

ЛЕКЦІЇ 7- 8 ВІБРАЦІЙНІ СПОСОБИ ВИГЛАДЖУВАННЯ, ОБКАТУВАННЯ, РОЗКАТУВАННЯ Й НАКАТУВАННЯ

1. ПРОЦЕСИ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Подальше поліпшення експлуатаційних характеристик пар тертя може бути досягнуто застосуванням алмазного вібровигладжування. При вібровигладжуванні інструменту, крім подачі, надається коливальний рух. Існує кілька конструкцій для створення цього коливального руху на базі механічних, пневматичних, електромагнітних приводів. Такий складний рух інструмента дозволяє створити на поверхні деталі регулярний рельєф у вигляді сітки плавно округлених каналів. Сполучення подачі, обертання, коливань приводить до створення нового мікрорельєфу: утвориться система видавлених алмазним наконечником синусоїдальних каналів.

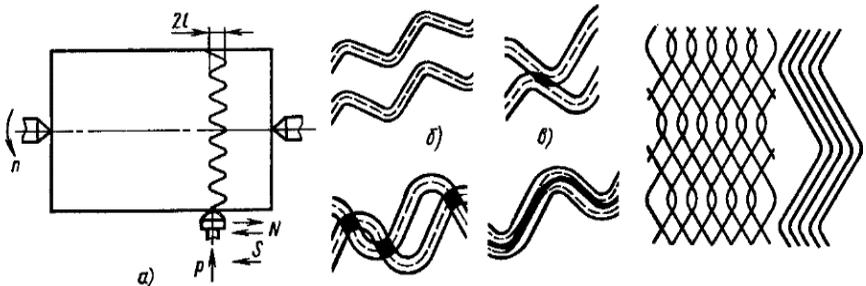


Рис. 1. Схема процесу вібровигладжування та профіль утворених каналів

Такі канали можуть розташовуватися без взаємних перетинань, із частковим або повним перетинанням, сліди їх можуть накладатися. Для більшої довговічності каналів необхідно забезпечити їхню відносну площу в межах 35-70 % і глибину каналів у межах 5-20 мкм для твердих сталей і 30-50 мкм для матеріалів середньої твердості. Для сирих сталей і

кольорових сплавів глибина каналів обмежується припустимою величиною й характером напливів.

Вібровигладжування не тільки збільшує маслоємність поверхні, але й підвищує в 1,3-1,7 рази залишкові напруги в порівнянні з вигладжуванням на тих же режимах без коливального руху. Ці переваги забезпечують ріст довговічності деталей машин. Так, зношування вібровигладженої поверхні вкладишів підшипника кулачкового вала двотактного двигуна внутрішнього згоряння за ресурс його роботи склало 4-5 мкм, що в 1,5-1,6 рази менше звичайних підшипників. Вібровигладжування ефективно при обробці деталей золотникових пар, поршневих пар радіально-поршневого насоса, розподільника гідроагрегатів. Після вібровигладжування цих деталей знижується коефіцієнт тертя, виключається схоплювання й заклинювання з'єднаних пар, що, значно підвищує зносостійкість.

Значні можливості поліпшення експлуатаційних якостей розкриває новий прогресивний процес вібровигладжування з наступним тонким обкатуванням. Застосування наступного тонкого обкатування кульковим деформуючим інструментом, згладжує напливи металу, отримані в процесі вібровигладжування, а також згладжуються гострі вершини мікронерівностей між канавками дозволяє додатково підвищити зносостійкість поверхонь на 10-11 %, збільшити опорну поверхню без зниження маслоємності канавок і знизити шорсткість до $R_z = 2,9$ і $1,8$ відповідно, при цьому час припрацювання знижується в 2-2,5 рази, що значно збільшує тривалість нормального зношування.^f

Оптимальними процесами при цьому для сталі 20Х є: шліфування до $Ra = 1,25$ мкм із наступним вібровигладжуванням (на режимах $S = 0,43$ мм/об; амплітуда вібрації $2l = 1,6$ мм; частота обертання заготовки $f = 30$ хв⁻¹; i – відношення числа подвійних ходів вигладжувача до n_3 , рівне 25; зусилля $P = 300$ Н; радіус вигладжувача $R = 2$ мм) і тонким обкатуванням ($S = 0,21$ мм/об, $V = 0,5$ м/с, $D = 5$ мм, $P = 600$ Н). Обробка сталі 45 ведеться з тими ж режимами, тільки шорсткість після шліфування $Ra = 0,8$ мкм, крім того, повинні змінитися зусилля вигладжування до 200 Н и обкатування до 350 Н.

Стійкість алмазних вигладжувачів виміряється десятками годин, площадка зношування для сферичних вигладжувачів не повинна перевищувати 0,3 мм.

Широкі технологічні можливості поліпшення експлуатаційних якостей деталей і підвищення їхньої довговічності за рахунок регулювання параметрів мікрорельєфу поверхні й фізико-механічних властивостей поверхневих шарів має спосіб вібраційного поверхневого пластичного деформування. Суть його в тім, що в результаті складного відносного переміщення деформуючого елемента інструмента щодо оброблюваної поверхні на ній видавлюються по певному заданому малюнку й формі канавки, між якими зберігається первинний мікрорельєф поверхні або створюється повністю новий мікрорельєф. Цей спосіб дозволяє досить точно й у великих межах регулювати розмірні параметри мікрорельєфу, взаєморозташування його нерівностей, а також змінювати в потрібну для експлуатації сторону фізико-механічні властивості поверхневого шару.

