

ЛЕКЦІЇ 5-6 ПРОЦЕСИ ОБКАТУВАННЯ ТА РОЗКАТУВАННЯ

1. ПРОЦЕСИ ОБКАТУВАННЯ ТА РОЗКАТУВАННЯ

Обкатуванням і розкатуванням обробляються циліндричні зовнішні й внутрішні, наскрізні або глухі, плоскі поверхні, колінчасті і шлицьові вали, бічні поверхні черв'яків, зубчастих коліс різьбові й інші фасонні поверхні.

Обкатуються деталі машин, які виготовлені із сирих і загартованих сталей, чавунів і кольорових сплавів. Операція виконується за допомогою роликів, кульок або інших деформуючих інструментів, закріплених у відповідних пристроях на токарних, свердлильних, зубооброблюючих і інших універсальних або спеціальних верстатах.

Обкатування може здійснюватись кульковим інструментом або роликами (рис. 1).

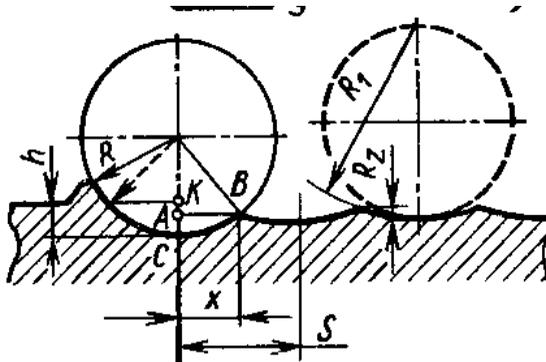


Рис. 1. Обкатування поверхні кульковим інструментом

Обкатування застосовується у всіх видах виробництва і різних галузях народного господарства від приладобудування до важкого машинобудування. У цей час є значна кількість як універсальних, так і спеціальних конструкцій обкатного й розкатного інструмента й пристроїв, при виборі яких віддається перевага більш продуктивним інструментам і пристроям з

робочим елементом у вигляді ролика.

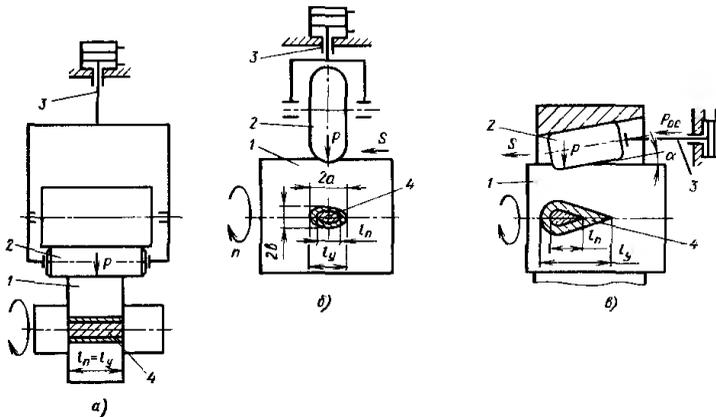


Рис. 2. Обкатування циліндричних поверхонь:
а) – циліндричним роликом; б) – торіодальним роликом;
в) – конічним роликом

Ролики контактують із оброблюваним виробом на більшій площі, чим кульки, і тому обкатування ведеться з більшою подачею. Пристрої з кульками дозволяють створювати більше інтенсивну пластичну деформацію при менших зусиллях обкатування. У зв'язку із цим кулькові розкатки й обкатки можна рекомендувати для умов обробки при малій твердості оброблюваної деталі або при обробці твердих матеріалів. Пристрої з обкатними кульками рекомендуються також для обробки малогабаритних поверхонь і отворів малого діаметра.

Все різноманіття розкатного й обкатного інструмента й пристроїв можна підрозділити на три основні групи: для накатування й обкатування прямолінійних і фасонних плоских поверхонь, для обкатування зовнішніх циліндричних і фасонних поверхонь тіл обертання й для розкатування циліндричних і фасонних отворів.

Прикладом найбільш технологічної конструкції пристрою для обкатування зовнішніх циліндричних поверхонь може служити обкатний роликовий пристрій, показаний на рис. 3.

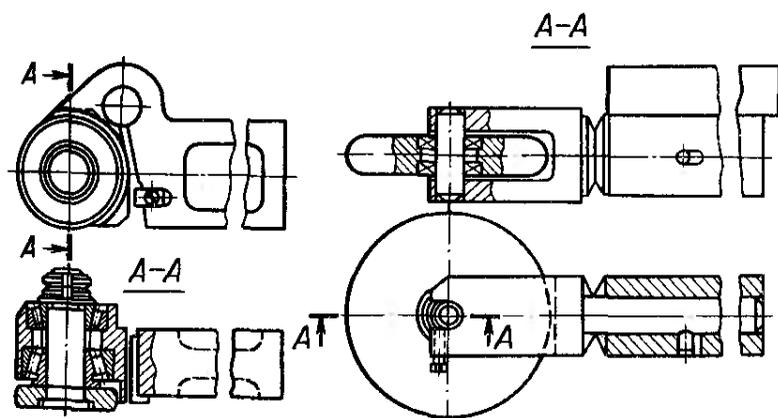


Рис.3. Інструмент для обкатування зовнішніх циліндричних поверхонь.

