

Лекція 1.

ФІНІШНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ АЛМАЗНИМ ВИГЛАДЖУВАННЯМ І ВІБРОВИГЛАДЖУВАННЯМ

1. ПРОЦЕСИ АЛМАЗНОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ ТА ВІБРОВИГЛАДЖУВАННЯ

Алмазне вигладжування є одним з найбільш простих способів поверхневого пластичного деформування. Його відрізняє висока продуктивність і стійкість інструмента – вигладжувача. Вигладжуванням досягається шорсткість $Ra = 0,32...0,1$ мкм і навіть дзеркальний блиск поверхні. Зростає мікротвердість і в поверхневому шарі створюються стискаючі залишкові напруги. Вигладжуванням можна знизити в 2-3 рази шорсткість поверхні, домогтися більшої структурної однорідності поверхневих шарів оброблюваного матеріалу. Дуже важливо, що вигладжування змінює сам рельєф вихідної поверхні: згладжуються гострі вершини й западини, що виникли при точінні або шліфуванні, значно збільшується фактична опорна поверхня. Як правило, вигладжування зберігає точність форми й розмірів деталей, отриманих на попередніх операціях.

Алмазним вигладжуванням легко обробляються загартовані, цементовані, азотовані й покриті твердими гальванічними покриттями деталі. Процес протікає при зусиллях від 50 до 350 Н, що дозволяє обробляти тонкостінні й маложорсткі деталі.

Процес алмазного вигладжування кінематично аналогічний точінню, тільки замість різця застосовується алмазний вигладжувач, що, пластично деформуючи тонкий поверхневий шар, вирівнює його й зміцнює. Матеріалом робочої частини є природний або синтетичний алмаз, який забезпечує коефіцієнт тертя по незмазаній поверхні порядку 0,05. Поверхня алмазного вигладжувача полірується до шорсткості $Ra = 0,2$ мкм. Вигладжувачі можуть також виготовлятися із синтетичних рубіна й лейкосапфіра, мінералокераміки, твердих сплавів і загартованих інструментальних сталей. Стійкість алмаза при вигладжуванні значно перевершує стійкість перерахованих матеріалів і може досягати 10-30 годин машинного часу.

Конструкції вигладжувачів нормалізовані. Вони

виготовляються у вигляді гладкого циліндра або циліндра з головкою, у торці яких запаюються або закріплюються механічно алмазні елементи (рис.1).

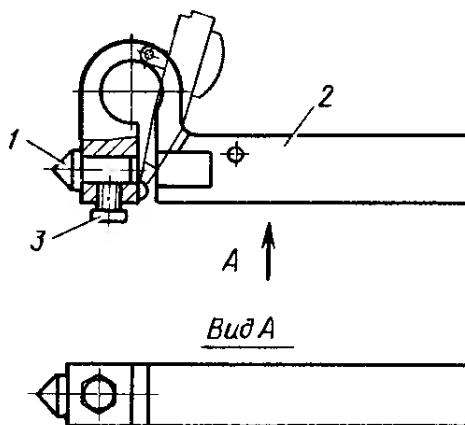


Рис. 1. Державка з механічно закріпленням вигладжувачим елементом

Відповідно до розмірів алмазів їх підрозділяють на дві марки. Більші, розміром до 6 мм, одержали назву баллас і умовно позначаються АСБ. Вони мають межу міцності на стиск 200-400 МПа, на вигин 500-1000 МПа. Їхня термостійкість на повітрі перебуває в межах 700-800 °С. Більше дрібні синтетичні алмази – карбонадо – мають форму циліндра діаметром 2-4,5 мм із висотою 2-5 мм і умовно позначаються АСПК. АСПК має майже у два рази більшу міцність на стиск і трохи вище термостійкість, чим АСБ.

Якщо для вигладжувачів використовуються природні алмази, то їхні кристали повинні мати масу не менше 0,4 карати. Ці кристали можуть бути орієнтовані двома способами: 1) робоча частина алмаза формується в площині сітки ромбододекаедра так, щоб напрямок найбільшої міцності збігався з вектором швидкості; 2) робоча частина формується в площині сітки куба, а вісь найбільшої міцності повинна збігатися з напрямком сили, що

діє на вигладжувач. Перший спосіб орієнтації застосуємо в умовах переважного стирання, другий – в умовах підвищених навантажень, що викликають в алмазі напруги стиску.