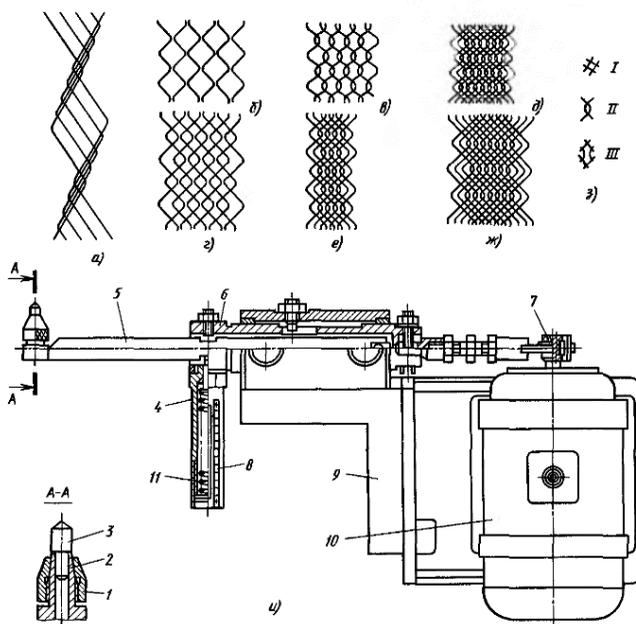


Рис. 2. Схеми розташування каналів і пристрої

Параметрами режиму віброобробкування й розкатування тіл обертання й вібронакатування площин, що визначають характер отриманого мікрорельєфу поверхні, є частота обертання заготовки при обробці тіл обертання n_z або величина поздовжньої подачі S_{PP} при вібронакатуванні; число подвійних ходів деформуючого елемента $n_{ов.х}$, амплітуда $2l$, яка дорівнює довжині ходу деформуючого елемента; подача на оберт S_0 , або поперечна S , на хід стола; діаметр деформуючої кулі D_K або радіус деформуючого алмазного або твердосплавного елемента. У результаті взаємодії зазначених параметрів режиму за один оберт деталі або хід стола на оброблюваній поверхні деформуючим елементом видавлюються канавки, що мають синусоїдальну траєкторію, амплітуда якої дорівнює довжині ходу деформуючого елемента $2l$, а довжина хвилі залежить від співвідношення числа подвійних ходів і частоти обертання заготовки або поздовжньої подачі стола S_{PP} . Вібронакатування плоских поверхонь може бути здійснене за кілька проходів, за один прохід при одночасному обертанні інструмента із закріпленою у ньому деформуючою кулею, за один прохід при русі осциляції деформуючої кулі, за один прохід або кілька проходів із прямолінійним рухом деформуючої кулі. На поверхні деталі можна одержувати різноманітний і складний профіль мікрорельєфу, що залежно від співвідношення параметрів режиму може бути розділений на два основних класи, регламентованих ДСТУ. На поверхні деталі можна одержувати повністю регулярний мікрорельєф поверхні (ПРМР) (шестикутний, чотирикутний і т.д.). До другого класу відносяться поверхні із частково регулярним мікрорельєфом (ЧРМР).

Відповідно до цього, до першого класу відносяться поверхні із ПРМР, що складаються з однакових нерівностей (елементів), форма, розмір і регулярне розташування яких обумовлює експлуатаційні властивості поверхні. Ці поверхні (рис. 3) характеризуються типом елемента поверхні.

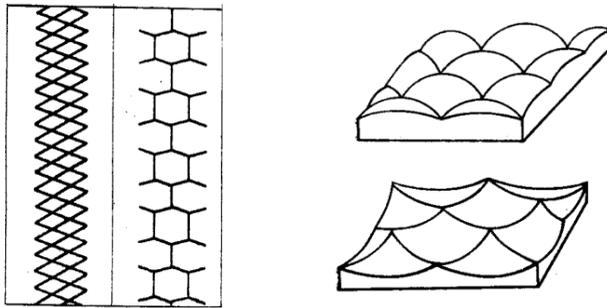


Рис. 3. Повністю регулярний мікрорельєф (тип і форма)

ЧРМР, що складаються не тільки з елементів регулярного мікрорельєфу, але й з ділянок з вихідною шорсткістю, розташованих між регулярними елементами. Поверхні зі ЧРМР (рис. 4) можуть бути з дискретно й безперервно розташованими регулярними нерівностями (системами канавок) з відсутністю перетинання, неповним перетинанням (торканням) і повним перетинанням. Дискретні нерівності можуть бути кільцевими або шаховими.

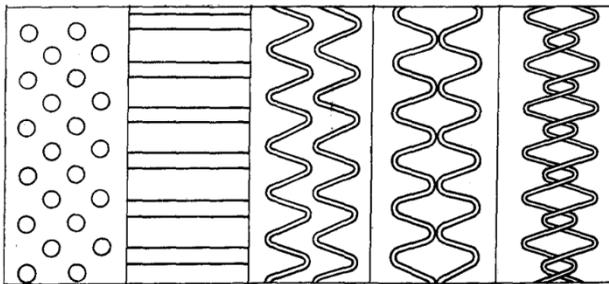


Рис. 4. Частково регулярний мікрорельєф

Всі введені в ДСТУ параметри визначають абсолютні геометричні розміри регулярних мікронерівностей, причому висота й глибина елемента регулярного мікрорельєфу не перевищують розміри мікронерівностей, установлених ДСТУ.

Між параметрами регулярних мікронерівностей і режимами віброобробки є певні аналітичні зв'язки, що дозволяють установлювати в кожному конкретному випадку режими обробки для одержання необхідного класу й параметрів мікрорельєфу регулярної поверхні, що забезпечують необхідні експлуатаційні показники поверхневих шарів деталі.

У процесі віброобробки на поверхні утвориться система мастильних канавок і кишень, що дозволяє оптимізувати як площу контакту, так і маслємність поверхні. Це знижує коефіцієнт тертя в 1,6-2,2 рази, підвищує зносостійкість в 1,5-1,7 рази, підвищує плавність роботи механізму. При сухому терті канавки працюють як пастки, що затримують у собі продукти зношування, пил і абразивні частки, завдяки чому локалізується їхня абразивна дія, істотно поліпшуються всі фізико-механічні характеристики поверхневого шару. Значне зміцнення поверхневого шару при вібронакатуванні досягається в результаті багаторазового навантаження і складного відносного руху деформуючого інструмента й оброблюваної деталі.

Віброобкатування й вібророзкатування (рис. 5) здійснюються на токарних верстатах, оснащених установленими на супорті спеціальними пристроями – віброголовками.