Кільцевий обкатний ролик установлений на осі на голчастих роликах, які забезпечують гарне центрування й довговічність роботи. Від переміщення в осьовому напрямку ролик утримують два упорних шарикопідшипники. Ролик кріпиться в пружній державці. Це поліпшує процес обкатування, знижує шкідливі впливи на нього биття заготовки, неточностей верстата й мінливості жорсткості технологічної системи по довжині обробки. Зусилля обкатування встановлюються на підставі показань індикатора. Упор служить для обмеження надмірного прогину державки й запобігання її поломки. Робочий профіль ролика може бути тороїдальним, циліндричним і конічним. Тороїдальний ролик у перетині обкреслений дугою, радіус якої дорівнює 5-100 мм залежно від умови обкатування. Тороїдальний профіль має невелику площу контакту з поверхнею й це дозволяє створювати в оброблюваній деталі більші пластичні деформації при відносно невеликих зусиллях вигладжування й високої продуктивності обробки. Робочу поверхню ролика можна виконати також у вигляді бічної поверхні циліндра, конуса або інших більше складних за формою поверхонь.

Довжина утворюючого ролика циліндричної форми вибирається від 2-5 для обробки невеликих деталей, до 12-15 мм

і навіть до 24 мм для великих деталей і при високій жорсткості технологічної системи, але в кожному разі ця довжина не повинна перевищувати величину подачі. Циліндричний ролик з двох сторін має забірні конусні перехідні частини. Кут забірного конуса звичайно приймається 5° . Конус необхідно плавно з'єднати з циліндричною робочою частиною. При обкатуванні нешироких поверхонь і кільцевих канавок циліндричні ролики можуть працювати тільки з радіальною подачею. Їхні осі повинні розташовуватися під кутом порядку $0,5^\circ$ відносно заготовки. При такому повороті виникає контакт ролика із заготовкою каплевидної форми, що полегшує процес пластичної деформації й виключає утворення хвилястості за роликами. Циліндричні ролики звичайно вимагають більших зусиль обкатування і їх рекомендується застосовувати при обробці великих жорстких заготовок.

Ролики з конічною поверхнею по своїй ефективності займають проміжне положення між торідавальними й циліндричними. При невеликих кутах конуса, що лежать у межах від $1,5$ до $2,5^\circ$, досягається найбільша продуктивність, але зусилля вигладжування потрібні менші, чим при такій же продуктивності у циліндричних роликів. Збільшення кута конуса понад 5° зменшує ефект згладжування, вимагає зниження подачі, але при цьому досягається збільшення ступеня й глибини зміцнення поверхонь.

Для забезпечення високої якості обкатування необхідна ретельна обробка робочої поверхні ролика, а також забірних поверхонь конічних і циліндричних роликів. Шорсткість цих поверхонь повинна бути не вище $Ra = 0,32 \dots 0,08$ мкм. Твердість роликів повинна бути не нижче 62-65HRC. Вони виготовляються зі сталей ШХ15, Х12, ХВГ, 9Х и наплавляються твердими сплавами або можуть виготовлятися цільними твердосплавними.

Одним з важливих параметрів будь-якої форми ролика є його діаметр. Звичайно цей діаметр, а також загальна ширину ролика вибирають із технологічних і конструктивних міркувань. Можна приймати діаметр ролика виходячи з відношення діаметра деталі до діаметра ролика 1,5-2. При обробці деталей діаметром до 75 мм це відношення можна збільшити до 4. Щоб уникнути появи мікросліду на обкатаній поверхні це відношення

не повинне бути цілим числом.

Зусилля обкатування практично може досягати величин 50-100 кН. Його можна досягти за допомогою гідрофікованих пристроїв. Гідравлічні або пневмогідравлічні пристрої зручні ще й тим, що ними можна обкатувати конічні поверхні.

Для обкатування маложорстких деталей застосовуються обкатні пристрої із двома-чотирма рівномірно розміщеними навколо деталі роликами. Такі пристрої встановлюють на місце різцетримача верстата або на спеціальних напрямних.

Для розкатування наскрізних отворів типу гідроциліндрів широко застосовуються розкатні головки.

Розкатними головками можуть оброблятися як короткі отвори з радіальною подачею роликів, так і глибокі отвори довжиною до 500 мм.

При розкатуванні соосно розташованих по довжині двох отворів застосовуються дворядні розкатні головки. Якщо попередня обробка виконана не дуже якісно, то доцільно застосування розкатних головок з розміщенням роликів на пружному елементі. Наявність пружного елемента дозволяє одержати більше рівномірне зміцнення отвору. В одиничних і дрібносерійних виробництвах використовують більш прості однороликові пристрої, які встановлюються в розточну державку й ними виконують розкатування відразу після розточування отвору. Відомий досвід закріплення осей роликів на спеціальній підставці, прикріпленої до кулачків трьошкулачкового патрона. Цей патрон закріплюється на борштанзі розточувального верстата і, таким чином, розкатування може здійснюватися з великим діапазоном регулювання.

Останнім часом одержують поширення комбіновані розточні інструменти для обробки звичайних і глибоких отворів, що включають у собі різальний і розкатний інструмент. Ефективність обкатування й розкатування залежить від режиму й характеру деформації, стану й властивостей матеріалу оброблюваної деталі, форми й розмірів деформуємої поверхні, ступеня нагрівання. З перерахованих факторів найбільше впливають зусилля й кількість циклів деформування.

На виробництві зусилля обкатування й розкатування в ряді випадків підбирають виробничим шляхом, для чого робиться

кілька проходів зі східчастим збільшенням навантаження на ролик. Спочатку виконується обробка деталі з невеликим навантаженням, потім збільшується навантаження до величини, при якій відбувається перезміцнення – поверхня лупиться, руйнується. Зменшивши на 10-15% це навантаження, одержують необхідну величину зусилля обкатування для даних умов (рис. 4).