Геометрична форма робочої поверхні алмазного вигладжувача визначається формою робочої поверхності та умовами роботи. Алмазному вигладжувачу може надаватися форма сфери, бічної поверхні циліндра або конуса, ділянки поверхні тора тощо (рис. 2).

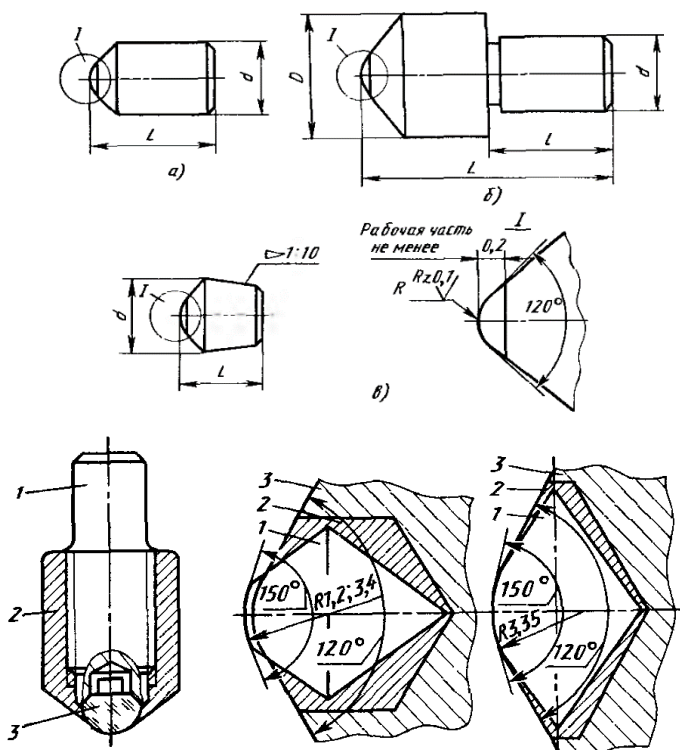


Рис. 2. Інструменти для вигладжувачів

З перерахованих форм робочої поверхні найбільше поширення одержала сферична.

При використанні для вигладжування зовнішніх поверхонь тіл обертання токарних верстатів, вигладжувач закріплюється в

державці різцетримача верстата або в спеціальному пристосуванні, що використовується замість звичайного різцетримача. Загальними вимогами до всіх пристроїв для закріплення вигладжувачів є можливість регулювання зусилля вигладжування й наявність рухомого елемента. У цьому пристрої (рис. 3) вигладжувач 9 кріпиться гвинтом 8 у підпружиненому плунжері 7. Пружина 5 утримується в корпусі 4 гайкою 6. Другим кінцем пружина через упор 3 зв'язана з мікрометричним гвинтом 2.

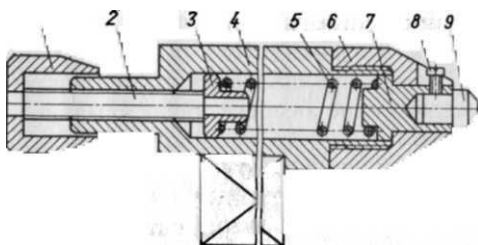


Рис. 3. Вигладжувач для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь

Поворотом цього гвинта маховичком 1 регулюється зусилля вигладжування.

Відомі конструкції пристосувань, у яких зусилля вигладжування створюється електромагнітами, постійними магнітами, гідравлічними циліндрами тощо. При вигладжуванні в умовах схильності технологічної до вібрацій рекомендується вводити в конструкції пристосувань механічні або гідравлічні елементи демпфування.

Для підвищення продуктивності вигладжування, поліпшення якості, рівномірного розподілу зусилля вигладжування застосовуються пристрої із двома, трьома й навіть чотирма вигладжувачами. В умовах крупносерійного і масового виробництва застосовуються верстати-автомати, що здійснюють безцентрове алмазне вигладжування.

Ефективність зміцнення алмазним вигладжуванням багато в чому залежить від правильного вибору основних його

параметрів. Радіус сфери вигладжувача вибирається в залежності від твердості поверхні обробки. При вигладжуванні сталевих загартованих деталей цей радіус не повинен перевищувати 1,5 мм. Для деталей, твердість яких менше й лежить у межах 35...50HRC, радіус R вигладжувача повинен становити 1,5-2,5 мм. Для інших сталей і кольорових сплавів радіус може бути збільшений до 2,5-3 мм.

