

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ

Ивченко Т.Г., Петряева И.А., Шелкунова Д.М. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Аннотация. Статья посвящена развитию методики расчета тепловых потоков и температур при алмазном выглаживании. На основании представления законов распределения температур в безразмерном виде установлены общие закономерности изменения температур в детали. Для конкретных вариантов обработки фактические температуры определяются с помощью размерных коэффициентов.

Ключевые слова: тепловой поток, температура, выглаживание, метод источников.

1. Введение

Повышение качества обработанной поверхности является важнейшей задачей механообработки. В связи с этим весьма актуальны исследования методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием, обеспечивающих снижение шероховатости и повышение физико-механических свойств поверхностного слоя. Особый интерес представляет собой алмазное выглаживание, получившее достаточно большое распространение, прежде всего, при обработке материалов высокой твердости.

Пластическое деформирование сопровождается интенсивным тепловыделением и повышением температуры контактных поверхностей инструмента и детали. В настоящее время методы как экспериментальных, так и теоретических исследований теплового состояния зоны обработки достаточно хорошо разработаны [1, 2]. Первый этап теплофизического анализа систем – изучение источников теплоты и основных закономерностей формирования температур в зоне обработки. Существующая методика анализа теплового состояния элементов технологической системы широко апробирована для лезвийной обработки [1, 2]. Значительно меньшее внимание уделено вопросам обработки пластическим деформированием.

Одним из аналитических методов решения тепловых задач является метод источников теплоты [1, 2], который характеризуется достаточной простотой и наглядностью в сравнении с другими аналитическими и численными методами и достаточно хорошо совпадает с результатами проведенных ранее многочисленных экспериментальных исследований. Методика, представленная в работе [3], позволяет значительно упростить решение задачи определения тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия инструмента, что значительно упрощает и возможности аналитического расчета температур резания [4].

Однако сведения, представленные в этих работах, не охватывают область обработки поверхностно-пластическим деформированием. Для этих видов обработки представляет интерес дальнейшее развитие методики аналитического определения тепловых потоков и температур в зоне обработки

Цель представляемой работы – анализ теплового состояния инструмента и детали, а также разработка методики расчета температур в зоне обработки при алмазном выглаживании.

2. Основное содержание и результаты работы

Количество теплоты, выделяющейся в процессе алмазного выглаживания, эквивалентно работе упругопластического деформирования материала обрабатываемой детали. Мощность источника теплоты W определяется скоростью его перемещения V (м/с) и

силой $P(H)$, действующей в направлении перемещения источника в зоне обработки: $W = PV (Bm)$.

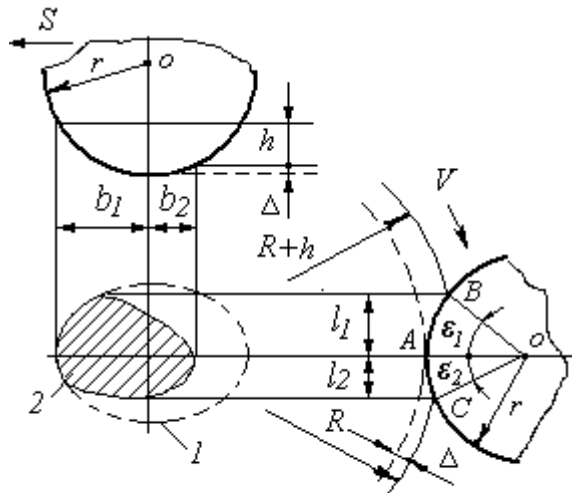


Рис. 1. Форма поверхности контакта индентора с деталью при алмазном выглаживании

режиме обработки алмазным выглаживанием угол контакта $\varepsilon_1 = 8 - 9^\circ$; для мягких материалов - $\varepsilon_1 = 4 - 5^\circ$ [2].

