Для в'язких металів рекомендується швидкість дорнування отворів циліндрів великої довжини приймати 0,03-0,08 м/с, для менш пластичних – 0,08-0,12 м/с. Найкращими змащеннями для сталевих деталей є рослинні масла (сурепне, ляне, конопельне, касторове).

Однак ці масла можна замінити сульфофрезолом або рідиною МР-1. Для чавунних деталей рекомендується застосовувати очищений гас, що забезпечує шорсткість обробленої поверхні до $Ra = 0,08$ мкм.

Прощтовування або протягання дорна в отворі з більшим або меншим натягом завжди супроводжується тертям ковзання при високих контактних тисках. У таких умовах утвориться в напрямку руху дорна згладжений текстурований поверхневий шар. У ньому сильно виражені пластичні деформації, які викликають підвищення мікротвердості й зміцнення поверхневих шарів, залишкові напруги стиску й, у ряді випадків, здрібнювання зерен. Фізико-механічні властивості й стан утвореного дорнуванням поверхневого шару істотно відрізняються від властивостей основного матеріалу оброблюваної деталі й залежать від оброблюваного матеріалу,

загальної величини натягу, числа деформуючих елементів, товщини стінки деформуємої деталі й застосовуваної МОТС.

Найбільший впливає на точність у ході дорнування загальний натяг і число деформуючих елементів – кілець. Гранично можливу точність дорнування 6-7 квалітету можна одержати дорнами, що працюють тільки з малими натягами. Натяги повинні убувати від початкового до кінцевого деформуючого елемента. Попередня обробка отвору повинна бути не грубіше 8 квалітету для того, щоб зменшити коливання натягів, а сумарна величина натягу а для різних діаметрів повинна бути дорівнює 0,025-0,15 мм. При дорнуванні точних отворів варто забезпечувати загальну деформацію в межах 0,5-1% при числі деформуючих елементів 5-7 для вуглецевих, низьколегованих сталей, кольорових сплавів і 3-5 % для нержавіючих і жароміцних сталей. За таких умов дорнування шорсткість може перебувати в межах $Ra = 1,25...0,05$ мкм.

Коли на попередніх дорнуванні операціях виходить значний по глибині дефектний шар і невисока точність розміру, тоді дорн повинен працювати з такими натягами, щоб кожне деформуюче кільце виконувало однакову деформацію порядку 1-2 %. Таке дорнування у твердих деталях може забезпечити 8-11 квалітети при шорсткості $Ra = 1,25...1,0$ мкм.

Накопичено досвід успішного впровадження дорнування для виправлення похибок деталей з нерівномірною твердістю. Нерівномірність твердості деталі за довжиною отвору характеризується коефіцієнтом K_T , який розраховується відношенням максимальної до мінімальної товщини стінок деталі. Цей коефіцієнт коливається в межах від 1,5 до 7. Для трьохелементних дорнів підбором величини натягу для різних сполучень K_T и вихідних похибок можна значно знизити похибку форми оброблюваного отвору. При цьому забезпечується висока точність діаметрів отворів і істотне зниження вихідної шорсткості. При дорнуванні будь-яких отворів для досягнення необхідної точності й шорсткості необхідна експериментальна перевірка достатності обраної величини натягу, а отже, і діаметрів деформуючих і калібруючих кілець. Дорнування звичайно є останньою операцією при обробці точних отворів. Це накладає необхідність строгого контролю якості попередньої

операції обробки.

Відомо, що при тому самому загальному натягу структура в поверхневих шарів мають місце тим більші зміни, чим менше натяг на один деформуючий елемент, тобто чим більшому числу циклів деформації була піддана поверхня оброблюваного отвору. При рівності кількості циклів деформації зміни текстури й мікроструктури поверхневих шарів зростають зі збільшенням натягу на кожний деформуючий елемент, а отже, і зі збільшенням загального натягу.

Структурні зміни ріст мікротвердості в деформованому шарі спостерігається відразу ж після проходження перших деформуючих елементів. Ступінь максимального зміцнення коливається для різних сталей від 30 до 160%. Для вуглецевих сталей 10,20,45, У8А приріст твердості дорівнює відповідно 150, 160, 170, 175, а глибина впливу дорнування – 1,0, 0,65, 0,4, 0,3 мм. Для високолегованих сталей 38ХМЮА й Х18Н10Т твердість дорівнює відповідно НV 90 і 30, а глибина зміцнення - 0,3 і 1,0 мм. Підвищення мікротвердості, величини й глибини зміцнення в поверхневому шарі покращають експлуатаційні показники поверхонь деталей машин, підданих дорнуванню.

Дорнування отворів у твердих деталях з малими натягами й у деталей середньої твердості створює залишкові напруження стиску. Для деталей з вуглецевих сталей 10, 20, 45 і В8А при натягах 0,05 і 0,1 мм на один деформуючий елемент чисельні значення стискаючих напружень складають відповідно 18, 25, 32, 38 і 14, 20, 25,35 Мпа. Максимум стискаючих напружень має місце на глибині декількох десятків часток міліметра від поверхні отвору. Зі збільшенням числа деформуючих елементів дорна, при однаковій на кожний елемент величині натягу, величина залишкових напружень підвищується. Чим більше міцність оброблюваного матеріалу й кількість циклів деформації, тим на більшій глибині виникають залишкові напруження (від 1 до 3,5 мм). При натягах на кожний деформуючий елемент, що перевищують 0,4 мм, у поверхневому шарі з'являються несприятливі для експлуатації залишкові напруження розтягу. Їхня величина зростає з ростом натягу.

Підвищувати якість поверхні в ході дорнування можна до певної межі. Ця межа характеризується виникненням процесів

перезміцнення. Вони настають після деякого критичного числа циклів деформації.

Підвищення точності й зміцнення поверхонь після дорнування дає відчутні результати на виробництві. У результаті виконання операцій дорнування підвищується ресурс роботи деталей; знижується витрата запасних частин; до 30 % підвищується продуктивність праці за рахунок виключення з технологічного процесу операцій чистового розгортання, хонінгування й термічної обробки.

Важливим для практики властивістю дорнування є можливість підвищення в 1,3-2,5 рази міцності пресових посадок, що досягається обробкою охоплюваною деталі-вала точінням із шорсткістю $Ra = 2,5 \dots 2,0$ мкм, а отвору деталі, що охоплює, розточенням з наступним дорнуванням і забезпеченням при зборці їхнього оптимального натягу. При малих натягах дорнування (до 0,002D) зміцнення від дорнування порівняно невелике й міцність з'єднання підвищується незначно. Надмірне збільшення натягу може привести до послаблення з'єднання, тому що профіль поверхні при дорнуванні з більшими натягами наближається до ідеально рівної поверхні, що приводить до зменшення коефіцієнта тертя спокою в з'єднаннях з натягом.

2. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Конструкції дорнів для обробки отворів різного діаметру та з різними вимогами до якості обробки.
2. Особливості обробки отворів процесами дорнування.
3. Схема процесу дорнування та характер діючих сил і деформацій при дорнуванні.
4. Вплив відносних натягів на сили дорнування при обробці деталей різних фізико-механічних характеристик.
5. Рекомендовані технології процесів дорнування та конструкцій дорнів у залежності від вимог до точності обробки та якості поверхневих шарів.