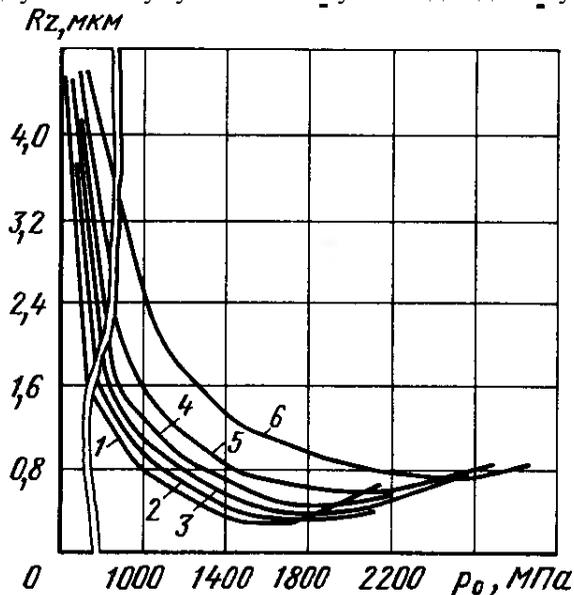


Рис.4. Залежність шорсткості обробки R_z від тиску p_0 кулькового інструменту
 1 – сталь 20; 2 – ШХ15; 3 – сталь 45; 4 – 20ХН3А; 5 – У8;
 6 – 18ХГТ

Другим за ступенем важливості параметром обкатування й розкатування, що визначає кількість циклів деформування, є подача (рис. 5). Чисельні значення величин подач для тороїдальних роликів залежать від профільного радіуса ролика, необхідної й вихідної шорсткості поверхні й кількості роликів у розкатному або обкатному пристроях.

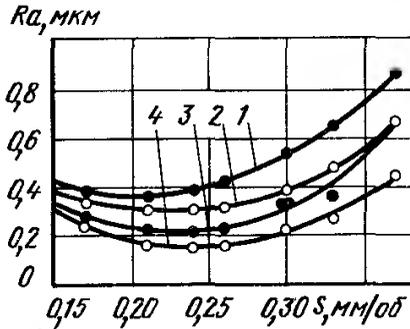


Рис. 5. Залежність шорсткості обробки Ra від подачі на оберт S
(діаметр ролика $D_p = 40$ мм, діаметр деталі $D = 130$ мм, сила обкатування $P = 1000$ Н, радіус ролика $r = 20$ мм)
1 – сталь 45; 2 – сталь 35; 3 – сталь 15; 4 – сталь 45Г2

Для одержання шорсткості поверхні $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм при обробці циліндричними роликами подачі приймаються рівними $0,3 B$, де B – ширина циліндричної ділянки ролика.

Зі збільшенням швидкості обкатування скорочується час впливу деформуючих напруг. Це прискорює утворення більше зміцненої структури поверхневих шарів матеріалу, але разом з тим зменшує глибину зміцнення, а у зв'язку з ростом температури в зонах контакту понад $180-200^\circ\text{C}$ інтенсифікуються процеси зменшення міцності. Швидкість обкатування приймається від $0,2$ до $2,5$ м/с. Вона лімітується умовами безвібраційної обробки, необхідної продуктивності, а для комбінованого інструмента – швидкістю обробки різальним інструментом.

Рекомендується виконувати обробку за один прохід, однак при підвищених вимогах до шорсткості обкатаної поверхні, а також зниженої жорсткості системи ВПД обробку виконують в 2-3 проходи.

Важливим параметром при розкатуванні є натяг, тобто величина перевищення діаметра розкатування над діаметром отвору заготовки (рис. 6).

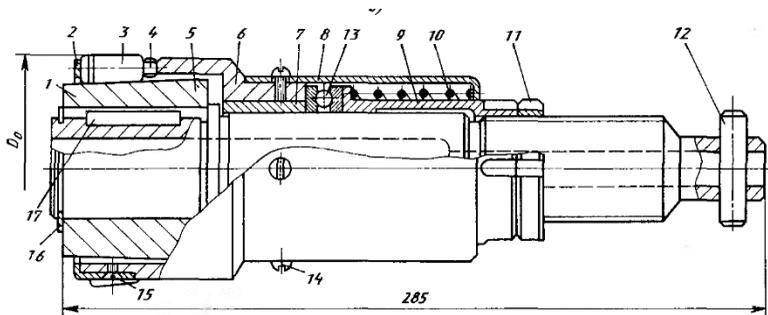


Рис. 6. Конструкція розкатного інструмента

Практично величина натягу встановлюється дослідним шляхом і повинна перебувати в діапазоні 0,005-0,1 мм для розкатування отворів діаметром 10-160 мм, причому чисельне значення натягу звичайно вище для більш пластичних матеріалів. Наприклад, якщо для пластичних сталей рекомендується натяг 0,025-0,05 мм при діаметрах розкатування 25-50 мм, то для більш твердих він повинен бути нижче: 0,02-0,03 мм. Величина подачі роликів розкатних головок призначається з розрахунку 0,1-0,5 мм/об для одного ролика. Швидкість розкатування вибирається так само, як і при обкатуванні.

Обкатування поверхонь всіх матеріалів, крім чавуну й міді, рекомендується вести із МОР. Для обкатування сталей у якості МОР використовуються машинне масло І-20, у яке іноді додається 2-3 % олеїнової кислоти, або суміш 50 % гасу із сульфозфрезолом, а при обкатуванні сплавів алюмінію – гас.

Одержала велике поширення обробка плоских поверхонь накатуванням. Точність площин після накатування визначається в основному точністю попередньої обробки. Обробка площин кульковим і роликівим деформуючим інструментом може виконуватися на будь-яких стругальних і фрезерних верстатах (рис. 7). Одноролькові й однокулькові оправки зажимаються в супортах або головках і їхня подача здійснюється рухом стола уздовж або поперек оброблюваної площини. Багатокулькові головки закріплюються в шпинделях фрезерних верстатів і

приводяться в обертання при русі стола із закріпленою оброблюваною деталлю.