Вигладжування здійснюється за рахунок пластичної деформації оброблюваної поверхні вигладжувачем під дією певного зусилля. Це зусилля повинне бути оптимальним, тому що при недостатньому зусиллі не будуть згладжені гребінці від попередньої операції, а при надмірно великому зусиллі знижується стійкість інструмента й погіршується якість вигладжування. Зусилля вигладжування можна визначати за формулою $P = KHV [DR/(D + R)]^2$, де K – коефіцієнт, який дорівнює 0,013 для загартованих сталей, і 0,008 – для матеріалів середньої й невисокої твердості; HV – поверхнева твердість оброблюваної поверхні; D – діаметр оброблюваної поверхні; R – радіус робочої поверхні вигладжувача.

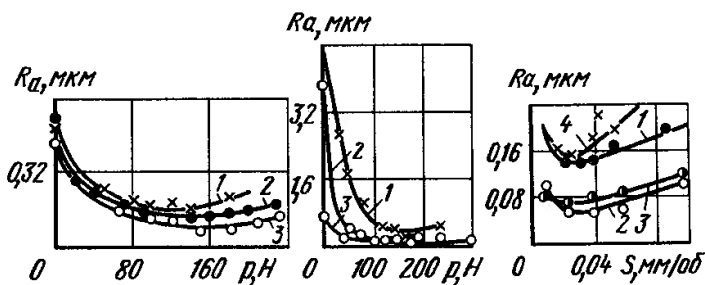


Рис. 4. Залежність шорсткості обробки від зусилля вигладжування та подачі на оберт для різних матеріалів

Елементом режиму вигладжування є також швидкість обертання оброблюваної деталі або (рідше) вигладжувача. Якщо немає погрози вібрації, її можна призначати до 3-5 м/с. Обмеженнями тут є вібростійкість системи ВПД і температура вигладжування. При високій температурі різко знижується стійкість вигладжувача й тому варто працювати із застосуванням МОТС. Температура впливає й на ступінь зміцнення із цього

погляду оптимальна температура 80-120 °С. Режими вигладжування дані в табл. 1. Для підвищення продуктивності при обробці великогабаритних штоків, шпинделів запірних арматур і інших подібних деталей рекомендується застосовувати вигладжувачі з робочою поверхнею у вигляді бічної поверхні циліндра радіусом Ra . Вісь цього циліндра повинна бути нахилена під кутом щодо площини, перпендикулярної до осі деталі, тобто осі вигладжувача й заготовки схрещені.

Таблиця 1

Рекомендовані режими алмазного вигладжування

Оброблюваний матеріал	Твердість HV	Шорсткість Rz, мкм		Режими вигладжування		
		Вихідна	Після вигладжування	R, мм	S, мм/об	P, н
Сталь 45	180	3,5	0,5	3,4	0,08	100
12X18H9T	180	15,2	0,5	3,4	0,08	150-200
Сталь 20	301	9	2,75	3,25	0,057	250
2X13	471	1,7	0,3	1,4	0,057	150
ЗОХГСА	485	0,4	0,08	2,0	0,05	220
B12	498	2,45	0,8	1,4	0,057	250
ЭИ643	513	0,26	0,11	2,0	0,05	200
Сталь 45	580	2,4	0,65	1,2	0,03	140
ХВГ	598	1,65	0,55	1,00	0,035	240
P6M3	695	1,55	0,3	1,0	0,035	240
20X3МВФА	850	1,6-0,8	0,5-0,4	1,5	0,04	200

У спеціальних пристроях навколо поверхні, що вигладжується, варто закріплювати рівномірно по 2 або 3 вигладжувача. Так, застосування двох вигладжувачів забезпечує ріст продуктивності в 2,5-2,7 рази й зниження собівартості обробки в 2,5-2,6 рази в порівнянні з обробкою тієї ж поверхні одним циліндричним вигладжувачем. Режими вигладжування одночасно двома циліндричними вигладжувачами дані в табл.2.

Ці режими припускають поворот осі циліндра R щодо осі заготовки під кутом 45° і забезпечують шорсткість $Ra = 0,08...0,16$ мкм.