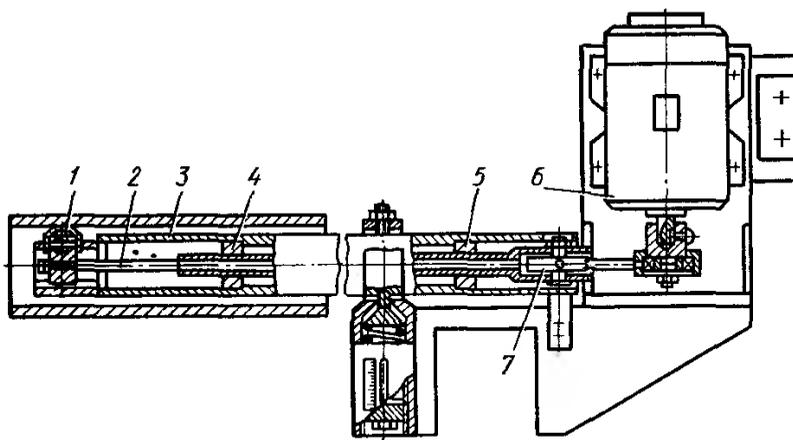


Рис. 5. Віброголовка для розкатування отворів

Обертання заготовки й поступальне переміщення віброголовки з деформуючим елементом уздовж оброблюваної поверхні деталі виконується за допомогою шпинделя й супорта верстата, а рух деформуючого елемента й зусилля для пластичного деформування оброблюваної поверхні забезпечуються конструкцією самої віброголовки.

Вібронакаткування площин звичайно виконується на фрезерних або повздовжньо-стругальних верстатах (рис. 6), при цьому подача деталі відносно деформуючої віброголовки здійснюється верстатом, а коливальний рух деформуючого елемента забезпечуються конструкцією самої віброголовки і її привода.

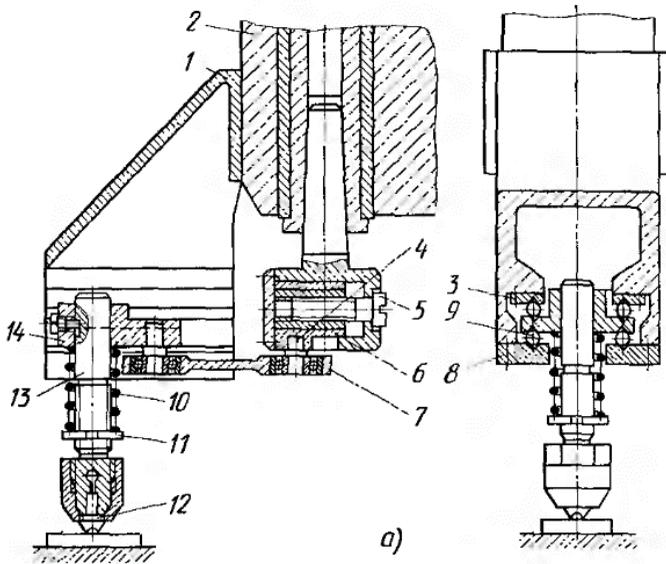


Рис. 6. Конструкція віброголовки для обробки плоских поверхонь

Коливальний рух може здійснюватися за допомогою механічного, електромагнітного або пневматичного пристроїв. Найбільше поширення одержав електромеханічний привод.

Як деформуючий елемент застосовуються сталеві загартовані кульки, алмазні або твердосплавні індентори, які закріплюються в оправках. Для забезпечення незначного тертя

катання кулька опирається на зовнішню обойму кулькового або роликowego підшипника, встановленого на осі в обоймі державки. У ряді конструкцій замість підшипників застосовуються фторопластові підкладки. Найбільше часто застосовують кулькові оправки з опорою деформуючого елемента на обойму підшипника з латунним або бронзовим сепаратором.

При віброобкатуванні валів діаметрами 80-200 мм і довжиною більше 0,5 м застосовуються пристрої, що мають синхронно працюючі віброголовки, що приводяться у рух від шпинделя токарного верстата. У цьому випадку рух осциляції передається на систему з'єднаних між собою декількох віброголовок, встановлюваних на супорті верстата. Вібророзкатування отворів може здійснюватися як головками з одним деформуючим елементом, так і одночасно декількома деформуючими елементами, що набирають у регульовані вібророзкатні багатоінструментні головки. Як деформуючий елемент у таких головках застосовуються сталеві загартовані кульки або алмазні й твердосплавні індентори, встановлювані в оправках. Вібророзкатування отворів у нежорстких деталях може здійснюватись багатокульковою головкою з діаметрами кульок 2-3 мм.

Для вібророзкатування отворів у твердих деталях застосовується віброголовка аналогічної конструкції, але в ній необхідне зусилля деформування створюється набором тарілчастих пружин. Щоб уникнути ушкодження зміцненої поверхні при виході головки з отвору в конструкції передбачене робоче й холосте положення деформуючих куль.

Для тонкого вібровигладжування отворів деталей, що мають малу радіальну жорсткість, застосовуються деформуючі алмазні або твердосплавні індентори. Залежно від режимів обробки головка дає можливість стабільно одержувати шорсткість поверхні в межах $Ra = 0,025 \dots 0,063$ мкм і підвищувати міцність поверхневого шару в 1,5-2 рази. При необхідності цією головкою можна наносити бажаний малюнок синусоїдального типу, підвищуючи при цьому маслємність і контактну твердість поверхонь.

Звичайне вібраційне обкатування й розкатування виконують кульками діаметром не менш 3-4 мм. При обробці нежорстких

деталей із в'язких матеріалів для створення системи масляних канавок застосовують кульки діаметром 1-2 мм при незначних зусиллях деформування. Для вібраційного обкатування тонкостінних поршневих кілець зі сталі X12M, 32...38 HRC застосовується головка з кулькою діаметром 2 мм. Вона складається із бронзового корпусу, оправки зі сталі ХВГ, гвинта, що притискає бронзовий корпус до оправки, і сталевий вільно обертової кульки, що виступає на 0,25-0,3 мм. Вібраційне обкатування хромованого поршневого кільця не порушує цілісність хромованого покриття.

Створення регулярного мікрорельєфу не на одній, а на обох поверхнях пари тертя (гільза – поршень або гільза – поршневе кільце), як правило, підвищує зносостійкість. Для вібророзкатування внутрішньої поверхні гільз двигуна створений спеціальний верстат, що має чотири позиції, у кожній з яких є привод обертання заготовки й розкатної віброголовки. У головці кріпляться три тримачі деформуючого інструмента, які розташовані під кутом 120°, кульки діаметром 4 мм зміщені по висоті одна відносно одної на 2,5 мм. Головка працює за циклами: швидке підведення, робоча подача, швидкий відвід. Затискач заготовки й притиск деформуючих елементів – кульок до оброблюваної поверхні виконується за допомогою гідравлічного пристрою. Для скорочення часу на заміну зношених кульок застосований сепаратор, у якому установлені вісім кульок і заміна зношених кульок на нові здійснюється за рахунок повороту сепаратора. При вібророзкатуванні внутрішньої поверхні на ній утвориться мікрорельєф у вигляді недотичних безперервних канавок у формі синусоїд. Площа канавок становить 28...30 % від робочої поверхні гільзи.

