

УДК 621.923.1



М. С. Степанов



Л. П. Іванова



Д. С. Асанов

УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СИСТЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ ПРИ ШЛІФУВАННІ

На основі аналізу удосконаленої схеми системи подачі мастильно-охолоджуючої рідини круглошліфувального верстата запропонована загальна математична модель її температурного режиму. Модель дозволяє визначити поточну температуру мастильно-охолоджуючої рідини у будь-якій контрольній точці системи. Наведені залежності для визначення основних параметрів математичної моделі.

Ключові слова: температура мастильно-охолоджуючої рідини, система застосування мастильно-охолоджуючої рідини, тепловий режим, перепускний контур, робочий контур, температурний градієнт, втрати тиску.

Постановка проблеми. Важливою умовою продуктивності обробки шліфуванням є підтримання стабільного теплового режиму у зоні різання шляхом ефективного відведення теплоти, що виділяється при обробці. Вказану функцію виконує МОР – мастильно-охолоджуюча рідина, яка пришвидшує теплообмін, що забезпечує зниження температури у зоні різання [1, 2, 3], збільшує стійкість ріжучого інструмента, підвищує якість і точність обробки через зменшення температурних деформацій елементів технологічної системи [4, 5]. Температура МОР у процесі шліфування коливається у значних межах на різних етапах циклу обробки [4]. Враховуючи викладене, актуальною проблемою є розроблення математичної моделі розрахунку поточної температури МОР на будь-якому етапі технологічного циклу шліфування та визначення ступеня її впливу на теплові деформації верстата.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню теплового режиму МОР і її впливу на точність і якість шліфування присвячені численні наукові праці, наприклад, [1, 3, 6] та ін. У них розроблені теоретичні основи побудови математичних моделей теплових процесів шліфування [7], в тому числі із застосуванням МОР [8]. Однак роль робочих рідин у формуванні температурних деформацій круглошліфувальних верстатів детально не досліджувалася. Не встановлено кількісний зв'язок між тепловими деформаціями елементів круглошліфувального верстата і зміною температури МОР та не вироблені рекомендації щодо зменшення теплових деформацій шляхом стабілізації температурного режиму МОР.

Метою статті є побудова узагальної математичної моделі теплового режиму системи застосування МОР шліфувального верстата з перспективою розроблення рекомендацій зі зменшення його теплових деформацій.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленої задачі були удосконалені схема і математична модель температурного режиму МОР у замкненій двоконтурній системі охолодження шліфувального верстата [7]. Вказана загальна схема конкретизована для класичного круглошліфувального верстата з індивідуальною подачею МОР (див. рис. 1).

Під час обробки заготовок на шліфувальному верстаті МОР можливо подавати по двох контурах:

- перепускному, в складі елементів $H \Rightarrow ОП \Rightarrow КОТ \Rightarrow P$, коли система працює на етапі допоміжних переходів шліфування;
- робочому, в складі елементів $H \Rightarrow ОП \Rightarrow КК \Rightarrow ЗР \Rightarrow P$, коли система працює на етапах вривання, попереднього і остаточного шліфування та “виходжування”.

На схемі позначені точки, у яких оцінюється температура. У кожній i -й ($i = 0, 2, 3, \dots, 12$) точці МОР характеризується певним набором параметрів, які визначають її охолоджувальну дію: t_i – поточна температура; p_i – тиск; ρ_i – густина; c_i – теплоємність. При розрахунку температури прийняті такі припущення:

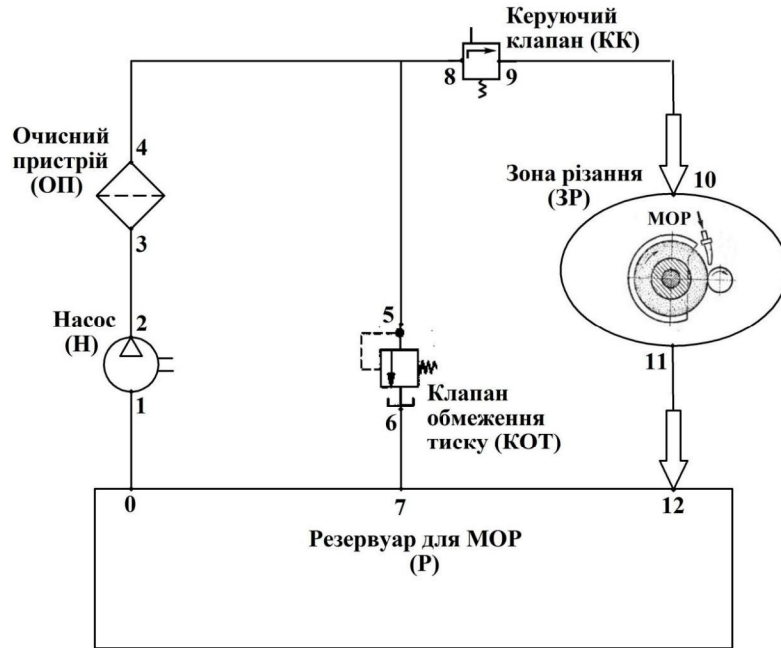


Рис. 1. Схема до розрахунку поточної температури МОР при круглому шліфуванні:
0, ..., 12 – точки оцінювання температури

- основним джерелом теплоти у системі є зона різання;
- на інших елементах системи температура МОР змінюється за рахунок перепаду тиску і теплообміну з гідроапаратурою та навколишнім середовищем;
- температурний градієнт МОР у резервуарі не дорівнює нулю ($\Delta t \neq 0$), а це означає, що загальна маса МОР неоднорідна за своїми параметрами, які залежать від температури (густина, теплоємність, кінематична в'язкість).

На основі аналізу схеми, наведених припущень і формули для визначення величини зміни температури рідини при проходженні через гідравлічний опір запропоновано залежності для розрахунку температури:

- у кожній з контрольних точок, зазначених на схемі,

$$\Delta t_i = t_{i-1} - t_i = \frac{P_i - P_{i-1}}{\rho_{i-1} c_{i-1} m_t}; \quad (1)$$

- у точці 7 на виході з перепускного контуру

$$t_7 = \sum_{i=0}^{n=7} \frac{P_{i-1} - P_i}{\rho_{i-1}(t) \cdot c_{i-1}(t) \cdot m_t} + t_0; \quad (2)$$

- у точці 12 зливу МОР з робочого контуру

$$t_{12} = t_{11} + \frac{P_{11} - P_{12}}{\rho_{11}(t) \cdot c_{11}(t) \cdot m_t} + \sum_{k=8}^{10} \frac{P_{k-1} - P_k}{\rho_{k-1}(t) \cdot c_{k-1}(t) \cdot m_t} + \frac{P_4 - P_8}{\rho_4(t) \cdot c_4(t) \cdot m_t} + \sum_{i=0}^4 \frac{P_{i-1} - P_i}{\rho_{i-1}(t) \cdot c_{i-1}(t) \cdot m_t} - t_0, \quad (3)$$

де t_i, t_{i-1} – температура рідини на виході і на вході в опір; P_i, P_{i-1} – тиск рідини на виході і на вході в опір; ρ_{i-1} – густина рідини; c_{i-1} – питома теплоємність рідини; m_t – механічний еквівалент теплоти; t_{11} – температура МОР на виході із зони різання.

Визначення температури МОР t_{11} на виході із зони різання і дослідження теплового балансу у резервуарі МОР авторами планується розглянути у наступних роботах, інші параметри у наведених залежностях моделі визначалися таким чином.

Густина рідини залежно від поточної температури:

$$\rho = \frac{0,9}{g} \left[1 - \beta_t (t - 15) - \frac{P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}}{I_w} \right], \quad (4)$$

де g – прискорення сили ваги; $P_{\text{абс}}$ та $P_{\text{атм}}$ – абсолютний і атмосферний тиск; I_w – ізотермічний модуль об'ємної пружності; β_t – коефіцієнт температурного розширення рідини (для води при температурі 20 °С і тиску 1 кГ/см²).

