



УДК 621.92

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРИ РАБОТЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОПТИКИ

Маляренко А.Д., Митенков М.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В работе рассмотрены вопросы повышения точности обработки изделий оптики. Выявлено, что основным фактором, влияющим на нагрев полировальной суспензии, является двигатель питателя полировальной суспензии. Поэтому предлагаемая методика расчета изменения температуры полировальной суспензии при работе оборудования для обработки оптики условно разделена на три этапа: нагрев вала двигателя питателя; подогрев суспензии в объеме питателя; изменение температуры суспензии в результате ее циркуляции по трубопроводу станка. Предложена методика расчета изменения этих температур при работе оборудования для обработки изделий оптики, основанная на описании данных процессов уравнениями их теплового баланса, для которых получены расчетные зависимости и выполнены соответствующие расчеты, подтверждающие достоверность разработанной методики.

Ключевые слова: теплообразование, температурные деформации, уравнение теплового баланса.

Введение. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований.

Повышение производительности, точности и качества обработки изделий для оптических систем является актуальной и важной задачей. При этом на них влияет большое количество различных факторов, что требует их систематизации, изучения и устранения.

При работе на металлорежущих станках было замечено [1], что отдельные части станка в ряде случаев нагреваются до сравнительно высоких температур. Теплообразование в механизмах станков является существенным фактором, определяющим температурное поле и температурные деформации станков, влияющие далее на точность обработки изделий.

Отличие станков оптико-обрабатывающей группы от описанной заключается в том, что при обработке происходит копирование детали поверхности инструмента в результате их взаимного притирания. Основным фактором, влияющим на точность обработки, будет термическая деформация корпуса притира, возникающая в результате изменения температуры полировальной суспензии [2].

В свете вышесказанного, актуальным является вопрос оценки влияния работающих узлов оборудования на изменение температурного режима обработки и изменение температуры полировальной суспензии. Решение данной задачи является *главной целью* выполняемой работы.

Поиск путей решения поставленной задачи. Как показал опыт работы на станках для обработки оптических поверхностей, основным фактором, влияющим на нагрев полировальной суспензии, является двигатель питателя полировальной суспензии. Поэтому предлагаемая методика расчета изменения температуры полировальной суспензии при работе оборудования для обработки оптики условно разделена на три этапа: нагрев вала двигателя питателя; подогрев суспензии в объеме питателя; изменение температуры суспензии в результате ее циркуляции по трубопроводу станка.

1. Для оценки нагрева электрического двигателя в первом приближении его необходимо представить как однородное тело с источниками тепла (потерями), равномерно распределенными внутри его объема. При неизменных во времени потерях процесс нагревания поверхности двигателя описывается уравнением теплового баланса [3].

$$\sum P dt = Cd (\Delta \vartheta) + \alpha S \Delta \vartheta dt, \quad (1)$$

где $\sum P$ – сумма потерь мощности в объеме двигателя, Вт; C – теплоемкость двигателя, $C = ct$, c – удельная теплоемкость материала двигателя Дж/(кг°С); t – масса двигателя,



кг; α – коэффициент теплоотдачи с поверхности, Вт/(м²°С); S – поверхность охлаждения, м²; $\Delta\vartheta$ – превышение температур поверхности двигателя над температурой охлаждающей среды, °С.

При длительной работе с неизменной нагрузкой наступает тепловое равновесие, при котором все выделенные внутри двигателя потери рассеиваются в окружающую среду, нагрев двигателя прекращается [$d(\Delta\vartheta)=0$]. Т.е. имеет место установившийся режим работы ($\Delta\vartheta_{уст} = const$). Тогда уравнение (1) перепишется:

$$P \Delta t = \alpha S \Delta \vartheta_{уст} \Delta t .$$

Отсюда:

$$\Delta \vartheta_{уст} = \frac{P}{\alpha S} . \tag{2}$$

Определив используемый тип двигателя, можно определить потери P в нем. В частном случае нагрев машины из практически холодного состояния (при $t=0$ $\Delta\vartheta_0=0$ при $t=\infty$ $\Delta\vartheta_\infty=\Delta\vartheta_{уст}$)

