

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Унянин А.Н. (УлГТУ, г. Ульяновск, Россия)
Тел./Факс: +7(903)3205351; E-mail: a_un@mail.ru

Abstract: The physical and mathematical models to calculate the temperature field during grinding are developed. The models take into account changes in the kinematics of microcutting by the abrasive grains and mechanical properties of the workpiece material with application of ultrasonic vibrations. Also developed method and software for the calculation of the temperature field. The results of mathematical simulation of the temperature are represented.

Key words: diskgrinding, workpiece, ultrasonicvibrations, kinematics, force, abrasivegrain, disk, temperature.

Перспективным направлением повышения эффективности процесса шлифования является использование энергии ультразвуковых колебаний (УЗК). Для оценки условий работы шлифовального круга и параметров качества поверхностного слоя заготовки необходимо знать локальные температуры. Однако аналитическое исследование локальных температур при шлифовании с УЗК до сих пор не выполнено.

Разработаны физические и математические модели для расчета температурного поля при шлифовании с УЗК, учитывающие изменение кинематики микрорезания абразивными зернами (АЗ) и механических характеристик материала заготовки при наложении колебаний. Приняты во внимание тепловыделения в зоне деформирования абразивным зерном материала заготовки и в зонах контакта зерна со стружкой и заготовкой. Составляющие силы микрорезания, мощности и плотности источников тепловыделения рассчитаны по аналитическим зависимостям. Учтены зависимости параметров, характеризующих сопротивление материала заготовки диспергированию, а также теплофизических свойств материалов контактирующих объектов (АЗ, заготовки, стружки, внешней среды) от температуры [1 – 4]. Моделирование выполнено на основе совместного решения дифференциальных уравнений теплопроводности, записанных для каждого из взаимодействующих объектов.

Невозможность априорного определения плотностей распределения тепловых потоков между контактирующими объектами, изменение положения этих зон во времени, необходимость учета зависимости теплофизических свойств контактирующих объектов и механических свойств материала заготовки от температуры создают трудности для ее аналитического определения. Для расчета уравнений использовали численный метод конечных элементов. Разработана методика и программное обеспечение для расчета температурного поля. Адекватность физических и математических моделей, принятых при расчете, реальным условиям проверяли путем сравнения экспериментальных значений средней контактной температуры в зоне шлифования и локальной температуры с расчетными значениями [1 – 3].

Численное моделирование температур выполнено при следующих исходных данных: плоское многопроходное шлифование периферией круга; материал заготовки – сталь 40Х; материал абразивного зерна шлифовального круга – электрокорунд нормальный; зернистость F60 (25-я); рабочая скорость круга 35 м/с; скорость продольной подачи 10 м/мин; глубина шлифования 0,01 мм. Моделировали наложение на заготовку УЗК частотой 22000 Гц с различной амплитудой A_y (в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности) и фазой. Фиксировали локальные температуры T_2 в зоне контакта АЗ с заготовкой и T_2' в зоне контакта АЗ со стружкой, а

также температуру заготовки при движении через зону шлифования 26-го зерна, т.е., когда диспергируется материал заготовки, прогретый предыдущими зернами.

При амплитуде колебаний $A_y = 1$ мкм температура T_2 в зоне контакта АЗ с заготовкой оказалась ниже на 12 %, температура T_2' в зоне контакта АЗ со стружкой – на 14 %, чем при $A_y = 0$ (обработка без УЗК). При наложении колебаний амплитудой $A_y = 2$ мкм локальные температуры снизились в большей степени: температура T_2 – на 14 %, T_2' – на 20 % (рис. 1).

Средняя температура заготовки на глубине 2 и 100 мкм, а также температура деформируемого слоя материала заготовки при наложении УЗК оказались ниже на 9 ... 11 %, причем амплитуда колебаний незначительно влияет на эти температуры (рис. 2).