Широке поширення одержало вібронакатування плоских пар тертя. Застосування вібронакатування поверхонь плоских і корпусних деталей дозволяє відмовитися від таких несприятливих відносно технологічної спадковості процесів, як шліфування, при якому виникає шаржування поверхонь, особливо чавунних деталей, що погіршує експлуатаційні якості деталей.

Застосування вібронакатування відкритих поверхонь типу напрямних дозволяє відмовитися від малопродуктивних процесів

шабрування, а в ряді випадків і від поверхневої термічної обробки сталевих деталей, що значно скорочує трудомісткість і собівартість їхнього виготовлення.

Вібраційне накатування площин здійснюється на фрезерних верстатах спеціальними вібронакатними головками, що мають один або три одночасно працюючих деформуючих елементів – кульок, алмазних або твердосплавних. Схеми роботи головок з декількома деформуючими елементами можуть бути різні. Звичайно така головка вставляється конічним хвостовиком у шпindel фрезерного верстата. Коливальний механізм розміщується в корпусі головки. Його привод може бути від окремого двигуна через вал, пропущений в отворі шпинделя, або від самого шпинделя.

Обробка плоских поверхонь здійснюється по двох основних схемах: 1) з перекриттям оброблюваної поверхні по всій її ширині за один прохід; 2) з дискретною поперечною подачею деформуючого елемента по ширині заготовки. Промислова практика останнього років виявила більшу ефективність вібронакатування плоских поверхонь по першій схемі. При вібронакатуванні широких поверхонь за кілька проходів поздовжня й поперечна подачі здійснюються столом фрезерного або стругального верстатів.

Для вібронакатування площин на вертикально-фрезерних верстатах застосовуються необертові головки з поворотною багатокульковою оправкою.

З метою створення заданого мікрорельєфу постійної глибини канавок при вібронакатуванні складних поверхонь трикутного, трапецієподібного, конусного й іншого типів, створений вібронакатний пристрій зі стабілізацією зусилля на деформуючому інструменті.

Стабілізація досягається тим, що пристрій для створення мікрорельєфу оснащений гідроциліндром зі штоком, на якому розміщений деформуючий інструмент, гідроциліндр і шток зв'язані з важелем, запобіжним клапаном, переливним золотником і джерелом живлення.

Для тонкої обробки особливо точних і відповідальних плоских поверхонь тертя застосовуються вібровиглажуючі алмазні головки із приводом від шпинделя вертикально-

фрезерного верстата. У цьому випадку привод для одержання руху осциляції алмазного деформуючого індентора, встановленого в шпинделі-оправці головки ексцентрично відносно її осі, здійснюється за рахунок кулісного механізму, зв'язаного з однієї сторони з копіром, встановленим на шпинделі верстата, а з іншої сторони з рейкою, у зачепленні з якої перебуває шестірня редуктора. Зворотньо-поступальні рухи рейки в редукторі перетворюються в обертіві рухи шпинделя оправки головки, що створює рухи осциляції алмазного індентора. Корпус головки кріпиться на гільзі шпинделя верстата. Подача деталі здійснюється столом верстата.

Параметри режиму віброобработки впливають на основні показники якості поверхні й фізико-механічні властивості поверхневих шарів, а, отже, на довговічність деталей машин. Так, у процесі віброобкатування циліндричних деталей у результаті контакту кулі із заготовкою форма останньої практично залишається незмінною, а зменшення розміру за рахунок пластичного деформування відбувається рівномірно по всій оброблюваній поверхні.

Деформуюче зусилля є основним динамічним параметром, що впливає як на висоту нерівностей, що формуються, так і на фізико-механічні властивості поверхні. Деформуюча куля робить незрівнянно більше складний рух відносно оброблюваної поверхні, чим при звичайному обкатуванні, вона контактує з кожним виступом мікронерівностей вихідної поверхні з різних сторін, розгортаючи метал у різних напрямках. У результаті - опір деформуванню зменшується, а інтенсивність деформації збільшується. Це дозволяє при обробці нежорстких і нерівножорстких деталей утворювати оптимальний рельєф і одержувати значне зміцнення поверхні без значної загальної деформації заготовки.

На відміну від обкатування при віброобкатуванні залежність ступеня згладжування від зусилля вдавнення деформуючого елемента в оброблювану поверхню нелінійна.

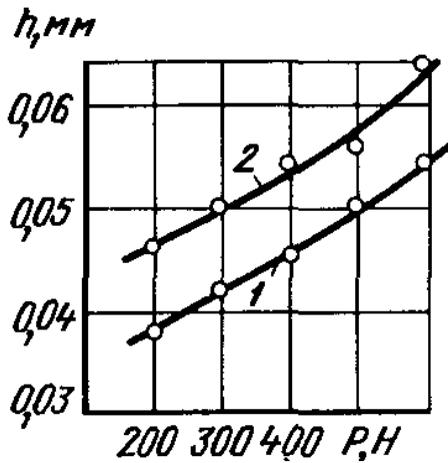


Рис. 7. Залежність глибини каналів від зусилля обкатування:
 1 – вібровигладжування; 2 – віброобкатування

Якщо при малих зусиллях вдавнення кулі відбувається деяке згладжування мікронерівностей вихідної поверхні за рахунок деформації вершин виступів, то зі збільшенням зусилля утвориться новий мікрорельєф спочатку зі слідами невідгладжених вихідних мікронерівностей і потім при подальшому збільшенні зусилля відбувається їхнє повне вигладжування й утворення нового мікрорельєфу, висота, форма й розташування мікронерівностей якого будуть визначатися не тільки величиною зусилля, але й діаметром кулі, швидкістю, подачею, числом осциляцій й амплітудою коливання кулі. При подальшому збільшенні зусилля відбувається зростання шорсткості. Ця особливість процесу віброобкатування відкриває можливість «керування» утворенням мікрорельєфу поверхонь деталей машин і технологічним забезпеченням необхідних характеристик якості поверхні.