Таблиця 2

***Режими вигладжування подвійними циліндричними
вигладжувачами***

Матеріал	P , Н	S , мм/об	R , мм	V , м/с
14Х17Н2	170-200	0,4-0,45	2,8-3,0	1,3-1,7
08Х18Н10Т	200-220	0,35-0,64	2,5-2,8	1,2-1,5
25Х2М1Ф	180-200	0,4-0,45	2,7-2,9	1-1,5
38ХМЮА	190-210	0,4-0,45	2,7-3,0	1,3-1,7
30ХГСА	200-230	0,4-0,45	2,8-3,0	1-1,5
30ХГСНА	250-300	0,45-0,5	2,5-2,7	1,3-1,7
Хромові покриття	250-300	0,45-0,5	2,5-2,7	1,3-1,7

При оптимальному режимі вигладжування результат досягається за один прохід. Якщо зусилля вигладжування занижене, то 2-3 наступні повторні ходи можуть поліпшити якість поверхні. Щоб уникнути зниження продуктивності від застосування повторних ходів, а також з метою більш тонкого керування ступенем зміцнення, рекомендується застосування одночасне двох алмазних вигладжувачів. Найбільше зміцнення й найменша шорсткість поверхні досягається тоді, коли перший вигладжувач має $R_1 = 1-1,5$ мм і притискається із зусиллям $P_2 = 200...300$ Н, а другий – $R_2 = 1...4$ мм і $P_2 = 100...200$ Н. При цьому $S = 0,05...0,075$ мм/об і $V = 0,9...1,5$ м/с, МОР – індустріальне масло І-20А. Перший вигладжувач забезпечує формування найбільшого зміцнення поверхневого шару, тобто він працює на «твердих» режимах, а другий працює в режимі згладжування вже зміцненої поверхні.

Звичайно вигладжувач заглиблюється в поверхневий шар оброблюваної деталі не більш, ніж на 5 мкм. Для найпоширеніших у машинобудуванні деталей, точність яких відповідає 7-9 квалітету, таке заглиблення становить лише

незначну частину від поля допуску й тому не позначається на зміні квалітету точності.

Алмазне вигладжування істотно не впливає на зміни розмірів обробки, і не дозволяє суттєво знизити похибки геометричної форми оброблюваних деталей. Так, при алмазному вигладжуванні бігових доріжок роликів підшипників овальність зменшується на 0,4-1 мкм, а при вигладжуванні роликів – на 0,15-0,25 мкм. Майже на стільки ж знижується огранка роликів. Залежно від висоти вихідної шорсткості й зусиль вигладжування знижується висота хвилястості поверхні від 2-5 мкм до 1-3 мкм. Якщо на зміну точності алмазне вигладжування практично не позначається, то його вплив на зменшення шорсткості поверхні досить істотне. На величину й форму шорсткості вигладженої поверхні впливають радіус робочої поверхні вигладжувача, зусилля вигладжування, подача, кількість проходів, вихідна шорсткість і властивості оброблюваного матеріалу (рис. 5).

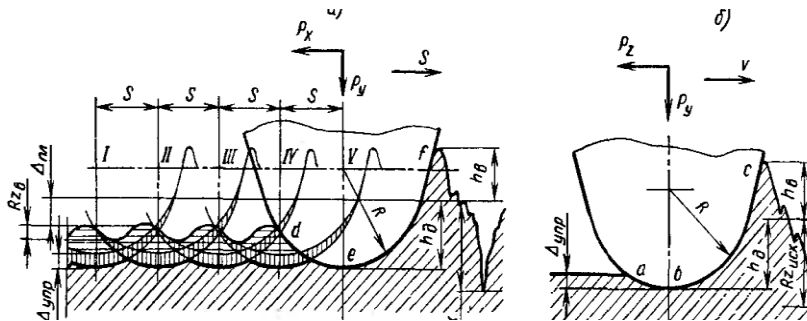


Рис. 5. Процес вигладжування поверхні

З перерахованих факторів найбільше впливає на ступінь шорсткості вигладженої поверхні зусилля вигладжування. При невеликих зусиллях вигладжування на поверхні можуть частково залишатися сліди шорсткості, при надмірно великих – залишаються помітні сліди пластичних деформацій, виникає перезміцнення, що супроводжується появою мікротріщин та

погіршенням показників шорсткості.

