УДК 621. 822:681.2:369.64

В.І. Марчук, І.В. Марчук
Луцький національний технічний університет

ТЕХНОЛОГІЧНЕ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПІД ЧАС БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ

В роботі проведено аналіз існуючих розрахункових схем шліфування з позиції теплоутворення і встановлені шляхи технологічного керування теплонапруженістю процесу шліфування. Доведено, що ефективним методом зниження теплонапруженості є застосування шліфування переривчастим абразивним інструментом, однак конструктивні параметри та характеристики переривчастих кругів для безцентрового шліфування мають визначатись за результатами теоретичних та експериментальних досліджень. Виявлено неоднозначний характер зміни температури шліфування від умов та режимів оброблення, що вказує на більш складний характер температури в процесі механічного оброблення, ніж це вважалося на практиці.

***Ключові слова**: якість, шорсткість, шліфування теплові дефекти, поверхневий шар.*

В.И. Марчук, И.В. Марчук
Луцкий национальный технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВО ВРЕМЯ БЕСЦЕНТРОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ

В работе проведен анализ существующих расчетных схем шлифования с позиции теплообразования и установлены пути технологического управления теплонапряженностью процесса шлифования. Доказано, что эффективным методом снижения теплонапряженность применение шлифовки прерывистым абразивным инструментом, однако конструктивные параметры и характеристики прерывистых кругов для бесцентрового шлифования должны определяться по результатам теоретических и экспериментальных исследований. Выявлено неоднозначный характер изменения температуры шлифования от условий и режимов обработки, что указывает на более сложный характер температуры в процессе механической обработки, чем это считалось на практике.

***Ключевые слова**: качество, шероховатость, шлифовка, тепловые дефекты, поверхностный слой.*

V.I. Marchuk, I.V. Marchuk
Lutsk National Technical University

TECHNOLOGICAL CONTROL OF TEMPERATURE UNDER THE SUCCESSFUL SILICATION OF FUNCTIONAL SURFACES

In the work the analysis of existing calculation schemes of grinding from the position of heat formation is carried out and the ways of technological control of heat stress of the grinding process are established. It is proved that an effective method of reducing the heat stress is the use of grinding with a discontinuous abrasive tool, but the design parameters and characteristics of interrupted circles for centrifugal grinding should be determined by the results of theoretical and experimental studies. The ambiguous nature of the change in the temperature of grinding from the conditions and treatment regimes was revealed, which indicates a more complicated nature of the temperature in the process of machining than was considered in practice.

***Key words**: quality, roughness, grinding, thermal defects, surface layer.*

Скорочення тривалості виробничого циклу, зменшення фондів, запасів в поєднанні з виготовленням продукції за принципом “точно – вчасно” відкриває виробництву певні резерви. А отже, виникає необхідність виробничий процес та засоби виробництва об’єднувати в складні високопродуктивні системи, в яких технологічні та організаційні ланцюги стають дедалі взаємозалежними.

Поєднання таких складних виробничих умов із стрімко зростаючими вимогами до якості виробів вимагає невідкладного розроблення та реалізації стратегії та тактики, забезпечення та стабілізації параметрів якості виробів в умовах гнучкого переналагоджувального інтегрованого виробництва. Успішна реалізація такого підходу, на нашу думку, можлива на основі глибокого вивчення та аналізу взаємозв’язків між чинниками, що супроводжують виробничий процес, параметрами якості виробів, деталей, а також експлуатаційними характеристиками. Кінцевою метою дослідження природи цих взаємозв’язків є створення науково обґрунтованих і реалізованих на практиці методів керування параметрами якості під час проходження всіх стадій інтегрованого автоматизованого виробничого процесу. Показники технологічної ефективності, якими характеризуються окремі деталі та підшипник в цілому доцільно розділити на такі групи [3, 4]:

1. Показники якості матеріалу (фізико-хімічні показники);
2. Показники, що характеризують точність геометричних розмірів;

© В.І. Марчук, І.В. Марчук

3. Геометричні параметри поверхневого шару деталі (відхилення форми, хвилястість, шорсткість, мікротопографія);
4. Експлуатаційні показники;
5. Показники надійності;
6. Показники технологічності;
7. Техніко-економічні показники.