Можна встановити, що величина шорсткості R_z буде мінімальною при певних співвідношеннях зусилля деформування й діаметра кулі. Зі збільшенням зусилля до певного для кожного діаметра кулі значення шорсткість поверхні буде зменшуватися, після чого починає рости, при цьому

зменшення шорсткості буде тим більше, чим більше діаметр кулі. Це пояснюється зменшенням контактного тиску зі збільшенням діаметра кулі. Підвищення шорсткості після досягнення певних критичних значень зусиль пояснюється ростом контактних тисків, які вже не тільки згладжують мікронерівності, але й деформують сам метал поверхневого шару, що викликає видавлювання його й у ряді випадків перезміцнення.

Радіус вершин мікронерівностей збільшується зі збільшенням діаметра кулі, однак при всіх діаметрах він росте до певної межі зусиль вібронкатування, після чого він трохи зменшується. Кут нахилу бічних поверхонь мікронерівностей у всіх випадках зменшується зі збільшенням зусилля й діаметра кулі. Опорна площа F_{on} (%) зі збільшенням зусиль до певних для кожного матеріалу меж збільшується, що пов'язане зі зменшенням шорсткості кута нахилу і зі збільшенням радіуса вершин. Подальше збільшення зусилля викликає деяке зниження опорної площі у зв'язку зі збільшенням шорсткості й кутів нахилу бічних сторін мікронерівностей. Збільшення діаметра кулі при одночасному підвищенні зусилля P і за умови збереження сталості в певних межах тиску є способом зменшення шорсткості.

З ростом параметра i до певного значення при збільшенні кратності й навантаження поліпшується якість поверхні. Перевищення цього значення різко погіршує якість поверхневого шару внаслідок перенапруги й руйнування мікронерівностей. Однак збільшення параметра i призводить до значного збільшення швидкості руху кулі, що зменшує ступінь і глибину деформуючого впливу.

З ростом подачі знижується кратність прикладеного навантаження. Найбільше помітно це проявляється при обробці сталі 40Х внаслідок її більшої твердості й необхідності збільшення деформуючого впливу. Аналогічні зміни відбуваються в сталі 45, тільки R_z міняється з меншою інтенсивністю. Сталь 12Х18Н9Т, через специфічні особливості її деформації, реагує на збільшення S у меншому ступені. Подача в межах від 0,07 до 0,3 мм забезпечує одержання всіх видів ЧРМР і ПРМР.

Збільшення $2l$ та i однаково впливають на деформацію поверхневого шару. Вплив $2l$ на шорсткість поверхні аналогічно впливу P та i , тільки в значно меншому ступені. Рекомендується приймати $2l = 2 \dots 2,5$ мм. Збільшення амплітуди $2l$ більше 3,5 мм викличе помітний ріст інерційних сил і прискорить зношування механізмів віброголовок.

Дослідження показали, що існує залежність радіуса закруглень мікронерівностей від їхньої висоти. Так, зі зменшенням висоти мікронерівностей Rz радіус закруглення їхніх вершин у віброобкатаних поверхнях значно вище, ніж при інших видах обробки. Зміна зусиль віброобкатування дозволяє не тільки в значних межах змінювати форму мікронерівностей, що утворюються на поверхні, але й збільшувати радіуси закруглення їхніх вершин (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики шорсткості поверхні при різних способах обробки

Вид обробки	Шорсткість поверхні Rz , мкм	Радіус закруглення вершин нерівностей r_B , мкм	Відношення r_B/R_{Zmax}	Кут нахилу бічних сторін нерівностей β	Однорідність шорсткості поверхні σ
Точіння	20-1,5	20-120	1-40	36-8	1,47-1,29
Розгортання	10-0,8	10-500	1-85	-	-
Кругле шліфування	6,3-0,4	16-40	2,6-40	6-10	0,69-0,6
Внутрішнє шліфування	10-0,8	3,5-15	0,3-330	-	-
Хонінгування	3,2-0,2	4-30	1,2-25	-	-
Доведення	0,8-0,05	5-125	30-600	1-3	-
Обкатування кулею	6,3-0,8	800-1000	130-300	8-2	0,68-0,4
Вібронакатування	10-0,8	1400-12200	140-8 000	5-1	0,43-0,12

Форма мікронерівностей істотно впливає на такі експлуатаційні якості, як зносостійкість, темп і характер приробляння, корозійну стійкість і особливий опір схоплюванню.

Комплексна оцінка форми мікронерівностей r_B/Rz_{\max} , що характеризує експлуатаційні якості поверхні, для віброобкатаних поверхонь на кілька порядків вища, ніж для поверхонь, оброблених іншим способом.

Кут нахилу утворюючих мікронерівностей β так само, як і радіус закруглення їхніх вершин, визначає несучу здатність, темп припрацювання, маслоємність поверхонь тертя, величину коефіцієнта тертя. Величина кута β залежить від чистової й фінішної обробки, причому при обробці способами пластичного деформування роликми або кульками кут β істотно зменшується. Найбільше зменшення кутів (до 1° - 6°) досягається віброобкатуванням, при цьому створюються пологі, обтічні мікронерівності.

Характер розташування мікронерівностей і їхній напрямок впливає не тільки на величину коефіцієнта тертя, але й на такі характеристики, як зносостійкість і опір схоплюванню практично при всіх видах тертя. При точінні, шліфуванні, обкатуванні, алмазному вигладжуванні сліди обробки на циліндричній поверхні являють собою кільцеві або гвинтові лінії з кутом нахилу, регульованим у межах від 10° до 2° , для всіх використовуваних у практиці режимів обробки. При віброобкатуванні сліди обробки мають форму сітки з кутами від 10° до 88° . Це забезпечує можливість одержання оптимального для різних умов експлуатації деталей малюнка мікрорельєфу робочих поверхонь.

Віброобкатуванням створюються поверхні з ЧРМР або ПРМР мікрорельєфом, висота мікронерівностей якого залежно від режимів обробки перебуває в межах $0,7$ - 40 мкм, а середній крок $S = 0,07 \dots 2,7$ мм.

На параметри мікропрофілю, крім зусилля P і діаметра деформуючого елемента, впливають величини i , S і $2l$. Так, при збільшенні i від 10 до 50 для сталі 45, до 70 для сталі 40Х і до 40 для сталі 12Х18Н9Т радіус закруглення росте від 1500 мкм до 9000 мкм. Наступне підвищення i викликає зниження радіусів виступів і западин. Збільшення подачі S від $0,07$ до $0,3$ мм викликає зменшення r_B із 9000 до 7000 - 8000 мкм. На величину

радіусів закруглення r_B зміна амплітуди $2l$ практично не впливає.