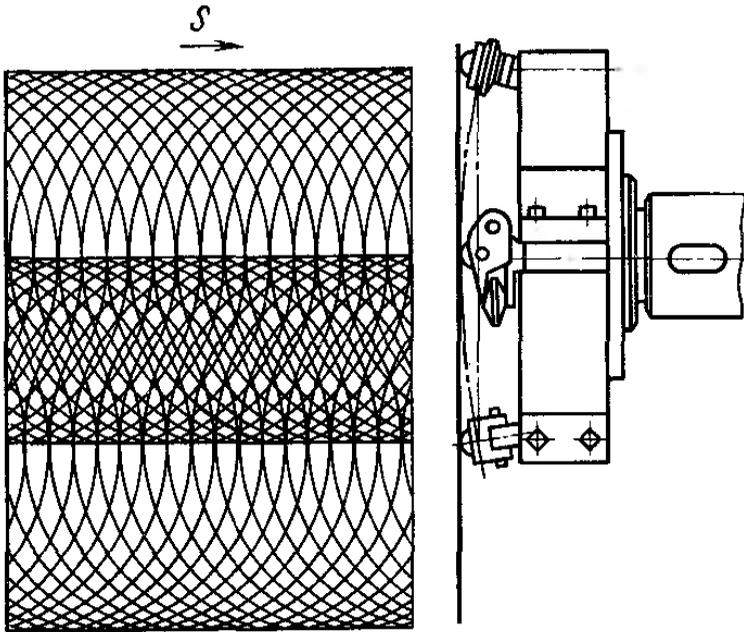


Рис. 7. Процес накатування плоских поверхонь

Під накатування поверхні обробляються фрезеруванням або струганням до шорсткості $Rz = 20 \dots 6,3$ мкм. Після накатування однороликовими або однокульковими інструментами шорсткість поверхні знижується до $Ra = 0,63 \dots 0,08$ мкм, а багатоккульковими головками – до $Ra = 1,25 \dots 0,16$ мкм.

Діаметри кульок залежно від вимог точності й шорсткості, а також матеріалу деталей беруться в діапазоні 12-32 мм, діаметри роликів і радіуси округлення їхніх робочих частин приймаються відповідно 60-240 і 50-200 мм.

Для одержання мінімально можливої шорсткості поверхні обробка ведеться з подачею 0,05-0,2 мм при діаметрі кульок 17-18 мм. При збільшенні діаметра кульок подача трохи збільшується. Швидкість кочення кульок при цьому повинна бути для чавуну не вище 2,5 м/с, а для сталі – 3,5 м/с. Тиск кульки або ролика на чавунну поверхню не повинне перевищувати межа міцності чавуну (600-650 МПа). При обробці сталевій поверхні цей тиск повинний перевищувати межу міцності оброблюваної сталі на 12-16 %.

Якість поверхні й фізико-механічні властивості поверхневих шарів при обкатуванні, розкатуванні залежать від фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, вихідної шорсткості поверхні, подачі, зусилля деформування, розмірів і радіуса деформуючого елемента, числа робочих ходів. Звичайно розмір при обкатуванні валів зменшується, а при обробці отворів збільшується. Зміна розміру обробки визначається величиною залишкової пластичної деформації й висотою шорсткості Rz , що утвориться в ході обкатування.

Величина залишкової пластичної деформації позначається на точності обробки. Якщо обкатуються точні вали невеликих розмірів, то пластична деформація охоплює майже весь їхній обсяг і величина h може бути порівнянна з точністю 6 квалітету. При виготовленні деталей діаметром до 250 мм 8-9 квалітетів і деталей всіх діаметрів 6-7 квалітетів необхідно залишати при попередній обробці припуск під обкатування. Припуски, що рекомендують, наведені в табл. 1, де представлені дані про зміну розмірів сирих сталевих деталей залежно від вихідної шорсткості й способу її одержання.

Таблиця 1

Зміна розміру оброблюваної деталі при обкатуванні та розкатуванні залежно від шорсткості вихідної поверхні

Спосіб попередньої обробки	Шорсткість вихідної поверхні, мкм	Зміна розміру після обробки, мкм
Точіння	10-5	0,03-0,06
	5-2,5	0,02-0,04
	2,5-1,25	0,01-0,02
Точіння широким різцем	5-2,5	0,01-0,02
	2,5-1,25	до 0,01
Шліфування	5-1,25	0,01-0,03
	2,5-1,25	0,005-0,015

Деталі 8-9 квалітету діаметром більше 250 мм, деталі 10-11 квалітету й інші менш точні деталі можна піддавати обкатуванню після виготовлення їх по остаточних розмірах обробки. Збільшенням зусилля обкатування можна впливати на величину залишкової пластичної деформації й, отже, на точність обробки.

Варто враховувати, що з ростом зусилля обкатування й розкатування похибки наприкінці обробки збільшуються за рахунок більше інтенсивного переміщення металу уздовж осі обробки й для зниження цього явища варто зменшити зусилля обкатування або збільшити профільний радіус ролика або радіус кульки.

Обкатування й розкатування дозволяє частково зменшити похибки геометричної форми деталі. Зниження хвилястості й овальності може досягати 10-30 %. Воно дозволяє частково або повністю зняти з поверхні ряд дефектів, отриманих у процесі виконання попередніх операцій. Обкатуванням можна досягти шорсткості поверхні $Ra = 1,25 \dots 0,04$ мкм, а в окремих випадках – одержати плоскі й сферичні дзеркальні поверхні з високим коефіцієнтом відображення (наприклад, на дзеркалах з

алюмінієвих сплавів). У виробництві обкатування звичайно використовується як один з високопродуктивних способів зниження шорсткості. Всі параметри режиму й умов обкатування роблять істотно впливають на шорсткість поверхні.