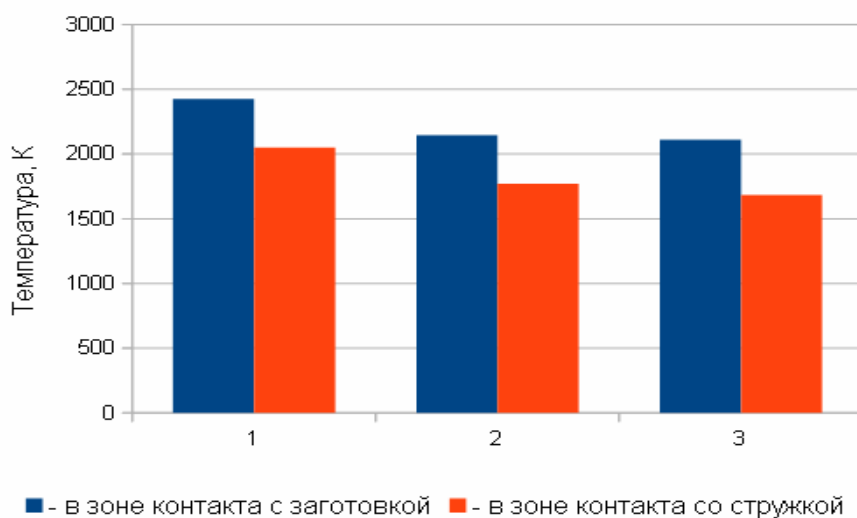


Рис. 1. Температура в зоне контакта АЗ с заготовкой и стружкой: 1 – $A_y = 0$; 2 – $A_y = 1$ мкм; 3 – $A_y = 2$ мкм

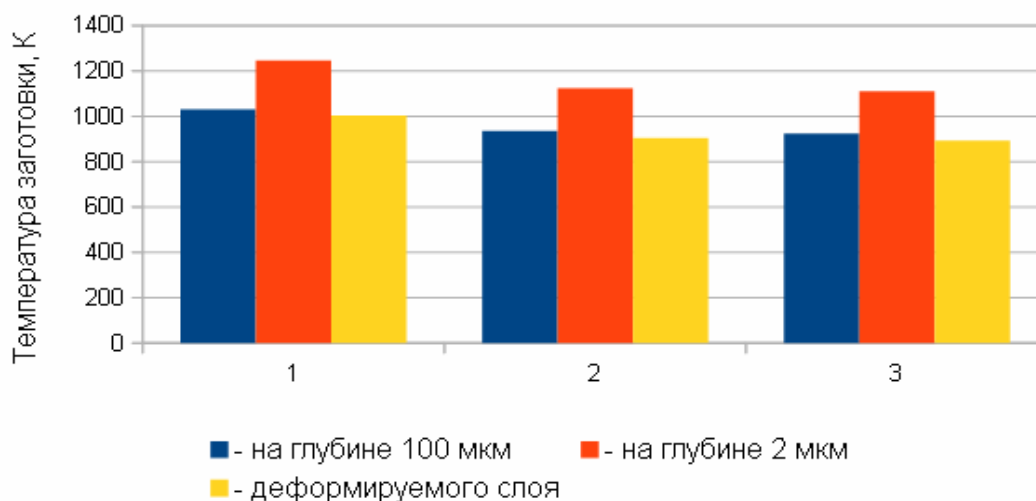


Рис. 2. Средняя температура заготовки: 1 – $A_y = 0$; 2 – $A_y = 1$ мкм; 3 – $A_y = 2$ мкм

Мощности источников тепловыделения при наложении УЗК снизились на 7 ... 11 % при амплитуде УЗК $A_y = 2$ мкм и на 11 % при $A_y = 1$ мкм (рис. 3). Незначительное увеличение мощности источников тепловыделения с увеличением амплитуды колебаний объясняется тем, что с ее ростом температура деформируемого

слоя материала заготовки снижается (см. рис. 2). При меньшей температуре выше напряжения сдвига материала заготовки, поэтому выше и мощности источников.

При амплитуде колебаний $A_y = 1$ мкм фаза колебаний оказывает незначительное влияние на локальные температуры. При $A_y = 2$ мкм фаза незначительно влияет на температуру T_2 (рис. 4), однако заметно влияет на температуру T_2' (рис. 5), причем меньшая температура зафиксирована при $\varphi = 180^\circ$. При этой фазе имеет место минимальная длина траектории, на которой АЗ осуществляет микрорезание материала заготовки (при $\varphi = 180^\circ$ и $A_y = 2$ мкм эта длина составляет 36 % от длины траектории контакта АЗ с заготовкой). В данном случае АЗ осуществляет микрорезание на малой части траектории, что и обуславливает снижение теплосиловой напряженности процесса в максимальной степени.