Очевидно, що кожна група вище перерахованих показників ефективності містить ряд окремих параметрів та характеристик за допомогою яких, проводиться кількісна оцінка якості та ефективності об'єкту виробництва. Оскільки, характеристика якості підшипника як складової одиниці чи виробу залежить від показників якості окремих складових деталей та їх поверхонь, то якість робочих поверхонь деталей підшипника є першоджерелом забезпечення якості виробу в цілому та окремих його складових деталей зокрема. Отже загальна задача дослідження взаємозв'язків показників якості роликопідшипників з технологічними чинниками та експлуатаційними характеристиками зводиться до аналізу зв'язків параметрів якості робочих поверхонь деталей з технологічними чинниками.

Встановлено [4], що поверхневий шар деталі в залежності від вибраного методу під час оброблення за своїми фізико-хімічними властивостями різко відрізняється від властивостей основного матеріалу.

Нерівності на поверхні деталі, структура, фазовий та хімічний склад поверхневого шару впливають на її фізико-хімічні та експлуатаційні властивості.

Поверхневий шар найбільше впливає на надійність та зносостійкість під час роботи деталі та виробу в цілому. В умовах експлуатації поверхневий шар деталі піддається найбільшому фізико-хімічному впливу. Руйнування деталі (наприклад розвиток тріщин втомленості, ерозія, зношування, корозія), в більшості випадків починаються з поверхні.

Геометричні відхилення поверхонь розрізняють також в залежності від відношення довжини кроку L до висоти нерівності H [1]: при L:H>1000 мають місце макроскопічні відхилення від правильної геометричної форми (конусність, овальність, вгнутість і ін.), при L:H=50...1000 – хвилястість поверхні; L:H<50 – шорсткість поверхні.

Висота нерівностей хвилястості та висота шорсткості практично однакові, але відношення довжин кроків до висоти нерівностей, як бачимо, різні. Хвилястість займає проміжне положення між відхиленням від правильної геометричної форми та шорсткістю поверхні.

Технологічну хвилястість поділяють на поперечну (розміщення хвиль перпендикулярно переміщенню ріжучого інструменту) і повздовжню (хвилястість співпадає з напрямом руху інструменту).

Взаємозв'язок поверхневого шару з фізико-хімічними і технологічними чинниками процесу показаний на рис. 1.

Геометричні характеристики нерівностей тісно пов'язані з фізико-хімічними процесами руйнування металу під час оброблення різанням. Так, шорсткість поверхні під час оброблення крихких металів складається з трикутних заглиблень, що відповідають формі вирваних зерен; в пластичних металах під час великих швидкостей різання сильно деформовані нерівності мають форму пластівців [2].

До якісних параметрів хвилястості відносять крок та форму профілю хвиль, до кількісних – висоту хвиль, радіус при вершині, радіус у впадині та ін. Форма профілю хвиль реальних поверхонь різнорідна: синусоїдальна, параболічна, циклоїдальна.

Процес безцентрового шліфування зовнішньої циліндричної поверхні, яка є базовою для встановлення підшипника в опорі роторної системи проходить за схемою, що характеризується обертальним рухом шліфувального круга $V_{кр\ шліф}$, який є рухом різання, обертальним рухом ведучого круга $V_{кр\ вед}$ в тому ж самому напрямку. Заготовки кілець подаються в зону шліфування за допомогою ведучого круга, вісь обертання якого знаходиться під деяким кутом до вісі обертання шліфувального круга. Для підтримування заготовок в зоні шліфування використовується ніж опорний. Положення осей обертання шліфувального та ведучого кругів, частота обертання кругів та заготовки, координати розміщення ножа опорного впливають на розмірні та якісні показники процесу шліфування, а визначення значень вказаних параметрів відноситься до завдань проектування інструментального налагодження верстата на шліфувальну операцію.