Чим вище вихідна шорсткість, тим більше потрібне зусилля обкатування. Підвищення зусилля обкатування ефективно лише до певної величини. Подальше збільшення пластичних деформацій приводить до підвищення шорсткості в результаті руйнування поверхні й перекручування мікропрофілю. Для одержання заданої шорсткості поверхні потрібно забезпечити оптимальне зусилля обкатування.

При розкатуванні величину радіального зусилля визначає натяг. Так, при розкатуванні отворів у деталях зі сталі 20 найменша шорсткість забезпечується натягом 0,2 мм. При натягах 0,3 мм з'являється хвилястість поверхні, а при 0,4 – шелушіння. Для більше твердої сталі 40X гранично припустимий натяг 0,3 мм, дуралюміній же варто розгортати при натягу в межах 0,1-0,15 мм.

Сам профіль шорсткості й мікрорельєф поверхні, утворені обкатуванням, з погляду експлуатаційних властивостей поверхні, значно краще, ніж профіль і мікрорельєф утворені методами різання. В 1,5 рази можна підвищити твердість деталей із силуміну й латуні, титанових сплавів – до 20 %. Підвищення твердості різних сталей і сплавів визначається як властивостями оброблююмого матеріалу і умовами обкатування. З останніх найбільше впливає зусилля обкатування, а точніше, створюване їм напружений стан у ході пластичної деформації. Для кожного випадку існує оптимальна величина зусилля обкатування, що забезпечує максимальний приріст поверхневої твердості.

Найбільше значення мікротвердості в обкатаних зразків спостерігається на невеликому видаленні від поверхні, порядку 0,3-0,4 мм. Далі, углиб деталі, воно плавно знижується й досягає твердості основної маси металу. Глибина зміцнення визначається зусиллям обкатування. Так, при обкатуванні кулькою діаметром 10 мм деталі зі сталі У8А с зусиллями 0,5; 1; 2 і 3 кН глибини зміцнення відповідно дорівнювала 0,83; 1,15; 1,7 і 2 мм.

Обкатування поверхні роликками або кульками викликає багаторазове деформування кожної ділянки поверхневого шару й

супроводжується значним ростом щільності дислокацій, що підвищує питомий обсяг деформованого поверхневого шару. Взаємодія поверхневих шарів з нижче лежачими шарами основного матеріалу приводить до зростання залишкових поверхневих напруг. Знак і величина залишкових напруг визначаються сполученням параметрів деформації, інтенсивно породжуваних цією деформацією теплових процесів і величиною залишкових напруг від попередньої обробки. Режим обкатування й умови деформування повинні бути такими, щоб у поверхневому шарі створювалися залишкові напруги стиску. Їхній максимум може розташовуватися або на поверхні деталі, або на деякій відстані від її. Зрушення максимуму залишкових напруг углиб найбільш імовірний при обкатуванні деталей великого діаметра, а також при обкатуванні з підвищеними швидкостями. Високий градієнт термічних напруг викликає зниження залишкових напруг у поверхні деталі.

Характер розподілу й величини залишкових напруг у поверхневому шарі багато в чому визначають надійність роботи деталей машин в експлуатації. Установлено, що стискаючі залишкові напруги зростають при обкатуванні більше міцних і твердих сталей. Так, у міру підвищення твердості НРС сталі 45ХН2МФА від 37-39 до 42-43 і 52-54, тобто при переході від структури сорбіту до трооститу й мартенситу, залишкові напруги стиску від обкатування збільшуються відповідно від 1550 до 1800 і 2300 МПа. Для незагартованих сталей залежно від умов обкатування ці напруги менше й можуть досягати значень від 20 до 80 МПа. Загальна глибина їхнього залягання коливається від декількох десятків часток міліметра до 3-5, а при обробці великих деталей – до 20-30 мм.

Крім властивостей і структурного стану матеріалів, що оброблюються, на величину залишкових напруг впливають параметри режиму обробки. Так, при високих тисках, коли має місце перенапруга, повторні робочі ходи знижують величину залишкових напруг. Якщо тиски за своїм значенням близькі до оптимальних, то після 2-3 робочих ходів максимальне значення й градієнт напруг зростають. При більше низьких тисках число ходів, при якому спостерігається ріст напруг, збільшується тим більше, чим нижче тиск. Однак після досягнення певної межі

наступні робочі ходи знижують напруги.

Напруги стиску, створювані процесами обкатування, розкатування й накатування в поверхневих шарах можуть довгостроково зберігатися в умовах нормальної експлуатації машин. Релаксація залишкових напруг починається в той момент, коли сумарні, залишкові напруги перевищать межу пружного опору матеріалу. При циклічних напругах, що перевищують більш ніж на 70 % границю витривалості обкатаних зразків, настає релаксація залишкових напруг.

Стійкість залишкових напруг зберігається при нагріванні до певних критичних температур як вуглецевих, так і жароміцних сталей і сплавів. Однак є поріг нагрівання, після якого починається релаксація залишкових напруг, зниження поверхневої твердості. Величина цього порога визначається ступенем жароміцності матеріалу. Так, для звичайних вуглецевих сталей при нагріванні до 150 °С залишкові напруги знижуються на 15-20 %, а при більше високих температурах взагалі зникають. Для сплаву НХ77ТЮ повне зняття зміцнення не спостерігається навіть при 900 °С. Зміцнюючі деталі, призначені для роботи при підвищених температурах, варто враховувати температурний поріг їхнього матеріалу. Якщо робочі температури вище порога релаксації залишкових напруг, то застосовувати зміцнення деталей обкатуванням недоцільно.

Після обкатування загартованих сталей 18Х2НВА, 38ХС, 45ХН2МФА границя витривалості зростає на 18-55 %. При цьому твердість цих сталей збільшується на 8-19 % і з'являються залишкові стискаючі напруги в діапазоні 1500-2300 МПа.