Другим за значенням фактором, що впливає на шорсткість, є подача. З її збільшенням від 0,02 до 0,1 мм/об шорсткість вигладженої поверхні зростає. Найменша шорсткість досягається, при подачах від 0,02 до 0,06 мм/об. Подальше зниження подачі може привести до росту шорсткості. Шорсткість знижується зі збільшенні радіуса вигладжувача при відповідному збільшенні зусилля вигладжування.

На результати вигладжування також впливає вихідна шорсткість поверхні заготовки, що для пластичних матеріалів заготовки становить $R_z = 20 \dots 10$ мкм, а для загартованих сталей – $R_z = 6,3 \dots 3,2$ мкм. Варто враховувати, що чим нижче вихідна шорсткість, тим легше досягти меншої шорсткості поверхні в ході вигладжування. Швидкості вигладжування й марка МОР на шорсткість впливають незначно.

При алмазному вигладжуванні зниження висотних параметрів шорсткості супроводжується збільшенням відносної опорної довжини профілю t_p , відносної опорної частини площі t_i і радіуса скруглення мікронерівностей.

Дислокації утрудняють переміщення окремих частин кристалів по площинах ковзань і є причиною зміцнення матеріалу. При вигладжуванні збільшується питомий обсяг деформованого металу, розширенню якого перешкоджають нижчі шари металу, і виникають стискаючі залишкові напруги (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика мікрогеометрії поверхні деталі

Метод обробки	R_a , мкм	Радіус скруглення мікронерів- ностей, мкм	t_p , %	t_F , %
Тонке шліфування	0,16	70	4	1,5
	0,04	100	7	2,0

Полірування	0,16	200	18	5
	0,08	300	22	8
	0,04	400	30	15
Суперфінішування	0,08	350	25	8
	0,04	450	35	14
Алмазне вигладжування	0,16	1000	30	15
	0,08	1500	45	20
	0,04	2500	70	40
	0,02	3500	87	50

Ступінь зміцнення залежить від тиску, що виникає в зоні вигладжування, і пластичних характеристик матеріалу деталі. У м'яких матеріалів приріст твердості більше інтенсивний і він припиняється при тисках, менших у порівнянні з тисками для загартованих сталей. Так, найбільше підвищення поверхневої твердості, а отже, і зміцнення стали 12Х2Н4А досягається при зусиллі вигладжування, рівному 200 Н. При незмінному зусиллі вигладжування спостерігається збільшення приросту твердості зі зменшенням радіуса вигладжувача. Двох-, трьохкратні проходи трохи підвищують твердість, а зміна подачі в межах 0,05-0,09 мм/об й швидкості від 0,7 до 3,7 м/с практично на неї не впливають.

Тому що зусилля вигладжування невеликі, то глибина максимально зміцненого шару є незначною – він віддалений від поверхні на 0,01-0,05 мм, причому товщина його не перевищує 0,3-0,5 мм. Твердість загартованих сталей при вигладжуванні збільшується в 1,1-1,35, а високопластичних і інших м'яких сплавів – в 1,5-1,6. Твердість відпалених алюмінієвих зразків після вигладжування зростає з 41HRC до 61, а в мідних з 59HV до 148.

Алмазне вигладжування може бути застосоване для підвищення твердості хромованих деталей.

Зі збільшенням зусилля вигладжування від 100 до 200 Н твердість підвищується приблизно на 1000 МН/м². При цьому встановлене зниження приросту твердості в міру збільшення товщини хромованого шару. Для товщини покриттів 25, 60, 80 і 200 мкм збільшення твердості при вигладжуванні із зусиллям 200

Н становить відповідно 1000, 600 і 500 МН/м². Вигладжування хромованого шару забезпечує перекриття мікропористості й пов'язаних з нею наскрізних мікроканалів, чим усувається негерметичність з'єднання, що дуже важливо для ряду деталей гідравлічних систем високого тиску.

Зі збільшенням сили вигладжування від 75 до 230 Н збільшується як величина, так і глибина залягання стискаючих залишкових напруг. При вигладжуванні досягається плавний розподіл залишкових напруг, зміна яких незначна для подач 0,02-0,07 мм/об. При інших значеннях подач, а також високих швидкостях обробки спостерігається зниження стискаючих напруг і можливий перехід залишкових стискаючих напруг у напруги розтягу. Використання повторних проходів (не більше 2-3-х) викликає багаторазовість виникнення пластичної деформації і підвищує рівень залишкових напруг. Величина залишкових напруг стиску при вигладжуванні різних металів залежить від схильності металу до пластичного деформування. Граничні значення залишкових напруг при алмазному вигладжуванні загартованих сталей складають 900-1200 МПа, сирих сталей – 200-300 МПа.