Для сталі 45 кут β досягає мінімуму при $i = 65...70$, для сталі 40X – при $i = 90...95$, для сталі 12X18H9T – при $i = 45...50$.

Збільшення i понад ці значення викликає збільшення кута β .

При збільшенні подачі S від 0,07 до 0,3 мкм кут β збільшується (для сталі 45 і 40X – від 1,5 до 2,5°, для сталі 12X18H9T – від 1 до 1,5°). Різний ступінь збільшення кута β пояснюється різницею в механічних властивостях цих сталей.

Із всіх способів деформаційного зміцнення вібронакатування забезпечує найбільший деформуючий вплив. У результаті викликаної їм деформації поверхневого шару відбувається не тільки механічне дроблення наявних структурних елементів, але й створення нових складних структурних утворень. Поверхнєве вібраційне пластичне деформування супроводжується зміцненням поверхневих шарів, що підвищує опір металу наступній деформації, при цьому знижується його пластичність і збільшується поверхнева твердість. Найбільше підвищення мікротвердості спостерігається в сталях зі структурою аустеніту, фериту, мартенситу, найменше – перліту й сорбіту.

Найбільше впливає на поверхневу мікротвердість тиск деформуючого елемента й кратність дії цього тиску. При зменшенні діаметра кулі зменшується контактна площа між інструментом і деталлю, збільшується контактний тиск, що викликає підвищення деформуючого впливу інструмента на метал, і різко збільшується зміцнення поверхні. У той же час видавлювання більших за обсягом хвиль пластично деформованого металу значно погіршує мікрорельєф поверхні. Незначне збільшення мікротвердості сталі 40X (на 24,2 %) пояснюється попереднім перетворюванням кристалічних ґрат у результаті легування сталі хромом. Збільшення мікротвердості сталі 45 (на 40-47 %) пояснюється її більшою здатністю піддаватися пластичним деформуванням у порівнянні зі сталлю 40X; найбільше збільшення мікротвердості сталі 12X18H9T (на 70 %) – структурним перетворенням аустеніту в мартенсит.

За інших рівних умов ступінь і глибина зміцнення при

вібраційному обкатуванні більше, ніж при звичайному обкатуванні. При цьому глибина поширення зміцнення (20-25 мкм) залежить від параметрів режиму віброобкатування й виду металу.

З параметрів режиму вібронакатування на глибину зміцнення найбільше впливає зусилля вібронакатування P . Залежність глибини зміцнення від зусилля P і твердості HV прямо пропорційна. Для сталі 45 збільшення зусилля з 150 до 900 Н приводить до збільшення глибини зміцнення з 5 до 40 мкм; для 40X – з 5 до 30 мкм; для сталі 12X18H9T – з 10 до 20-25 мкм. При рівних зусиллях найбільша глибина зміцнення досягається у сталі 45, трохи менша – в сталі 40X і найменша – у сталі 12X18H9T. Сталь 40X більше тверда, менш пластична, що визначає меншу глибину зміцнення. Мала глибина зміцнення в сталі 12X18H9T пояснюється тим, що внаслідок структурного перетворення аустеніту в мартенсит сильно підвищується твердість поверхневого шару й це перешкоджає поширенню деформації углиб зразка.

Як обкатування, так і віброобкатування створює в поверхневому шарі залишкові напруги. Звичайно при пластичному деформуванні у поверхневих шарах виникають напруги стиску. З підвищенням зусилля обкатування залишкові напруги в поверхневих шарах зростають. Однак при $P \gg 1000$ Н їхній ріст різко знижується. Особливо інтенсивне зростання залишкових напруг і глибина їхнього поширення спостерігаються при віброзміцненні незагартованої сталі зусиллями 300-400 Н. Вплив діаметра кулі пов'язаний зі зміною тисків у зоні контакту. Якщо при зменшенні діаметра кулі тангенціальні напруги помітно не змінюються, то осьові пропорційно зростають, при цьому глибина поширення залишкових напруг знижується. Збільшення кратності дії зусилля при віброобкатуванні сприяє збільшенню глибини зміцненого шару. Ступінь впливу подачі на залишкові напруги при віброобкатуванні при режимах, що забезпечують оптимальну шорсткість поверхні, незначна. Однак надмірне збільшення подачі може призвести до зменшення залишкових напруг. При віброобкатуванні виникають значні стискаючі напруги на поверхні, що поширюються на глибину до 0,6 мм. Більший ефект

зміцнення, створюваного віброобкатуванням, у порівнянні з іншими способами чистової обробки тиском і різанням пояснюється більшою кратністю дії навантажень і складним рухом деформуючого елемента відносно поверхні оброблюваної деталі. При збільшенні зусилля віброобкатування з 100 до 600 Н максимум залишкових напруг розташований на глибині до 0,25 мм, а чисельне значення досягає 600-800 МПа.

При вібронакатуванні й віброобкатуванні підвищується міцність металу. Істотний впливає на неї мікрорельєф поверхні, причому визначальним є радіус закруглення западин мікрорельєфу, що грають роль концентраторів напруги. Так, вібраційне обкатування деталей підвищує межу їхньої міцності у порівнянні зі шліфуванням для сталі 45 на 36 %; для сталей 40Х і 12Х18Н9Т відповідно на 20 і 38 %. При обробці деталей з титанового сплаву 48-Т4 шліфуванням з наступним обкатуванням і віброобкатуванням межа міцності з 260 МПа в результаті обкатування підвищується до 300 МПа, а віброобкатування – до 340 МПа.

Контактна твердість впливає на точність і стабільність роботи механізмів, а також на точність установки деталей у пристосуваннях, на верстатах і точність самої обробки й зборки деталей. Застосування процесів віброобкатування і вібронакатування деталей із чавуну СЧ15 істотно підвищує контактну твердість стиків. При віброобкатуванні деталей із чавуну кулею ($D_{ш} = 15$ мм) з тиском 150-200 МПа й поздовжньою подачею багатокулькової головки 160-235 мм/хв, при числі проходів два, досягається зниження шорсткості з $Ra = 2,5...5$ мкм до $Ra = 0,63...1,25$ мкм. Відносна опорна довжина профілю на відстані в 1 мкм від лінії виступів після вібронакатування в 2,6 рази більша, ніж після шліфування. Контактна жорсткість обох сторін стику вібронакатаних поверхонь збільшується на 42 % у порівнянні зі шліфованими поверхнями, тоді як заміна тільки однієї шліфованої поверхні на вібронакатану дає збільшення жорсткості на 35 %. Заміна шліфованої поверхні на вібронакатану в стику із шабреною дозволяє збільшити контактну жорсткість на 34 %. Відносна опорна довжина профілю шорсткості на відстані в 1 мкм від лінії виступів після вібронакатування в 9,5 разів більше, ніж після шабрування.