Втрати тиску у трубопроводах $\Delta p_{\text{тр}}$ отримали за допомогою формули Дарсі – Вейсбаха (приймаючи число Рейнольдса для ламінарної течії $Re = Vd / \nu$, де ν – кінематична в'язкість МОР; $V = 4Q / (\pi d^2)$ – швидкість потоку рідини; Q – витрата рідини):

$$\Delta p \approx 41\nu \frac{L}{d^4} \rho Q, \quad (5)$$

де L, d – відповідно довжина і гідравлічний діаметр трубопроводу; ρ – густина рідини; V – середня швидкість течії потоку рідини.

Втрати тиску в очисних пристроях. У випадку використання гідроциклона, перепад тиску на ньому визначали з формули Честона:

$$\Delta p_{\text{гц}} = \frac{Q_{\text{гц}}^2}{557 F_{\text{вх}}^2}, \quad (6)$$

де $\Delta p_{\text{гц}}$ – перепад тиску в очисному пристрої; $Q_{\text{гц}}$ – витрата рідини у гідроциклоні; $F_{\text{вх}}$ – площа проходного перерізу вхідного патрубку гідроциклона.

У випадку застосування як очисні пристрої різних фільтрів, перепад тиску визначається за формулою

$$\Delta p = \frac{\mu Q_{\text{ф}}}{k_{\text{ф}} S_{\text{ф}}}, \quad (7)$$

де $Q_{\text{ф}}$ – витрата рідини у фільтрі; μ – динамічна в'язкість рідини; $S_{\text{ф}}$ – площа фільтруючого елемента; $k_{\text{ф}}$ – питома пропускна здатність фільтра.

Пропускна здатність сітчастого фільтра визначалася за відомими залежностями або з довідників.

Перепад тиску, що створюється насосом

$$\Delta p_{\text{н}} = \frac{N_{\text{Т}}}{Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{Т}}}, \quad (8)$$

де $N_{\text{Т}}$ – теоретична (індикаторна) потужність насоса; $Q_{\text{н}}$ – фактична продуктивність насоса; $\Delta Q_{\text{Т}}$ – витік рідини.

Втрати тиску у клапанах. Для перепускового і керуючого клапанів (з урахуванням максимальної пропускної здатності клапана)

$$\Delta p_{\text{к}} = \frac{\rho}{2g} \left(\frac{Q_{\text{кл}}}{k_{\text{в}}} \right)^2, \quad (9)$$

де $k_{\text{в}}$ – максимальна пропускна здатність при частково відкритому клапані, вказується у паспорті клапана залежно від його типу і конструкції.

Висновки

1. Побудована узагальнена математична модель температурного режиму в системі застосування МОР шліфувального верстата, яка має низку переваг, порівняно з традиційними моделями, і дозволяє:

– визначити температуру МОР у кожній з контрольних точок системи;

– розрахувати температуру при роботі системи у нестационарному режимі та сталу температуру МОР при роботі у стаціонарному режимі.

2. Математична модель реалізована у вигляді окремого розрахункового модуля у програмі Heat розрахунку теплового режиму МОР.

Список використаних джерел

1. Андрианова, И. А. Влияние тепла, выделяемого при торцевом шлифовании, на стабильность положения кругов [Текст] / И. А. Андрианова, С. С. Шахновский // Станки и инструмент. – 1983. – № 8. С. 30–31.

2. Кондратюк, О. Л. Вплив температурних деформацій вузлів багатокругових круглошліфувальних верстатів на точність обробки [Текст] / О. Л. Кондратюк // Машинобудування. – 2016. – № 17. – С. 68–73.

3. Лищенко, Н. В. Влияние принудительного охлаждения на температуру шлифования [Текст] / Н. В. Лищенко, В. П. Ларшин // Вектор науки ТГУ. – Тольятти : ТГУ, 2015. – № 3-1 (33-1). – С. 68–74.