Обкатуванням підвищується границя витривалості й довговічності хромованих, борованих, азотованих або цементованих деталей машин. Значне усунення обкатуванням поверхневих дефектів деталі зменшує шкідливий вплив середовища на сталостну міцність, утруднюючи доступ рідкому й газовому активному середовищам углиб металу.

Підвищення обкатуванням, розкатуванням і накатуванням сталостної міцності пояснюється сприятливим впливом зміцнення, залишкових напруг стиску, зменшенням у поверхневому шарі локальних мікронапруг.

При обкатуванні підвищуються контактні витривалість і твердість у з'єднаннях деталей машин. Обкатані поверхні більше зносостійкі, чим поверхні, які утворені лезовим або абразивним інструментами. Так, при дослідженні впливу обкатування на зношування зразків зі сталі 14X2H3MA в глинистому розчині отримане зниження зношування на 50-57 % обкатаних зразків у порівнянні зі шліфованими.

Плавний округлений рельєф поверхні, підвищена твердість і контактна твердість поверхневого шару істотно знижують період припрацювання пар тертя. На інтенсивність же сталого процесу зношування обкатування може впливати по-різному. Інтенсивність зношування залежить від сумісності пари тертя, тобто від здатності поверхонь пари тертя пристосовуватися друг до друга. Практикою встановлено, що для зниження інтенсивності зношування необхідно обкатувати тільки одну з поверхонь тертя. Це особливо ефективно, коли зношування протікає в агресивному середовищі.

Висока ефективність обкатування спостерігається тоді, коли зношування супроводжується циклічними навантаженнями, коли потрібно від поверхонь тертя відсутність поверхневих дефектів, плавний мікрорельєф, висока твердість. Так, в умовах роботи зубчастих передач при значних циклічних навантаженнях, обкатування підвищило зносостійкість в 1,8-2 рази в порівнянні із зубошлифуванням і в 3 рази в порівнянні із зубодовбанням.

Велике зношування в період припрацювання, властиве поверхням, отриманим різанням з гострими вершинами мікронерівностей, при контактуванні обкатаних поверхонь практично відсутній. Обкатування, згладжуючи мікрорельєф, усуває цей вид руйнування поверхонь. Обкатуванням можна не тільки згладити, але й створити регулярний мікрорельєф, що накатується інструментом у вигляді роликів з рельєфними деформуючими інденторами на робочій поверхні. Такі рельєфні ролики застосовують для обробки деталей типу тіл обертання – на токарних, а плоских деталей – на стругальних верстатах. Занурювання індентора в поверхню оброблюваної деталі супроводжується зміцненням шарів металу, що перебувають у контакті з ним. При відповідному підборі геометричної форми інденторів, глибини їхнього занурення, а також розмірів

рельєфного накатного ролика й розміщення на ньому системи інденторів, кожний отриманий таким шляхом виступ рельєфної поверхні охоплюється шаром деформаційно-зміцненого металу, що зберігає в обсязі виступу залишкові напруги стиску, сформовані при деформації. Підвищення навантажувальної здатності виступу за рахунок зміцнення й виникнення напруг стиску в обсязі цього виступу пропорційно різниці залишкових дотичних напружень зміцненої й вихідної поверхні.

Так, після накатування рельєфними роликами чавунних напрямних повністю відсутнє схоплювання й значно знизилася інтенсивність зношування. Оптимальним по зносостійкості виявився рельєф із площадками довжиною 4 мм і каналами шириною й глибиною 0,3-0,4 мм. Накатуванням рельєфними роликами контактних поверхонь замків компресорних лопаток газотурбінних двигунів було досягнуто істотне зниження інтенсивності фреттинг-корозії й підвищення міцності лопаток при циклічному навантаженні. Розглянутий спосіб утворення регулярного мікрорельєфу поверхонь використаний для підготовки титанових деталей під металеві й тверді покриття. При цьому покращився зв'язок покриттів з матеріалом деталей, що підвищило опір покриття зрушенню. Шарніри з торованими рельєфними роликами поверхнями втулок на шасі літака АН-28 при літних випробуваннях показали ресурс в 4 рази вище ресурсу шарнірів з безперервними гладкими поверхнями втулок. Статистичні дані ремонтних підприємств по зносостійкості зміцнених поверхонь шарнірів шасі літака ТУ-134 свідчать про можливість подвоєння їхнього міжремонтного ресурсу.

У нерухомих з'єднаннях деталей з титанових сплавів, підданих фреттинг-корозії, цей спосіб зміцнення доцільно сполучати з нанесенням металевих або твердомасильних покриттів, а на поверхнях з конструкційних сталей – з хіміко-термічною обробкою.

Інструмент для рельєфного накатування поверхонь тертя виготовляється у вигляді однорядних або багаторядних роликів зі сталі ШХ15 методом холодного накатування. Кут загострення інденторів становить 55-60°, радіус округлення – 0,1 мм. Термічна обробка проводиться по загальноприйнятій для даної сталі технології.

Навантажувальна здатність поверхонь деталей із чавуну, бронзи, титана й сталі зростає в результаті рельєфного накатування на 30-80 %. Ефект підвищення навантажувальної здатності такого регулярного мікрорельєфу поверхні, утвореної різанням або електричним травленням, менше в порівнянні з пластичним деформуванням відповідно на 50 і 70 %. Рациональне сполучення матеріалу деталі, способу й режимів обкатування з умовами експлуатації деталі забезпечує крім зниження зношування також і скорочення циклу виробництва. Так, впровадження обкатування золотника сервомеханізму муфти зчеплення тракторів дозволяє виключити з технологічного процесу нітроцементацию. При цьому зносостійкість не уступає нітроцементованим золотникам.