При схематизации компонентов исследуемой системы деталь рассматривается как полупространство, инструмент – как полуограниченный стержень, имеющий конфигурацию зоны контакта инструмента и детали.

Для теплофизического анализа определим конфигурацию и размеры поверхности контакта между рабочей частью инструмента, имеющей форму шара, и цилиндрической поверхностью детали (рис. 1).

При статическом вдавлении проекция контактной площадки между сферой индентора и поверхностью детали, имела бы форму эллипса 1. Однако, с учетом движения индентора в направлении подачи S и деформации материала детали, форма поверхности контакта 2, заштрихованная на рис. 2, существенно отличается от эллипса.

Для расчета размеров площадки контакта предлагаются формулы [2]:

$$l_1 = \sqrt{\frac{2Rr}{R+r}(h+\Delta)}; l_2 = \sqrt{\frac{2Rr}{R+r}\Delta}; b_1 = \sqrt{2r(h+\Delta)}; b_2 = \sqrt{2r\Delta}. \quad (1)$$

С достаточной точностью контактную поверхность 2 можно заменить прямоугольником $(l_1 + l_2)(b_1 + b_2)$. Зная углы контакта ε_1 и ε_2 [2], а так же принимая $\varepsilon_1 = 0,5\varepsilon_2$, можно размеры площадок контакта определить следующим образом:

$$l_1 = 0,017 \varepsilon_1; l_2 = 0,009 \varepsilon_1; b_1 = l_1 \sqrt{(R+r)/R}; b_2 = l_2 \sqrt{(R+r)/R}.$$

Источники теплоты при алмазном выглаживании по форме рассматриваются как плоские прямоугольные. По времени функционирования источники могут быть приняты стационарными, так как процесс выглаживания достаточно быстро устанавливается. Для инструмента источники являются неподвижными, для детали - быстро движущимися в направлении скорости главного движения – вращения детали V .

На рис. 2 представлена схема источников теплоты при алмазном выглаживании, причем индентор - 1 и деталь - 2 условно раздвинуты.

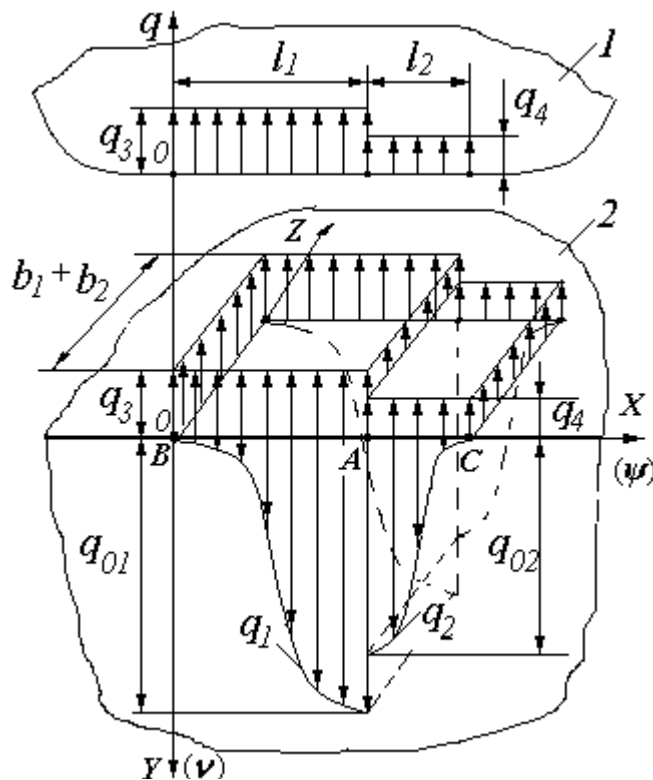


Рис.2. Схема источников теплоты при алмазном выглаживании

При анализе тепловых явлений основное внимание уделяется исследованию теплового состояния детали, так как именно качество ее поверхностного слоя, зависящего от температуры, должно быть обеспечено на операциях алмазного выглаживания. При описании температурного поля в детали в соответствие с методом источников [1] целесообразно использовать известные аналитические выражения для полосового быстро движущегося источника $\Theta(x, y)$, в которые необходимо ввести поправочные коэффициенты, учитывающие ограниченность источников по ширине ($b_1 + b_2$). Значения поправочных коэффициентов $K_C(U)$, учитывающих форму источников, зависят от безразмерных величин