При шлифовании без наложения УЗК локальные температуры увеличиваются с увеличением продолжительности контакта АЗ с заготовкой (кривые 1 на рис. 4, 5).

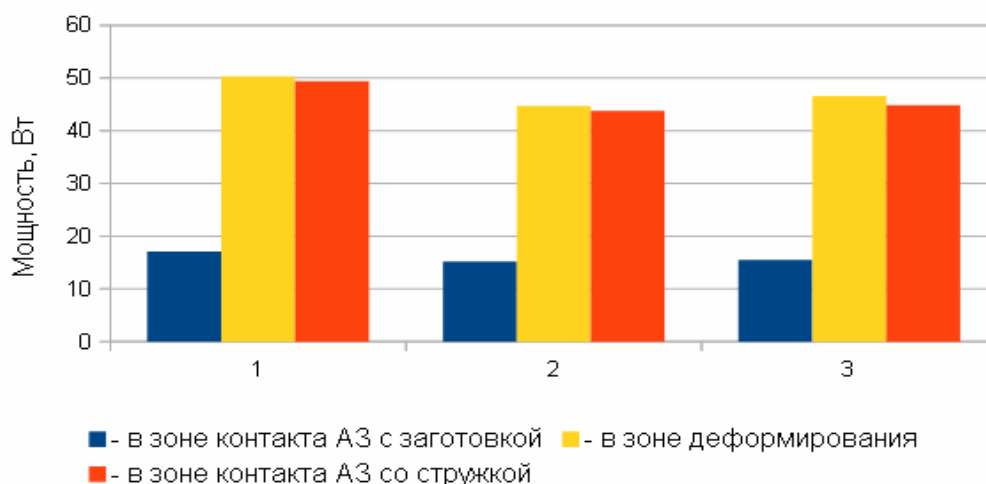


Рис. 3. Мощности источников тепловыделения: 1 – $A_y = 0$; 2 – $A_y = 1$ мкм; 3 – $A_y = 2$ мкм

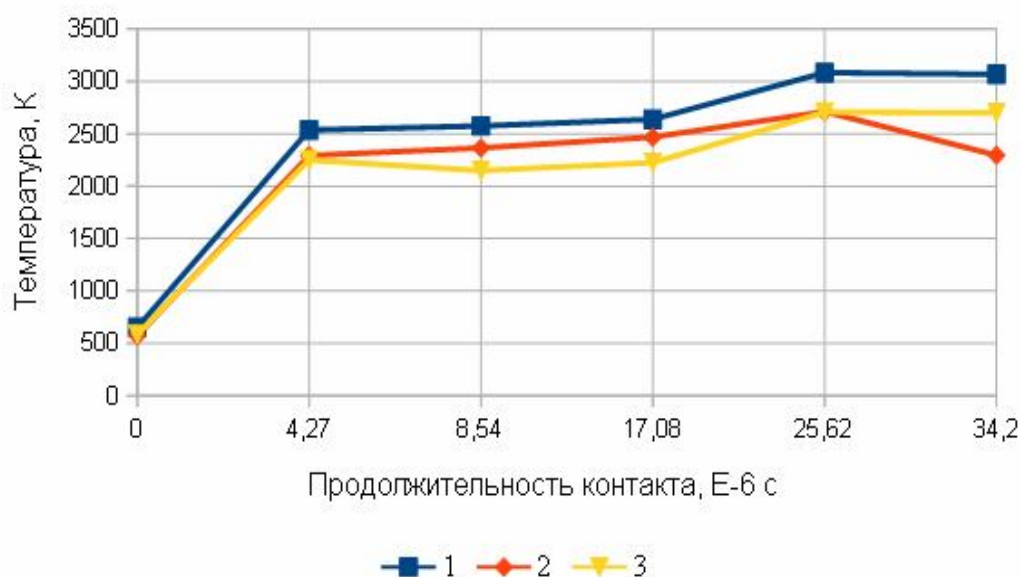


Рис. 4. Зависимость температуры T_2 в зоне контакта АЗ с заготовкой от продолжительности контакта: 1 – $A_y = 0$; 2 – $A_y = 2$ мкм, $\varphi = 0^\circ$; 3 – $A_y = 2$ мкм, $\varphi = 180^\circ$