4. Унянин, А. Н. Влияние технологических факторов на локальные температуры при шлифовании с наложением ультразвуковых колебаний [Текст] / А. Н. Унянин // Вектор науки ТГУ. – Тольятти : ТГУ, 2016. – № 1(35). – С. 48–53.

5. Bo-Sung Kim, Gyeong-Tae Bae, Gwi-Nam Kim, Hong-Man Moon, Jung-Pil Noh and Sun-Chul Huh. A study on the thermal characteristics of the grinding machine applied hydrostatic bearing / Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, South Korea 2Duck Heung Co. Ltd., South Korea E-mail: schuh@gnu.ac.kr ICETI-2014 W-1031_SCI No.15-CSME-54, E.I.C. Accession 3829.

6. Сипайлов, В. А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности [Текст] / В. А. Сипайлов. – Москва : Машиностроение, 1978. – 168 с.

7. Степанов, М. С. Влияние режимов шлифования на удельный полезный расход СОЖ через зону контакта [Текст] / М. С. Степанов // Вестник НТУ “ХПИ”. – Харьков : НТУ “ХПИ”, 2002. – Т. 1, № 9. – С. 71–76. – (Серия “Технология машиностроения”).

8. Степанов, М. С. Математична модель теплообміну у резервуарі МОР шліфувального верстату [Текст] / М. С. Степанов, П. І. Літовченко, Л. П. Иванова // Вісник ЖДТУ. – Харків : ЖДТУ, 2017. – Т. 1, № 2(80). – С. 90–96.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2018 р.

УДК 621.923.1

М. С. Степанов, Л. П. Иванова, Д. С. Асанов

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

На основе анализа усовершенствованной схемы системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости круглошлифовального станка предложена общая математическая модель ее температурного режима. Модель позволяет определить текущую температуру смазочно-охлаждающей жидкости в любой контрольной точке системы. Приведены зависимости для определения основных параметров математической модели.

Ключевые слова: температура смазочно-охлаждающей жидкости, система применения смазочно-охлаждающей жидкости, тепловой режим, перепускной контур, рабочий контур, температурный градиент, потери давления.

UDC 621.923.1

M. S. Stepanov, L. P. Ivanova, D. S. Asanov

SUMMARIZED MATHEMATICAL MODEL OF TEMPERATURE OF USE METALWORKING FLUIDS AT GRINDING

Questions of stabilization of a thermal mode in a cutting zone at a round grinding with application of a lubricating-cooling liquid (SOJ) are considered. It is shown that the effective action of coolant allows to reduce the heat stress of the process by accelerating heat transfer in the system of applying coolant. The actual problem of heat release in technological systems of machining is solved - the construction of a mathematical model of the system of coolant application with the determination of the coolant temperature at any stage of the grinding technological cycle and the degree of its influence on the thermal deformations of the machine. To solve this problem, an improved scheme is proposed and a mathematical model of the temperature regime is constructed for the coolant supply system, which makes it possible to determine the current temperature of the coolant at control points associated with individual elements of the coolant supply system; allows to calculate the current coolant temperature during system operation in non-stationary and stationary modes. The mathematical model is implemented in the form of an algorithm and a separate module in the author's program Heat calculation parameters of the thermal regime of coolant. The program allows performing a multivariate calculation of the coolant temperature at all control points of the system when operating in non-stationary and stationary modes. Calculated analytical studies have shown the correspondence of the constructed mathematical model to real thermal processes in the system of coolant application. Scientific novelty of the work is that for the first time a functional relationship between the temperature in the cutting zone during grinding and the temperature of the coolant in the reservoir of the coolant system has been established. The developed mathematical and software tools are recommended for application at development of specifications of the necessary volume of coolant for grinding machines.

Keywords: coolant temperature, coolant application system, thermal regime, bypass circuit, working circuit, temperature gradient, pressure loss.

Степанов Михайло Сергійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології машинобудування і металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту “Механічна інженерія і транспорт” НТУ “ХПІ”.

Іванова Лариса Петрівна – старший викладач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.

Асанов Денис Сергійович – курсант Національної академії Національної гвардії України.