© В.І. Марчук, І.В. Марчук

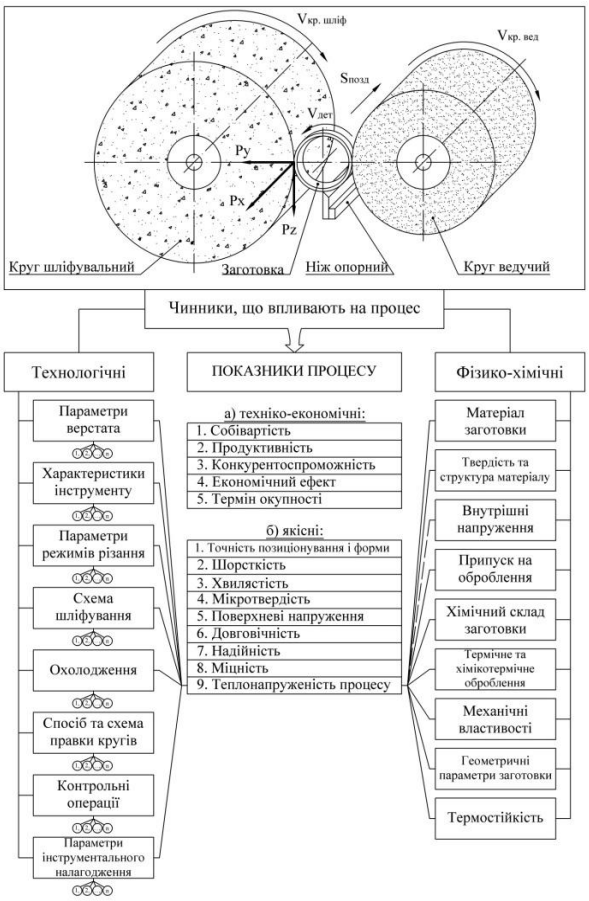

Рис. 1. **Чинники та показники операцій шліфування кілець роликопідшипників**

Основним завданням технологічної підготовки верстата до шліфування конкретного типорозміру заготовки в умовах переналагоджувального виробництва є швидке та зручне визначення параметрів налагодження та реалізація цих параметрів безпосередньо на верстаті. Від швидкості проектування та виконання інструментального переналагодження верстата залежать технологічна продуктивність операції та якісні показники процесу шліфування.

З рис. 1. видно, що на показник теплонапруженості процесу шліфування зовнішніх поверхонь зовнішніх кілець спричиняють вплив значна кількість технологічних чинників серед яких характеристика та параметри руху різального інструменту, параметри режимів різання, параметри інструментального налагодження, схема шліфування, спосіб охолодження, та ряд фізико-хімічних чинників.

З іншого боку аналіз виробничих дефектів на безцентрово-шліфувальних операціях показав, що до 30% всіх дефектів кілець після шліфування відноситься до температурних. Тому, встановлення раціональних температурних параметрів та їх взаємозв’язків з показниками процесу безцентрового шліфування заготовок кілець в умовах переналагоджувального виробництва є актуальною науково-технічною проблемою та вимагає ретельного аналізу причин походження та видів температурних дефектів та пошуку методів і засобів їх усунення.

Як було сказано вище, температурні дефекти, що виникають на шліфувальних операціях оброблення поверхонь обертання зовнішніх кілець роликопідшипників не тільки негативно впливають на експлуатаційні властивості підшипника, як то довговічність, точність базування, зносостійкість, надійність, а й спричиняють значний вплив на подальші операції шліфування доріжки кочення кільця внаслідок дії принципу технологічної спадковості дефектів між операціями.