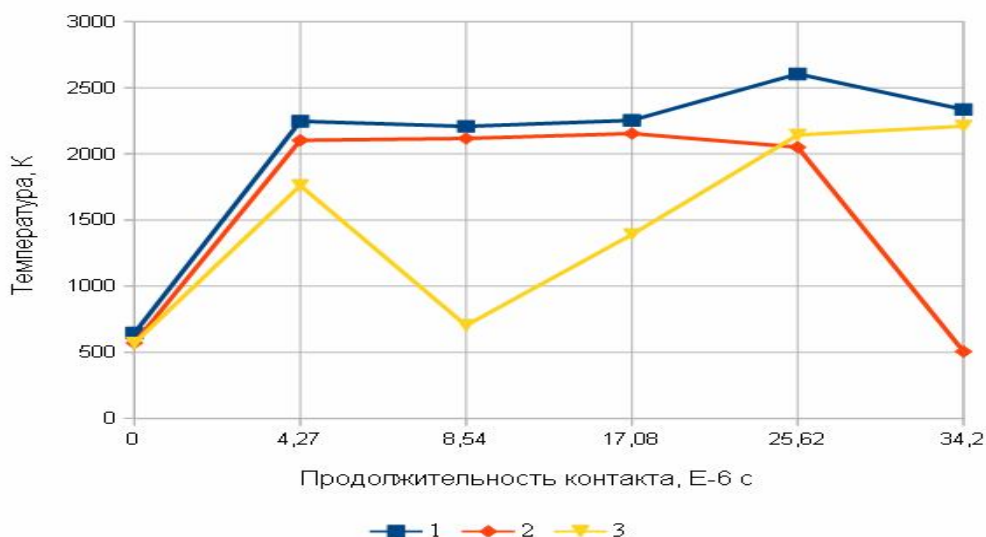


Рис. 5. Зависимость температуры T_2' в зоне контакта АЗ со стружкой от продолжительности контакта: 1 – $A_y = 0$; 2 – $A_y = 2$ мкм, $\varphi = 0^\circ$; 3 – $A_y = 2$ мкм, $\varphi = 180^\circ$

При наложении колебаний с амплитудой $A_y = 2$ мкм и фазой $\varphi = 0^\circ$ в начальный период контакта АЗ глубина его внедрения в заготовку выше, а в конце траектории ниже, чем в случае отсутствия УЗК. Соответственно и локальные температуры в начальный период контакта с заготовкой незначительно ниже, чем при $A_y = 0$ (кривые 1 и 2 на рис. 4, 5). На заключительном этапе контакта с заготовкой разность температур существенно выше, поскольку ниже глубина внедрения. Наиболее заметно на этом этапе снижается температура T_2' (см. кривая 2 на рис. 5). При фазе колебаний $\varphi = 180^\circ$ в начальный период как глубина внедрения АЗ в заготовку, так и локальные температуры ниже, чем без наложения УЗК (кривые 3 на рис. 4, 5). На заключительном этапе глубина внедрения АЗ в заготовку при наложении УЗК с фазой $\varphi = 180^\circ$ увеличивается, поэтому увеличиваются и температуры, однако и на этом этапе температуры ниже, чем без наложения УЗК.

В результате разработаны физические и математические модели для расчета температурного поля при шлифовании, позволяющие учесть изменение кинематики микрорезания абразивными зернами и механических характеристик материала заготовки при наложении ультразвуковых колебаний. Приведены результаты численного моделирования температур. Установлено влияние амплитуды и фазы колебаний на температурное поле.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-08-01059-а.

Список литературы: 1. Худобин, Л. В., Унянин А. Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с. 2. Унянин А. Н. Аналитическое исследование локальных температур при шлифовании // Известия вузов. Машиностроение. – 2006. – № 6. – С. 41 – 50. 3. Унянин А. Н. Численное моделирование локальных температур при шлифовании // СТИН. – 2006. – № 8. – С. 27 – 33. 4. Унянин А. Н. Влияние условий охлаждения и трения на локальную температуру шлифования // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов МНТК в г. Севастополе 11 – 16 сентября 2006 г. В 5-и томах. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – Т. 3. – С. 283 – 290.