Обкатування впливає також на магнітні, електричні властивості деталей приладів і машин. Останнім часом обкатування й розкатування одержує поширення при обробці поверхонь різей і зубчастих коліс. Нерухомі й рухомі нарізні сполучення знаходять саме широке застосування в сучасних машинах і механізмах. Якщо одержання різбових поверхонь невисоких ступенів точності не викликає особливих технологічних труднощів, то високопродуктивне виготовлення різей 4-5 ступенів точності із шорсткістю поверхонь витків $Rz = 6,3 \dots 3,2$ мкм пов'язано зі значними технологічними труднощами.

При нарізуванні різей можна одержувати високі ступені точності поверхонь. Шорсткість поверхонь витків $Rz = 20 \dots 6,3$ мкм залежить від геометрії інструмента й режимів роботи. Фізико-механічні властивості поверхонь витків при їхньому утворенні різальним інструментом характеризуються перерізанням шарів основного металу, деяким зміцненням западин і зменшенням міцності виступів витків під впливом високих температур у зоні різання, а також виникненням напруг розтягу. Це визначає й відповідні експлуатаційні якості таких різей, що характеризуються зниженою міцністю на зріз, швидким згладжуванням мікронерівностей поверхні витків під дією циклічних і знакозмінних навантажень, що приводить до порушення натягів нерухомих з'єднань, швидким зношуванням рухливих нарізних сполучень, низкою сталостною міцністю.

Застосування одне- або багатониточного шліфування

дозволяє значно підвищити точність виготовлення різьей і зменшити шорсткість поверхні витків до $Rz = 1,6...0,8$ мкм, однак практично не поліпшує фізико-механічні властивості поверхневих шарів. Накатування є прогресивним способом одержання гвинтових різьбових поверхонь за допомогою пластичного деформування поверхні металу деталі роликками, плоскими плашками або сегментами, профіль витків яких являє собою негативне відображення профілю різі. Накатування різьей в 3-10 разів більш продуктивно, ніж нарізання. Його відрізняє економічність, надійність нарізних з'єднань, низька шорсткість, плавний мікрорельєф поверхні витків і висока стійкість накатного інструмента. При накатуванні різьей метал витками не перерізується, а пластично деформується й має волокнисту текстуру, що різко збільшує міцність нарізного з'єднання. Волокна, особливо в западинах витків, не розірвані, а деформовані й вигинаються по профілю різі. Мікрорельєф поверхні при цьому характеризується шорсткістю $Rz = 3,2...0,4$ мкм із великою опорною поверхнею, більшими радіусами заокруглень, виступів і западин мікронерівностей і малих кутів нахилу їхніх бічних сторін. Межа міцності при розтягу накатаних різьей вище на 10-20 %, чим нарізаних, а міцність на зріз і стиск – на 18-23 %, що практично виключає випадки зриву витків різьей в експлуатації. Циклічна міцність накатаних різьей вище, ніж нарізаних, на 40% для вуглецевих сталей типу сталь 45 і на 60-100 % для високолегованих сталей типу 40ХНМА. Поверхнева твердість витків різьей збільшується на 30-50 %, а в ряді випадків на 100 %, що приблизно на 30 % підвищує їхній опір зношуванню в порівнянні з нарізаними, що особливо важливо для ходових гвинтів. Ступінь деформації досягає в області западини накатаних різьей 60-65 %. Глибина зміцненого шару для сталей перлітного класу становить близько 0,5 мм і залежить від закритого або відкритого профілю роликів і режимів накатування.

Особливий вплив на точність накатаної різі має точність діаметра й шорсткість поверхні заготовки під накатування, особливо при накатуванні роликками закритого профілю. Зміна шорсткості поверхні заготовки з $Rz = 40...20$ мкм до $Rz = 6,3...3,2$ мкм спричиняє зміну зовнішнього діаметра накатаної різі у

межах 0,02-0,04 мм. Для одержання різей 4-6 ступеня точності допуск на зовнішній діаметр заготовки повинен перебувати в межах 0,2-0,5 величини допуску на середній діаметр різі.

На точність накатаної різі впливає розсіювання твердості заготовок. Так, при накатуванні різей 8-го ступеня точності коливання твердості не повинне перевищувати 30НВ, 6-го ступеня точності – 20НВ, 4-го ступеня точності – 10НВ. На практиці важко забезпечити високу стабільність геометричних і міцнісних параметрів заготовок, тому накатування різей 4-6-го ступенів точності важко виконати й неекономічно.

Можливість стабільного одержання різанням високого ступеня точності різей й зміцнення її наступним обкатуванням роликками, дозволило з успіхом застосувати процеси обкатування й розкатування для одержання точних зовнішніх і внутрішніх поверхонь. Обкатування роликками попередньо нарізаних різей забезпечує значне підвищення сталостної міцності й зносостійкості різевих поверхонь, а також збільшує міцність витків на зріз і змінання, що в значній мірі підвищує надійність і довговічність нарізних з'єднань.

При обкатуванні різей, для створення найбільшого зміцнення в западинах, що є концентраторами напруг, кут профілю витків роликків приймається на 2-5° менше кута профілю різі. Величина зміцнення поверхні й глибина його поширення при обкатуванні різей залежить від припуску під обкатування, тиску, числа обертів деталі або інструмента, протягом яких відбувається остаточне формування різевої поверхні, способу виготовлення різей під обкатування й ряду інших факторів. Так, при обкатуванні на накатному верстаті западин попередньо нарізаної різі М12х1,5 роликками із зусиллям 7 кН на довжині 27 мм, із припуском на обкатування 30-90 мкм при двох обертах деталі твердість западин витків підвищилася із НВ 312 до НВ 342 для сталі 40ХНМА й із НВ 220 до НВ 262 для сталі 45.