$$U_1 = (b_1 + b_2) \sqrt{Pe_1} / l_1; \quad U_2 = (b_1 + b_2) \sqrt{Pe_2} / l_2, \quad (2)$$

где $Pe_1 = Vl_1 / \omega_\delta$, $Pe_2 = Vl_2 / \omega_\delta$ - критерий Пекле, ω_δ - коэффициент теплопроводности детали.

В области практически применяемых условий выглаживания может быть принято: $K_C = 0,87$.

Температурное поле для полосового быстро движущегося источника описывается аналитическим выражением [1]:

$$\Theta(x, y) = \frac{q \sqrt{\omega_\delta}}{2\lambda_\delta \sqrt{\pi V}} \int_0^p \frac{dx_u}{\sqrt{x - x_u}} \exp\left(-\frac{Vy^2}{4\omega_\delta(x - x_u)}\right), \quad (3)$$

где q - плотность теплового потока источника; λ_δ - коэффициент теплопроводности детали; x_u - абсцисса импульса теплоты; x, y - абсцисса и ордината точки M , для которой рассчитывается температура.

Ось X в рассматриваемой системе координат ориентируется в направлении скорости выглаживания V , ось Z - в направлении подачи S , ось Y - по глубине детали. В зоне обработки возникают два основных источника теплоты: q_1 - в зоне пластической деформации на передней поверхности AB и q_2 - в зоне упругого восстановления на задней поверхности BC (максимальные интенсивности источников q_{01} и q_{02}).

Принимается, что законы распределения интенсивности источников несимметричные нормальные в направлении скорости выглаживания V и равномерные в направлении подачи S . Теплота каждого из источников передается детали и индентору. Плотности тепловых потоков (стоков), направленных из детали в инструмент, на передней q_3 и задней q_4 поверхностях индентора принимаются равномерно распределенными.

Верхний предел интегрирования p зависит от абсциссы x точки, для которой рассчитывается температура. Для источника шириной l , если $x \geq l$, то $p = l$, так как на температуру тела в точке $M(x, y)$ влияют все одномерные источники, образующие плоский. Если же $x < l$, то $p = x$, так как в этом случае на температуру влияют только те одномерные источники, которые имеют абсциссу $0 \leq x_u \leq x$. Остальные источники, у которых $x < x_u \leq l$, влияния не оказывают, так как теплота, выделяемая быстро движущимся источником, впереди источника не распространяется.

Для исследования температурного поля в детали при выглаживании целесообразно перейти к безразмерным величинам $\psi = x/l_1$, $\psi_u = x_u/l_1$, $v = y/l_1$, $k = l_2/l_1$, $n_i = q_i/q_1$:

$$\Theta(x, y) = PT(\psi, v). \quad (4)$$

Размерный коэффициент $P = K_{C1} l_1 q_1 / 2 \lambda_0 (\pi Pe_1)^{0.5}$.

Безразмерное распределение температур:

$$T(\psi, v) = \int_0^{\Delta} \frac{f(\psi_u) d\psi_u}{\sqrt{\psi - \psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \frac{v^2}{\psi - \psi_u}\right), \quad (5)$$

где Δ - верхний предел интеграла: $\Delta = \psi$ при $0 \leq \psi \leq 1$ и $\Delta = 1$ при $\psi > 1$; $f(\psi_u)$ - закон распределения плотности теплового потока.

Описание закона распределения температур в безразмерном виде $T(\psi, v)$ позволяет устанавливать общие закономерности изменения температур, которые для каждого конкретного варианта обработки корректируются размерными коэффициентами.