Контактна жорсткість стику вібронакатаних поверхонь збільшилася на 27 % у порівнянні із шабреними стиками, тоді як заміна шабреної поверхні на вібронакатану в стику зі шліфованою поверхнею дає підвищення контактної жорсткості на 160 %.

Таким чином, сполучення різних методів і способів обробки площин дозволяє регулювати жорсткість утворених ними стиків. Якщо прийняти за 100 % жорсткість стику, що складається з обох шліфованих з $Ra = 0,6...1,2$ мм поверхонь, то жорсткість шліфованих і потім вібронакатаних до $Ra = 0,2...0,3$ мкм підвищується на 264 %.

Вібронакатування звичайно виконується пружним інструментом при цьому значно підвищується показник площинності. Після вібронакатування є можливість одержувати 35-46 плям на площадці 25 x 25 мм. Найменше зношування спостерігається в деталях, оброблених вібраційним обкатуванням з оптимізацією геометричних характеристик, що дозволяє значно підвищити довговічність верстатів. Вібронакатування спеціальною багатокуюлковою віброголовкою напрямних верстатів-автоматів збільшує маслоємність, зменшує момент рушення, підвищує плавність ходу, при цьому зносостійкість вібронакатаних поверхонь зростає у 2-2,2 рази. Особливо високі результати дає вібророзкатування внутрішньої робочої поверхні кілець крутильних і прядильних машин. Маслоємність пари кільце-бігунок після нанесення системи канавок підвищується у 5 разів у порівнянні з маслоємністю пари з полірованим кільцем, що значно підвищує зносостійкість. Щоб уникнути розбризкування мастила із зони контакту глибину канавок 20-25 мкм (на напрямних верстатів, гільзах двигунів і підшипниках) зменшують до 4-5 мкм. Незважаючи на малу глибину, канавки практично зберігаються протягом 2...5 років роботи. Варто сказати, що видавлювання при вібронакатуванні канавок мікропрофілю не повинне бути надмірно глибоким. При глибоких канавках мають місце більші напливи видавленого металу. Ці збільшені напливи можуть бути причиною підвищеного зношування поверхонь тертя деталей у початковий період.

У ряді випадків застосування віброобкатування поршневих кілець дозволяє знижувати коефіцієнт тертя в парах у 2 рази, у результаті чого зношування зменшується у 2-2,5 рази, а температура в зоні тертя знижується з 105 до 37 ° С.

Оптимізація мікрорельєфу поверхонь тертя особливо важливе для запобігання такого небезпечного явища, як схоплювання. У цьому випадку оптимальна форма нерівностей (радіус скруглення вершин і кут нахилу утворюючих), їхнє розташування щодо напрямку руху й однорідність за висотою мають вирішальне значення.

При обробці штоків гідроциліндрів землерійних машин, які працюють у тяжких умовах абразивного й корозійного зношування, виготовлених зі сталей 45, 40X и 12X18H9T с вихідною шорсткістю $Ra = 0,5...0,32$ мкм, вібронакатуванням стабільно забезпечується шорсткість поверхні $Ra = 0,32...0,04$ мкм. Одночасно збільшується мікротвердість поверхневого шару на 40-65 % у порівнянні із твердістю основного металу. Гідрощільність з'єднань з гумовими ущільнювачами зростає на 45-70 % у порівнянні з гідрощільністю, яку одержуємо після шліфування. Сила тертя в з'єднанні знижується на 40-55 %, а міцність збільшується на 30-40 %. Значно зростає корозійна стійкість. Тривалість періоду нормального зношування вібронакатаних штоків на 40-50 % вища, ніж тривалість цього періоду для шліфованих штоків. Зносостійкість підвищується у 2-3,5 рази. У зв'язку з тим, що виступи мікрорельєфу поверхні при віброобкатуванні мають значні радіуси закруглень (сотні мікрометрів), а їхні бічні сторони мають малі кути, різко знизилася зношування гумових ущільнювачів і сальників, а їхня довговічність наблизилася до довговічності роботи самих штоків.

Вібронакатування кулькою й вібровигладжування алмазним індентором з радіусом 2 мм поверхонь валів верстатів, виготовлених із цементованої і поверхнево загартованої до твердості 58-62HRC сталі 20X при режимах обробки $i = 25$, $S = 0,43$ мм/об; $n_3 = 30$ об/хв і тиск $P = 300$ Н за рахунок створення оптимального мікрорельєфу, збільшення маслоємності поверхні й збільшення її мікротвердості, підвищило у 2-2,2 рази їхню зносостійкість у порівнянні зі шліфуванням.

Останнім часом прогресивні процеси вібраційної оздоблювальної обробки одержали поширення при фінішній обробці таких складних по геометрії поверхонь, як зубчасті. Так, застосування вібронакатування поверхонь черв'ячних і зубчастих передач підвищує їхню зносостійкість в 1,5 рази, а для важко навантажених черв'яків каменерізних машин, а також ділильних механізмів координатно-розточувальних верстатів забезпечується підвищення їхньої довговічності у 2,5-3 рази. Вібронакатування зубчастих поверхонь точних і швидкохідних зубчастих коліс значно поліпшує їхні експлуатаційні якості й знижує шум передач. Використання вібронакатування точних циліндричних зубчастих коліс середніх модулів забезпечує регуляризацію мікрогеометрії поверхні зубів і деяке зміцнення їхніх поверхневих шарів (рис. 8).