Обкатування доцільно використовувати не тільки для поліпшення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів витків різей, але й для підвищення точності й зниження шорсткості поверхонь витків нарізаних різей.

Обкатування різей може бути здійснено такими способами:

- обкатуванням тільки зі змінанням мікронерівностей без помітної пластичної деформації поверхневих шарів металу самих витків;
- з переміщенням припуску в зону вершин витків;
- обкатування попередньо нарізаних різьблень із кутом профілю при вершині більшим 60° .

Обкатування різей другим способом призводить до збільшення на 30-40 % поля розсіювання середнього діаметра попередньо нарізаної різі, що практично не викликає істотної зміни точності різі. При цьому крутні моменти потрібні в три рази менші, чим при накатуванні тих же різей, а вихідна шорсткість поверхні витків значно знижується й лежить у межах $Rz = 1,6...0,4$ мкм.

Обкатування зубчастих коліс твердістю до 40HRC здійснюється із застосуванням МОР еталонними зубчастими колесами 5-6-й ступеня точності із шорсткістю поверхні зубів $Ra = 0,32...0,04$ мкм. Шорсткість попередньо обробленої поверхні зубів $Ra = 0,63...0,08$ мкм. При обкатуванні помітно поліпшуються параметри контакту й плавність ходу передачі, завдяки чому досягається 7-8-а ступінь точності. Обкатування однак не виправляє похібки кроку зубів, що виникають на попередніх зуборізних операціях. Для зубчастих коліс, що піддаються наступному загартуванню, обкатування не виконується, тому що після термічної обробки зміцнення поверхні зникає. При виготовленні цементованих загартованих зубчастих коліс обкатування шкідливо й неприпустимо, тому що, що в процесі пластичного деформування в поверхневих шарах утворюються мікротріщини і відшаровування поверхнево деформованого цементованого й загартованого шару.

Обкатування здійснюється на обкатних або горизонтально-фрезерних верстатах у спеціальних пристосуваннях. У процесі обкатування для рівномірної обробки обох сторін зубів здійснюється періодичне реверсування зі зміною напрямку обертання обкатування деталей. У процесі обкатування залежно від твердості деталі і необхідної шорсткості кількість реверсів

може змінюватися від 3 до 25, а час обкатування – від 10 до 40 с.

Недоліком процесу обкатування є деяке викривлення профілю зубів, а також нерівномірність зміцнення за рахунок різниці в ковзанні бічних поверхонь зубів евольвентного профілю накатника й оброблюваного колеса, причому біля ніжок і вершин зубів швидкості ковзання найбільші. При тривалому обкатуванні профіль зубів погіршується й може виникнути перезміцнення поверхневих шарів у результаті багаторазового їхнього деформування, при цьому шорсткість поверхні трохи збільшиться. Обкатуванням з додержанням режиму обробки й застосуванням якісних еталонних колес-обкатників точність зубчастих коліс може бути стабільно забезпечена в межах 7-8-го ступеня, а в ряді випадків і 6-го, а шорсткість поверхні $Ra = 0,63...0,08$ мкм.

Для незагартованих зубчастих коліс застосовується процес шевінг-обкатки, що об'єднує в собі різання поверхні зубців круглим шевером і зміцнення їх способом поверхневого пластичного деформування зубчастими обкатниками. Для обробки обох сторін зуба виконується реверсування обертання шевера, що перебуває у кінематичному зв'язку через оброблюване колесо із двома зубчастими обкатниками. Залежно від модуля й числа зубів оброблюваного колеса кількість обертів у ту чи іншу сторону складає декілька десятків при тривалості обробки 6-10 с на один зуб.

Для обробки прямозубих циліндричних зубчастих коліс застосовується прямозубий шевер зі спіральними канавками, а для косозубих коліс – косозубий шевер з канавками, перпендикулярними до осі колеса. Зміцнюючим інструментом є два загартованих еталонних зубчастих колеса-обкатника зі шліфованими й полірованими зубами. Припуск на шевінг-обкатку залишається не більше 0,1 мм на сторону зуба. Шевінг-обкаткою можна виправити окремі дефекти нарізаних коліс, при цьому перекручування профілю, властиве процесу звичайного обкатування, буде меншим, і можна стабільно одержувати зубчасті колеса 6-7-го ступенів

точності.

Обробка зубчастих коліс модулем понад 2,5 мм, що мають широкі вінці, здійснюється на спеціальних установках одночасно двома роликками. Спеціальний механізм забезпечує необхідне притиснення роликів до оброблюваного колеса і їхню подачу для обкатування уздовж осі колеса на ширину вінця. Після обкатування двох западин колесо повертається на один крок. Ролики мають профіль, що строго відповідає профілю западини. Таким методом зберігається точність, досягнута процесами попереднього нарізування, а шорсткість витків знижується до $Ra = 0,63...0,32$ мкм і забезпечується зміцнення бічних поверхонь зубів зі створенням у поверхневих шарах незначної волокнистої текстури й напруг стиску. На 35-40 % підвищується межа витривалості крупномодульних зубчастих коліс із термообробленої сталі 34ХН1М. Результатом зміцнення цих коліс є збільшення їхньої довговічності в 2-4 рази.

2. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Процеси обробки обкатуванням і розкатуванням циліндричних зовнішніх й внутрішніх, наскрізних або глухих, плоских поверхонь, колінчастих і шлицьових валів, бічних поверхонь черв'яків, зубчастих коліс та інших фасонних поверхонь.

2. Конструкції інструментів для обкатування та розкатування.

3. Режими обробки поверхневим пластичним деформуванням та вихідні показники якості обробки деталей з різними фізико-механічними характеристиками.

4. Зміни фізико-механічних характеристик деталей виконанням методів обкатування та розкатування.

5. Формування накатних різей.

6. Підвищення працездатності зубчастих коліс після виконання процесів накатування.