Для прикладу, під час шліфування доріжки кочення кільця підшипника серії 7000 заготовка на безентрово-шліфувальній операції на верстаті SASL5AD базується за допомогою попередньо обробленої зовнішньої циліндричної поверхні, тому неточності базування передаються на неточність оброблення внутрішньої доріжки кочення зовнішнього кільця (рис.2.).

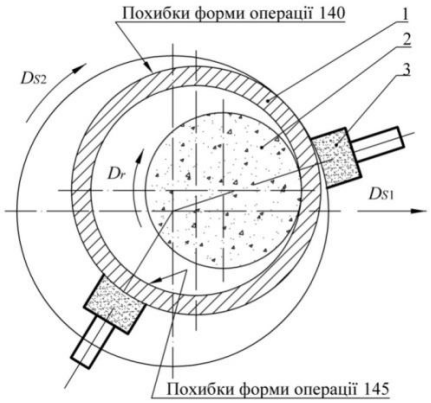

Рис. 2. **Схема шліфування доріжки кочення кільця зовнішнього: 1 – заготовка кільця; 2 – головка шліфувальна; 3 – опори**

До теплових дефектів під час шліфування відносяться припалення та мікротріщини.

Існує кілька видів припалень, які характерні для процесу шліфування [4, 5]:

1. Поодинокі штрихові припалення внаслідок затуплення чи засалювання зерен, або попадання разом із ЗОР в зону різання шламу;

2. Подряпини по всій шліфованій поверхні, які пов’язані з нерівномірністю властивості матеріалу заготовки, порушенням режимів шліфування, недостатнім підведенням охолоджуючої рідини в зону різання, підвищеною твердістю інструменту, зносом або забрудненням інструменту;

3. Вібраційні подряпини і плями;

4. Плями і подряпини на окремих ділянках у зв'язку з порушенням припуску або геометричної точності заготовки;

Головною причиною виникнення припалення на шліфованій поверхні є збільшення контактної температури, що більша за значення температури під час якої виникають припалення для заготовки в деякій області зони різання.

В результаті аналізу робіт А.В. Якімова [1, 2] , В.А. Сипайлова, П.І. Ящеріцина та ін. можна виділити чинники, які безпосередньо впливають на температуру в зоні різання (рис. 3):

1. Властивості матеріалу заготовки;
2. Інтенсивність теплового джерела;
3. Швидкість руху теплового джерела;
4. Інтенсивність охолодження.

Висока контактна температура в зоні різання під час шліфування є не тільки причиною виникнення припалення, але і головною причиною формування в поверхневому шарі заготовки залишкових напружень розтягування, які негативно впливають на втомну міцність деталей [1-3].

Найкращі для заготовки характеристики шліфувального круга (тип абразиву, зернистість, номер структури, тип зв’язки, твердість круга) можуть бути призначені у відповідність з численними рекомендаціями [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

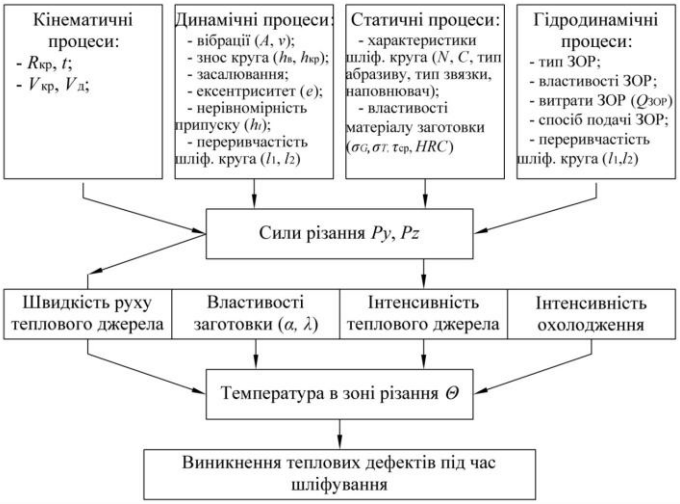

Рис. 3. **Класифікація процесів, що впливають на виникнення теплових дефектів**

Існують наступні основні напрямки забезпечення регламентованої якості поверхні під час шліфування сплавів типу ШХ, схильних до виникнення теплових дефектів.