Для алмазного выглаживания распределение температур в детали, возникающее под действием источника теплоты в зоне пластической деформации на передней поверхности индентора AB :

$$T_1(\psi, v) = \int_0^{\Delta} \frac{\exp\left[-3(1-\psi_u)^2\right] d\psi_u}{\sqrt{\psi - \psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \frac{v^2}{\psi - \psi_u}\right), \quad (6)$$

Распределение температур в детали, возникающее под действием источника теплоты в зоне упругого восстановления на задней поверхности индентора BC :

$$T_2(\psi, v) = kn_2 \int_0^{\Delta} \frac{\exp\left[-3\psi_u^2\right] d\psi_u}{\sqrt{\psi - 1 - \psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \frac{v^2}{\psi - 1 - \psi_u}\right), \quad (7)$$

Распределение температур в детали, возникающее под действием стока теплоты из детали в инструмент на передней поверхности индентора:

$$T_3(\psi, v) = n_3 \int_0^{\Delta} \frac{d\psi_u}{\sqrt{\psi - \psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \frac{v^2}{\psi - \psi_u}\right), \quad (8)$$

Распределение температур в детали, возникающее под действием стока теплоты из детали в инструмент на задней поверхности индентора:

$$T_4(\psi, v) = kn_4 \int_0^{\Delta} \frac{d\psi_u}{\sqrt{\psi - 1 - \psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \frac{v^2}{\psi - 1 - \psi_u}\right), \quad (9)$$

Общее распределение безразмерных температур в детали при выглаживании:

$$T_{\Sigma}(\psi, \nu) = T_1(\psi, \nu) + T_2(\psi, \nu) - T_3(\psi, \nu) - T_4(\psi, \nu). \quad (10)$$

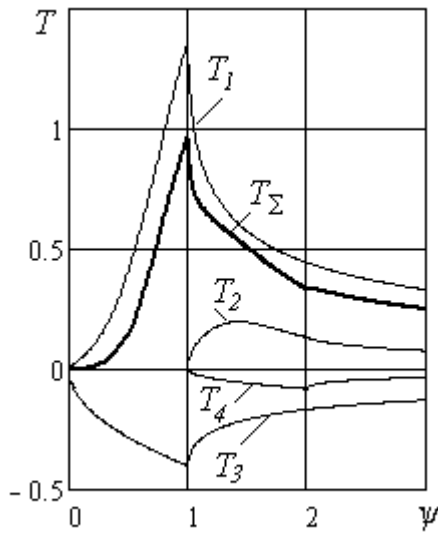


Рис. 3. Графики распределения безразмерной температуры на поверхности детали при алмазном выглаживании

В результате суммирования максимальная безразмерная температура равна $T_{\Sigma max}(1,0) = 0,971$ при значениях $\psi = 1$ и $\nu = 0$.

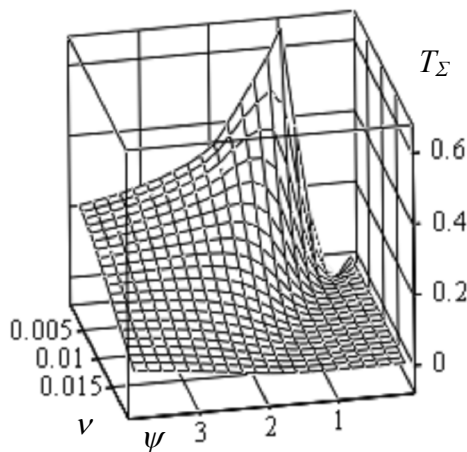


Рис. 4. График распределения безразмерной температуры по поверхности и глубине детали при алмазном выглаживании

Закономерности формирования безразмерных температур на поверхности детали при выглаживании, возникающих под воздействием различных тепловых потоков, а так же общее распределение температуры T_{Σ} ($\nu = 0; k = 0,2; n = 0,2$) представлены на рис.3. Температуры в детали, возникающие под действием стока теплоты из детали в инструмент на передней и задней поверхностях индентора T_3 и T_4 условно показаны в области отрицательных значений, так как тепловые потоки q_3 и q_4 направлены противоположно потокам q_1 и q_2 . Следовательно, за счет стока теплоты в инструмент деталь охлаждается.