Пластична деформація в ході вигладжування викликає зміну фазового складу поверхневого шару. Відбувається інтенсивний розпад залишкового аустеніту. Алмазне вигладжування дозволяє усунути дефекти поверхневого шару, що виникли на попередніх операціях, а також збільшити твердість у місцях припиків, що виникли при шліфуванні. Ступінь відновлення твердості й максимальна величина залишкових напруг стиску залежать від глибини припиків і зусилля вигладжування. У припіках глибиною 90 мкм, які можуть виникати при чорновому шліфуванні, наприклад, сталі 20ХЗМВФ при вигладжуванні із зусиллями 200-300 Н твердість помітно підвищується в поверхні, відбувається не тільки її відновлення, але й зміцнення підповерхневого шару.

Зміцнюючий ефект алмазного вигладжування проявляється в підвищенні границі витривалості. Найбільше він відчутний при обробці високопластичних матеріалів. Так, границя витривалості деталей зі сталі Х18Н10Т, вигладжених після точіння, підвищується на 25 %, після шліфування – на 58 %. При однаковій шорсткості порядку $Ra = 0,16$ мкм поліровані деталі зі

сплаву Д1 мають границя витривалості 133 МПа, а вигладжені алмазним інструментом – 195 МПа. Алмазне вигладжування підвищує стійку міцність деталей з концентраторами напруг. Установлено, що концентратор сам по собі різко знижує границю витривалості. Однак міцність вигладжених зразків з напівкруглим надрізом наближається до міцності гладких полірованих зразків і значно нижче міцності гладких вигладжених зразків. Довговічність вигладжених зразків з надрізом вище в порівнянні з такими ж полірованими зразками більш ніж в 10 разів. Вигладжування зразків з концентраторами напруг у вигляді уступу й поперечного отвору підвищує межу їхньої витривалості відповідно на 29 і 15 %.

Деталі багатьох сучасних машин піддаються впливу високих температур. Випробування зразків зі сталі 12Х18Н9Т показали, що при температурах 250 і 450 °С границя витривалості вигладжених зразків у порівнянні з полірованими зріс відповідно в 1,5-1,8 і 1,3-1,7 рази. При випробуванні з температурою 600 °С зразки як поліровані, так і вигладжені мали практично однакові границі витривалості. При більш високих температурах вигладжування неефективно.

Границя витривалості деталей, які оброблюються операціями точіння й шліфування, у сполученні із хромуванням і вигладжуванням зростає в 2,1-3,4 рази. Високий ефект від сполучення хромування з вигладжуванням підтверджується й при випробуванні деталей складної конструкції, таких як тонкостінні гідравлічні циліндри. Випробування цих гідроциліндрів на витривалість при змінному внутрішньому тиску показали, що довговічність зміцнених алмазним вигладжуванням циліндрів збільшується в межах від 2 до 10 разів залежно від рівнів тиску. Вигладжування змінює й картину руйнування циліндра. Якщо джерело руйнування в незміцнених циліндрах перебуває на внутрішній хромованій поверхні, то в зміцнених – на зовнішній загартованій і обточеній поверхні.

Багато деталей машин піддаються циклічним навантаженням в умовах корозійного впливу. Вигладжування помітно знижує інтенсивність утворення тріщин, при цьому границя витривалості сталі 35ХН1М у корозійному середовищі зростає приблизно в 3 рази, а довговічність в 30-40 разів.

Корозійні випробування протягом 5 місяців ненавантажених зразків з нержавіючої аустенітної сталі 12Х18Н9Т у морській воді виявили сприятливий вплив алмазного вигладжування, тому що втрати вигладжених зразків виявилися майже в 3 рази нижче, ніж шліфованих. Сталь У10 у морській воді менше реагувала на спосіб обробки, однак в умовах атмосферної корозії показала після алмазного вигладжування підвищену стійкість.