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_{уст} \left(1 - e^{-t/T} \right) , \tag{3}$$

где T – постоянная времени нагрева, с:

$$T = \frac{C}{\alpha S} . \tag{4}$$

Передача тепла от двигателя в вал осуществляется через муфту, т.е. через стык. Для практических расчетов сложный процесс передачи тепла через стык может быть рассмотрен как эквивалентный процесс теплопередачи путем соприкосновения. Для этого вводят некоторый эквивалентный коэффициент теплопередачи стыка. В этом случае количество тепла Q_c переданное путем соприкосновения, определяется следующим выражением:

$$Q_c = \alpha_{ст} F (\vartheta_1 - \vartheta_2) , \tag{5}$$

где $\alpha_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стыка, представляющий собой количества тепла, проходящее в единицу времени через единицу площади стыка при перепаде температур контактирующих поверхностей в 1°С, Вт/м²°С; F – площадь стыка, м²; ϑ_1 и ϑ_2 – избыточные температуры контактирующих поверхностей, °С.

Определив тепловой поток, можно рассчитать нагрев вала в месте его соединения с двигателем. Температурное поле вала может быть определено, если его с тепловой точки зрения уподобить стержню.

При указанных допущениях температурное поле вала в данной точке определяется по формуле:

$$\vartheta_x = \vartheta_0 e^{-mx} , \tag{6}$$

$$\vartheta_0 = \frac{Q_c}{\alpha_1 \lambda_1 F \cdot U_1} , \tag{7}$$



$$m = \sqrt{\frac{\alpha_1 U_1}{\lambda_1 F}}, \quad (8)$$

где ϑ_x – температура вала, °C; ϑ_0 – средняя температура шейки вала, °C; α_1 – коэффициент теплоотдачи, Вт/м² °C; λ_1 – коэффициент теплопроводности, Вт/м °C; U_1 – периметр теплоотдающей поверхности вала, м; F – площадь поперечного сечения вала, м²; x – расчетная координата вала, м.

Нагрев вала происходит также за счет теплообразования в подшипниках. Теплообразование Q_k в подшипнике качения определяется по формуле:

$$Q_k = 0,885 M_T n, \quad (9)$$

$$M_T = (T_{on} + f_n P_n) \frac{r_n}{1000}, \quad (10)$$

где M_T – момент трения в подшипнике, Н·м; T_{on} – сила трения на плече, равному радиусу вала при отсутствии нагрузки ($C = \frac{T_{on}}{d} = 0,005$ [1]), Н; f_n – условный коэффициент трения, равный отношению приращения силы к приращению нагрузки ($f_n = 0,001$); P_n – нагрузка, Н; r_n – радиус вала, мм; n – число оборотов вала в минуту.

Температурное поле вала при действии подшипников может быть определено по формулам:

$$\vartheta_x^{подш} = \vartheta_0^{подш} \frac{ch[m(L-x)]}{ch(mL)}, \quad (11)$$

$$\vartheta_0^{подш} = \frac{Q_k m}{\alpha_1 U_1 * th(mL)}, \quad (12)$$

$$m = \sqrt{\frac{\alpha_1 U_1}{\lambda_1 F}}, \quad (13)$$

где $\vartheta_x^{подш}$ – температура вала, °C; $\vartheta_0^{подш}$ – средняя температура шейки вала в подшипниках, °C; L – длина вала, м.

Общая температура вала определяется суммированием:

$$T_B = \vartheta_x + \sum_{i=1}^k \vartheta_x^{подш}, \quad (14)$$

где k – количество используемых в конструкции подшипников.

Коэффициента теплоотдачи α , входящий в вышеуказанные выражения, в первом приближении можно рассчитывать по формулам для определения коэффициентов теплоотдачи в воздух, приведенным к условиям ($\vartheta_0 = 20^\circ$) и размерностям, относящимся к резанию материалов.