1. Вибір характеристик круга (тип абразиву, зернистість, номер структури, твердість, зв'язка);

2 Вибір раціональних або оптимальних режимів різання ;

3. Управління ріжучою здатністю круга безперервною або періодичною правкою, або гідроочищенням;

4. Зниження рівня вібрацій в зоні різання;

5. Управління значеннями складових сил різання;

6. Пружне шліфування;

7. Управління динамікою процесу;

8. Вибір типу та марки ЗОР або заміна способу підведення ЗОР в зону оброблення, в тому числі застосування композиційних, переривчастих або перфорованих шліфувальних кругів [1, 2, 3].

Одним із способів зменшення теплонапруженості процесу шліфування є застосування кругів з низькою твердістю. Такі круги працюють у режимі самозаточування, але мають великий розмірний знос, що призводить до збільшення часу, який витрачається на правку круга. Збільшення твердості круга призводить до того, що круг працює в режимі постійного затуплення, що з одного боку призводить до зниження параметрів шорсткості поверхні [6, 7, 8], а з іншого боку до збільшення тангенціальної сили різання під час зносу зерен і, як наслідок, до підвищення температури в зоні різання [4, 5, 6, 7]. Перевагою шліфувальних кругів більшої твердості є їх висока розмірна стійкість, що є необхідною умовою під час оброблення з високою точністю. Необхідно розробити заходи, які дозволили б застосовувати круги більшої твердості та керувати теплонапруженістю за умови змінних режимів роботи круга під час оброблення сплавів, що схильні до виникнення теплових дефектів.

Матеріал абразивного зерна, твердість і зв'язка круга залежать від матеріалу заготовки, його твердості, а також швидкості обертання круга. Зернистість круга залежить від регламентованих параметрів шорсткості поверхні. В якості ЗОР під час шліфування може використовуватися рідке середовище, твердий мастильний матеріал або ЗОР у вигляді аерозолю. Вибір типу та марки ЗОР здійснюється у відповідності з рекомендаціями, наведеними в довідковій літературі [2]. Проте слід зазначити, що яка б ефективна ЗОР не застосовувалася, вона повністю не вирішує проблему забезпечення шліфування без припалень. [5].

В результаті аналізу існуючих досліджень визначено, що одним з найбільш ефективних способів подачі ЗОР під час безцентрового шліфування сплавів, схильних до теплових дефектів, є подача ЗОР через впадини переривчастого шліфувального круга [2, 3, 4]. Застосування кругів з переривчастою робочою поверхнею дозволяє подавати ЗОР до заготовки в момент переривання різання, знизити теплонапруженість процесу та зменшити ймовірність появи шліфувальних дефектів на поверхні заготовки.

Основними недоліками переривчастих шліфувальних кругів, що обмежують їх технологічні можливості є:

1) великий розмірний знос круга, коли робоча площа периферії менша, в порівнянні з суцільним кругом;

2) високий рівень вібрацій в технологічній системі;

3) деякі різновиди припалів, зазначені вище, не можуть бути усунуті за допомогою відомих переривчастих шліфувальних кругів, наприклад, припали, які зумовлені затупленням або нерівномірним зносом круга, вібраціями в технологічній системі, порушенням припуску або геометричної точності заготовки, неправильним вибором або порушенням режимів різання.

Внаслідок великого розмірного зносу переривчастих кругів рекомендується призначати їх твердість на 2 ступені вище, а зернистість на одну ступінь менше, ніж у звичайних кругів. Збільшення твердості призводить до того, що шліфувальний круг буде працювати переважно в режимі затуплення, що може привести до появи дефектів шліфованої поверхні. Зменшення зернистості також призводить до збільшення теплонапруженості шліфування.