Вигладжування робочих радіусних доріжок шарикопідшипників вигладжувачами з $R = 0.5... 1$ мм при $P = 25...90$ Н, $S = 0,015$ мм/об при $V = 0,2...0,5$ м/с дозволило знизити шорсткість із $Ra = 0,32...0,08$ мкм до $Ra = 0,04...0,01$ мкм і зменшити хвилястість в 1,6-2 рази. Установлено також, що при контактних напругах $\sigma_{max} = 5500$ МПа довговічність вигладжених кілець підшипників склала 24,3 млн. циклів, а для зразків, виготовлених за звичайною технологією, – 6,6 млн. циклів, тобто вигладжування здатне істотно збільшити довговічність роботи підшипників кочення.

Впровадження вигладжування шийок турбокомпресора забезпечило зниження шорсткості до $Ra = 0,16...0,25$ мкм і ріст зносостійкості цих шийок на 40-60 %. Витрати алмазів при цьому невеликі і становлять 0,1 карата на 1000 вигладжених роторів. Зниження зношування до 60-93 % спостерігається в поршневих пальців і колінчатих валах з вигладженою шийкою.

При вигладжуванні робочої поверхні штоків і шпинделів запірних арматур її ерозійна стійкість в 2-2,5 рази вище, ніж при абразивній обробці, в 2 рази нижче коефіцієнт тертя в ущільнювальній парі, а зносостійкість деталей вище в 2,3-3,5 рази. При вигладжуванні поверхні деталей силових гідроциліндрів помітно знижується зношування гумових ущільнювальних кілець, що збільшує термін служби в 1,4-2 рази, а безвідмовність гідроциліндрів амортизаторів і гідроаккумуляторів у цілому підвищується більш ніж в 2 рази. Вигладжування виключає шаржування поверхні абразивними зернами, що характерно для фінішних шліфувальних операцій. Крім того, при вигладжуванні на поверхні утвориться сприятливий мікрорельєф типу «шнек».

Алмазне вигладжування застосовується для підвищення зносостійкості складних різальних інструмент, що працюють із невеликими швидкостями різання, наприклад, протяжок, фасонних різців і розверток.

Подальшим удосконаленням процесів алмазного вигладжування є використання сучасного метода вібровигладжування. Відомо, що основними особливостями та недоліками засобів чистової обробки різанням є загострена форма виступів та впадин мікронерівностей, що веде до відносно низької несучої здатності спряжень та малої опорної поверхні при початкових зближеннях в процесі припрацювання. Це знижує маслоємність поверхонь та веде до швидкого зношуванні поверхонь. Необхідно також зазначити, що причиною підвищеного зносу поверхонь та заїдань є те, що мастильно-охолоджуючі рідини гарантовано не потрапляють у місця з'єднань спряжених поверхонь. Звичайними методами вигладжування не вдається створити сітку мікронерівностей для спряжених поверхностей, яка відповідає раціональним умовам тертя спряжених поверхонь.

Одним із рішень задач з усунення вище перерахованих недоліків є прогресивний спосіб зміцнення – вібронакатування (вібровигладжування). Обробка металів ППД заснована на застосуванні їх пластичних властивостей, здатності при визначених умовах здобувати під дією зовнішніх сил остаточні деформації мікровиступів поверхневого шару без порушень їх суцільності. Сутність вібронакатування полягає у тому, що закріпленій деталі у центрах токарно-гвинторізного верстату при обробці циліндричних деталей надається обертальний рух, а робочому інструменту (алмазному вигладжувачу), до якого прикладене навантаження, надається осцилюючий рух (коливаючий) з частотою, дозволяє сформувати на поверхні деталі необхідну сітку мікроканалів. Кінематика пристроїв для формування мікроканалів може бути різною у залежності до вимог. Розгляд особливостей процесів вібровигладжування буде зроблено у лекціях 7-8.

2. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які основні особливості технології алмазного вигладжування?
2. Характеристики поверхневих шарів деталей після процесів алмазного вигладжування.
3. Геометрія алмазних вигладжувачів.
4. Рекомендовані режими обробки деталей з різними фізико-механічними характеристиками алмазним вигладжуванням.
5. Характеристики мікрогеометрії поверхонь у результаті пластичного деформування алмазним вигладжуванням.
6. Підвищення експлуатаційних характеристик поверхонь деталей методом пластичного деформування – алмазним вигладжуванням.