2. Подогрев суспензии в объеме питателя происходит в результате передачи тепла от вала двигателя. При этом в контакте находится лишь часть вала. Таким образом, теплота P , отданная в жидкость, рассчитывается из формулы:

$$P = \alpha S (T_B - T_1), \quad (15)$$

где α – коэффициент теплоотдачи поверхности, Вт/м² °C; S – площадь, омываемая суспензией, м²; T_1 – начальная температура суспензии.



Подогрев суспензии в результате работы двигателя определится [4] как:

$$T_c = \frac{P}{cW}, \quad (16)$$

где W – расход суспензии, л/мин.

Подогретая суспензия поступает в трубопровод, где часть тепла суспензии тратится на его нагрев. После ряда упрощений, приемлемых для расчета сравнительно длинных проводников [4], определим потерянную суспензией температуру.

Будем считать, что удельные потери p (Вт/м³), выделяемые в единице объема проводника, при температуре охлаждающей среды на входе в канал равны p_0 и их зависимость определяется соотношением:

$$p = p_0(1 + \beta T_k), \quad (17)$$

где T_k – превышение температуры проводника в рассматриваемом сечении над температурой охлаждающей среды при входе в канал; β – температурный коэффициент.

Охлаждение полировальной суспензии в результате ее циркуляции по трубопроводу можно определить по формуле:

$$\Delta T_c = \frac{p_0 S}{cW} x, \quad (18)$$

где x – длина трубопровода, м.

Превышение температуры проводника ΔT_k в рассматриваемом сечении канала определится

$$\Delta T_k = \frac{p_0 S}{cW} x + \frac{p_0 S}{\alpha \Pi}, \quad (19)$$

где α – коэффициент теплоотдачи трубопровода, Вт/(м² °С); Π – эффективный периметр канала, м.

Коэффициент теплоотдачи α может быть определен на основе критериального уравнения теплообмена в каналах.

3. При попадании суспензии в зону обработки, она уносит часть тепла с поверхности обрабатываемой детали, нагреваясь при этом. Количество тепла, уносимого с поверхности обрабатываемой заготовки можно определить по формуле (15), а подогрев суспензии по формуле (16).

Далее суспензия попадает в выходной трубопровод и по нему стекает обратно в питатель полировальной суспензии. Охлаждение полировальной суспензии и повышение температуры проводника выходного трубопровода определяются из соотношений (17)-(19).

Результаты исследований. Нами были проведены расчеты изменения температуры полировальной суспензии в объеме питателя и в зоне обработки в результате работы оборудования, используя приведенную методику. Кроме того, нами экспериментально контролировалась изменение температуры полировальной суспензии в течение рабочей смены в указанных зонах. Сходимость результатов экспериментов и численных исследований представлена на рис. 1. Анализ кривых показывает их качественное соответствие.