З вище сказаного випливає, що необхідно розробити заходи для усунення недоліків, які властиві для переривчастих кругів і тим самим розширити їхні технологічні можливості, на що і спрямована дана робота. Розрахунок і проектування переривчастих шліфувальних кругів найбільш широко розглянуті в роботах А.В. Якімова [1, 2], в яких наведено формули для визначення довжин

© В.І. Марчук, І.В. Марчук

виступів і впадин. Довжина впадини визначається при умові рідинного охолодження за наступною формулою:

$$l_2 = \frac{V_{KP} \cdot \lambda \cdot c \cdot \gamma \cdot 36}{\alpha^2} \quad (1)$$

де V_{KP} – швидкість обертання шліфувального круга, м/с; λ – коефіцієнт питомої теплопровідності заготовки, Вт/(м·°С); *С* – питома теплоємність заготовки, Дж/(кг·°С); γ – густина заготовки, кг/м^2; *α* – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2 · °С).

Під час аналізу літературних джерел за тематикою шліфування переривчастими кругами, виявлено, що недостатньо повно розглянуті питання, пов'язані з впливом динамічних чинників процесу на його ефективність. Під поняттям динамічних чинників процесу шліфування розуміємо наступне:

1. Нерівномірність припуску внаслідок хвилястості вихідної поверхні;
2. Нестабільність фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки;
3. Зміна ріжучої здатності круга в наслідок його затуплення або засалювання;
4. Ексцентриситет і нерівномірний знос шліфувального круга;
5. Вібрації шліфувального круга та заготовки.

Для подальшого вдосконалення високопродуктивного шліфувального інструменту під час оброблення сплавів типу ШХ, які схильні до виникнення теплових дефектів, а також для визначення раціональних режимів оброблення шліфувальним інструментом, необхідно визначити, яким чином кількісно впливають різні динамічні чинники на показники оброблення. Після цього, можна здійснювати керування процесом шліфування з метою підвищення його стабільності, ефективності та продуктивності.

Висновки: Проведено аналіз існуючих розрахункових схем шліфування з позиції теплоутворення і встановлені шляхи технологічного керування теплонапруженістю процесу шліфування. Доведено, що ефективним методом зниження теплонапруженості є застосування шліфування переривчастим абразивним інструментом, однак конструктивні параметри та характеристики переривчастих кругів для безцентрового шліфування мають визначатись за результатами теоретичних та експериментальних досліджень. За допомогою математичного моделювання визначено характер взаємозв'язків параметрів теплового процесу під час безцентрового шліфування кілець з технологічними чинниками шліфувальних операцій.

Інформаційні джерела:

1. Якимов А.В. Прерывистое шлифование / А.В. Якимов, Ю.А. Бояршинов и др. // Вестник машиностроения. – 1967. – №3. – С. 76-78.

2. Якимов О.В. Високопродуктивне шліфування / О.В. Якимов, Ф.В. Новиков. – К.: ІНТМ, 1995. – 180с.

3. Марчук І.В. Керування температурою на безцентрово-шліфувальних операціях / І.В.Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеіві // "Перспективні технології та прилади". Збірник наукових праць. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 133–138.

4. Марчук В.И. Управление параметрами качества рабочих поверхностей колец конических роликоподшипников / В.И. Марчук, В.Т. Михалевич // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: труды 5-й международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК ФЭД, 2002. – С. 127–130.

5. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

6. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167с.

7. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник/ Под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. - М.: Машиностроение, 1986. — 352с., ил.

Ящерицын П.И. Шлифование металлов / П.И. Ящерицин, Е.А. Жельнерович. – Минск, 1970. – 249 с.

8. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицин, Э.В. Рыжов, В.И. Аверчиков. – Минск : Наука и техника, 1977. – 255 с.

9. Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин / А.А. Маталин. – М.–Л.: Машгиз, 1956. – 252 с.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2018

© В.І. Марчук, І.В. Марчук