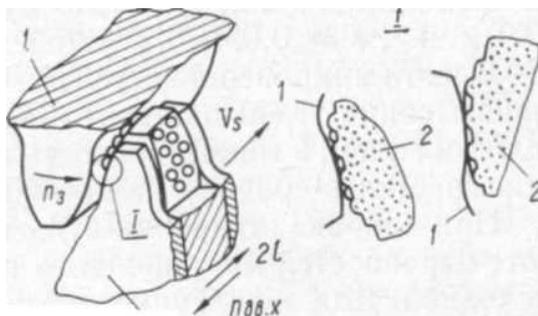


Рис. 8. Вібронакатування бокових поверхонь зубчастих передач

Вібронакатування здійснюється при обертанні оброблюваного колеса із частотою n_3 у зачепленні з інструментом, який здійснює повздовжні переміщення зі швидкістю V та коливальні рухи із частотою й амплітудою $2L$ уздовж утворюючих зубів коліс. Робоче зусилля деформування створюється гальмуванням зачеплення. Інструмент має вигляд зубчастого колеса з деформуючими елементами, розташованими на поверхні зубів. Ці елементи мають евольвентний профіль або сферичну форму і виконані із твердого сплаву. У ході обкатування інструментом 2 вінці оброблюваного зубчастого колеса 1 характер і умови деформування поверхні зубів у значній

мірі визначаються швидкістю ковзання деформуючих елементів відносно поверхні зубів оброблюваного колеса. Утворення повністю регулярного або частково регулярного мікрорельєфів на поверхні зубів оброблюваного колеса здійснюється деформуючими елементами зубів колеса-інструмента. Вібронакатування зубів забезпечує виправлення похибок евольвентного профілю, зменшення шорсткості поверхні й зміцнення поверхневого шару зубів.

Дослідженнями й практикою встановлені оптимальні значення параметрів режиму вібронакатування зубів: момент гальмування веденої ланки зачеплення до 100 Нм, частота осциляції інструмента впавши $n_{под.х} = 20...50$ Гц, $n_3 = 10... 150$ хв⁻¹, $S = 0,05...0,3$ мм/об.

Висота мікронерівностей поверхні зубів після вібронакатування зменшується у 5-6 разів у порівнянні із зубошліфуванням, а мікротвердість поверхонь зубів при цьому підвищується в середньому на 15-20 %.

При вібронакатуванні зубів коліс однорідність по висоті нерівностей мікрорельєфу поверхні у 3-7 разів вища вихідної. Для загартованих зубчастих коліс після їх вібронакатування оптимальна одержувана шорсткість за умови утворення необхідних масляних каналів становить $Ra < 1,25$ мкм, при цьому похибка евольвентного профілю зменшується у порівнянні з вихідною на 55-45 %. Відносна площа канавок становить $F = 30-33$ %. Вібронакатування забезпечує виготовлення зубчастих коліс 7-8-й ступенів точності, ресурс роботи яких підвищується в 1,2-1,5 рази.

Вібророзкатування застосовується для розвальцьовування труб. У порівнянні з механічною обробкою різанням розвальцьовування труб колекторів підвищує щільність з'єднань завдяки багаторазовій деформації. Підвищення поверхневої мікротвердості на 30-35 % у порівнянні з вихідною й розташування мікронерівностей у шаховому порядку у вигляді сітки, а не по гвинтовій лінії як при розгортанні, також сприяють підвищенню щільності вальцьовальних з'єднань.

У прокатному виробництві оптимізація мікрорельєфу за допомогою вібронакатування в сполученні зі зміцненням поверхневого шару металу дозволяє підвищити на 20-30 %

міцність при вигині й на 20-25 % міцність (у цьому випадку виступи висотою 20-25 мкм відіграють роль мікроребер). Запропоновано спосіб комбінованої обробки поверхонь у вузлах тертя з високими навантаженнями, що полягає в тім, що на металеву поверхню тертя із шорсткістю $Ra = 1...2$ мкм наносять антифрикційне покриття й після цього здійснюють вібронакаткування. Під дією створюваних накатним інструментом високих тисків у покритті й тонкому шарі металу основи відбуваються пластичні деформації. Матеріал покриття, вдавлюючись у мікрозападини поверхні основи й проникаючи в найтонший шар металу, сприяє формуванню антифрикційного поверхневого шару, що відрізняється від вихідного шорсткістю, структурою, мікротвердістю, величиною й знаком залишкових напруг, а також характеризується кращою адгезією до металу деталі. Такі зміни поверхневого шару деталей забезпечують підвищення зносостійкості. Так, деталі зі сталі 30ХГСН2А, титанових сплавів ВТ3-1 і ВТ-16 покриті кадмієм, нікелем, хромом або іншими покриттями на основі дисульфиду молібдену й піддані вібровигладжуванню кулею діаметром 4 мм, зусиллям $P = 400...700$ Н, з $S = 0,05...0,1$ мм/об; $2l = 1,5$ мм мають у поверхневому шарі залишкові стискаючі напруги відповідно 250, 350 і 550 МПа, при цьому мікротвердість поверхні зростає в середньому на 20-30 %. При даній обробці зносостійкість поверхонь істотно залежить від виду створюваного мікрорельєфу й від сполучення технологічних операцій покриття й вібронакаткування.

Пари тертя з титанових сплавів без покриття непрацездатні через швидке схоплювання. Нанесення покриттів на поверхні тертя в цьому випадку усуває явище схоплювання, однак зношування залишається високим. Вібронакаткування сталевих і титанових зразків з покриттями значно підвищує зносостійкість тертьових пар. Так, вібронакаткування з утворенням системи перерісаних і пересічених канавок площею 35-50 % підвищує зносостійкість пар тертя на 12-30 % залежно від матеріалу зразків і виду покриття. Застосування цього способу у виробництві високонавантажених болтів шарнірних з'єднань підвищило їхню довговічність в 2-4 рази.

Вібронакатування знаходить застосування для поліпшення виду деталей. Так, для заміни дорогого полірування корпусів і кришок виробів широкого вжитку впроваджений комплекс технологічного оснащення, що забезпечує одержання вібронакатуванням різних видів декоративних рельєфів на фігурних поверхнях виробів.

Активне управління процесами вібраційного накатування й обкатування створює необхідні умови для керування параметрами шорсткості й фізико-механічних якостей поверхні й поверхневих шарів, тобто створює практичні можливості покращання експлуатаційних якостей поверхонь деталей.

2. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Переваги методів вібраційного вигладжування, накатування, розкатування та обкатування перед звичайними методами обробки деталей.

2. Схеми та установки реалізації процесів вібраційних методів формування поверхневих шарів деталей.

3. Характеристики шорсткості поверхні та мікрогеометрії при різних способах обробки деталей.

4. Формування частково регулярного та повністю регулярного мікрорельєфу для підвищення зносостійкості поверхонь контакту спряжених поверхонь.

5. Режими обробки плоских та циліндричних поверхонь для забезпечення високої їх зносостійкості.

6. Формування внутрішніх напруг стиску в поверхневих шарах деталей.