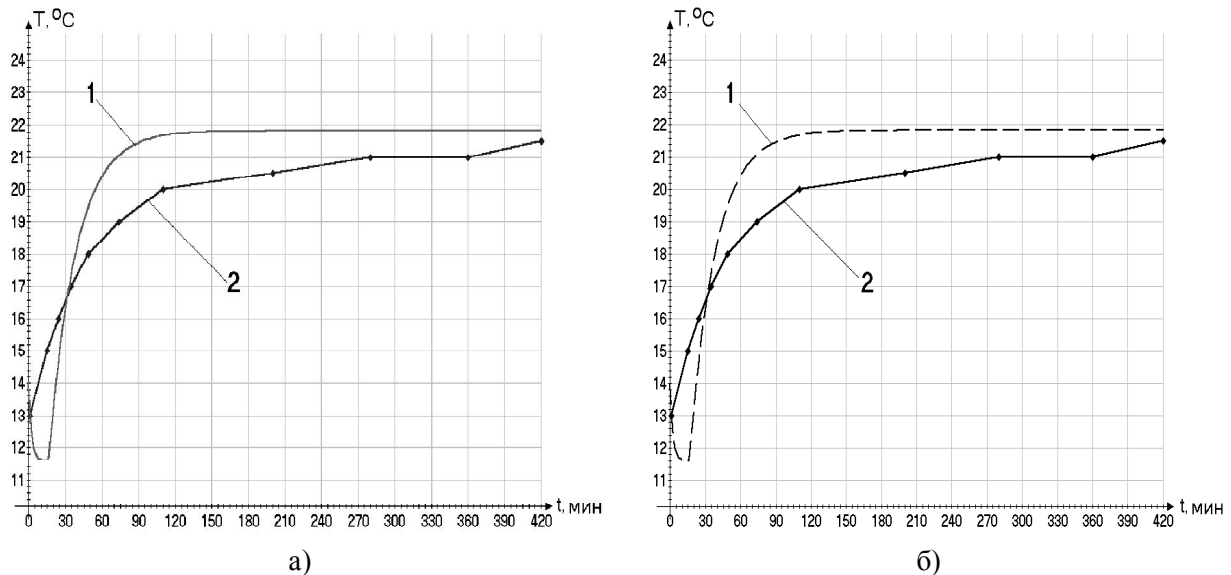


Рисунок 1 – Изменение температуры полировальной суспензии T в течение рабочей смены (1 – результаты расчета; 2 – эксперимент) при температуре окружающей среды $T_c=11^\circ\text{C}$: а – в объеме питателя; б – в зоне обработке

Выводы. Используя приведенную методику и расчетные соотношения можно рассчитать температурное поле и определить изменение температуры полировальной суспензии как результат работы оборудования.

В перспективе использование данной методики позволяет исключить выход в диапазон температур, недопустимых для обработки изделий оптики, что повисит их качество.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скраган В. А. Жесткость, точность и вибрации при механической обработке / В. А. Скраган. – М. : Машгиз. – 1956. – С. 169-191.
2. Маляренко А. Д. Причины изменения температуры технологической среды при доводке оптических линз / А. Д. Маляренко, М. В. Митенков // Материалы междунар. 54 научно-технич. конференции БГПА. – Минск : Белор. госуд. политехн. Академия, 2000. – Часть 5. – С. 89.
3. Проектирование электрических машин / Под ред. И. П. Копылова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 424 с.
4. Филиппов И. Ф. Теплообмен в электрических машинах : учеб.пособие для вузов / И. Ф. Филиппов. – Л. : Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.

Маляренко А.Д., Митенков М.В. ЗМІНА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПРИ РОБОТІ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОПТИКИ

У роботі розглянуті питання підвищення точності обробки виробів оптики. Виявлено, що основним чинником, що впливає на нагрів поліровальної суспензії, є двигун живильника поліровальної суспензії. Тому пропонується методика розрахунку зміни температури поліровальної суспензії при роботі обладнання для обробки оптики умовно розділена на три етапи: нагрівання вала двигуна живильника; підігрів суспензії в обсязі живильника; зміна температури суспензії в результаті її циркуляції по трубопроводу верстата. Запропоновано методику розрахунку зміни цих температур при роботі обладнання для обробки виробів оптики, заснована на описі даних процесів рівняннями їх теплового балансу, для яких отримані розрахункові залежності і виконані відповідні розрахунки, що підтверджують достовірність розробленої методики.

Ключові слова: теплоутворення, температурні деформації, рівняння теплового балансу.



Malyarenko A.D., Mitenkov M.V. CHANGE OF TEMPERATURE CONDITION DURING WORK OF EQUIPMENT FOR TREATMENT OF OPTICS

The paper discusses the issues of improving the accuracy of product processing optics. Revealed that the main factor influencing the heat polishing slurry is a polishing slurry feeder motor . Therefore, the proposed method of calculating the change in temperature of the polishing slurry when the equipment for processing optics is roughly divided into three stages: the heating of the motor shaft feeder , heating the slurry in the volume of the feeder, the change in temperature as a result of the suspension of its circulation through the pipeline machine. A method of calculating the change of temperature when the equipment for processing optics, based on the description of these processes their thermal balance equations for which the calculated curves obtained and made the appropriate calculations , confirming the accuracy of the developed technique .

Keywords: heat generation, thermal deformation, the heat balance equation .

Статтю прийнято
до редакції 1.11.2013