Представленные зависимости позволяют установить координаты точек на поверхности детали, имеющих максимальную температуру: для нормального несимметричного закона распределения плотности теплового потока (кривая T_1) с функцией распределения $f(\psi_u) = \exp[-3(1 - \psi_u^2)]$ безразмерная функция имеет наибольшее значение $T_{1max}(1,0) = 1,371$ при $\psi = 1$ и $\nu = 0$; для равномерного закона распределения плотности теплового потока (кривая T_3) с функцией распределения $f(\psi_u) = 1$ безразмерная

При исследовании влияния температуры на закономерности формирования остаточных напряжений в поверхностном слое детали значительный интерес представляет изменение температуры по глубине детали. На рис. 5 представлен график двумерного распределения безразмерной температуры по поверхности детали (ψ) и по ее глубине (ν).

Представленные графики свидетельствуют о том, что кривая температур по глубине поверхности достаточно быстро убывает, причем уже при $\nu = 0,02$ становится практически равной 0. Это объясняется тем, что для быстро движущихся источников поверхность детали практически не успевает прогреться по глубине. Следовательно, поверхностный слой заготовки при алмазном выглаживании прогревается лишь на незначительную глубину.

3. Заключение.

В результате выполненного анализа теплового состояния инструмента и детали при алмазном выглаживании разработана методика расчета температур в зоне обработки. При расчете учитываются источники и стоки теплоты, действующих на передней и задней поверхностях алмазного индентора.

На основании представления законов распределения температур в безразмерном виде установлены общие закономерности изменения температуры, как на поверхностях, так и по глубине детали, которые для каждого конкретного варианта обработки корректируются размерными коэффициентами.

Разработанная методика быть широко использована для прогнозирования закономерностей формирования температур в зоне обработки в зависимости от условий алмазного выглаживания, а также других видов отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием.

Список литературы: 1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. –288с. 2. Резников А.Н. Теплофизика резания. - М.: Машиностроение, 1969. –288с. 3. Ивченко Т.Г. Исследование закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания при точении // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип.20. – Краматорськ: ДДМА, 2006.- С.88-94. 4. Ивченко Т.Г. Совершенствование методики аналитического определения температуры резания // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2007. Вып. 33. – С.103-110.

Надійшла до редколегії 02.02.2010 р.

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ЯВИЩ ПРИ АЛМАЗНОМУ ВИГЛАДЖУВАННІ

Івченко Т.Г., Петряєва І.О., Шелкунова Д.М. (ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

Стаття присвячена розвитку методики розрахунку теплових потоків і температур при алмазному вигладжуванні. На підставі подання законів розподілу температур у безрозмірному виді встановлені загальні закономірності зміни температур у деталі. Для конкретних варіантів обробки фактичні температури визначаються за допомогою розмірних коефіцієнтів.

Ключеві слова: тепловий потік, температура, вигладжування, розмірний коефіцієнт.

THE ANALYSIS OF THE THERMAL PHENOMENA AT DIAMOND SMOOTHING

Ivchenko T.G., Petrajyva I.A., Shelkunova D.M. (DonNTU, t. Donetsk, Ukraine)

Article is devoted development of a design procedure of thermal streams and temperatures at diamond smoothing. On the basis of representation of laws of temperatures distribution in a dimensionless kind the general laws of temperatures change in a detail are established. For concrete variants of processing actual temperatures are defined by means of dimensional factors.

Key words: thermal stream, temperature, smoothing, dimensional factor.